Рекомендовано Министерством образования и науки
Республики Казахстан

Н.А. Закирова
Р.Р. Аширов

ФИЗИКА

Учебник для 9 класса общеобразовательной школы

9

басылы
арман-пв

АРМАН-ПВ базасы

УДК 373. 167. 1
ББК 22.3я 72
З-18

Закирова Н.А., Аширов Р.Р.
З-18 **Физика:** учеб. для 9 кл. общеобразоват. шк. / Н.А. Закирова, Р.Р. Аширов – Нур-Султан: Издательство «Арман-ПВ», 2019. – 272 с.

ISBN 978-601-318-197-4

Учебник по физике для 9 класса разработан в соответствии с Типовой учебной программой по предмету «Физика» для 9 класса уровня основного среднего образования по обновленному содержанию.

В изложении материала учтены возрастные особенности учащихся, соблюдены принципы научности и доступности, раскрытия учебного материала.

УДК 373. 167. 1
ББК 22.3я 72

© Закирова Н.А.,
Аширов Р.Р., 2019

ISBN 978-601-318-197-4

© Издательство «Арман-ПВ», 2019

Репродуцирование (воспроизведение) любым способом данного издания
без договора с издательством запрещается

АРМАН-ПВ баспасы

Условные обозначения

Определения, которые нужно запомнить

Контрольные вопросы

Вопросы для самоконтроля теоретического материала

Упражнение 1

Задания для выполнения в классе

Упражнение 1д

Задания для самостоятельной работы дома

Экспериментальные задания

Задания для исследовательской работы

Творческие задания

Задания на реализацию творческих способностей

Ответьте на вопросы

Вопросы, требующие пояснения сущности физического явления

Задание

Задания для выполнения в классе

Эксперимент

Экспериментальные задания для выполнения в классе

Запомните!

Информация, которую нужно выучить

Возьмите на заметку

Памятка для учащихся

Интересно знать!

Научно-познавательные факты

Кусочки науки

Дополнительная информация, относящаяся к содержанию темы

Вспомните!

Сведения для повторения изученного материала

Обратите внимание!

Учебный материал, вызывающий затруднение при выполнении упражнений

Внимание

При необходимости вы всегда сможете найти содержание CD с электронным приложением на сайте *arman-pv.kz* и загрузить его на свой компьютер для дальнейшей работы

АРМАН-ПВ баспасы

Предисловие

Ребята, учебный материал, который вы начинаете изучать в 9 классе, завершает программу основного курса физики. Успешно овладев им, вы будете иметь представление о мире, в котором мы живем.

В первых четырех главах учебника раскрыты механические явления. Эти главы являются логическим продолжением тем, изученных в 7 классе: «Прямолинейное равномерное движение. Скорость», «Путь, перемещение», «Взаимодействие тел. Сила. Масса», «Энергия. Взаимное превращение энергии». Механика – один из важнейших разделов физики, который изучает движение и взаимодействие всех тел в природе. Представить наш мир без движения невозможно. Все тела движутся, как на нашей планете, так и во Вселенной. Для расширения вашего кругоузора в учебнике рассмотрены законы небесной механики и способы определения расстояний между небесными телами, применимые в нашей Солнечной системе и за ее пределами.

Все в нашем мире взаимосвязано, закономерности механических колебаний и волн справедливы и для электромагнитных. Изучение свойств электромагнитных колебаний и волн позволило установить беспроводную связь между всеми уголками нашей планеты и внеземными объектами – искусственными спутниками Земли. Сотовые телефоны стали обычным явлением.

Исследование поглощения и излучения электромагнитных волн показало, что классическая физика не может объяснить все явления природы. С начала XX века в физике появились новые разделы «Квантовая физика», «Атомная и ядерная физика», «Физика элементарных частиц». Открыты новые законы, которые позволили объяснить процессы, происходящие во Вселенной, раскрыть тайны ее происхождения.

После каждого параграфа включены контрольные вопросы, вопросы-почемучки, упражнения, экспериментальные и творческие задания. Задания делятся на две части: первая предназначена для выполнения в классе, вторая – для индивидуальной работы дома.

Контрольные вопросы обратят ваше внимание на основной материал темы: вопросы-почемучки помогут разобраться в тонкостях физических явлений; экспериментальные задания будут способствовать приобретению навыков исследовательской работы.

Лабораторные работы, табличные величины, ответы к упражнениям вы найдете в конце учебника.

Желаем вам творческих успехов!

Авторы

АРМАНПВ баспасы

Глава 1

ОСНОВЫ КИНЕМАТИКИ

Изучив главу, вы сможете:

- объяснять смысл понятий: материальная точка, система отсчета, относительность механического движения; применять теоремы сложения скоростей и перемещений;
- производить сложение и вычитание векторов, умножение вектора на скаляр;
- находить проекцию вектора на координатную ось, раскладывать вектор на составляющие;
- находить перемещение, скорость и ускорение по графикам зависимости этих величин от времени;
- применять формулы скорости и ускорения при равнопеременном прямолинейном движении в решении задач;
- применять уравнения координаты и перемещения при равнопеременном прямолинейном движении в решении задач;
- экспериментально определять ускорение тела при равноускоренном движении;
- строить и объяснять графики зависимости перемещения и скорости от времени при равноускоренном движении;
- использовать кинематические уравнения равнопеременного движения для описания свободного падения;
- описывать движение тела, брошенного под углом к горизонту, используя кинематические уравнения равнопеременного и равномерного движения;
- определять скорость движения тела, брошенного под углом к горизонту;
- строить траекторию движения тела, брошенного горизонтально;
- описывать равномерное движение тела по окружности, используя понятия линейных и угловых величин;
- применять формулу взаимосвязи линейной и угловой скорости при решении задач;
- применять формулы центростремительного ускорения при решении задач.

АРМАНПВ баспасы

§ 1. Механическое движение

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *объяснять смысл понятий: материальная точка, система отсчета, относительность механического движения; применять теорему сложения скоростей и перемещений.*

Вспомните!

Величины, которые характеризуются числовым значением и направлением, называются векторными.

I. Кинематика и механическое движение

В кинематике (от древнегреч. κινειν – движение) изучают простейшую форму движения материи – механическое движение.

Механическое движение **– это изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени.**

В мировом пространстве звезды и планеты, кометы и метеоры, спутники и космические корабли движутся относительно друг друга. Механическое движение совершают поезда, автомобили, вода в реке, животные и птицы.

В кинематике для описания вида движения, которое совершает тело, введены следующие величины: ускорение, путевая скорость, скорость перемещения, перемещение, пройденный путь, координата, промежуток времени, момент времени.

Кинематикой называют раздел механики, в котором движение тел рассматривается без выяснения причин этого движения.

Ответьте на вопросы

1. *Почему при изучении движения Земли вокруг Солнца можно пренебречь ее размерами?*
2. *Кто может поймать пулю руками?*
3. *При каком условии капли косого дождя оставляют вертикальные потеки на боковом стекле автобуса (рис.1)? В каком случае потеки дождя косые (рис. 2)?*

Рис. 1. *Вертикальные потеки косого дождя на окнах движущегося автобуса*

Рис. 2. *Косые потеки дождя на боковом окне автобуса*

АРМАН-ПВ басасы

Задание 1

1. Разделите величины, характеризующие движение тел, на векторные и скалярные.
2. Запишите обозначения величин и единицы измерения в SI.
3. Укажите условие, при котором перемещение и пройденный путь будут иметь одинаковые значения.

Задание 2

Приведите 2 примера механического движения.

Ответьте на вопрос

В каком из двух случаев, показанных на рисунках, можно принять за материальную точку: машину, движущуюся между двумя городами, (рис. 3) или при сдаче экзамена (рис. 4)?

Рис. 3. *Автомобильная трасса Талдыкорган – Алматы*

Рис. 4. *На экзамене по вождению автомобиля*

Задание 3

Какую скорость необходимо знать для определения местонахождения самолета, фургона, движущихся между двумя городами *(рис. 5)?*

Рис. 5. *Координата тела зависит от точки отсчета, вида движения, скорости тела, времени движения*

АРМАНБАЕВ Бастасы

II. Материальная точка

При изучении движения в одних случаях размерами тел можно пренебречь, в других случаях это недопустимо.

Тело, формой и размерами которого в данной задаче можно пренебречь, называют *материальной точкой.*

При изучении движения рейсового автобуса из одного населенного пункта в другой его можно считать материальной точкой. При въезде в автобусный парк необходимо учитывать габариты автобуса, в этом случае принимать автобус за материальную точку нельзя.

Задание 4

Приведите пример тела, которое в одних условиях можно считать материальной точкой, а в других – нет.

Эксперимент

Расположившись командами в разных углах кабинета, пронаблюдайте за движением одноклассника вдоль ряда парт. Опишите его движение.

Ответьте на вопросы

1. *В чем различие движения одноклассника относительно наблюдателей?*
2. *Как изменится скорость его движения относительно команды, движущейся к нему навстречу?*
3. *Почему при описании движения тела необходимо указывать систему отсчета?*

III. Система отсчета

Перемещение и координаты тела можно указать только относительно окружающих тел. При изучении движения материальной точки необходимо выбрать систему координат, связанную с телом отсчета.

Тело отсчета – это тело, относительно которого рассматривается движение.

В кинематике используют декартовую систему координат x, y, z, центр которой 0 связан с телом отсчета. Для решения основной задачи

Ответьте на вопрос

Сколько осей необходимо для описания движения тела:

- *вдоль прямой линии;*
- *по плоскости;*
- *в пространстве?*

Задание 5

Машина движется в восточном направлении со скоростью 20 м/с.

1. Укажите ее расположение на оси координат в тот момент, когда расстояние от наблюдателя до машины стало раным 50 м.
2. Как изменится положение машины относительно наблюдателя, если ее начальная координата будет равной – 50 м?
3. Какой будет координата машины относительно наблюдателя, если он будет следовать за машиной со скоростью 20 м/с?

АГМАН ПВ базасы

кинематики – определения координаты тела в любой момент времени – необходим измерительный прибор: секундомер или часы.

Система координат, тело отсчета и прибор для определения времени движения представляют собой систему отсчета.

IV. Относительность механического движения

Движение тел относительно: одно и то же тело может находиться одновременно в движении относительно одних тел и покоиться относительно других.

Пассажир находится в покое относительно сиденья движущегося автобуса, а относительно поверхности Земли, зданий, деревьев, движется. Относительными являются величины, характеризующие движение тела: скорость, перемещение, пройденный путь, координата. *В решениях задач кинематики необходимо указывать выбранную систему отсчета.*

Вспомните!

Координаты – это величины (x, y, z), определяющие положение тела в пространстве (на плоскости или на прямой).

V. Теорема сложения скоростей и перемещений

Если тело участвует в сложном движении, например, пассажир направляется к тамбуру движущегося поезда, то его скорость относительно перрона будет равна геометрической сумме относительной и переносной скорости:

$$\vec{v} = \vec{v}_{отн} + \vec{v}_{пер}. \qquad (1)$$

Переносная скорость $\vec{v}_{пер}$ – это скорость поезда относительно перрона, то есть скорость подвижной системы отсчета относительно неподвижной. Скорость пассажира относительно поезда $\vec{v}_{отн}$ называют *относительной скоростью*.

Геометрическая сумма отличается от алгебраической суммы тем, что она учитывает направление векторов.

Если относительная и переносная скорости совпадают по направлению, то их геометрическая сумма будет равна алгебраической сумме числовых значений векторов:

$$v = v_{отн} + v_{пер}. \qquad (2)$$

Задание 6

Рассмотрите *рисунки 6, 7*. Назовите неподвижную систему отсчета, подвижную систему отсчета, относительную и переносную скорость.

Рис. 6. *Движение катера по течению реки*

Рис. 7. *Движение катера против течения реки*

АРМАН-ПВ баспасы

Если относительная и переносная скорости противоположны по направлению, то их геометрическая сумма будет равна разности числовых значений векторов:

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_{отн} - \boldsymbol{v}_{пер}\,. \qquad (3)$$

Умножив формулы (1), (2), (3) на время движения, получим формулы сложения перемещений в векторном виде:

$$\vec{s} = \vec{s}_{отн} + \vec{s}_{пер}\,, \qquad (4)$$

для случая, когда направления векторов совпадают:

$$s = s_{отн} + s_{пер}\,, \qquad (5)$$

и для случая, когда перемещения противоположно направлены:

$$s = s_{отн} - s_{пер}\,. \qquad (6)$$

Сформулируем теоремы сложения скоростей и перемещений.

Скорость тела относительно неподвижной системы отсчета равна геометрической сумме относительной и переносной скорости.

Перемещение тела относительно неподвижной системы отсчета равно геометрической сумме перемещения тела относительно подвижной системы отсчета и перемещения подвижной системы относительно неподвижной.

Эксперимент

На координатной плоскости в выбранном вами масштабе изобразите дорожную карту «Дом – школа». Определите длину траектории и перемещение. Измерьте время, которое вам необходимо для преодоления указанного расстояния. По полученным данным определите вашу среднюю скорость.

Ответьте на вопрос

В каком случае скорость катера относительно берега будет равна сумме скорости катера относительно воды и скорости реки (рис. 6, 7)?

Ответьте на вопросы

1. *На каких участках вы совершали сложное движение?*
2. *Как при этом менялась ваша скорость относительно неподвижной системы отсчета?*
3. *Какая скорость больше: относительно встречных пешеходов или относительно попутчиков?*

Контрольные вопросы

1. Какое движение называют механическим?
2. Что называют материальной точкой?
3. Что входит в систему отсчета?
4. Какую систему координат используют в решении задач кинематики?
5. Сформулируйте теоремы сложения скоростей и перемещений.

АРМАНПВ баспасы

Упражнение 1

1. Пассажир равномерно поднимающегося лифта роняет книгу. Скорость книги в начале движения будет уменьшаться в системе связанной:
   а) с пассажиром;
   б) с лифтом;
   в) с Землей.
2. Скорость движения теплохода вниз по реке 21 км/ч, а вверх по реке – 17 км/ч. Определите скорость теплохода в стоячей воде.
3. Эскалатор метро движется со скоростью 0,75 м/с. Человек идет в направлении движения эскалатора со скоростью 0,75 м/с относительно эскалатора. За какое время человек переместится на 30 м относительно Земли?
4. Скорость лодки относительно воды в *n* раз больше скорости течения реки. Во сколько раз больше времени по течению занимает поездка на лодке, чем против течения?

Упражнение 1д

1. Может ли человек, находясь на движущемся эскалаторе метро, быть в покое в системе отсчета, связанной с землей? Ответ обоснуйте.
2. Пассажир идет против движения поезда со скоростью 3 км/ч относительно вагона. Чему равна скорость пассажира относительно поверхности земли, если поезд движется со скоростью 75 км/ч.
3. Автоколонна длиной 2 км движется со скоростью 40 км/ч. Мотоциклист выехал из хвоста колонны со скоростью 60 км/ч. За какое время он достигнет головной машины?

Творческое задание

Составьте задачу по *рисункам 6* и *7*, используя теоремы сложения скоростей и перемещений.

АРМАНПВ баспасы

§ 2. Векторы и действия над ними, проекция вектора на координатные оси

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *производить сложение и вычитание векторов, умножение вектора на скаляр;*
- *находить проекцию вектора на координатную ось, раскладывать вектор на составляющие.*

Ответьте на вопросы

1. *Почему у тела, прошедшего большой путь, перемещение может быть равным нулю?*
2. *Почему перемещение не может быть больше пройденного пути?*
3. *Почему вектора нельзя складывать алгебраически?*

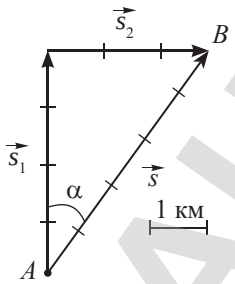


***Рис. 9**. Сложение перемещений по правилу треугольника*

Вспомните!

Перемещение – это направленный отрезок, соединяющий начальное положение тела с его конечным положением.

При выполнении действий над векторами необходимо учитывать их направление. При сложении двух векторов используют *правило треугольника* или *правило параллелограмма*.

I. Геометрическое сложение векторов по правилу треугольника

Рассмотрим, как используется правило треугольника на практическом примере.

Определим перемещение чабана на выпасе отары овец, который прошел в северном направлении s_1 = 4 км, а затем в восточном s_2 = 3 км *(рис. 8)*.

***Рис. 8.** Выпас овец на жайляу*

Изобразим вектора перемещения в масштабе М:1:100000, это означает, что 1 см на рисунке соответствует 100 000 см или 1 км на местности *(рис. 9)*. В результате своего движения чабан из точки А переместился в точку В. Полученный отрезок $\vec{s}$ является векторной суммой перемещений $\vec{s}_1$ и $\vec{s}_2$:

$$\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2. \qquad (1)$$

АРМАН-ПВ басылы

Рассмотренный метод сложения векторов получил название «*правило треугольника*» по виду геометрической фигуры, полученной в результате сложения векторов.

Полученный треугольник – прямоугольный, длину отрезка s рассчитаем по теореме Пифагора:

$$s = \sqrt{s_1^2 + s_2^2}\,, \qquad (2)$$

$$s = \sqrt{16\,км^2 + 9\,км^2} = 5\,км\,.$$

Перемещение можно определить по длине отрезка на рисунке с использованием выбранного масштаба. Измерим длину отрезка АВ, она равна 5 см. Составим пропорцию:

1 см – 1 км

5 см – s,

тогда $$s = \frac{5\,см \cdot 1\,км}{1\,см} = 5\,км\,.$$

Направление вектора перемещения задают углом отклонения α от указанного курса, угол измеряют транспортиром.

II. Геометрическое сложение нескольких векторов по правилу многоугольника

Пусть чабан с отарой овец в рассмотренном выше примере продолжает свое движение. После отдыха на вечернем выпасе они переместились в северном направлении еще на 2 км, а затем в западном направлении на 5,5 км. В результате он вместе с отарой оказался в точке С – в загоне для овец *(рис. 10)*.

Вектор $\vec{s}$ – это перемещение пастуха в результате движения на четырех участках, следовательно:

$$\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2 + \vec{s}_3 + \vec{s}_4. \qquad (3)$$

Числовое значение суммы векторов определяется по правилам геометрии. Модуль вектора перемещения чабана можно определить по теореме Пифагора из ΔACD.

Кусочки науки

Правило треугольника
При сложении векторов конец первого вектора необходимо соединить с началом второго вектора, переместив его параллельно самому себе. Вектор, проведенный от начала первого к концу второго, является суммой векторов.

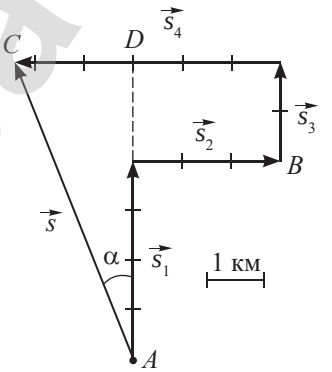


Рис. 10. *Сложение нескольких векторов по правилу треугольника*

Кусочки науки

Правило многоугольника
Для определения суммы векторов необходимо, переместив параллельно самим себе, расположить их так, чтобы конец предшествующего вектора был началом следующего. Направленный отрезок, соединяющий начало первого с концом последнего вектора, будет суммой векторов.

АРМАН-ПВ басасы

III. Сложение векторов по правилу параллелограмма

Колесо движущегося автомобиля перемещается вместе с автомобилем и вращается вокруг своей оси. Укажем направления скоростей движения точек *A* и *B* колеса *(рис. 11)*.

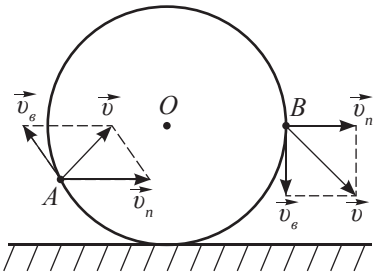


Рис. 11. *Точки колеса совершают сложное движение*

Каждая точка колеса участвует в поступательном движении со скоростью $\vec{v}_п$ и во вращательном движении по часовой стрелке со скоростью $\vec{v}_в$.

Для определения скорости точки необходимо провести линии параллельно векторам и достроить параллелограмм. Тогда вектор $\vec{v}$, соединяющий точку начала векторов с точкой пересечения достроенных сторон параллелограмма, укажет направление скорости движения точек колеса относительно поверхности земли. Вектор является суммой векторов $\vec{v}_п$ и $\vec{v}_в$:

$$\vec{v} = \vec{v}_п + \vec{v}_в. \qquad (4)$$

Задание 2

1. Сравните формулу, полученную для точек колеса с теоремой о сложении скоростей. Назовите скорости, которые для точек колеса являются переносной, относительной.
2. Определите скорость точки *B* относительно земли *(рис. 11)*, считая, что автомобиль движется без проскальзывания со скоростью 30 м/с.

Задание 1

1. Определите стороны треугольника ΔACD на *рисунке 10*. По теореме Пифагора определите перемещение чабана при выпасе овец.
2. Проверьте полученный результат, измерив длину отрезка AC и определив перемещение с использованием масштаба.

Кусочки науки

Правило параллелограмма

Для определения суммы двух векторов необходимо совместить начала векторов, переместив их параллельно самим себе, и достроить на них параллелограмм. Направленный отрезок, соединяющий точку начала векторов с точкой пересечения достроенных сторон, является геометрической суммой векторов.

Запомните!

Разностью векторов, исходящих из одной точки, является вектор, соединяющий концы векторов и направленный в сторону уменьшаемого вектора *(рис. 12)*.

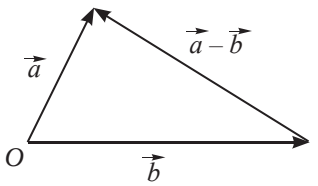


Рис. 12. *Вычитание векторов*

АДУКАЦЫЯ

IV. Вычитание векторов

Из курса математики вам известно, что разность векторов равна сумме первого вектора и вектора, противоположного второму:

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + (-\vec{v}_2).$$

При вычитании векторов необходимо изобразить вектор, противоположный вычитаемому, и просуммировать его с первым по правилу треугольника или параллелограмма.

V. Умножение векторов на скаляр

Результатом умножения вектора $\vec{a}$ на положительное число является сонаправленный вектор, например: $\vec{b} = 2\vec{a}$, $\vec{c} = 0,5\vec{a}$ *(рис. 13)*. Если число отрицательное, то полученный вектор имеет направление, противоположное исходному вектору $\vec{a}$, например, $\vec{d} = -2\vec{a}$, $\vec{e} = -0,5\vec{a}$. Модуль результирующего вектора равен произведению модуля исходного вектора на заданное число.

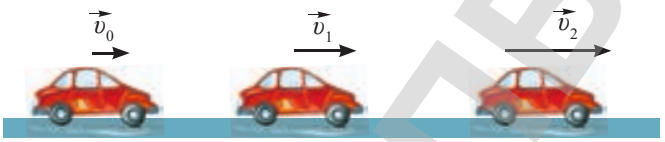


Рис. 14. *Изображение вектора скорости на рисунке*

VI. Координаты тела и проекции перемещения

Положение тела на плоскости определяется двумя координатами x и y.

Изобразим на координатной плоскости начальное положение тела точкой A с координатами x_0, y_0 и конечное положение B с координатами x, y *(рис. 15)*. Направленный отрезок укажет перемещение тела из точки A в точку B. Значение перемещения можно определить по теореме Пифагора, так как отрезок s является гипотенузой.

Из *рисунка 15* следует, что катет AC равен отрезку s_x, а катет BC равен отрезку s_y. Указанные отрезки определяются разностью соответствующих координат:

$$s_x = x - x_0; \quad s_y = y - y_0.$$

Кусочки науки

Два вектора называются коллинеарными, если они лежат на параллельных прямых или на одной прямой.

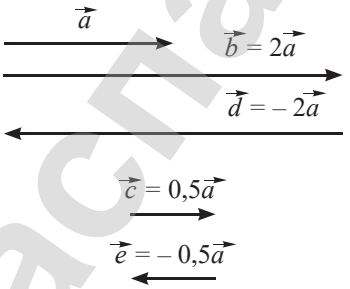


Рис. 13. *Коллинеарные вектора*

Задание 3

Укажите положение, в котором машина обладает большей скоростью (*рис. 14*). По какому признаку вы сравнили скорости машины? Определите по рисунку, во сколько раз вектора $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$ отличаются от вектора $\vec{v}_0$.

Ответьте на вопрос

Как изобразить на рисунке тело, движущееся в обратном направлении?

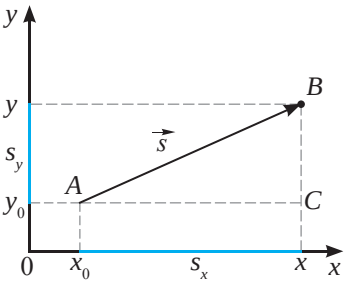


Рис. 15. *Проекции вектора $\vec{s}$ на оси 0x и 0y*

АРМАН-ПВ басылы

Из полученных формул выразим конечные координаты тела:

$$x = x_0 + s_x;\ y = y_0 + s_y.$$

Значение перемещения s можно рассчитать по формуле:

$$s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2}\ .$$

Отрезки s_x и s_y называют проекциями векторы перемещения на оси $0x$ и $0y$.

Если тело перемещается в трехмерном пространстве, то его перемещение должно определяться с учетом проекции векторы перемещения s_z на ось $0z$:

$$s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2 + s_z^2}\ .$$

Проекция вектора **– это отрезок, соединяющий точку проекции начала вектора с точкой проекции конца вектора.**

Проекции могут иметь как положительные, так и отрицательные значения.

Задание 4

Определите проекции векторов, изображенных на *рисунке 16,* на координатные оси $0x$ и $0y$. Укажите вектора, которые:

- имеют положительные проекции;
- совпадают по модулю с проекцией;
- проекция равна 0.

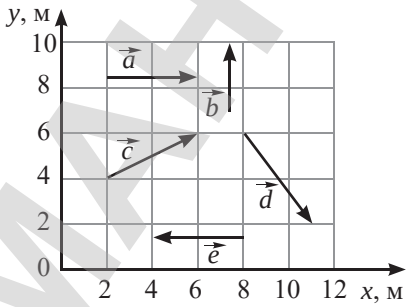


Рис. 16. *К заданию 4*

Запомните!

Для нахождения проекции точек начала и конца вектора необходимо опустить перпендикуляр из этих точек на указанную ось. Если конечная координата больше начальной, то проекция имеет положительное значение. В этом случае перемещение от проекции начала вектора к проекции конца совершается по направлению оси.

Если конечная координата меньше начальной, то проекция имеет отрицательное значение, так как перемещение от проекции начала вектора к проекции его конца совершается в направлении, противоположном направлению выбранной оси.

Ответьте на вопросы

1. *Почему для определения модуля вектора при использовании координатного метода всегда используется теорема Пифагора?*
2. *Почему проекция вектора равна нулю, если он расположен перпендикулярно оси?*

VII. Разложение векторов на составляющие

При решении задач порой целесообразно разложить вектор на составляющие.

Это необходимо при изучении движения тела, брошенного под углом к горизонту со скоростью v_0 *(рис. 17).*

АРМАН-ПВ бастасы

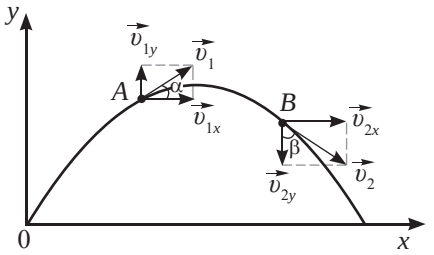


Рис. 17. *Разложение векторов* $\vec{v}_1$ *и* $\vec{v}_2$ *на составляющие по оси* $0x$ *и* $0y$

Решение задачи упрощается, если рассматривать движение вдоль осей $0x$ и $0y$ по отдельности. Скорость тела разлагают на составляющие вектора, параллельные выбранным осям. Числовые значения вертикальной и горизонтальной составляющих определяют с использованием тригонометрических функций: $\upsilon_x = \upsilon\cos\alpha$, $\upsilon_y = \upsilon\sin\alpha$.

Обратите внимание!

1. Один вектор мы заменили двумя, при их сложении вновь получится в точке А вектор $\vec{v}_1$: $\vec{v}_1 = \vec{v}_{1y} + \vec{v}_{1x}$. Смотрите сложение скоростей на *рисунке 17*.
2. Отличие проекции вектора и его составляющих в том, что проекции вектора – скалярные величины, а его составляющие – векторные величины. Модуль вектора при известных значениях проекций определяют по теореме Пифагора: $\upsilon_1 = \sqrt{\upsilon_{1x}^2 + \upsilon_{1y}^2}$.

Контрольные вопросы

1. Как определяется сумма векторных величин по правилу треугольника? По правилу параллелограмма?
2. В чем заключается правило многоугольника? Когда его используют?
3. В каком случае проекция вектора положительная, в каком – отрицательная?
4. Какая связь существует между проекцией перемещения и координатами тела?
5. Как определяется сумма векторов при координатном методе сложения?
6. Как разложить вектор на составляющие?

Задание 5

1. Определите горизонтальную и вертикальную составляющие скорости кабины на канатной дороге Шымбулака *(рис. 18)*. Скорость движения кабины вдоль каната 5 м/с, угол наклона примите равный 15° (sin 15° ≈ 0,26; cos15° ≈ 0,96).
2. Изобразите вектор скорости и ее составляющие на рисунке.

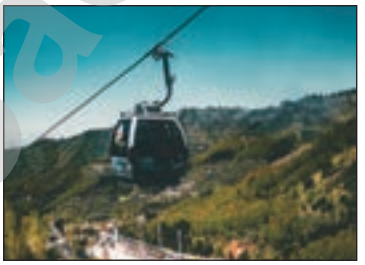


Рис. 18. *Канатная дорога Медео-Шымбулак*

Запомните!

Для разложения вектора на составляющие необходимо из точки *A* – начала вектора $\vec{v}_1$ *(рис. 17)* – провести линии, параллельные выбранным направлениям, например, вдоль оси $0x$ и $0y$. На этих линиях достроить параллелограмм так, чтобы вектор $\vec{v}_1$ стал его диагональю. При выборе взаимно перпендикулярных направлений вместо параллелограмма получим прямоугольник. Стороны прямоугольника являются вертикальной $\vec{v}_{1y}$ и горизонтальной $\vec{v}_{1x}$ составляющими вектора.

АРМАН-ПВ баспасы

Упражнение 2

1. Катер прошел по озеру 2 км в северо-восточном, а затем еще 1 км в северном направлении. Определите модуль и направление перемещения с помощью географического построения.
2. Вертолет, пролетев в горизонтальном полете по прямой 40 км, повернул под углом 90° и пролетел еще 30 км. Определите путь и перемещение вертолета.
3. Тело переместилось из точки с координатами $x_1 = 0$, $y_1 = 2$ м в точку с координатами $x_2 = 4$ м, $y_2 = -1$ м. Укажите заданные точки на координатной плоскости $x0y$, определите модуль перемещения и его проекции на оси координат.

Упражнение 2д

1. Группа туристов прошла сначала 400 м на северо-запад, затем 500 м на восток и еще 300 м на север. Определите геометрическим построением модуль и направление перемещения группы.
2. Турист поднялся на возвышенность высотой h =10 м с углом при основании 30°, а затем спустился с этой же высоты по уклону с углом при основании 60° *(рис. 19)*. Чему равны путь и модуль перемещения туриста? Ответ представьте в SI и округлите до целого числа.
3. Разложите на составляющие начальную скорость тела, брошенного под углом 60° к горизонту *(рис. 20)*. Определите числовое значение составляющих, если начальная скорость тела равна 10 м/с.

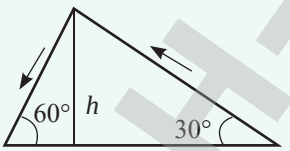


Рис. 19. *К упражнению 2д.2*

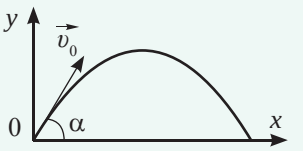


Рис. 20. *К упражнению 2д.3*

Экспериментальное задание

Свяжите декартовую систему координат с комнатой, совместив ось $0x$ с линией пересечения пола и наружной стены, ось $0y$ – с линией пересечения наружных стен, а ось $0z$ – с линией пересечения пола со смежной стены. Определите координаты углов стола, за которым вы сидите. Изобразите в тетради оси координат и укажите на них все точки в выбранном вами масштабе. Между какими из указанных точек расстояние наибольшее? Определите его числовое значение.

Изобразите стол в проекции на координатную плоскость $x0y$.

АРМАН-ПВ басылы

§ 3. Прямолинейное равнопеременное движение, ускорение

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *находить перемещение, скорость и ускорение по графикам зависимости от времени.*

Ответьте на вопросы

1. *Какую скорость используют для составления графика движения поезда или автобуса по заданному маршруту?*
2. *В чем принципиальное отличие движения автомобиля при выезде из гаража, на трассе, перед парковкой?*
3. *Какой величиной можно охарактеризовать изменение скорости движения?*

Задание 1

1. Определите среднюю скорость тела на всем пути и для первых двух участков *(рис. 21)*.
2. Докажите, что площадь фигуры под графиком зависимости скорости от времени равна всему пройденному пути.

Ответьте на вопросы

1. *Можно ли пройденный путь на отдельном участке пути определить как площадь прямоугольника под графиком зависимости скорости от времени в указанном интервале времени?*
2. *Почему среднюю скорость для первых двух участков пути нельзя использовать для всего пройденного пути?*

I. Скорость неравномерного движения

При неравномерном движении скорость тела изменяется. Она может быть разной на каждом участке пути и при этом оставаться постоянной для отдельно взятого участка. В этом случае средняя скорость движения определяется по формуле:

$$v_{ср} = \frac{s_1 + s_2 + \ldots + s_n}{t_1 + t_2 + \ldots + t_n},$$

где n – число участков пути. График зависимости скорости от времени для шести участков равной продолжительности дан на *рисунке 21*. Внутри отдельно взятого участка тело движется равномерно.

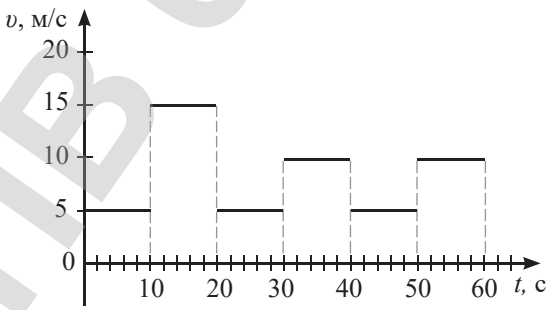


Рис. 21. *График зависимости скорости от времени неравномерного движения*

II. Равнопеременное движение. Мгновенная скорость. Ускорение

Рассмотрим случай, когда *скорость за любые равные сколь угодно малые промежутки времени изменяется на одно и то же значение.* Такой вид движения называют *равнопеременным*. Скорость в данный момент времени называют *мгновенной*.

Мгновенная скорость равна отношению перемещения к промежутку времени, за которое это изменение произошло, при условии, что этот промежуток времени стремится

АДУКАЦЫЯ-ПЛЮС бастасы

достичь нуля. Это определение можно записать в виде следующей формулы: $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$, при $\Delta t \to 0$.

Характер изменения скорости для различных тел при этом отличается: модуль скорости автомобиля, начинающего движение, возрастает, тело движется равноускоренно *(рис. 22)*. Скорость тормозящего автомобиля уменьшается, тело движется равнозамедленно *(рис. 23)*.

Для описания характера изменения скорости при равнопеременном движении тела введена векторная величина – ускорение.

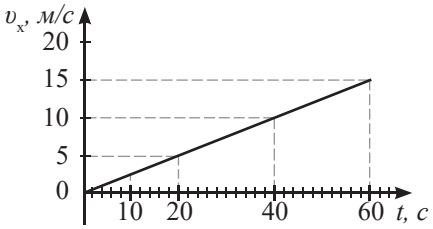


Рис. 22. *График зависимости скорости от времени равноускоренного движения*

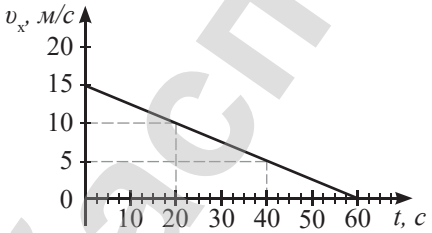


Рис. 23. *График зависимости скорости от времени равнозамедленного движения*

Ускорение **– физическая величина, характеризующая быстроту изменения скорости движения тела. Оно определяется отношением изменения скорости к промежутку времени, за который это изменение произошло.**

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \qquad (1)$$

или

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}. \qquad (2)$$

Ответьте на вопрос

Почему ускорение движущегося тела можно определить как тангенс угла наклона на графике зависимости скорости тела от времени?

Задание 2

1. По графикам на *рисунках 22 и 23* определите ускорения, с которыми движутся автомобили. Для вычисления ускорения используйте формулу (2) в проекциях на ось 0*x*:

$$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{\Delta t}. \qquad (3)$$

2. Докажите, что от выбора значений скоростей на графике результат вычислений не зависит.

III. Направление ускорения и скорости. Вид движения

Из формулы $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ следует, что ускорение и изменение скорости сонаправлены.

Выясним, совпадают ли при этом направления ускорения и скорости и как направление этих векторных величин влияет на вид движения тела.

АРМАН-ПВ баспасы

Изменение скорости – это разность векторов конечной и начальной скоростей:

$$\Delta\vec{v} = \vec{v} - \vec{v}_0 .$$

Представим разность векторов в виде суммы векторов: $\Delta\vec{v} = \vec{v} + (-\vec{v}_0)$. Определим направления векторов ускорения и изменения скорости для тела, движущегося прямолинейно с возрастающей скоростью *(рис. 24, а)*.

Сложим вектора $\vec{v}$ и $-\vec{v}_0$, совместив начало второго с концом первого *(рис. 24, б)*. Вектор, соединяющий начало первого с концом второго, является их суммой, его направление совпадает с направлением движения тела, следовательно, вектор ускорения будет направлен по направлению движения тела *(рис. 24, в)*.

Движение тела называют *прямолинейным равнопеременным*, если векторы ускорения и скорости направлены вдоль одной прямой и при этом значение ускорения не изменяется.

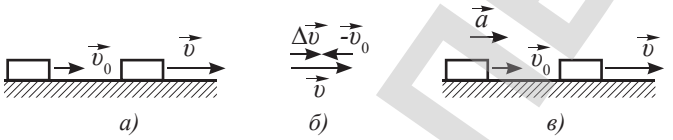


Рис. 24. *При равноускоренном движении вектора скорости и ускорения сонаправлены*

Ответьте на вопрос

Почему вектор ускорения и вектор изменения скорости сонаправлены?

Задание 4

Докажите, что направление векторов скорости и ускорения при равнозамедленном движении направлены в противоположные стороны *(рис. 25)*.

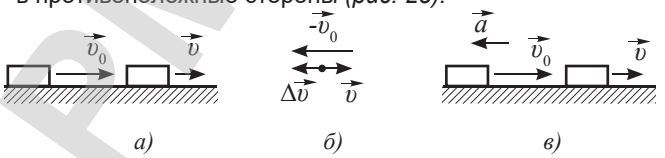


Рис. 25. *При равнозамедленном движении вектора скорости и ускорения направлены в противоположные стороны*

Задание 3

1. Докажите, что единицей измерения ускорения в Международной системе единиц является: $[a] = 1\,\frac{м}{с^2}$.
2. Предложите внесистемные единицы измерения, установите между ними соотношение.

Запомните!

Если направление вектора ускорения совпадает с направлением вектора скорости и величина его не изменяется, то тело движется *прямолинейно равноускоренно (РУД)*.

Если направление вектора ускорения противоположно направлению вектора скорости и величина его не изменяется, то тело движется *прямолинейно равнозамедленно (РЗД)*.

Запомните!

Если функция зависит от аргумента прямо пропорционально, то ее среднее значение определяется как среднее арифметическое начального и конечного значений на заданном интервале.

АРМАН-ПВ бастасы

Задание 5

1. На графике, изображенном на *рисунке 26*, укажите интервалы времени, в которых тело движется равноускоренно, равнозамедленно, равномерно.
2. Проверьте свои предположения, выполнив расчет ускорения на каждом участке графика.

Задание 6

Докажите, что площадь фигуры под графиком зависимости скорости от времени движения при равномерном и равнопеременном движении численно равна перемещению *(рис. 26)*.

Ответьте на вопросы

1. *В какие моменты времени тело останавливалось (рис. 26)?*
2. *Какой физический смысл имеет отрицательное значение проекции скорости?*
3. *Почему при отрицательных значениях скорости и ускорения тело движется равноускоренно (участок CD на рисунке 26)?*

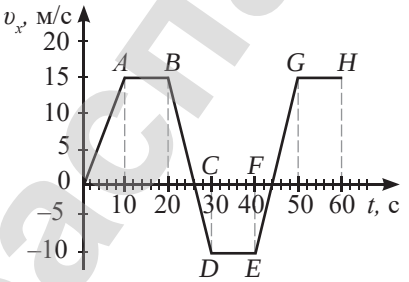


Рис. 26. *К заданию 5*

IV. Графики зависимости ускорения и скорости от времени при равнопеременном движении

Из формулы (3) следует, что скорость движения прямо пропорциональна времени, коэффициентом пропорциональности является ускорение:

$$\boldsymbol{v}_x = \boldsymbol{v}_{0x} + a_x \cdot t\,. \qquad (4)$$

При нулевом значении начальной скорости формула (4) примет вид:

$$\boldsymbol{v}_x = a_x \cdot t\,. \qquad (5)$$

При равнопеременном движении ускорение остается постоянной величиной. Графиком ускорения является прямая, параллельная оси времени *(рис. 27)*. Площадь фигуры под графиком численно равна скорости в момент времени t_1.

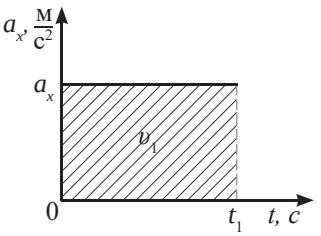


Рис. 27. *График зависимости проекции ускорения на ось 0x от времени*

Графики зависимости скорости от времени представлены на *рисунке 28*. По графикам легко определить начальные значения скоростей и рассчитать ускорение по формуле (3), определить пройденный телом путь за указанный промежуток времени как площадь фигуры под графиком за указанный интервал времени.

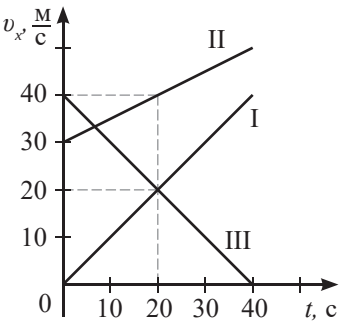


Рис. 28. *Графики зависимости скорости движения тел I, II, и III от времени движения*

АРМАН-ПВ баспасы

Задание 7

1. Определите по графикам на *рисунке 28*:
   - начальные скорости тел;
   - скорости тел через 20 с;
   - ускорения;
   - путь, пройденный телами за 20 с.
2. Назовите вид движения каждого тела.

Обратите внимание на результаты расчетов и запомните:

1. *Чем больше угол наклона графика к оси времени, тем больше ускорение тела:* $a_{1x} > a_{2x}$.
2. *График равнозамедленного движения с отрицательной проекцией ускорения* $a_{3x} < 0$ *приближается к оси времени.*
3. *Точка пересечения графика с осью времени определяет значение времени, при котором тело останавливается:* $\upsilon_{3x} = 0$, $t = 40$ с.

Задание 8

Определите скорость легкоатлета через 2 с после старта *(рис. 29)*, если его ускорение равно 4,5 м/с^2.

Рис. 29. *Виктория Зябкина – многократная чемпионка Азии, трехкратный победитель Универсиад*

Кусочки науки

Графиком прямо пропорциональной зависимости является прямая линия.

Контрольные вопросы

1. Что называют ускорением? В каких единицах оно измеряется?
2. Какое движение называется равнопеременным? При каком условии движение тела равноускоренное, при каком – равнозамедленное?
3. Как по графику зависимости ускорения от времени определить мгновенное значение скорости тела?
4. Как определить ускорение по графику зависимости скорости от времени? Как определить перемещение?

Упражнение 3

1. Автомобиль, двигаясь равномерно, проходит третью часть пути со скоростью 20 м/с, а остальной путь – со скоростью 36 км/ч. Определите среднюю скорость на всем пути.

АРМАН-ПВ базасы

2. Через 1/6 мин. после начала движения поезд приобрел скорость 0,6 м/с. Через какое время после начала движения скорость поезда станет равной 3 м/с?
3. Тело движется вдоль оси 0*x*. На *рисунке 30* изображен график зависимости проекции ускорения тела a_x от времени. В начальный момент времени $t = 0$ проекция скорости тела была равной $v_{0x} = 3$ м/с. Определите проекцию скорости v_x тела в моменты времени $t = 1$ с и $t = 2$ с. Постройте график зависимости скорости от времени, определите пройденный телом путь.

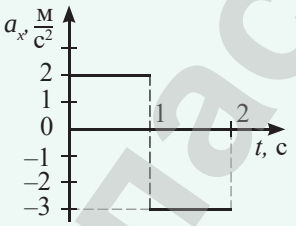


Рис. 30. *К упражнению 3.3*

Упражнение 3д

1. Половину пути автомобиль прошел со скоростью 36 км/ч, вторую половину – со скоростью 15 м/с. Определите среднюю скорость движения автомобиля в км/ч.
2. Велосипедист движется под уклоном с ускорением 0,3 м/с². Какую скорость он приобретет через 1/3 мин, если его начальная скорость была равной 4 м/с?
3. На *рисунке 31* дан график зависимости модуля скорости тела от времени, определите характер движения тела. Постройте график зависимости модуля ускорения тела от времени.

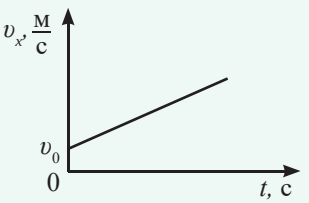


Рис. 31. *К упражнению 3д.3*

Экспериментальное задание

Определите ускорение, с которым двигался автомобиль, по значению его начальной скорости и времени торможения до полной остановки. Какие измерительные приборы вам необходимы для выполнения задания?

АРМАНПВ баспасы

§ 4. Скорость и перемещение при прямолинейном равноускоренном движении

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *применять формулы скорости и ускорения при равнопеременном прямолинейном движении в решении задач;*
- *применять уравнения координаты и перемещения при равнопеременном прямолинейном движении в решении задач;*
- *находить перемещение по графику зависимости перемещения от времени.*

Ответьте на вопросы

1. *Почему в швейных машинах важна согласованность движений иглы и челночного устройства (рис. 32)?*

Рис. 32. *Настройка движения иглы и челночного устройства швейной машинки*

2. *Почему при расчете величин, характеризующих прямолинейное движение, достаточно одной оси?*
3. *Почему при РУД проекция ускорения имеет положительное значение, при РЗД – отрицательное?*

Основная задача кинематики заключается в том, чтобы указать местоположение тела в пространстве в любой момент времени. Для решения этой задачи необходимо определить координаты тела. Они зависят от вида движения тела, ускорения, скорости, перемещения.

В предыдущих параграфах были введены формулы расчета ускорения и скорости и понятие «проекция вектора». Выясним, как проекции векторных величин связаны с модулями и как определить скорость, перемещение и координату тела по ним.

Вспомните!

Формулы равномерного движения:

$$v_x = \frac{s_x}{t}; \quad v_x = \frac{x - x_0}{t};$$

$$s_x = v_x \cdot t;$$

$$x = x_0 + v_x \cdot t.$$

Задание 1

Приведите примеры, которые свидетельствуют о важности знаний координат тела в пространстве.

I. Скорость при прямолинейном равнопеременном движении

Для определения скорости в §3 мы воспользовались координатным методом: формулы, записанные в векторном виде и через проекции векторов на выбранную ось, имеют одинаковый вид. Например, формула для скорости в векторном виде из формулы (1) §3 будет иметь вид $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$, аналогичной будет формула в проекциях: $v_x = v_{0x} + a_x t$.

Определим знаки проекций при равноускоренном и равнозамедленном движениях. На *рисунке 33* изображены вектора скоростей

АГМАН-ПВ базасы

и ускорения тел при указанных видах движения. Движение рассматривается относительно оси 0*x*.

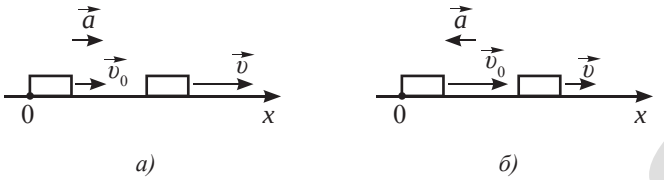


Рис. 33. *Направление векторов ускорения и скорости при РУД и РЗД*

При равноускоренном движении *(РУД)* проекции векторов υ_{0x}, a_x, υ_x положительные *(рис. 33, а)*. Формула расчета скорости через модули векторов примет вид:

$$\boldsymbol{\upsilon} = \boldsymbol{\upsilon}_0 + \boldsymbol{a}t\,.$$

Для равнозамедленного движения *(РЗД, рис. 33, б)* проекция ускорения – отрицательная, следовательно, формула расчета скорости примет вид:

$$\boldsymbol{\upsilon} = \boldsymbol{\upsilon}_0 - \boldsymbol{a}t\,.$$

Задание 2

Четыре машины, изображенные на *рисунке 34*, движутся с равными по модулю ускорениями и скоростью.

1. Укажите знаки проекций векторов для каждой машины и вид движения.
2. Полагая, что начальная скорость I и II машин была равной нулю $\boldsymbol{\upsilon}_0 = 0$, запишите уравнение зависимости скорости от времени через модули с учетом знаков проекций.
3. Запишите уравнения для случая, когда начальная скорость не была равной нулю.

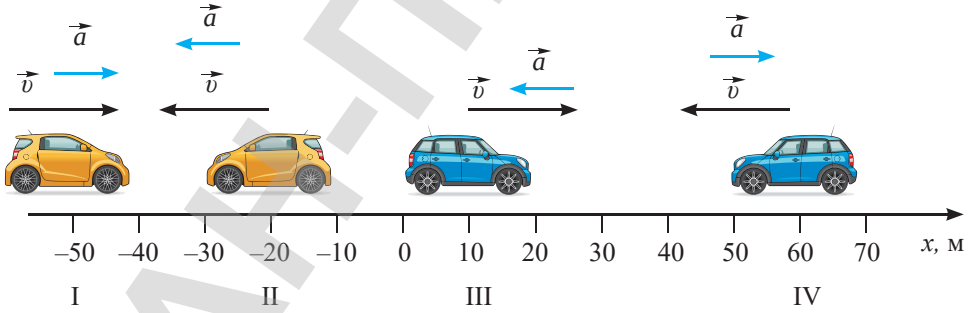


Рис. 34. *К заданию 2*

Задание 3

На координатной оси 0*x* произвольно расположите тела, укажите направление начальных скоростей тел и их ускорений в выбранном масштабе. Уравнения зависимости скорости движения тел от времени имеют вид:

$\upsilon_{1x} = 5 + 2t$; $\upsilon_{3x} = -2 + 0,5t$;

$\upsilon_{2x} = 3 - t$; $\upsilon_{4x} = -3 - 3t$.

Ответьте на вопрос

Почему среднюю скорость движения при равнопеременном движении можно определить как среднее арифметическое значение?

АРМАН-ПВ баспасы

Задание 4

Рассмотрите на рисунках 35 и 36 графики зависимости скорости и перемещения тел при равномерном движении (РД). Какому из четырех тел соответствует график скорости?

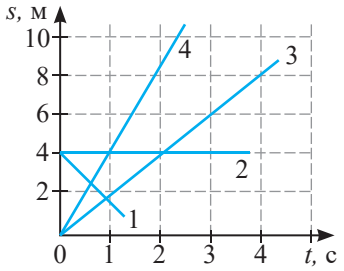


Рис. 35. *Графики зависимости перемещения от времени при РД*

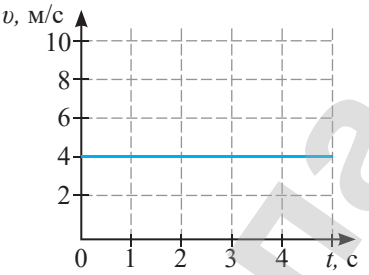


Рис. 36. *График зависимости скорости от времени при РД*

II. Формула расчета перемещения тела при равнопеременном движении

Запишем среднее значение скорости при равнопеременном движении как среднее арифметическое значение начальной и конечной скорости движения тела:

$$\upsilon_{cp} = \frac{\upsilon_{0x} + \upsilon_x}{2}.$$

Подставив выражение для конечной скорости $\upsilon_x = \upsilon_{0x} + a_x t$, получим следующее соотношение:

$$\upsilon_{cp} = \frac{\upsilon_{0x} + \upsilon_{0x} + a_x t}{2} = \upsilon_{0x} + \frac{a_x t}{2}.$$

Подставим его в формулу для расчета перемещения тела:

$$s_x = \upsilon_{cp} t.$$

В результате получим:

$$s_x = \upsilon_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

Запись формулы в модулях для равноускоренного движения примет вид:

$$s = \upsilon_0 t + \frac{at^2}{2},$$

для равнозамедленного;

$$s = \upsilon_0 t - \frac{at^2}{2}.$$

Алгоритм решения задач по кинематике

1. Записать значения физических величин, данных в условии задачи. Перевести внесистемные единицы измерения в SI.
2. Сформулировать вопрос задачи.
3. На рисунке изобразить тело, указать направление векторов ускорения и скорости.
4. Записать в проекциях формулы, связывающие данные величины с неизвестными.
5. Выбрать ось координат, направив ее по направлению движения тела.
6. Записать формулы через модули с учетом знаков проекций.
7. Решить уравнение или систему уравнений относительно неизвестной величины.
8. Выполнить работу с единицами измерений.
9. Записать ответ задачи.

АРМАН-ПВ басылы

III. Связь перемещения тела с начальной и конечной скоростью тела

Из формулы расчета скорости $\upsilon_x = \upsilon_{0x} + a_x t$ выразим время движения тела:

$$t = \frac{\upsilon_x - \upsilon_{0x}}{a_x}.$$

Полученное выражение подставим в формулу расчета перемещения:

$$s_x = \upsilon_{cp} t = \frac{\upsilon_{0x} + \upsilon_x}{2} \cdot \frac{\upsilon_x - \upsilon_{0x}}{a_x} = \frac{\upsilon_x^2 - \upsilon_{0x}^2}{2a_x}.$$

Полученное новое выражение позволяет определить перемещение тела, если время его движения неизвестно:

$$s_x = \frac{\upsilon_x^2 - \upsilon_{0x}^2}{2a_x}.$$

IV. Закон движения

Закон движения позволяет решить основную задачу кинематики – определить местоположение тела в любой момент времени.

Координата тела связана с перемещением формулой:

$$x = x_0 + s_x.$$

Учитывая зависимость перемещения от времени, получим закон движения тела:

$$x = x_0 + \upsilon_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

Пусть закон движения тела задан выражением:

$$x = 2 + 4t + 2t^2.$$

Сравнивая данную зависимость с законом движения в общем виде, можно определить начальную координату тела $x_0 = 2$ м, начальную скорость $\upsilon_{0x} = 4\,\frac{м}{с}$ и ускорение тела $a_x = 4\,\frac{м}{с^2}$.

Закон движения позволяет определить характер движения. Если проекции скорости и ускорения одинакового знака, то движение равноускоренное, если противоположного знака, то движение равнозамедленное.

V. Определение места и времени встречи тел

Условием встречи тел является равенство их координат $x_1 = x_2$. Решая равенство относительно времени, получим значение времени встречи.

VI. График зависимости перемещения тела от времени движения

Графиком зависимости перемещения от времени является ветвь параболы *(рис. 37)*. График I

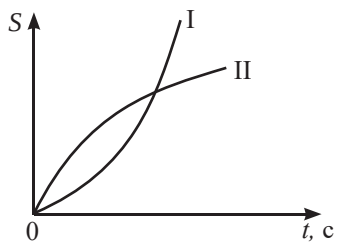


Рис. 37. *Графики зависимости перемещения от времени при РПД*

АРМАН-ПВ басасы

для равноускоренного движения тела по направлению оси $0x$ соответствует графику квадратного уравнения с положительным коэффициентом аргумента. График II для равнозамедленного движения соответствует графику квадратного уравнения с отрицательным коэффициентом.

Вид графика зависимости перемещения от времени определяется знаком проекции ускорения.

Задание 5

Запишите формулы расчета перемещения тела для равнопеременного движения без начальной скорости.

Задание 6

Уравнение движения автобуса относительно наблюдателя, ожидающего маршрутку $x = 5 + 5t + 2{,}5t^2$. Автобус первые 3 с наблюдения двигался равноускоренно, затем равномерно.

1. Определите начальную координату автобуса, начальную скорость и ускорение в первые 3 с.
2. Определите скорость, с которой автобус двигался после 3 с наблюдения.
3. Постройте графики зависимости ускорения, скорости, перемещения и координаты от времени для двух участков пути. Примите время наблюдения равным 6 с.
4. По графику зависимости перемещения от времени определите значения перемещений через каждую секунду от начала движения.

Запомните!

Таблица 1. *Формулы величин, характеризующих равнопеременное движение*

Ускорение	$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{\Delta t}$
Средняя скорость	$v_{ср} = \frac{v_0 + v}{2}$ (если направление движения не меняется)
Мгновенная скорость	$v_x = v_{0x} + a_x t$
Перемещение	$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$; $s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$; $s_x = \frac{v_0 + v}{2}t$
Координата тела	$x(t) = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$

Ответьте на вопросы

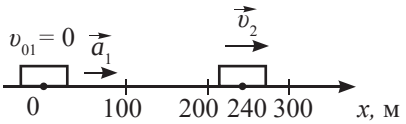
1. *Как определить пройденный путь при равнопеременном движении?*
2. *Как изменение направления движения влияет на перемещение тела и на пройденный путь?*

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Определите промежуток времени, за который автомобилист, начав движение с ускорением 10 м/с^2, догонит велосипедиста, движущегося по прямолинейной трассе со скоростью 10 м/с. В момент начала движения автомобиля расстояние между ними составляло 240 м. Укажите координату точки, в которой произойдет обгон.

АРМАНТВ базасы

Дано:	**Решение:**
$a_1 = 10$ м/с^2 $v_{01} = 0$ $v_2 = 10$ м/с $l = 240$ м	Изобразим на рисунке место расположения движущихся тел.
Δt – ? x – ?	Направим ось $0x$ по направлению движения тел, за начало отсчета координаты примем место расположения автомобиля.



Закон движения тел для равноускоренного движения $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$ для автомобиля примет вид:

$$x_1 = \frac{a_1 t^2}{2}, \qquad (1)$$

так как $x_{01} = 0$ и $v_{0x} = 0$.

Велосипедист движется равномерно, закон движения для таких тел имеет вид: $x = x_0 + v_x t$.

Для велосипедиста начальная координата $x_{02} = l$, проекция вектора v_{2x} положительная:

$$x_2 = l + v_2 t. \qquad (2)$$

В момент, когда автомобиль догонит велосипедиста их координаты станут равными:

$$x_1 = x_2. \qquad (3)$$

Подставим правые части уравнений (1) и (2) в выражение (3), получим равенство:

$$\frac{a_1 t^2}{2} = l + v_2 t.$$

Подставим числовые значения: $5t^2 = 240 + 10t$.

Решим квадратное уравнение, получим два корня:

$$t_1 = 8 \text{ с}, \; t_2 = -6 \text{ с}.$$

Второе решение не удовлетворяет условию задачи.

Определим координату, подставив значение времени в уравнение (2):

$$x = 240\,м + 10\frac{м}{с} \cdot 8\,с = 320\,м.$$

Ответ: $\Delta t = 8$ с; $x = 320$ м.

Контрольные вопросы

1. В чем различие формул расчета перемещения при равноускоренном и равнозамедленном движениях?

АРМАН-ПВ басылы

2. Какие величины связывает закон движения?
3. Почему закон движения для равнопеременного движения можно использовать для равномерного движения?

Упражнение 4

1. Самолет проходит взлетную полосу за 10 с, в момент отрыва от земли его скорость равна 100 м/с. Какой путь проходит самолет за это время?
2. За какое время автомобиль, двигаясь из состояния покоя с ускорением 60 см/с^2, пройдет путь 30 м?
3. Движения четырех материальных точек заданы следующими уравнениями (соответственно): $x_1 = 10t + 0{,}4t^2$; $x_2 = 2t - t^2$; $x_3 = -4t + 2t^2$; $x_4 = -t - 6t^2$. Выполните задания: а) напишите уравнение $\upsilon = \upsilon(t)$ для каждой точки; б) постройте графики этих зависимостей; в) опишите движение каждой точки.

Упражнение 4д

1. Вагон движется равнозамедленно, имея начальную скорость 54 км/ч и ускорение 0,3 м/с^2. Какое расстояние вагон пройдет до остановки? Ответ представьте в единицах SI.
2. Автомобиль начинает движение с постоянным ускорением 2 м/с^2. Определите пройденный путь на момент, когда его скорость станет равной 72 км/ч.
3. Движения двух автомобилей по шоссе заданы уравнениями $x_1 = 2t + 0{,}2t^2$ и $x_2 = 80 - 4t$. Опишите картину движения; определите: а) время и место встречи автомобилей; б) расстояние между ними через 5 с от начала отсчета времени; в) координату первого автомобиля в тот момент времени, когда второй находился в начале отсчета.

Экспериментальное задание

Скатывая тело с наклонной плоскости, определите перемещение тела за первую, вторую и третью секунды. Найдите соотношение между полученными результатами.

Проверьте, выполняется ли соотношение: $s_1 : s_2 : s_3 = 1 : 3 : 5$.

АРМАН-ПВ басылы

§ 5. Свободное падение тел, ускорение свободного падения

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *использовать кинематические уравнения равнопеременного движения для описания свободного падения;*
- *описывать движение тела, брошенного горизонтально, используя кинематические уравнения равнопеременного и равномерного движения;*
- *определять скорость движения тела, брошенного горизонтально;*
- *строить траекторию движения тела, брошенного горизонтально.*

Ответьте на вопросы

1. *Почему тела разной массы и формы падают с одной и той же высоты за разное время?*
2. *Почему при прыжке с парашютом можно добиться равномерного спуска на поверхность Земли (рис. 38)?*

Рис. 38. *Прыжок с парашютом*

Задание 1

Определите высоту падения тела за третью секунду, если за первую секунду он пролетел 5 м. Какое расстояние он пролетит за пятую секунду?

I. Падение тел. Опыт Галилея

Аристотель, наблюдая за падением тел в воздухе, пришел к выводу, что тяжелые тела падают быстрее, чем легкие: «Падение куска золота или свинца или другого тела, наделенного весом, происходит тем быстрее, чем больше его вес». Лист, упавший с той же высоты, что и яблоко, летит дольше.

Галилео Галилей усомнился в выводе Аристотеля и решил проверить его экспериментально. Для своих опытов он выбрал башню – самое высокое здание в Пизе, так как разницу в падении тел на малых высотах обнаружить сложно. Галилей бросал с башни тела одинаковой формы, но разной массы, для того, чтобы исключить влияние формы на сопротивление воздуха и скорость падения тел. В результате он пришел к выводу: «Если и есть различие во времени падения тел с одинаковой высоты, то оно так мало, что его невозможно зафиксировать».

Изучая падение тел по вертикали, Галилей установил соотношение перемещений, справедливое для равнопеременного движения:

$$h_1 : h_2 : h_3 \ldots = 1 : 3 : 5 \ldots$$

Отношение перемещений за каждую очередную секунду равно отношению ряда нечетных чисел при нулевом значении начальной скорости.

Измерения показали, что значение ускорения равно 9,8 м/с^2, оно направлено по вертикали вниз.

Эксперимент

1. Два одинаковых листа бумаги отпустите с одной и той же высоты, определите время падения листов.
2. Сомните один лист в виде шарика и вновь отпустите со вторым листом с одной и той же высоты. Сравните их время падения.
3. Сомните второй лист и повторите опыт.
4. Объясните, почему время падения листов одинаковой массы отличается. Сделайте вывод.

АРМАН-ПВ бастасы

II. Свободное падение тел. Ускорение свободного падения тел на Земле и других небесных телах

Падение тел в безвоздушном пространстве впервые наблюдал И. Ньютон. Аналогичный опыт можно провести с использованием специальной толстостенной трубки, один конец которой запаян, на другом установлен кран. Внутрь трубки помещены дробинка, пробка и перо. Откачав воздух из трубки, перевернем ее. Все перечисленные тела упадут на дно трубки одновременно *(рис. 39)*. Следовательно, ускорение тел не зависит от их массы. В безвоздушном пространстве все тела и частицы: капли дождя, пылинки, камни, листья, – стремительно падали бы на поверхность Земли с одинаковым ускорением.

Ускорение свободного падения обозначили буквой g. Более точные измерения показали, что вблизи поверхности Земли на различных ее широтах ускорение свободного падения тел различное: на полюсах $g_п = 9,83\frac{м}{с^2}$, на средних широтах $g = 9,81\frac{м}{с^2}$, на экваторе $g_э = 9,78\frac{м}{с^2}$.

Свободное падение **– это движение тел в безвоздушном пространстве под действием силы тяжести.**

Ускорения свободного падения на других небесных телах отличаются по значению от ускорения на Земле.

Таблица 2. *Ускорение свободного падения на планетах*

Планета, небесное тело	Ускорение свободного падения, м/с²	Планета, небесное тело	Ускорение свободного падения, м/с²
Меркурий	3,7	Сатурн	10,6
Венера	8,9	Уран	8,7
Земля	9,8	Нептун	11,6
Марс	3,7	Солнце	274
Юпитер	24,9	Луна	1,6

Ответьте на вопросы

1. *Почему шар и развернутый лист падают за разное время?*
2. *Почему бумажные шарики падают практически одновременно?*
3. *Почему развернутые листы могут упасть как одновременно, так и за разное время?*

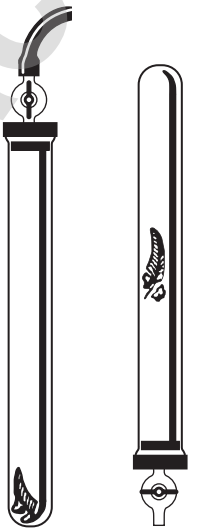


Рис. 39. *Падение тел разной массы в безвоздушном пространстве*

Задание 2

Капли дождя падают со скоростью, обычно не превышающей 7–8 м/с. Какую скорость имели бы капли дождя у поверхности Земли при падении в безвоздушном пространстве? Высоту дождевых облаков примите равной 2 км. Сравните со скоростью пули пневматической винтовки 240 м/с.

АРМАНТВ басПасы

III. Расчет скорости перемещения и координаты свободно падающего тела

Свободное падение тела является примером прямолинейного равнопеременного движения, следовательно, все формулы, изученные ранее, справедливы и для этого вида движения. Отличие формул заключается в том, что перемещение по вертикали принято называть высотой и обозначать буквой h. При движении по вертикали ось координат, как правило, обозначают $0y$ и, соответственно, вводят координату y (таблица 3).

Задание 3

Для шара, изображенного на *рисунке 40,* запишите формулы расчета модулей кинематических величин: скорости, перемещения, координаты тела. На каком участке траектории шар совершает равноускоренное движение, на каком – равнозамедленное?

Таблица 3

Величина	Вид движения	
	Равнопеременное	Свободное падение – частный случай равнопеременного движения
Ускорение	$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{\Delta t}$	$g = 9,81 \frac{м}{с^2}$
Мгновенная скорость	$v_x = v_{0x} + a_x t$	$v_y = v_{0y} + g_y t$
Перемещение	$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$; $s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$	$h_y = v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2}$; $h_y = \frac{v_y^2 - v_{0y}^2}{2g_y}$
Координата тела, закон движения	$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$	$y(t) = y_0 + v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2}$

IV. Влияние направления начальной скорости свободно падающего тела на траекторию его движения и формулы расчета скорости и перемещения

Движение тела с ускорением свободного падения называют свободным падением независимо от направления его начальной скорости.

Тело, брошенное вертикально вверх. Пусть тело брошено вертикально вверх *(рис. 40)* с начальной скоростью $\vec{v}_0$. Тело движется вверх с убывающей скоростью, останавливается, затем движется вниз равноускоренно.

Если направить координатную ось $0y$ вверх, то проекция ускорения g_y будет отрицательной.

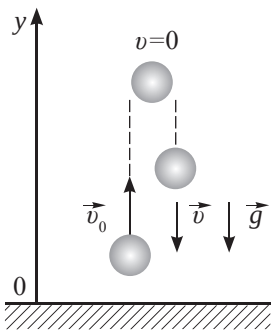


Рис. 40. *Свободное падение тела, брошенного вертикально вверх*

АРМАН-ПВ бастары

Формулы расчета скорости и перемещения в модулях примут вид: $v_y = v_0 - gt$; $h_y = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$.

Закон движения в этом случае запишется в виде:

$$y = y_0 + v_0 t - \frac{gt^2}{2}.$$

В записанных выше формулах знаки проекций v_y и h_y будут положительными, если тело летит вверх, отрицательными, если тело падает вниз.

Тело, брошенное под углом к горизонту. Тело, брошенное под некоторым углом к горизонту *(рис. 41)*, свободно падает, так как движется под действием только силы тяжести. Формулы расчета скорости, перемещения и координаты вдоль оси $0y$ определяют по формулам свободного падения с использованием составляющей начальной скорости по указанной оси:

$$v_{0y} = v_0 \sin\alpha;$$

$$v_y = v_{0y} - gt = v_0 \sin\alpha - gt;$$

$$h_y = (v_0 \sin\alpha)t - \frac{gt^2}{2};$$

$$y(t) = (v_0 \sin\alpha)t - \frac{gt^2}{2}.$$

Тело, брошенное горизонтально. В случае, когда тело брошено горизонтально, составляющая вектора начальной скорости по оси $0y$ имеет нулевое значение *(рис. 42)*.

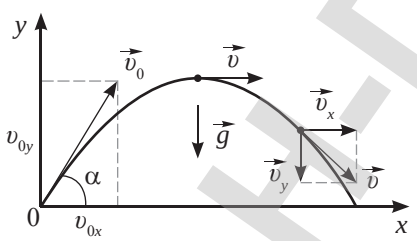


Рис. 41. *Свободное падение тела, брошенного под углом к горизонту*

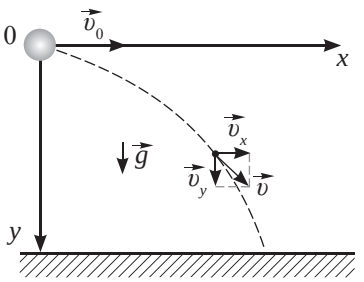


Рис. 42. *Свободное падение тела, брошенного горизонтально*

Если ось $0y$ направлена вертикально вниз, то скорость движения и перемещение по вертикали будут определяться по формулам:

$$v_y = gt; \quad h_y = \frac{gt^2}{2}.$$

Движение тела по оси $0x$ рассчитывают по формулам равномерного движения. По оси $0x$ движение происходит без ускорения, скорость остается постоянной величиной.

Задание 4

Изобразите графики зависимости скорости и перемещения от времени:
1) для свободно падающего тела;
2) для тела, брошенного вертикально вверх.

АРМАН-ПВ басылы

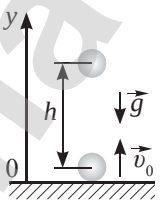
ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Тело брошено вертикально вверх со скоростью 20 м/с. Запишите закон движения тела. Определите промежуток времени, через который тело окажется на высоте 15 м от уровня броска.

Дано:
$v_0 = 20$ м/с
$h = 15$ м

$y(t)$ –?
Δt – ?

Решение:
Изобразим на рисунке тело и векторы величин, характеризующих его движение. Направим ось $0y$ по направлению начальной скорости. Запишем закон движения для равнопеременного движения:



$$y(t) = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}.$$

Если за начало отсчета координаты принять место броска тела, то: $y_0 = 0$.
С учетом знаков проекции закон движения примет вид:

$$y = v_0 t - \frac{g t^2}{2}.$$

Подставив значения скорости и ускорения, получим закон движения для брошенного тела: $y = 20t - 5t^2$.
Полученный закон движения используем для определения времени, через которое тело окажется на указанной высоте:

$$y = h;$$
$$15 = 20t - 5t^2.$$

Решим квадратное уравнение относительно t, получим два корня:

$$t_1 = 1 \text{ с}; \; t_2 = 3 \text{ с}.$$

Тело будет находиться на высоте 15 м дважды: во время подъема через 1 с после броска и во время спуска через 3 с.

Ответ: $t_1 = 1$ с; $t_2 = 3$ с.

Контрольные вопросы

1. Как зависит время падения тел от их массы?
2. К какому виду движения относится падение тел?
3. Какое движение называют свободным падением?
4. Как ускорение свободного падения изменяется в зависимости от широты местности?
5. Можно ли считать движение тела, брошенного под углом к горизонту, свободным падением?

АРМАН-ПВ запасы

Упражнение 5

1. Тело свободно падает с высоты 5 м без начальной скорости. С какой скоростью тело достигнет поверхности Земли? Принять $g = 10$ м/с^2.
2. Камень брошен вертикально вверх со скоростью 72 км/ч. На какую максимальную высоту поднимется камень?
3. Тело брошено вертикально вверх с высоты 20 м с начальной скоростью 180 м/мин. На какой высоте оно окажется через 2 с после начала движения?

Упражнение 5д

1. Тело, свободно падая из состояния покоя, достигнет поверхности Земли за 2 с. Определите высоту падения этого тела.
2. Мяч брошен с начальной скоростью 200 дм/с под углом 30° к горизонту. Чему равна максимальная высота подъема мяча?
3. Определите высоту здания, с которого тело со скоростью 2 м/с было брошено горизонтально, если оно упало на землю в 4 метрах от здания.

Экспериментальное задание

Используя секундомер и сантиметровую ленту, определите ускорение свободного падения. Что необходимо изменить в постановке опыта для повышения точности измерения?

АРМАН-ПВ баспасы

§ 6. Криволинейное движение, равномерное движение материальной точки по окружности. Линейная и угловая скорости

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *описывать равномерное движение тела по окружности, используя понятия линейных и угловых величин;*
- *применять формулу взаимосвязи линейной и угловой скорости при решении задач.*

I. Криволинейное движение. Пройденный путь и путевая скорость

Траектория движения тел может быть различной и представлять собой любую кривую линию *(рис. 43)*.

Движение тела называют криволинейным, если траекторией его движения является кривая линия.

Для определения пройденного пути и путевой скорости в этом случае используют формулы прямолинейного равномерного и неравномерного движений. Определяя среднее значение путевой скорости, находят отношение пройденного пути к промежутку времени, за который этот путь пройден. *Пройденный путь – это длина траектории.*

Рис. 43. *Лыжная трасса в национальном центре лыжного спорта города Щучинск*

Любую кривую линию легко представить как сочетание дуг окружностей разного радиуса.

Ответьте на вопросы

1. *Почему крылья велосипеда, предотвращающие забрызгивание велосипедиста, различаются по размеру на переднем и заднем колесе (рис. 44)?*

Рис. 44. *К вопросу 1. Велосипед казахстанского производства, г. Алматы*

2. *Почему число оборотов педалей у детского велосипеда должно быть больше, чем у спортивного велосипеда при одинаковой скорости движения?*
3. *Каким образом осуществляются различные режимы работы стиральной машины?*

АРМАНПВ баспасы

II. Равномерное движение тела по окружности. Период и частота

Рассмотрим движение тел по окружности. Если тело движется по окружности с постоянной по значению скоростью, то на каждый оборот оно потратит одно и тоже время.

Промежуток времени, за которое тело совершает один полный оборот, называют *периодом.*

$$T = \frac{t}{N}, \qquad (1)$$

где T – период, t – время, за которое совершено N оборотов.

Единицей измерения периода в SI является секунда: [T] = 1 с.

Величину, обратную периоду, называют частотой:

$$\nu = \frac{1}{T}. \qquad (2)$$

***Частота* – это физическая величина, определяющая число оборотов, совершенных телом за единицу времени.**

$$\nu = \frac{N}{t}. \qquad (3)$$

За единицу измерения частоты в SI принята единица, обратная секунде: $[\nu] = 1\ с^{-1}$ или 1 Гц (герц).

III. Связь линейной скорости с периодом и частотой

При равномерном движении тела по окружности *(рис. 45)* путевая скорость равна: $\upsilon = \frac{l}{t}$.

Путевую скорость принято называть *линейной*. Если тело совершает один полный оборот, то пройденный им путь равен длине окружности: $l = 2\pi R$, а время периоду T, тогда формула линейной скорости примет вид: $\upsilon = \frac{2\pi R}{T}$.

Задание 1

Из формулы (1) и (3) получите формулы расчета времени движения и числа оборотов, совершенных телом.

Ответьте на вопрос

Какие правила из курса математики вы использовали для выполнения задание 1? Сформулируйте их.

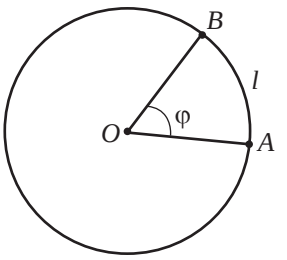


Рис. 45. *Угловое перемещение φ и пройденный путь l при движении тела по окружности радиусом R.*

Кусочки науки

Длина дуги l – величина прямо пропорциональная центральному углу φ, выраженному в радианах: $l = \varphi R$.

АРМАН-ПВ баспасы

Заменив период частотой, получим:

$$v = 2\pi R\nu .$$

IV. Угловая скорость и угловое перемещение при равномерном движении по окружности

Если тело, двигаясь по окружности, переместилось из точки *A* в точку *B*, то указать это перемещение можно углом φ *(рис. 45)*.

Угол поворота радиуса, соединяющего движущееся тело с центром окружности, называют *угловым перемещением*.

Угловое перемещение в SI измеряют в радианах:

$$[\varphi] = 1 \text{ рад}.$$

Быстроту вращения тела вокруг центра окружности характеризует *угловая скорость*.

***Угловая скорость* – физическая величина, равная отношению углового перемещения к промежутку времени, за который это перемещение совершено.**

$$\omega = \frac{\varphi}{t},$$

где ω – угловая скорость.

Единица измерения угловой скорости в SI:

$$[\omega] = 1 \text{ рад/с}.$$

V. Связь угловой скорости с периодом, частотой и линейной скоростью

Если тело совершит один полный оборот, то радиус, соединяющий его с центром окружности, опишет полный угол $\varphi = 2\pi$. Время, за которое совершается один оборот, – *T*. Формула расчета угловой скорости примет вид:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Заменим период частотой, получим формулу связи угловой скорости с частотой:

$$\omega = 2\pi\nu .$$

Задание 2

1. Определите длины дуг окружности радиусом 1 м, соответствующих угловым перемещениям:
   $\varphi_1 = \pi/4$;
   $\varphi_2 = 3{,}14$ рад;
   $\varphi_3 = 90°$.
2. Определите угловое перемещение тела по окружности радиусом 2 м, соответствующее длине дуги 6,28 м.

Задание 3

Определите угловую скорость часовой и минутной стрелки часов *(рис. 46)*. Во сколько раз отличаются их значения? Во сколько раз отличаются линейные скорости концов стрелок? Почему отношение угловых и линейных скоростей отличаются?

Рис. 46. *К заданию 3*

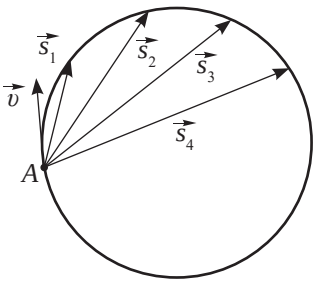


Рис. 47. *Перемещение тела, движущегося по окружности*

АРМАНПВ баспасы

Сравнение полученных формул с формулами расчета линейной скорости приводит к соотношению скоростей:

$$v = \omega R.$$

Полученная формула позволяет перейти от угловых величин к линейным.

VI. Направление перемещения и линейной скорости

Из курса 7 класса нам известно, что перемещение – это направленный отрезок, соединяющий начальное положение тела с конечным. Перемещение при движении по окружности представляет собой хорду *(рис. 47)*. Вектор скорости перемещения сонаправлен с вектором перемещения, так как $\vec{v} = \frac{\vec{s}}{t}$, где t – скалярная величина. При таком рассуждении указать направление скорости движения тела весьма сложно, поэтому для криволинейного движения введено понятие «мгновенная скорость».

Мгновенная скорость **– это скорость тела в данный момент времени.**

Чем меньше рассматриваемый промежуток времени, тем меньше перемещение, тем меньше отличие хорды от дуги окружности. Для очень малого участка пути хорда, вдоль которой перемещается тело, не отличается от касательной к окружности. Поэтому направлением мгновенной скорости считают направление касательной в точке траектории, где в данный момент находится движущееся тело *(рис. 48)*. Ярким доказательством тому является движение горящих частиц фейерверка «Огненное колесо» *(рис. 49)*.

При движении тела по окружности направление скорости меняется. Изменение скорости характеризуется ускорением. Следовательно, движение по окружности не является

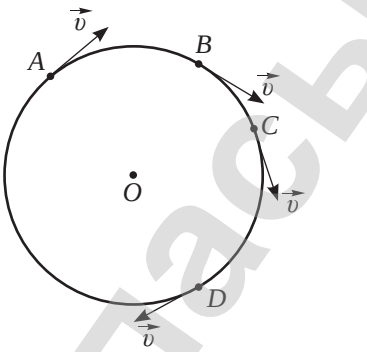


Рис. 48. *Мгновенная скорость направлена по касательной к траектории движения*

Ответьте на вопросы

1. *Почему угловые величины более удобны для описания движения тела по окружности?*
2. *Почему движение по окружности не является равномерным движением?*

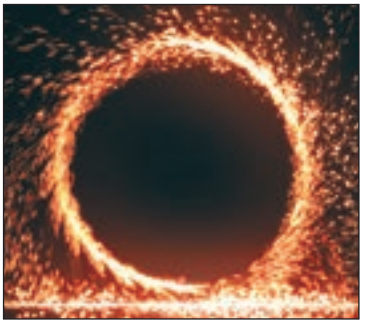


Рис. 49. *Фейерверк «Огненное колесо»*

АРМАН-ПВ баспасы

равномерным. Поэтому движение по окружности с постоянной по величине скоростью называют *равномерным движением по окружности*. Слово «равномерное» говорит о том, что величина линейной скорости при движении тела остается постоянной.

Контрольные вопросы

1. Какое движение называют криволинейным?
2. Что такое период?
3. Как определяется частота?
4. Что такое угловое перемещение, угловая скорость?
5. Какую скорость называют мгновенной?
6. Как направлена мгновенная скорость?

Упражнение 6

1. Период вращения платформы карусельного станка равен 1/15 мин. Определите линейную скорость крайних точек платформы, удаленных от оси вращения на 20 дм.
2. Материальная точка, двигаясь равномерно по окружности радиусом 50 см, за 10 с прошла половину ее длины. Определите линейную скорость движения этой точки. Ответ представьте в единицах SI и округлите до сотых.
3. Сколько оборотов сделает колесо, имеющее угловую скорость 4 рад/с за 50 с? Ответ округлите до целого числа.

Упражнение 6д

1. Частота вращения винта самолета 1800 об/мин. Какой путь пролетел самолет, двигаясь прямолинейно и равномерно, за время, в течение которого винт сделал $5 \cdot 10^4$ оборотов при скорости полета 270 км/ч? Ответ выразите в километрах.
2. При увеличении радиуса круговой орбиты искусственного спутника Земли в 4 раза период его обращения

Рис. 50. *К упражнению 6д.3*

АРМАН-ПВ баспасы

увеличился в 8 раз. Во сколько раз изменилась скорость движения спутника по орбите? Ответ обоснуйте.

3. Во сколько раз отличаются угловые скорости стрелок секундомера? Какие промежутки времени они измеряют *(рис. 50)*?

Экспериментальное задание

1. Проследите за движением комков грязи и камней, которые срываются с протекторов колес машины (велосипеда). Какое направление имеет скорость их движения в момент отрыва от колеса? Приведите примеры, аналогичные тому, что вы пронаблюдали.
2. Подготовьте сообщение на тему: «Устройство и принцип действия курвиметра» *(рис. 51 а, б)*. Изготовьте самодельный курвиметр для измерения расстояний на картах. Проверьте протяженность автомобильной дороги между населенными пунктами Казахстана и стран мира. Выясните, можно ли измерить курвиметром длину криволинейной траектории на местности.

а)

б)

Рис. 51. *Курвиметр: а) курвиметр для измерения расстояний на картах; б) строительный курвиметр*

АРМАН-ПВ басылы

§ 7. Центростремительное ускорение

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *применять формулы центростремительного ускорения при решении задач.*

Направление мгновенной скорости при движении по окружности меняется, это свидетельствует об ускоренном движении тела. Выясним, куда направлен вектор ускорения.

I. Направление ускорения при движении по окружности

Вектор ускорения всегда сонаправлен с вектором изменения скорости тела $\vec{a} \uparrow\uparrow \Delta\vec{v}$. Это следует из равенства $\vec{a} = \dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$, где Δt – скалярная величина.

Определим направление этих векторов построением, учитывая, что

$$\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1 .$$

Переместим вектор $\vec{v}_2$, не изменяя его направления в точку *A (рис. 54)*. Соединим концы векторов $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$, полученный отрезок направим в сторону уменьшаемого вектора $\vec{v}_2$, получим разность векторов $\Delta\vec{v}$.

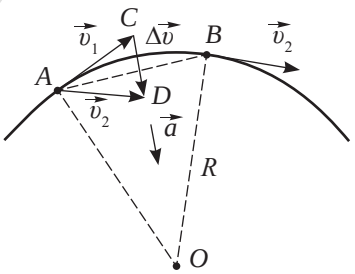


Рис. 54. *Ускорение и вектор изменения скорости направлены к центру окружности*

По построению вектора $\Delta\vec{v}$ и $\vec{a}$ направлены внутрь окружности. Они будут направлены к центру окружности в том случае, когда точка *B* приблизится к точке *A* и дуга окружности сольется с хордой. В этом случае ускорение будет направлено перпендикулярно касательной в точке *A* или вектору мгновенной скорости

Ответьте на вопросы

1. *Почему радиус вращения сидений возрастает при увеличении скорости вращения цепной карусели (рис. 52)?*

Рис. 52. *Цепная карусель в центральном парке Алматы*

2. *Почему машину заносит на крутых поворотах (рис. 53)?*

Рис. 53. *Занос машины, движущейся с большой скоростью на крутом повороте*

АРМАН-ПВ баспасы

(рис. 55). Ускорение тела, движущегося по окружности, назвали *центростремительным*.

Ускорение определяет вид движения тела.

Если направление ускорения перпендикулярно направлению скорости, то тело движется по окружности.

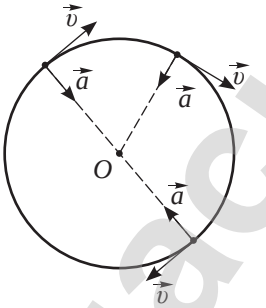


Рис. 55. *Вектор ускорения направлен перпендикулярно скорости в каждой точке траектории*

II. Модуль центростремительного ускорения

Рассмотрим на *рисунке 54* треугольники ΔOAB и ΔACD. Они подобные, так как оба равнобедренные и углы при вершинах равны, как острые углы с взаимно перпендикулярными сторонами. Запишем соотношение соответствующих сторон треугольников:

$$\frac{R}{\upsilon} = \frac{s}{\Delta\upsilon},$$

откуда

$$\Delta\upsilon = \frac{\upsilon \cdot s}{R},$$

где s – перемещение, R – радиус окружности.

Полученное выражение подставим в формулу расчета ускорения $a = \frac{\Delta\upsilon}{\Delta t}$:

$$a = \frac{\upsilon \cdot s}{R \cdot \Delta t}.$$

При малом значении промежутка времени Δt отношение $\frac{s}{\Delta t}$ равно по модулю мгновенной скорости υ, следовательно:

$$a = \frac{\upsilon^2}{R}. \qquad (1)$$

III. Связь ускорения с периодом, частотой и угловой скоростью

Подставим в формулу расчета ускорения формулу связи скорости с периодом $\upsilon = \frac{2\pi R}{T}$, получим:

$$a = \frac{4\pi^2}{T^2} R. \qquad (2)$$

Ответьте на вопросы

1. *Почему движение по окружности называют равномерным?*
2. *Почему ускорение тела, движущегося по окружности, называют центростремительным?*
3. *Почему ускорение, направленное перпендикулярно скорости, не влияет на числовое значение скорости?*

Задание 1

Установите связь единиц измерения величин, характеризующих движение тела по окружности. В каких единицах измеряют ускорение?

Задание 2

Определите ускорения, с которыми вокруг Земли движутся Луна и спутник связи, находящийся на геостационарной орбите радиусом 35 786 км.

АРМАН-ПВ баспасы

Учитывая связь периода с частотой $\nu = \frac{1}{T}$, запишем формулу в виде:

$$a = 4\pi^2\nu^2 R. \quad (3)$$

В полученных формулах $\frac{4\pi^2}{T^2} = 4\pi^2\nu^2 = \omega^2$, следовательно, ускорение связано с угловой скоростью соотношением:

$$a = \omega^2 R. \quad (4)$$

Нам известно соотношение линейной и угловой скорости $\upsilon = \omega R$, с учетом которой формулу (4) можно записать в виде:

$$a = \omega \cdot \upsilon. \quad (5)$$

Интересно знать!

От того, на какой высоте летают спутники, зависит скорость их движения. По мере приближения к Земле гравитация становится все сильнее, и движение ускоряется. Например, спутнику НАСА Aqua требуется около 99 минут, чтобы облететь вокруг нашей планеты на высоте около 705 км, а метеорологическому аппарату, удаленному на 35 786 км от поверхности, для этого потребуется 23 часа 56 минут и 4 секунды *(рис. 56)*. На расстоянии 384 403 км от центра Земли Луна завершает один оборот за 28 дней.

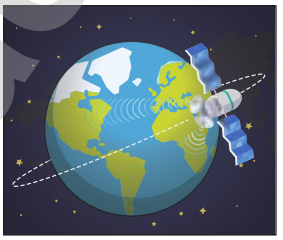


Рис. 56. *Спутники Земли на геостационарной орбите*

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Линейная скорость тела, движущегося по окружности, увеличилась в 2 раза, радиус вращения уменьшился в 3 раза. Определите, во сколько раз возросло ускорение тела.

Дано:

$\upsilon_2 = 2\upsilon_1$

$R_2 = \frac{R_1}{3}$

$\frac{a_2}{a_1} - ?$

Решение:

Выразим центростремительное ускорение через данные величины:

$$a_1 = \frac{\upsilon_1^2}{R_1}; \quad a_2 = \frac{\upsilon_2^2}{R_2}.$$

Подставим данные соотношения величин в формулу расчета ускорения a_2:

$$a_2 = \frac{(2\upsilon_1)^2}{\frac{R_1}{3}} = \frac{4\upsilon_1^2}{R_1} \cdot 3 = 12\frac{\upsilon_1^2}{R_1} = 12a_1.$$

Следовательно: $\frac{a_2}{a_1} = 12$.

Ответ: в 12 раз.

АРМАН-ПВ басылы

Контрольные вопросы

1. Как направлено ускорение тела, движущегося по окружности равномерно?
2. Можно ли считать центростремительное ускорение постоянным?
3. Чему равен модуль центростремительного ускорения?
4. Как выражается центростремительное ускорение через период обращения, частоту обращения, угловую скорость?

Упражнение 7

1. Определите центростремительное ускорение материальной точки, движущейся равномерно по окружности радиусом 50 см со скоростью 7,2 км/ч.
2. С какой скоростью автомобиль должен проходить середину выпуклого моста радиусом 0,04 км, чтобы центростремительное ускорение равнялось ускорению свободного падения? Принять $g = 10$ м/с^2.
3. Две материальные точки движутся по окружности радиусами R_1 и R_2, причем $R_1 = 2R_2$. Сравните их центростремительные ускорения в случаях: а) равенства их скоростей; б) равенства их периодов.
4. Определите расстояние от центра Земли, на котором движется искусственный спутник Земли с ускорением 8 м/с^2 и скоростью 8 км/с. Сколько времени ему необходимо для одного полного оборота?

Упражнение 7д

1. Скорость точек экватора Солнца при его вращении вокруг своей оси – 2 км/с. Определите центростремительное ускорение точек экватора. Радиус Солнца $6{,}96 \cdot 10^8$ м. Ответ представьте в единицах SI и округлите до тысячных.
2. Маховое колесо диаметром 1,8 м совершает 50 оборотов в минуту. Определите ускорение точек на ободе колеса. При вычислениях принять $\pi^2 = 10$.
3. Определите в SI длину лопасти винта вертолета, если винт делает 50 оборотов за 10 секунд, и центростремительное ускорение точек на конце винта равно 2 км/с^2.

АРМАН-ПВ баспасы

Творческое задание

Таблица 4. Периоды обращения планет Солнечной системы и их расстояния от Солнца

Планета	Среднее расстояние от Солнца, в млн км	Период вращения вокруг Солнца, в земных сутках или годах
Меркурий	58	88 суток
Венера	108	224,7 суток
Земля	150	365,26 суток
Марс	228	687 суток
Юпитер	778	11,86 лет
Сатурн	1429	29,46 лет
Уран	2871	84,01 лет
Нептун	4504	164,8 лет

Используя данные таблицы «Периоды обращения планет Солнечной системы и их расстояния от Солнца», и, предположив, что планеты движутся по окружности, рассчитайте их среднюю орбитальную скорость и ускорение. Результаты занесите в таблицу:

Таблица 5. Орбитальные скорости и ускорения планет

Планета	Среднее расстояние от Солнца, м	Период обращения вокруг Солнца, с	Орбитальная скорость, м/с	Ускорение, м/с^2

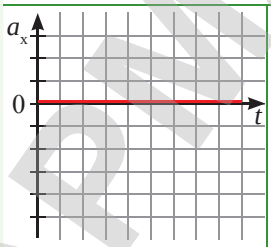
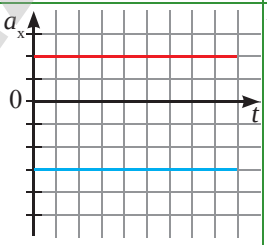
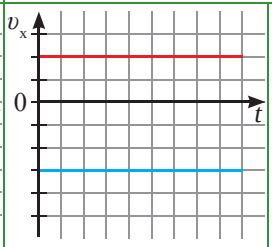
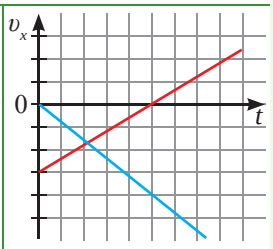
Проведите сравнительный анализ полученных результатов.

АРМАН-ПВ баспасы

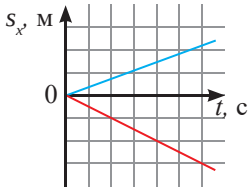
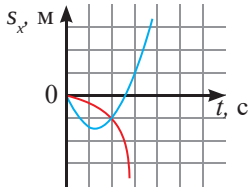
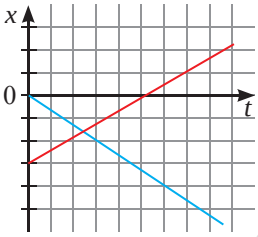
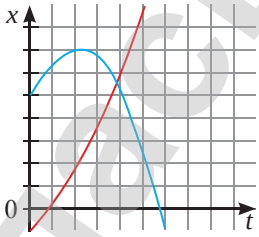
Итоги главы 1

Формулы сложения скоростей и перемещений	Формулы равномерного движения	Формулы равнопеременного движения	Формулы равномерного движения по окружности
$\vec{v} = \vec{v}_{отн} + \vec{v}_{пер}$ $\vec{s} = \vec{s}_{отн} + \vec{s}_{пер}$	$v_x = \frac{s_x}{t}$ $v_x = \frac{x - x_0}{t}$ $s_x = v_x \cdot t$ $x = x_0 + s_x$ $x = x_0 + v_x \cdot t$	Ускорение $a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{\Delta t}$ Мгновенная скорость $v_x = v_{0x} + a_x \cdot t$ Средняя скорость (если направление движения не меняется) $v_{ср} = \frac{v_{0x} + v_x}{2}$ Перемещение $s_x = v_{ср} t$ $s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$ $s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$ Закон движения $x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$	Период $T = \frac{t}{N}$ Частота $\nu = \frac{N}{t}$; $\nu = \frac{1}{T}$ Скорость $v = \frac{l}{t}$; $v = \frac{2\pi R}{T}$; $v = 2\pi R\nu$ Угловая скорость $\omega = \frac{\varphi}{t}$; $\omega = \frac{2\pi}{T}$; $\omega = 2\pi\nu$ Связь линейной скорости с угловой скоростью $v = \omega R$ Ускорение $a = \frac{v^2}{R}$; $a = \frac{4\pi^2}{T^2} R$ $a = 4\pi^2\nu^2 R$; $a = \omega^2 R$; $a = \omega \cdot v$
Связь перемещения с координатами тела $s_x = x - x_0$ $s_y = y - y_0$ $s = \sqrt{s_x^2 + s_y^2}$			
Средняя скорость неравномерного движения $v_{ср} = \frac{s_1 + s_2 + \ldots + s_n}{t_1 + t_2 + \ldots + t_n}$			

Графики зависимости ускорения, скорости, перемещения и координаты от времени для равномерного и равнопеременного движений

Равномерное движение	Равнопеременное движение	Равномерное движение	Равнопеременное движение
ускорение		**скорость**	
			
$a = 0$	$a_x = const$	$v_x = const$	$v_x = v_{0x} \pm a_x t$

АРМАН-ПВ басылы

Равномерное движение	Равнопеременное движение	Равномерное движение	Равнопеременное движение
перемещение		координата	
			
$s_x = v_x t$	$s_x = v_x t \pm \frac{a_x t^2}{2}$	$x = x_0 + v_x t$	$x = x_0 + v_x t + \frac{a_x t^2}{2}$

Глоссарий

Кинематика – это раздел механики, в котором движение тел рассматривается без выяснения причин этого движения.

Мгновенная скорость – это скорость тела в данный момент времени.

Период – это промежуток времени, за которое тело совершает один полный оборот.

Проекция вектора – это отрезок, соединяющий точку проекции начала вектора с точкой проекции конца вектора.

Прямолинейное равнопеременное движение – это движение тела, при котором вектора ускорения и скорости направлены вдоль одной прямой, при этом значение ускорения не меняется.

Свободное падение – это движение тел в безвоздушном пространстве с ускорением свободного падения.

Угловое перемещение – это угол поворота радиуса окружности, соединяющего движущееся тело с центром окружности.

Угловая скорость – это физическая величина, равная отношению углового перемещения к промежутку времени, за который совершено это перемещение.

Ускорение – физическая величина, характеризующая быстроту изменения скорости движения тела. Определяется отношением изменения скорости к промежутку времени, за который это изменение произошло.

Частота – это физическая величина, определяющая число оборотов, совершенных телом за единицу времени.

АРМАН-ПВ бастасы

Глава 2

ОСНОВЫ АСТРОНОМИИ

В разделе «Основы кинематики» мы рассмотрели движение тел на нашей планете, научились указывать место их расположения в пространстве с использованием декартовой системы координат, изучили законы движения.
Давайте расширим границы познания, выйдем за пределы нашей планеты. Здесь мы столкнемся со множеством проблем. Например, как указать координату небесного тела, как определить положение небесного тела в любой момент времени, относительно какой системы отсчета выполнять расчеты, как найти в бесчисленном множестве звезд одну определенную звезду. На эти вопросы мы получим ответы в главе «Основы астрономии».

Изучив подраздел, вы сможете:

- различать абсолютную и видимую звездные величины;
- называть факторы, влияющие на светимость звезд;
- называть основные элементы небесной сферы;
- определять небесные координаты звезд по подвижной карте звездного неба;
- объяснять различия в кульминациях светил на различных широтах;
- сопоставлять местное, поясное и всемирное время;
- объяснять движение небесных тел на основе законов Кеплера;
- объяснять использование метода параллакса для определения расстояний или размеров тел в Солнечной системе.

АРМАН-ПВ баспасы

§ 8. Звездное небо

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *различать абсолютную и видимую звездные величины;*
- *называть факторы, влияющие на светимость звезд.*

Ответьте на вопросы

1. *Почему звезды светят по-разному?*
2. *Можно ли утверждать, что самыми большими по размеру являются яркие звезды?*
3. *Можно ли утверждать, что яркие звезды расположены ближе всего к Солнечной системе?*

Запомните!

1 св. год ≈ 1 год · 3 · 10^8 м/с = = 365 · 24·3600 с · 3 · 10^8 м/с = = 9,46 · 10^{15} м.

I. Строение и масштабы Вселенной

Вселенная – это бесконечный мир, в котором разворачиваются все видимые, невидимые и даже трудно представляемые для нас события.

Планета Земля входит в состав Солнечной системы. Солнце является одной из звезд нашей галактики Млечный Путь, оно находится в галактической плоскости на расстоянии около 2,8·10^4 световых лет от центра Галактики *(рис. 57)*.

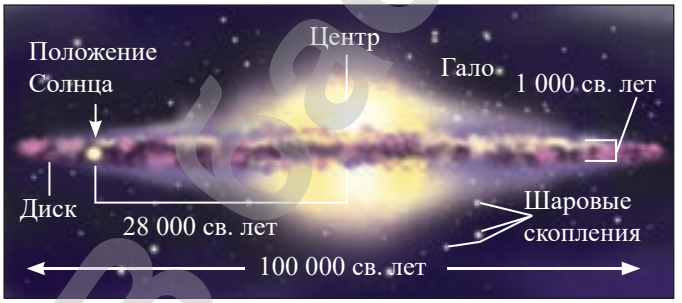


Рис. 57. *Солнечная система находится в 28 000 св. годах от центра нашей галактики Млечный Путь*

Световой год **– это расстояние, на которое свет распространяется в вакууме за один земной год.**

В нашей галактике около 10^{12} разнообразных звезд, часть из которых образует шаровые и рассеянные звездные скопления *(рис. 58, 59)*. Диаметр диска Млечного Пути около 10^5 световых лет или приблизительно 9,5·10^{17} км. У Млечного Пути есть спутники, два из которых: Большое и Малое Магеллановы Облака, – можно рассмотреть невооруженным глазом на небосводе южного полушария Земли *(рис. 60)*. Расстояние до них составляет около 1,5·10^5 световых лет. Благодаря современным телескопам во Вселенной обнаружены миллиарды галактик.

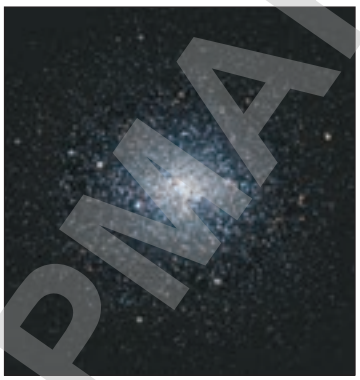


Рис. 58. *Шаровое скопление звезд в гало Млечного Пути*

АРМАН-ПВ бастары

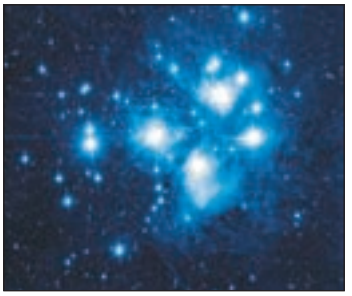


Рис. 59. *Рассеянное скопление Плеяды в 440 св. годах от Солнечной системы*

Рис. 60. *Магеллановы Облака, сняты вблизи обсерватории Параналь, Чили, 2009 год*

По внешнему виду галактики условно разделены на три вида: эллиптические, спиралевидные и неправильные. Наша Галактика относится к спиралевидным галактикам *(рис. 61)*.

Рис. 61. *Млечный Путь – спиралевидная галактика*

Галактики, как и звезды, образуют скопления, содержащие до сотен и тысяч галактик. Вселенная состоит из скоплений галактик, она безгранична.

В галактиках наблюдаются диффузные и планетарные газопылевые туманности. Там, где нет ни звезд, ни туманностей, пространство заполнено межзвездным газом и пылью, его пронизывают космические лучи, состоящие из потоков заряженных частиц.

Вселенная – это весь существующий материальный мир, состоящий из планет, звезд, межзвездного вещества и космических лучей.

Задание 1

Выразите расстояние до ближайшего к Солнечной системе рассеянного скопления Плеяды в километрах, метрах.

Интересно знать!

Согласно опубликованным в сентябре 2014 года данным, по одной из моделей, через 4 млрд лет Млечный Путь «поглотит» Большое и Малое Магеллановы Облака, а через 5 млрд лет сам будет «поглощен» галактикой Туманность Андромеды.

(По материалам сайта https://ru.wikipedia)

II. Созвездия. Название созвездий

Характерные группы ярких звезд в давние времена называли *созвездиями*. Им давали имена персонажей древних мифов и легенд, например: Андромеда, Пегас, Овен, Дракон, Кассиопея *(рис. 62)*.

Рис. 62. *Созвездие Кассиопея*

АРМ НПБ бастасы

В XVI–XVII вв., благодаря развитию мореходства, звезды южного полушария были также сгруппированы в созвездия. На небе появились такие созвездия, как Корма, Киль, Паруса, Микроскоп, Телескоп, Циркуль, Компас.

В разное время и у разных народов деление неба на созвездия различалось. Так, в древнем Китае небо делили на 4 части, в каждой из которой было по 7 созвездий. Отличались и названия созвездий, например: Большую Медведицу степные казахи называли «Семеро разбойников», русские – «Большим ковшом», эстонцы – «Телегой», монголы – «Семь старцев» *(рис. 63)*.

В XVIII в. перекроить звездное небо и изменить названия созвездий пытались политики и служители церкви. Возникла необходимость систематизировать знания о звездном небе. В 1922 г. состоялась I Генеральная ассамблея Международного астрономического союза (МАС), на которой было принято решение оставить на небосводе 88 созвездий и определить их названия. В 1935 г. раздел небосвода окончательно завершился, между созвездиями были проведены границы. По решению МАС в Северном полушарии расположено 31 созвездие, в Южном – 48, на экваторе – 9.

Рис. 63. *Созвездие Большая Медведица*

Ответьте на вопросы

1. *Почему в городе можно рассмотреть меньше звезд, чем в степи или в лесу?*
2. *При каком условии видимость звезд улучшается?*

Возьмите на заметку

Одна из задач практической астрономии – составление звездных каталогов и повышение точности определения местоположения звезд.

Созвездие **– это участок небесной сферы со строго определенными границами, на котором расположена характерная группа звезд.**

III. Названия звезд

Невооруженным глазом в безлунную ночь над горизонтом можно увидеть около 3000 звезд. Многие яркие звезды имеют названия арабского происхождения: Альдебаран, Денеб, Ригель, Алголь. Название звезды зачастую связано с названием созвездия. К примеру, название звезды Бетельгейзе в созвездии Ориона означает «плечо гиганта».

Четыре звезды Большой Медведицы получили названия по расположению звезд на фигуре медведицы: Мерак – «живот», Мегрец – «начало хвоста», Фекда – «бедро», Мицар – «середина» *(рис. 64)*.

АРМАН-ПВ баспасы

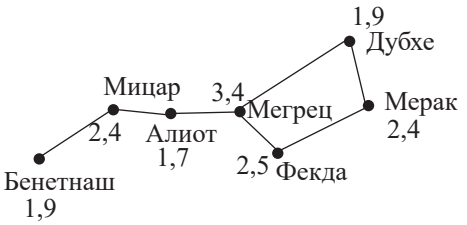


Рис. 64. *Расположение ярких звезд в созвездии Большая Медведица*

С увеличением числа обнаруженных звезд возникла необходимость их систематизации, астрономы разных эпох и государств стали создавать каталоги звезд. Наиболее точными были каталоги Гиппарха, где было указано местонахождение 1022 звезд, Улугбека, с указанием 1018 звезд и Тихо Браге, с записью 1004 звезд.

В 1603 г. немецкий астроном И. Байер обозначил звезды буквами греческого алфавита в порядке убывания их блеска. Полное обозначение звезды состояло из буквы и названия созвездия. Например, Полярная звезда – α UMi (α Малой Медведицы), звезда Алголь – β Per (β Персея), она является второй звездой по светимости в этом созвездии. Такое обозначение используется и в наше время.

IV. Яркость звезд. Видимая и абсолютная звездная величина

Звезды имеют разную яркость. Самые яркие звезды в древности были названы звездами первой величины, а самые тусклые – звездами шестой величины. При разности в одну звездную величину видимая яркость звезд отличается примерно в 2,5 раза. Яркость звезд первой и шестой звездной величины отличаются в 100 раз. Видимую звездную величину обозначают буквой *m*. Измерения яркости звезд с использованием приборов показали, что звездная величина большинства звезд имеет дробное значение, а у наиболее ярких звезд оно отрицательное. Например, видимая звездная величина у Солнца $m = -26{,}6$; у Сириуса $m = -1{,}58$.

Таблица 6. *Видимая и абсолютная звездная величина звезд Большой Медведицы*

Название звезды	Обозначение	*m*	*M*	буква	название
Дубхе	α	1,9	–1,1	α	альфа
Мерак	β	2,4	0,6	β	бета
Фекда	ϒ	2,5	2,7	γ	гамма
Мегрец	δ	3,4	6,3	δ	дельта
Алиот	ε	1,7	–0,2	ε	эпсилон
Мицар	ζ	2,4	0,3	ζ	дзета
Бенетнаш	η	1,9	–0,7	η	эта

Задание 2

Рассмотрите *рисунок 64* и таблицу «Видимая и абсолютная звездная величина звезд Большой Медведицы». Выясните, по какому критерию были обозначены звезды.

АРМАНПВ басылы

Видимые звездные величины не являются показателем истинной яркости звезд, поскольку они находятся на разном расстоянии от Земли. В астрономии, кроме понятия «видимая звездная величина», используют понятие «абсолютная звездная величина».

Абсолютная звездная величина M **– это звездная величина, которую имела бы звезда, находясь на расстоянии 32,6 световых года от Земли.**

При таком мысленном изменении расстояния от Земли до звезд, звездная величина Сириуса станет равной $M = 1{,}4$; у Солнца она составит всего лишь $M = 4{,}79$.

V. Светимость звезд

Светимость – одна из важнейших звездных характеристик, позволяющая сравнивать между собой различные типы звезд. Светимость звезд зависит от их размеров и температуры.

Светимость, или мощность излучения, **– это полная энергия, излучаемая звездой за единицу времени.**

Светимость Солнца равна $L = 3{,}86 \cdot 10^{26}$ Вт.

Видимая звездная величина зависит от светимости звезды. Диаграмма зависимости светимости от температуры и размеров звезд составлена астрономами Эйнаром Герцшпрунгом и Генри Расселом *(рис. 65)*.

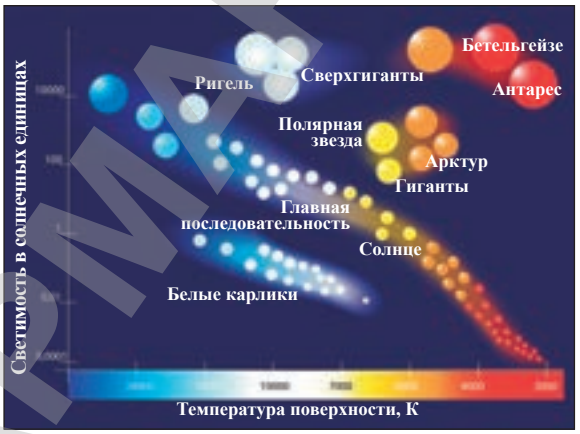


Рис. 65. *Диаграмма Герцшпрунга-Рассела*

Кусочки науки

Светимость звезд можно приближенно посчитать по формуле:

$L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$,

L – светимость звезды,
R – радиус звезды,
T – температура на поверхности звезды,

$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \dfrac{Вт}{м^2 K^4}$ – постоянная Стефана-Больцмана.

Интересно знать!

Положение звезды на диаграмме Герцшпрунга-Рассела изменяется в зависимости от ее возраста. Большую часть своей жизни звезда проводит на главной последовательности, после которой звезды, подобные Солнцу, становятся красными гигантами, а очень массивные звезды – красными сверхгигантами.

АРМАН-ПВ баспасы

Контрольные вопросы

1. Что называют созвездием? Сколько созвездий на небосводе?
2. Как обозначают звезды в созвездиях?
3. Что определяет видимая звездная величина?
4. Чем отличается видимая звездная величина от абсолютной?
5. Что называют светимостью звезды? От каких величин зависит светимость звезды?

Упражнение 8

1. Расстояние от Земли до Полярной звезды составляет 434 световых года. Выразите это расстояние в километрах.
2. Во сколько раз яркость звезд второй звездной величины больше яркости звезд четвертой звездной величины?
3. Определите светимость Полярной звезды. Радиус звезды больше радиуса Солнца в 37,5 раз, температура 7000 К.

Упражнение 8д

1. Определите расстояние в метрах до звезды Алиот Большой Медведицы, находящейся в 82,52 световых лет от Земли.
2. Во сколько раз яркость звезд первой звездной величины больше яркости звезд пятой звездной величины?

Экспериментальные задания

Проведите наблюдение за звездами Большой Медведицы. Запомните расположение звезд относительно друг друга. Сравните яркость звезд. Выясните, какая из звезд двойная.

Творческое задание

Подготовьте сообщение на тему: «Легенды и мифы разных народов о созвездиях».

АРМАН-ПВ баспасы

§ 9. Небесная сфера, системы небесных координат

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *называть основные элементы небесной сферы;*
- *определять небесные координаты звезд по подвижной карте звездного неба.*

Ответьте на вопросы

1. *Почему при наблюдении звездного неба необходимо указывать время и дату?*
2. *Почему умение ориентироваться по звездам становится актуальным?*

Рис. 66. *Небесная сфера*

Ответьте на вопросы

1. *Почему экваториальные координаты звезды в течение суток не меняются?*
2. *Почему координаты звезд необходимо корректировать по истечении большого промежутка времени, например, через 1000 лет?*

I. Карта звезд. Небесная сфера. Экваториальная система координат

Для составления географической карты Земли введены параллели и меридианы. Любую точку на карте, соответствующую месторасположению объекта на планете, мы находим на пересечении указанной широты и долготы.

Для составления звездной карты введены экваториальные координаты: склонение δ и прямое восхождение α. Склонение аналогично широте местности, прямое восхождение – долготе. Прямое восхождение отсчитывают от точки весеннего равноденствия, которая находится в созвездии Овна. В этой точке находится Солнце 22 марта. В сравнении с Землей, которая имеет определенные размеры, звездный мир бесконечен, поэтому при изображении звезд используют понятие «небесная сфера».

Небесная сфера **– это воображаемая сфера любого радиуса, на которую проецируются все видимые небесные тела.**

На *рисунке 66* изображена небесная сфера с осью вращения, которую называют *осью мира PP′*.

Точку пересечения небесной сферы с осью мира для наблюдателя Северного полушария называют *Северным полюсом мира P*, он расположен вблизи Полярной звезды. Для наблюдателя Южного полушария Земли – *Южным полюсом мира P′*.

Плоскость экватора перпендикулярна оси вращения и делит небесную сферу на Северное и Южное полушария.

Линию пересечения плоскости экватора с небесной сферой QγQ′ называют *небесным экватором*. Большой круг сферы, проходящий

АРМАН-ПВ баспасы

через полюсы мира, и наблюдаемую звезду М называют *кругом склонения*.

***Склонение δ* – это угловое расстояние звезды от плоскости небесного экватора вдоль круга склонения.**

Склонение звезд северного полушария может иметь значение от 0° до 90°, склонение звезд южного полушария – от 0° до – 90°.

***Прямое восхождение* – это угловое расстояние от точки весеннего равноденствия до круга склонения, на котором расположена звезда.**

Прямое восхождение определяется вдоль линии экватора против суточного вращения небесной сферы.

Прямое восхождение измеряют в единицах времени, оно меняется от 0^h до 24^h, так как суточное вращение небесной сферы происходит за 24 часа.

Спроецируем небесную сферу на плоскость, учитывая, что наблюдатель находится в точке *0*, и получим карту Северного полушария с изображением звезды М *(рис. 67)*.

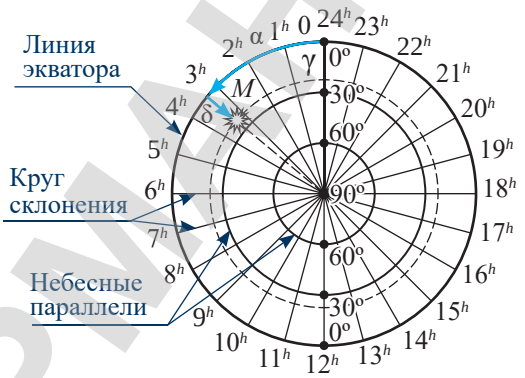


Рис. 67. *Экваториальная система координат с указанной на ней звездой М*

Задание 1

Изобразите звезду с координатами α = 4^h 34′; δ = 16°28′ в экваториальной системе координат.

Задание 2

Определите прямое восхождение и склонение звезды М, изображенной в экваториальной системе координат *(рис. 67)*.

Алгоритм выполнения работы:

1. Вокруг центра карты полюса мира Р проведите концентрические окружности радиусами R, 2R, 3R.
2. Разделите круг диаметрами на 24 части.
3. По краю круга нанесите по часовой стрелке значения прямого восхождения α от 0^h до 24^h.
4. Вдоль круга склонения с прямым восхождением 0^h нанесите значения склонений от 0° до 90°, начиная от линии экватора.
5. Укажите место расположения звезды на полученной сетке экваториальных координат.

АРМИ-ПВ запасы

Для указания местоположения звезды на карте используют экваториальную систему координат, в основе которой лежат плоскость экватора и ось мира.

II. Горизонтальная система координат

Практически определить местоположение звезды на небосводе с использованием экваториальных координат весьма затруднительно. Полярная звезда, на которую указывает ось вращения, на различных широтах расположена на разной высоте. Созвездие Овна, в котором находится точка весеннего равноденствия, может оказаться под линией горизонта. Для наблюдения небесных тел в астрономии введена горизонтальная система координат.

Основными элементами горизонтальной системы координат являются отвесная линия и перпендикулярно расположенная к ней плоскость. Точка пересечения отвесной линии с небесной сферой в верхней точке называют *зенитом Z*, в нижней точке – *надиром Z'*. Плоскость делит небесную сферу на две половины. Линию пересечения плоскости с небесной сферой называют *линией математического, или истинного, горизонта (рис. 68).*

Рис. 68. *Горизонтальная система координат, необходимая для наблюдения звезд на местности*

На линии математического горизонта расположены *точки: севера – **N**, юга – **S**, запада – **W** и востока – **E**.* Точка севера находится на вертикале, опущенном от Полярной звезды на линию горизонта. Линию, соединяющую точки севера и юга ***NS*** называют *полуденной линией*. В истинный полдень тени предметов ложатся вдоль этой прямой.

Через полюсы мира, точки зенита и надира проходит *главный небесный меридиан.*

Ответьте на вопросы

1. *Почему для наблюдения звезд введена горизонтальная система координат?*
2. *Как определить стороны света на местности?*

АРМАНПВ баспасы

Большой круг небесной сферы, проходящий через точки зенита, надира и наблюдаемое светило, называют *вертикалом*.

Координатами горизонтальной системы являются *высота* и *азимут (рис. 69)*.

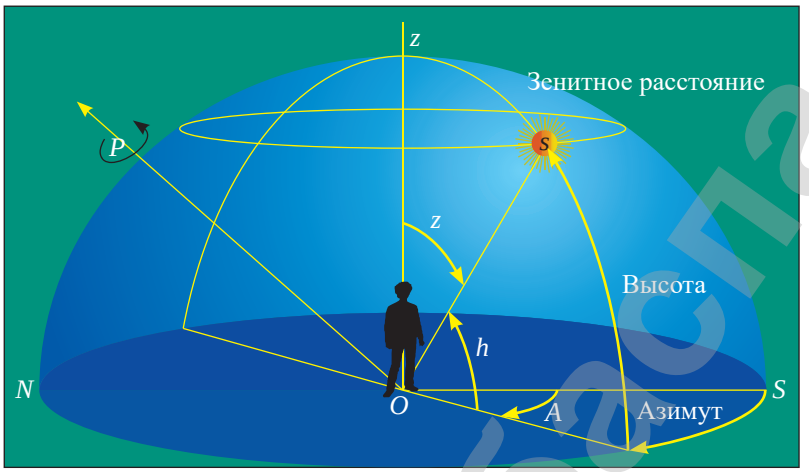


Рис. 69. *Азимут звезды определяют по линии горизонта от точки юга до вертикала в западном направлении, а высоту – по вертикалу от линии горизонта до светила*

Высота h **– это угловое расстояние от линии горизонта до небесного тела вдоль вертикала.**

Высота измеряется в градусах, минутах, секундах, имеет значения от 0° до 90° выше линии горизонта, от 0° до –90° ниже линии горизонта.

Азимут A **– угловое расстояние от точки юга до вертикала по направлению суточного движения небесного тела.**

Азимут измеряется в градусах, минутах, секундах, изменяется от 0° до 360°.

Интересно знать!

Постоянное передвижение в бескрайних степях научило казахов находить дорогу по звездам, точно определять расположение урочищ или пастбищ. Самыми популярными были Полярная звезда (Темірқазық), Большая Медведица (Жетіқарақшы), Плеяды (Үркер), Лев (Қамбар), Кассиопея (Қарақұрт), Сириус (Сүмбіле), Млечный Путь (Құс Жолы). Казахи хорошо знали то, что Полярная звезда неподвижна и указывает направление на север. По Плеядам определяли время и направление движения.

III. Подвижная карта звездного неба

Из-за суточного вращения Земли вид звездного неба постоянно меняется, звезды восходят и заходят.

Подвижная карта звездного неба (ПКЗН) позволяет определить вид звездного неба в любой момент времени. Она состоит из двух частей: карты и накладного круга (дано в электронном приложении).

АРМАН-ПВ баспасы

По краю карты указаны дни и месяцы года, по краю накладного круга указано время суток. Внутри накладного круга нанесена линия горизонта, она должна соответствовать широте местности. При наложении круга на карту совмещают время суток с днем и месяцем наблюдения. Все звезды, оказавшиеся внутри линии горизонта, в этот час можно наблюдать на небосводе.

Для более точного определения горизонтальных координат звезды на накладной круг, покрытый прозрачной пленкой, наносится точка зенита ***Z***, главный небесный меридиан ***NS*** и меридиан ***EZW*** *(рис. 70)*. Меридианы делят весь небосвод на 4 равные части. По линии горизонта наносится шкала азимута, по меридиану – шкала высоты.

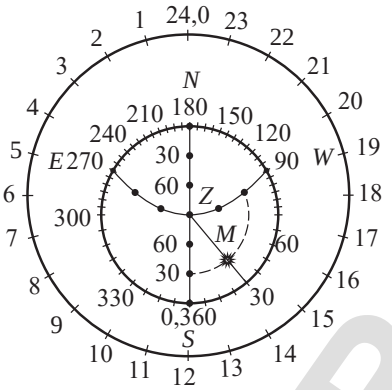


Рис. 70. *Определение азимута и высоты звезды по накладному кругу*

IV. Нахождение местоположения Солнца на звездной карте

Указать местоположение Солнца только одной точкой на карте звезд невозможно. За год Солнце относительно звезд совершает движение по большому кругу небесной сферы, который наклонен к плоскости небесного экватора на 23°27′ *(рис. 71)*.

Эклиптика **– это большой круг небесной сферы, по которому происходит видимое годовое движение Солнца по зодиакальным созвездиям.**

Для определения местонахождения Солнца на карте необходимо провести круг склонения от полюса мира к дате наблюдения. В точке пересечения круга склонения и эклиптики находится Солнце.

Задание 3

1. Определите горизонтальные координаты звезды М на *рисунке 70*.
2. Положите накладной круг на звездную карту, совместив 10 октября с временем суток 21:00. Определите азимут и высоту α Пегаса (подвижная карта звездного неба (ПКЗН) есть в электронном приложении).

Задание 4

Перемещаясь вдоль эклиптики на ПКЗН, перечислите созвездия, на фоне которых движется Солнце в течение года. Какое созвездие не входит в состав зодиакальных?

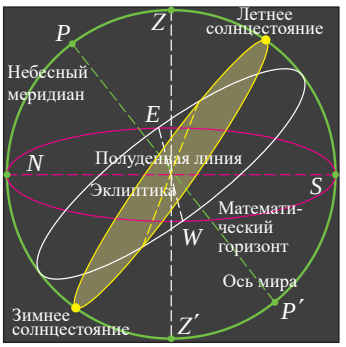


Рис. 71. *Плоскость эклиптики наклонена к плоскости экватора на 23°27′*

АРМАНПВ баспасы

Контрольные вопросы

1. Что называют небесной сферой? Назовите ее основные линии, точки, плоскости.
2. Что называют склонением и прямым восхождением? В чем их измеряют?
3. Что лежит в основе горизонтальной системы координат?
4. Что такое высота звезды? Что называют азимутом звезды?
5. Для чего введена горизонтальная система координат?
6. Для чего создана ПКЗН?
7. Что такое эклиптика? Как определить местоположение Солнца на звездной карте?

Упражнение 9

Используя ПКЗН, определите:

1) высоту и азимут звезд Большой Медведицы 10 октября в 21:00;
2) экваториальные и горизонтальные координаты Солнца 10 октября в 14:00.

Упражнение 9д

1. Используя экваториальные координаты, изобразите карту ярких звезд Северного полушария (координаты звезд указаны в таблице 1 приложения).
2. Определите горизонтальные координаты самой яркой звезды вашего зодиакального созвездия. Возможно ли наблюдение этой звезды в вечернее время?

Экспериментальное задание

Определите горизонтальные координаты звезд созвездия Пегас на время их наблюдения с использованием ПКЗН. По полученным результатам найдите их на небосводе. Изобразите расположение звезд относительно друг друга.

Творческое задание

Подготовьте сообщение по темам (на выбор):

1. «Навигационные звезды Северного полушария».
2. «Астрономические угломеры».

АРМАН-ПВ баспасы

§ 10. Видимое движение светил на различных географических широтах, местное, поясное и всемирное время

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *объяснять различия в кульминациях светил на различных широтах;*
- *сопоставлять местное, поясное и всемирное время.*

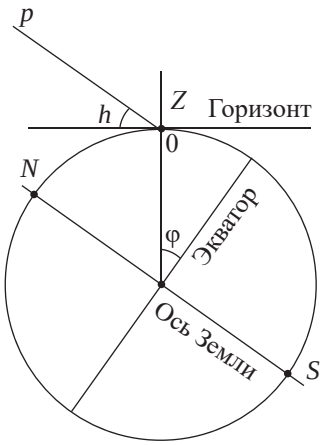


Рис. 72. *Географическая широта местности равна высоте Полярной звезды*

Ответьте на вопросы

1. *Почему видимое движение Солнца в течение года отличается от движения других звезд?*
2. *Почему на экваторе продолжительность дня и ночи в любое время года одинаковая?*
3. *Почему «белые ночи» возможны только за полярным кругом?*

I. Определение географической широты местности

Рассмотрим *рисунок 72*. В точке 0 на поверхности Земли находится наблюдатель. Широта местности равна φ, высота полюса мира h. По построению они равны, как острые углы с взаимно перпендикулярными сторонами.

Высота полюса мира над горизонтом равна географической широте местности.

Вблизи полюса мира располагается Полярная звезда, следовательно, широту местности можно определить по ее высоте.

II. Вращение небесной сферы на широте φ = 90°

Широта местности на Северном географическом полюсе φ = 90°, следовательно, высота Полярной звезды тоже равна $h = 90°$. В этом случае экваториальная система координат совмещается с горизонтальной *(рис. 73)*. Относительно наблюдателя Полярная звезда находится в зените.

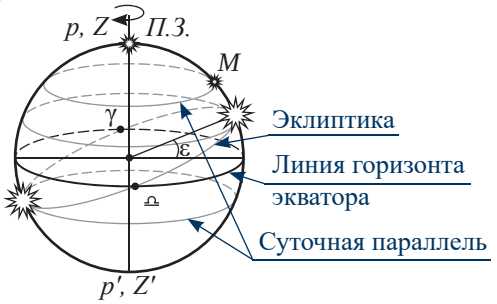


Рис. 73. *Видимое движение Солнца и звезд на Северном полюсе*

Все звезды вращаются по суточным параллелям, их высота со временем не меняется как у звезды M на *рисунке 73*, исключением является Солнце. Плоскость эклиптики наклонена к плоскости экватора под углом ε = 23°27′. В результате такого наклона высота Солнца над горизонтом меняется.

АДУКАЦЫЯ-ПРЕСТИЖ

Солнце, вращаясь по суточной параллели в день весеннего равноденствия 21 марта, появляется на линии горизонта. Ежесуточно высота Солнца увеличивается и 22 июня достигает значения $h = 23°27'$, затем, продолжая вращаться по суточным параллелям, Солнце вновь спускается к линии горизонта. На Северном полюсе полярный день длится шесть месяцев. Следующие полгода Солнце движется по суточным параллелям под линией горизонта, на Северном полюсе наступает полярная ночь.

III. Вращение небесной сферы на широте φ = 0°

На экваторе широта местности φ = 0°, следовательно, высота Полярной звезды $h = 0°$, она расположена на линии горизонта. Экваториальная и горизонтальная система координат взаимно перпендикулярны $PP' \perp ZZ'$ *(рис. 74)*.

Суточные параллели звезд перпендикулярны линии горизонта. Продолжительность дня равна продолжительности ночи независимо от времени года.

Высота Солнца в дни летнего и зимнего солнцестояния минимальна и равна 66°33′. В дни весеннего и осеннего равноденствия Солнце в зените, высота Солнца $h = 90°$.

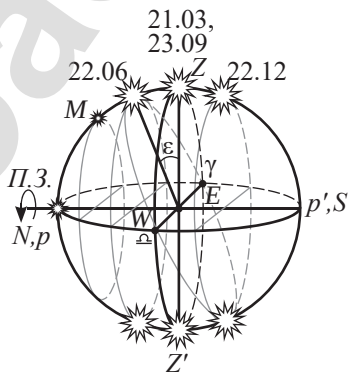


Рис. 74. *Видимое движение Солнца и звезд на экваторе*

IV. Вращение небесной сферы в средних широтах

В средних широтах наклон экваториальной системы координат по отношению к горизонтальной системе зависит от широты местности.

В результате суточного вращения небосвода звезды меняют свою высоту над горизонтом в течение суток. В верхней кульминации высота звезды максимальная, в нижней – минимальная, $h_1 > h^1_1$ для звезды M_1 *(рис. 75)*.

Для средних широт часть звезд становятся незаходящими, часть – невосходящими, остальные – восходяще-заходящими. На *рисунке 75* звезда M_1 – незаходящая, M_3 – невосходящая, M_2 – восходяще-заходящая.

В зависимости от широты местности Солнце может относиться к любой из названных групп звезд. За полярным кругом, севернее параллели с широтой φ = 66°27′, в течение нескольких летних дней Солнце – незаходящая звезда, соответственно,

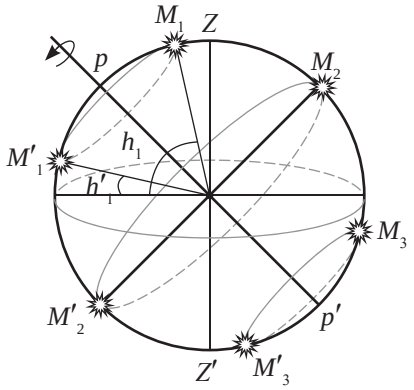


Рис. 75. *Видимое движение звезд в средних широтах*

АРМАНПВ баспасы

в Южном полушарии, южнее параллели с широтой φ = –66°27′, Солнце – невосходящая звезда.

В период «белых» ночей Солнце, опустившись к линии горизонта, сразу же начинает восходить *(рис. 76)*.

В дни весеннего и осеннего равноденствия Солнце движется по экватору. Продолжительность дня и ночи одинакова, равна 12 часам.

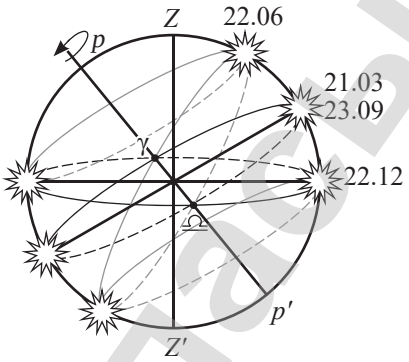


Рис. 76. *Видимое движение Солнца в средних широтах в течение года*

V. Средние солнечные сутки

За продолжительность суток принят один полный оборот Земли вокруг своей оси. Если оборот совершен относительно Солнца, то сутки называют *солнечными*, если относительно звезд, то – *звездными*. Отсчет времени мы проводим в солнечных сутках.

Солнечные сутки **– это промежуток времени между двумя верхними или двумя нижними кульминациями центральной точки Солнца.**

Кульминация **– это явление прохождения светил через главный небесный меридиан *(рис. 77)*.**

В течение года длительность суток колеблется из-за неравномерного движения Земли вокруг Солнца, поэтому введены средние солнечные сутки продолжительностью 24 часа.

Задание 1

Выразите долготу вашей местности в единицах времени.

Обратите внимание!

Если географическая долгота местности 72°, то местное время в момент, когда всемирное время равно 14 часам, вычисляется следующим образом: $T_\lambda = T_0 + \lambda = 14$ ч + + 4 ч 48 мин = 18 ч 48 мин.

VI. Всемирное и местное время

Момент прохождения Солнца через главный небесный меридиан зависит от географической долготы местности.

Начальный меридиан, от которого ведется отсчет долготы на Земле, проходит через Гринвич, его географическая долгота равна нулю.

Местное время гринвичского меридиана называют *всемирным временем*, обозначают T_0.

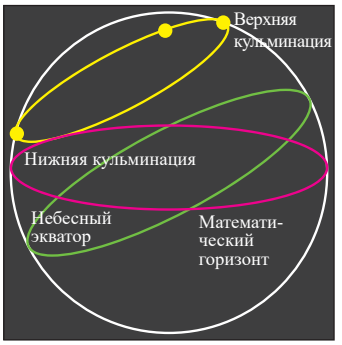


Рис. 77. *Верхняя и нижняя кульминации незаходящей звезды*

Местное время **– это время в один и тот же момент суток в точках, расположенных на одном меридиане.**

Задание 2

Определите местное время в момент, когда всемирное время равно 8:00.

АРМАН-ПВ бастары

В местности с географической долготой λ оно будет равным:

$$T_\lambda = T_0 + \lambda.$$

Долготу местности при расчете местного времени необходимо выразить в часах, минутах и секундах. Учитывая, что оборот в 360° Земля совершает за 24 часа, легко получить связь единиц измерения времени с единицами измерения углового перемещения точек на поверхности Земли:

24 ч = 360°;
1 ч = 15°;
4 мин = 1°;
1 мин = 15′;
4 с = 1′;
1 с = 15″.

VII. Поясное время

Для практического использования местное время неудобно, так как в разных районах одного и того же населенного пункта оно различно. Было введено поясное время – Землю разделили на 24 пояса, каждый из которых простирается на 15° по долготе. Центральный меридиан делит пояса на две равные части по 7°30′. Пояс гринвичского меридиана считают нулевым. Через территорию Казахстана проходят 4-й и 5-й часовые пояса. *Для определения поясного времени к всемирному времени прибавляют номер пояса*:

$$T_n = T_0 + n,$$

где n – номер пояса.

Внутри каждого пояса используют время его центрального меридиана.

Поясное время **– это среднее солнечное время, определяемое для 24 основных географических меридианов, отстоящих на 15° по долготе.**

Границы поясов проведены по государственным и административным границам.

Запомните!

Местное время определяется суммой всемирного времени с долготой местности, выраженной в единицах времени.

Возьмите на заметку

На территории стран бывшего Советского Союза в 1930 г. было введено *декретное время* в целях экономии электроэнергии на освещение в вечернее время суток. Стрелки часов декретом правительства были переведены на один час вперед. *По декретному времени полдень наступает на один час раньше истинного полдня*, который соответствует верхней кульминации Солнца. И сейчас время суток мы определяем по декретному времени, в момент верхней кульминации Солнца часы показывают 13 часов.

Ответьте на вопросы

1. *Почему местное время не получило широкое применение?*
2. *Почему границы часовых поясов проведены по административным границам?*
3. *Почему отсчет суток начинается не с 0 меридиана, а с 180?*
4. *Почему время, которым мы пользуемся, опережает истинное значение времени?*

АРМАН-ПВ баспасы

Исчисление времени в Республике Казахстан происходит по декретному времени. Оно регулируется постановлением правительства РК. Существуют официальные административные 4-й и 5-й часовые пояса, время в которых опережает фактическое поясное время на 1 час *(рис. 78)*. В 2018 году подготовлен и реализован проект постановления правительства Казахстана о переводе Кызылординской области в 4-й часовой пояс с действующим там временем UTC+5 (UTC – Всемирное координированное время).

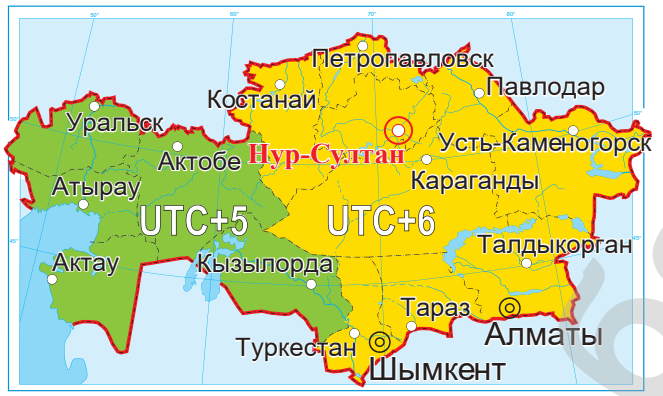


Рис. 78. *Фактические часовые пояса РК*

Интересно знать!

Время суток казахи определяли днем по тени, ночью – по звездам. Существуют оценочные характеристики суточного времени: время перед рассветом, утро, полдень, послеполуденное время, вечер, сумерки, ночь.

Контрольные вопросы

1. Как определить широту местности?
2. Какое движение совершают звезды и Солнце относительно наблюдателя, находящегося на Северном полюсе? На экваторе?
3. Как движутся звезды и Солнце в средних широтах?
4. Как определить максимальную высоту подъема звезды при известном ее склонении?
5. Какие сутки называют солнечными?
6. Чем отличается поясное время от местного?
7. Какое время называют всемирным?

Упражнение 10

1. На какой широте находится наблюдатель, если высота Бетельгейзе в верхней кульминации равна 43°24′.
2. Определите долготу местности, в которой время опережает всемирное на 4 часа.
3. Определите часовой пояс местности с долготой $\lambda = 90°$.

АРМАНПВ баспасы

Упражнение 10д

1. Сравните высоту звезды Альтаир в верхней кульминации для жителя Нур-Султана ($\varphi = 51°12'$) и жителя Алматы ($\varphi = 43°15'$).
2. Определите местное время на долготе 65° восточнее Гринвича в момент, когда всемирное время равно 13 ч.
3. В 5-м часовом поясе часы показывают 14 ч. Определите показание часов во 2-м часовом поясе.

Экспериментальное задание

1. Определите широту вашей местности по Полярной звезде.
2. С помощью гномона *(рис. 79)* определите направление полуденной линии и момент истинного полдня. Совпадает ли он с полднем по вашим часам?

Рис. 79. *Гномон*

Творческое задание

Подготовьте сообщение на тему: «Устройство и принцип действия солнечных часов».

АРМАН-ПВ баспасы

§ 11. Законы движения планет Солнечной системы

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *объяснять движение небесных тел на основе законов Кеплера.*

Вспомните!

1. Какие взгляды на строение мира вам известны?
2. Почему геоцентрическая система мира оказалась несостоятельной?

Иоганн Кеплер (1571–1630) – немецкий математик, астроном, механик, оптик, первооткрыватель законов движения планет Солнечной системы.

I. Гелиоцентрическая система мира Коперника, ее значение для мировоззрения. Видимое движение планет

До XV века во взглядах на мироздание господствовала геоцентрическая система мира Клавдия Птолемея, согласно которой в центре мира находилась Земля. Она не позволяла определять расстояния до планет и точно рассчитывать их видимое петлеобразное движение относительно Земли. Николай Коперник создал гелиоцентрическую систему мира, он расположил в центре мира Солнце. Петлеобразное движение планет Коперник объяснил тем, что наблюдение происходит с движущейся Земли. Радиус орбиты Земли меньше радиуса орбит Марса, Юпитера и Сатурна, в результате чего, «обгоняя» внешние планеты, мы видим с Земли их обратное петлеобразное движение *(рис. 80)*.

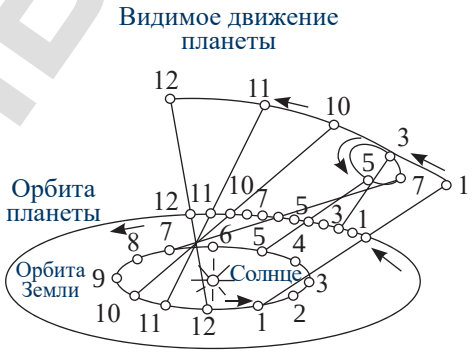


Рис. 80. *Видимое петлеобразное движение внешних планет*

Коперник впервые определил относительные расстояния планет от Солнца и вычислил их периоды обращения. На свой труд «О вращении небесных сфер» он потратил более 20 лет упорного труда. Коперник предполагал, что планеты равномерно движутся по круговым орбитам, поэтому его расчеты оказались ненамного точнее расчетов Птолемея. Работы Коперника в дальнейшем продолжил немецкий ученый Иоганн Кеплер. На основе результатов наблюдений датского астронома Тихо Браге за движением Марса и гелиоцентрической системы Коперника он открыл законы движения планет.

АРМАЧ-ПВ бастасы

II. Первый закон Кеплера

Результаты измерений показали, что орбиты планет представляют собой *эллипсы (рис. 81)*.

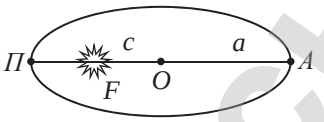


Рис. 81. *Орбиты планет – эллипсы*

Каждая планета обращается по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце.

Ближайшую к Солнцу точку П называют *перигелием*, самую удаленную точку А – *афелием*.

Степень вытянутости эллипса характеризует эксцентриситет *e*:

$$e = \frac{c}{a},$$

где *c* – расстояние от фокуса F до центра эллипса *0*; *a* – большая полуось эллипса.

Большая полуось орбиты Земли – это ее среднее расстояние до Солнца:

$$a = \frac{ПF + FA}{2}.$$

При совпадении фокусов с центром эллипс превращается в окружность, следовательно, при $c = 0$ эксцентриситет равен нулю $e = 0$, траектория движения планеты – окружность.

Чем больше фокус эллипса удаляется от центра, тем сильнее вытягивается эллипс, эксцентриситет увеличивается, но не превышает 1,

$$0 < e < 1.$$

В таблице «Средние расстояния от Солнца и эксцентриситеты планет» даны эксцентриситеты планет Солнечной системы. Сравнительный анализ эксцентриситетов планет показывает, что орбиты Венеры и Нептуна практически не отличаются от окружности. Наиболее вытянутые орбиты у Меркурия и Марса.

В астрономии длина большой полуоси орбиты Земли принята за единицу измерения расстояний между небесными телами, ее назвали астрономической единицей:

$$1 \text{ а.е.} = 149\,600\,000 \text{ км} \approx 1{,}5 \cdot 10^8 \text{ км}.$$

Эксперимент

Закрепите концы нити длиной около 10–15 см на концах иголок. Воткните иголки в одну точку и, натянув карандашом нить, начертите кривую *(рис. 82)*. Повторите ваши действия, расставив иглы на расстояния 3 см, 6 см, 9 см. Убедитесь в том, что увеличение эксцентриситета от 0 до 1 превращает окружность в прямую линию.

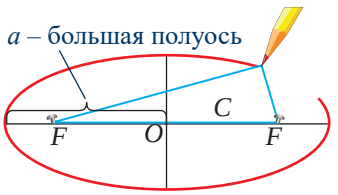


Рис. 82. *Эллипс становится более вытянутым при увеличении расстояния между фокусами*

Обратите внимание!

Эксцентриситеты Меркурия и Марса превышают эксцентриситеты других планет Солнечной системы.

АРМАНПВ базпасы

Таблица 7. Средние расстояния от Солнца и эксцентриситеты планет

Название планеты	Среднее расстояние, а, а.е	Эксцентриситет, е
Меркурий	0,39	0,206
Венера	0,72	0,007
Земля	1,00	0,017
Марс	1,52	0,093
Юпитер	5,20	0,048
Сатурн	9,54	0,054
Уран	19,19	0,046
Нептун	30,07	0,008

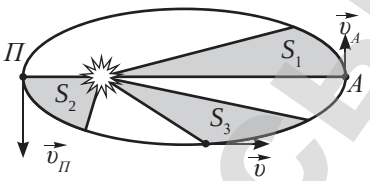


Рис. 83. *Площади фигур, заметаемых радиус-вектором планеты, одинаковы*

III. Второй закон Кеплера

Второй закон Кеплера позволяет судить о скорости движения планеты в различных точках ее траектории.

Радиус – вектор планеты за одинаковые промежутки времени описывает равные площади.

Из равенства площадей $S_1 = S_2 = S_3$ следует, что скорость планеты в перигелии наибольшая, в афелии наименьшая *(рис. 83)*.

$$\upsilon_A < \upsilon < \upsilon_П.$$

IV. Третий закон Кеплера

Третий закон И. Кеплера устанавливает связь между периодами обращений двух планет и их расстоянием от Солнца.

Квадраты звездных периодов обращения планет относятся, как кубы больших полуосей их орбит.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

где T_1, T_2 – периоды обращений двух планет; a_1, a_2 – большие полуоси.

Ответьте на вопросы

1. *Почему скорости орбитального движения Меркурия в точках перигелия и афелия отличаются сильнее, чем у Земли?*
2. *Влияет ли приближение Земли к Солнцу на смену времен года?*

Кусочки науки

После открытия закона всемирного тяготения И. Ньютон уточнил третий закон Кеплера. Полученное им соотношение позволило определить массы небесных тел. Ньютон доказал, что для двух небесных тел, вращающихся вокруг общего центра масс, выполняется соотношение:

$$\frac{(M_1 + M_2)T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G},$$

где M_1, M_2 – массы тел; T – период обращения небесных тел; a – среднее расстояние между небесными телами; $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ Н·м²/кг² – гравитационная постоянная.

АРМАН-ПВ базасы

Интересно знать!

Кубок Кеплера – модель Солнечной системы, предложенная ученым на ранних этапах исследования расположения шести планет: Меркурия, Венеры, Земли, Марса, Юпитера и Сатурна.

Если в сферу, на поверхности которой расположена орбита Сатурна, вписать куб, а в него вписать следующую сферу, то на ее поверхности расположится орбита Юпитера *(рис. 84)*. В сферу с орбитой Юпитера можно вписать тетраэдр, а внутрь тетраэдра – сферу орбиты Марса, внутрь сферы орбиты Марса – додекаэдр, в него – сферу орбиты Земли, далее – икосаэдр, в него – сферу орбиты Венеры, в эту сферу – октаэдр и, наконец, в октаэдр – орбиту Меркурия. В центре всей системы можно поместить Солнце.

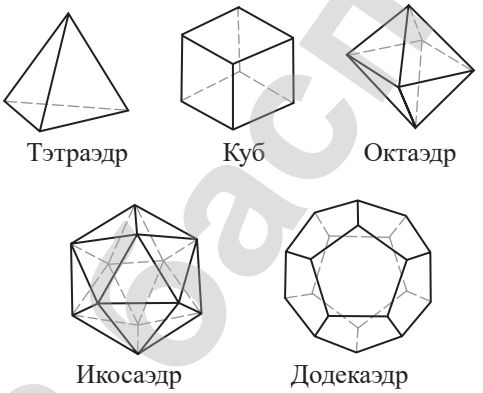


Рис. 84. *Кубок Кеплера*

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Определите продолжительность года на Уране.

Дано:

$a_З = 1\,а.е.$

$a_У = 19{,}19\,а.е.$

$T_З = 1\,год$

$T_У - ?$

Решение:

Для определения продолжительности года на Уране, используем третий закон Кеплера: $\frac{T_З^2}{T_У^2} = \frac{a_З^3}{a_У^3}$.

Выразим период:

$$T_У = \sqrt{\frac{T_З^2 \cdot a_У^3}{a_З^3}} = T_З \frac{a_У}{a_З}\sqrt{\frac{a_У}{a_З}}.$$

Выполним расчеты:

$$T_У = 1\,год \frac{19{,}19\,а.е.}{1\,а.е.}\sqrt{\frac{19{,}19\,а.е.}{1\,а.е.}} = 19{,}19\,лет\sqrt{19{,}19} \approx 87{,}2\,года.$$

Ответ: $T_У$ = 87,2 года.

АРМАН-ПВ басылы

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте законы Кеплера.
2. Что позволяет определить уточненный Ньютоном третий закон Кеплера?

Упражнение 11

1. Определите продолжительность года на Марсе, учитывая, что расстояние от Солнца до Марса больше, чем расстояние от Солнца до Земли в 1,5 раза.
2. Определите массу Луны, приняв массу Земли равной $6 \cdot 10^{24}$ кг, расстояние от Земли до Луны 384 000 км. Период обращения Луны вокруг Земли 27,32 суток.

Упражнение 11д

1. Определите продолжительность года на Юпитере.
2. Используя ответы задач упр. 11 (1), 11д (1), примеры решенных задач, постройте график зависимости периода вращения планет Солнечной системы от расстояния до Солнца. Оцените по графику период обращения Венеры вокруг Солнца.

Творческое задание

Подготовьте сообщение по темам (на выбор):

1. «Биография И. Кеплера».
2. «Научные труды И. Кеплера».

АРМАН-ПВ басылы

§ 12. Определение расстояний в астрономии методом параллакса

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *объяснять использование метода параллакса для определения расстояний или размеров тел в Солнечной системе.*

Ответьте на вопросы

1. *Может ли человек оценить и сравнить расстояния до окружающих его предметов?*
2. *Как он определяет, приближается тело или удаляется?*

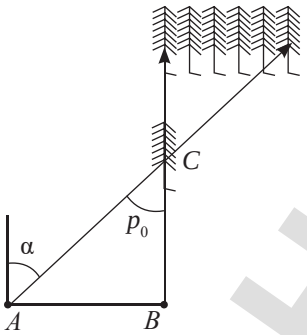


Рис. 85. *Параллактическое смещение*

Эксперимент

Возьмите ручку и вытяните руку в направлении школьной доски. Посмотрите на ручку правым глазом, затем левым. Согните руку в локте и повторите ваши наблюдения. В каком случае параллакс больше?

I. Метод параллакса

Метод параллакса – это геометрический метод, основанный на явлении параллактического смещения. Если наблюдатель смотрит на одно и то же тело с разных точек пространства, то оно меняет свое положение на фоне далеко отстоящих предметов. Направление луча зрения на тело изменяется *(рис. 85)*. Отрезок AB называют *базисом*, угол p_0 – *параллактическим смещением*, или *параллаксом*.

Если в результате построения получается прямоугольный треугольник, то параллакс p_0 называют горизонтальным.

По перемещению наблюдателя AB и изменению угла α можно легко определить расстояние до предмета:

$$AC = \frac{AB}{\sin p_0}.$$

Задание 1

Используя линейку и транспортир, определите расстояние до школьной доски методом параллакса. За базис примите длину вашей парты *(рис. 85)*. Проверьте полученный результат другим известным вам методом. Какой из использованных методов измерения расстояний, по вашему мнению, наиболее точный?

II. Определение расстояний до небесных тел Солнечной системы

В пределах Солнечной системы расстояние до небесных тел определяют по горизонтальному параллаксу, приняв в качестве базиса радиус Земли *(рис. 86)*.

Угол, под которым с небесного тела виден радиус Земли, перпендикулярный лучу зрения, называют *горизонтальным параллаксом.*

АДУКАЦЫЯ ПВ басгасы

При известном значении p_0 горизонтального параллакса D расстояние до небесного тела определяют по формуле:

$$D = \frac{R_З}{\sin p_0}. \qquad (1)$$

Вспомните, при малых углах $\sin p_0 \approx p_0$, если угол выражен в радианах.

Если угол выражен в секундах, то:

$$\sin p_0 = \frac{p_0}{206265''},$$

где $206265''$ – число секунд в одном радиане.

Математические преобразования формулы (1) упрощают вычисление расстояний до небесных тел по известному параллаксу:

$$D = \frac{206265''}{p_0} R_З. \qquad (2)$$

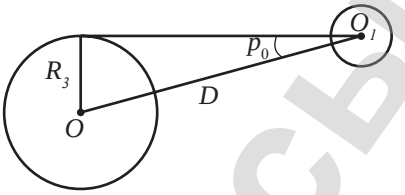


Рис. 86. *Горизонтальный параллакс p_0 небесного тела*

Кусочки науки

$$1\,рад = \frac{\pi}{3,14} = \frac{180 \cdot 3600''}{3,14} = 206265''$$

Таблица 8. *Параллаксы небесных тел Солнечной системы*

Небесное тело	Параллакс
Меркурий	14,4″
Венера	от 6″ до 36″
Марс	от 6″ до 24″
Юпитер	6″
Сатурн	0,9″
Солнце	8,8″
Луна	57′

Задание 2

1. По параллаксам небесных тел Солнечной системы определите их расстояния до Земли. Радиус Земли примите равным 6400 км.
2. Определите горизонтальный параллакс Урана, приняв расстояние между Землей и Ураном равным 2850 млн км.

Ответьте на вопрос

Почему параллаксы небесных тел меняются?

III. Определение размеров тел

Рассмотрим *рисунок 87*. По определению горизонтального параллакса радиус Земли R виден с планеты под углом p_0. Радиус планеты r виден с Земли под углом ρ.

Расстояние между Землей и планетой можно определить по формулам:

$$D = \frac{206265''}{p_0} R_З \text{ или } D = \frac{206265''}{\rho} r.$$

Приравняем правые части полученных уравнений:

$$\frac{R_З}{p_0} = \frac{r}{\rho}$$

и выразим радиус планеты:

$$r = \frac{\rho}{p_0} R_З. \qquad (3)$$

Задание 3

Используя справочную литературу, выясните, для какого расположения Меркурия, Юпитера, Сатурна, Солнца и Луны даны значения параллаксов в таблице.

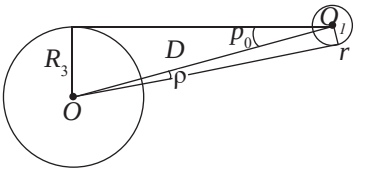


Рис. 87. *Определение размеров небесных тел*

АРМАН-ПВ басылы

Для вычисления радиуса планеты необходимо измерить его угловые размеры ρ и выразить в тех же единицах, что и параллакс, в угловых минутах или секундах.

Зная расстояние D до светила и измерив его угловой радиус ρ, можно вычислить его линейные размеры. Если угол ρ выражен в радианах, то радиус небесного тела будет равен:

$$r = D \cdot \rho \,. \qquad (4)$$

Диаметр диска определяется аналогично по значению углового диаметра небесного тела:

$$d = D \cdot \rho \,, \qquad (5)$$

где d – линейный диаметр диска небесного тела.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1. На каком расстоянии от Земли находится Сатурн, когда его горизонтальный параллакс равен 0,9″?

Дано:	**Решение:**
$p_0 = 0{,}9''$ $R_з = 6400$ км	$D = \dfrac{206265''}{p_0} R_з$.
D – ?	Выполним вычисление: $D = \dfrac{206265''}{0{,}9''} \cdot 6400\,км = 1466773333\,км \approx 9{,}8\,а.е.$ **Ответ:** D = 9,8 а.е.

Задача 2. Чему равен линейный диаметр Луны, если она видна с расстояния 400 000 км под углом примерно 0,5°?

Дано:	**Решение:**
D = 400000 км P = 0,5°	$d = D \cdot \rho$.
d – ?	Выразим ρ в радианах: $\rho = \dfrac{0{,}5 \cdot 3600''}{206265''} \approx 0{,}0087$. Вычислим: $d \approx 400000\,км \cdot 0{,}0087 = 3480\,км$. **Ответ**: d = 3480 км.

Контрольные вопросы

1. Какой угол называют горизонтальным параллаксом?
2. Как определяют расстояние до небесных тел Солнечной системы?
3. Как определяют параллакс небесного тела?

АРМАН-ПВ баспасы

4. Что называют угловым размером небесного тела?
5. Как определяют линейные размеры небесных тел?

Упражнение 12

1. Расстояние Луны от Земли в ближайшей к Земле точке орбиты (перигее) 363 000 км, а в наиболее удаленной точке (апогее) 405 000 км. Определите горизонтальный параллакс Луны в этих положениях.
2. Во сколько раз Солнце больше, чем Луна, если их угловые диаметры одинаковы, а горизонтальные параллаксы соответственно равны 8,8″ и 57′?
3. Наименьшее расстояние Венеры от Земли равно 40 млн км. В этот момент ее угловой диаметр равен 32,4″. Определите линейный радиус этой планеты.

Упражнение 12д

1. На какое расстояние к Земле подлетал астероид Икар, если его горизонтальный параллакс в это время был $p = 18{,}0''$?
2. Чему равен горизонтальный параллакс Юпитера, наблюдаемого с Земли, если Юпитер в 5 раз дальше от Солнца, чем Земля.
3. Параллакс Солнца 8,8″, а видимый угловой радиус Солнца $r = 16'\,01''$. Во сколько раз радиус Солнца больше радиуса Земли?

Экспериментальное задание

1. Определите расстояние до человека, идущего по улице слева направо относительно вас или вашего дома *(рис. 88)*.

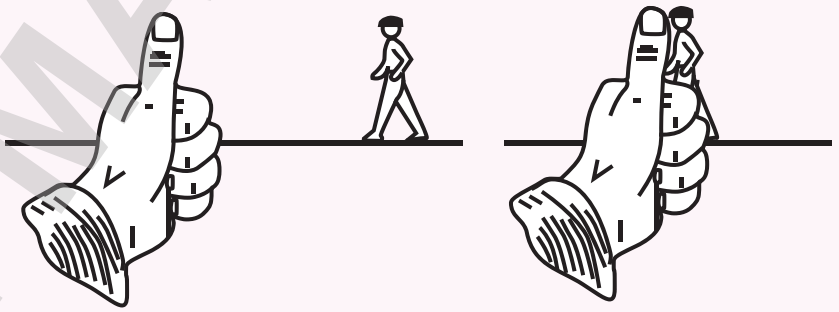


Рис. 88. *К экспериментальному заданию*

АРМАН-ПВ басылы

Алгоритм выполнения задания:

а) Вытянув руку в сторону прохожего, смотрите на большой палец правым глазом.

б) В момент, когда прохожий скроется за пальцем, закройте правый глаз, откройте левый и посчитайте число шагов до того момента, когда пешеход вновь скроется за пальцем.

в) Полученное количество шагов умножьте на 10, это будет расстоянием от вас до пешехода.

г) Переведите расстояние, полученное в шагах, в метры, среднюю длину шага взрослого человека примите равной 75 см.

2. Объясните, почему количество шагов при определении расстояния умножают на 10, выполнив необходимые построения в плоскости. Расстояние между глазами примите равным 6 см, расстояние от глаз до кончика пальца – 60 см.
3. Что изменится в постановке эксперимента, если человек будет двигаться справа налево?

Творческое задание

Подготовьте сообщение на тему: «Измерение расстояний до звезд».

АРМАН-ПВ баспасы

Итоги главы 2

Местное и поясное время	Светимость звезд
$T_\lambda = T_0 + \lambda$ $T_n = T_0 + n$	$L = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4$
Законы Кеплера	**Расстояния до небесных тел, их размеры**
$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$ $\frac{(M_1 + M_2)T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G}$	$D = \frac{206265''}{p_0} R_З$ $r = \frac{\rho}{p_0} R_З$; $r = D \cdot \rho$; $d = D \cdot \rho$

Законы Кеплера:

- Каждая планета обращается по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце.
- Радиус-вектор планеты за одинаковые промежутки времени описывает равные площади.
- Квадраты звездных периодов обращения планет относятся, как кубы больших полуосей их орбит.

Глоссарий

Абсолютная звездная величина *M* – это звездная величина, которую имела бы звезда, находясь на расстоянии 32,6 световых года от Земли.

Азимут *A* – угловое расстояние от точки юга до вертикала по направлению суточного движения небесного тела.

Высота *h* – это угловое расстояние от небесного тела до линии горизонта вдоль вертикала.

Горизонтальный параллакс – это угол, под которым с небесного тела виден радиус Земли, перпендикулярный к лучу зрения.

Кульминация – это явление прохождения светил через главный небесный меридиан.

Местное время – это время в один и тот же момент суток в точках, расположенных на одном меридиане.

Небесная сфера – это воображаемая сфера любого радиуса, на которую проецируются все видимые небесные тела.

Поясное время – это среднее солнечное время, определяемое для 24 основных географических меридианов, отстоящих на 15° по долготе.

Прямое восхождение – это угловое расстояние от точки весеннего равноденствия до круга склонения, на котором расположено светило.

Световой год – это расстояние, на которое свет распространяется в течение года.

Склонение δ – это угловое расстояние звезды от плоскости небесного экватора вдоль круга склонения.

Созвездие – это участок небесной сферы со строго определенными границами, на котором расположена характерная группа звезд.

Солнечные сутки – это промежуток времени между двумя верхними или двумя нижними кульминациями центральной точки Солнца.

Эклиптика – это большой круг небесной сферы, по которому происходит видимое годовое движение Солнца по зодиакальным созвездиям.

АРШАНПБ баспасы

Глава 3

ОСНОВЫ ДИНАМИКИ

В главе «Основы кинематики» мы выяснили, что направление и числовое значение ускорения определяют вид движения тела. Из всех видов движения изучили прямолинейное равнопеременное движение и равномерное движение по окружности.

Почему тело движется так, а не иначе? Какие факторы влияют на величину и направление ускорения? Ответы на эти вопросы мы получим в главе «Основы динамики».

Динамика – это раздел механики, изучающий законы взаимодействия тел.

Слово «динамика» произошло от древнегреческого слова «dynamos», что означает – «сила».

Сила – это векторная физическая величина, которая является мерой взаимодействия тел и причиной изменения скорости тела или возникновения деформации в нем.

Изучив главу, вы сможете:

- объяснять смысл понятий «инерция», «инертность», «инерциальная система отсчета»;
- формулировать первый закон Ньютона и применять его при решении задач;
- объяснять природу силы тяжести, силы упругости, силы трения;
- формулировать второй закон Ньютона и применять его при решении задач;
- формулировать третий закон Ньютона и применять его при решении задач;
- формулировать закон всемирного тяготения и применять его при решении задач;
- определять вес тела, движущегося с ускорением;
- объяснять состояние невесомости;
- применять формулу первой космической скорости при решении задач;
- сравнивать особенности орбит космических аппаратов;
- рассчитывать параметры движения тела в поле тяготения.

АРМАНПВ баспасы

§ 13. Первый закон Ньютона, инерциальные системы отсчета

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *объяснять смысл понятий «инерция», «инертность», «инерциальная система отсчета»;*
- *формулировать первый закон Ньютона и применять его при решении задач.*

I. Закон инерции, инертность тел

В курсе физики 7 класса были раскрыты взгляды Аристотеля и Г. Галилея на условия, при которых тело начинает двигаться или остается в состоянии покоя.

Аристотель утверждал, что движение невозможно, если на тело не действуют другие тела. Для того чтобы сдвинуть тело с места, к нему необходимо приложить силу.

Г. Галилей объяснил причину покоя и движения тел иначе. Тело, на которое не действуют другие тела, движется с постоянной скоростью. Скорость тела изменяется, если на него действуют другие тела. Свойство тела сохранять свою скорость неизменной называют *инертностью*. Свойство инертности проявляется в том, что для изменения скорости движения тела необходимо время. Тело не может остановиться мгновенно или, наоборот, значительно увеличить скорость движения.

Инертность **– это свойство тела сохранять состояние равномерного и прямолинейного движения или покоя, когда действие внешних сил отсутствует или взаимно компенсируется.**

Инерция – это явление сохранения скорости тела при отсутствии действия на него других тел.

Ответьте на вопросы

1. *Почему небесные тела находятся в постоянном движении?*
2. *Почему легкоатлет после передачи эстафеты продолжает свой бег (рис. 89)?*

Рис. 89. *Техника передачи эстафеты основана на законах физики*

II. Первый закон Ньютона

Общие законы движения тел сформулировал И. Ньютон. Первым законом с небольшим уточнением он назвал закон инерции Г. Галилея. В результате опытов и наблюдений он пришел к выводу, что в некоторых системах отсчета утверждение Галилея не выполняется. Например, пассажир при ускоренном или замедленном движении транспорта непроизвольно теряет равновесие и меняет скорость своего движения. При этом никакие другие силы,

Вспомните!

Какое движение называют движением по инерции?

АРМАНТ-ТВ бастасы

за исключением силы тяжести и силы реакции опоры, на него не действуют *(рис. 90)*, следовательно, закон инерции не выполняется.

Если систему отсчета связать с телом, которое движется с ускорением, то закон инерции относительно этой системы не выполняется.

И. Ньютон, уточняя закон инерции, ввел понятие инерциальной системы отсчета и сформулировал закон следующим образом:

Существуют такие системы отсчета, относительно которых тело движется прямолинейно и равномерно или находится в покое, если на него не действуют силы или действие этих сил скомпенсировано.

III. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета

Система отсчета, связанная с Землей, является инерциальной, так как относительно нее закон инерции выполняется.

Те системы отсчета, в которых закон инерции выполняется, называют *инерциальными системами отсчета.*

Все явления, происходящие в равномерно движущемся транспорте: поезде или теплоходе, протекают так же, как и на Земле. Например, мяч, брошенный вертикально вверх, упадет в точку бросания; ваза, поставленная на стол, сохраняет состояние покоя. В системах отсчета, движущихся с постоянной скоростью относительно Земли, закон инерции выполняется. Эти системы являются инерциальными.

Системы отсчета, связанные с телами, которые движутся с ускорением относительно Земли, называют *неинерциальными.*

Транспорт, движущийся с ускорением, является неинерциальной системой отсчета. Закон инерции относительно него не выполняется.

Задание 1

1. Приведите примеры движения по инерции.
2. Приведите примеры инерции покоя.
3. Какие силы действуют на движущееся тело в приведенных вами примерах?
4. Какие тела из приведенных вами примеров обладают большей инертностью?

Рис. 90. *Движение пассажиров по инерции*

Ответьте на вопросы

Почему при резком уменьшении скорости движения автобуса пассажиры наклоняются вперед (рис. 90)?
Что произойдет с пассажирами при резком увеличении скорости? При повороте автобуса вправо? При повороте влево?

Задание 2

Приведите примеры инерциальных и неинерциальных систем отсчета.

Обратите внимание!

Во Вселенной все вращается, инерциальных систем отсчета в природе не существует.

АРМАНПВ бастасы

IV. Модель инерциальной системы отсчета

Для тел, движущихся вокруг Земли, наша планета становится неинерциальной системой отсчета, так как она совершает вращательное движение вокруг своей оси и Солнца. При изучении движения тел Солнечной системы используют систему отсчета, связанную с Солнцем. Солнце вместе с планетами движется вокруг центра нашей Галактики. Следовательно, система отсчета, связанная с Солнцем также неинерциальна. Инерциальная система отсчета – это модель, которая вводится для упрощения решения физических задач. Систему отсчета считают инерциальной, если ее использование не дает больших погрешностей при расчетах.

Земля является инерциальной системой отсчета для всех движений, происходящих на планете, за исключением космических.

Ответьте на вопрос

Почему систему отсчета, связанную с Землей, нельзя использовать при расчете космических полетов?

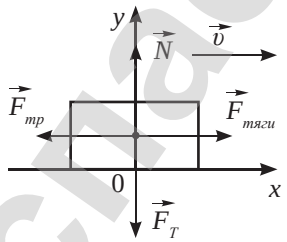


Рис. 91. *Тело движется с постоянной скоростью, если действие сил скомпенсировано*

Ответьте на вопрос

Почему в земных условиях невозможно проверить закон инерции Галилея?

V. Скомпенсированное действие сил

Рассмотрим равномерное прямолинейное движение с точки зрения первого закона Ньютона. Укажем все силы, действующие на тело *(рис. 91)*.

В земных условиях автомобиль может двигаться равномерно, если сила тяги будет компенсировать действие силы трения: $F_{тяги} = F_{тр}$.

Ответьте на вопрос

В каком случае проекция вектора положительная? В каком случае – отрицательная?

Сила реакции опоры компенсирует действие силы тяжести: $N = F_T$. Это означает, что равнодействующая всех сил, приложенных к телу, равна нулю:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_{тяги} + \vec{F}_{тр} + \vec{F}_T + \vec{N} = 0,$$

где $\vec{F}_R$ – равнодействующая сила, которая определяется геометрической суммой сил, приложенных к телу.

Записанное равенство является математическим выражением первого закона Ньютона.

В общем случае для произвольных сил, действующих на равномерно движущееся тело, закон инерции примет вид:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + ... + \vec{F}_n = 0, \quad (1)$$

где n – число сил, приложенных к телу.

Если равнодействующая всех сил действующих на тело будет равна нулю, то сумма проекций на выбранную ось равна нулю:

$$F_{1x} + F_{2x} + ... + F_{nx} = 0; \quad (2)$$

$$F_{1y} + F_{2y} + ... + F_{ny} = 0. \quad (3)$$

АРМАН-ПВ басылы

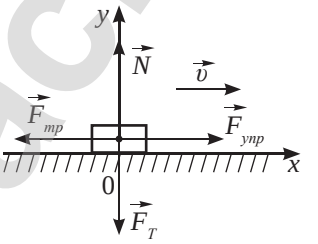
Возьмите на заметку

Алгоритм решения задач с применением I закона Ньютона

1. Изобразить тело и силы, действующие на тело.
2. Записать I закон Ньютона в векторном виде (1).
3. Выбрать удобные для решения оси координат.
4. Записать I закон Ньютона в проекциях на выбранную ось (2, 3).
5. Записать I закон Ньютона в модулях с учетом знаков проекций.
6. Заменить силы через величины, от которых они зависят.
7. Решить полученное уравнение (систему уравнений) относительно неизвестной величины.
8. При необходимости использовать формулы кинематики.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Деревянный брусок массой 2 кг тянут равномерно по деревянной доске, расположенной горизонтально, с помощью пружины с жесткостью 100 Н/м. Коэффициент трения равен 0,3. Найдите удлинение пружины.



Дано:	**Решение:**
$m = 2$ кг	Изобразим на рисунке тело, укажем силы, действующие на него.
$k = 100$ Н/м	Тело движется равномерно $\upsilon = const$, следовательно, равнодействующая всех сил равна нулю:
$\mu = 0{,}3$	
$x - ?$	

$$\vec{F}_{упр} + \vec{F}_{тр} + \vec{F}_T + \vec{N} = 0\,. \qquad (1)$$

Проведем оси координат через центр масс тела 0. С учетом знаков проекций и их величин на ось *0x* уравнение (1) запишем в виде:

$$-F_{тр} + F_{упр} = 0. \qquad (2)$$

Выразим силы через величины, от которых они зависят:

$$F_{тр} = \mu N; \qquad (3)$$

$$F_{упр} = kx. \qquad (4)$$

Подставим формулы (3) и (4) в выражение (2): $\mu N = kx$.

Из полученного равенства выразим x: $x = \dfrac{\mu N}{k}$. (5)

Для определения силы реакции опоры уравнение (1) запишем с учетом знаков проекций на ось *0y* в виде: $N - mg = 0$ или $N = mg$. (6)

Подставив уравнение (6) в (5), получим выражение для расчета растяжения пружины: $x = \dfrac{\mu mg}{k}$.

Выполним вычисления: $x = \dfrac{0{,}3 \cdot 2\,кг \cdot 9{,}8\,\dfrac{Н}{кг}}{100\,\dfrac{Н}{м}} \approx 0{,}06\,м = 6\,см$.

Ответ: $x = 6$ *см*.

АРМАН-ПВ баспасы

Контрольные вопросы

1. Какое явление называют инерцией?
2. Что такое инертность тела? В чем она проявляется?
3. В чем различие инерции и инертности?
4. В чем различие формулировок закона инерции Г. Галилея и И. Ньютона?
5. Какие системы отсчета называют инерциальными системами? Какие – неинерциальными?
6. Сформулируйте I закон Ньютона.

Упражнение 13

1. Изобразите силы, действующие на беркута *(рис. 92)*. Можно ли утверждать, что действие сил скомпенсировано?
2. Груженые сани равномерно перемещают по льду, покрывшему озеро. Определите силу, приложенную к саням горизонтально, если их масса равна 0,2 т, а коэффициент трения саней по льду равен 0,2.
3. Обшивая террасу, плотник прижал брусок массой 400 г к вертикальной стене с силой 0,005 кН, направленной горизонтально. Чему равен коэффициент трения, если брусок не падает?

Рис. 92. *Первый республиканский турнир охоты с ловчими птицами «Кыран-2018», прошедший в рамках программы «Взгляд в будущее: модернизация общественного сознания», собрал более 70 участников*

Упражнение 13д

1. Алмагуль держит на нити шарик, наполненный водородом. Изобразите силы, действующие на шарик. При каком условии шарик находится в состоянии покоя? Что произойдет, если выпустить нить из рук?
2. Магнит массой 50 г прилип к школьной доске. Для равномерного скольжения магнита вниз прикладывают силу 1,5 Н. Какую силу надо приложить, чтобы переместить магнит по доске вертикально вверх?

АРМАН-ПВ баспасы

§ 14. Силы в механике

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *объяснять природу силы тяжести, силы упругости, силы трения.*

Ответьте на вопросы

1. *Сколько видов сил существует в природе?*
2. *Назовите силы, которые действуют на расстоянии.*
3. *Какие силы действуют при непосредственном контакте взаимодействующих тел?*

Вспомните!

1. Какие силы называют силой тяжести, силой упругости, силой трения?
2. По каким формулам вычисляют эти силы?
3. Какое выражение называют законом Гука?
4. Как изображают силы?
5. Каким прибором их измеряют?
6. Как определяют цену деления и показание измерительного прибора?

I. Силы в природе

Взаимодействие окружающих нас тел мы характеризуем физической величиной – силой. Вокруг нас множество тел и, казалось бы, существует множество сил. Все силы в природе можно разделить на четыре вида, которые отличаются причиной своего происхождения или своей природой. В физике рассматривают четыре вида сил различной природы: гравитационные, электромагнитные, сильные, слабые.

В механических явлениях проявляют себя только гравитационные и электромагнитные силы молекулярного происхождения.

Причиной возникновения гравитационных сил является масса тела. К силам гравитации относится сила всемирного тяготения и сила тяжести. Сила тяжести – это частный случай проявления силы всемирного тяготения.

Взаимодействие заряженных частиц является причиной возникновения электромагнитных сил. Сила упругости и сила трения возникают при деформации тел: сила упругости возникает в результате деформации сжатия или растяжения, а сила трения – в результате деформации сдвига. Удаление или приближение электронных оболочек и ядер атомов при деформации тел приводит к изменению их взаимодействия. Вес тела, сила реакции опоры, сила натяжения подвеса, сила Архимеда – это различные виды проявления силы упругости. Эти силы возникают в результате сжатия или растяжения тел.

Задание 1

Приведите примеры действия силы реакции опоры, силы натяжения, веса тела, силы Архимеда.

АРМАН-ПВ басылы

Задание 2

1. Изучите таблицу «Основные характеристики сил». Сравните точки приложения сил и их направления.
2. Вспомните, как графически изображают величину силы, как находят равнодействующую сил, направленных вдоль одной прямой в одну сторону и в противоположные стороны.
3. Изобразите силы, действующие на летящий мяч, поплавок на поверхности воды, коробку на транспортерной ленте *(рис. 93)*.

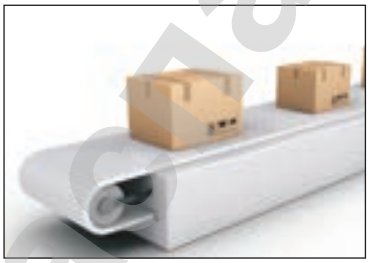
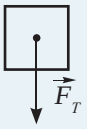
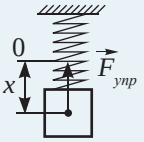
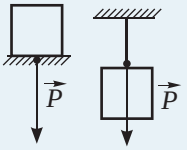


Рис. 93. *К заданию 2*

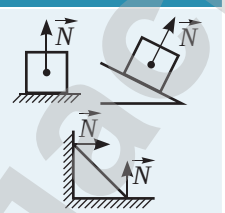
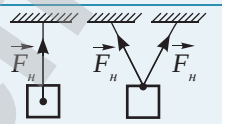
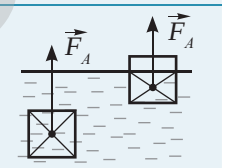
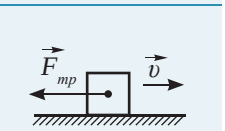
II. Основные характеристики сил механики

Действие силы зависит от ее величины, направления и точки приложения. Обобщим знания обо всех изученных в механике силах и сведем их в таблицу.

Таблица 9. *Основные характеристики сил*

Сила	Формула расчета числового значения	Точка приложения	Направление	Рисунок
Сила тяжести	$F = mg$	Центр массы тела. Центр тяжести тела (для малых тел совпадает с центром масс)	Вертикально вниз	
Сила упругости	$F = kx$	Точка соприкосновения тела с деформирующим его телом	Противоположно смещению тела от положения равновесия	
Вес тела	$P = mg$ для неподвижной горизонтальной опоры и вертикального подвеса	Поверхность опоры или точка подвеса нити	Вертикально вниз	

АРМАНПБ базасы

Сила	Формула расчета числового значения	Точка приложения	Направление	Рисунок
Сила реакции опоры	Определяется по законам Ньютона	Центр масс тела или поверхность тела, соприкасающаяся с опорой	Перпендикулярно поверхности опоры	
Сила натяжения нити	Определяется по законам Ньютона	Центр масс тела или точка подвеса тела	Вдоль нити	
Сила Архимеда	$F_А = \rho g V_{пч}$	Центр масс вытесненной телом жидкости	Вертикально вверх	
Сила трения скольжения, максимальная сила трения покоя	$F = \mu N$	Центр масс тела (если тело движется поступательно)	Против направления движения тела	

Обратите внимание!

Центр масс для тел правильной формы находится в точке пересечения осей симметрии. Рассматривая поступательное движение тел, мы заменяли их материальной точкой, располагая ее в центре масс.

Эксперимент

1. Измерьте силы, действующие:
   а) на брусок, который движется равномерно по поверхности стола;
   б) на груз, подвешенный к пружине;
   в) на тело, погруженное в сосуд с водой.
2. Изобразите на рисунке измеренные силы в выбранном вами масштабе.

Задание 3

Определите цену деления шкал динамометров, изображенных на *рисунке 94* и их показания.

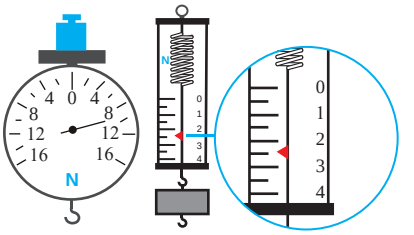


Рис. 94. *К заданию 3*

АРМАН-ПВ басылы

Задание 4

Укажите, какую силу измеряют динамометром *(рис. 95, а-г)*.

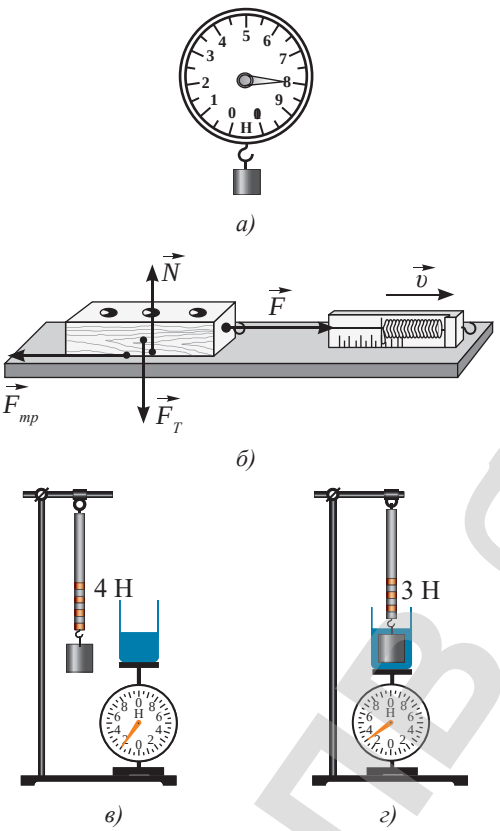


Рис. 95. *Измерение сил динамометром*

Задание 5

Вспомните, какую силу называют равнодействующей силой?
Скажите, как определяют равнодействующую сил, направленных под углом друг к другу?
Определите равнодействующую сил, приложенных к телу под углом 120°, и вес тела *(рис. 96)*. Цена деления динамометров 0,2 Н. Изобразите силы на рисунке.

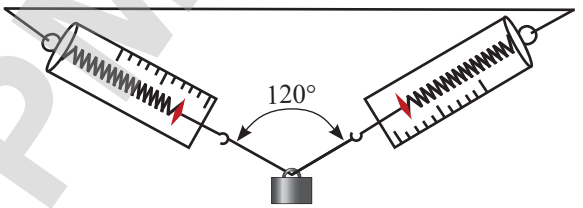


Рис. 96. *К заданию 5*

Задание 6

Поясните слова:
сила, природа силы, цена деления шкалы измерительного прибора, показание прибора.

Вспомните!

1. Как найти равнодействующую двух или нескольких сил, действующих на тело вдоль одной прямой в одну сторону?
2. Как найти равнодействующую двух или нескольких сил, действующих на тело вдоль одной прямой в противоположные стороны?
3. Как будет двигаться тело, если силы, приложенные к нему, равны по модулю, но противоположны по направлению? Чему будет равна их равнодействующая?

Возьмите на заметку

Для определения равнодействующей силы необходимо воспользоваться правилами сложения векторов (см. § 2).

АРМАН-ПВ баспасы

Контрольные вопросы

1. На какие виды делят все силы в природе?
2. Какова причина возникновения гравитационных сил?
3. Какова причина возникновения электромагнитных сил?
4. Какие силы электромагнитного происхождения рассматривают в механике?
5. От каких факторов зависит действие силы?

Упражнение 14

1. Масса подвешенного к тросу груза m = 15 ц. Определите модуль силы упругости, возникающей в тросе.
2. На тело вдоль одной прямой в одном направлении действуют две силы, равные F_1 = 9 Н, F_2 = 12 Н. Изобразите эти силы графически и найдите их равнодействующую.
3. Определите коэффициент трения покрытия транспортерной линии с углом наклона 30°, предназначенной для перемещения грузов массой 20 кг в картонной упаковке. Смогут ли удержаться на этой поверхности коробки массой 30 кг?

Упражнение 14д

1. Пружина длиной l_1 = 6 см под действием силы, модуль которой F_1 = 50 Н, удлинилась на Δl = 4 мм. Определите длину l_2 пружины под действием силы, модуль которой F_2 = 200 Н.
2. Четыре силы направлены по одной прямой: влево 6 Н и 11 Н, а вправо 12 Н и 5 Н. Изобразите эти силы графически, определите их равнодействующую.

Экспериментальное задание

Используя лист бумаги и линейку, определите коэффициент трения бумаги о стол. Подготовьте отчет по выполненной работе.

Творческое задание

Составьте сравнительную таблицу силы тяжести, силы трения и силы упругости, параметры сравнения разработайте самостоятельно.

АРМАНПВ баспасы

§ 15. Второй закон Ньютона, масса

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *формулировать второй закон Ньютона и применять его при решении задач.*

Ответьте на вопросы

1. *Почему нельзя перебегать дорогу перед быстро движущимся транспортом?*
2. *В каком случае автомобиль движется по инерции:*
   - *после отключения двигателя;*
   - *когда действие всех сил на автомобиль скомпенсировано, и его скорость движения не меняется?*
3. *Верно ли утверждение «Изменения скоростей равны при воздействии на различные тела одной и той же силы»?*

Эксперимент

1. Проведите опыты по описанию I и II части параграфа и *рис. 97, 98.*
2. Убедитесь в верности выводов, приведенных в параграфе.
3. Оцените погрешности и укажите факторы, которые внесли наибольшую погрешность при проведении эксперимента.
4. Предложите способы улучшения качества выполненного эксперимента.

I. Связь силы с ускорением тела

Если действие сил на тело не скомпенсировано, то тело движется с ускорением. Установим связь ускорения с равнодействующей силой.

На наклонную доску трибометра *(рис. 97)* прикрепим блок и поставим на него брусок. Медленно наклоняя трибометр, зафиксируем тот момент, когда брусок начнет соскальзывать с его поверхности. В этот момент сила трения достигает максимального значения, но силы, действующие на тело, все еще компенсируют друг друга.

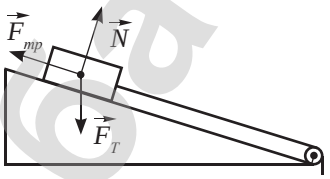


Рис. 97. *Брусок скользит равномерно, если действие сил скомпенсировано*

$$\vec{F}_{тр} + \vec{F}_T + \vec{N} = 0 .$$

Подвесим к свободному концу нити груз. Под действием силы тяжести, действующей на груз, нить натянется, и брусок начнет двигаться с ускорением *(рис. 98)*.

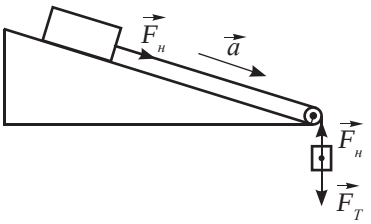


Рис. 98. *Брусок движется с ускорением под действием нескомпенсированной силы*

Ускорение выразим из формулы расчета перемещения при $\upsilon_0 = 0$, получим:

$$a = \frac{2s}{t^2} .$$

Из формулы следует, что перемещение прямо пропорционально ускорению:

$$s \sim a.$$

АДЖАН-ПВ бастасы

Изменяя массу груза, будем измерять перемещение бруска по наклонной плоскости за один и тот же промежуток времени. При этом условии отношение перемещений равно отношению ускорений:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{a_1}{a_2}.$$

Задание 1

По полученным в эксперименте результатам постройте графики зависимости ускорения:
1) от приложенной к телу силы;
2) от массы тела.

По результатам опыта легко убедиться в том, что при увеличении массы груза в 2 раза, перемещение бруска возрастает в 2 раза. Увеличение массы в 3 раза приведет к увеличению перемещения в 3 раза. Следовательно, ускорение прямо пропорционально зависит от силы, приложенной к телу и не скомпенсированной другими телами:

$$a \sim F.$$

Обобщим вывод, заменив не скомпенсированную силу равнодействующей всех сил:

$$a \sim F_R.$$

Равнодействующая сила в рассмотренном случае равна:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_н + \vec{F}_{тр} + \vec{F}_T + \vec{N}.$$

II. Связь массы тела с ускорением. Масса – мера инертности тела

Проведем тот же опыт, не меняя массу груза, подвешенного к нити. Это равносильно тому, что приложенная к бруску сила остается постоянной величиной.

Увеличим массу бруска в 2 раза, его перемещение уменьшится в 2 раза.

Увеличение массы в 3 раза приведет к уменьшению перемещения в 3 раза.

При постоянном значении действующей на тело силы зависимость ускорения тела от его массы обратно пропорциональная.

$$a \sim \frac{1}{m}.$$

III. Второй закон Ньютона

Запишем второй закон Ньютона, объединив полученные выше выводы:

Ускорение, которое получает тело прямо пропорционально равнодействующей всех сил, приложенных к телу, и обратно пропорционально его массе.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_R}{m}. \qquad (1)$$

Ускорение и равнодействующая сила в инерциальных системах отсчета сонаправлены $\vec{a} \uparrow\uparrow \vec{F}_R$, так как масса – скалярная величина.

АРМАНПВ басылы

При решении задач динамики удобно использовать запись второго закона Ньютона в виде:

$$m\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + ... + \vec{F}_n, \qquad (2)$$

где n – число сил, действующих на тело.

Второй закон Ньютона называют основным уравнением динамики.

Возьмите на заметку

Алгоритм решения задач с использованием основного уравнения динамики

1. Изобразить силы, действующие на тело, и направление ускорения.
2. Записать II закон Ньютона в векторном виде (2).
3. Выбрать удобные для решения оси координат.
4. Записать II закон Ньютона в проекциях на выбранную ось.
5. Записать II закон Ньютона в модулях с учетом знаков проекций.
6. Заменить силы через величины, от которых они зависят.
7. Решить полученное уравнение (систему уравнений) относительно неизвестной величины.
8. При необходимости использовать формулы кинематики.

Кусочки науки

Синус острого угла в прямоугольном треугольнике – это отношение противолежащего катета к гипотенузе:

$$\sin\alpha = \frac{a}{c}.$$

Косинус острого угла в прямоугольном треугольнике – отношение прилежащего катета к гипотенузе:

$$\cos\alpha = \frac{b}{c}.$$

Задание 3

Запишите формулы расчета катетов прямоугольного треугольника по значению гипотенузы *(рис. 99)*.

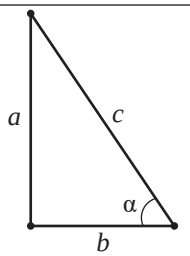


Рис. 99. *К заданию 3*

Задание 2

Из формулы (1) получите формулы расчета силы и массы тела.
Вспомните и сформулируйте правила математики, которые вы использовали для записи этих формул.

Ответьте на вопрос

Какие системы отсчета называют инерциальными, какие – неинерциальными?

Ответьте на вопросы

1. *Почему нельзя утверждать, что сила, действующая на тело, прямо пропорциональна массе тела и его ускорению?*
2. *Почему нельзя утверждать, что масса тела зависит от его ускорения и приложенной к нему силы?*

Запомните!

Второй закон Ньютона выполняется только в инерциальных системах отсчета.

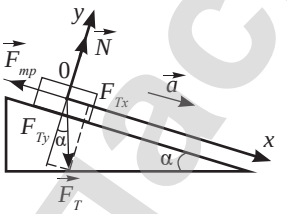
Вспомните! (§2)

1. Как определить проекцию вектора на выбранную ось?
2. Как определить знак проекции?
3. Как определить числовое значение проекции?

АРМАН-ПВ базасы

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

С каким ускорением скользит брусок по наклонной плоскости с углом наклона $\alpha = 30°$ при коэффициенте трения $\mu = 0{,}2$?



Дано:	**Решение:**
$\alpha = 30°$ $\mu = 0{,}2$	Тело движется с ускорением под действием силы трения, силы тяжести и силы реакции опоры. Запишем
a – ?	

основное уравнение динамики:

$$m\vec{a} = \vec{F}_{тр} + \vec{F}_T + \vec{N}\,. \qquad (1)$$

Выберем удобные для решения оси координат.

Направим ось *0x* по направлению движения тела, начало отсчета совместим с центром масс тела.

Запишем второй закон Ньютона в проекциях на выбранные оси:

0x: $$ma_x = F_{трx} + F_{Tx} + N_x\,. \qquad (2)$$

0y: $$ma_y = F_{трy} + F_{Ty} + N_y\,. \qquad (3)$$

Определим знаки проекций, выразим их через модули векторов, подставим в уравнение (2) и (3):

$$ma = -F_{тр} + F_т \sin\alpha; \qquad (4)$$

$$0 = N - F_т \cos\alpha. \qquad (5)$$

В полученные равенства подставим формулы расчета силы тяжести: $F_т = mg$ и силы трения $F_{тр} = \mu N$:

$$ma = -\mu N + mg\sin\alpha; \qquad (6)$$

$$0 = N - mg\cos\alpha. \qquad (7)$$

Выразим силу реакции опоры из уравнения (7) и подставим в уравнение (6):

$N = mg\cos\alpha$;

$ma = mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha$;

$a = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)$.

Значение ускорения: $a = 9{,}8$ м/с^2(sin30° – 0,2cos30°) ≈ 3,3 м/с^2.

Ответ: $a = 3{,}3$ м/с^2.

Контрольные вопросы

1. Какая связь существует между силой, приложенной к телу, и ускорением?
2. Как масса тела влияет на полученное им ускорение под воздействием силы?
3. Сформулируйте второй закон Ньютона.
4. Можно ли утверждать, что на тело, движущееся по окружности, действует сила, направленная к центру окружности?

АРМАН-ПВ басылы

Упражнение 15

1. Поезд массой 500 т движется равнозамедленно и в течение 1 минуты уменьшает свою скорость от 40 км/ч до 28 км/ч. Определите силу торможения. Ответ представьте в МН и округлите до сотых.
2. Тепловоз развивает силу тяги 260 кН и ведет состав 250 т по горизонтальному участку пути. Определите ускорение, с которым движется состав, если на всем пути действует сила трения 0,1 кН. Ответ представьте в SI.
3. Сани со стальными полозьями равномерно перемещают по льду, прилагая горизонтальное усилие 4 Н. Определите массу саней, если коэффициент трения саней по льду равен 0,2. Принять g = 10 м/с^2.

Упражнение 15д

1. На тело в течение 10 с действовала сила 4,9 Н. Определите массу тела, если изменение скорости в результате действия силы составило 18 км/ч.
2. Материальная точка массой 100 г движется под действием трех сил, модули которых равны 10 Н. Векторы сил лежат в одной плоскости и образуют два угла по 60°. С каким ускорением движется точка?
3. По наклонной плоскости, расположенной под углом 30° к горизонту, скользит тело. Найдите его ускорение, если коэффициент трения равен 0,3. Принять g = 10 м/с^2. Ответ представьте в SI и округлите до десятых.

АРМАН-ПВ баспасы

§ 16. Третий закон Ньютона

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *формулировать третий закон Ньютона и применять его при решении задач.*

Ответьте на вопросы

1. *Почему невозможно заставить лодку сдвинуться с места, упираясь в ее борт?*
2. *Почему барон Мюнхаузен не мог вытащить себя за волосы из болота (рис. 100)?*

Рис. 100. *К вопросу 2*

I .Третий закон Ньютона – закон взаимодействия тел

Любая сила возникает только при взаимодействии тел, при этом на каждое из взаимодействующих тел действует сила и каждое получает ускорение, силы возникают парами. Ньютон сформулировал закон взаимодействия тел:

Действию всегда есть равное и противоположное противодействие.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2.$$

Это соотношение называют третьим законом Ньютона.

Тела взаимодействуют силами, равными по модулю и противоположными по направлению.

II. Экспериментальная проверка третьего закона Ньютона

Для опытной проверки выполнения третьего закона Ньютона достаточно провести довольно простые опыты.

Третий закон Ньютона выполняется, как для сил возникающих при соприкосновении тел, так и для сил, действующих на расстоянии. Сравним силы взаимодействия двух магнитов, укрепив их на двух тележках с прикрепленными динамометрами. При взаимодействии магнитов на различных расстояниях показания динамометров будут меняться, но при этом они всегда будут равными между собой *(рис. 101)*. Следовательно, магниты взаимодействуют друг с другом равными силами.

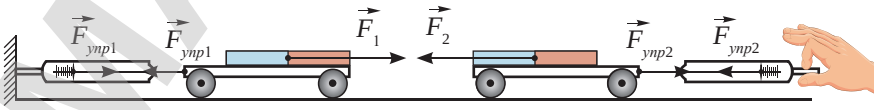


Рис. 101. *Силы взаимодействия постоянных магнитов равны*

Эксперимент

Соединив два динамометра крючками, растяните их. Убедитесь в том, что они оба покажут одинаковые значения сил. Можно ли утверждать, что силы направлены в противоположные стороны? Сформулируйте вывод из проведенного опыта.

АРМАН-ПВ сасгасы

III. Изображение сил взаимодействия тел

Для верного истолкования третьего закона Ньютона отметим некоторые особенности взаимодействия тел.

Силы взаимодействия – это силы одной природы, они приложены к разным телам, действуют вдоль одной прямой.

Знание особенностей сил взаимодействия тел позволяет изобразить их без особых затруднений.

Рассмотрим пример: Земля притягивает ракету с силой тяжести равной $F_1 = mg$ и направленной вертикально вниз к центру Земли *(рис. 102)*.

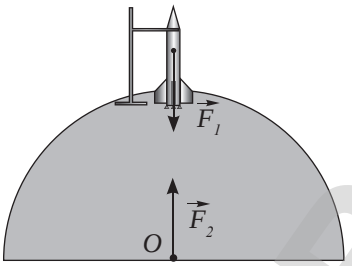


Рис. 102. *Силы взаимодействия планеты Земля с космической ракетой*

Силу противодействия приложим к Земле, к ее центру масс. Силы действуют вдоль одной прямой в противоположном направлении, следовательно, силу направим вертикально вверх. Она той же природы, это значит, что является силой тяготения, силы на основании третьего закона равны $F_2 = F_1 = mg$.

Если рассматривают взаимодействие ракеты с поверхностью Земли, как опоры, то силы взаимодействия будут другими.

Силу, с которой ракета давит на опору, называют *весом*. Вес тела приложен к опоре и направлен вниз. Вес является силой электромагнитной природы, парой этой силы должна быть сила той же природы. Силу, с которой опора действует на тело, называют *силой реакции опоры*. Она приложена к телу, действует вдоль той же прямой,

Задание 1

Изобразите графически силы взаимодействия:
1) стола и книги, лежащей на нем;
2) Земли и Луны;
3) люстры и подвеса;
4) поверхности ледяной горки и санок, спускающихся по ней.

Ответьте на вопросы

1. *Почему в игре «перетягивание канатов», вопреки третьему закону Ньютона, есть победители?*
2. *Почему при равенстве сил взаимодействия лошадь тащит тележку, а не тележка лошадь?*
3. *Почему при столкновении шаров различной массы на большее расстояние отлетает шар меньшей массы?*
4. *Почему силы взаимодействия двух тел не компенсируют друг друга?*
5. *Почему парой силы тяжести в третьем законе Ньютона не может быть сила реакции опоры?*

АРМАНПВ басылы

направлена в противоположную сторону и равна весу по модулю *(рис. 103)*.

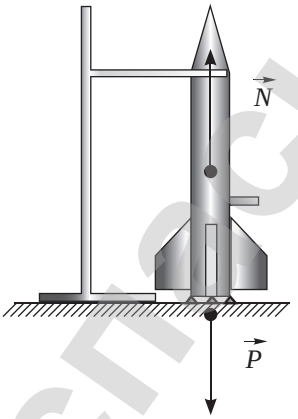


Рис. 103. *Силы взаимодействия космической ракеты с опорой – поверхностью Земли*

IV. Соотношение ускорений взаимодействующих сил

Рассмотрим взаимодействие человека и Земли. На основании третьего закона Ньютона силы их взаимодействия равны. Но почему в прыжке мы не можем заставить Землю двигаться вслед за собой и падаем на ее поверхность? Ответ на этот вопрос дает второй закон Ньютона. Выразим силы взаимодействия тел через ускорения и массы тел:

$$m_1 a_1 = m_2 a_2.$$

Из полученного выражения следует:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}.$$

При взаимодействии тел их ускорения обратно пропорциональны массам.

Ускорение Земли при взаимодействии с человеком во столько раз меньше, во сколько раз ее масса больше массы человека.

Задание 2

Определите ускорение Земли при взаимодействии с человеком массой 60 кг во время его прыжка. Массу Земли примите равной $6 \cdot 10^{24}$ кг, ускорение свободного падения 10 м/с^2.

V. Внутренние силы связанной системы тел

Части одного и того же тела или связанной системы тел могут взаимодействовать друг с другом. Взаимодействуют детали станков, различных устройств.

Силы взаимодействия частей одного и того же тела или системы связанных тел называют *внутренними*.

Интересно знать!

1. Подумайте, какая сила приводит машину в движение: сила тяги двигателя или сила трения покоя?
2. Как человек ходит?

Внутренние силы не могут привести тело в движение. Атлет без труда поднимает своего партнера, выполняя акробатический номер, но ему никогда не удастся приподнять себя. При взаимодействии частей одного и того же тела согласно третьему закону Ньютона возникают силы, которые приложены к одному и тому же телу. Они компенсируют друг друга, и тело в целом не движется относительно других тел.

Задание 3

На основе третьего закона Ньютона докажите, что сила, необходимая для начала движения тела, – это сила трения покоя. Укажите направление этой силы для шагающего человека.

АРМАН-ПВ баспасы

Обратите внимание!

Силы взаимодействия двух тел равны по числовому значению, противоположны по направлению, но не компенсируют друг друга.
Сумма сил, равных по значению, но противоположных по направлению, равна нулю, если они приложены к одному и тому же телу.

Интересно знать!

В истории техники записан случай, когда изобретатели упустили из виду третий закон Ньютона. Он напомнил о себе, когда испытывали первый вертолет (геликоптер). Так как несущий пропеллер вращался справа налево, то в силу третьего закона Ньютона корпус вертолета стал вращаться в противоположную сторону – слева направо. Вертолет превратился в летающую карусель, в которую не соглашался сесть ни один пассажир.
Этот недостаток устранили, установив на вертолет два несущих пропеллера, вращающихся в противоположные стороны *(рис. 104)*. Вращательное движение корпуса сразу прекратилось, потому что движение двух винтов взаимно компенсировалось, а подъемная сила, направленная вверх, сохранилась.

Рис. 104. *Летящий вертолет*

Задание 4

Приведите три примера проявления третьего закона Ньютона в жизни: природе, технике, быту.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте третий закон Ньютона.
2. Как проверить выполнение третьего закона Ньютона на опыте?
3. Каково соотношение ускорений и масс взаимодействующих тел?
4. Могут ли внутренние силы привести в движение систему связанных тел? Почему?
5. Автомобиль тянет прицеп. По третьему закону Ньютона сила, с которой автомобиль тянет прицеп, равна силе, с которой прицеп действует на автомобиль. Почему же прицеп движется за автомобилем?

АРМАН-ПВ 6 класы

Упражнение 16

1. Марат и Асхат тянут веревку в противоположные стороны с силой 50 Н каждый. Разорвется ли веревка, если она выдерживает натяжение до 80 Н?
2. При разгрузке машины Ермек выяснил, что один ящик можно сдвинуть с места, если к нему приложить силу не менее чем 60 Н. Определите силу, с которой ящик давит на пол, если коэффициент трения между ящиком и полом равен 0,3.

Упражнение 16д

1. Изобразите на рисунке силы взаимодействия: а) колеса велосипеда и поверхности дороги; б) Солнца и Марса; в) лежащего на дне реки камня и воды.
2. Строитель прижимает к вертикальной стене деревянный брусок. С какой силой он давит на брусок, если сила реакции стены составляет 5 Н?
3. Марат и Асхат, массы которых 40 кг и 50 кг, стоят на коньках на льду. Марат отталкивается от Асхата с силой 10 Н. Какие ускорения получат мальчики?

Творческое задание

Исследуйте возможность изменения скорости вращения Земли в том случае, если все население начнет одновременно движение с ускорением 1 м/с^2. Может ли это произойти, если все домашние и дикие звери начнут двигаться в одном направлении?

АРМАН-ПВ баспасы

§ 17. Закон всемирного тяготения

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *формулировать закон всемирного тяготения и применять его при решении задач.*

Эксперимент

Бросьте бумажный шарик в горизонтальном направлении. Выясните, как начальная скорость влияет на дальность полета? Можем ли мы считать движение шарика свободным падением? При каком условии шарик не упадет на поверхность Земли?

Ответьте на вопросы

1. *Является ли движение Луны вокруг Земли примером свободного падения?*
2. *Почему Луна не падает на Землю?*
3. *Почему тяжелые и легкие тела падают одновременно?*

Задание 1

Используя данные III части параграфа, определите ускорение, с которым движется Луна. Полученный результат сравните с ускорением свободного падения 9,8 $\frac{м}{с^2}$.

Убедитесь в том, что ускорение Луны меньше приблизительно в 3600 раз.

I. Свободное падение тел под действием силы всемирного тяготения

К открытию закона всемирного тяготения И. Ньютон пришел на основе своих рассуждений: «Брошенный горизонтально камень отклоняется под действием тяжести от прямолинейного пути и, описав кривую траекторию падает, наконец, на Землю. Если его бросить с большей скоростью, то он упадет дальше». При определенном значении скорости камень не смог бы упасть на Землю из-за ее кривизны, он двигался бы точно так же, как спутники вокруг Земли.

Ньютон приходит к выводу: *движение Луны вокруг Земли и планет вокруг Солнца является свободным падением, которое происходит под действием силы всемирного тяготения.*

II. Зависимость силы тяготения от массы

У поверхности Земли все тела падают с одним и тем же ускорением 9,8 м/с^2, не зависящим от массы тела. Это возможно только в том случае, если сила взаимодействия тела с Землей зависит от массы тела. Тогда увеличение массы вдвое привело бы к увеличению силы вдвое, а ускорение, равное отношению силы к массе, осталось бы прежним:

$$a = \frac{2F}{2m} = \frac{F}{m}.$$

Во взаимодействии участвуют два тела, по третьему закону Ньютона силы их взаимодействия равны, *следовательно, силы тяготения должны быть пропорциональны массам двух тел:*

$$F \sim m_1 m_2.$$

III. Зависимость силы тяготения от расстояния между телами

Природа создала условия для экспериментальной проверки предположений Ньютона. Причиной свободного падения тел у поверхности Земли

АРХИВ ГПВ басасы

и движения Луны вокруг Земли, по его убеждению, является сила притяжения Земли.

Допустив, что Луна движется вокруг Земли по окружности, не сложно рассчитать ее ускорение:

$$a_Л = \frac{4\pi^2}{T^2} R_З ,$$

где T – период обращения Луны вокруг Земли,

T = 27 суток 7 ч 43 мин = $2{,}4 \cdot 10^6$ с,

R – радиус лунной орбиты, равный шестидесяти радиусам Земли, $R_З = 6{,}4 \cdot 10^6$ м.

Ускорение Луны отличается от ускорения свободного падения у поверхности Земли приблизительно в 3600 = 60^2 раз. Это свидетельствует о том, что ускорение обратно пропорционально квадрату расстояния:

$$a \sim \frac{1}{R^2} .$$

На основании второго закона Ньютона $\alpha \sim F$, тогда:

$$F \sim \frac{1}{R^2} .$$

Сила взаимодействия тел обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

IV. Закон всемирного тяготения. Гравитационная постоянная

Объединив полученные выводы, в 1687 г. И. Ньютон сформулировал закон всемирного тяготения:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2} ,$$

где G – коэффициент пропорциональности или гравитационная постоянная.

Гравитационная постоянная показывает, с какой силой взаимодействуют два тела массой по 1 кг, находясь на расстоянии 1 м друг от друга.

Силы гравитации центральные, они приложены к центру масс взаимодействующих тел и направлены вдоль прямой, соединяющей эти точки *(рис. 105)*.

Ответьте на вопросы

1. *Почему ускорение свободного падения Луны меньше ускорения падения тел у поверхности Земли?*
2. *Почему ускорение свободного падения тел у поверхности Земли не зависит от их массы?*
3. *Почему на Земле невозможно наблюдать взаимодействие тел силами тяготения?*

Запомните!

Границы применимости закона всемирного тяготения.

Закон можно применять:

а) для материальных точек;

б) для тел, имеющих форму шара;

в) для шара большого радиуса, взаимодействующего с телами, размеры которых значительно меньше размеров шара.

Закон нельзя применять:

а) для взаимодействия бесконечного стержня и шара;

б) для тела и бесконечной плоскости.

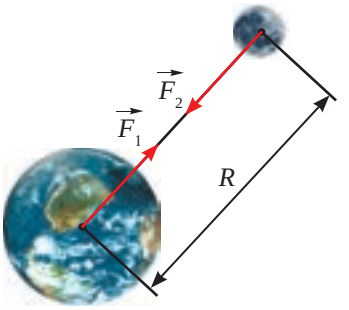


***Рис. 105**. Силы гравитации приложены к центру масс взаимодействующих тел*

АРМАН-ПВ бастасы

Сравним закон всемирного тяготения при взаимодействии Земли с телом, $F = G\frac{M_3 m}{R_3^2}$ с силой тяжести $F = mg$.

По своей природе это одна и та же сила, следовательно: $g = G\frac{M}{R^2}$, где g – ускорение свободного падения у поверхности Земли, M – масса Земли, R – ее радиус.

Запомните!

$G = 6,67 \cdot 10^{-11}\ \frac{Н \cdot м^2}{кг^2}$

Все тела притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между центрами масс тел.

Для тела массой m, находящегося на расстоянии h от поверхности Земли закон всемирного тяготения примет вид: $F = G\frac{M_3 m}{(R_3 + h)^2}$, где M_3 – масса Земли, R_3 – радиус Земли, $R = R_3 + h$ – расстояние от центра Земли до центра масс тела.

Интересно знать!

Впервые лабораторным методом гравитационную постоянную определил в 1798 г. английский ученый Генри Кавендиш. Для нахождения этой величины он использовал крутильные весы. Сложность постановки опыта в сравнении с определением кулоновских сил заключалась в том, что гравитационные силы значительно слабее. Потребовались более чувствительные крутильные весы с зеркальным отражателем *(рис. 106)*.Определив силу взаимодействия шаров известной массы по углу закручивания стержня, Кавендиш рассчитал гравитационную постоянную.

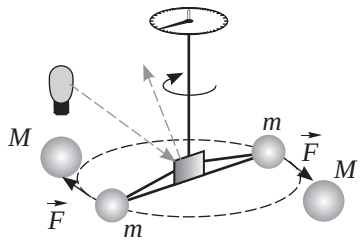


Рис. 106. *Крутильные весы с зеркальным отражателем*

V. Масса – мера гравитации

Ускорение свободного падения прямо пропорционально зависит от массы небесного тела. При удалении небесных тел друг от друга, значение ускорения уменьшается пропорционально квадрату расстояния.

Полученная зависимость позволяет определить ускорение свободного падения у поверхности любого небесного тела при его известной массе и размерах.

Задание 2

Докажите, что напряженность гравитационного поля и ускорение свободного падения равны.

Возьмите на заметку

Вокруг каждого тела, обладающего массой, образуется гравитационное поле. Поля различных тел отличаются друг от друга силовой характеристикой – напряженностью: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{m_G}$, где E – напряженность гравитационного поля; m_G – гравитационная масса тела – источника поля.

АРМАНПВ баспасы

Для Юпитера расчеты дают результат $g \approx 25$ м/с^2, для Луны $g \approx 1{,}67$ м/с^2.

Из полученных результатов следует, что гравитационное поле Юпитера сильнее земного более чем в 2,5 раза. На Луне гравитационное поле слабее земного в 6 раз. Действие поля зависит от массы небесных тел, следовательно, *масса является мерой гравитации.*

Запомните!

Все законы Ньютона действуют только в инерциальных системах отсчета.

Задание 3

Определите напряженность гравитационного поля человека массой 60 кг на расстоянии 1 м от его центра масс. Сравните результат с напряженностью гравитационного поля Земли вблизи ее поверхности.

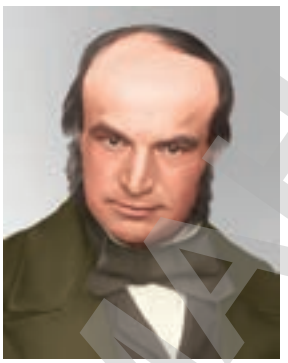
Задание 4

Рассчитайте значение ускорения свободного падения тела на расстояниях, равных: $2R_З$, $3R_З$, $4R_З$, $5R_З$, $6R_З$ от центра Земли. Изобразите графически зависимость ускорения свободного падения от расстояния.

Кусочки науки

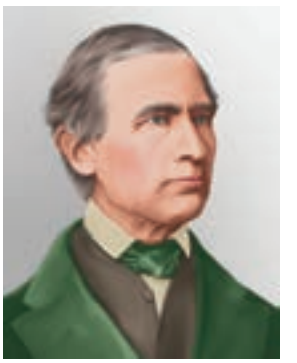
В 1843 г. английский ученый Джон Кауч Адамс вычислил орбиту восьмой внешней планеты, существование которой ученые предсказывали в связи с изменениями в орбите Урана. Независимо от Адамса французский математик Урбен Леверье в 1845–1846 годы провел свои собственные расчеты и убедил астронома Берлинской обсерватории Иоганна Готтфрида Галле заняться поисками планеты. Нептун был обнаружен 23 сентября 1846 г. в пределах 1° от координат, предсказанных Леверье.

Факт обнаружения Нептуна исключительно по расчетам подтвердил правильность законов Кеплера и Ньютона, на которых были основаны все расчеты в астрономии.



Джон Адамс

Урбен Леверье



Иоганн Галле

Контрольные вопросы

1. Как сила тяготения зависит от массы тела? От расстояния между телами?
2. Сформулируйте закон всемирного тяготения.

АРМАНПВ запасы

3. Кто определил гравитационную постоянную опытным путем? Чему она равна?
4. Как называют силовую характеристику гравитационного поля? Что она показывает?
5. Как зависит напряженность поля от массы тела и расстояния от его центра масс?
6. Какая зависимость существует между напряженностью гравитационного поля и расстоянием от центра масс тела?

Упражнение 17

1. На каком расстоянии от поверхности Земли сила притяжения космического корабля к ней в 100 раз меньше, чем на поверхности Земли?
2. Определите силу, действующую на тело массой 1 кг, находящегося на расстоянии 600 км от поверхности Земли. Принять радиус земного шара 6400 км, массу Земли $6 \cdot 10^{24}$ кг, $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}$ Н·м²/кг². Ответ представьте в SI и округлите до десятых.
3. Средняя плотность Венеры 5200 кг/м³, а радиус планеты 6100 км. Определите ускорение свободного падения на поверхности Венеры.

Упражнение 17д

1. Оцените порядок значения силы взаимного тяготения двух кораблей, удаленных друг от друга на 100 м, если масса каждого из них 10 000 т.
2. Радиус планеты Марс составляет 0,53 радиуса Земли, а масса – 0,11 массы Земли. Зная ускорение свободного падения на Земле, найдите ускорение свободного падения на Марсе.
3. Рассчитайте напряженность гравитационного поля Марса на расстоянии $0{,}5R_м$, $R_м$, $1{,}5R_м$, $2R_м$ от его поверхности. Изобразите график полученной зависимости, сравните с графиком зависимости ускорения свободного падения Земли от расстояния.

Творческое задание

1. Рассчитайте напряженности полей Солнца и планет Солнечной системы. Необходимые данные найдите в справочной литературе. Результаты вычислений сведите в таблицу. Сделайте сравнительный анализ полученных значений.
2. Подготовьте сообщение о Г. Кавендише.

АРМАНПВ баспасы

§ 18. Вес тела, невесомость

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *определять вес тела, движущегося с ускорением;*
- *объяснять состояние невесомости.*

Ответьте на вопрос

Почему в конце подъема на лифте и в начальный момент спуска появляется ощущение легкости в теле?

Вспомните!

При каких обстоятельствах вы можете испытать такие же ощущения?

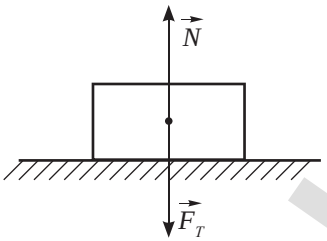


***Рис. 107**. Сила реакции опоры компенсирует действие силы тяжести*

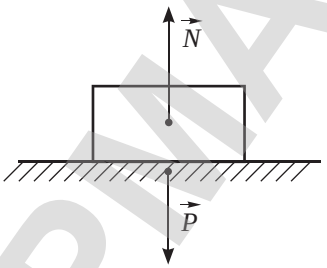


***Рис. 108**. Силы взаимодействия тел равны*

I. Вес покоящегося тела и тела, движущегося прямолинейно и равномерно

На тело, которое находится на горизонтальной опоре, действуют сила тяжести и сила реакции опоры *(рис. 107)*.

Если тело и опора неподвижны или движутся равномерно и прямолинейно, то это значит, что действие сил скомпенсировано. Силы равны по числовому значению:

$$N = F_T = mg\,.$$

Для определения веса тела используем третий закон Ньютона.

***Вес тела* – это сила, с которой тело действует на опору или подвес вследствие его притяжения к Земле.**

Вес тела является результатом деформации тела при взаимодействии с опорой. Парой этой силы является сила реакции опоры, которая возникает в результате деформации опоры. Это силы одной природы, они действуют в противоположных направлениях вдоль одной прямой и приложены к разным телам *(рис. 108)*. На основании третьего закона Ньютона они равны:

$$P = N = mg\,.$$

Возьмите на заметку

На основании третьего закона Ньютона, сила реакции опоры и вес –это силы электромагнитной природы, они являются двумя силами, о которых идет речь в этом законе. Из-за действия опоры или подвеса, под действием силы тяжести тело деформируется, в результате деформации давит на опору или растягивает подвес.

АРМАН-ПВ басылы

Задание 1

Рассмотрите *рисунки 109 а, б*. Какие силы изображены на них? Почему к первому рисунку применим I закон Ньютона, а ко второму – III закон?
Что можно сказать о соотношении сил в случае, когда тело вместе с подвесом:
а) находятся в покое;
б) движутся вертикально вверх или вертикально вниз с постоянной скоростью?

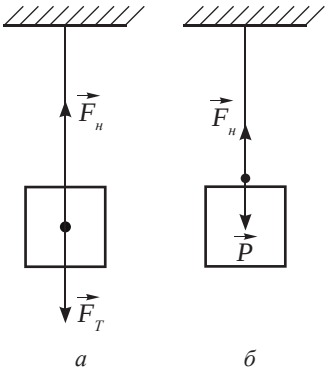


Рис. 109. *К заданию 1*

II. Увеличение веса тела. Перегрузка

При ускоренном движении тела и его опоры степень их деформации изменяется, соответственно, меняются и силы взаимодействия. Определим вес тела при условии, когда ускорение тела направлено противоположно ускорению свободного падения *(рис. 110)*.

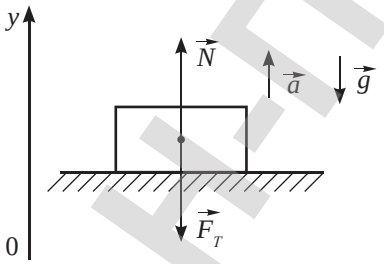


Рис. 110. *Ускорения противоположно направлены, вес тела возрастает*

Это условие соответствует ускоренному подъему тела вверх или его замедленному спуску вниз.

Запишем второй закон Ньютона для рассматриваемого случая. Тело движется с ускорением под действием силы тяжести и силы реакции опоры:

$$m\vec{a} = \vec{N} + \vec{F}_T .$$

Запомните!

Если тело вместе с опорой или подвесом находится в покое или движется прямолинейно и равномерно, то вес тела равен силе тяжести.

Возьмите на заметку

Увеличение веса, вызванное его ускоренным движением, называют перегрузкой.
Обозначим перегрузку буквой k, тогда:

$$k = \frac{P}{P_0};$$

$$k = \frac{m(g+a)}{mg};$$

$$k = \frac{g+a}{g};$$

$$k = 1 + \frac{a}{g}.$$

При десятикратной перегрузке тело движется с ускорением, превышающим ускорение свободного падения в 9 раз.

Обратите внимание!

Сила тяжести при свободном падении тел не исчезает, масса остается постоянной величиной.

АРМАН-ПВ баспасы

В проекции на ось $0y$ уравнение примет вид: $ma_y = N_y + F_{Ty}$.
Учитывая знаки проекций, получим равенство: $ma = N - F_T$.
Сила, с которой опора действует на тело, равна:

$$N = ma + F_T = ma + mg;$$

$$N = m(g + a).$$

На основании третьего закона Ньютона $P = N$, следовательно:

$$P = m(g + a).$$

Если тело вместе с опорой движется с ускорением, направленным противоположно ускорению свободного падения, то его вес больше веса покоящегося тела.

III. Уменьшение веса тела. Невесомость

Рассмотрим случай, когда тело движется с ускорением, направленным по направлению ускорения свободного падения *(рис. 111)*. При таком условии тело или ускоренно спускается с опорой вниз, или замедленно поднимается вверх.

Если тело вместе с опорой движется с ускорением, сонаправленным с ускорением свободного падения, то его вес меньше веса покоящегося тела.

Состояние тела, при котором вес тела равен нулю, называют невесомостью.

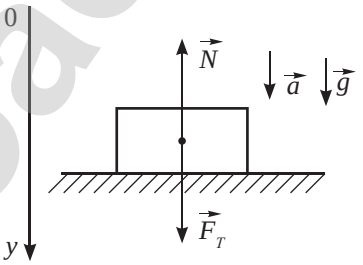


Рис. 111. *Ускорения сонаправлены, вес тела уменьшается*

Задание 2

Используя *рисунок 111*, II и III законы Ньютона, докажите, что вес тела равен:

$$\boldsymbol{P = m(g - a)}.$$

Интересно знать!

При свободном падении тело движется с ускорением, равным ускорению свободного падения $a = g$, в этом случае тело становится невесомым:

$$\boldsymbol{P = m(g - a) = m(g - g) = 0}.$$

Ответьте на вопросы

1. *Почему космонавт на космической станции становится невесомым?*
2. *Почему в состоянии невесомости вес космонавта равен нулю, а сила тяжести нет?*
3. *Почему тренажеры по подготовке летчиков и космонавтов к перегрузке представляют собой центрифугу (рис. 112)?*

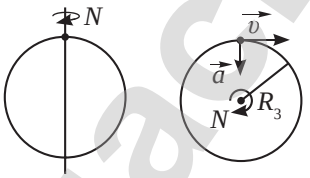
Рис. 112. *К вопросу 3*

АГЮАН-ПВ басгасы

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Определите вес тела массой 1000 т на полюсе и на экваторе. Радиус Земли считать равным 6400 км.

Дано:	**SI**	**Решение:**
m = 1000 т	10^6 кг	Радиус вращения тела вокруг оси на полюсе равен нулю, на экваторе равен радиусу Земли.
R_3 = 6400 км	$6{,}4 \cdot 10^6$ м	
P_1 – ? P_2 – ?		



Следовательно, на полюсе вес тела будет равен силе тяжести: $P_1 = mg$.
На экваторе вес тела будет меньше, он равен:

$$P_2 = m(g - a),$$

так как центростремительное ускорение сонаправлено с ускорением свободного падения.
По условию задачи изменением радиуса Земли можно пренебречь, следовательно, примем g = 9,81 м/с² и на полюсе, и на экваторе.
Ускорение, с которым вращается тело вокруг оси, находясь на экваторе, определим по формуле:

$$a = \frac{4\pi^2 R_3}{T^2},$$

где T = 24 часа = 86400 с;

тогда $P_2 = m\left(g - \frac{4\pi^2 R_3}{T^2}\right)$.

Выполним вычисления:

$$P_1 = 10^6\,кг \cdot 9{,}81\,\frac{м}{с^2} = 9{,}81 \cdot 10^6\,Н.$$

$$P_2 = 10^6\,кг\left(9{,}81\,\frac{м}{с^2} - \frac{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 6{,}4 \cdot 10^6\,м}{8{,}64^2 \cdot 10^8\,с^2}\right) = 9{,}77 \cdot 10^6\,Н.$$

Ответ: P_1 = 9,81 МН; P_2 = 9,77 МН.

Контрольные вопросы

1. Укажите условие, при котором:
   а) вес тела равен силе тяжести;
   б) вес тела увеличивается;
   в) вес тела уменьшается;
   г) тело становится невесомым.
2. Что такое перегрузка? Невесомость?

АРМАН-ПВ баспасы

Упражнение 18

1. Докажите, что вес автомобиля при прохождении выпуклого моста равен $P = m\left(g - \frac{\upsilon^2}{R}\right)$ *(рис. 113)*.
2. Космическая ракета движется вертикально вверх с ускорением 5 м/с². Определите вес космонавта, если его масса 75 кг. Принять $g = 10\,\frac{м}{с^2}$.

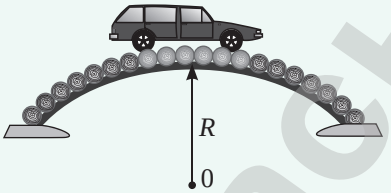


***Рис. 113**. Вес тела, движущегося по выпуклой поверхности, уменьшается*

3. Автомобиль массой 3 т движется равномерно со скоростью 36 км/ч по мосту, который прогибается под тяжестью этого автомобиля, образуя дугу радиусом 50 м. Определите силу давления автомобиля на мост в средней его точке. Принять $g = 10\,\frac{м}{с^2}$. Ответ представьте в килоньютонах (кН) и округлите до целого числа.

Упражнение 18д

1. Докажите, что в нижней точке траектории при выводе самолета из пикирования, летчик испытывает перегрузку $P = m\left(g + \frac{\upsilon^2}{R}\right)$ *(рис. 114)*.
2. Космический корабль совершает мягкую посадку на Луну, двигаясь замедленно в вертикальном направлении (относительно Луны) с постоянным ускорением 8,38 м/с². Сколько весит космонавт массой 70 кг, находящийся в этом корабле?

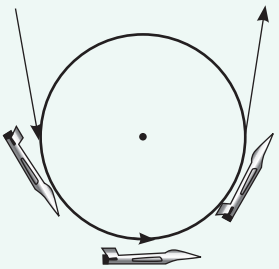


***Рис. 114.** Вес тела в нижней точке траектории полета увеличивается*

3. По выпуклому мосту, имеющему радиус кривизны 40 м, движется автобус массой 2 т со скоростью 36 км/ч. Определите силу давления автобуса на мост в его верхней точке Принять $g = 10\,\frac{м}{с^2}$. Ответ представьте в килоньютонах (кН).

Экспериментальное задание

Используя напольные весы, определите свой вес в момент начала движения лифта, в период его подъема и в момент торможения. Аналогичные замеры сделайте при спуске лифта. По результатам измерений определите перегрузку и ускорение, с которым движется лифт. Выясните, на каком участке пути движение лифта равномерное.

АРМАНПВ баспасы

§ 19. Движение тела под действием силы тяжести. Движение искусственных спутников Земли

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *применять формулу первой космической скорости при решении задач;*
- *сравнивать особенности орбит космических аппаратов;*
- *рассчитывать параметры движения тела в поле тяготения.*

Ответьте на вопросы

1. *Почему свободно падающие тела находятся в невесомости?*
2. *Можно ли утверждать, что искусственные спутники Земли свободно падают?*

Задание 1

1. Вспомните и запишите в тетради формулы для свободного падения тел.
2. Изобразите рисунок с указанием направления вектора ускорения, скорости для тела, брошенного вниз с начальной скоростью $\vec{v}_0$. Выберите удобную для решения ось.

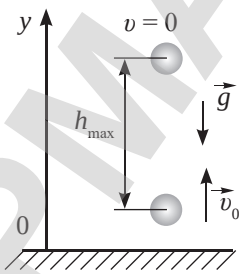


Рис. 115. *Движение тела по вертикали под действием силы тяжести*

Траектория свободно падающего тела зависит от величины и направления его начальной скорости.

Выбор метода решения задач по определению скорости, перемещения, пути и координаты тела зависит от начальных условий. Рассмотрим случаи, когда тело находится вблизи Земли и $g = \text{const}$.

I. Движение тела по вертикали с ускорением свободного падения

Ускорение и скорость при движении тела по вертикали направлены вдоль одной прямой *(рис. 115)*. Движение тела вверх замедленное, вниз – ускоренное. В этом случае задачу решают по формулам равнопеременного движения, направив ось координат $0y$ по направлению движения тела.

II. Движение тела, брошенного горизонтально

Если тело брошено горизонтально, то движение тела рассматривают относительно двух осей координат: $0x$ и $0y$ *(рис. 116)*. Если не учитывать сопротивление воздуха, скорость по оси $0x$ остается величиной постоянной. Дальность полета l и координату x определяют по формулам равномерного движения:

$$l = v_{0x}t \qquad (1)$$

и

$$x = x_0 + l\,. \qquad (2)$$

Время полета тела находят по времени его падения, которое зависит от высоты тела над поверхностью Земли:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}\,. \qquad (3)$$

По оси $0y$ движение происходит с ускорением g, для расчета величин, характеризующих движение, используют формулы равнопеременного движения:

$$v_y = v_{0y} + g_y t\,; \qquad (4)$$

АРМАН-ПВ басылы

$$h_y = v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}; \quad (5)$$

$$y = y_0 + h_y. \quad (6)$$

Мгновенную скорость в каждой точке траектории находят по соотношению:

$$v = \sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2}. \quad (7)$$

Она направлена по касательной к траектории движения тела *(рис. 116)*.

Задание 2

Вспомните и запишите в тетради название всех величин, входящих в формулы части II §19, их единицы измерения в SI.

III. Движение тела, брошенного под углом к горизонту

Определим основные величины, характеризующие движение тела, брошенного под углом к горизонту: составляющие скорости v_{0x}, v_{0y}; время полета t, высоту h_y и дальность полета l. Все кинематические величины определяют, как и в предыдущем примере, на основе принципа независимости движений.

По оси $0x$ тело движется с постоянной скоростью, равной *(рис. 117)*:

$$v_{0x} = v_0 cos\alpha. \quad (8)$$

По оси $0y$ до момента достижения максимального подъема движение тела равнозамедленное, начальная скорость равна:

$$v_{0y} = v_0 \sin\alpha. \quad (9)$$

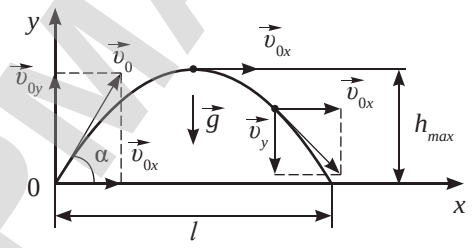


Рис. 117. *Траектория движения тела, брошенного под углом к горизонту, под действием силы тяжести*

Вспомните!

Ускорение свободного падения на различных небесных телах отличаются.

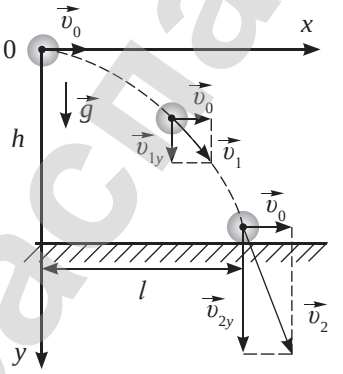


Рис. 116. *Траектория движения тела, брошенного горизонтально, под действием силы тяжести*

Ответьте на вопрос

Как определить ускорение свободного падения небесного тела известной массы и размера?

Ответьте на вопросы

1. *Почему при свободном падении тел траекторией движения могут быть прямая линия, парабола, окружность?*
2. *Почему тело, удаляясь от Земли, движется замедленно, приближаясь к Земле – ускоренно?*
3. *Почему в верхней точке траектории тела, брошенного под углом к горизонту, скорость равна ее составляющей по оси 0x?*

АРМАН-ПВ басласы

В верхней точке траектории $\upsilon_y = 0$, затем тело падает вниз, его движение становится равноускоренным. Время максимального подъема определяют из условия $\upsilon_y = 0$, при этом условии $\upsilon_0 \sin\alpha - gt = 0$, тогда:

$$t_{под} = \frac{\upsilon_0 \sin\alpha}{g}. \qquad (10)$$

Продолжительность всего полета находят из условия $y = 0$:

$$y_0 + (\upsilon_0 \sin\alpha)t - \frac{gt^2}{2} = 0,$$

при $y_0 = 0$ уравнение примет вид:

$$(\upsilon_0 \sin\alpha)t - \frac{gt^2}{2} = 0.$$

Преобразуем выражение, вынесем за скобку время:

$$t\left(\upsilon_0 \sin\alpha - \frac{gt}{2}\right) = 0.$$

Полученное уравнение имеет два решения:

$$t_1 = 0 \text{ и } t_2 = \frac{2\upsilon_0 \sin\alpha}{g}. \qquad (11)$$

Первое решение соответствует моменту, когда тело начинает движение, второе – моменту падения тела и определяет продолжительность полета.

Максимальную высоту полета найдем из соотношения:

$$h_y = \frac{\upsilon_y^2 - \upsilon_{0y}^2}{2g_y},$$

при условии $\upsilon_y = 0$, так как в верхней точке тело останавливается, и формулы (9) получим:

$$h_y = \frac{\upsilon_0^2 \sin^2\alpha}{2g_y}. \qquad (12)$$

При расчете дальности полета используют формулу для равномерного движения $l = \upsilon_{0x} t$.

С учетом составляющей скорости по оси $0x$ (8) она примет вид:

$$l = (\upsilon_0 \cos\alpha)t. \qquad (13)$$

Задание 3

Докажите:
1) что время подъема тела до верхней точки траектории и время спуска одинаковые;
2) что дальность полета максимальна при значении угла равном 45°;
3) что дальность полета для угла, к горизонту 30° и 60° имеет одно и то же значение.

Ответьте на вопрос

Можно ли утверждать, что дальность полета для дополнительных углов одинаковая?

Вспомните!

Вспомните из курса математики.
1. Какие углы называют дополнительными?
2. Каким свойством обладают синусы и косинусы дополнительных углов?

Обратите внимание!

Время полета тела больше времени подъема в 2 раза, следовательно, время падения до уровня броска равно времени подъема.

Запомните!

Скорость, с которой спутник движется вокруг небесного тела по круговой орбите, называют первой космической скоростью. Для Земли первая космическая скорость равна 7,9 км/с.

АЙМАН-ТІВ басылы

IV. Движение искусственных спутников Земли

Определим скорость искусственного спутника Земли, движущегося по орбите, радиус которой незначительно превышает радиус Земли: $h \ll R$ *(рис. 118)*.

Запишем основное уравнение динамики для движущегося спутника:

$$ma = F.$$

Под действием силы тяжести $F = mg$ тело движется с центростремительным ускорением $a = \frac{v^2}{R}$ следовательно:

$$\frac{mv^2}{R} = mg\,.$$

Из полученного равенства выразим скорость:

$$v = \sqrt{gR}\,. \qquad (14)$$

Если спутник движется по орбите, высота которой над поверхностью Земли сравнима с ее радиусом, то при расчете скорости движения необходимо использовать закон всемирного тяготения:

$$\frac{mv^2}{R_З + h} = \frac{GM_З m}{(R_З + h)^2},$$

где $R = R_З + h$ – радиус орбиты.

Из полученной формулы выразим формулу расчета скорости на различных высотах h от поверхности Земли:

$$v = \sqrt{\frac{GM_З}{R_З + h}}\,. \qquad (15)$$

Чем больше радиус орбиты тела, тем меньше ее орбитальная скорость.

V. Особенности орбит космических аппаратов

Спутник может преодолеть силу тяготения Земли и стать спутником Солнца, если его скорость при запуске с поверхности Земли будет равна 11,2 км/с. Эту скорость называют *второй*

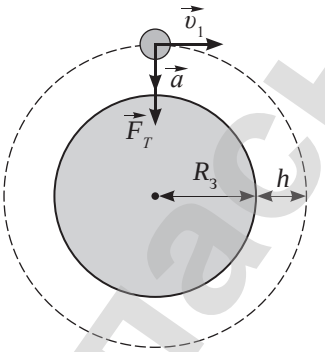


Рис. 118. *Движение искусственных спутников в поле тяжести Земли – пример свободного падения тел*

Задание 4

1. Определите значение первой космической скорости для нашей планеты Земля. Ускорение свободного падения примите равным 9,8 м/с^2, радиус Земли $6{,}4 \cdot 10^6$ м.
2. Вычислите, во сколько раз отличаются первые космические скорости на Земле и Марсе.

Задание 5

1. Определите орбитальную скорость спутника Земли на высоте, равной радиусу Земли.
2. Определите высоту полета спутника Земли, орбитальная скорость которого в 2 раза меньше первой космической скорости у поверхности Земли.

Задание 6

Приведите примеры рассмотренных в параграфе движений в окружающей среде.

АРМАНТІВ баспасы

космической скоростью. Если скорость тела имеет значение больше первой космической, но меньше второй, то его траектория движения представляет собой эллипс. Выполняются законы Кеплера.

Скорости спутников зависят от высоты и траектории полета вокруг Земли. Расстояние орбит от поверхности Земли колеблется от 100 км до 40 тыс. км. На низких околоземных круговых орбитах скорость обращения необходимо увеличить из-за притяжения Земли и трения о верхние слои атмосферы. На высотах от 200 до 2000 км орбитальная скорость имеет значения от 6,9 км/с до 7,8 км/с. На высоте геостационарной орбиты, которая составляет 35 786 км, скорость спутника равна 3,1 км/с.

Углы наклона плоскости вращения спутника вокруг Земли к экватору могут быть различны *(рис. 119).* Если спутник вращается над полюсами с наклоном 90° к плоскости экватора (3), то он может обследовать всю поверхность планеты. Такие спутники используют для геодезических исследований. Если спутник летит в сторону направления вращения Земли над линией экватора на высоте 35 786 км (1), то он будет находиться над одной и той же точкой земного экватора. Такой спутник используется для осуществления спутниковой связи. Спутник, вращающийся по орбите с углом наклона меньше 90° (2), может обследовать только часть поверхности Земли. Систему спутников с такой орбитой использует служба навигации.

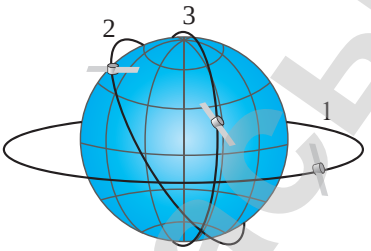


Рис. 119. *Виды орбит спутников*

Возьмите на заметку

Все кинематические величины, характеризующие движение искусственных спутников Земли по круговой орбите, определяются так же, как и для тел, движущихся по окружности.

Контрольные вопросы

1. Какое движение совершает тело, брошенное под углом к горизонту относительно оси 0*x*, относительно оси 0*y*?
2. Как рассматривают движение тел, брошенных горизонтально или под углом к горизонту?
3. К какому виду движения относится движение искусственных спутников Земли?

АРМАНПВ басылымы

Упражнение 19

1. Свободно падающее тело на высоте 0,1 км имело скорость 50 м/с. На какой высоте оно будет через 1 с? На какой высоте оно было 1 с назад? Принять g = 10 м/с^2. Ответ представьте в единицах SI и округлите до целого числа.
2. Тело брошено горизонтально. Через 5 с после броска угол между направлениями скорости и ускорения стал 45°. Определите скорость тела в этот момент. Принять g = 10 м/с^2. Ответ представьте в единицах SI и округлите до десятых.
3. При увеличении радиуса круговой орбиты искусственного спутника Земли в 4 раза период его обращения увеличился в 8 раз. Во сколько раз изменяется скорость движения спутника по орбите? Ответ обоснуйте.
4. Лучник выпускает стрелу из лука под углом 30° к горизонту с начальной скоростью 60 м/с. Определите расстояние до мишени, если она установлена на уровне лука. Примите равными: g = 10 м/с^2; sin30° = 0,5; $\sin 60° = \frac{\sqrt{3}}{2}$; $\sqrt{3}$ = 1,73.

Упражнение 19д

1. Тело, брошенное вертикально вверх, вернулось на Землю через 4 с. На какую высоту поднялось тело? Принять g = 10 м/с^2, сопротивление воздуха не учитывать.
2. Самолет летит горизонтально со скоростью 360 км/ч на высоте 490 м. Когда самолет пролетает над точкой О, с него сбрасывают предмет без начальной скорости относительно самолета. На каком расстоянии от точки О предмет упадет на Землю? Принять g = 9,8 м/с^2, сопротивление воздуха не учитывать.
3. Из окопа на уровне Земли под углом 45° к горизонту брошена граната с начальной скоростью 9,8 м/с. Определите расстояние между точками бросания и падения гранаты, принять g = 9,8 м/с^2.
4. Какую скорость должен иметь искусственный спутник, чтобы обращаться по круговой орбите на высоте 600 км над поверхностью Земли? Каков период его обращения?

АРМАНПВ басылы

Итоги главы 3

Законы Ньютона:	Закон всемирного тяготения, первая космическая скорость	Вес тела, движущегося с ускорением
$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + ... + \vec{F}_n = 0$ $a = 0;\ v = const$ $\vec{a} = \frac{\vec{F}_R}{m}$ $m\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + ... + \vec{F}_n$ $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$	$F = G\frac{m_1 \cdot m_2}{R^2};\quad F = G\frac{M_З m}{(R_З + h)^2}$ $G = 6,67 \cdot 10^{-11}\frac{Н \cdot м^2}{кг^2}$ $g = G\frac{M}{R^2}$ $v_1 = \sqrt{gR}$ $v_1 = \sqrt{\frac{GM_З}{R_З + h}}$	$P = m(g \pm a)$ $k = 1 + \frac{a}{g}$

Законы Ньютона:

- Существуют такие системы отсчета, относительно которых тела движутся прямолинейно и равномерно, если на них не действуют силы или действия этих сил скомпенсированы.
- Ускорение, которое получает тело, прямо пропорционально равнодействующей всех сил, приложенных к телу и обратно пропорционально его массе.
- Тела взаимодействуют силами, равными по модулю и противоположными по направлению. Силы взаимодействия – это силы одной природы, они приложены к разным телам и действуют вдоль одной прямой.

Глоссарий

Вес тела – это сила, с которой тело действует на опору или подвес вследствие его притяжения к Земле.

Динамика – это раздел механики, изучающий законы взаимодействия тел.

Инерциальные системы отсчета – это те системы отсчета, в которых выполняется закон инерции.

Напряженность – это силовая характеристика поля. Напряженность гравитационного поля показывает, с какой силой оно действует на каждый килограмм массы тела.

Невесомость – это состояние тела, при котором вес тела равен нулю.

Первая космическая скорость – это скорость, с которой спутник движется вокруг небесного тела по круговой орбите.

Перегрузка – это увеличение веса, вызванное его ускоренным движением.

АРМАН-ПВ баспасы

Глава 4

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

Законы сохранения импульса и энергии позволяют решить задачи динамики в тех случаях, когда определить силы взаимодействия тел невозможно.
Изучение явлений природы показало, что законы сохранения применимы не только в механике, но и для микромира, в котором законы Ньютона теряют смысл. Законы сохранения импульса и энергии являются наиболее фундаментальными законами физики.

Изучив главу, вы сможете:

- различать понятия «импульс тела» и «импульс силы»;
- формулировать закон сохранения импульса и применять его при решении задач;
- приводить примеры реактивного движения в природе и технике;
- оценивать региональное и международное значение космодрома Байконур;
- определять механическую работу аналитически и графически;
- объяснять взаимосвязь работы и энергии;
- применять закон сохранения энергии при решении задач.

АРМАН-ПВ баспасы

§ 20. Импульс тела и импульс силы. Закон сохранения импульса

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *различать понятия «импульс тела» и «импульс силы»;*
- *формулировать закон сохранения импульса и применять его при решении задач.*

Ответьте на вопрос

Как определить ускорение, скорость, перемещение тел, взаимодействующих переменными силами?

Интересно знать!

Впервые понятие «количество движения» (импульс тела) ввел Декарт. В физике Рене Декарта нет места силам, тем более силам, действующим на расстоянии через пустоту. Все явления мира сводятся к движениям и взаимодействию соприкасающихся частиц. Когда одно тело сталкивается с другим, оно может сообщить ему лишь столько количества движения, сколько само одновременно потеряет, и отнять у него лишь столько, насколько оно увеличит свое собственное движение.

Декарт говорил о сохранении исходного количества движения в мире. Такое физическое воззрение получило в истории науки название картезианского, от латинского произношения имени Декарта – Картезий.

I. Второй закон Ньютона в импульсном виде

Преобразуем запись второго закона Ньютона, представив ускорение как быстроту изменения скорости тела:

$$\vec{F} = m\vec{a} = \frac{m\Delta\vec{v}}{\Delta t} = m\frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}$$

или

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m\vec{v} - m\vec{v}_0 . \qquad (1)$$

Полученное выражение называют вторым законом Ньютона в импульсном виде.

II. Импульс тела и импульс силы. Изменение импульса тела

Введем понятия величин: импульс тела и импульс силы, которые используются во втором законе Ньютона в импульсном виде. Импульс тела равен произведению массы тела на скорость движения, его обозначают буквой $\vec{p}$:

$$\vec{p} = m\vec{v} . \qquad (2)$$

Величину, равную произведению массы на скорость тела называют *количеством движения* или *импульсом тела*.

Импульс тела – векторная величина, его направление совпадает с направлением скорости тела:

$$\vec{p} \uparrow\uparrow \vec{v} .$$

Единица измерения импульса тела в SI:

$$[p] = 1\,\frac{кг \cdot м}{с} .$$

Изменение импульса – это разность конечного и начального импульса тела:

$$\Delta\vec{p} = \vec{p} - \vec{p}_0 . \qquad (3)$$

Величину, равную произведению силы на время ее действия, называют *импульсом силы*.

АРХИВ-ЛВ basnasы

Единица измерения импульса силы:

$$[F \cdot \Delta t] = 1H \cdot c.$$

Сформулируем второй закон Ньютона с использованием введенных величин:

Импульс силы равен изменению импульса тела.

$$\vec{F} \cdot \Delta t = \Delta \vec{p}. \qquad (4)$$

Из полученного соотношения следует, что направление силы, действующей на тело, совпадает с направлением изменения импульса тела:

$$\vec{F} \uparrow\uparrow \Delta \vec{p}.$$

Ответьте на вопрос

Как изменится направление вектора, если умножить его на положительное число? На отрицательное?

Задание 1

Докажите равенство единиц измерений импульса тела и импульса силы:

$$1\frac{кг \cdot м}{с} = 1H \cdot c.$$

III. Закон сохранения импульса для упругого взаимодействия тел

Рассмотрим упругое взаимодействие двух тел с массами m_1 и m_2, движущихся со скоростями $\vec{v}_{01}$ и $\vec{v}_{02}$ при центральном ударе *(рис. 120, 121)*. В этом случае центры масс лежат на одной прямой, вдоль которой направлены силы взаимодействия и скорости движения тел. Силы взаимодействия связаны третьим законом Ньютона $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$, они не зависят от направления движения тела.

С использованием второго закона Ньютона в импульсном виде третий закон примет вид: $m_1 \dfrac{\vec{v}_1 - \vec{v}_{01}}{\Delta t} = -m_2 \dfrac{\vec{v}_2 - \vec{v}_{02}}{\Delta t}$,

где $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$ – скорости тел после взаимодействия.

Исключим время взаимодействия тел и получим выражение:

$$m_1\vec{v}_1 - m_1\vec{v}_{01} = -\left(m_2\vec{v}_2 - m_2\vec{v}_{02}\right)$$

или

$$\Delta\vec{p}_1 = -\Delta\vec{p}_2. \qquad (5)$$

Уменьшение импульса одного тела приводит к увеличению импульса другого тела на то же значение.

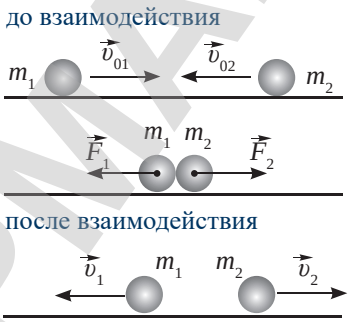


Рис. 120. *Упругое взаимодействие тел, движущихся навстречу*

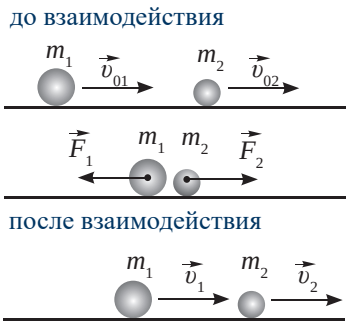


Рис. 121. *Упругое взаимодействие тел, движущихся в одном направлении*

АРМАН-ПВ бастасы

Эксперимент

Пронаблюдайте за взаимодействием 3–4 шаров, выложенных в ряд с движущимся шаром при центральном ударе. Массы и размеры шаров должны быть равными.

К такому выводу пришел в своих рассуждениях Декарт.

Перенесем импульсы тел до взаимодействия в левую часть равенства, импульсы после взаимодействия – в правую часть:

$$m_1\vec{v}_{01} + m_2\vec{v}_{02} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 . \qquad (6)$$

или

$$\vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 . \qquad (7)$$

Полученные равенства (6), (7) называют *законом сохранения импульса.*

Геометрическая сумма импульсов тел при взаимодействии остается постоянной для замкнутой системы.

Задание 2

1. Запишите закон сохранения импульса для упругого взаимодействия трех тел замкнутой системы.
2. Как изменится запись, если удар неупругий? Запишите закон для неупругого столкновения трех тел.
3. Запишите закон для движущегося тела, распавшегося на 4 части.

Ответьте на вопросы

1. *Почему импульсы тел равной массы, движущихся навстречу друг другу с одинаковыми по числовому значению скоростями, нельзя считать равными?*
2. *Почему осколки взорвавшейся гранаты не могут лететь в одну сторону, если до взрыва она была в покое?*

IV. Закон сохранения импульса для абсолютно неупругого взаимодействия тел

После абсолютно неупругого взаимодействия тела движутся как единое целое *(рис. 122, 123).* Силы упругости в телах не возникают, деформация тел пластическая. При неупругом взаимодействии закон сохранения импульса имеет вид:

$$m_1\vec{v}_{01} + m_2\vec{v}_{02} = (m_1 + m_2)\vec{v} \qquad (8)$$

или

$$\vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} = \vec{p} . \qquad (9)$$

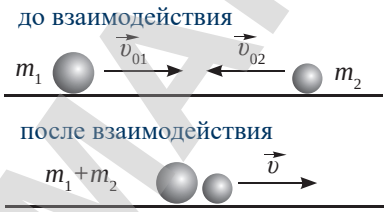


Рис. 122. *Неупругое взаимодействие тел, движущихся навстречу*

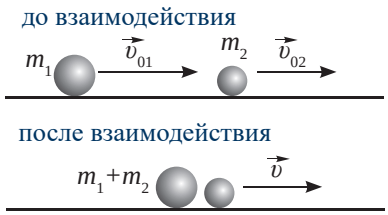


Рис. 123. *Неупругое взаимодействие тел, движущихся в одном направлении*

V. Замкнутая система тел

Закон сохранения импульса справедлив для тел, взаимодействующих между собой и представляющих собой замкнутую систему.

АРМАН-ПВ басылы

Систему тел, на которую не действуют внешние силы, называют *замкнутой системой.*

В земных условиях замкнутых систем тел не существует, так как на все взаимодействующие тела действует сила тяготения Земли. *Систему тел можно считать замкнутой, если действие внешних сил компенсируется или намного меньше сил взаимодействия тел системы.* Например, действие силы тяжести компенсируется силой реакции опоры *(рис. 124),* сила давления пороховых газов, действующая на пулю, значительно превышают силу притяжения Земли.

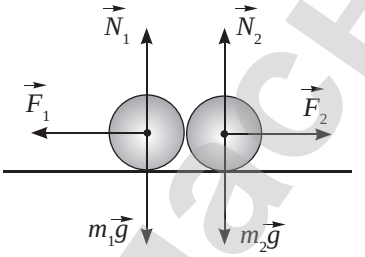


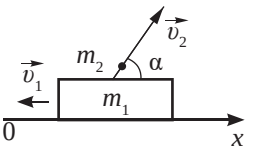
Рис. 124. *Замкнутая система двух взаимодействующих тел*

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Охотник стреляет с легкой надувной лодки. Какую скорость приобретает лодка в момент выстрела, если масса охотника с лодкой равна 70 кг, масса дроби 35 г и средняя начальная скорость дроби 350 м/с. Ствол ружья во время выстрела образует угол 60° к горизонту.

Дано:	**SI**
$m_1 = 70$ кг	
$m_2 = 35$ г	$3{,}5 \cdot 10^{-2}$ кг
$\upsilon_2 = 350$ м/с	
$\alpha = 60°$	
$\upsilon_1 - ?$	

Решение:
До выстрела лодка находилась в покое. Импульс системы тел был равен нулю. Запишем закон сохранения импульса: $0 = m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2$.



В проекции на ось $0x$: $0 = m_1\upsilon_{1x} + m_2\upsilon_{2x}$.
Учитывая знаки проекций и выразив их через модули, получим равенство:
$0 = -m_1\upsilon_1 + m_2\upsilon_2\cos\alpha$.
Из полученного уравнения выразим скорость лодки: $\upsilon_1 = \dfrac{m_2\upsilon_2\cos\alpha}{m_1}$.
Вычислим значение скорости лодки:

$$\upsilon_1 = \frac{3{,}5 \cdot 10^{-2}\,кг \cdot 350\,\frac{м}{с} \cdot 0{,}5}{70\,кг} = 0{,}08\,\frac{м}{с}.$$

Ответ: $\upsilon_1 = 0{,}08$ м/с.

АРМАН-ПВ басасы

Контрольные вопросы

1. Что такое импульс тела? В чем его измеряют?
2. Какая величина называется импульсом силы? Назовите единицу ее измерения.
3. Сформулируйте второй закон Ньютона в импульсном виде.
4. Какая связь существует между изменениями импульсов взаимодействующих тел?
5. В чем заключается закон сохранения импульса?
6. Чем отличается неупругое взаимодействие от упругого?
7. Какая система тел называется замкнутой?

Упражнение 20

1. Движение материальной точки описывается уравнением $x = 5 - 8t + 4t^2$. Приняв массу равной 2 кг, найдите импульс тела через 2 с и через 4 с после начала движения, а также силу, вызвавшую изменение импульса.
2. Человек массой 60 кг бежит со скоростью 18 км/ч, догнав тележку массой 20 кг, движущуюся со скоростью 1 м/с, и вскакивает на нее. С какой скоростью станет двигаться тележка с человеком?
3. Граната массой 600 г, летевшая со скоростью 10 м/с, разорвалась на две части. Скорость большего осколка равна 72 км/ч и направлена в сторону движения гранаты. Скорость меньшего осколка равна 5 м/с и направлена в противоположную сторону. Определите массу большего осколка.

Упражнение 20д

1. На тело в течение 10 с действовала сила 4,9 Н. Определите массу тела, если изменение скорости в результате действия силы составило 5 м/с.
2. Материальная точка массой 1 кг равномерно движется по окружности со скоростью 36 км/ч. Определите изменение импульса за одну четверть периода, половину периода, период.
3. Человек прыгает с покоящейся тележки со скоростью 10 м/с относительно Земли. Определите модуль скорости, с которой покатится тележка, если масса человека 60 кг, а тележки 100 кг.

АРМАНПВ баспасы

§ 21. Реактивное движение

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *приводить примеры реактивного движения в природе и технике;*
- *оценивать региональное и международное значение космодрома Байконур.*

Ответьте на вопросы

1. *Как замедлить движение корабля в космическом пространстве?*
2. *Почему брандспойт пожарной машины тяжело удержать в руках? Как он будет двигаться, если вырвется из рук?*

К.Э. Циолковский (1857–1935) – русский ученый, исследователь, изобретатель, школьный учитель. Основоположник современной космонавтики, автор работ по аэродинамике, воздухоплаванию. Предложенные им идеи, касающиеся ракет, ракетных двигателей, космических полетов оказали большое влияние на развитие космической техники.

I. Реактивное движение

Реактивное движение могут совершать различные тела, например, в природе реактивное движение совершают осьминоги, кальмары, медузы; в технике – самолеты, ракеты.

Реактивное движение **– это движение тела, которое возникает в результате отделения от него некоторой части с какой-либо скоростью.**

Возможность создания ракет с реактивным двигателем для вывода космических кораблей в космическое пространство впервые обосновал К.Э. Циолковский. В 1903 г. был опубликован его научный труд «Исследование мировых пространств реактивными приборами». В своей работе он предложил конструкцию многоступенчатой ракеты, двигателя на жидком топливе, произвел первые расчеты движения тел переменной массы, оценил стартовые массы ракеты и топлива.

II. Реактивный двигатель

Реактивный двигатель создает тяговое усилие без опоры или контакта с другими телами. По этой причине он используется для приведения в движение самолетов, ракет и космических аппаратов. Реактивный двигатель создает необходимую для движения силу тяги посредством преобразования энергии топлива в кинетическую энергию реактивной струи газа.

Существует два основных класса реактивных двигателей: воздушно-реактивные двигатели и ракетные двигатели. У сверхзвуковых самолетов

Эксперимент

Отпустите надутый воздушный шарик, не завязывая его нитью. Объясните, почему шарик движется в пространстве? Выясните, к какому виду движения относится наблюдаемый вами полет.

АРХИВ ПВ basras

с воздушно-реактивными двигателями есть ограничения в высоте полета, в разреженном воздухе не хватает кислорода для сжигания горючего. Ракетные двигатели не имеют ограничений по высоте, так как для создания тяги они используют окислитель, находящийся на борту ракеты.

На *рисунке 125* изображена простейшая модель ракеты с двигателем, состоящим из камеры сгорания (1) и реактивного сопла (2). Жидкое топливо (3) смешивается с кислородом (4) и сжигается в камере сгорания, отработанные газы вырываются из сопла, производя реактивную тягу. Общий вид ракетного двигателя дан на *рисунке 126.*

Ответьте на вопрос

Почему в космической ракете устанавливают емкость с окислителем?

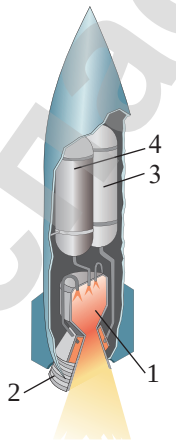


Рис. 125. *Модель ракеты с реактивным двигателем*

III. Скорость реактивного движения

Для расчета скорости реактивного движения тела используют закон сохранения импульса. Определим скорость лодки, которая движется в результате сброса с нее тел равной массы. В начальный момент лодка покоилась, при выбросе груза лодка получает импульс и начинает двигаться в сторону, противоположную направлению движения груза *(рис. 127).*

Пусть масса лодки вместе с грузами M, масса каждого груза m. Запишем закон сохранения импульса замкнутой системы тел после броска первого груза:

$$0 = (M - m)\cdot \vec{v}_1 + m\vec{u}_1,$$

где $\vec{u}_1$ – скорость груза;

$\vec{v}_1$ – скорость лодки с оставшимися на ней грузами.

Рис. 126. *Ракетный двигатель РД-107А*

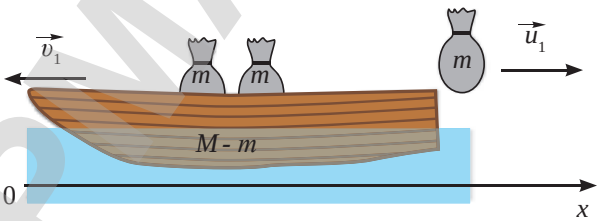


Рис. 127. *Реактивное движение неподвижной лодки после броска*

Интересно знать!

Константин Циолковский спроектировал ракету для межпланетных сообщений в 1903 году. Он утверждал, что наиболее эффективным топливом для космических ракет является смесь жидкого кислорода и водорода.

АРМАНПБ басылы

В проекции на выбранную ось $0x$ с учетом направления векторов получим:

$$0 = -(M - m) \cdot \upsilon_1 + mu_1 .$$

Из полученного равенства выразим скорость лодки:

$$\upsilon_1 = \frac{m}{M - m} u_1 . \qquad (1)$$

Возьмите на заметку

У современных ракет относительная масса топлива достигает 90 % ее начальной массы. Если 90 % массы ракеты приходится на топливо, то это значит, что на все остальное, а именно на полезный груз, органы управления двигателя, баки и все прочие элементы конструкции, приходится только 10 % полной массы.

IV. Скорость ракеты

Из закона сохранения импульса следует, что при мгновенном сгорании топлива выполняется соотношение:

$$\frac{\upsilon_p}{\upsilon_Г} = \frac{m_T}{M - m_T},$$

где m_T – масса топлива;
$M - m_T$ – масса ракетоносителя с космическим кораблем без топлива;
υ_p – скорость ракеты;
$\upsilon_Г$ – скорость истечения газа.

V. Освоение космического пространства

Запуск многоступенчатой ракеты-носителя «Восток» с первым пилотируемым космическим кораблем состоялся 12 апреля 1961 г. с космодрома «Байконур». Юрий Гагарин *(рис. 128)* совершил один оборот вокруг Земли на космическом корабле.

После первого полета последовали другие, началось бурное развитие космонавтики. Совершенствовались космические корабли, станции, созданы космические зонды, управляемые с Земли, луноходы, марсоходы. Искусственные спутники Земли используют для осуществления

Задание 1

Используя различные источники информации, выясните:
1. Какое топливо используют в ракетных двигателях?
2. Являются ли продукты сгорания токсичными?
3. Какие экологические проблемы связаны с использованием ракетного топлива?

Задание 2

Составьте алгоритм решения задач с использованием закона сохранения импульса.

Ответьте на вопрос

Почему сумма импульсов частей замкнутой системы, совершающей реактивное движение, равна 0?

Задание 3

Определите скорость истечения газов из ракеты, движущейся с первой космической скоростью, равной 7,9 км/с, если масса топлива превышает массу ракеты в 4 раза.

Рис. 128. *Юрий Гагарин – первый космонавт Земли*

АРМАН-ПВ бастасы

сотовой связи, телевещания. На космических станциях установлены телескопы, созданы научные лаборатории. Научно-исследовательская работа позволяет глубже изучить явления, происходящие на нашей Земле, в Солнечной системе, во Вселенной, установить связь между ними.

В изучении космического пространства принимали участие и казахстанские космонавты: Токтар Аубакиров, Талгат Мусабаев и Айдын Айымбетов *(рис. 130)*.

В 1991 году Токтар Аубакиров работал на борту орбитального комплекса «Мир». В 1996–2000 гг. работал помощником президента Казахстана по освоению космоса.

Талгат Мусабаев стартовал в космос трижды, общая продолжительность его пребывания в космосе – 341 день 9 часов 46 минут. В 2007 г. он возглавил Национальное космическое агентство РК, а с 2017 г. Указом Главы государства назначен депутатом Сената Парламента РК.

Интересно знать!

Космодром Байконур *(рис. 129)* является первым и крупнейшим в мире космодромом. Расположен на территории Казахстана, в Кызылординской области.

Рис. 129. *Космодром Байконур*

Рис. 130. *Космонавты РК: Токтар Аубакиров, Талгат Мусабаев, Айдын Айымбетов*

Интересно знать!

Айдын Айымбетов – казахстанский космонавт-испытатель, Народный Герой Казахстана, генерал-майор ВВС Казахстана. Со 2 по 12 сентября 2015 года совершил космический полет в качестве бортинженера-2 транспортного пилотируемого корабля «Союз ТМА-18 М» к Международной космической станции. Это был пятисотый пуск ракеты-носителя с «Гагаринского старта». Продолжительность полета составила 9 суток 20 часов 13 минут 51 секунду. Во время космического полета Айымбетов провел ряд физико-космических экспериментов, в частности, «Ураган», «Релаксация», эксперимент по изучению влияния радиации на человека в космосе, а также космический мониторинг состояния экологии Аральского и Каспийского морей.

АЙМАҚТЫ БАСПАСЫ

Контрольные вопросы

1. Какое движение называют реактивным?
2. От каких величин зависит скорость реактивного движения?
3. Каков принцип действия ракетного двигателя?

Упражнение 21

1. Как осуществляется торможение космического корабля?
2. С какой скоростью истекал газ при запуске модели космического корабля массой 200 г, если максимальная высота его подъема составила 12,8 м? При запуске модели было использовано 0,5 кг горючего, сопротивлением воздуха пренебречь.

Упражнение 21д

1. Можно ли движение ружья при выстреле считать реактивным движением?
2. С какой скоростью взлетит модель ракеты, для которой соотношение масс ракеты и топлива равно 1:6? Скорость истечения газов в двигателе достигает 8 м/с. На какую высоту поднимется ракета?
3. Определите скорость, которую приобретает покоящаяся тележка массой 100 кг, если с нее в одну и ту же сторону поочередно спрыгнут два мальчика по 40 кг с небольшим интервалом со скоростью 1 м/с. Считать, что тележка и мальчики представляют собой замкнутую систему.

Экспериментальное задание

Сконструируйте реактивный двигатель, действующий на воздушной или водяной струе. Испытайте его, закрепив на игрушечной машине.

Творческое задание

Подготовьте сообщение по темам (на выбор):

1. «Хронология космических полетов и программ по изучению космоса».
2. «Центр космических полетов РК».
3. «Будущее космодрома Байконур».
4. «Региональное и международное значение космодрома Байконур».

АРМАН-ПВ басылы

§ 22. Механическая работа и энергия

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *определять механическую работу аналитически и графически;*
- *объяснять взаимосвязь работы и энергии.*

Вспомните!

1. При каких условиях совершается механическая работа?
2. Как определяют совершенную работу, если направление действующей силы совпадает с направлением перемещения тела?

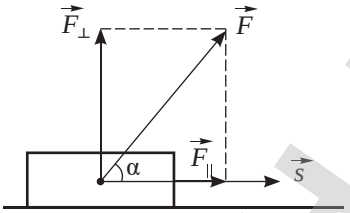


***Рис. 131**. Разложение вектора силы на параллельную и перпендикулярную составляющие по направлению перемещения*

Задание 1

Рассмотрите графики на *рисунке 132*. Составьте алгоритм определения работы приложенной к телу силы, приняв величины, указанные в пунктах 1–4 второй части параграфа, известными.

I. Формула расчета работы сил

Пусть тело движется горизонтально под действием силы $\vec{F}$, направленной произвольно относительно перемещения *(рис. 131)*.

Разложим силу $\vec{F}$ на две составляющие: одну параллельную направлению перемещения, другую перпендикулярную.

Параллельная составляющая силы создает ускорение, способное изменить скорость движения, следовательно, совершается работа:

$$A = F_{II} \cdot s$$

или

$$A = F \cdot s \cdot \cos\alpha\,. \qquad (1)$$

Перпендикулярная составляющая силы работу не совершает, так как тело по направлению ее действия не движется.

Следовательно, работа силы, направленной под некоторым углом к перемещению, определяется работой составляющей силы, параллельной вектору перемещения.

II. Определение работы по графикам

На основании формулы (1) следует, что работу силы, приложенной к прямолинейно движущемуся телу, можно определить по графикам зависимости:

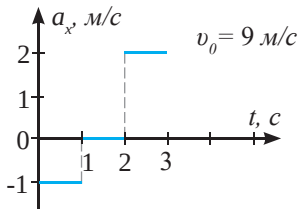
1) ускорения тела от времени при известном значении массы тела и его начальной скорости *(рис. 132, а)*;
2) скорости тела от времени при известном значении массы тела *(рис. 132, б)*;
3) перемещения тела от времени *(рис. 132, в)*;
4) силы от времени при известном значении скорости движения или пройденного пути *(рис. 132, г)*.

Обратите внимание!

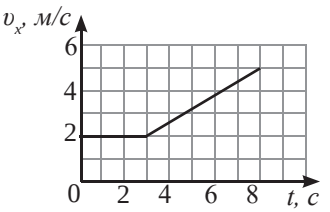
В диаграмме F-s (сила – пройденный путь) работа равна площади фигуры под линией, определяющей силу на различных участках пути *(рис. 132, д)*.

АЛМАНДЫ ПБ бастасы

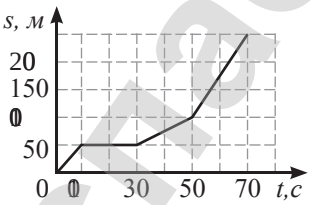
На *рисунке 132, д* дана диаграмма F – s (сила – пройденный путь). Не сложно доказать, что площадь фигуры, определяющей силу и путь, пройденный телом, численно равна совершенной механической работе.



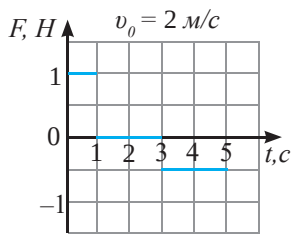
а) График зависимости проекции ускорения на ось 0x от времени



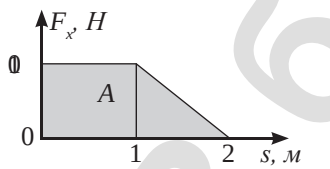
б) График зависимости проекции скорости на ось 0x от времени



в) График зависимости перемещения от времени



г) График зависимости силы от времени



д) Диаграмма сила – пройденный путь

Рис. 132

III. Теорема об изменении кинетической энергии

Во втором законе $F = ma$ заменим ускорение известным из кинематики соотношением:

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2s}.$$

В результате получим: $F = m\dfrac{v_2^2 - v_1^2}{2s}$.

Преобразуем выражение, умножив обе части равенства на s:

$$Fs = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}. \qquad (2)$$

Из курса физики 7 класса известно, что механическая работа определяется произведением силы на перемещение, если их направления совпадают: $A = F \cdot s$.

Ответьте на вопрос

Почему нельзя утверждать, что сила, действующая на тело, зависит от пройденного пути?

Задание 2

Используя данные *рисунка 132, д*, докажите, что:

1) площадь фигуры на первом участке пути численно равна совершенной работе;
2) при переменном значении силы в формуле для расчета работы используют среднее значение силы. Для доказательства используйте диаграмму для второго участка пути.

Запомните!

Формулы (1), (3) и (4) могут быть использованы для определения работы силы любой природы.

Обратите внимание!

Под действием силы кинетическая энергия тела изменяется, совершается работа.

АРМАН-ПВ баспасы

С учетом последнего соотношения выражение (2) примет вид:

$$A = \frac{m\upsilon_2^2}{2} - \frac{m\upsilon_1^2}{2} \qquad (3)$$

или

$$A = E_{k2} - E_{k1}, \qquad (4)$$

где E_{k1} – кинетическая энергия тела на начало движения;

E_{k2} – кинетическая энергия тела в конце движения;

A – механическая работа.

Полученное равенство называют *теоремой об изменении кинетической энергии.*

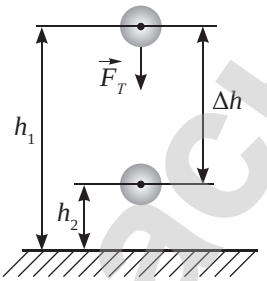


Рис. 133. *Работа силы тяжести определяется разностью уровней расположения тела над поверхностью земли*

IV. Работа силы тяжести

Определим работу, которую совершает сила тяжести при падении тела с высоты h_1 над уровнем земли до уровня высотой h_2 *(рис. 133)*.

Сила F_T и перемещение тела Δh направлены в одну сторону, тело падает вдоль прямой, следовательно: $A = F \cdot \Delta h$ (5).

Выразим перемещение тела через разность высот $\Delta h = h_1 - h_2$,

учтем, что $F = mg$, тогда формула (5) примет вид:

$$A = mg(h_1 - h_2)$$

или

$$A = -mg(h_2 - h_1). \qquad (6)$$

Из курса физики 7 класса нам известно, что потенциальная энергия равна:

$$E_p = mgh. \qquad (7)$$

Запишем формулу (6) в виде:

$$A = -(E_{p2} - E_{p1}). \qquad (8)$$

Под действием силы тяжести потенциальная энергия взаимодействия тела с Землей изменяется, совершается работа.

Эксперимент

(Работа в группе). Определите работу, совершенную каждым учеником при подъеме по лестнице на второй этаж школы. Сравните полученные результаты, объясните, почему они отличаются?

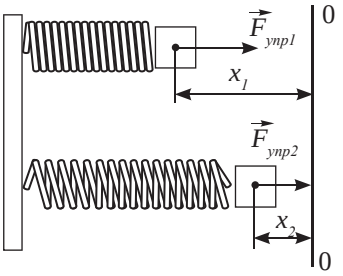


Рис. 134. *Работа силы упругости зависит от изменения удлинения (растяжения) тела*

V. Работа силы упругости

Задание 3

На основе IV части данного параграфа получите формулу расчета работы для силы упругости *(рис. 134)*:

$$A = -\frac{k}{2}(x_2^2 - x_1^2). \qquad (9)$$

Вспомните: потенциальную энергию тела при сжатии и растяжении определяют по формуле:

$$E_p = \frac{kx^2}{2}. \qquad (10)$$

АРМАНПВ басылы

Ответьте на вопросы

1. *Почему, определяя работу силы упругости, необходимо использовать среднее ее значение?*
2. *Почему работа силы упругости и силы тяжести могут быть как положительными, так и отрицательными?*
3. *Можно ли определить работу силы упругости по формуле (8)?*

VI. Работа силы трения

Из формулы (1) получим формулу расчета работы силы трения. Учитывая, что для горизонтальной поверхности сила трения равна: $F_{тр} = \mu N = \mu mg$, а угол между направлением силы трения и направлением перемещения тела – 180°, получим:

$$A = \mu mgs \cdot \cos\alpha \text{ или } A = -\mu mgs. \qquad (11)$$

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Когда к некоторой пружине подвешен груз массой 2 кг, пружина удлиняется на 4 см. Какую работу нужно совершить для того, чтобы растянуть пружину от 2 см до 12 см?

Дано:	**SI**
$m = 2$ кг	
$x = 4$ см	$4 \cdot 10^{-2}$ м
$x_1 = 2$ см	$2 \cdot 10^{-2}$ м
$x_2 = 12$ см	$12 \cdot 10^{-2}$ м
A – ?	

Решение:

Работа силы упругости равна: $A = -\frac{k}{2}\left(x_2^2 - x_1^2\right)$. (1)

Работа внешних сил, растягивающих пружину, направлена в противоположную сторону, следовательно, она имеет противоположный знак. $A = \frac{k}{2}\left(x_2^2 - x_1^2\right)$.

При подвешивании груза пружина растягивается до тех пор, пока сила упругости не станет равной силе тяжести: $F_{упр} = F_т$ или $kx = mg$

$$k = \frac{mg}{x}. \qquad (2)$$

Подставим выражение (2) в выражение (1) и получим расчетную формулу: $A = \frac{mg}{2x}\left(x_2^2 - x_1^2\right)$.

$$A = \frac{2\,кг \cdot 9{,}8\,\frac{м}{с^2}\left(144 \cdot 10^{-4} - 4 \cdot 10^{-4}\right) м^2}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-2}\,м} = 3{,}5\,Дж.$$

Ответ: $A = 3{,}5$ *Дж*.

АРМАН-ПВ басылы

Контрольные вопросы

1. При каких условиях механическая работа не совершается?
2. В чем заключается теорема об изменении кинетической энергии?
3. Как определяется работа силы тяжести? Силы упругости?
4. Почему работа силы трения имеет отрицательное значение?

Упражнение 22

1. Строитель, подняв ящик массой 10 кг с пола на высоту 1 м, переносит его, не изменяя высоты, на расстояние 1000 см и опускает на пол. Определите работу силы тяжести на каждом этапе и полную работу.
2. Определите работу, совершенную силой трения при равнозамедленном движении конькобежца массой 50 кг до полной остановки. Тормозной путь конькобежца 0,01 км, время движения 1/6 мин.
3. При сжатии пружины амортизатора автомобиля на 4 мм совершена работа 960 мДж. Какую работу надо совершить, чтобы сжать эту пружину на 4 см?

Упражнение 22д

1. Шагающий экскаватор выбрасывает за один прием 14 $м^3$ грунта, поднимая его на высоту 20 м. Вес ковша без грунта 20 кН. Определите работу, совершаемую по подъему грунта и ковша. Плотность грунта 1,5 $г/см^3$.
2. Электровоз массой 100 т при торможении движется равнозамедленно и уменьшает свою скорость с 54 км/ч до 3 м/с. Определите работу, совершенную силами трения.

Экспериментальная работа

Исследуйте зависимость силы трения от угла между направлением силы, приложенной к санкам, и перемещением. Как изменение угла наклона влияет на работу, совершенную при перемещении санок на одно и то же расстояние?

АРМАН-ПВ баспасы

§ 23. Закон сохранения и превращения энергии

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *применять закон сохранения энергии при решении задач.*

Ответьте на вопросы

1. *Почему при переменных значениях силы использование законов Ньютона могут привести к ошибочным результатам?*
2. *Какие законы позволяют решать задачи при взаимодействии тел переменными силами?*

Вспомните!

Сформулируйте закон сохранения энергии. Для каких процессов он выполняется?

Задание 1

Поясните слова: ***микромир***, ***макромир***, ***система тел***, ***состояние системы тел***.

Эксперимент

Используя метровую ленту, определите начальную скорость шарика, брошенного вами вертикально вверх.

I. Работа – мера превращения одного вида энергии в другой

Свободное падение тел является равнопеременным движением, следовательно, теорема об изменении кинетической энергии применима для расчета работы силы тяжести. Из сравнения формул (3) и (6) § 22 следует:

$$\frac{m\upsilon_2^2}{2} - \frac{m\upsilon_1^2}{2} = -(mgh_2 - mgh_1) \qquad (1)$$

или

$$E_{к2} - E_{к1} = -(E_{p2} - E_{p1}). \qquad (2)$$

При падении тела увеличение его кинетической энергии происходит в результате уменьшения потенциальной энергии.

Работа – это мера превращения одного вида энергии в другой при взаимодействии тел.

II. Закон сохранения полной механической энергии для тел, взаимодействующих с Землей

Перенесем энергию, соответствующую первому состоянию тела в формуле (1) в правую часть, а второму положению – в левую часть:

$$\frac{m\upsilon_2^2}{2} + mgh_2 = \frac{m\upsilon_1^2}{2} + mgh_1 \qquad (3)$$

или

$$E_{к2} + E_{p2} = E_{k1} + E_{p1}. \qquad (4)$$

Сумму кинетической и потенциальной энергии называют полной механической энергией.

$$E = E_k + E_p. \qquad (5)$$

Выражение (4) с учетом понятия полной механической энергии (5) примет вид:

$$E_2 = E_1, \qquad (6)$$

где E_1 – полная энергия замкнутой системы «Земля-тело» в первом состоянии, E_2 – полная энергия системы во втором состоянии.

Обратите внимание!

Для решения задач с двумя неизвестными записывают систему уравнений, составленных на основе двух законов: закона сохранения энергии и закона сохранения импульса. В случае действия постоянных сил можно использовать второй закон Ньютона.

АРМАН-ПВ баспасы

Соотношения (3–6) представляют собой различные записи одного и того же закона сохранения полной механической энергии замкнутой системы «Земля-тело».

Полная механическая энергия замкнутой системы тел остается величиной постоянной при взаимодействии силами тяготения: $E = const$.

Возьмите на заметку

Закон сохранения энергии утверждает, что энергия тела никогда не исчезает и не появляется вновь, она может лишь превращаться из одного вида в другой. Этот закон универсален. В различных разделах физики он имеет свою формулировку. Классическая механика рассматривает закон сохранения механической энергии. Полная механическая энергия замкнутой системы физических тел, между которыми действуют консервативные силы (это такие силы, работа которых по любой замкнутой траектории равна нулю) является величиной постоянной. Так формулируется закон сохранения энергии в механике Ньютона.

Замкнутой, или изолированной, принято считать физическую систему, на которую не действуют внешние силы. В ней не происходит обмена энергией с окружающим пространством, и собственная энергия, которой она обладает, остается неизменной, то есть сохраняется. В такой системе действуют только внутренние силы, и тела взаимодействуют друг с другом. В ней могут происходить лишь превращения потенциальной энергии в кинетическую и наоборот.

III. Закон сохранения полной механической энергии для тел, взаимодействующих силами упругости

Рассмотрим взаимодействие пружины и тела, прикрепленного к нему *(рис. 134 §22)*. При деформации пружины возникает сила упругости, под действием которой тело начинает двигаться. Скорость тела возрастает, сила упругости уменьшается. *Потенциальная энергия сжатой пружины превращается в кинетическую энергию движения тела.* Силой упругости совершается работа:

$$A = F_{ср}(x_1 - x_2), \qquad (7)$$

где

$$F_{ср} = \frac{kx_1 + kx_2}{2} = \frac{k}{2}(x_1 + x_2). \qquad (8)$$

Подставим выражение (8) в (7):

$$A = \frac{k}{2}(x_1 + x_2)\cdot(x_1 - x_2).$$

Произведение суммы смещений на их разность заменим разностью квадратов смещений:

$$A = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}. \qquad (9)$$

Задание 2

Запишите формулы определения полной механической энергии для трех состояний системы тел «шар-Земля» *(рис. 135)*.

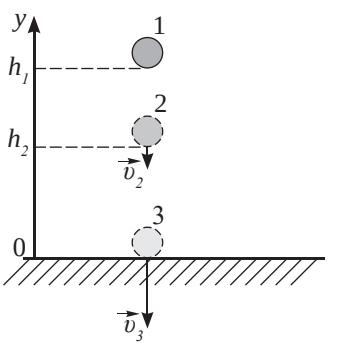


Рис. 135. *Превращение энергии падающего шара*

АРМАНПР баспасы

В правой части выражения мы получим разность потенциальных энергий деформированной пружины в двух состояниях:

$$A = -\left(E_{p2} - E_{p1}\right), \qquad (10)$$

где $E_{p2} = \dfrac{kx_2^2}{2}$ – потенциальная энергия пружины во втором состоянии;

$E_{p1} = \dfrac{kx_1^2}{2}$ – потенциальная энергия пружины в первом состоянии;

A – работа силы упругости.

Сравнив полученные результаты с теоремой об изменении кинетической энергии, закон сохранения запишем в виде:

$$\frac{m\upsilon_1^2}{2} + \frac{kx_1^2}{2} = \frac{m\upsilon_2^2}{2} + \frac{kx_2^2}{2} \qquad (11)$$

или

$$E_{к1} + E_{p1} = E_{к2} + E_{p2}. \qquad (12)$$

Полная механическая энергия замкнутой системы тел остается величиной постоянной при взаимодействии силами упругости: $E = const$.

Задание 3

Запишите формулы определения полной механической энергии для трех состояний системы «пружина-тело» *(рис.136)*.

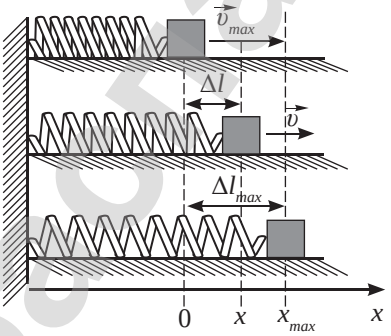


Рис. 136. *Превращение энергии в системе «пружина-тело»*

Интересно знать!

Закон сохранения энергии – фундаментальный законы природы, он применим не только в механике, но и в других разделах физики.

С помощью законов сохранения сделано немало открытий в термодинамике, электротехнике, квантовой физике, аэродинамике и гидродинамике.

Каждая новая машина или новое строение – это результат применения классической механики Ньютона. На основе закона сохранения энергии сконструированы технические устройства, предназначенные для превращения одного вида энергии в другой. Основным направлением применения закона сохранения импульса в технике стало развитие ракетостроения. Законы сохранения получили широкое применение в науке и в технике.

Запомните!

Алгоритм решения задач с использованием закона сохранения энергии

1. Изобразите на рисунке два состояния системы тел, для которых даны характеристики в условии задачи: скорость тела, сжатие или растяжение, расположение относительно поверхности, принятой за 0 уровень отсчета.
2. Запишите полную энергию системы тел для каждого состояния.
3. На основании закона сохранения приравняйте полные энергии.
4. Из полученного уравнения выразите неизвестную по условию задачи величину, рассчитайте ее значение.

АРМАНПВ баспасы

IV. Изменение полной механической энергии под воздействием силы трения

При совершении работы силами трения механическая энергия превращается во внутреннюю, ее называют тепловой энергией. Полная механическая энергия уменьшается. Потерю механической энергии можно определить по теореме об изменении кинетической энергии:

$$A = \Delta E = \Delta U = Q,$$

где A – работа силы трения; ΔE – изменение полной механической энергии; ΔU – изменение внутренней энергии; Q – количество теплоты.

Ответьте на вопрос

Почему под воздействием силы трения полная механическая энергия тела уменьшается?

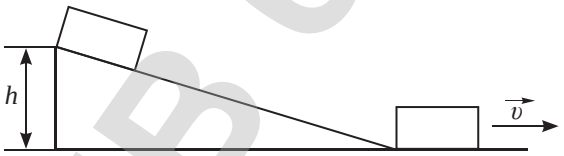
ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Определите скорость тела при соскальзывании с гладкой наклонной плоскости высотой 0,8 м.

Дано:
$h = 0{,}8$ м
$\upsilon_0 = 0$

υ – ?

Решение:



Определим полную механическую энергию системы «Земля-тело» в двух состояниях:

1-е состояние. В верхней точке наклонной плоскости полная механическая энергия равна потенциальной энергии, кинетическая энергия равна нулю, так как $\upsilon_0 = 0$: $E_1 = mgh$.

2-е состояние. У основания наклонной плоскости потенциальная энергия тела равна нулю, полная энергия равна кинетической: $E_2 = \frac{m\upsilon^2}{2}$.

На основании закона сохранения энергии: $E_1 = E_2$;

$$mgh = \frac{m\upsilon^2}{2};$$

$$\upsilon = \sqrt{2gh};$$

$$\upsilon = \sqrt{2 \cdot 9{,}8\,\frac{м}{с^2} \cdot 0{,}8\,м} = 4\,\frac{м}{с}.$$

Ответ: $\upsilon = 4\,\frac{м}{с}$.

АРМАН-ПВ баспасы

Контрольные вопросы

1. Какую энергию называют полной механической энергией?
2. Какую систему называют замкнутой?
3. В чем заключается закон сохранения полной механической энергии?
4. При действии каких сил полная механическая энергия системы уменьшается?

Упражнение 23

1. Кинетическая энергия мяча массой 250 г, подброшенного вертикально вверх с поверхности Земли, равна 49 Дж. На какой высоте его кинетическая энергия будет равна потенциальной?
2. Пружина детского пистолета под действием силы 9,8 Н сжалась на 4 см. На какую высоту поднимется пулька массой 1 г при выстреле вертикально вверх?
3. Камень массой 2 кг падает с высоты 100 дм и в момент падения на Землю имеет скорость 12 м/с. Какая работа по преодолению силы сопротивления воздуха была совершена при падении?

Упражнение 23д

1. Тележка на американских горках начинает движение без начальной скорости в наивысшей точке на высоте 20 м над землей. Она резко опускается вниз до высоты 2 м и затем круто взмывает вверх до вершины следующей горы, которая расположена на высоте 15 м. Определите скорость тележки в желобе на высоте 2 м и на 15-метровой вершине. Потерями энергии пренебречь.
2. Хоккейная шайба массой 160 г, летящая со скоростью 20 м/с, влетела в ворота и ударилась о сетку, которая при этом прогнулась на 6,4 см. Определите максимальную силу, с которой шайба подействовала на сетку. Считать, что сила упругости прямо пропорциональна растяжению сетки.

Творческое задание

Подготовьте сообщение на тему: «Законы сохранения в природе и технике».

АРМАНПВ баспасы

Итоги главы 4

Формулы импульса силы и импульса тела	Формулы реактивного движения
$\vec{F} \cdot \Delta t = m\vec{v} - m\vec{v}_0$ $\vec{p} = m\vec{v}$ $\vec{F} \cdot \Delta t = \Delta\vec{p}$	$v_1 = mu_1 \cdot \frac{1}{M - m}$ $\frac{v_p}{v_T} = \frac{m_T}{M - m_T}$
Формулы механической работы	**Законы сохранения**
$A = F \cdot s \cdot \cos\alpha$ $A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$ $A = -(E_{p2} - E_{p1})$ $A = -mg(h_2 - h_1)$ $A = -\frac{k}{2}(x_2^2 - x_1^2)$ $A = -\mu mgs$	$\vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$ $\vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} = \vec{p}$ $E_2 = E_1$ $E_{к1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$ $\frac{mv_2^2}{2} + mgh_2 = \frac{mv_1^2}{2} + mgh_1$ $\frac{mv_1^2}{2} + \frac{kx_1^2}{2} = \frac{mv_2^2}{2} + \frac{kx_2^2}{2}$

Закон сохранения импульса и энергии:

– Геометрическая сумма импульсов тел при взаимодействии остается постоянной для замкнутой системы тел.

– Полная механическая энергия замкнутой системы тел остается величиной постоянной при взаимодействии силами упругости или силами тяготения: E = const.

Глоссарий

Замкнутая система тел – это система тел, на которые не действуют внешние силы.

Импульс тела – это величина, равная произведению массы на скорость тела.

Импульс силы – это величина, равная произведению силы на время ее действия.

Полная механическая энергия – это сумма кинетической и потенциальной энергии тела.

Работа – это мера превращения одного вида энергии в другой при взаимодействии тел.

Реактивное движение – это движение тела, которое возникает в результате отделения от него некоторой части с какой-либо скоростью.

АРМАН-ПВ басылы

Глава 5

КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Одна из основных задач механики – это определение координат тела. Рассматривая прямолинейное движение, мы связали координаты тела с перемещением, ускорением и скоростью движения. Выяснили, что вид движения тела определяется направлением и величиной ускорения, которые зависят от силы, приложенной к телу. Изучение движения по окружности подтвердили эту зависимость.
В данной главе мы выясним, какое движение называется колебательным, как определяются величины, характеризующие колебания. Проведем сравнение механических колебаний с движением тела по окружности, установим аналогию между механическими и электромагнитными колебаниями.

Изучив главу, вы сможете:

- приводить примеры свободных и вынужденных колебаний;
- экспериментально находить амплитуду, период, частоту;
- рассчитывать период, циклическую частоту, фазу по формуле;
- описывать сохранение энергии в колебательных процессах;
- записывать уравнения координаты, скорости и ускорения по графикам гармонических колебаний;
- объяснять причины возникновения колебаний в различных колебательных системах;
- исследовать зависимость периода колебаний маятника от различных параметров;
- находить ускорение свободного падения из формулы периода математического маятника;
- строить и анализировать графики зависимости квадрата периода от длины маятника;
- описывать по графику зависимость амплитуды вынужденных колебаний от частоты вынуждающей силы;
- описывать явление резонанса;
- описывать качественно свободные электромагнитные колебания в колебательном контуре;
- применять формулы скорости, частоты и длины волны при решении задач;
- сравнивать поперечные и продольные волны;
- называть условия возникновения и распространения звука;
- сопоставлять характеристики звука с частотой и амплитудой звуковой волны;
- называть условие возникновения резонанса и приводить примеры его применения;
- описывать природу появления эха и способы его использования;
- приводить примеры использования ультразвука и инфразвука в природе и технике;
- сравнивать свойства электромагнитных и механических волн;
- описывать и приводить примеры применения диапазонов электромагнитных волн;
- характеризовать дисперсию света при прохождении света через стеклянную призму.

АРМАН-ПВ Оспасы

§ 24. Колебательное движение

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *приводить примеры свободных и вынужденных колебаний;*
- *экспериментально находить амплитуду, период, частоту;*
- *рассчитывать период, циклическую частоту, фазу по формулам.*

Ответьте на вопрос

По какому признаку можно отличить колебательное движение от других видов движения?

Задание 1

1. Выберите из перечисленных движений колебательные: движение крыльев стрекозы; движение парашютиста, опускающегося на землю; движение Земли вокруг Солнца; движение травы на ветру; движение качелей.
2. Приведите примеры колебательного движения.
3. Дайте определение колебательному движению.

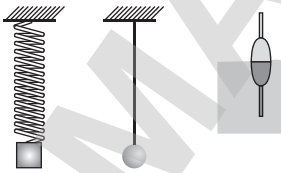


Рис. 137. *Колебательные системы*

I. Колебательное движение, свободные и вынужденные колебания

Вид движения тела и его траектория зависят от начальных условий и сил, действующих на тело. Выясним, какое движение называют колебательным, и при каком условии оно совершается. Многие тела, окружающие нас, совершают повторяющиеся движения. Ветви и стволы деревьев раскачиваются под действием ветра, дворники машин повторяющимся движением очищают стекла, ритмично бьется сердце.

Движение, периодически повторяющееся во времени, называют *колебательным движением*.

Любое тело совершает колебательное движение, если на него действует периодически изменяющаяся внешняя сила. Протирая стекла, мы периодически меняем направление силы. Поршень в двигателе испытывает давление продуктов сгорания со строгой периодичностью.

Колебания, происходящие под действием внешней периодически изменяющейся силы, называют *вынужденными колебаниями*.

Существуют системы тел, которые могут совершать колебательные движения без воздействия внешних сил. К таким системам относятся: тело на пружине, тело, подвешенное на нити; поплавок на воде; натянутая струна; зажатая одним концом металлическая пластина *(рис. 137)*. Если эти системы вывести из состояния покоя, то они будут совершать свободные колебательные движения.

Свободные колебания **– колебания в системе под действием внутренних сил, после того как система выведена из положения равновесия.**

АРМАН-ПВ бастасы

Колебания груза, подвешенного на нити, или груза, прикрепленного к пружине, – это примеры свободных колебаний. После выведения этих систем из положения равновесия создаются условия, при которых тела колеблются без воздействия внешних сил.

Систему тел, способную совершать свободные колебания, называют *колебательной системой.*

II. Амплитуда колебаний

Выведем систему из положения равновесия, отклонив нить от вертикального положения 0 *(рис. 138)*.

***Положение равновесия* – это устойчивое состояние колебательной системы.**

Шарик на нити, смещаясь от положения равновесия, проходит расстояние от одной точки максимального отклонения до другой и возвращается обратно. Расстояние от точки равновесия 0 до точки максимального отклонения называют *амплитудой колебания*, обозначают буквой *A*, измеряют в метрах.

***Амплитуда* – это максимальное смещение тела от положения равновесия.**

Смещение – это отклонение тела от положения равновесия, обозначают буквой *x*, так же как и координату тела при движении вдоль оси 0*x*.

III. Период и частота колебаний

Для систем, совершающих колебательные движения, основными характеристиками являются *период* и *частота*.

***Период* – это время, за которое совершается одно полное колебание системы.**

Задание 2

Приведите примеры колебательных систем, изобразите их в тетради.

Ответьте на вопрос

Почему колебательные системы могут совершать колебания без воздействия внешней силы?

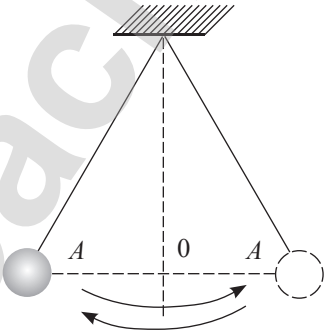


Рис. 138. *За один период тело проходит все точки траектории дважды*

Задание 3

1. Запишите приведенные примеры колебательных движений в два столбика: в первый – свободные колебания, во второй – вынужденные: поршень в цилиндре двигателя; игла швейной машины; ветка дерева после того, как с нее слетела птица; струна музыкального инструмента; конец стрелки компаса; чаши рычажных весов.
2. Дополните каждый столбик своими примерами.

Ответьте на вопрос

Почему колеблющееся тело не останавливается, вернувшись в положение равновесия?

АРМАН-ПВ бастасы

Период обозначают буквой T, измеряют в секундах:

$$T = \frac{t}{N}, \qquad (1)$$

где t – время колебаний; N – число колебаний.

Совершая колебания, тело каждую точку траектории проходит дважды *(рис. 138)*.

Частота **– это количество колебаний, совершенных системой за единицу времени.**

Частоту обозначают буквой ν, измеряют в герцах:

$$\nu = \frac{N}{t}. \qquad (2)$$

Из формул (1) и (2) следует, что период и частота – величины взаимно обратные:

$$T = \frac{1}{\nu} \quad (3) \quad \text{или} \quad \nu = \frac{1}{T}. \quad (4)$$

Эксперимент

Разделившись на группы, определите амплитуду, период и частоту колебаний различных колебательных систем: тела на пружине; тела на нити; поплавка на воде; металлической пластины, зажатой на одном конце. Исследуйте зависимость периода колебаний от амплитуды. Сравните полученные результаты по исследованию зависимости периода колебаний от амплитуды.

Запомните!

$[\nu] = \frac{1}{c} = 1\ Гц.$

IV. Гармонические колебания

Получим развертку колебаний тела, подвешенного на длинной нити *(рис. 139)*. В качестве тела возьмем полый шарик малого размера с небольшим отверстием, наполним его песком. Если пластину, расположенную под шариком с песком, двигать с постоянной скоростью в направлении, перпендикулярном плоскости колебаний, то на ней появится волнистая линия *(рис. 140)*. В математике такую линию называют синусоидой, или косинусоидой.

Колебания, которые происходят по закону синуса или косинуса, называют *гармоническими*.

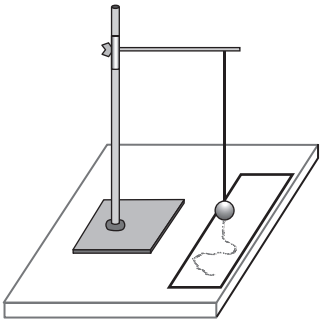


Рис. 139. *Установка для получения развертки колебаний тела на нити*

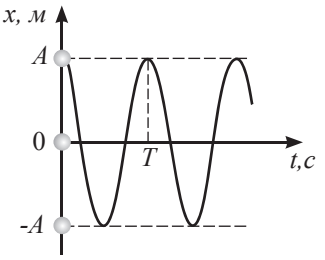


Рис. 140. *График гармонического колебания*

V. Геометрическая модель гармонических колебаний

Движение проекции тела, вращающегося по окружности, является геометрической моделью колебательного движения. Максимальное отклонение проекции тела при его вращении

АРМАНПВ басылымы

вокруг центра окружности равно радиусу окружности $A = R$ *(рис. 141)*.

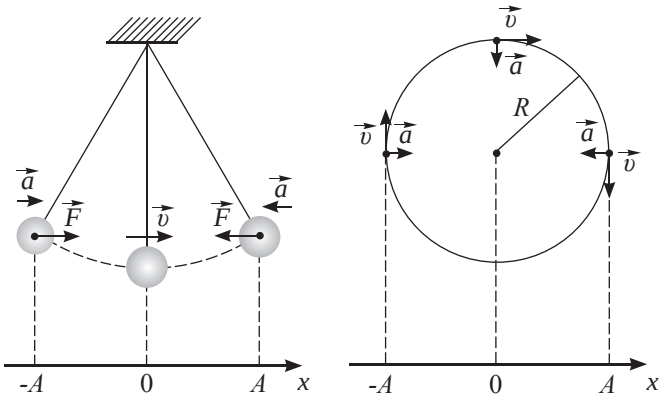


Рис. 141. *Колебание проекции колеблющегося тела на нити и движущегося по окружности не отличаются*

Направление векторов ускорения, скорости в точках максимального отклонения и в точке положения равновесия совпадают. Следовательно, ускорение, скорость и координаты тела при колебательном движении можно определять так же, как и соответствующие величины для проекции вращающегося тела.

VI. Циклическая частота колебаний, фаза колебаний

При движении по окружности величину ω мы называем угловой скоростью. В колебательных движениях ее называют *циклической частотой.* Цикл значений функций *sin* и *cos* повторяется через каждые 2 π. Из формулы:

$$\omega = 2\pi\nu \qquad (5)$$

следует, что циклическая частота определяется числом колебаний, совершенных за 2π секунд.

Циклическая частота **– это число колебаний, совершенных за 2π секунд.**

Угловое перемещение φ в колебательном движении получило название «фаза колебаний».

Кусочки науки

В курсе математики можно найти информацию о том, что:
1) период синусоиды и косинусоиды составляет 2π. Это означает, что через 2π все значения повторяются, то есть одно колебание завершается, начинается второе;
2) 2π = 360°, что составляет полный угол.

Ответьте на вопрос

Почему формулы расчета периода и частоты для движения тела по окружности и колебаний одинаковые?

Запомните!

Единица измерения циклической частоты в SI:

$[\omega] = 1\frac{рад}{с}$;

$[\varphi] = 1 рад$.

Задание 4

Запишите:
1) формулу связи циклической частоты с периодом колебаний;
2) все величины и их единицы измерения в формулах расчета фазы колебаний (6).

Обратите внимание!

Начальная фаза – это величина, определяющая состояние колебательной системы в момент времени t = 0.

АРМАН-ПВ бастасы

Формулы расчета углового перемещения при движении по окружности и фазы при колебательном процессе не отличаются:

$$\varphi = \omega \cdot t; \quad \varphi = \frac{2\pi}{T} t; \quad \varphi = 2\pi\nu \cdot t. \qquad (6)$$

Фаза колебаний – это величина, определяющая состояние колебательной системы.

Контрольные вопросы

1. Какое движение называют колебательным?
2. Какие колебания называют свободными? Вынужденными?
3. Какие системы называют колебательными? Приведите примеры.
4. Какие колебания называют гармоническими?
5. Дайте определения основным величинам: амплитуда, период, частота, циклическая частота, фаза колебаний.

Упражнение 24

1. Маятник совершил 50 колебаний за 1 мин 40 с. Определите период и частоту колебаний.
2. Определите амплитуду, период, частоту и циклическую частоту колебаний пружинного маятника по графику, изображенному на *рисунке 142*. При каких значениях фаз смещение достигает амплитудного значения?

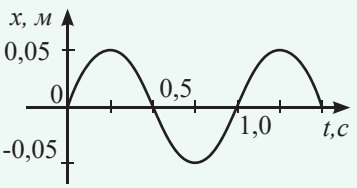


Рис. 142. *График колебаний. К упражнению 24.2*

Упражнение 24д

1. Определите период и частоту маятника, совершившего 24 колебания за 0,5 мин.
2. Найдите амплитуду, период, частоту и циклическую частоту колебаний математического маятника по графику, изображенному на *рисунке 143*. При каких значениях фаз смещение достигает минимального значения?

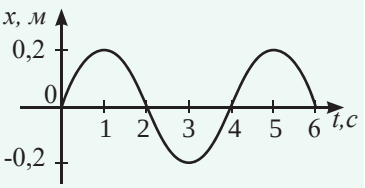


Рис. 143. *График колебаний. К упражнению 24д.2.*

Экспериментальное задание

Определите период колебаний качелей, находящихся во дворе вашего дома. Исследуйте зависимость амплитуды колебаний от массы тела.

АРМАН-ПВ баспасы

§ 25. Превращение энергии при колебаниях. Уравнение колебательного движения

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *описывать сохранение энергии в колебательных процессах;*
- *записывать уравнения координаты, скорости и ускорения по графикам гармонических колебаний.*

Ответьте на вопросы

1. *Какими видами энергии обладает колебательная система, выведенная из состояния равновесия?*
2. *В каком положении тело на пружине обладает максимальной кинетической энергией? Максимальной потенциальной энергией?*

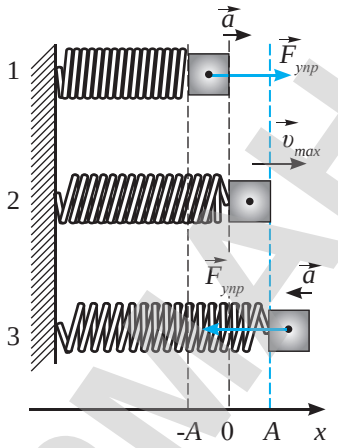


Рис. 144. *Ускорение имеет максимальное значение в точках максимального смещения, скорость максимальна в момент прохождения телом положения равновесия*

I. Закон сохранения энергии для пружинного маятника

Определим полную механическую энергию пружинного маятника в трех различных состояниях.

В точке максимального смещения от положения равновесия *(рис. 144)* маятник обладает только потенциальной энергией, так как тело останавливается, изменяя направление движения:

$$E_1 = E_3 = \frac{kA^2}{2}. \qquad (1)$$

В момент прохождения через положение устойчивого равновесия пружина не деформирована, тело обладает только кинетической энергией, которая по значению становится максимальной:

$$E_2 = \frac{m\upsilon_{max}^2}{2}. \qquad (2)$$

В точке произвольного смещения полная механическая энергия равна сумме кинетической и потенциальной энергий:

$$E = E_p + E_k = \frac{kx^2}{2} + \frac{m\upsilon^2}{2}. \qquad (3)$$

На основании закона сохранения энергии при отсутствии силы трения полная энергия системы остается постоянной величиной, выполняется соотношение $E_p + E_k = const$, которое можно представить в виде:

$$\frac{kA^2}{2} = \frac{m\upsilon_{max}^2}{2} \qquad (4)$$

или

$$\frac{kA^2}{2} = \frac{kx^2}{2} + \frac{m\upsilon^2}{2} \qquad (5)$$

или

$$\frac{m\upsilon_{max}^2}{2} = \frac{kx^2}{2} + \frac{m\upsilon^2}{2}. \qquad (6)$$

АРМАН-ПВ бастасы

II. Максимальная скорость колеблющегося тела

Закон сохранения энергии позволяет оценить скорость тела при любом значении смещения тела от положения равновесия. Из полученных равенств (4–6) можно получить формулу расчета скорости тела.

Например, из уравнения (4) следует, что максимальная скорость тела при прохождении равновесия равна:

$$\upsilon_{\max} = \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot A. \qquad (7)$$

Для определения максимальной скорости можно воспользоваться геометрической моделью и формулой скорости равномерного движения по окружности. С учетом равенства радиуса вращения и амплитуды колебания $A=R$ получим:

$$\upsilon_{\max} = \frac{2\pi}{T} A; \quad \upsilon_{\max} = 2\pi\nu \cdot A; \quad \upsilon_{\max} = \omega \cdot A. \qquad (8)$$

III. Закон сохранения энергии для математического маятника. Максимальная скорость колеблющегося тела

При совершении колебательного движения математическим маятником происходит превращение потенциальной энергии тела в кинетическую энергию и наоборот. Закон сохранения энергии примет вид:

$$\frac{m\upsilon^2}{2} + mgh = const. \qquad (9)$$

Если за нулевой уровень принять уровень расположения тела в устойчивом равновесии *(рис. 145)*, то высота подъема тела при отклонении равна:

$$h = l - \Delta h = l - l \cdot \cos\alpha = l(1 - \cos\alpha). \qquad (10)$$

Формула, выражающая закон сохранения энергии (9), для состояний максимального отклонения и прохождения через положение равновесия примет вид:

$$\frac{m\upsilon_{\max}^2}{2} = mgh_{\max}. \qquad (11)$$

Максимальная высота подъема определяется максимальным углом отклонения от положения

Задание 1

Выразите формулы расчета скорости тела на пружине в любой момент времени из формул (5) и (6).

Ответьте на вопрос

Почему нельзя определить скорость для колебательного процесса в любой момент времени по формулам скорости равномерного движения по окружности?

Задание 2

Выразите формулу расчета скорости тела на нити, совершающего колебательное движение, в любой момент времени.

Вспомните!

Сформулируйте закон Гука и второй закон Ньютона.

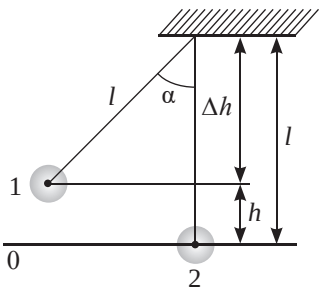


Рис. 145. *Колебание математического маятника: 1) состояние максимального отклонения от положения равновесия; 2) прохождение телом точки равновесия*

АРМАН-ПВ баспасы

равновесия по формуле (10). Из формулы (11) выразим максимальную скорость движения тела при прохождении положения равновесия:

$$v_{max} = \sqrt{2gh_{max}}\ . \qquad (12)$$

IV. Координата колеблющегося тела. Уравнение колебательного движения

Определим координату колеблющегося тела с использованием геометрической модели *(рис. 146)*. Совместим точку отсчета оси $0x$ с центром окружности. Эта точка соответствует положению устойчивого равновесия тела. Пусть тело находится в точке M, его координата на ось $0x$ будет равна:

$$x = R \cdot \cos\varphi$$

или

$$x = A \cdot \cos\omega t\ . \qquad (13)$$

Полученное уравнение для определения координаты тела называют уравнением колебательного движения.

Аргумент функции косинус $\varphi = \omega t$ является фазой колебаний, она характеризует состояние системы.

При $t = 0$, $\cos\omega t = 0$, $x = A$. Это свидетельствует о том, что колебания совершаются из положения максимального отклонения.

При

$$t = \frac{T}{4},\ \ \cos\omega t = \cos\frac{2\pi}{T}\cdot\frac{T}{4} = \cos\frac{\pi}{2} = 0,\ \ x = 0.$$

Через четверть периода тело проходит положение равновесия.

График косинусоиды дан на *рисунке 147*.

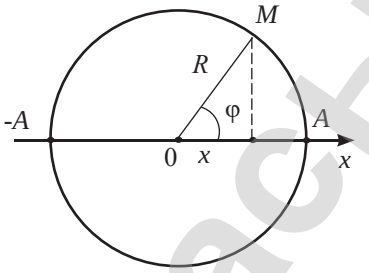


Рис. 146. *Геометрическая модель колебательного процесса*

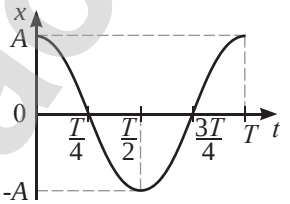


Рис. 147. *График зависимости координаты колеблющегося тела от времени в пределах одного периода*

Задание 3

Рассмотрите графики зависимости скорости и ускорения, приведенные на *рисунках 148, 149*. Сравните с графиком зависимости координаты тела от времени *(рис. 147)*.

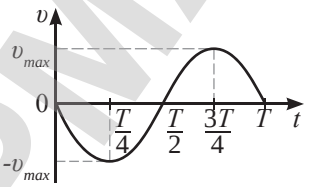


Рис. 148. *График зависимости скорости движения колеблющегося тела от времени в пределах одного периода*

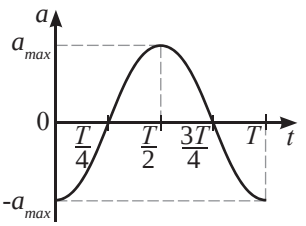


Рис. 149. *График зависимости ускорения колеблющегося тела от времени в пределах одного периода*

АРМАН-ПВ басылы

V. Графики зависимости скорости и ускорения от времени. Определение скорости и ускорения колебательного движения по графикам

Сравнение графиков зависимости координаты тела, скорости и ускорения позволяют записать формулы расчета скорости и ускорения по аналогии с формулой расчета координаты тела (13). С учетом направления векторов для ускорения формула будет иметь вид:

$$a = -a_{max} \cos \omega t\,. \qquad (14)$$

Для скорости:

$$\upsilon = -\upsilon_{max} \sin \omega t\,, \qquad (15)$$

так как при амплитудном значении смещения скорость равна нулю, в положении равновесия скорость максимальная *(рис. 147, 148)*.

Максимальные значения скорости и ускорения в этих формулах определяем по формулам движения тела по окружности:

$$a_{max} = \omega^2 A,\ \ a_{max} = \frac{4\pi^2}{T^2}A,\ \ a_{max} = 4\pi^2 \nu^2 A\,. \qquad (16)$$

$$\upsilon_{max} = \omega A,\ \ \upsilon_{max} = \frac{2\pi}{T}A,\ \ \upsilon_{max} = 2\pi\nu A\,, \qquad (17)$$

где $R = A$.

Задание 4

По графику на *рисунке 150* определите амплитуду колебаний, период, циклическую частоту, запишите уравнение гармонических колебаний.

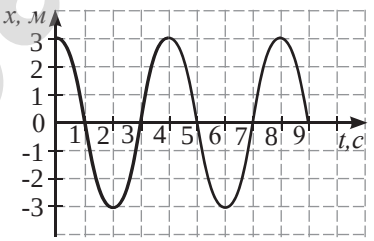


Рис. 150. *К заданиям 4, 5*

Ответьте на вопрос

Подтверждаются ли ваши выводы, полученные при выполнении задания 3, приведенными графиками.

Задание 5

1. Определите максимальные значения ускорения и скорости колеблющегося тела по графику зависимости смещения от времени *(рис. 150)*.
2. Постройте графики зависимости скорости и ускорения от времени.

Ответьте на вопросы

Как изменится уравнение колебательного движения, если тело начнет двигаться из положения равновесия?

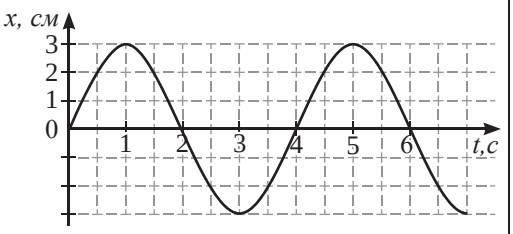
Как это повлияет на уравнения зависимости скорости и ускорения от времени?

АРМАН-ПВ баспасы

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Определите максимальные значения ускорения и скорости колеблющегося тела по графику зависимости смещения от времени. Запишите уравнение колебательного движения и уравнения зависимости скорости и ускорения от времени.

Дано:



$x(t) - ?$, $\upsilon(t) - ?$, $a(t) - ?$

Решение:

Из графика определим амплитуду колебаний и период:

$A = 3$ см $= 0{,}03$ м

$T = 4$ с.

Для расчета циклической частоты, максимальных значений ускорения и скорости используем формулы:

$$\omega = \frac{2\pi}{T};\ a_{max} = \omega^2 A;\ \upsilon_{max} = \omega A.$$

Выполним расчеты:

$$\omega = \frac{2\pi}{4} = \frac{\pi}{2};\ a_{max} = \left(\frac{3{,}14}{2}\right)^2 \cdot 0{,}03 \approx 0{,}07\,\frac{м}{с^2};$$

$$\upsilon_{max} = \frac{3{,}14}{2} \cdot 0{,}03 \approx 0{,}05\,\frac{м}{с}.$$

Из данного графика следует, что координата тела меняется по закону синуса:

$x = A\sin\omega t$,

следовательно, уравнение движения будет иметь вид: $x = 0{,}03\sin\frac{\pi}{2}t$.

$$a = -a_{max}\sin\omega t;\ a = -0{,}07\sin\frac{\pi}{2}t.$$

Скорость при нулевом значении координаты имеет максимальное значение, следовательно, скорость меняется по закону косинуса, в начальный момент времени скорость максимальная:

$$\upsilon = \upsilon_{max}cos\omega t;\ \upsilon = 0{,}05\cos\frac{\pi}{2}t.$$

Ответ: $x = 0{,}03\sin\frac{\pi}{2}t$; $\upsilon = 0{,}05\cos\frac{\pi}{2}t$; $a = -0{,}07\sin\frac{\pi}{2}t$.

Контрольные вопросы

1. Какие превращения энергии происходят при колебании пружинного маятника? Математического маятника?
2. Запишите уравнение колебательного движения из положения максимального отклонения. Какие величины входят в уравнение?

АРМАНТ-ПВ базасы

3. Какое движение является геометрической моделью колебательного движения?
4. Как определяют максимальные значения ускорения и скорости при колебательном движении?

Упражнение 25

1. Груз массой 400 г совершает колебания на пружине с жесткостью 250 Н/м. Амплитуда колебаний 15 см. Определите полную механическую энергию колебаний и наибольшую скорость движения груза.
2. Во сколько раз изменится полная механическая энергия колеблющегося маятника при уменьшении его длины в 3 раза и увеличении амплитуды в 2 раза?
3. Выполнив все необходимые расчеты, изобразите графики зависимости координаты, скорости и ускорения от времени для маятника часов. Амплитуда колебаний 5 см, период 1 с.

Упражнение 25д

1. Определите максимальную скорость маятника механических часов, если длина маятника 20 см, максимальный угол отклонения 10°.
2. По графику зависимости координаты колеблющегося тела от времени *(рис. 151)* определите все необходимые величины для записи уравнения движения и построения графика зависимости скорости и ускорения от времени.

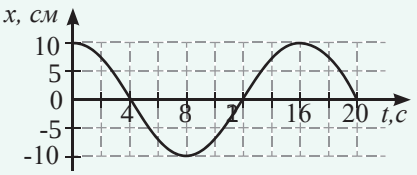


Рис. 151. *К упражнению 25д.2*

Экспериментальное задание

Определите максимальную скорость качелей, находящихся во дворе вашего дома. Выполните измерение необходимых для этого величин.

Творческое задание

Подготовьте сообщение по темам (на выбор):
1. «Колебательные процессы в природе и технике».
2. «Использование струны как колебательной системы».

АРМАНПВ баспасы

§ 26. Колебания математического и пружинного маятников

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *объяснять причины возникновения колебаний в различных колебательных системах;*
- *исследовать зависимость периода колебаний маятника от различных параметров.*

Ответьте на вопрос

Почему часы-ходики в холодной комнате опережают точное время, а в сильно натопленной – отстают?

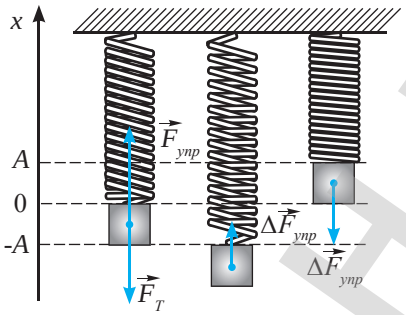


Рис. 152. *Пружинный маятник совершает колебания под действием силы упругости и силы тяжести*

Вспомните!

Как период колебаний пружинного и математического маятников зависят от амплитуды колебаний?

I. Условия, при которых совершаются гармонические колебания

Рассмотрим условия, при которых совершаются гармонические колебания на примере пружинного маятника – тела на пружине и математического маятника – тяжелого малого тела на невесомой длинной нити.

Подвесим к пружине груз, пружина растянется. Растяжение прекратится в момент, когда $F_T = F_{упр}$ *(рис. 152)*. Для пружинного маятника это состояние является состоянием равновесия. Выведем маятник из состояния равновесия, растянув пружину. Он начнет совершать колебательные движения под воздействием силы упругости:

$$(\Delta F_{упр})_x = -kx\,, \qquad (1)$$

вызванной добавочной деформацией пружины x.

Сила упругости пропорциональна смещению тела и направлена противоположно ему.

В положении равновесия тело не останавливается, продолжая двигаться по инерции, пружина сжимается. Сила упругости при этом изменяет направление в сторону противоположную смещению, ее значение увеличивается с увеличением сжатия пружины. Тело движется замедленно, останавливается и под действием силы упругости меняет направление движения. Маятник совершает повторяющееся или колебательное движение.

Математический маятник совершает колебания под действием равнодействующей двух сил: силы тяжести и силы натяжения нити *(рис. 153)*:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_н + \vec{F}_T\,.$$

Из ΔABC следует, что модуль равнодействующей силы равен:

$$F_R = F_T \sin\alpha = mg \cdot \sin\alpha\,. \qquad (2)$$

АРМАНПВ басасы

Если значение смещения незначительно, то угол отклонения α мал, тогда:

$$\sin\alpha \approx \alpha .$$

Выразим смещение через длину нити, которая является радиусом окружности. При малых отклонениях маятника смещение можно считать равным длине дуги, следовательно: $x = \alpha l$,

откуда $$\alpha = \frac{x}{l} . \qquad (3)$$

Подставим полученное выражение (3) в (2). Учтем, что проекция смещения на ось $0x$ отрицательная, получим:

$$F_R = -\frac{mg}{l}x . \qquad (4)$$

Равнодействующая сил, под действием которой математический маятник совершает гармонические колебания, пропорциональна смещению и противоположна ей по знаку.

Заметим, что мы получили вывод, допустив, что угол отклонения имеет малое значение, поэтому для математического маятника оговариваются условия: *нить математического маятника должна быть невесомой и длинной, а вся масса сосредоточена внутри тела, так как сила тяжести была приложена к центру тела подвешенного к нити.*

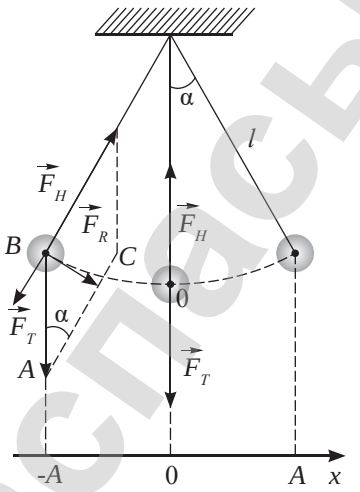


Рис. 153. *Колебания математического маятника под действием равнодействующей двух сил: силы тяжести и силы натяжения нити*

II. Период и собственная частота колебаний пружинного маятника

Запишем второй закон Ньютона для пружинного маятника:

$$m\vec{a} = \vec{F}_{упр} .$$

В проекции на ось $0x$:

$$ma = F_{упр} .$$

Ускорение выразим через циклическую частоту $a = \omega^2 x$, учитывая, что $F_{упр} = kx$, получим:

$$m\omega^2 x = kx .$$

Формула расчета собственной циклической частоты для пружинного маятника:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} . \qquad (5)$$

Эксперимент 1

Определите опытным путем период колебаний математических маятников различной длины: 0,5 м; 1 м; 1,5 м и 2 м. Сравните периоды колебаний маятников длиной 0,5 м и 2 м.

Запомните!

Гармонические колебания совершаются под действием силы, прямо пропорциональной смещению тела и противоположно направленной ему (формула 1), (формула 4).

АРМАН-ПВ баспасы

Циклическая частота связана с периодом формулой $\omega = \frac{2\pi}{T}$, следовательно $T = \frac{2\pi}{\omega}$.

Формула расчета периода колебаний пружинного маятника с учетом (5) примет вид:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}. \qquad (6)$$

Эксперимент 2

Определите опытным путем период колебаний пружинных маятников с одинаковой жесткостью пружины, но разной массой грузов: 100 г, 200 г, 300 г, 400 г. Сравните периоды колебаний маятников с грузами массой 100 г и 400 г.

Запомните!

Период колебаний пружинного маятника зависит только от массы груза и коэффициента упругости пружины. Он не зависит от амплитуды колебаний.

III. Период и собственная частота колебаний математического маятника

Проведем аналогичные рассуждения для математического маятника. Учтем, что колебания происходят под действием равнодействующей силы $F_R = \frac{mg}{l}x$, тогда:

$$m\omega^2 x = \frac{mg}{l}x.$$

Выразим циклическую частоту:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}. \qquad (7)$$

Период колебаний математического маятника равен:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}. \qquad (8)$$

Запомните!

Период математического маятника зависит только от длины маятника и напряженности гравитационного поля.

Эксперимент 3

Определите опытным путем период колебаний пружинных маятников с разной жесткостью пружин, но одинаковой массой грузов. Определите жесткости пружин. Сравните соотношение жесткостей пружин с отношением периодов колебаний.

Задание 1

Сравните результаты эксперимента 1 с теоретическим выводом (формулой 8). Результаты эксперимента 2 и 3 с формулой (6). Насколько результаты ваших опытов достоверны? На каком этапе постановки опыта вы могли допустить погрешности? Предложите способы улучшения результата опытов.

Задание 2

Выразите из формул (6) и (8) формулы расчета частоты собственных колебаний пружинного и математического маятников. Обозначьте ее буквой ν_0. Что необходимо сделать для изменения частоты и периода колебаний пружинного и математического маятников?

Задание 3

Выразите формулы расчета массы, коэффициента жесткости и длины маятника из формул (6) и (8).

АРМАН-ПВ бесплатно

Задание 4

Предположите, как будут происходить колебания пружинного и математического маятников в условии невесомости? Свои гипотезы проверьте, используя различные источники информации.

Кусочки науки

Для избавления от иррациональности необходимо левую и правую части уравнения возвести в квадрат.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Определите длину маятника, период которого равен 2 с.

Дано:
$g = 9{,}8$ м/с^2
$T = 2$ с

l – ?

Решение:
Период математического маятника равен:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Возведем обе части равенства в квадрат:

$$T^2 = \frac{4\pi^2 l}{g}.$$

Получим расчетную формулу для длины маятника:

$$l = \frac{T^2 g}{4\pi^2}.$$

Выполним расчет:

$$l = \frac{4c^2 \cdot 9{,}8\frac{м}{c^2}}{4 \cdot 3{,}14^2} \approx 1м.$$

Ответ: $l = 1$ м.

Контрольные вопросы

1. При каких условиях совершаются гармонические колебания?
2. От каких величин зависят период и собственная частота пружинного маятника?
3. Как определяют период и собственную частоту математического маятника?

АРМАН-ПВ баспасы

Упражнение 26

1. Определите частоту колебаний груза массой 400 г, подвешенного к пружине жесткостью 160 Н/м.
2. Чему равна жесткость пружины, если скрепленное с ней тело массой 30 г совершает за 1мин 300 колебаний?
3. Как относятся длины математических маятников, если за одно и то же время один из них совершает 10, а второй – 30 колебаний?

Упражнение 26д

1. Определите массу груза, который на пружине с жесткостью 250 Н/м делает 20 колебаний за 16 с.
2. За одно и то же время один математический маятник делает 50 колебаний, а второй – 30. Определите их длины, если один из них на 32 см короче.

Экспериментальное задание

1. Привяжите кусок железа, обладающего магнитными свойствами, к нити. Определите период колебаний полученного маятника.
2. Повторите измерение периода колебаний, расположив под маятником металлический лист. Сделайте вывод.

Творческое задание

Подготовьте сообщение на тему: «Пружинные и математические маятники вокруг нас».

АРМАН-ПВ баспасы

§ 27. Свободные и вынужденные колебания, резонанс

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *приводить примеры свободных и вынужденных колебаний;*
- *описывать по графику зависимость амплитуды вынужденных колебаний от частоты вынуждающей силы;*
- *описывать явление резонанса.*

I. Затухающие колебания

Энергия колебательной системы, совершающей свободные колебания, под воздействием силы сопротивления среды превращается во внутреннюю энергию, амплитуда колебаний уменьшается *(рис. 154)*.

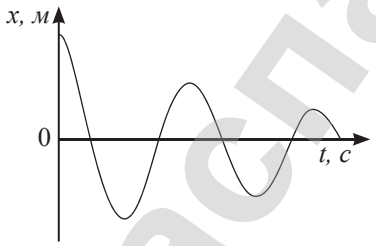


Рис. 154. *График зависимости смещения от времени для свободных затухающих колебаний*

Ответьте на вопросы

1. *Какие системы называют колебательными?*
2. *Какие колебания называют свободными? Какие вынужденными?*

Колебания, амплитуда которых со временем уменьшается, называют *затухающими*.

Затухающие колебания являются непериодическими, так как значения физических величин в них не повторяются. Условным периодом колебаний называют промежуток времени, через который физические величины принимают аналогичные значения.

Для восстановления энергии колебательной системы необходимо восполнение потерь энергии, то есть действие внешней периодически изменяющейся силы. Если действие силы в точности

Обратите внимание!

Линию, соединяющую амплитудные значения смещения, называют огибающей амплитудных значений *(рис. 155)*.

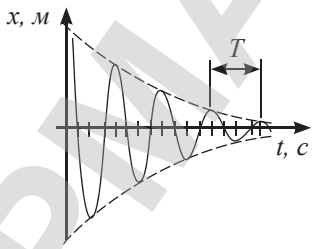


Рис. 155. *График колебаний и огибающая амплитудных значений смещения*

Эксперимент

Приведите в колебательное движение математический и пружинный маятники. Наблюдайте за изменением амплитуды колебаний. Объясните причину уменьшения амплитуды.

Определите период колебаний и амплитудные значения смещения математического маятника (пружинного маятника) в пределах пяти периодов. Изобразите график зависимости смещения от времени.

Повторите опыт, опустив маятник в воду. Сравните результаты опытов. Объясните полученные результаты. Проведите линию, огибающую амплитудные значения смещения.

АРМАН-ПВ баспасы

восполняет потери энергии колебательной системы на преодоление сил сопротивления, то амплитуда колебаний остается постоянной *(рис. 156)*.

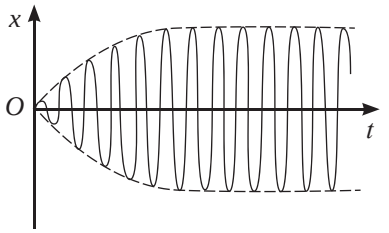


Рис. 156. *График зависимости смещения от времени для вынужденных колебаний с установившейся амплитудой*

Ответьте на вопросы

Что необходимо сделать, чтобы амплитуда колебаний оставалась постоянной? При каком условии амплитуда может превысить первоначальное значение? Может ли оказаться меньше первоначального значения? Убедитесь в своих предположениях на опыте: периодически воздействуйте на маятники.

Задание 1

Заполните таблицу примерами соответствующих колебаний.

Таблица 10. *Виды колебаний*

Виды колебаний	Затухающие	Незатухающие
Свободные		
Вынужденные		

Ответьте на вопросы

1. *Почему свободные колебания в земных условиях затухающие?*
2. *При каком условии свободные колебания не будут затухающими?*
3. *Почему вынужденные колебания, как правило, не являются затухающими? В каком случае они могут быть затухающими? Приведите примеры.*

II. Резонанс

Исследуем зависимость амплитуды колебаний от частоты внешней периодически изменяющейся силы. Несложно убедиться на опыте, что при совпадении частоты внешней силы с собственной частотой колебательной системы амплитуда колебаний возрастает. Такое явление называют *резонансом* (от лат. *resono* – «откликаюсь»).

Таким образом, условием резонанса является равенство частоты внешней периодически действующей силы и собственной частоты колебательной системы:

$$\nu_{внеш} = \nu_0 .$$

Резонанс **– это явление увеличения амплитуды вынужденных колебаний при совпадении частоты внешней силы с собственной частотой колебательной системы.**

Ответьте на вопрос

Что произойдет с амплитудой вынужденных колебаний, если сопротивление среды исчезнет?

АРМАН-ПВ бастасы

На *рисунке 157* изображена резонансная кривая, которая является огибающей амплитудных значений смещения колебательного движения *(рис. 158)*.

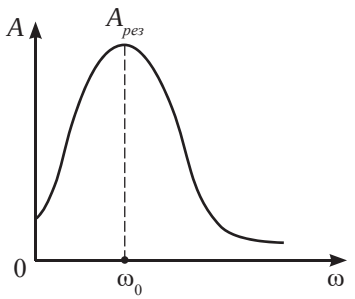


Рис. 157. *Резонансная кривая*

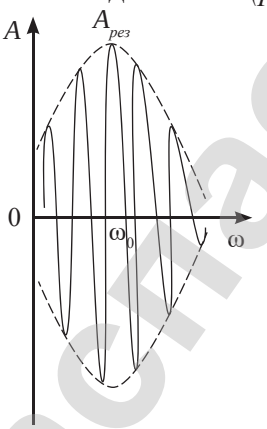


Рис. 158. *Резонансная кривая – огибающая амплитудных значений смещения*

Вынужденные колебания в колебательной системе происходят с частотой вынуждающей силы.

На *рисунке 159* представлены резонансные кривые для различных значений сопротивления среды. Если сопротивление среды велико, то резонанс не наблюдается и с увеличением частоты амплитуда вынужденных колебаний монотонно убывает (кривая 1). При увеличении частоты для всех резонансных кривых амплитудные значения приближаются к нулю. При быстром изменении направления вынуждающей силы колебательная система не успевает сместиться из положения равновесия *(рис. 159)*.

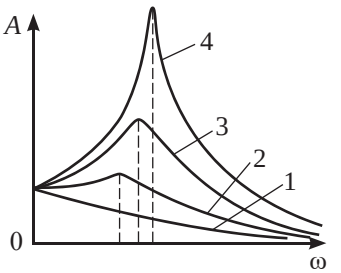


Рис. 159. *Резонансная кривая зависит от сопротивления сред*

III. Резонанс, польза и вред

Все тела, окружающие нас, совершают колебательные движения. Сердце человека тоже является колебательной системой. Резонанс – это очень эффективный инструмент для решения многих практических задач, но и одновременно может быть причиной серьезных разрушений, вреда здоровью и других негативных последствий. Рассмотрим несколько примеров.

Ответьте на вопросы

1. *В каком из четырех приведенных на рисунке 159 графиков сопротивление внешней среды наименьшее?*
2. *Почему все резонансные кривые при увеличении частоты приближаются к нулевому значению?*

Интересно знать!

Останкинская башня в Москве может раскачаться до 12 метров в амплитуде.

АРМАНПВ баспасы

Резонанс используют при дроблении и измельчении горных пород и материалов. При вынужденном колебательном движении дробимого материала силы инерции вызывают напряжения и деформации, периодически меняющие свое направление. В условиях резонанса они достигают значительной величины и способны разрушить горные породы. Такую же роль резонанс играет при сверлении отверстий в бетонных стенах при помощи электрической дрели с перфоратором. По этой же причине застрявшую в дорожной ямке машину постепенно раскачивают и толкают вперед в моменты, когда она сама движется вперед, усиливая амплитуду колебаний. На явлении резонанса основана технология растворения сухого молока в воде.

Рис. 160. *Разрушение Такомского моста в Америке, 1940 г.*

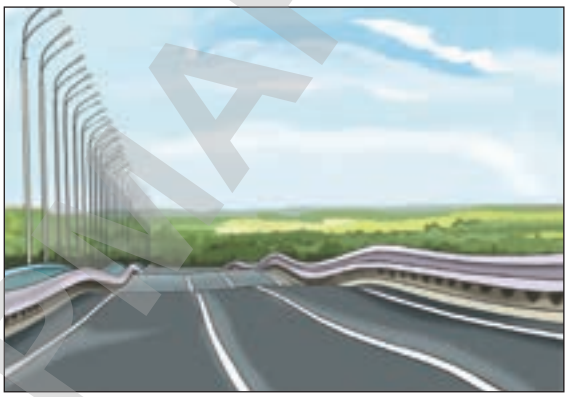


Рис. 161. *Бетонные волны Волгоградского моста, 2010 г.*

Возьмите на заметку

Несколько фактов из истории разрушения мостов.

В 1750 г. разрушен цепной мост длиной 102 м близ г. Анжер во Франции. Причина: частота шагов отряда солдат совпала с частотой свободных колебаний моста.

В 1830 г. разрушен подвесной мост около Манчестера в Англии. Причина: по мосту маршировал военный отряд.

В 1906 г. разрушен Египетский мост в Петербурге. Причина: по мосту проходил кавалерийский эскадрон.

В 1940 г. разрушен Такомский мост в Америке. Причина: резонансные колебания, вызванные ветром скоростью 65 км/ч *(рис. 160)*.

В 2010 г. в России г. Волгоград едва не обрушился мост. Амплитуда колебаний бетонных волн достигала 1 м *(рис. 161)*.

Задание 1

Предложите способы предотвращения разрушения мостов.

Задание 2

Выясните, какие меры безопасности для жителей городов Казахстана предусмотрены при строительстве высотных домов *(рис. 162)*.

АРМАН-ПВ бастасы

Не следует забывать об опасности, которую способен принести резонанс. Землетрясения или сейсмические волны, а также работа сильно вибрирующих технических устройств могут вызвать разрушения части здания или даже здания в целом. Землетрясения на дне океана могут привести к образованию огромных резонансных волн – цунами – с очень большой разрушительной силой. Примерами менее разрушительного негативного проявления резонанса в механических колебаниях являются: расплескивание воды из ведра при ходьбе, раскачивание вагона на стыках рельсов, груза на подъемном кране, раскачивание небоскребов. На большой высоте железобетонный каркас небоскребов должен выдерживать напор ветра, скорость которого достигает 150 км/ч. Одна из строительных компаний Японии устанавливает на крыше небоскребов огромные резервуары с водой для предотвращения раскачивания здания. Из-за огромной массы и инерционности жидкость реагирует на сотрясения с запозданием. Колебания здания нейтрализуются и практически гасятся.

Рис. 162. *Изумрудный квартал г. Нур-Султан, высота 210 м*

Интересно знать!

С резонансом можно встретиться не только на суше, но и в море и даже в воздухе. Так, например, при некоторых частотах вращения гребного вала в резонанс входили целые корабли. А на заре развития авиации некоторые авиационные двигатели вызывали столь сильные резонансные колебания частей самолета, что он разваливался в воздухе.

Контрольные вопросы

1. Почему свободные колебания являются затухающими?
2. Что такое резонанс?
3. При каком условии наступает резонанс?
4. Почему низкочастотные колебания, сравнимые с колебаниями сердца человека, вредны для здоровья человека?

Упражнение 27

1. При движении поезда по рельсам длиной 25 м вагон на стыках получает удары, вызывающие вынужденные колебания. При какой скорости поезда возникает резонанс, если период собственных вертикальных колебаний вагона равен 1,25 с?

АРМАН-ПВ бастары

2. По графику на *рисунке 163* определите собственную частоту колебаний системы, период колебаний и амплитудное значение смещения.

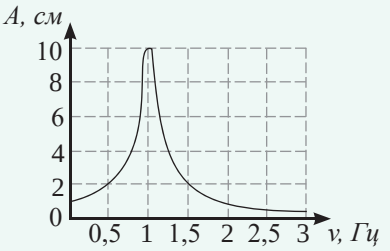


Рис. 163. *График к упражнению 27.2*

Упражнение 27д

1. К концу пружины маятника, груз которого имеет массу 1 кг, приложена переменная сила, частота колебаний которой равна 16 Гц. Будет ли при этом наблюдаться резонанс, если жесткость пружины 0,4 кН/м?
2. По графику на *рисунке 164* определите собственную частоту колебаний системы, период колебаний и амплитудное значение смещения.

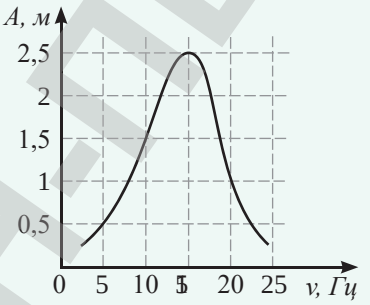


Рис. 164. *График к упражнению 27 д.2*

Творческое задание

Подготовьте сообщение по темам (на выбор):

1. «Вредные проявления резонанса».
2. «Резонанс на службе у человека».
3. «Устройство и принцип действия частотометра».
4. «Биорезонансная терапия».

АРМАН-ПВ баспасы

§ 28. Свободные электромагнитные колебания

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *описывать качественно свободные электромагнитные колебания в колебательном контуре.*

Ответьте на вопросы

1. *Почему ток в электрической сети вашей квартиры называют переменным током?*
2. *Почему на розетках для подключения электроприборов не указаны знаки «плюс» и «минус», как у источника постоянного тока?*

Вспомните!

Какое движение называют колебательным?

Возьмите на заметку

На территории Казахстана в электрической сети используют электромагнитные колебания частотой 50 Гц.

Интересно знать!

Частота промышленного тока, вырабатываемого на электростанциях США, Бразилии, Венесуэле, Перу и ряде других стран, составляет 60 Гц. При этом в сеть подается напряжение, равное 110–120 В.

I. Электромагнитные колебания. Переменный ток

Приступая к изучению электромагнитных колебаний, можно предположить, что это периодически повторяющиеся движения заряженных частиц. Следовательно, электрический ток должен периодически изменять направление и значение силы тока. Такой ток возникает при вращении рамки в магнитном поле. Благодаря явлению электромагнитной индукции в рамке появляется ток, направление которого меняется через каждые пол-оборота рамки. Одно полное колебание совершается за один оборот рамки *(рис. 165)*.

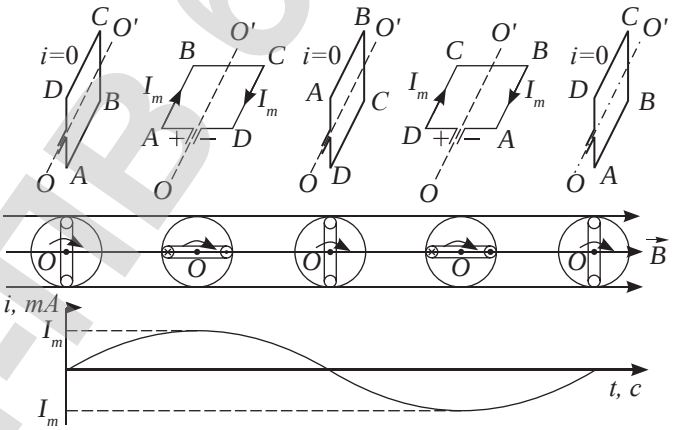


Рис. 165. *Вращение рамки в однородном магнитном поле*

На явлении электромагнитной индукции основан принцип действия генератора переменного тока, ротор которого представляет собой множество рамок, вращающихся под действием турбины. Генератор создает переменный ток, который является примером вынужденных электромагнитных колебаний.

Он характеризуется такими величинами, как сила тока, напряжение, электрический заряд. В цепи переменного тока их значения изменяются.

АЙМАН-ПВ базасы

Периодическое изменение электрического заряда, силы тока и напряжения называют *электромагнитными колебаниями*.

II. Свободные электромагнитные колебания. Колебательный контур

Свободные колебания без воздействия внешней периодической электродвижущей силы могут происходить в электрических колебательных системах.

Электрическую цепь, состоящую из последовательно соединенных конденсатора и катушки, называют *колебательным контуром*.

В радиотехнике более широкое применение получил параллельный колебательный контур. Простейший колебательный контур представляет собой катушку, присоединенную концами к конденсатору *(рис. 166)*.

Колебания, которые совершаются в контуре, являются затухающими. Роль силы сопротивления в контуре играет активное сопротивление катушки R.

Обратите внимание!

Катушка индуктивности – это свернутый в спираль проводник с малым активным сопротивлением, способный запасать энергию в виде энергии магнитного поля.
Катушка индуктивности хорошо проводит постоянный ток и в то же время оказывает сопротивление переменному току. При изменении тока в катушке вокруг нее образуется переменное магнитное поле. Как показали опыты, это поле создает электрическое поле, препятствующее действию поля источника тока. При увеличении силы тока в цепи, катушка создает поле, уменьшающее значение тока. И, наоборот, при уменьшении силы тока в цепи катушка создает поле, поддерживающее его значение. Такое свойство катушки принято называть инерционностью.

Задание 1

Определите циклическую частоту промышленного тока – тока в электрической сети.

Ответьте на вопросы

Почему колебание значений силы тока и напряжения в сети являются вынужденными колебаниями? Как можно изменить частоту электромагнитных колебаний?

Задание 2

На основе формулы 13 § 25 запишите формулы изменения силы тока и напряжения в сети переменного тока.

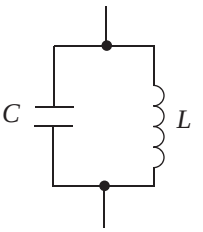


Рис. 166. *Электрическая схема колебательного контура. C – конденсатор, L – катушка индуктивности*

Запомните!

Физическую величину, характеризующую инерционность катушки, называют индуктивностью. Индуктивность катушки обозначают буквой L, измеряют в генри: $[L] - 1\,Гн$.

АРМАН-ПВ баспасы

На активном сопротивлении, согласно закону Джоуля – Ленца, электрическая энергия превращается в тепловую.

Вспомните!

Катушку, длина которой намного больше, чем ее диаметр, называют соленоидом. Внутри соленоида с током образуется однородное магнитное поле.

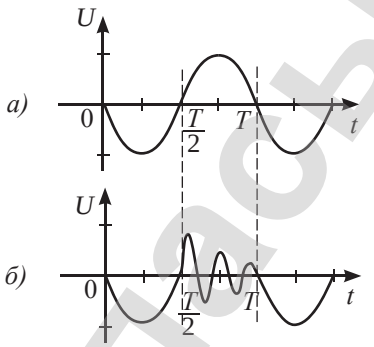


Рис. 167. *а) изменение напряжения на источнике переменного напряжения; б) изменение напряжения на обкладках конденсатора колебательного контура*

III. Наблюдение электромагнитных колебаний

Для наблюдения процессов, происходящих в цепи, используют прибор – осциллограф, основной частью которого является электроннолучевая трубка. Переменное напряжение, поданное на осциллограф, управляет катодным лучом, на экране появляется график зависимости напряжения от времени. Вынужденные колебания, созданные источником переменного тока, представлены на *рисунке 167, а*.

Соберем цепь, схема которой изображена на *рисунке 168*. Она состоит из источника переменного тока, диода, колебательного контура и осциллографа. Диод обладает односторонней проводимостью, следовательно, сигнал от источника переменного тока на осциллограф проходит только в течение половины периода. В течение второй половины на экране осциллографа отображаются процессы, происходящие в колебательном контуре *(рис. 167, б)*.

Из осциллограммы следует, что в колебательном контуре совершаются свободные затухающие колебания с частотой, превышающей частоту источника переменного тока.

Эксперимент

Соберите цепь, схема которой изображена на *рисунке 168*. Сравните графики, полученные на экране осциллографа при замкнутом и разомкнутом ключе. Объясните причину изменения графика на участке от T/2 до T.

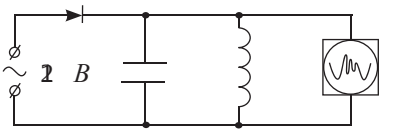


Рис. 168. *Схема цепи для наблюдения свободных электромагнитных колебаний*

IV. Процессы, происходящие в колебательном контуре

При заряде конденсатора *(рис. 169, а)* между его обкладками создается электрическое поле с энергией:

$$E_{э.п.} = \frac{q_m^2}{2C}. \qquad (1)$$

АРМАНПВ баспасы

Конденсатор под действием электрического поля начинает разряжаться, в контуре появляется электрический ток. Сила тока постепенно возрастает, вокруг катушки возникает переменное магнитное поле. В момент, когда конденсатор полностью разрядится и энергия электрического поля станет равной нулю, энергия магнитного поля будет максимальной *(рис. 169, б)*:

$$E_{м.п.} = \frac{LI_m^2}{2}. \qquad (2)$$

При отсутствии электрического поля электрический ток не может прекратиться сразу, этому препятствует инерционность катушки. Благодаря этому свойству катушки заряды продолжают двигаться, и к концу половины периода конденсатор перезарядится *(рис. 169, в)*. Энергия магнитного поля в момент полной перезарядки конденсатора станет равной нулю, а энергия электрического поля конденсатора вновь станет максимальной.

После этого конденсатор снова начнет перезаряжаться через катушку и система возвратится в исходное состояние.

Свободные колебания будут происходить до тех пор, пока вся энергия не превратится в тепловую.

В идеальном колебательном контуре, активное сопротивление которого принимается равным нулю, происходят взаимные превращения энергии электрического и магнитного полей.

V. Период и собственная частота электромагнитных колебаний

Используя аналогию механических и электромагнитных колебаний, представленную в таблице, напишем формулу расчета периода колебаний колебательного контура.

Воспользуемся формулой расчета периода колебаний пружинного маятника $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$.

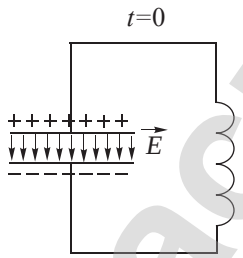


Рис. 169. *а) энергия электрического поля конденсатора максимальная, все избыточные заряды сосредоточены на обкладках конденсатора*

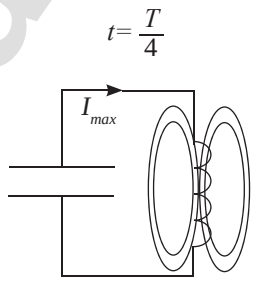


Рис. 169. *б) энергия магнитного поля катушки максимальна, заряды перетекают с одной обкладки на другую, на обкладках конденсатора нет избыточных зарядов*

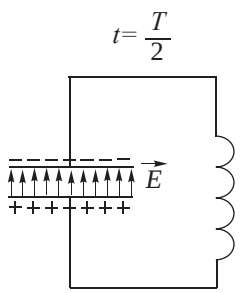


Рис. 169. *в) конденсатор перезарядился, энергия электрического поля максимальная*

АРМАН-ПВ бастасы

Задание 3

Рассмотрите таблицу «Аналогия механических и электромагнитных колебаний», поясните ее.

Таблица 11. *Аналогия механических и электромагнитных колебаний*

Механические колебания	Электромагнитные колебания
Потенциальная энергия $E_p = \frac{kA^2}{2}$	Энергия электрического поля $E_{э.п.} = \frac{q_m^2}{2C}$
Коэффициент жесткости k	Величина, обратная емкости $\frac{1}{C}$
Амплитуда колебаний A	Максимальный заряд $\mathbf{q}_m$
Смещение x	Заряд q
Кинетическая энергия $E_k = \frac{m\upsilon_m^2}{2}$	Энергия магнитного поля $E_{м.п.} = \frac{LI_m^2}{2}$
Масса тела m	Индуктивность катушки *L*
Максимальная скорость движения тела $\boldsymbol{\upsilon}_m$	Максимальное значение силы тока I_m

Вместо m и k подставим L и $\frac{1}{C}$, получим:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}\,. \qquad (3)$$

Эта формула теоретически была выведена английским физиком У. Томсоном в 1853 году и получила название *формулы Томсона*.

Для того, чтобы рассчитать период в секундах, необходимо выразить индуктивность и электроемкость в единицах SI.

Собственная частота колебаний контура определяется формулой:

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}\,. \qquad (4)$$

Частота колебаний легко изменяется подбором индуктивности катушки и емкости конденсатора.

С помощью колебательного контура можно получить колебания высокой частоты.

Высокочастотные колебания получили широкое применение в радиотехнике.

Обратите внимание!

В электротехнике используют низкие частоты 50 Гц и 60 Гц.
В радиотехнике – высокие частоты: от 3 кГц до 3000 ГГц.

АРМАНПВ баспасы

Задание 4

Внесите соответствующие формулы в пустые ячейки таблицы.

Таблица 12

Состояние системы	Энергия системы	
	Пружинный маятник	Колебательный контур
Положение максимального отклонения от состояния равновесия		
Положение равновесия		

Контрольные вопросы

1. Какие колебания называют электромагнитными?
2. Приведите пример вынужденных электромагнитных колебаний.
3. Что такое колебательный контур? Какие колебания совершаются в нем?
4. Как определить период колебаний колебательного контура?

Упражнение 28

1. На конденсаторе, включенном в колебательный контур, амплитуда напряжения равна 1000 В. Емкость конденсатора 10 пФ. Определите максимальную энергию магнитного поля катушки индуктивности.
2. Чему равен период собственных колебаний в контуре, если его индуктивность равна 2,5 мГн, а емкость – 1,5 мкФ?

Упражнение 28д

1. После того как конденсатору был сообщен заряд 10^{-6} Кл, в колебательном контуре возникли затухающие колебания. Какое количество теплоты выделится в контуре к моменту времени, когда колебания полностью исчезнут? Емкость конденсатора 0,01 мкФ.
2. Конденсатор какой емкости нужно включить в колебательный контур, чтобы при индуктивности катушки равной 5,1 мкГн получить колебания с частотой 10 МГц?

Творческое задание

Подготовьте сообщение по темам (на выбор):

1. «Устройство и принцип действия микрофона».
2. «Устройство и принцип действия динамика».

АРМАН-ПВ баспасы

§ 29. Волновое движение

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *применять формулы скорости, частоты и длины волны при решении задач;*
- *сравнивать поперечные и продольные волны.*

I. Распространение колебаний в упругой среде. Волновое движение

Тела, совершающие механические колебания, вовлекают в движение части среды, в которой они находятся. Колебание тела передается благодаря силам упругости, возникающим вследствие деформации среды и совершении ее частицами колебательного движения. Колебательный процесс распространяется на точки все более и более удаленные от колеблющегося тела, появляется волна.

Механическая волна **– это явление распространения колебательного движения в упругой среде.**

Ответьте на вопросы

1. *Почему стеклопакеты для пластиковых окон обладают звукоизоляционными свойствами?*
2. *Почему чайка, сидящая на волне, поднимается и опускается с волной, но вперед к берегу не движется?*
3. *Почему волны на поверхности воды нельзя отнести к поперечным волнам?*

Волны легко наблюдать на поверхности воды вокруг колеблющегося поплавка.

II. Продольные и поперечные волны

В зависимости от вида деформации среды образуются различные волны. Продольная волна появляется в том случае, когда колеблющееся тело создает деформацию сжатия и растяжения. При этом условии волна распространяется по направлению колебания тела. В среде образуются сгущения и разряжения *(рис. 170)*. В местах сгущения расстояние между молекулами уменьшается, преобладает сила отталкивания. В разряжениях расстояние между молекулами возрастает, преобладают силы притяжения, молекулы притягиваются. Такой тип деформации возможен во всех средах: газообразных, жидких и твердых. Продольные волны возникают в любой упругой среде.

Рис. 170. *Образование продольной волны*

Продольная волна **– это волна, в которой колебание частиц среды происходят по направлению ее распространения.**

АРМАН-ПВ баспасы

Наглядным примером такой волны является волна, возникающая в пружине при резком ударе по одному из его концов *(рис. 171)*.

Если колеблющееся тело создает в среде деформацию сдвига, то в среде наблюдаются гребни и впадины. Слои вещества сдвигаются относительно друг друга, вовлекая в этот процесс расположенные вблизи частицы. Волна распространяется в направлении, перпендикулярном колебаниям частиц.

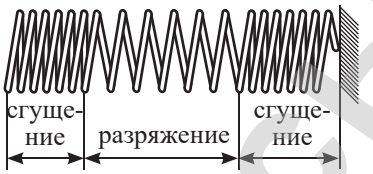


Рис. 171. *Продольная волна в пружине*

Поперечная волна **– это волна, в которой колебания частиц среды происходят перпендикулярно направлению ее распространения.**

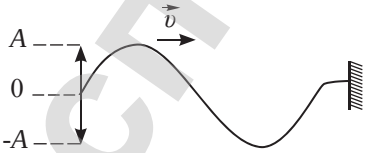


Рис. 172. *Поперечная волна в шнуре*

Деформация сдвига возможна только в твердых средах. Примером поперечных волн является передача колебаний конца шнура амплитудой A вдоль всей его поверхности *(рис. 172)*.

Волны на поверхности воды по своей природе не созданы силами упругости. Они образованы на границе двух сред и обусловлены силой тяжести и силой поверхностного натяжения. Частицы на поверхности совершают более сложное круговое движение.

Эксперимент

Используя волновую машину *(рис. 173)*, проследите за механизмом создания поперечной и продольной волн.

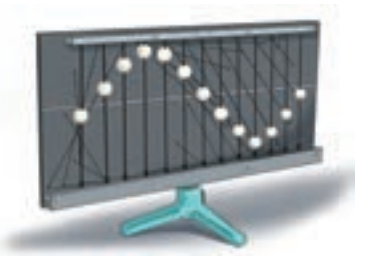


Рис. 173. *Волновая машина для наблюдения поперечных и продольных волн*

III. Свойства механических волн

1) *Волны передают энергию.* Вовлечь частицу, расположенную рядом с колеблющимся телом, в колебательный процесс можно, если передать ей энергию. Для поддержания волнового движения источник должен постоянно совершать колебательное движение. Прекращение движения источника приведет к исчезновению волны.

2) *Волны не переносят частицы вещества.* Частицы среды совершают колебательное движение около положения равновесия. Тела, которые находятся в колеблющейся среде,

Ответьте на вопросы

1. *Почему волны образуются только в упругой среде?*
2. *Почему в газах и жидкостях возможны только продольные волны?*
3. *Почему тела не переносятся волной?*

АРМАН-ПВ баспасы

повторяют аналогичное движение, не перемещаясь по направлению распространения волны.

3) *Волны отражаются*, это явление можно наблюдать в пружине, шнуре *(рис. 171, 172)*. Скалистый берег, борт корабля изменяют направление распространения волн.

4) *Волны огибают препятствия*, если их размеры сравнимы с длиной волны. Волны на воде могут огибать буйки и препятствия малого размера.

Задание 1

Убедитесь в том, что волны не переносят частицы вещества, отражаются и огибают препятствия, наблюдая за волнами на поверхности воды.

IV. График волны

Сравним график колебательного движения тела, ставшего источником волн *(рис. 174)* с графиком волны *(рис. 175)*. Внешне, графики похожи, но в них есть различие. График колебаний тела представляет собой развертку во времени, по которой мы можем определить смещение тела от положения равновесия в любой момент времени.

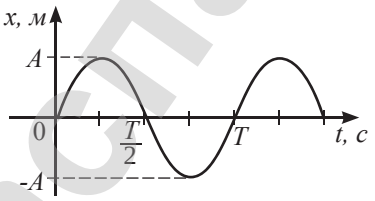


Рис. 174. *График колебательного движения источника волны*

По графику волнового процесса можно определить смещение частицы среды, находящейся на расстоянии ***r*** от источника волны.

По направлению движения частиц среды можно определить направление распространения волны *(рис. 176)*.

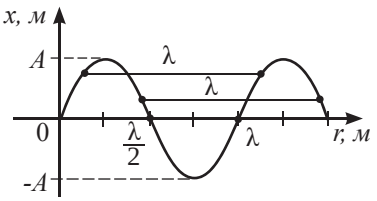


Рис. 175. *График волны*

V. Основные характеристики волны: длина волны и скорость

1) *Длина волны.* Все частицы, вовлеченные в колебательный процесс в течение одного периода, находятся от источника на расстоянии, не превышающем длину волны. Точки, находящиеся на расстоянии длины волны, совершают одинаковые колебания *(рис. 176)*.

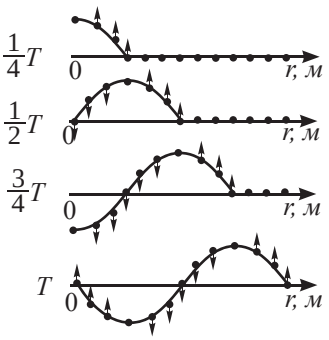


Рис. 176. *Направление распространения волны определяет направление движения частиц среды*

Задание 2

Укажите направление распространения волны на *рисунке 176*.

Как направление распространения волны связано с направлением движения частиц среды?

АРМАН-ПВ баспасы

Длина волны **– это величина, равная расстоянию между двумя ближайшими частицами волны, совершающими одинаковые колебания:**

$$\lambda = v \cdot T, \qquad (1)$$

где λ – длина волны;

v – скорость движения;

T – период колебания источника волны.

2) *Скорость волны.* Исследования показали, что скорость волны в однородной среде является величиной постоянной. Следовательно, для определения скорости волны необходимо знать расстояние и время распространения волны:

$$v = \frac{l}{t}. \qquad (2)$$

Рис. 177. *Шторм на Каспийском море*

Задание 3

Из формул (1) и (2) запишите формулы расчета скорости, периода, частоты, расстояния, времени распространения волны, укажите единицы измерения каждой величины в SI.

Интересно знать!

Каспийское море довольно неспокойно. В течение всего года в Каспийском море преобладают высоты волн менее 2 м; их повторяемость колеблется от 65 до 90 %. Повторяемость высот волн 2–4 м составляет 10–30 %.

В средней и южной частях моря в течение всего года могут отмечаться высоты волн 6 м и более *(рис. 177)*. Особенно неспокойными являются район острова Нефтяные Камни и район, расположенный к северо-западу от него; здесь высота волн может достигать 12 м.

Контрольные вопросы

1. Что такое волна?
2. Какие виды механических волн вам известны?
3. Какие волны появляются при деформации сжатия? В каких средах они возможны?
4. Какие волны возникают при деформации сдвига? В каких средах они наблюдаются?
5. Какими свойствами обладает волна?
6. Чем отличается график колебательного движения от волнового?
7. Что называют длиной волны?
8. Как определяется скорость волны?

АРМАНПВ баспасы

Упражнение 29

1. Определите длину волны, распространяющейся от источника колебаний с частотой колебаний 0,165 кГц и со скоростью 330 м/с.
2. По поверхности воды в озере волна распространяется со скоростью 6 м/с. Каковы период и частота колебаний бакена, если длина волны равна 30 дм?
3. На озере в безветренную погоду с лодки бросили тяжелый якорь. От места бросания пошли волны. Человек, стоящий на берегу, заметил, что волна с расстоянием между соседними гребнями волн 50 см дошла до него через 50 с.
   Как далеко от берега находилась лодка, если за 1/12 мин было 20 всплесков о берег?

Упражнение 29д

1. Вдоль упругого шнура распространяется поперечная волна со скоростью 72 км/ч, период колебаний точек шнура 0,5 с. Определите длину волны.
2. Рыболов заметил, что за 10 с поплавок совершил на волнах 20 колебаний, а расстояние между соседними гребнями волн равно 12 дм. Какова скорость распространения волн?

Экспериментальное задание

Понаблюдайте и выясните причины возникновения волн на поверхности воды в емкостях и естественных водоемах.

Творческое задание

Подготовьте сообщение по темам (на выбор):

1. «Морские волны, их происхождение и свойства».
2. «Сейсмические волны».
3. «Основные характеристики взрывной волны».

АРМАНПВ басылы

§ 30. Звук, характеристики звука, акустический резонанс, эхо

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *называть условия возникновения и распространения звука;*
- *сопоставлять характеристики звука с частотой и амплитудой звуковой волны;*
- *называть условие возникновения резонанса и приводить примеры его применения;*
- *описывать природу появления эха и способы его использования;*
- *приводить примеры использования ультразвука и инфразвука в природе и технике.*

Ответьте на вопросы

1. *Почему человек не слышит звук периодических взмахов рук при ходьбе?*
2. *Почему на Луне невозможно услышать звук упавшего тела?*
3. *Почему нельзя утверждать, что рыбы не могут издавать звуки?*
4. *Почему в твердых телах скорость звука выше?*

Эксперимент 1

Поместите источник звука под колокол воздушного насоса и откачайте воздух. Убедитесь в том, что звук не распространяется в вакууме.

I. Звук – это механическая волна

Мы живем в мире звуков. Они могут быть громкими или тихими, звонкими или глухими, кратковременными или продолжительными.

Источником звука может быть любое движущееся тело в упругой среде.

Ухо человека чувствительно к колебаниям среды определенного диапазона частот: человек слышит сигналы частотой от 16 Гц до 20000 Гц.

***Звук* – это распространяющиеся в упругих средах механические волны, воспринимаемые органами слуха.**

Звуковые волны в газах и жидкостях продольные, так как они вызваны деформацией сжатия, разряжения среды. В вакууме звуковые волны не распространяются. В этом можно убедиться на опыте. Поместим электрический звонок под колокол воздушного насоса. Откачивание воздуха приводит к ослаблению звука до полного его исчезновения *(рис. 178)*.

Раздел физики, в котором изучают звуковые волны, называют акустикой (от греч. akustikos – «звуковой»), а сами волны – акустическими.

II. Распространение звука. Скорость звуковой волны в различных средах

Распространение волны зависит от взаимодействия частиц среды. Чем плотнее расположены частицы среды друг к другу и чем больше силы их взаимодействия, тем быстрее передается энергия колебательного движения. В таблице 13 даны значения скоростей звука для воздуха и для воды при различных значениях температуры, а также для различных сред при одинаковой температуре.

АКМАН-ТВ бастасы

Таблица 13. Скорость звука в различных средах

Вещество	Температура, °С	Скорость звука м/с
Воздух	0 10 20	331,5 337,3 343,1
Вода	0 10 20	1407 1445 1484
Медь Сталь Стекло	5 5 5	3500 5000 5200

Рис. 178. *Звук в вакууме не распространяется*

III. Громкость звука

Звук представляет собой волну, которая несет с собой энергию. *Чем дальше мы находимся от источника звука, тем меньше энергия, которую передает колебательное движение барабанной перепонке уха.*

Энергетической характеристикой волны является интенсивность звука. Она показывает, какой энергии звуковая волна проходит через единичную площадь поверхности, перпендикулярную направлению распространения волны за одну секунду. От интенсивности звука зависит уровень громкости.

Энергия колеблющегося тела, являющегося источником волны, зависит от амплитуды его колебаний. Чем больше амплитуда колебаний, тем громче звук.

Ухо чувствительно к амплитудам колебаний воздуха около 10^{-9} см. Колебания с амплитудой 10^{-2} *см* способны повредить барабанную перепонку. Нижний предел слышимости, равный 0,000001 *мкВт/м*^{2} называют *порогом слышимости.* Этот уровень звука принят за нулевой. Уровень громкости звука принято измерять в *белах (Б) или децибелах (дБ)*. Единица измерения громкости звука была названа в честь американского ученого А.Г. Бела.

При увеличении интенсивности в 10 раз уровень звука возрастает на 10 дБ (таблица 14). Уровень звука в 120 дБ является болевым порогом, при достижении которого ощущается боль в ушах. При 180 дБ может произойти разрыв барабанной перепонки.

Задание

Изучите данные таблицы. Объясните, почему скорость звука при увеличении температуры до 10 °С уменьшается, затем вновь увеличивается для воды?

Интересно знать!

Ухо представляет собой чрезвычайно чувствительный орган, способный реагировать на интенсивности звука, различающиеся в 1000 млрд раз.

АРМАН-ПВ бастысы

IV. Высота звука

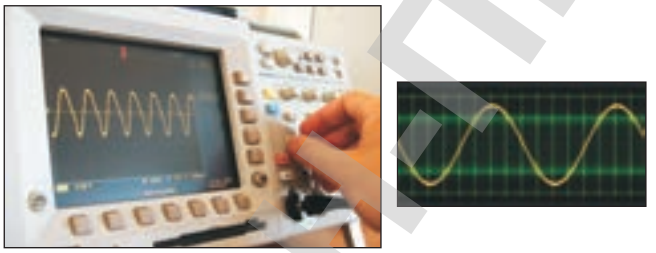
По высоте звука мы легко отличаем полет комара от полета шмеля, голос ребенка от голоса мужчины. Звуки отличаются по высоте тона.

Высоту тона определяет частота колебаний источника звука. Чем выше число колебаний, тем выше высота тона звука.

В этом можно убедиться по разверткам колебаний на осциллографе, полученным с помощью звукового генератора *(рис. 179, а)*. Тон звука, соответствующего развертке на экране осциллографа выше, чем звука, развертка которого была получена на этом экране ранее *(рис. 179, б)*.

Чистый звук одной высоты тона дает камертон, который используют для настройки музыкальных инструментов. Он позволяет создать звук одной частоты. Например, камертон, издающий звук соответствующий ноте «ля» первой октавы, создает колебания частотой 440 Гц, ноте «до» – 261,6 Гц.

Камертон – устройство, представляющее собой изогнутый металлический стержень на ножке (рис. 180).



а) *б)*

Рис. 179. *Изучение свойств звуковых волн с помощью осциллографа*

V. Акустический резонанс

Любое дребезжание стекол без видимых на то причин является примером акустического резонанса. В ответ на высокие ноты оперных певцов дрожат подвески хрустальных люстр, звенят тонкостенные бокалы. Примером акустического резонанса является отклик одной из струн рояля на звук камертона.

Таблица 14. *Интенсивность и уровень различных звуков*

Интенсивность, мкВт/м²	Уровень звука, дБ
Порог слышимости	
0,000001	0
Спокойное дыхание	
0,00001	10
Шум спокойного сада	
0,0001	20
Перелистывание страниц	
0,001	30
Обычный шум в доме	
0,01	40
Пылесос	
0,1	50
Обычный разговор	
1	60
Радио	
10	70
Оживленное движение на улице	
100	80
Поезд на эстакаде	
1000	90
Шум в вагоне метро	
10000	100
Гром	
100000	110
Порог болевых ощущений	
1000000	120

Ответьте на вопросы

1. *Почему вдали от источника громкость звука меньше?*
2. *Почему высота звука полета комара выше, чем у шмеля?*

АРМАНПБ запасы

Акустический резонанс **– это усиление амплитуды колебаний тела при совпадении его собственной частоты с частотой звуковой волны.**

Явление акустического резонанса получило практическое применение для усиления звучания струн музыкальных инструментов. У каждого из них есть дека – это деревянный корпус определенной формы и размера *(рис. 181, 183)*. Воздух в корпусе колеблется с частотой звучания струн, усиливая звук инструмента.

Рис. 181*. Домбра – национальный инструмент казахского народа, технология ее изготовления передается от поколения к поколению*

Особенная форма скрипки, виолончели, контрабаса, гитары способствует резонансу звуковых волн внутри корпуса инструмента. Известнейшие мастера музыкальных инструментов, такие как Николо Амати, Андреа Гварнери и Антонио Страдивари, совершенствовали форму, подбирали редкие породы древесины и изготавливали специальный лак, чтобы усилить резонирующий эффект, сохранив при этом мягкость и нежность тембра.

VI. Отражение звука. Эхо. Реверберация

Услышав звук своего голоса, отраженного преградой, мы называем его *эхом*.

Эхо **– это явление восприятия наблюдателем отраженного от преград звука.**

Эхо воспринимается как отдельный звук, если он возвращается к источнику через промежуток времени, превышающий 0,1 *с*. При меньшем значении

Рис. 180. *Камертон*

Эксперимент 2

Проведите наблюдение за явлением акустического резонанса с использованием двух одинаковых камертонов *(рис. 182)*. Ударьте один из камертонов и приглушите его звук прикосновением руки. Прослушайте звучание второго камертона. Объясните наблюдаемое явление.

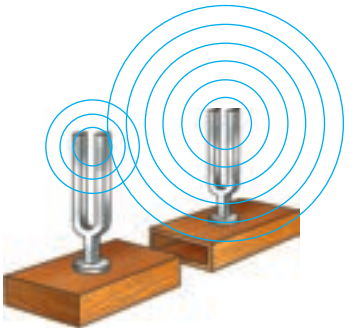


Рис. 182. *Акустический резонанс*

Рис. 183. *Скрипка Страдивари*

АРМАНПВ баспасы

интервала времени, разделяющего звуки, они воспринимаются как один продолжительный звук.

Увеличение длительности звука, вызванное его отражением от преград, называют *реверберацией*.

Звук за 0,1 *с* проходит расстояние, равное

$$s = v_{зв}t \approx 340\frac{м}{с} \cdot 0,1с = 34м\,.$$

Учтем, что он должен вернуться к источнику звука. Следовательно, расстояние от источника до преграды должно быть не менее 17 м для того, чтобы услышать эхо.

VII. Эхолокация

Явление отражения звука получило применение в эхолокации для определения местонахождения тел с помощью *ультразвука – звуковой волны с большей энергией и частотой, превышающей 20000 Гц*.

***Эхолокация* – это способ определения местонахождения тел с использованием ультразвука.**

В XX в. немецкий инженер А. Бам изобрел эхолот (гидролокатор) – прибор, измеряющий глубину водоема.

Современный эхолот состоит из ультразвукового передатчика, приемника и ЭВМ для обработки полученных данных. На *рисунке 184* изображен эхолот, который обладает такими функциями, как распознавание рыбы, отображение дна и его структуры, увеличение изображения.

Ответьте на вопросы

1. *Почему в закрытом помещении наш голос более громкий, чем на улице?*
2. *Почему в эхолотах используют ультразвук?*
3. *Почему летучие мыши даже в полной темноте не натыкаются на препятствия?*
4. *Почему в горах слышится многократное эхо?*

Контрольные вопросы

1. Что такое звуковая волна?
2. Какой диапазон механических волн является звуковым?

Запомните!

Глубину морского дна определяют по интервалу времени между передачей и приемом сигнала и значению скорости распространения звука в воде:

$$s = \frac{v_{зв}t}{2}\,.$$

Возьмите на заметку

Тембр – это окраска музыкального звука, по которому различают звуки одинаковой высоты, исполненные разными голосами или на разных музыкальных инструментах.

Кусочки науки

Изучением распространения и отражения звука в закрытых помещениях занимается раздел акустики – архитектурная акустика. В больших концертных залах для предотвращения повторного звучания стены и кресла покрывают специальными материалами, поглощающими звук.

Эксперимент 3

Выясните экспериментально, покрыты ли стены вашего спортзала материалом, поглощающим звуки. При каком условии нужно проводить эксперимент?

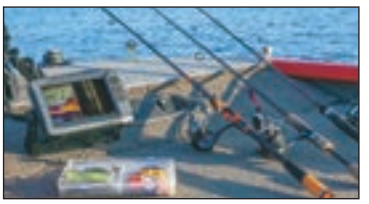


Рис. 184. *Эхолот для ловли рыбы*

АРМАНПВ баспасы

3. В каких средах волны распространяются с большей скоростью?
4. Как определяется скорость волны в твердых телах?
5. Что определяет высоту тона звука?
6. В каких единицах определяется уровень громкости звука?
7. Какое устройство создает звук одной определенной частоты?
8. Что такое акустический резонанс? Что такое эхо?

Упражнение 30

1. Длина звуковой волны в воздухе для самого низкого мужского голоса достигает 4,3 м, а для самого высокого женского голоса – 25 см. Найдите частоту колебаний этих голосов.
2. Во время грозы человек услышал гром через 15 с после вспышки молнии. Как далеко от него произошел разряд?
3. Какова глубина моря, если посланный ультразвуковой сигнал, отразившись от морского дна, возвратился через 1,2 с?

Упражнение 30д

1. Частотный диапазон рояля – от 90 Гц до 9 кГц. Найдите диапазон длин звуковых волн в воздухе.
2. Судья беговых состязаний, стоящий на линии финиша 200-метровой дорожки, пускает свой секундомер, услышав звук стартового пистолета. Температура воздуха 20 °С. Завышено или занижено зарегистрированное им время?
3. Расстояние до преграды, отражающей звук, 68 м. Через какое время человек услышит эхо?

Экспериментальное задание

Поставьте несколько пустых стеклянных бутылок в ряд, налейте в них воду, увеличивая в каждой последующей бутылке уровень налитой воды. Испытайте полученный музыкальный инструмент, ударяя по бутылкам ложкой. У какой бутылки высота тона звука будет выше? Объясните действие прибора.

Творческое задание

Подготовьте сообщение по темам (на выбор):
1. «Диапазон звуков, воспринимаемых животными».
2. «Музыкальные звуки. Тембр звука».
3. «Влияние ультразвука и инфразвука на организм человека и животных».

АРМАНПВ баспасы

§ 31. Электромагнитные волны. Шкала электромагнитных волн

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *сравнивать свойства электромагнитных и механических волн;*
- *описывать и приводить примеры применения различных диапазонов электромагнитных волн;*
- *характеризовать дисперсию света при прохождении света через стеклянную призму.*

Ответьте на вопросы

1. *Почему замкнутый колебательный контур не создает электромагнитные волны?*
2. *Почему радиус действия радиолокатора больше, чем у гидролокатора?*
3. *Почему при приеме радиопередач в период грозы появляются помехи?*

I. Открытый колебательный контур – источник электромагнитных волн

Перезарядка конденсатора колебательного контура через катушку приводит к увеличению энергии магнитного поля катушки, а затем – электрического поля конденсатора. При таких условиях волны не образуются. Раскроем контур, раздвинув пластины и выпрямив катушку *(рис. 185)*. Такой контур является открытым, в нем заряды распределены по всему проводнику и движутся с ускорением. Сила тока посередине проводника имеет максимальное значение, на концах проводника она равна нулю. Вокруг открытого контура происходит «возмущение» – изменение состояния среды. Меняются величины, характеризующие электрическое и магнитное поля. Возмущения распространяются в пространстве, создается электромагнитная волна, которая сопровождается переносом энергии. Электромагнитное поле охватывает все пространство вокруг открытого контура.

Электромагнитная волна **– это явление распространения колебаний электромагнитного поля в пространстве.**

Открытый контур является источником электромагнитной волны, его называют *передающей антенной (рис. 186)*.

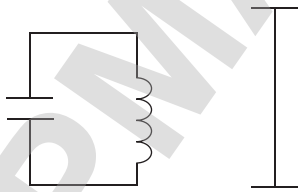


Рис. 185. *Схемы колебательных контуров: закрытого и открытого*

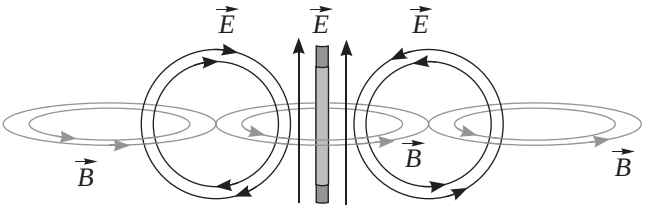


Рис. 186. *Распространение электромагнитного поля вокруг антенны*

АРМАНТВ басасы

II. Электромагнитная волна – поперечная волна

Как показали опыты Г. Герца, излучение электромагнитных волн с максимальной интенсивностью происходит в направлении, перпендикулярном оси антенны. Вектор напряженности $\vec{E}$ лежит в плоскости, проходящей через антенну, а вектор магнитной индукции $\vec{B}$ перпендикулярен этой плоскости.

Силовые линии полей расположены во взаимно перпендикулярных плоскостях. Электромагнитная волна распространяется в направлении, перпендикулярном антенне.

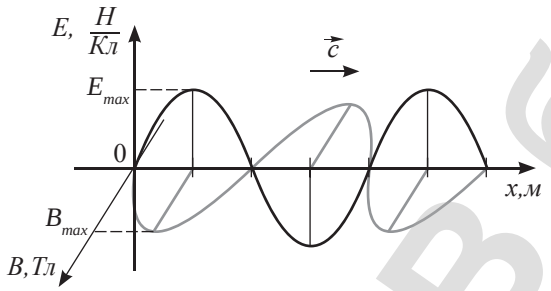


Рис. 187. *Электромагнитная волна – поперечная волна*

Электромагнитная волна является поперечной, колебание напряженности $\vec{E}$ и магнитной индукции $\vec{B}$ происходит в направлении, перпендикулярном распространению волны (рис. 187).

III. Скорость волны. Свет – электромагнитная волна

В своей теории Максвелл получил значение скорости электромагнитной волны

$$c = \frac{E}{B} = 3 \cdot 10^8 \frac{м}{с}. \qquad (1)$$

Электромагнитная волна распространяется со скоростью света.

***Свет* – это электромагнитная волна в видимом диапазоне излучений.**

Частота света имеет значение от $4 \cdot 10^{14}$ Гц до $7{,}5 \cdot 10^{14}$ Гц, что соответствует длинам волн от 400 нм до 750 нм.

Запомните!

Существование электромагнитных волн было теоретически предсказано английским физиком Дж. Максвеллом в 1864 г. Он предположил, что изменяющееся во времени электрическое поле порождает в окружающем пространстве магнитное поле, которое, в свою очередь, вызывает появление вихревого электрического поля.

Обратите внимание!

Силовые линии вихревого поля замкнутые.

Джеймс Клерк Максвелл (1831–1879) – шотландский физик. В 25-летнем возрасте стал профессором физики в колледже Маришаль в Абердине, в 1871 году – первым профессором экспериментальной физики в Кембридже. Открыл теорию электромагнетизма, которая изменила взгляды на природу света. Он считал, что свет и другие виды излучения – это электромагнитные волны.

АРМАН-ПВ базасы

Скорость электромагнитных волн в различных средах уменьшается, она зависит от показателя преломления среды:

$$v = \frac{c}{n}, \qquad (2)$$

где v – скорость электромагнитной волны в среде; c – скорость электромагнитной волны в вакууме; n – показатель преломления среды.

В отличие от механических волн электромагнитная волна может распространяться в вакууме.

IV. Дисперсия света

Свет – это видимая электромагнитная волна. Цвет света определяется частотой его колебаний. При переходе из одной среды в другую изменяются скорость света (формула 2) и длина волны, а частота, определяющая цвет, остается постоянной. Луч красного цвета в призме преломляется меньше из-за того, что красный свет имеет наибольшую скорость в веществе. Сильнее всего преломляется луч фиолетового цвета, так как скорость фиолетового света наименьшая.

Дисперсией света называют зависимость показателя преломления вещества от частоты света.

Появление радуги объясняется дисперсией и полным внутренним отражением в каплях после дождя. Благодаря дисперсии света, можно наблюдать цветную «игру света» на гранях бриллианта и на других прозрачных граненых предметах или материалах.

Эксперимент

Направьте на стеклянную призму луч от проекционного аппарата *(рис. 188)*. Рассмотрите на стене радужную картину, расположение цветных полос относительно друг друга. Какой из цветов преломляется сильнее? Наблюдаемое вами явление называют дисперсией. Впервые этот опыт провел И. Ньютон.

Рис. 188. *Наблюдение разложения света на составляющие при прохождении через призму*

Интересно знать!

Все цвета, которые способен воспринимать человеческий глаз, можно получить смешиванием всего лишь трех основных цветов: красного, зеленого и синего.

V. Шкала электромагнитных волн

На *рисунке 189* представлена шкала электромагнитных волн. В зависимости от свойств и практического применения электромагнитные волны изучают в различных разделах физики: низкочастотные колебания в электротехнике, радиоволны

Ответьте на вопросы

1. *Почему животные и человек видят окружающие предметы в различной цветовой гамме?*
2. *Почему в ряде стран дальтоникам не выдают водительские права?*
3. *Совпадают ли фокусы линзы для красных и синих лучей?*

АРМАНПБ басты

в радиотехнике, видимое излучение в оптике, инфракрасное излучение в тепловых явлениях, ультрафиолетовое и рентгеновское излучение в атомной физике, α-, β- и γ-излучения – в ядерной физике.

У всех видов волн есть общие свойства: они распространяются со скоростью света, созданы ускоренным движением заряженных частиц, могут распространяться в вакууме.

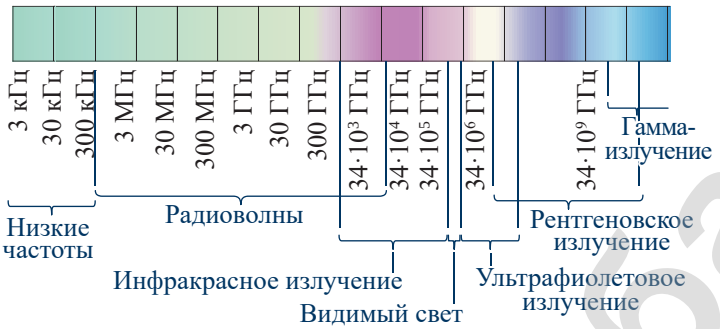


Рис. 189. *Шкала электромагнитных излучений*

Таблица 15.
Международные стандарты частот радиоволн

Очень низкие частоты, ОНЧ	3–30 кГц
Низкие Частоты, НЧ	30–300 кГц
Средние Частоты, СЧ	300–3000 кГц
Высокие Частоты, ВЧ	3–30 МГц
Очень высокие частоты, ОВЧ	30–300 МГц
Ультравысокие частоты, УВЧ	300–3000 МГц
Сверхвысокие частоты, СВЧ	3–30 ГГц
Крайне высокие частоты, КВЧ	30–300 ГГц
Гипервысокие частоты, ГВЧ	300–3000 ГГц

VI. Радиосвязь

Рассмотрим, как осуществляется радиосвязь и радиолокация. Радиосвязь основана на явлении резонанса. В радиопередатчике звуковой сигнал преобразуется в электрический. Электромагнитные волны, созданные передающей антенной, распространяются в направлении, перпендикулярном антенне *(рис. 190)*. Встречая на пути проводник, они возбуждают в нем токи с частотой передающей антенны. Ток в принимающей антенне достигает максимального значения в режиме резонанса, когда собственная частота ее колебаний равна частоте колебаний передающей антенны. Сигнал от антенны передается в радиоприемник, в котором он преобразуется в звуковую волну.

Длину волны, на которой работает радиопередатчик, определяют по формулам:

$$\lambda = c \cdot T \text{ или } \lambda = \frac{c}{\nu},$$

где T – период колебаний передающей антенны, ν – частота колебаний передающей антенны.

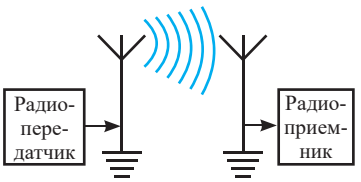


Рис. 190. *Принципиальная схема радиосвязи*

АРМАНПВ базасы

Антенны, принимающие электромагнитные волны от различных источников, имеют сложную конструкцию *(рис. 191)*. Длина антенны равна половине длины волны, соответствующей частоте переданного сигнала.

Антенну для приема сигналов из космоса называют *радиотелескопом (рис. 192)*.

Рис. 191. *Принимающая антенна кабельного телевидения*

VII. Радиолокация

В основе радиолокации лежит явление отражения радиоволн от препятствий аналогичное отражению звуковых волн.

Радиолокация **– это способ определения местонахождения тел с использованием радиоволн.**

Рис. 192. *Тянь-Шанская астрономическая обсерватория близ г. Алматы*

Преимущество радиолокации в сравнении с эхолокацией заключается в том, что скорость распространения радиоволн значительно больше скорости звука. Радиолокация позволяет обнаружить объекты на больших расстояниях. При посылке короткого сигнала, длящегося 1–2 мкс, происходит его фиксация на экране осциллографа *(рис. 193)*. После отражения от препятствия сигнал возвращается, принимается радиолокатором, усиливается и передается на осциллограф. Время между моментом отправления сигнала и моментом его приема определяют по расстоянию между двумя всплесками на экране осциллографа. Расстояние до объекта рассчитывают по формуле:

$$s = \frac{ct}{2}.$$

Шкала на осциллографе может быть проградуирована непосредственно в километрах.

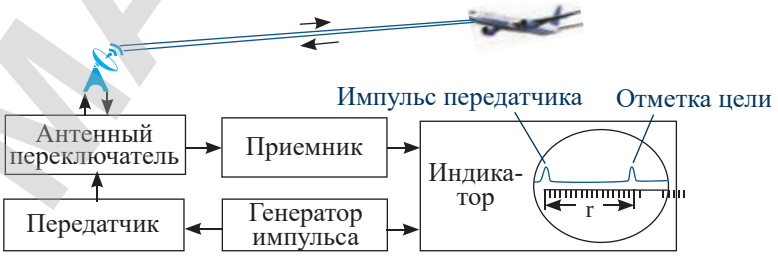


Рис. 193. *Определение расстояния до объекта по интервалу между переданным и принятым радиолокатором сигналом*

АРМАН-ПВ басылы

Контрольные вопросы

1. Что называют электромагнитной волной?
2. Что представляет собой открытый колебательный контур?
3. К какому виду волн относится электромагнитная волна?
4. С какой скоростью распространяется электромагнитная волна?
5. Каков принцип осуществления радиосвязи?
6. Чем радиолокация отличается от эхолокации?

Упражнение 31

1. На каком расстоянии от антенны радиолокатора находится объект, если отраженный от него радиосигнал возвратился обратно через 200 мкс?
2. В каком диапазоне длины волны может работать приемник, если емкость конденсатора в его колебательном контуре плавно изменяется от 50 до 500 пФ, а индуктивность катушки постоянна и равна 2 мкГн?

Упражнение 31д

1. На какой частоте работает радиостанция, которая передает сигналы на волне 250 м?
2. Колебательный контур состоит из конденсатора емкостью 0,4 мкФ и катушки с индуктивностью 1 мГн. Определите длину волны, испускаемой этим контуром.

Творческое задание

Подготовьте сообщение по темам (на выбор):

1. «Первый сотовый телефон».
2. «Связь с подводными лодками».
3. «Цвета предметов».

АРМАНПВ баспасы

Итоги главы 5

Период колебаний колебательных систем	Собственная частота	Циклическая частота
$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ $T = 2\pi\sqrt{LC}$	$\nu_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$ $\nu_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}$ $\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$ $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$
Формулы расчета максимальной скорости	**Условие резонанса**	**Закон сохранения для колебательных систем**
$\upsilon_{\max} = \sqrt{\frac{k}{m}} \cdot A$ $\upsilon_{\max} = \omega \cdot A$ $\upsilon_{\max} = \sqrt{2gh_{\max}}$	$\nu_{внеш} = \nu_0$ $\omega_{внеш} = \omega_0$	$\frac{m\upsilon^2}{2} + mgh = const$ $\frac{kx^2}{2} + \frac{m\upsilon^2}{2} = const$ $E = E_k + E_p = const$
Формулы расчета длины волны	**Формулы расчета скорости волны**	**Формулы расчета расстояния до преграды**
$\lambda = \upsilon \cdot T$ $\lambda = c \cdot T$ $\lambda = \frac{c}{\nu}$	$\upsilon = \frac{l}{t}$ $\upsilon = \frac{\lambda}{T}$ $\upsilon = \lambda \cdot \nu$ $\upsilon = \frac{c}{n}$	$s = \frac{\upsilon_{зв} t}{2}$ $s = \frac{ct}{2}$

Глоссарий

Акустический резонанс – это усиление амплитуды колебаний тела при совпадении его собственной частоты с частотой звуковой волны.

Амплитуда – это максимальное смещение тела от положения равновесия.

Вынужденные колебания – это колебания, происходящие под действием внешней периодически изменяющейся силы.

Гармонические колебания – это колебания, которые происходят по закону синуса или косинуса.

Длина волны – это величина, равная расстоянию между двумя ближайшими частицами волны, совершающими одинаковые колебания.

АРМАН-ПВ базасы

Затухающие колебания – это колебания, амплитуда которых со временем уменьшается.

Звук – это распространяющиеся в упругих средах механические волны, воспринимаемые органами слуха.

Колебательная система – это система тел, способная совершать свободные колебания.

Колебательное движение – это движение, периодически повторяющееся во времени.

Колебательный контур – это колебательная система, состоящая из катушки и конденсатора, соединенных между собой.

Механическая волна – это явление распространения колебательного движения в упругой среде.

Период – это время, за которое совершается одно полное колебание системы.

Положение равновесия – это устойчивое состояние колебательной системы.

Поперечная волна – это волна, в которой колебание частиц среды происходит перпендикулярно направлению ее распространения.

Продольная волна – это волна, в которой колебание частиц среды происходит по направлению ее распространения.

Радиолокация – это способ определения местонахождения тел с использованием радиоволн.

Реверберация – это увеличение длительности звука, вызванное его отражением от преград.

Резонанс – это явление увеличения амплитуды вынужденных колебаний при совпадении частоты внешней силы с собственной частотой колебательного контура.

Свободные колебания – это колебания, происходящие без воздействия внешней силы, благодаря первоначально сообщенной энергии.

Смещение – это отклонение тела от положения равновесия.

Частота – это количество колебаний, совершенных системой за единицу времени.

Электромагнитная волна – это явление распространения энергий электрического и магнитного полей в пространстве.

Электромагнитные колебания – это периодическое изменение заряда, силы тока и напряжения в цепи.

Эхо – это явление восприятия наблюдателем отраженного от преград звука.

Эхолокация – это способ определения местонахождения тел с использованием ультразвука.

АРМАН-ПВ баспасы

Глава 6

СТРОЕНИЕ АТОМА, АТОМНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Электромагнитные волны создаются в результате ускоренного движения заряженных частиц в открытом колебательном контуре. Максвелл создал теорию электромагнитных волн.
В конце XIX – начале XX века, изучая тепловое излучение нагретых тел, физики обнаружили, что закономерности теории Максвелла не выполняются.
Инфракрасное, видимое, ультрафиолетовое излучение представляет собой электромагнитные волны, которые излучают нагретые тела.
В этой главе мы выясним, каким образом физикам удалось решить создавшуюся проблему. Познакомимся с основными положениями квантовой теории и явлениями, происходящими в атоме.

Изучив главу, вы сможете:

- описывать зависимость энергии теплового излучения от температуры;
- применять формулу Планка для решения задач;
- описывать явление фотоэффекта и приводить примеры применения фотоэффекта в технике;
- применять формулу Эйнштейна для фотоэффекта при решении задач;
- сравнивать рентгеновское излучение с другими видами электромагнитного излучения;
- приводить примеры применения рентгеновского излучения;
- объяснять природу и свойства α-, β- и γ-излучения;
- описывать опыт Резерфорда по рассеянию альфа-частиц.

АРМАНПВ баспасы

§ 32. Тепловое излучение

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *описывать зависимость энергии теплового излучения от температуры.*

Ответьте на вопросы

1. *Почему в летний жаркий день люди носят светлую одежду?*
2. *Почему спираль камина, нагреваясь, меняет цвет?*
3. *О чем говорит фраза: «накалить металл добела»?*

I. Тепловое излучение

Для того чтобы вещество начало излучать, ему нужно передать энергию. Получив энергию, атомы вещества начинают двигаться быстрее, температура тела возрастает.

При столкновении атомы передают часть своей энергии электронам, скорость вращения электронов по орбитам увеличивается, электроны удаляются от ядра. В таком состоянии атом возбужден и способен излучать. Источником теплового излучения являются все нагретые тела.

Тепловое излучение – это излучение нагретых тел.

II. Абсолютно черное тело

Нам известно, что способность излучать и поглощать у темных поверхностей выше, чем у светлых. Вспаханная черная земля прогревается сильнее, чем земля, покрытая травой. Это происходит благодаря тому, что диапазон частот излучения и поглощения для темных тел шире. Если излучение или поглощение энергии происходит во всем диапазоне частот тепловых волн, то тело называют *абсолютно черным*. Моделью абсолютно черного тела может быть непрозрачное тело с малым отверстием, внутренние стенки которого покрыты сажей *(рис. 194)*.

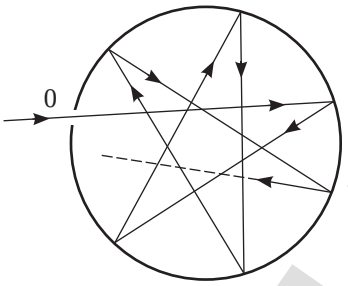


Рис. 194. *Модель абсолютно черного тела*

Ответьте на вопросы

1. *Почему Солнце можно считать абсолютно черным телом?*
2. *Можно ли все звезды отнести к абсолютно черным телам?*
3. *Почему звезды разного цвета?*
4. *Почему Солнце желтого цвета?*
5. *Почему солнечный свет разлагается на все цвета спектра?*

Абсолютно черное тело **– это тело, которое излучает и поглощает во всем диапазоне частот тепловых волн.**

Солнце можно считать абсолютно черным телом, так как его спектр излучения сплошной.

Интересно знать!

Абсолютно черное тело – термин, которым в теории теплового излучения называют тело, полностью поглощающее весь падающий на него поток излучения, независимо от длины волны.

АРХИВНАЯ ВЕРСИЯ

На *рисунке 195* представлены графики зависимости мощности излучения абсолютно черного тела от длины волны при разных значениях температуры. График зависимости указанных величин получен экспериментально с использованием модели абсолютно черного тела.

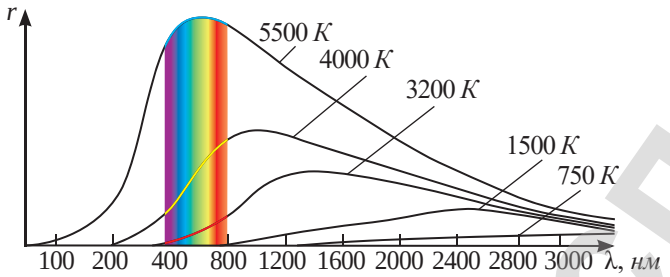


Рис. 195. *Графики зависимости мощности излучения от длины волны при различных значениях температуры*

III. Зависимость излучения нагретых тел от температуры

Излучения тел, нагретых до разных температур, отличаются друг от друга.

Раскаленный добела металл имеет более высокую температуру, чем металл, нагретый докрасна. Излучение нити накала лампы способно осветить комнату, излучение камина лишь нагреть ее.

С увеличением температуры тела энергия излучения возрастает, цвет излучения постепенно меняется от темно-красного до ярко-белого. На *рисунке 195* наблюдается смещение максимума излучения при увеличении температуры абсолютно черного тела в сторону фиолетовых волн.

IV. Закон Стефана – Больцмана

Зависимость энергии излучения от температуры была экспериментально определена австрийским ученым Йозефом Стефаном в 1879 г. Теоретически такую же зависимость получил его соотечественник Людвиг Больцман в 1884 г.:

$$R = \sigma \cdot T^4,$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \dfrac{Вт}{м^2 K^4}$ – постоянная Стефана – Больцмана;

T – температура тела по шкале Кельвина;

R – энергия излучения 1 м^2 поверхности нагретого тела за 1 секунду во всем диапазоне частот.

Закон Стефана – Больцмана лежит в основе действия *пирометра – прибора для определения температуры удаленных или сильно разогретых тел*.

Задание 1

Объясните, почему полое тело с малым отверстием может быть моделью абсолютно черного тела. Как с помощью модели получить результаты для построения графика зависимости мощности излучения от длины излучаемой волны?

АРМАН-ПВ баспасы

По энергии излучения, поглощенной пирометром, можно определить температуру звезд, кипящей стали, труднодоступных участков сети высокого напряжения, пламени огня, поверхности любых тел. Пирометр дает на экране числовое значение температуры *(рис. 196)*.

Установлено, что температура на поверхности красных звезд составляет порядка 3500 К, желтых – 6000 К, голубых – около 25000 К. Солнце – желтая звезда, максимум его излучения приходится на диапазон желтых и зеленых лучей.

На законе Стефана – Больцмана основан принцип действия тепловизора, так же как и пирометра. На экран тепловизора выводится изображение исследуемого тела или объекта. Мощность излучения участков с высокой температурой больше, на экране прибора они красного цвета, участки с наименьшей мощностью излучения – фиолетового цвета *(рис. 197)*. Тепловизоры получили широкое применение в предприятиях энергоснабжения, медицине, военном деле, строительстве, в исследовательских лабораториях.

Рис. 196. *Определение температуры воздуха пирометром, t = 30,8 °C*

Рис. 197. *Исследование тепловых потерь жилого дома с использованием тепловизора*

V. Трудности в объяснении явления теплового излучения

Попытки ученых объяснить тепловое излучение с использованием теории Максвелла, которая в точности описывает излучение радиоволн, оказались несостоятельными. Электродинамика Максвелла приводила к выводу, согласно которому нагретое тело, непрерывно излучая энергию в результате ускоренного движения электронов вокруг ядра, должно охладиться до абсолютного нуля. Повседневный опыт показывает, что ничего подобного не происходит. Тела, охлаждаясь, приходят в тепловое равновесие с окружающей средой.

Ученые не могли объяснить и наблюдаемое на опытах распределение энергии в спектре

Интересно знать!

На казахстанско-турецком оборонном заводе *«Kazakhstan Aselsan Engineering»* с 2014 г. выпускают приборы и прицелы ночного видения, тепловизионные прицелы *(рис. 198)*.

Рис. 198. *Оптический прибор производства «Kazakhstan Aselsan Engineering»*

АРМАН-ПВ баспасы

теплового излучения. На *рисунке 199* представлен график 2, полученный экспериментально и соответствующий распределению энергии по длинам волн излучения нагретого тела. Согласно теории Максвелла, при уменьшении длины волны излучения (увеличении частоты) энергия должна возрастать. Этой зависимости соответствует график 1 на том же рисунке. Сложившуюся ситуацию ученые назвали «ультрафиолетовой катастрофой», так как результаты эксперимента расходились с теорией Максвелла в диапазоне ультрафиолетового излучения.

Задание 2

Приведите примеры использования тепловизоров и пирометров. Почему они не получили широкого применения в быту?

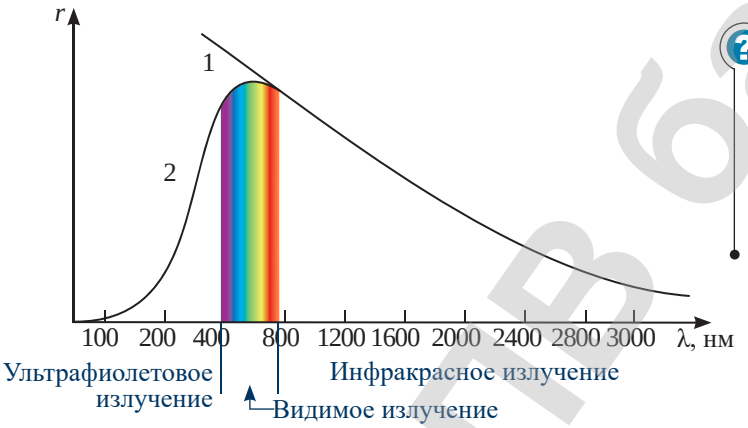


Рис. 199. *Графики зависимости мощности излучения от длины волны. График 1 построен в соответствии с теорией Максвелла, график 2 – по результатам эксперимента*

Ответьте на вопрос

Почему расхождение в зависимости мощности излучения от длины волны (частоты) физики назвали «ультрафиолетовой катастрофой»?

Противоречия теории с экспериментом создали условия для зарождения в физике новой *квантовой теории*.

Задание 3

Постройте качественный график зависимости мощности излучения от частоты.

Контрольные вопросы

1. Какое излучение называют тепловым?
2. Какое тело называют абсолютно черным?
3. Что выражает закон Стефана – Больцмана?
4. Для чего служит пирометр? Тепловизор?
5. В чем заключается противоречие экспериментов по исследованию теплового излучения с теорией электромагнитных волн Максвелла?

АРМАН-ПВ баспасы

Упражнение 32

1. Во сколько раз возрастет мощность излучения абсолютно черного тела при увеличении его температуры в 3 раза?
2. Определите мощность излучения единичной площади стальной пластины, разогретой до температуры 727 °С.
3. Определите мощность излучения единичной площади поверхности Солнца. Температуру поверхности примите равной 6000 К.

Упражнение 32д

1. Во сколько раз излучение металла, нагретого до 2000 К больше, чем до 727 °С?
2. Во сколько раз необходимо увеличить температуру вольфрамовой спирали лампы, чтобы ее излучение стало ярче в 16 раз.
3. Какой мощности было бы излучение единичной площади поверхности Солнца, если бы оно было красной звездой с температурой поверхности 3000 К? Как это повлияло бы на климат нашей планеты?

Экспериментальное задание

1. Налейте равное количество воды в светлый и темный сосуд. Поставьте их под солнечные лучи. В каком из сосудов температура воды станет выше через равный промежуток времени?
2. Налейте в сосуды горячую воду одной и той же температуры. В каком из сосудов вода охладится быстрее? Сделайте выводы.

Творческое задание

Подготовьте сообщение по темам (на выбор):

1. «Устройство и принцип действия пирометра и тепловизора».
2. «Свойства инфракрасного излучения и его применение».
3. «Основные свойства ультрафиолетового излучения и его применение».

АРМАНПВ баспасы

§ 33. Гипотеза Планка о световых квантах. Явление фотоэффекта

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *применять формулу Планка для решения задач;*
- *описывать явление фотоэффекта и приводить примеры применения фотоэффекта в технике;*
- *применять формулу Эйнштейна для фотоэффекта при решении задач.*

Ответьте на вопросы

1. *Как включаются и отключаются уличные фонари?*
2. *Как считывается цена товара по штрих-коду?*
3. *Как работает устройство для автоматического пропуска пассажиров на станции метро?*
4. *Как определяется объем выполненной работы на конвейерных линиях предприятий?*

Запомните!

Постоянная Планка
$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ *Дж · с* .

Ответьте на вопрос

Почему фотон не обладает массой покоя?

I. Гипотеза Планка

В поисках решения противоречий между теорией и опытом немецкий физик М. Планк предположил, что *излучение нагретых тел происходит отдельными порциями – квантами* (от лат. *quantum* – «порция»).

Энергия кванта прямо пропорциональна частоте излучения:

$$E = h\nu,$$

где E – энергия кванта; h – постоянная Планка; ν – частота излучения.

Опытным путем по энергии излучения, соответствующей определенной частоте, рассчитан коэффициент пропорциональности h, он оказался равным $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ *Дж · с* .

Частицу, обладающую энергией одного кванта, назвали *фотоном.*

***Фотон* – элементарная частица электромагнитного излучения, или квант энергии.**

Фотон не обладает массой покоя.

II. Фотоэффект, открытие явления фотоэффекта

Подтверждением существования фотонов с определенной порцией энергии стало явление фотоэффекта.

***Фотоэффект* – это явление вырывания электронов из вещества под действием электромагнитного излучения.**

Впервые это явление в 1887 г. наблюдал немецкий ученый Г. Герц. Пытаясь обнаружить электромагнитные волны, предсказанные Д. Максвеллом, он провел опыт с передающей

АРМАН-ПВ баспасы

и принимающей антеннами *(рис. 200)*. Для улучшения приема сигнала он использовал различные методы, в том числе освещение шариков принимающей антенны ультрафиолетовыми лучами.

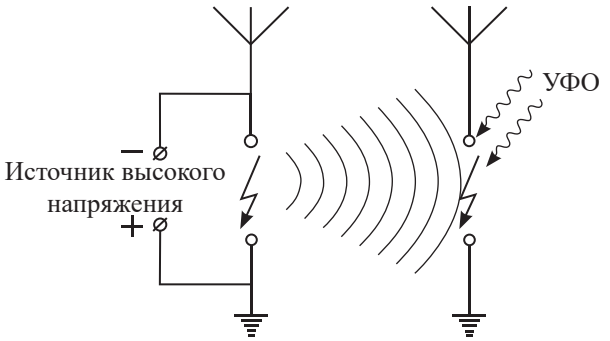


Рис. 200. *Схема опыта Герца*

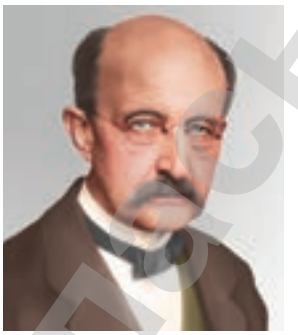
Искра в принимающей антенне при освещении становилась более интенсивной, что свидетельствовало об увеличении числа заряженных частиц в искре.

В результате проведенного опыта Г. Герц доказал верность суждений Д. Максвелла, обнаружив неизвестное ранее физикам явление. Более тщательным исследованием фотоэффекта занимался русский физик А.Г. Столетов в период с 1888 по 1890 гг.

III. Исследование фотоэффекта А. Г. Столетовым

На *рисунке 201* представлена одна из установок А.Г. Столетова по изучению явления фотоэффекта. Искра дугового разряда освещала цинковую пластину, соединенную с металлической сеткой через источник тока и гальванометр. Анализируя результаты проведенных опытов, ученый пришел к следующим выводам:

1. Под действием излучения с поверхности цинка вылетают отрицательные частицы – электроны.
2. Явление фотоэффекта происходит под воздействием излучения только высокой частоты.



Планк Макс (1858–1947) – немецкий физик-теоретик. Приобрел известность после объяснения в 1900 г. спектра «абсолютно черного тела». Заложил основу развития квантовой физики. В 1918 г. М. Планк за свою теорию был удостоен Нобелевской премии по физике.

Задание 1

Рассмотрите *рисунок 200*. Укажите основную цель постановки опыта. Почему приемная и передающая антенны одинаковые? Почему появление искры между шариками принимающей антенны стало доказательством верности теории Максвелла? Какое явление было обнаружено Герцем в проведенном опыте?

Задание 2

Рассмотрите схему опыта А.Г. Столетова на *рисунке 201*. Объясните, по каким результатам эксперимента ученый сформулировал основные выводы.

АРМАН-ПВ базы пробы

3. При увеличении частоты излучения скорость фотоэлектронов возрастает.
4. Число вырванных с поверхности вещества электронов прямо пропорционально зависит от интенсивности излучателя.

Установить количественное соотношение между величинами А.Г. Столетову не удалось.

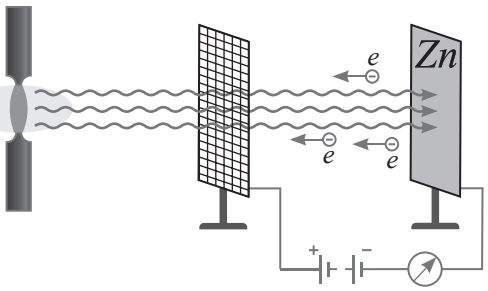


Рис. 201. *Схема установки Столетова по изучению явления фотоэффекта*

IV. Формула Эйнштейна для фотоэффекта

На основании закона сохранения энергии, который является фундаментальным и применим ко всем явлениям природы, **А. Эйнштейн** в 1905 г. объяснил явление фотоэффекта. Электроны атомов, расположенные у поверхности вещества, поглощают энергию фотонов. Увеличение энергии позволяет электрону преодолеть силу притяжения ядра, покинуть вещество, и, обладая запасом кинетической энергии, свободно двигаться в пространстве:

$$E_ф = A_{вых} + E_к, \qquad (1)$$

где $E_ф$ – энергия фотона, определяется формулой Планка:

$$E_ф = h\nu \qquad (2)$$

или

$$E_ф = \frac{hc}{\lambda} \qquad (3)$$

$A_{вых}$ – работа выхода или энергия, необходимая для ионизации атома;

$E_к$ – максимальное значение кинетической энергии электрона:

$$E_k = \frac{m\upsilon^2}{2}. \qquad (4)$$

Ответьте на вопросы

1. *Почему при увеличении числа фотонов, падающих на поверхность металлической пластины, фототок возрастает?*
2. *Почему под воздействием видимого излучения фотоэффект не наблюдается?*

Задание 3

На основе формул (1) и (5) запишите шесть различных формул для фотоэффекта. Почему уравнение Эйнштейна имеет несколько видов записи? От чего это зависит?

Запомните!

1 эВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Задание 4

Составьте алгоритм решения задач с использованием уравнения Эйнштейна для фотоэффекта.

Ответьте на вопрос

Почему фотоэффект с поверхности металлов получил широкое применение?

АРМАНПВ басасы

Прекращение фототока при обратной полярности подключения источника тока позволяет определить кинетическую энергию:

$$\frac{m\upsilon^2}{2} = eU_з, \qquad (5)$$

где $eU_з = A$ – работа электрического поля по остановке электронов, $U_з$ – запирающее напряжение.

Для измерения энергии фотона и фотоэлектрона, а также работы выхода используют внесистемную единицу электрон-вольт *1 эВ*.

Количество электронов, вырванных с поверхности вещества, определяется числом фотонов, падающих на эту поверхность.

V. Красная граница фотоэффекта

Фотоэффект наблюдается только в том случае, если энергии фотона достаточно для преодоления электроном силы притяжения ядра: $h\nu \geq A_{вых}$.

Минимальную частоту, при которой возможен фотоэффект, называют *красной границей фотоэффекта*.

$$\nu_{\min} = \frac{A_{вых}}{h}.$$

Частота и длина волны связаны соотношением: $\nu_{\min} = \frac{c}{\lambda_{\max}}$.

Максимальную длину волны, при которой происходит фотоэффект, также называют красной границей фотоэффекта.

Работа выхода зависит от рода вещества, красная граница для разных веществ различна. В таблице 2 приложения даны значения работы выхода для некоторых химических элементов.

При известном значении красной границы фотоэффекта работу выхода определяют по формулам: $A_{вых} = h\nu_{\min}$ или $A_{вых} = \frac{hc}{\lambda_{\max}}$.

VI. Применение фотоэффекта

Явление фотоэффекта получило широкое применение в автоматизации производства, благодаря изобретению фотоэлемента *(рис. 202)*.

***Фотоэлемент* – это устройство, в котором под действием падающего на него света возникает электрический ток.**

Вакуумный фотоэлемент представляет собой колбу с выкачанным воздухом *(рис. 203)*. Внутрь колбы впаиваются два электрода: электрод (3) может быть тонким слоем напыленного на колбу металла, электрод (1) представляет собой петлю или стержень. Концы электродов устанавливаются в цоколе фотоэлемента (4). Принцип действия прибора аналогичен действию изученной ранее установки А.Г. Столетова *(рис. 201)*. Через прозрачное окошко свет падает на слой

АРМАНПВ басылы

металла *(рис. 203)*, в цепи появляется ток, который регистрируется гальванометром (2). Фотоэлементы используют для включения и выключения уличного освещения, автоматического открывания ворот, шлагбаумов, для остановки мощных прессов при аварийной ситуации. Благодаря явлению фотоэффекта стала возможной передача изображения на расстояние, появилось телевидение.

Рис. 202. *Фотоэлемент*

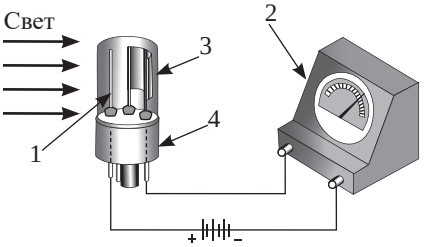


Рис. 203. *Устройство вакуумного фотоэлемента*

Рис. 204. *Оптический датчик ТОО «KAZPROM AVTOMATIKA»*

Задание 5

Приведите примеры использования оптических датчиков. Выясните назначение оптических датчиков производства ТОО г. Караганды *(рис. 204)*.

Интересно знать!

Фотоэлементы используются в астрокомпасе – автоматическом приборе, служащем для ориентации по Солнцу и звездам. Такие приборы заменяют магнитные компасы в полярной авиации и применяются в космических аппаратах.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Красная граница фотоэффекта для вольфрама – 275 нм. Определите максимальную кинетическую энергию электронов, вырываемых из вольфрама светом с длиной волны 175 нм. Постоянная Планка $6{,}626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, скорость света в вакууме $3 \cdot 10^{8}$ м/с. Ответ представьте в электрон-вольтах.

Дано:	**SI**	**Решение:**
$\lambda_{max} = 275$ нм	$275 \cdot 10^{-9}$ м	Запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:
$\lambda = 175$ нм	$175 \cdot 10^{-9}$ м	$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_{max}} + E_k$;
$h = 6{,}626 \cdot 10^{-34}$ *Дж · с*		$E_k = hc\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{max}}\right) = \frac{hc(\lambda_{max} - \lambda)}{\lambda \cdot \lambda_{max}}$.
$c = 3 \cdot 10^{8}$ м/с		
E_k – ?		

Вычислим значение E_k:

$$E_k = \frac{6{,}626 \cdot 10^{-34}\,Дж \cdot с \cdot 3 \cdot 10^{8}\,\frac{м}{с}(275 - 175) \cdot 10^{-9}\,м}{275 \cdot 175 \cdot 10^{-18}} = 4{,}13 \cdot 10^{-19}\,Дж = 2{,}58\,эВ$$

Ответ: $E_k = 2{,}58$ *эВ*.

АРМАНПВ басылы

Контрольные вопросы

1. В чем заключалась гипотеза М. Планка?
2. Что такое фотон?
3. Какое явление называют фотоэффектом?
4. Кто впервые обнаружил фотоэффект?
5. Какие закономерности в явлении фотоэффекта обнаружил А.Г. Столетов?
6. Как А. Эйнштейн объяснил явление фотоэффекта?
7. Что такое фотоэлемент, где он применяется?

Упражнение 33

1. Чему равна энергия фотона красного света, имеющего в вакууме длину волны 0,72 мкм?
2. Длина волны, соответствующая красной границе фотоэффекта, для натрия составляет 530 нм. Определите работу выхода электронов для натрия. Ответ представьте в эВ.
3. Определите максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов, вылетающих из калия при его освещении лучами с длиной волны 345 нм. Работа выхода электронов из калия равна 2,26 эВ.

Упражнение 33д

1. Работа выхода электронов из золота равна 4,76 эВ. Определите красную границу фотоэффекта для золота.
2. Фотон выбивает с поверхности металла с работой выхода 2 эВ электрон с энергией 2 эВ. Какова минимальная энергия такого фотона?
3. Наибольшая длина волны света, при которой еще может наблюдаться фотоэффект на калии, равна 450 нм. Определите скорость электронов, выбитых из калия светом с длиной волны 300 нм.
4. При фотоэффекте с платиновой поверхности электроны полностью задерживаются разностью потенциалов 0,8 В. Определите длину волны применяемого излучения и предельную длину волны, при которой еще возможен фотоэффект.

Творческое задание

Подготовьте сообщение по темам (на выбор):

1. «Автоматизация производства с использованием фотоэлементов».
2. «Принцип действия прибора ночного видения».
3. «Компания «KAZPROM AVTOMATIKA» и автоматизации технологических процессов».

АРМАН-ПВ баспасы

§ 34. Рентгеновское излучение

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *сравнивать рентгеновское излучение с другими видами электромагнитного излучения;*
- *приводить примеры применения рентгеновского излучения.*

I. Открытие рентгеновских лучей

В конце XIX века проблема излучения и поглощения тепловых лучей привлекала многих физиков. Они исследовали излучение не только абсолютно черных тел, их внимание привлекал газовый разряд при малых давлениях.

В газоразрядной трубке с разреженным газом разогретый катод при высоком напряжении испускал катодные лучи, под воздействием которых газ в трубке светился.

Проводя эксперимент, В. Рентген в 1895 г. обнаружил, что расположенный вблизи трубки экран, покрытый синеродистым барием, начинал излучать свет. Подставив кисть руки под лучи, падающие на экран, он увидел на экране изображение кисти с явно различимыми костями *(рис. 205)*.

Это излучение появлялось в той части трубки, в которой катодные лучи сталкивались со стенкой стеклянной трубки. В этом месте стекло светилось зеленоватым оттенком. В. Рентген назвал это излучение «икс-лучами». Позже в честь ученого «икс-лучи» были названы «рентгеновскими».

Ответьте на вопросы

1. *Почему, несмотря на вредное действие рентгеновского излучения, его широко используют в медицине?*
2. *В чем различие флюорографии от рентгена?*

Рис. 205. *Изображение кисти руки на рентгеновском снимке*

II. Свойства рентгеновских лучей

Исследование учеными свойств рентгеновских лучей привело к следующим выводам:

1. Лучи обладают высокой проникающей способностью, легко проникают через алюминиевую пластину толщиной 10 см.
2. Рентгеновские лучи не отклоняются магнитным полем.
3. Лучи обладают химической активностью, фотопленка под воздействием лучей чернеет, даже если закрыта черной бумагой.
4. Лучи не расходятся от источника сферически, они имеют определенное направление.

АРИАН-ТВ бастасы

Изучив свойства рентгеновских лучей, физики пришли к выводу, что они представляют собой электромагнитные волны, частота которых превышает частоту ультрафиолетового излучения.

III. Природа рентгеновских лучей, частота рентгеновского излучения

Рентгеновские лучи возникают по двум причинам. Одна из них – это торможение быстрых электронов препятствием. В этом случае излучение называют *тормозным рентгеновским излучением*. Вторая причина заключается в том, что быстрые электроны при торможении металлической поверхностью выбивают электроны у атомов, расположенных на поверхности металла. В результате перехода других электронов на освободившиеся места атомы металла излучают энергию. Излучение зависит от свойств металла, его называют *характеристическим рентгеновским излучением (рис. 206)*.

Определим на основе закона сохранения энергии частоту тормозного рентгеновского излучения.

Ускоряющее напряжение на электродах газоразрядной трубки совершает работу по перемещению электрона:

$$A = eU .$$

Кинетическая энергия электрона возрастает и достигает значения:

$$\frac{m_e \upsilon^2}{2} = eU .$$

При резком торможении практически вся энергия превращается в энергию излучения:

$$\frac{m_e \upsilon^2}{2} = h\nu .$$

Таким образом, частота излучения определяется напряжением между катодом и анодом трубки:

$$\nu = \frac{eU}{h},$$

Вильгельм Конрад Рентген (1845–1923) – выдающийся немецкий физик. В 1885–1900 гг., работая профессором Вюрцбургского университета, открыл лучи, ныне носящие его имя. Эксперименты и исследования с использованием рентгеновских лучей помогли получить новые сведения о строении вещества, которые вместе с другими открытиями того времени заставили пересмотреть целый ряд положений классической физики. В. Рентген в 1901 г. стал первым в истории физики лауреатом Нобелевской премии.

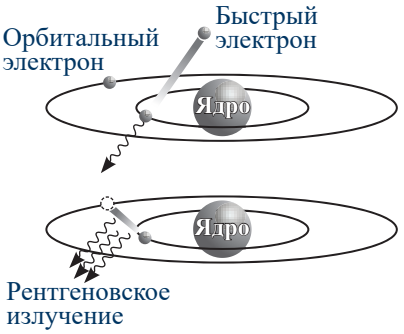


Рис. 206. *Характеристическое рентгеновское излучение зависит от строения атома*

АРМАН-ПВ базалары

где e – заряд электрона;

U – напряжение между катодом и анодом;

h – постоянная Планка.

Частота рентгеновского излучения составляет порядка 10^{17}–10^{20} Гц. *Чем выше частота излучения, тем лучи более «жесткие».*

В расчетах частоты рентгеновского излучения была использована формула Планка для энергии фотона. При поглощении и излучении рентгеновское излучение рассматривают как поток частиц.

IV. Рентгеновская трубка

Рентгеновская трубка представляет собой вакуумный стеклянный баллон, в который впаяны металлические электроды: катод К – для получения электронов и анод А – для их торможения *(рис. 207)*. Катод рентгеновской трубки нагревают до высокой температуры, электроны, получив энергию, вылетают с поверхности катода. Для ускорения электронов к электродам подводится высокое напряжение. Рентгеновское излучение возникает при торможении ускоренных электронов на аноде, изготовленном из тяжелого металла, к примеру, вольфрама. Анод рентгеновской трубки обращен к катоду скошенным торцом, чтобы выходящее рентгеновское излучение было перпендикулярно оси трубки. При работе рентгеновской трубки на аноде выделяется большое количество тепла. Чтобы предохранить анод от перегрева и повысить мощность рентгеновской трубки, используют охлаждающие устройства.

Рентгеновская трубка – электровакуумный прибор, предназначенный для получения рентгеновского излучения.

V. Применение рентгеновских лучей

Применение рентгеновских лучей разнообразно. Они широко используются в медицине. С помощью рентгеновских снимков врачи могут

Ответьте на вопрос

Почему «жесткость» лучей при увеличении ускоряющего напряжения возрастает?

Задание 1

По диапазону частот рентгеновского излучения определите диапазон длины волны. Сравните с размерами клеток человека. Почему для ежегодного прохождения флюорографии используют щадящие рентгеновские лучи с большей длиной волны?

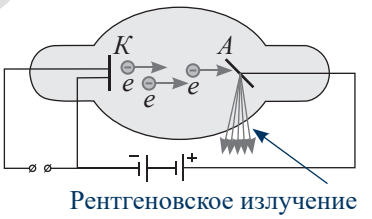


Рис. 207. *Рентгеновская трубка*

Обратите внимание!

Диагностические рентгеновские трубки работают при максимальных напряжениях до 150 кВ, терапевтические – до 400 кВ.

Задание 2

Выясните, какое влияние оказывает рентгеновское излучение на организм человека. Почему флюорографию необходимо проходить не чаще 1 раза в год?

АРМАНПВ бастасы

судить не только о переломах костей, но и об особенностях строения желудка, о расположении язв и опухолей. В современной медицине цифровая техника начинает вытеснять технологию съемки на пленку. Изображение появляется на экране и, благодаря полупроводниковым приемникам, сразу сохраняется *(рис. 208)*.

Интересно знать!

Цифровой портативный рентген-аппарат используют стоматологи Южной Кореи. Аппарат Rextar объединяет в себе высококачественную рентгеноустановку *(рис. 209)*, персональный компьютер модели Samsung Ultra, монитор и периферийные устройства ПК.

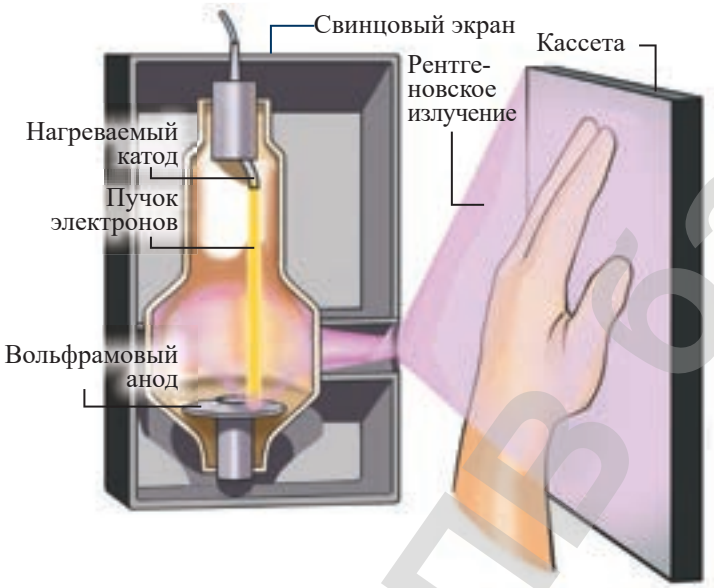


Рис. 208. *Цифровая технология получения рентгеновского снимка*

Рис. 209. *Портативный рентген-аппарат*

Цифровые рентгеновские снимки легко обрабатывать и редактировать, например, подобрать требуемый контраст для улучшения видимости. Кроме того, для получения снимка того же качества цифровыми методами требуется рентгеновский пучок в два раза меньшей интенсивности, чем при обычном пленочном методе.

Рентгеновские лучи нашли применение в технике: с помощью рентгеновских лучей можно заглянуть вглубь кристаллов. По рентгеновским снимкам ученые могут отличить кристаллы от аморфных тел, обнаружить дефекты

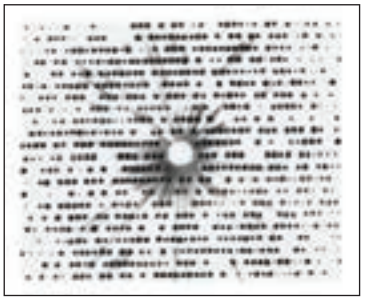


Рис. 210. *Рентгеновский снимок кристалла. Обнаружен дефект*

АРМАН-ПРЕСС

в структуре кристаллов *(рис. 210)*. Рентгеновские лучи позволяют обнаружить содержимое грузов в аэропортах, неполадки в различных устройствах.

Мощные источники рентгеновских лучей найдены вне пределов Земли. В недрах новых и сверхновых звезд идут процессы, в результате которых возникает рентгеновское излучение. На *рисунке 211* представлен снимок небесного объекта G 292, выполненный орбитальной рентгеновской обсерваторией Chandra. Объект является одним из трех остатков сверхновых звезд в галактике Млечный путь и представляет собой громадную газовую оболочку диаметром в 36 световых лет *(рис. 211)*. Рентгеновское изображение показывает, что наряду с кислородом (оранжевый и желтый), звезда содержала другие элементы, включая магний (зеленый цвет), кремний и серу (голубой цвет). Расширение газа в туманности происходит очень быстро, из-за чего объект интенсивно испускает «икс-лучи», становясь доступным для наблюдений в диапазоне рентгеновских лучей.

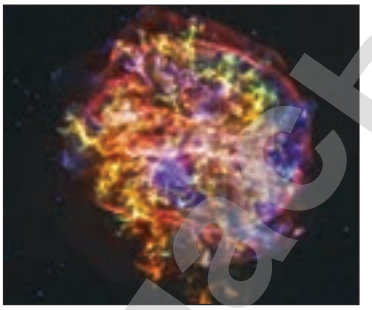


Рис. 211. *Газовая оболочка G 292, образовавшаяся после взрыва сверхновой звезды*

Рис. 212. *Отражение рентгеновских лучей Сатурном*

Интересно знать!

При исследовании рентгеновского излучения Сатурна оказалось, что основной поток радиации идет с экватора *(рис. 212)*. На Северном полюсе оно слабое и полностью отсутствует на Южном полюсе. Это говорит о том, что Сатурн отражает солнечное излучение на экваторе или сам является его источником. Известно, что рентгеновские лучи от Юпитера наиболее интенсивные на полюсах из-за повышенного взаимодействия частиц высоких энергий от Солнца с магнитным полем Юпитера. Существующие теории не могут объяснить интенсивность и распределение рентгеновского излучения Сатурна.

Контрольные вопросы

1. Каково устройство и принцип действия рентгеновской трубки?
2. Какими свойствами обладают рентгеновские лучи?
3. Как определить частоту тормозного рентгеновского излучения?
4. Где используют рентгеновские лучи?

АРМАЕ-ПВ бастасы

Упражнение 34

1. Будет ли вакуумная трубка создавать рентгеновское излучение, если на его электроды подано напряжение 4,2 кВ, 420 В? Диапазон рентгеновского излучения $3 \cdot 10^{16}$ Гц – $3 \cdot 10^{19}$ Гц. В каком случае лучи будут более жесткими?
2. Определите длину λ-волны рентгеновского излучения частотой 0 ^{19} Гц?
3. В период активности Солнце испускает в космическое пространство поток заряженных частиц с энергией, достигающей 10^6 эВ. С какой скоростью движутся частицы? Возможно ли появление тормозного рентгеновского излучения у поверхности планет, если 90 % этих частиц являются протонами? Примите массу протона равной $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг. Что защищает нашу планету от солнечной радиации?

Упражнение 34д

1. Во сколько раз длина волны рентгеновского излучения частотой 0 ^{17} Гц отличается от длины волны частотой 10^{19} Гц?
2. В электронном луче телевизионной трубки электроны, достигнув экрана, останавливаются. Может ли это привести к возникновению рентгеновского излучения?
3. Определите длину волны рентгеновского излучения терапевтической трубки. Напряжение на трубке 400 кВ. При каких диагнозах используют такую трубку?

Творческое задание

Подготовьте сообщение по темам (на выбор):

1. «Использование рентгеновских лучей в медицине».
2. «Применение рентгеновского излучения в технике».
3. «Исследование космических объектов в диапазоне рентгеновских лучей».

АРМАН-ПВ баспасы

§ 35. Радиоактивность. Природа радиоактивных излучений

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *объяснять природу и свойства α-, β- и γ-излучения.*

Ответьте на вопросы

1. *Почему радиоактивные препараты хранят в толстостенных свинцовых контейнерах?*
2. *Почему с открытием радиоактивности возобновились попытки алхимиков получить золото из других неблагородных металлов?*

Антуан Анри Беккерель (1852–1908) – французский физик, лауреат Нобелевской премии по физике и один из первооткрывателей радиоактивности.

Задание 1

Пользуясь таблицей Менделеева, приведите примеры радиоактивных элементов.

I. Открытие радиоактивности

Ряд веществ после облучения солнечным светом светятся в темноте, такой вид излучения называют фотолюминесценцией. Французский физик **Антуан Анри Беккерель** предполагал, что соли урана создают фотолюминесценцию, и изучал свойства этого излучения. Он обнаружил, что излучение солей урана подобно рентгеновскому излучению. Оно способно засветить фотопластинку, обернутую в черную бумагу. В 1896 г. из-за облачной погоды ему не удалось провести опыт. Он положил бумагу и пластину вместе с солью урана в ящик стола. Благодаря счастливой случайности А. Беккерель сделал открытие. Он проявил пластину и увидел изображение креста, лежавшего поверх бумаги в том же ящике. Это означало, что соли урана самопроизвольно, без каких-либо внешних влияний создают излучение. Излучение было названо радиоактивным.

Самопроизвольное излучения ядер атомов, называют *радиоактивностью*.

Изучением радиоактивности занимались **Мария Склодовская-Кюри**, **Пьер Кюри**, **Эрнест Резерфорд**. Мария и Пьер Кюри обнаружили новые элементы, которые способны создавать радиоактивное излучение. Химические элементы были названы: *полоний*, в честь родины Марии Кюри – Польши, и *радий*, что означает «лучистый». В результате экспериментов было выявлено, что все элементы с порядковым номером более 83 являются радиоактивными. Исследования ученых показали, что радиоактивное излучение сложное по составу, в нем присутствуют три вида излучения с различными свойствами: α-, β- и γ-лучи.

АРМАНТЕ бастасы

II. Состав радиоактивного излучения

Опытным путем ученые обнаружили, что в радиоактивном излучении присутствуют лучи с различными свойствами. На дно узкого канала в свинцовом цилиндре помещали радий *(рис. 213)*. Радиоактивный луч подвергался воздействию перпендикулярно направленного магнитного поля, в котором он распадался на три пучка. Об этом свидетельствовали пятна на фотопластинке. Два из них отклонялись в противоположные стороны, при этом один оставался узконаправленным, другой значительно расширялся, пятно на пластине вытягивалось. Третий пучок под действием магнитного поля направление не менял. Излучения получили названия: α-лучи, β-лучи, γ-лучи.

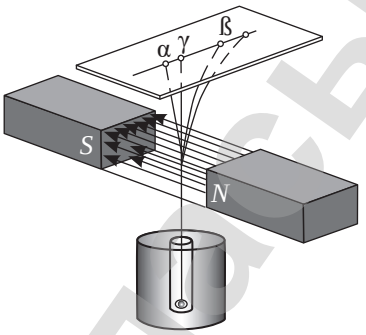


Рис. 213. *Экспериментальная установка для исследования радиоактивного излучения*

III. Свойства α-, β- и γ-лучей

Исследования свойств излучений показали, что их проникающая способность различна: α-частицы не могут проникнуть через лист бумаги толщиной 0,1 мм; β-лучи задерживаются металлической пластиной толщиной около 1 мм. Самая высокая проникающая способность у γ-лучей, их интенсивность уменьшается вдвое при прохождении через свинец толщиной около 1 см. Длина свободного пробега в воздухе у α-частиц от 3 до 7 см, у β-частиц она достигает 1 м. Интенсивность γ-лучей уменьшается вдвое на расстоянии 120 м от источника излучения. По углу отброса α- и β-лучей от первоначального направления Э. Резерфорд определил массы частиц. В 1899 г. он установил, что β-лучи представляют собой поток электронов, а в 1908 г. – что α-лучи – это ядра атома гелия. Гамма-лучи не заряжены, они не отклоняются магнитным полем и представляют собой жесткое электромагнитное излучение с частотой, превышающей $3 \cdot 10^{18}$ Гц.

Задание 2

Применив к *рисунку 213* правило левой руки, докажите, что α-лучи – это поток частиц с положительным зарядом, β-лучи – поток частиц с отрицательным зарядом, а γ-лучи не заряжены.

Ответьте на вопросы

1. *Почему под воздействием магнитного поля радиоактивный луч распадается на три пучка?*
2. *Почему пятно на экране, созданное отрицательными частицами, растянутое?*

Задание 4

Составьте сравнительную таблицу свойств α-, β- и γ-лучей.

Задание 3

Определите диапазон длин волн γ-лучей.

АРМАНПА басты

IV. Радиоактивные превращения ядер. Правило смещения Содди

Изучая радиоактивное излучение химических элементов, **Э. Резерфорд** и английский химик **Фредерик Содди** совместно пришли к выводу: радиоактивные элементы в результате излучения выбрасывают α- и β-частицы и превращаются в другие химические элементы. Следовательно, радиоактивность связана с изменением ядер атомов. **Ф. Содди** в 1913 г. сформулировал правило смещения для α- и β-распадов:

При α-распаде ядро теряет положительный заряд 2e, масса его убывает на четыре атомные единицы. Вновь полученный элемент расположен на две клетки ближе к началу таблицы Менделеева:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He,$$

где $^{A}_{Z}X$ – материнское ядро;

$^{A-4}_{Z-2}Y$ – дочернее ядро;

$^{4}_{2}He$ – α-частица;

Z – заряд ядра, выраженный в зарядах электрона;

A – массовое число, определяется округлением до целого числа атомной массы, указанной в таблице Менделеева.

Например, при α-распаде ядра урана $^{238}_{92}U$ образуется ядро тория $^{234}_{90}Th$:

$$^{238}_{92}U \rightarrow {}^{234}_{90}Th + {}^{4}_{2}He.$$

При β-распаде из ядра вылетает электрон. В результате заряд ядра увеличивается на 1e, масса практически не меняется. Полученный новый элемент расположен на одну клетку ближе к концу периодической системы Менделеева:

$$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\tilde{\nu},$$

где $^{0}_{0}\tilde{\nu}$ – антинейтрино, не имеет заряда и массы покоя, обладает энергией.

Например, при β-распаде таллия образуется свинец:

$$^{204}_{81}Tl \rightarrow {}^{204}_{82}Pb + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\tilde{\nu}.$$

Запомните!

α-частицы – это ядра атома гелия.

Свойства α-частиц

Заряд положительный, равный двум зарядам электрона $q_\alpha = 2|e|$, масса примерно в 8000 раз больше массы электрона $m_\alpha \approx 8000\, m_e$, скорость движения при испускании радием составляет около $\upsilon_\alpha \approx 20000$ **км/с**.

Вспомните!

$q_e = -1,6 \cdot 10^{-19}\, Кл$,

$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}\, кг$.

Обратите внимание!

В атомной физике заряд выражают через заряд электрона $1e = -1,6 \cdot 10^{-19}\, Кл$.

Массу определяют в а.е.м. – атомных единицах массы $1\, а.е.м. \approx 1,67 \cdot 10^{-27}\, кг$.

Кусочки науки

Массовое число атомного ядра – суммарное количество протонов и нейтронов в ядре. Массовое число близко к атомной массе изотопа, выраженной в атомных единицах массы, но совпадает с ней только для углерода – 12. Для других элементов атомная масса не является целым числом.

АРМАН-ПВ баспасы

При α- и β-распаде выполняются законы сохранения электрического заряда и массового числа.

Радиоактивность **– это самопроизвольное превращение одних ядер в другие, сопровождающееся испусканием различных частиц.**

Задание 6

Сформулируйте законы сохранения электрического заряда и массового числа для радиоактивных распадов.

Задание 5

1. Используя таблицу Менделеева, назовите химические элементы, которые образуются после каждого из пяти α-распадов урана.
2. Назовите химические элементы, которые образуются в результате двух β-распадов урана.

Контрольные вопросы

1. Какими свойствами обладают α-, β- и γ-излучения?
2. Сформулируйте правило смещения Содди для α- и β-распада.
3. Какие законы выполняются при радиоактивном распаде ядра?
4. Какое свойство ядер получило название радиоактивности?

Упражнение 35

1. Какой элемент образуется из $^{8}_{3}Li$ после одного β-распада и одного α-распада?
2. Ядро химического элемента $^{211}_{83}Bi$ получилось из другого ядра после последовательных α- и β-распадов. Что это за ядро?

Упражнение 35д

1. Какой химический элемент образуется из $^{239}_{92}U$ после двух β-распадов и одного α-распада?
2. Ядро $^{216}_{84}Po$ образовалось после двух последовательных α-распадов. Из какого ядра получилось ядро полония?

Творческое задание

Подготовить сообщение по темам (на выбор):

1. «Мария Склодовская-Кюри – лауреат Нобелевской премии».
2. «Влияние радиоактивного излучения на организм человека».

АРМАН-ПВ басылы

§ 36. Опыт Резерфорда, строение атома

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

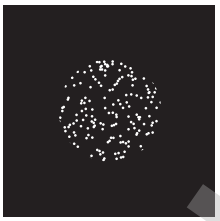
- *описывать опыт Резерфорда по рассеянию альфа-частиц.*

Ответьте на вопросы

1. *Почему ученые решили, что электроны, вращающиеся вокруг ядер атомов, не могут создать β-излучение?*
2. *Почему вещества с ядерной плотностью обладают огромной массой при малых объемах?*

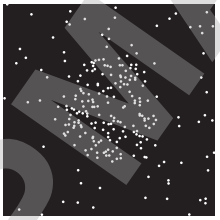
Обратите внимание!

Плотность ядра железа около $3{,}2 \cdot 10^{18}$ кг/м^3. Плотность железа 7800 кг/м^3.



а)

Рис. 215. *а) Вспышки на экране при отсутствии золотой фольги*



б)

Рис. 215. *б) Вспышки на экране после прохождения α-частиц через золотую фольгу*

I. Опыт Резерфорда

Открытие радиоактивности способствовало дальнейшему изучению строения атома. ученые использовали поток α-частиц, обладающих положительным зарядом, для бомбардировки атомов. В 1911 г. английским физиком **Э. Резерфордом** был проведен опыт по рассеянию α-частиц золотой фольгой. Схема опыта показана на *рисунке 214*. Радий помещался в свинцовый контейнер с узким отверстием. Поток α-частиц после рассеяния на золотой фольге попадал на экран, покрытый сульфидом цинка.

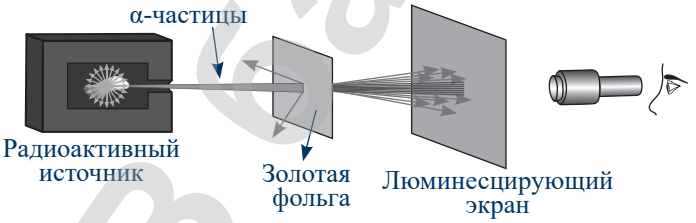


Рис. 214. *Схема опыта Резерфорда*

При отсутствии золотой фольги на экране появлялось светящееся пятно, состоящее из вспышек, вызванных α-частицами *(рис. 215, а)*. При размещении на пути пучка золотой фольги пятно расширялось, вокруг него наблюдались отдельные вспышки *(рис. 215, б)*. Небольшое количество α-частиц было отброшено в обратном направлении.

II. Планетарная модель атома Резерфорда

На основании полученных результатов Резерфорд пришел к выводу, что вся масса атома и положительный заряд должны быть сосредоточены в очень малой области пространства. Только тогда α-частица может быть отброшена в обратном направлении. Резерфорд ввел понятие ядро атома, которое имеет положительный заряд и находится в центре атома. Вокруг ядра движутся электроны подобно планетам вокруг

АРШАН ПВ басасы

Солнца. Оценив размер ядра по его взаимодействию с α-частицей, он получил результат 10^{-12}–10^{-13} см.

Размер самого атома равен 10^{-8} см, что превышает размер ядра в 10–100 тысяч раз. Если размер ядра увеличить до шара диаметром 1 м, то электроны вокруг него будут описывать окружности диаметром от 10 до 100 км. Планетарная модель позволяет объяснить многие явления природы, например, электризацию тел и хорошую проводимость металлов, но она не могла объяснить устойчивость атома. Электроны, излучая энергию, должны были упасть на ядро за ничтожно короткий промежуток времени. Модель атома Резерфорда не могла объяснить излучение разреженных газов, в спектре которых присутствует излучение строго определенных частот.

Ответьте на вопросы

1. *Почему весь положительный заряд атома Резерфорд расположил в его центре?*
2. *Почему в опыте по рассеянию α-частиц Резерфорд использовал золотую фольгу?*
3. *Почему большая часть α-частиц в опыте Резерфорда не изменила направление движения?*

Задание

Изобразите атомы лития и кислорода в соответствии с моделью, предложенной Э. Резерфордом.

III. Спектры излучения

Для наблюдения спектра излучения газоразрядной трубки, наполненной разряженным газом, достаточно излучение направить на трехгранную призму. Как и в опыте Ньютона с солнечным лучом, свет разложится на составляющие и на экране появится спектр.

Ответьте на вопросы

1. *Какие явления легко объясняются с использованием изображенной вами модели?*
2. *Почему модель атома, предложенная Э. Резерфордом, оказалась несовершенной?*

Спектр **– это радужная полоса, возникающая при дисперсии видимого излучения.**

Солнечный спектр является непрерывным, в нем присутствуют все частоты видимого излучения *(рис. 216)*.

Рис. 216. *Непрерывный спектр солнечного излучения*

Кусочки науки

В физике *спектр* (от лат. *spectrum* – «образ», «представление») – совокупность всех значений какой-либо физической величины.

АРМАН-ПВ бастысы

Спектр, в котором присутствуют все частоты видимого излучения, называют, *непрерывным*, или *сплошным, спектром*.

В отличие от спектра солнечного луча в спектрах нагретых разреженных газов на экране будут наблюдаться отдельные линии, разделенные темными полосами *(рис. 217)*. Спектры различных газов отличаются по числу линий и по их цвету.

Рис. 217. *Линейчатые спектры разреженных газов: гелия, водорода, аргона, криптона, неона*

Спектр, в котором присутствуют излучения частот определенного значения, называют *линейчатым спектром*.

Непрерывные спектры дают тела, находящиеся в твердом или жидком состоянии, и сжатые газы нагретых до высокой температуры. Линейчатые спектры дают все вещества в газообразном атомарном состоянии.

Ответьте на вопрос

Почему картину, полученную при разложении белого света на составляющие, называют спектром?

IV. Квантовые постулаты Бора

В 1913 г. датский физик Нильс Бор сформулировал основные положения квантовой физики в виде постулатов. В основу его постулатов легли планетарная модель атома Резерфорда и гипотеза Планка о квантах энергии излучения. Первый постулат Бора:

Атомная система может находиться только в особых стационарных или квантовых состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия E_n, в стационарном состоянии атом не излучает *(рис. 218)*.

Второй постулат Бора:

Излучение света происходит при переходе атома из стационарного состояния с большей энергией E_k, в стационарное состояние с меньшей энергией E_n.

Энергия излученного фотона равна разности энергий стационарных состояний: $h\nu_{kn} = E_k - E_n$.

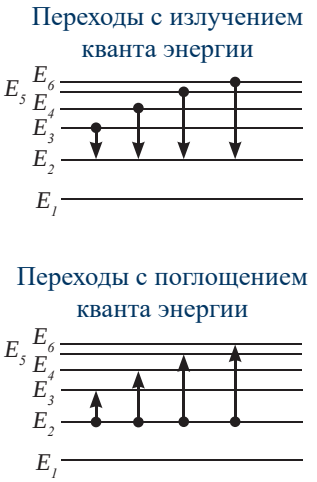


Рис. 218. *Энергетические уровни стационарных состояний атомов*

АРМАН-ПВ басылы

Частота излучения равна:

$$\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h}. \qquad (1)$$

При поглощении энергии фотона электрон переходит из состояния с меньшей энергией в состояние с большей энергией.

При излучении, наоборот, из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энергией.

V. Излучение и поглощение с точки зрения постулатов Бора

Постулаты Бора и его модель атома со стационарными орбитами позволяют объяснить спектры излучения и поглощения света. На *рисунке 219* изображен ряд энергетических уровней атома водорода, на которых может находиться электрон. При переходе электрона с верхнего уровня на нижний уровень энергия излучается. Частота излучения определяется разностью энергий электрона на этих уровнях (формула 1). Переход на второй уровень с вышележащих четырех уровней называют *серией Бальмера* в честь швейцарского ученого **И.Я. Бальмера**, впервые наблюдавшего видимый спектр водорода. Чем больше разность энергий, тем больше энергия фотона, тем выше частота излучения.

Рис. 219. *Модель атома водорода Бора*

С постулатами Бора стало понятным уменьшение мощности излучения абсолютно черного тела в области ультрафиолетовых волн сплошного спектра. *В диапазоне ультрафиолетового излучения происходит ионизация атомов, электроны становятся свободными. Переходы на более низкие уровни, сопровождающиеся излучением, не наблюдаются.*

Ответьте на вопрос

В чем различие моделей атома водорода Резерфорда и Бора?

Контрольные вопросы

1. Какова модель атома Резерфорда?
2. Какой спектр называют сплошным, какой – линейчатым?
3. В чем заключаются постулаты Бора?

АРМАН-ПВ баспасы

Упражнение 36

1. При переходе электронов в атомах водорода с четвертой стационарной орбиты на вторую излучаются фотоны с энергией $4{,}04 \cdot 10^{-19}$ Дж (зеленая линия водородного спектра). Определите длину волны этой линии спектра.
2. Для ионизации атома кислорода необходима энергия около 14 эВ. Определите частоту излучения, которое может вызвать ионизацию.

Упражнение 36д

1. При облучении паров ртути электронами энергия атома ртути увеличивается на 4,9 эВ. Какова длина волны излучения, которое испускают атомы ртути при переходе в невозбужденное состояние?
2. Определите длину волны света, испускаемого атомом водорода при его переходе из стационарного состояния с энергией $E_4 = -0{,}85$ эВ ($k = 4$) в состояние с энергией $E_2 = -3{,}4$ эВ ($n = 2$).

АРМАН-ПВ баспасы

Итоги главы 6

Закон Стефана – Больцмана	Формулы расчета энергии фотона	Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта
$R = \sigma \cdot T^4$	$E_ф = h\nu$ $E_ф = \frac{hc}{\lambda}$	$E_ф = A_{вых} + E_к$ $A_{вых} = h\nu_{\min}$; $A_{вых} = \frac{hc}{\lambda_{\max}}$ $E_k = \frac{m\upsilon^2}{2}$; $\frac{m\upsilon^2}{2} = eU_з$
Формула расчета тормозного рентгеновского излучения	**Частота излучения атома**	**Красная граница фотоэффекта**
$\frac{m_e\upsilon^2}{2} = h\nu$ $\nu = \frac{eU}{h}$	$\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h}$	$\nu_{\min} = \frac{A_{вых}}{h}$ $\nu_{\min} = \frac{c}{\lambda_{\max}}$

Постулаты Бора:

- **Атомная система может находиться только в особых стационарных или квантовых состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия E_n, в стационарном состоянии атом не излучает.**
- **Излучение света происходит при переходе атома из стационарного состояния с большей энергией E_k, в стационарное состояние с меньшей энергией E_n.**

Глоссарий

Абсолютно черное тело – термин, которым в теории теплового излучения называют тело, полностью поглощающее весь падающий на него поток излучения, независимо от длины волны.

Красная граница фотоэффекта – это минимальная частота или соответствующая ей максимальная длина волны, при которой возможен фотоэффект.

Линейчатый спектр – это спектр, в котором присутствуют излучения частот определенного значения.

Непрерывный, или сплошной, спектр – это спектр, в котором присутствуют все частоты видимого излучения.

Пирометр – прибор для определения температуры удаленных или сильно разогретых тел.

Рентгеновское излучение – это излучение, возникающее при резком торможении быстрых электронов.

Рентгеновская трубка – электровакуумный прибор, предназначенный для получения рентгеновского излучения.

Спектр – это радужная полоса, возникающая при дисперсии видимого излучения.

Спектральный анализ – это метод определения состава вещества по его спектру.

Тепловое излучение – это излучение нагретых тел.

Фотон – это элементарная частица электромагнитного излучения, обладающая энергией кванта. Фотон не обладает массой покоя.

Фотоэффект – это явление вырывания электронов из вещества под действием света.

Фотоэлемент – это устройство, в котором под действием падающего на него света возникает электрический ток.

АРМАНПВ басылы

Глава 7

АТОМНОЕ ЯДРО

В связи с открытием атомного ядра в физике появилось новое направление «Ядерная физика».
Ядерная физика изучает строение ядра, силы взаимодействия частиц ядра, взаимные превращения ядер одних атомов в другие в результате ядерных реакций.
Знания, которые вы получите при изучении раздела «Ядерная физика», широко применяются на практике.

Изучив подраздел, вы сможете:

- описывать свойства ядерных сил;
- определять дефект масс атомных ядер;
- применять формулу энергии связи атомного ядра при решении задач;
- применять законы сохранения зарядового и массового числа при решении уравнений ядерных реакций;
- объяснять вероятностный характер радиоактивного распада;
- использовать закон радиоактивного распада при решении задач;
- описывать условия протекания цепной ядерной реакции;
- описывать принцип действия ядерного реактора;
- сравнивать ядерный синтез и ядерный распад;
- приводить примеры использования радиоактивных изотопов;
- характеризовать способы защиты от радиации;
- классифицировать элементарные частицы.

АРМАН-ПВ баспасы

§ 37. Ядерное взаимодействие, ядерные силы. Дефект масс, энергия связи атомных ядер

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *описывать свойства ядерных сил;*
- *определять дефект масс атомных ядер;*
- *применять формулу энергии связи атомного ядра при решении задач.*

Ответьте на вопросы

1. *Почему число электронов в атоме равно числу протонов?*
2. *Почему гравитационные и электромагнитные силы не могут быть силами, удерживающими нуклоны в ядре?*
3. *Какая масса указана в таблице Менделеева?*

Интересно знать!

Нейтрон – нестабильная частица. В свободном состоянии он самопроизвольно распадается на протон, электрон и антинейтрино.

Нейтрино (антинейтрино) обладает большой проникающей способностью. Частицу способна задержать железная стена толщиной 10^{18} м, что в 25 раз больше расстояния до ближайшей звезды.

Ежесекундно сквозь человеческое тело пролетает 10^{14} нейтрино, и это только те, что излучаются Солнцем.

I. Открытие протона и нейтрона

Важным этапом в изучении атомного ядра было открытие протона и нейтрона. Они были обнаружены в лабораторных условиях в результате бомбардировки α-частицами легких ядер. В 1919 г. **Э. Резерфорд**, впервые бомбардируя ядра азота, получил ядра кислорода и водорода. Ядро водорода было названо «протон», что в переводе с греческого означает «первый». Резерфорд предполагал, что протон – единственная частица, из которой состоит ядро водорода. Протон обозначают $^{1}_{1}p$, так как его заряд по модулю в точности равен заряду электрона, массовое число равно единице.

В 1932 г. ученик **Э. Резерфорда** английский физик **Джеймс Чедвик** бомбардировал α-частицами бериллий. В результате проведенного эксперимента, он обнаружил сильное проникающее излучение, способное преодолевать свинцовую пластину толщиной от 10 до 20 см, что превышает проникающую способность γ-лучей. Изучив свойства полученного излучения, **Д. Чедвик** пришел к выводу, что полученное им излучение – это поток частиц, не имеющих заряда, с массой чуть больше массы протона. Частицы назвали нейтронами и обозначили $^{1}_{0}n$.

II. Состав ядра

После открытия нейтрона российский физик **Дмитрий Дмитриевич Иваненко** и немецкий ученый **Вернер Карл Гейзенберг** независимо друг от друга в 1932 г. предложили протонно-нейтронную модель ядра. Согласно предложенной модели число протонов в ядре равно числу электронов в его электронной оболочке. Заряды этих частиц равны по модулю, но противоположны по знаку. Число протонов в ядре Z

АРХИВ ГПБ Беларусы

равно порядковому номеру химического элемента в таблице Менделеева.

Массы протона и нейтрона близки по значению: масса протона $m_p = 1836,1m_e$, масса нейтрона $m_n = 1838,6m_e$. Общее число протонов и нейтронов в ядре равно массовому числу:

$$A = N + Z, \qquad (1)$$

где N– число нейтронов;
Z – число протонов;
A – массовое число.

Частицы, из которых состоит ядро: протоны и нейтроны, – называют *нуклонами*.

Количество нейтронов в ядрах одного и того же химического элемента может быть различным.

Ядра, состоящие из одинакового числа протонов, но с разным числом нейтронов, называют *изотопами*.

Изотопы занимают одну и ту же клетку в таблице Менделеева, например, атом кислорода может быть представлен в виде ${}^{15}_{8}O, {}^{16}_{8}O, {}^{17}_{8}O$. Число нейтронов в кислороде ${}^{15}_{8}O$ равно 7, в кислороде ${}^{16}_{8}O$ – 8, а в кислороде ${}^{17}_{8}O$ их 9.

III. Ядерные силы и их свойства

Объяснить устойчивость ядер известными силами невозможно. По своей природе силы гравитации не могут играть заметную роль во взаимодействии протонов и нейтронов в силу их ничтожно малой массы. Силы электромагнитного происхождения отталкивают протоны друг от друга, нейтроны из-за отсутствия заряда во взаимодействие не вступают. Силы притяжения протонов и нейтронов в ядре совершенно другой природы, они превышают кулоновские силы примерно в сто раз. Силы, удерживающие нуклоны в ядре, называют *ядерными силами*, взаимодействие частиц ядра называют *сильным*.

Задание 1

Изобразите ядра химических элементов ${}^{15}_{8}O, {}^{16}_{8}O, {}^{17}_{8}O$.
Используйте предложенную модель ядра Д.Д. Иваненко и В.К. Гейзенберга.

Задание 2

Объясните происхождение слова «изотопы».

Возьмите на заметку

Изотопы есть у каждого химического элемента, у самого легкого из них – водорода – изотопы получили названия:
${}^{1}_{1}H$ – протий,
${}^{2}_{1}H({}^{2}_{1}D)$ – дейтерий,
${}^{3}_{1}H({}^{3}_{1}T)$ – тритий *(рис. 220)*.

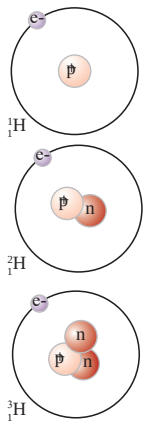


Рис. 220. *Модели изотопов водорода*

АРМАНПВ баспасы

Ядерные силы обладают рядом свойств:

1. *Ядерные силы короткодействующие*. Они действуют только внутри ядра, в пределах 10^{-14}–10^{-15} м.
2. *Ядерные силы обладают зарядовой независимостью*. Ядерными силами взаимодействуют как заряженные протоны, так и не заряженные нейтроны.
3. *Ядерные силы обладают свойством насыщения*. Их взаимодействие ограничивается только притяжением соседних частиц.

Ядерные силы **– это силы, удерживающие нуклоны в ядре.**

IV. Дефект масс

Измерения масс покоя ядер показали, что их массы меньше суммы масс покоя отдельно взятых нуклонов. Разность названа *дефектом масс*:

$$\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_я, \qquad (2)$$

где ΔM – дефект масс, Z – число протонов, m_p – масса протона, N – число нейтронов, m_n – масса нейтрона, $M_я$ – масса ядра.

Дефект масс **– это разность суммы масс покоя нуклонов с массой самого ядра.**

При определении массы ядра от массы атома отнимают массу всех электронов:

$$M_я = M_{ат} - Zm_e,$$

где $M_{ат}$ – масса атома, m_e – масса электрона.

Массы ядер, атомов и нуклонов в атомной и ядерной физике определяют в атомных единицах массы.

Атомная единица массы равна $\frac{1}{12}$ *массы атома углерода* ${}^{12}_{6}C$.

Массы атомов $M_{ат}$ и частиц ядра: протонов m_p и нейтронов m_n, – даны в таблице 3 приложения.

Вспомните!

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с $= 3 \cdot 10^5$ км/с

$c^2 = 9 \cdot 10^{16} \frac{м^2}{с^2}$.

Запомните!

В ядерной физике масса частиц определяется в атомных единицах массы:
1 а.е.м. $\approx$ [redacted] $^{-27}$ **кг**

Масса электрона в а.е.м.:

$$m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31} кг = \frac{9{,}1 \cdot 10^{-31} кг}{1{,}67 \cdot 10^{-27}\ кг/а.е.м.} = 0{,}00055\ а.е.м.$$

Энергия частиц определяется в электрон-вольтах:
1 эВ = 1,6·10^{-19} Дж.

Обычно она используется с приставкой Мега (М):
1 МэВ = 10^6 эВ.

Связь МэВ с единицей измерения энергии в СИ:
1 МэВ = 10^6·1,6·10^{-19} Дж = = 1,6·10^{-13} Дж.

Задание 3

Докажите, что дефект масс можно определить по формуле:
$\Delta M = ZM({}^1_1H) + Nm_n - M_{ат}$.

АРМАНПР баспасы

V. Энергия связи ядер

Уменьшение массы ядра при слиянии нуклонов сопровождается выделением энергии. Это свидетельствует о том, что система, состоящая из A нуклонов, примет более стабильное состояние, и ядерные силы будут прочно удерживать нуклоны в ядре. Для расщепления ядра потребуется столько же энергии, сколько выделилось при его образовании. Эту энергию называют энергией связи и определяют по формуле Эйнштейна:

$$E_{св} = \Delta M \cdot c^2,$$

где $E_{св}$ – энергия связи; ΔM – дефект масс; c – скорость света.

Энергия связи **– это энергия, которую необходимо затратить для полного расщепления ядра на нуклоны.**

Если масса выражена в атомных единицах массы, то формула Эйнштейна с учетом перевода единиц измерений примет вид:

$$E_{св} = \Delta M \cdot 931{,}5\,МэВ\,.$$

Задание 4

Используя график зависимости удельной энергии связи от числа нуклонов в ядре, определите: энергию связи ядра, состоящего из 80 нуклонов, и энергию связи ядра, состоящего из 200 нуклонов.

Ответьте на вопрос

Какое ядро более устойчивое?

VI. Удельная энергия связи

Удельная энергия связи определяется отношением энергии связи к числу нуклонов, содержащихся в ядре:

$$E_{уд} = \frac{E_{св}}{A}.$$

Удельная энергия связи **– это энергия связи, приходящаяся на один нуклон.**

По значению удельной энергии связи вновь образовавшихся ядер можно определить, поглощается или выделяется энергия в результате ядерной реакции. *Если удельная энергия связи образовавшихся ядер больше, чем у исходных, то энергия выделяется, если меньше, то поглощается.* На *рисунке 221* дана кривая зависимости удельной связи от числа

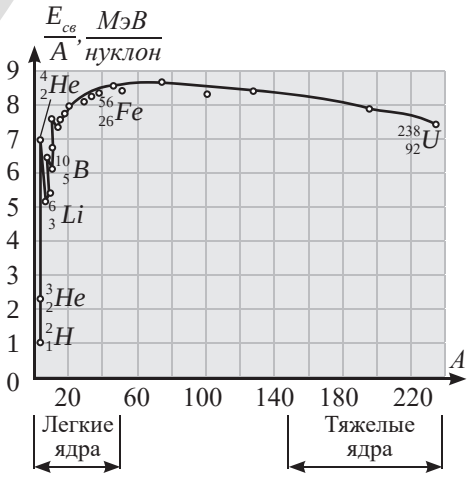


Рис. 221. *График зависимости удельной энергии связи от числа нуклонов в ядре*

Возьмите на заметку

Единица измерения удельной энергии связи: $[E_{уд}] = 1\,\frac{МэВ}{нуклон}$.

АРМАН-ПВ бесплатны

нуклонов в ядре. По диаграмме видно, что энергия выделяется в ядерных реакциях деления тяжелых ядер или в реакциях слияния легких.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Определите дефект масс, энергию связи и удельную энергию связи нуклонов ядра кислорода $^{17}_{8}O$.

Дано:

$M\left(^{17}_{8}O\right) = 16{,}99913$ а.е.м.

$M\left(^{1}_{1}H\right) = 1{,}00783$ а.е.м.

$m\left(^{1}_{0}n\right) = 1{,}00866$ а.е.м.

ΔM – ?

$E_{св}$ – ?

$E_{уд}$ – ?

Решение:

Ядро атома кислорода $^{17}_{8}O$ состоит из 8 протонов Z = 8 и 9 нейтронов:

$$N = A - Z = 17 - 8 = 9.$$

Дефект масс для ядра определим по формуле:

$$\Delta M = ZM(^{1}_{1}H) + Nm_n - M(^{17}_{8}O),$$

где $M\left(^{1}_{1}H\right)$ – масса атома водорода

ΔM = (8·1,00783 а.е.м. + 9·1,00866 а.е.м.) – 16,99913 а.е.м. =
= (8,06264 + 9,07794) – 16,99913 = 0,14145 а.е.м.

По формуле Эйнштейна определим энергию связи нуклонов в ядре:

$$E_{св} = \Delta M \cdot 931{,}5\ МэВ;$$

$$E_{св} = 0{,}14145\ а.е.м. \cdot 931{,}5 \frac{МэВ}{а.е.м.} = 131{,}76\ МэВ.$$

На каждый нуклон в ядре приходится энергия равная:

$$E_{уд} = \frac{E_{св}}{A};$$

$$E_{уд} = \frac{131{,}76\ МэВ}{17\ нуклонов} = 7{,}75 \frac{МэВ}{нуклон}.$$

Ответ: ΔM = 0,14145 а.е.м.;

$E_{св}$ = 131,76 *МэВ*;

$E_{уд} = 7{,}75 \frac{МэВ}{нуклон}$.

Контрольные вопросы

1. Кем были открыты протон и нейтрон?
2. Какими свойствами обладает нейтрон?

АРМАН-ПВ баспасы

3. Из каких частиц состоит ядро атома?
4. Какие ядра называют изотопами?
5. Какие силы удерживают нуклоны в ядре? Какими свойствами они обладают?
6. Что называют дефектом масс?
7. Что такое энергия связи? Удельная энергия связи?

Упражнение 37

1. Каков состав ядер натрия $^{23}_{11}Na$, фтора $^{19}_{9}F$, серебра $^{107}_{47}Ag$, кюрия $^{247}_{96}Cm$, менделевия $^{257}_{101}Md$?
2. Вычислите дефект масс, энергию связи, удельную энергию связи ядра дейтерия $^{2}_{1}H$.
3. Изобразите модель ядра атома натрия – 23.

Упражнение 37д

1. Каков состав ядер изотопов неона $^{20}_{10}Ne$, $^{21}_{10}Ne$ и $^{22}_{10}Ne$?
2. Найдите энергию связи ядра алюминия $^{27}_{13}Al$.
3. Определите удельную энергию связи азота – 14.
4. На сколько процентов удельная энергия связи атома, состоящего из 140 нуклонов, больше, чем удельная энергия связи атома, состоящего из 200 нуклонов? Для решения задачи используйте график зависимости удельной энергии связи от числа нуклонов в ядре *(рис. 221)*.

Творческое задание

Подготовьте сообщение на тему: «Ученые, исследовавшие строение ядра».

АРМАН-ПВ баспасы

§ 38. Ядерные реакции, закон радиоактивного распада

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *применять законы сохранения зарядового и массового числа при решении уравнений ядерных реакций;*
- *объяснять вероятностный характер радиоактивного распада;*
- *использовать закон радиоактивного распада при решении задач.*

I. Ядерные реакции

Нам известно, что **Э. Резерфорд** обнаружил протон в результате бомбардировки азота α-частицами. Наблюдаемое явление было названо ядерной реакцией.

Ядерная реакция **– это изменение атомных ядер при их взаимодействии с элементарными частицами или друг с другом.**

Запись ядерной реакции аналогична химической реакции. Запишем реакцию, проведенную Резерфордом, используя общепринятое обозначение химических элементов:

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}H\ . \qquad (1)$$

Запись ядерной реакции по обнаружению нейтронов, проведенной **Д. Чедвиком** выглядит следующим образом:

$$^{9}_{4}Be + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{12}_{6}C + ^{1}_{0}n\ . \qquad (2)$$

Время жизни нейтрона в свободном состоянии около 15 мин., затем он самопроизвольно распадается на протон, электрон и антинейтрино:

$$^{1}_{0}n \rightarrow ^{1}_{1}p + ^{0}_{-1}e + ^{0}_{0}\tilde{\nu}\ ,$$

где $^{1}_{1}p$ – протон;

$^{0}_{-1}e$ – электрон;

$^{0}_{0}\tilde{\nu}$ – электронное антинейтрино.

Многочисленные опыты показали, что во всех ядерных реакциях выполняются законы сохранения электрического заряда и массового числа.

Суммарный электрический заряд ядер и элементарных частиц, вступающих в реакцию, равен суммарному электрическому заряду продуктов реакции.

Ответьте на вопросы

1. *Как определяют возраст археологических раскопок?*
2. *Как определили возраст Земли?*
3. *Поясните значение фразы «зона отчуждения».*

Вспомните!

$^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A-4}_{Z-2}Y + ^{4}_{2}He\ ;$

$^{A}_{Z}X \rightarrow ^{A}_{Z+1}Y + ^{0}_{-1}e + ^{0}_{0}\tilde{\nu}$

При α- и β-распаде выполняются законы сохранения электрического заряда и массового числа. Обозначение химического элемента $^{A}_{Z}X$, где

A – массовое число;

Z – заряд ядра;

X – химический элемент.

Задание 1

На основе законов сохранения заряда и массового числа, напишите недостающий элемент в реакциях:

$$^{27}_{13}Al + ^{1}_{0}n \rightarrow \ldots\ldots + ^{4}_{2}He$$

$$^{55}_{25}Mn + \ldots\ldots \rightarrow ^{55}_{26}Fe + ^{1}_{0}n$$

АРМАН-ПВ басылы

Суммарное массовое число ядер и элементарных частиц, вступающих в ядерную реакцию, остается постоянным.

II. Закон радиоактивного распада

В 1902 г. **Э. Резерфорд** и английский химик **Ф. Содди** открыли закон радиоактивного распада. Они обнаружили, что активность излучения радиоактивных элементов со временем убывает строго определенным образом. Для каждого радиоактивного элемента был определен промежуток времени, в течение которого активность убывает в два раза. Этот промежуток времени T назван периодом полураспада.

***Период полураспада T* – это время, в течение которого распадается половина радиоактивных ядер.**

В таблице 4 приложения даны значения периодов полураспада некоторых радиоактивных элементов. Пусть число радиоактивных ядер в начальный момент времени равно N_0. Тогда через промежуток времени, равный периоду полураспада, число не распавшихся ядер будет равным:

$$N = \frac{N_0}{2}.$$

Через промежуток времени, равный двум периодам полураспада, их станет еще меньше:

$$N = \frac{N_0}{4} = \frac{N_0}{2^2}.$$

По истечении времени $t = nT$ радиоактивных ядер останется:

$$N = \frac{N_0}{2^n} = N_0 \cdot 2^{-n} = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}.$$

Полученное соотношение является законом радиоактивного распада:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}},$$

где N – число нераспавшихся радиоактивных ядер.

График зависимости дан на *(рис. 222)*.

Обратите внимание!

α- и β-распады – самопроизвольные превращения одних ядер в другие без взаимодействия с другими ядрами.

Задание 2

Во сколько раз уменьшится число распавшихся частиц после истечения времени, равного 4 периодам полураспада?

Ответьте на вопрос

Почему закон радиоактивного излучения не выполняется для малого количества ядер?

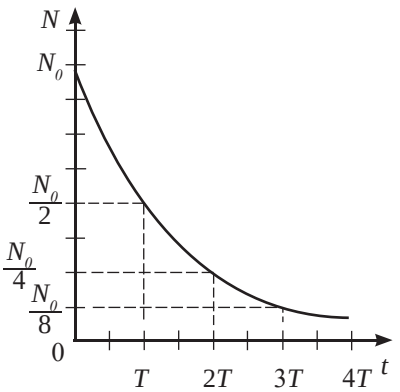


Рис. 222. *Зависимость числа нераспавшихся ядер от времени*

АРМАН-ПВ баспасы

Для определения числа распавшихся ядер нужно найти разность между начальным числом ядер и числом нераспавшихся ядер:

$$\Delta N = N_0 - N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}.$$

Закон радиоактивного распада носит статистический характер. Он выполняется для большого количества ядер химического элемента.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Определите период полураспада химического элемента, если число радиоактивных ядер уменьшилось в 32 раза за 3 часа.

Дано:

$\frac{N_0}{N} = 32$

$t = 3$ *ч*

T – ?

Решение:

Запишем закон радиоактивного распада:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}.$$

$$\frac{N_0}{N} = 2^{\frac{t}{T}}.$$

Представим 32 как 2^5 и подставим в полученное равенство:

$$2^5 = 2^{\frac{t}{T}}.$$

Основания показательных функций одинаковые, следовательно, показатели равны:

$$\frac{t}{T} = 5.$$

Тогда:

$$T = \frac{t}{5};$$

$$T = \frac{3\,ч}{5} = 0,6\,ч = 36\,мин.$$

Ответ: $T = 36$ мин.

Контрольные вопросы

1. Какую реакцию называют ядерной?
2. Какие законы выполняются при радиоактивном распаде ядра?
2. Что называют периодом полураспада?

АРМАН-ПВ баспасы

Упражнение 38

1. Запишите ядерную реакцию, происходящую при бомбардировке бора ${}^{11}_{5}B$ α-частицами и сопровождающуюся выбиванием нейтронов.
2. Элемент резерфордий получили, облучая плутоний ${}^{242}_{94}Pu$ ядрами неона ${}^{22}_{10}Ne$. Напишите реакцию, если известно, что в результате образуется еще четыре нейтрона.
3. Определите возраст залежей каменного угля, если число радиоактивных ядер углерода-14 в них уменьшилось в 8 раз.
4. Допишите недостающие частицы (ядра элементов) в следующих ядерных реакциях:

$${}^{14}_{7}N + {}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{17}_{8}O + ?,$$

$${}^{7}_{3}Li + {}^{2}_{1}H \rightarrow ? + {}^{1}_{0}n.$$

Упражнение 38д

1. При бомбардировке изотопа бора ${}^{10}_{5}B$ нейтронами из образовавшегося ядра выбрасывается α-частица. Запишите ядерную реакцию.
2. Во сколько раз уменьшается число радиоактивных элементов урана-235 через 9 млрд лет, если его период полураспада составляет 4,5 млрд лет.
3. Допишите недостающие частицы (ядра элементов) в следующих ядерных реакциях:

$${}^{9}_{4}Be + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{10}_{5}B + ?,$$

$${}^{7}_{3}Li + {}^{1}_{1}H \rightarrow ? + {}^{4}_{2}He.$$

Творческое задание

Подготовьте сообщение по темам (на выбор):

1. «Закон радиоактивного распада в археологии».
2. «Зоны отчуждения на нашей планете».

АРМАН-ПВ баспасы

§ 39. Деление тяжелых ядер, цепная ядерная реакция. Ядерный реактор

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *описывать условия протекания цепной ядерной реакции;*
- *описывать принцип действия ядерного реактора.*

Ответьте на вопросы

1. *Почему строительство атомных электростанций стало актуальным для Казахстана?*
2. *Почему деление тяжелых ядер энергетически выгодно?*

Задание 1

Докажите, что в результате деления 1 г урана выделяет такое же количество энергии, как и 3 тонны угля.

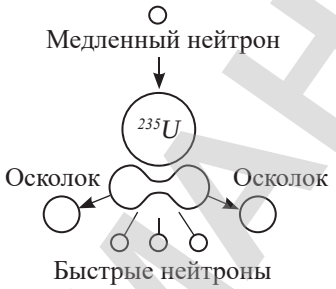


Рис. 223. *Механизм деления тяжелого ядра*

Ответьте на вопрос

Почему возникла необходимость получать плутоний из урана-238?

I. Деление тяжелых ядер. Механизм деления тяжелых ядер

Удельная энергия связи ядер, занимающих последние клетки таблицы Менделеева примерно на 1 МэВ меньше, чем у ядер, находящихся в середине периодической системы. Следовательно, деление тяжелого ядра энергетически выгодно. Одно ядро, состоящее из 200 нуклонов, при делении способно выделить колоссальную энергию порядка 200 МэВ. Ядра, содержащиеся в 1 г такого вещества, выделяют в результате деления такое же количество энергии, как и 3 тонны угля.

В 1938 г. немецкие ученые **Отто Ган** и **Фриц Штрассман** бомбардировкой нейтронами ядер $^{235}_{92}U$ осуществили его деление. Результаты опытов были опубликованы в январе 1939 г. В том же году датский ученый **Нильс Бор** объяснил механизм деления ядер, используя им же предложенную в 1936 г. «капельную модель ядра».

Согласно капельной модели ядро напоминает каплю заряженной жидкости. Короткодействующие ядерные силы подобны силам, действующим между молекулами жидкости. Ядро урана $^{235}_{92}U$, поглотив нейтрон, возбуждается и принимает вытянутую форму. Кулоновские силы отталкивания в образовавшемся перешейке преобладают над ядерными силами. Ядро разрывается на две части и под действием кулоновских сил осколки разлетаются с большой скоростью *(рис. 223).*

При делении тяжелых ядер образуются два осколка, и испускаются 2–3 «лишних» нейтрона, не вошедших в состав вновь образовавшихся ядер:

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{144}_{56}Ba + ^{89}_{36}Kr + 3\,^{1}_{0}n$$

или

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{147}_{57}La + ^{87}_{35}Br + 2\,^{1}_{0}n.$$

АРМАН-ПВ баспасы

В результате ядерных реакций выполняются законы сохранения массового числа и заряда.

II. Цепная ядерная реакция

Освободившиеся нейтроны в результате деления ядра урана могут вызвать деление соседних ядер. Число делящихся ядер стремительно возрастает, происходит лавинообразная цепная реакция *(рис. 224)*.

Цепная ядерная реакция **– это самоподдерживающаяся реакция деления тяжелых ядер, в которой непрерывно воспроизводятся нейтроны, делящие все новые и новые ядра.**

Для осуществления цепной ядерной реакции медленными нейтронами из встречающихся в природе элементов пригоден только $^{235}_{92}U$.

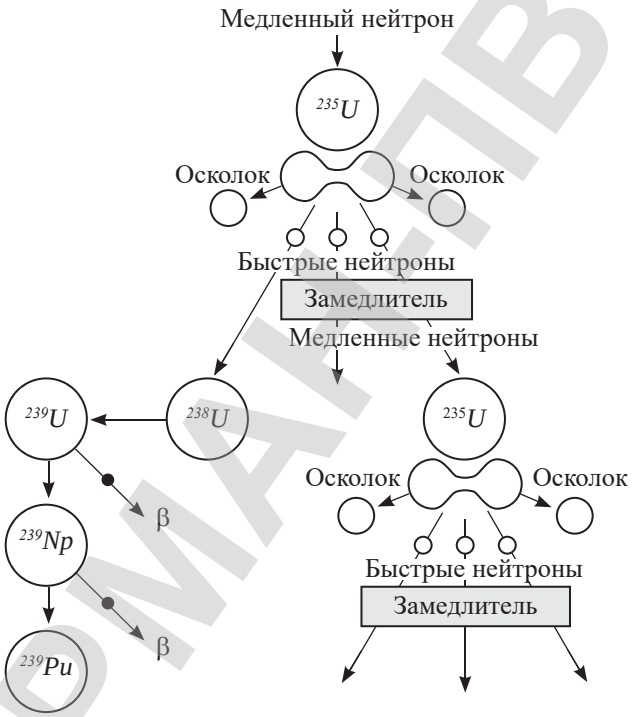


Рис. 224. *Цепная реакция деления урана*

Для деления ядер $^{238}_{92}U$ необходимы быстрые нейтроны с энергией порядка 1 МэВ, скорость которых достигает 10^7 м/с. Медленные нейтроны с энергией

Ответьте на вопросы

1. *Почему $^{238}_{92}U$ в чистом виде не может быть использован как ядерное топливо?*
2. *Почему при коэффициенте размножения меньшем, чем 1, цепная реакция прекращается?*
3. *Почему замедлители и отражатели позволяют уменьшить критическую массу ядерного топлива?*

Задание 2

По *рисунку 224* объясните действие ядерного реактора-размножителя, в котором из урана – 238 получают плутон.

Интересно знать!

В Актау на базе Мангистауского атомного энергокомбината РК до 2010 г. в течение 25 лет работал атомный реактор на быстрых нейтронах БН-350.

Обратите внимание!

В европейских странах электроэнергию в основном получают на АЭС.

АРМАНПВ баспасы

0,1 эВ поглощаются ядром, не вызывая его деления. Скорость медленных нейтронов сравнима со скоростью теплового движения молекул и равна 2000–3000 м/с. В результате деления урана выделяется около 60 % быстрых нейтронов и 40 % медленных.

III. Коэффициент размножения. Критическая масса

Течение цепной реакции зависит от коэффициента размножения нейтронов.

Коэффициентом размножения нейтронов называют отношение числа нейтронов в каком-либо «поколении» к числу нейтронов в предшествующем «поколении».

Нейтроны предшествующего «поколения» поглощаются ядрами, а нового «поколения» – выделяются. Если $k < 1$, то цепная реакция не происходит, если $k > 1$, то реакция происходит взрывообразно, при $k = 1$ реакция происходит с определенной скоростью, ее называют *управляемой.*

Еще одним условием для протекания цепной реакции является достаточное количество делящегося вещества. При его малом количестве нейтроны рассеиваются в окружающей среде, не столкнувшись с ядрами.

Минимальную массу делящегося вещества, при которой может протекать цепная ядерная реакция, называют критической массой.

Критическая масса урана-235 составляет около 50 кг, если он имеет форму шара. Значение критической массы можно уменьшить, если использовать замедлители и отражатели нейтронов.

IV. Принципы действия ядерного реактора

Управляемая цепная ядерная реакция с выделением энергии совершается в ядерном реакторе. Первый ядерный реактор был построен в США в 1942 г. под руководством **Энрико Ферми**, позже, в 1946 г., ядерный реактор был запущен советскими учеными во главе с **Игорем Васильевичем Курчатовым**.

Задание 3

Запишите основные части ядерного реактора, и их назначение.
Объясните выбор материалов для каждой части реактора.

Основными элементами реактора являются: ядерное горючее, замедлитель нейтронов, теплоноситель для вывода энергии, устройство для регулирования скорости реакции. Снаружи ядерный реактор окружен защитной оболочкой, задерживающей радиоактивное излучение *(рис. 225).*

В качестве ядерного горючего в реакторах различных конструкций используют $^{235}_{92}U$, $^{238}_{92}U$, $^{239}_{94}Pu$. Плутоний получают из $^{238}_{92}U$ бомбардировкой медленными нейтронами. Он образуется непосредственно в ядерном реакторе. Цепная реакция с $^{239}_{94}Pu$ происходит под воздействием медленных нейтронов. В качестве замедлителя нейтронов используют воду или графит. Теплоносителем служит

АРМАН-ПВ бастасы

вода или жидкий натрий. Энергия ядерной реакции, происходящей в активной зоне реактора, выводится к турбогенератору. Управление реактором осуществляется при помощи кадмиевых стержней. Кадмий поглощает нейтроны, тем самым позволяет регулировать коэффициент размножения. Кадмиевые стержни, полностью опущенные в реактор, прекращают ядерную реакцию.

V. Атомные электростанции

На атомных электростанциях (АЭС) энергию ядерной реакции превращают в электроэнергию. Тепловая энергия от реактора выводится к турбогенератору, где тепловая энергия превращается в электрическую *(рис. 225)*. Первая атомная электростанция была построена в 1954 г. в Советском Союзе в г. Обнинск.

Атомные электростанции имеют ряд преимуществ: они не потребляют атмосферный кислород, не засоряют золой окружающую среду. В то же время АЭС таят в себе скрытую угрозу, любая авария может привести к радиационному заражению местности. Основными проблемами эксплуатации АЭС остаются захоронение ядерных отходов и демонтаж отслуживших 20-летний срок атомных электростанций.

Интересно знать!

Для обеспечения потребности в энергии в Мангистауской области до 2030 г. необходим ввод нового крупного энергоисточника мощностью около 900 МВт. Для разработки и строительства атомного реактора с энергоблоками нового типа ВБЭР-300 в 2006 г. создано АО «Совместное Казахстанско-Российское предприятие «Байтерек». Проект ВБЭР-300 разработан на основе апробированных и зарекомендовавших себя реакторов, успешно эксплуатирующихся в России на атомных подводных лодках. Данный реактор имеет самый высокий международный класс безопасности. Использование реактора ВБЭР-300 сделает работу АЭС экономичной и безопасной.

Любая угроза нормальной работе АЭС мгновенно приводит в действие пассивные системы безопасности станции. Реактор моментально самозаглушается и прекращает свою работу.

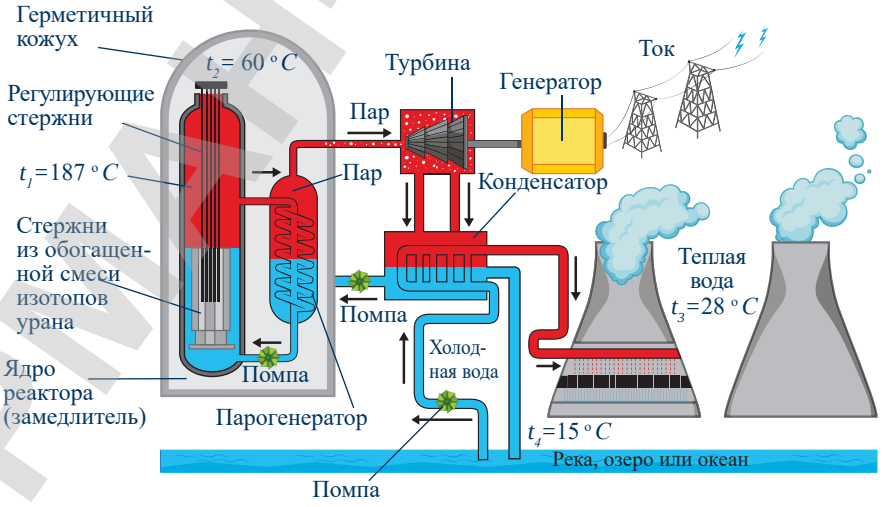


Рис. 225. *Схема атомной электростанции*

АРХИВ-ПЕРЕЗАГРУЗКА

Задание 4

По *рисунку 225* объясните принцип действия атомной электростанции.
Почему в турбину не подают воду, контактирующую непосредственно с ядерным реактором?

Контрольные вопросы

1. Каков механизм деления тяжелых ядер?
2. Какую реакцию называют цепной?
3. Что такое коэффициент размножения?
4. При каком значении коэффициента размножения цепная реакция становится управляемой?
5. Что называют критической массой?
6. Назовите основные элементы ядерного реактора.
7. Каков принцип действия АЭС?

Упражнение 39

1. Какой элемент образуется из $^{238}_{92}U$ при бомбардировке медленным нейтроном? Запишите реакцию.
2. Укажите элемент, который образуется в результате двух β-распадов получившегося в задании 1 элемента.

Упражнение 39д

1. Почему цепная ядерная реакция не происходит в природных условиях?
2. Укажите недостающий химический элемент, образующийся в результате деления ядра урана:
$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ? + ^{140}_{58}Ce + 2\,^{1}_{0}n$.

Творческое задание

Подготовьте сообщение по темам (на выбор):
1. «Развитие атомной энергетики».
2. «Последствия аварий на АЭС».
3. «Ученые-физики, внесшие вклад в исследование деления ядер».

АРМАН-ПВ баспасы

§ 40. Термоядерные реакции. Радиоизотопы, защита от радиации

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *сравнивать ядерный синтез и ядерный распад;*
- *приводить примеры использования радиоактивных изотопов;*
- *характеризовать способы защиты от радиации.*

Ответьте на вопросы

1. *Почему в звездах происходят термоядерные реакции?*
2. *Как защитить себя от радиоактивного излучения?*

I. Термоядерная реакция

Удельная энергия связи легких ядер меньше, чем у ядер середины таблицы Менделеева. Следовательно, реакции синтеза легких ядер должны происходить с выделением энергии. Для осуществления реакции синтеза легких ядер необходимо преодолеть кулоновские силы и приблизить ядра на расстояние действия ядерных сил 10^{-15} м. Такое сближение возможно только при высоких значениях давления и температуры. Расчеты показывают, что температура реагирующих частиц должна достигать порядка сотен миллионов кельвин. При такой температуре атомы полностью ионизируются, газ превращается в высокотемпературную плазму, состоящую из ядер и электронов.

Реакцию слияния легких ядер при температуре свыше 100 млн К называют *термоядерной реакцией*.

При слиянии тяжелого водорода – дейтерия – со сверхтяжелым изотопом водорода – тритием – выделяется около 3,5 МэВ на один нуклон:

$$ {}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n . \qquad (1)$$

II. Неуправляемые термоядерные реакции

Впервые неуправляемая термоядерная реакция была осуществлена в США в 1952 г. на острове Эниветок Тихого океана, затем в 1953 г. в Казахстане на Семипалатинском полигоне. Дальнейшая разработка водородных бомб показала их колоссальную разрушительную способность. Взрыв мегатонной бомбы,

Обратите внимание!

Все звезды представляют собой высокотемпературную плазму, состоящую из ядер водорода и гелия. Под воздействием высоких давлений и температур в недрах звезд происходят термоядерные реакции. Солнце ежесекундно излучает $4 \cdot 10^{26}$ Дж энергии, теряя при этом в массе около 4 млн тонн. При сгорании водорода в звездах образуется гелий. По соотношению водорода и гелия можно судить о возрасте звезды. В результате термоядерного синтеза могут образоваться все элементы периодической системы.

В настоящее время Солнце состоит примерно из 75 % водорода и 25 % гелия, все остальные элементы составляют 0,2 % общей массы.

АРМАН-ПВ басылы

произведенный в 1961 г. на полигоне архипелага Новая Земля на высоте 4 км, создал ударную волну, трижды обогнувшую нашу планету.

Термоядерная, или водородная, бомба начинена атомной, которая при взрыве создает давление и температуру, достаточную для начала реакции синтеза легких ядер. Взрыв атомной бомбы, длящийся около 10^{-6} с, переходит в сверхмощный взрыв термоядерной бомбы.

III. Управляемые термоядерные реакции

Для осуществления термоядерной реакции необходимо создать температуру 10^8 К. На Земле нет такого вещества, которое сохранило бы твердое состояние при этом значении температуры. Учеными предложено два способа осуществления реакции.

1. В 1950 г. русские физики **Андрей Дмитриевич Сахаров** и **Игорь Евгеньевич Тамм** предложили удерживать высокотемпературную плазму сильным магнитным полем, исключив ее контакт со стенками реактора. Была создана экспериментальная установка «ТОКАМАК-10» *(рис. 226)*. Высокотемпературная плазма создается сильным электрическим разрядом в дейтерии с тритием, заполняющем тороидальную камеру *(рис. 227)*.

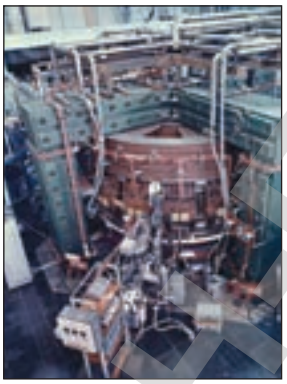


Рис. 226. *Токамак-10*

Рис. 227. *Тороидальная камера*

Камера является вторичной обмоткой трансформатора, действующего в импульсном режиме. Первичную обмотку присоединяют к батарее конденсаторов. При разряде конденсаторов через первичную обмотку трансформатора в тороидальной камере возникает вихревое электрическое поле, ионизирующее водород. Направленное движение ионов вызывает сильное

Ответьте на вопросы

1. *Почему ядерная реакция слияния легких ядер происходит только при высоких значениях температуры и давления?*
2. *Почему термоядерную реакцию тяжело осуществить в земных условиях?*
3. *Почему разработку реактора для термоядерной реакции считают перспективной?*

АРМАНТР Сатыбы

разогревание ядер водорода, происходит термоядерная реакция. Продолжительность реакции около 0,06 с.

В июне 2001 г. создан технический проект первого в мире экспериментального термоядерного реактора (рис. 228). Проектирование осуществляется в рамках международной программы «Технический проект ИТЭР» (ITER – International Termonuclear Experimental Reacto – Международный Экспериментальный Термоядерный Реактор). В этом проекте участвует и Казахстан. Строительство запланировано в сроки с 2007 г. по 2019 г. на территории Франции. Эксперименты и первые реакции термоядерного синтеза будут совершаться до 2037 г., а с 2040 г. реактор станет производить электроэнергию.

2. Лазерные установки для термоядерного синтеза впервые были использованы в Физическом институте АН СССР в 1961 г. Исследование лазерного термоядерного синтеза продолжается.

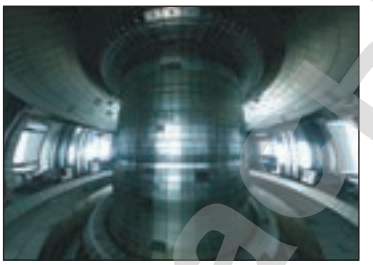


Рис. 228. *ИТЭР – Международный экспериментальный термоядерный реактор*

Задание

Определите разность удельной энергии ядер с 200 и 100 нуклонами по диаграмме на *рис. 221* §37. Какая энергия выделится, если ядро из 200 нуклонов расколоть на два ядра по 100 нуклонов?

IV. Энергия выхода ядерной реакции

Ядерные реакции могут происходить как с выделением энергии, так и с ее поглощением.

Энергия выхода **– это энергия, которая выделяется или поглощается в результате ядерной реакции.**

Взаимосвязь массы и энергии позволяет определить энергию выхода реакции по изменению масс ядер. Для этого необходимо рассчитать:

1) массу ядер и частиц до реакции.

   К примеру, для реакции слияния дейтерия и трития (1) это действие запишется в виде:

   $m_1 = m({}^2_1H) + m({}^3_1H)$;

2) массу ядер и частиц после реакции:

   $m_2 = m({}^4_2He) + m({}^1_0n)$;

Запомните!

Алгоритм определения энергии выхода ядерной реакции.

1. Определите массу ядер, вступающих в реакцию.
2. Определите массу ядер после реакции.
3. Разность масс умножьте на коэффициент перевода 931,5 МэВ.
4. При необходимости переведите полученное значение энергии в Дж: 1 МэВ = $1{,}6 \cdot 10^{-13}$ Дж.

АРМАН-ПВ басылы

3) изменение массы ядер до и после взаимодействия: $\Delta m = m_1 - m_2$;
4) энергию выхода ядерной реакции по формуле Эйнштейна:

$$E_{вых} = \Delta m \cdot 931,5\ МэВ.$$

Если $E_{вых} > 0$, то реакция происходит с выделением энергии, если $E_{вых} < 0$, то – с поглощением энергии.

V. Радиоизотопы. Применение радиоактивных изотопов

Период полураспада изотопов химических элементов, существующих в природе, продолжителен. Сохраняя радиоактивные свойства в течение длительного времени, они создают повышенный радиационный фон.

С помощью ядерных реакций можно получить радиоактивные изотопы всех химических элементов, как с большим, так и малым периодом полураспада.

Ответьте на вопрос

Почему в биологии, медицине, сельском хозяйстве и промышленности в качестве «меченых» атомов используют радиоизотопы с малым значением периода полураспада?

Радиоизотопы **– это нестабильные ядра химических элементов, полученные искусственным путем в результате ядерных реакций.**

Радиоизотопы с коротким периодом полураспада получили широкое применение в промышленности, сельском хозяйстве, медицине, биологии.

Метод слежения за любым физическим процессом или химической реакцией, происходящей с радиоактивным элементом, получил название «*метод меченых атомов*». Движение и взаимодействие радиоактивных изотопов с другими частицами отслеживают по их радиоактивности. Таким методом был исследован обмен веществ в организмах. Было обнаружено, что все атомы человеческого организма обновляются за короткое время. Исключением является железо, атомы которого входят в состав эритроцитов. Только когда запасы железа в организме иссякают, оно начинает усваиваться из пищи.

Интересно знать!

Благодаря наличию уникальной экспериментальной базы Семипалатинского полигона, Национальный ядерный центр РК (НЯЦ РК) стал мощной научно-исследовательской лабораторией. За годы существования центра успешно решаются проблемы по ликвидации последствий проведения ядерных испытаний совместно с международными партнерами из России, Франции, США, Японии. Все достижения НЯЦ РК нашли отражение в трехтомном издании «Проведение комплекса научно-технических и инженерных работ по приведению бывшего Семипалатинского испытательного полигона в безопасное состояние», которое написано с участием Елбасы Н.А. Назарбаева. Трехтомник был опубликован на 3-х языках (казахском, русском и английском) и распространен по библиотекам и научным организациям мира.

АЛМАНПБ базасы

VI. Защита от радиоактивных излучений

Ядерные излучения опасны тем, что даже большие дозы не воспринимаются органами чувств человека. Чтобы не подвергнуться радиоактивному излучению, необходима защита от него. Нельзя находиться в очагах радиационного заражения.

При работе с радиоактивными препаратами необходимо следовать инструкции, работать в специальных костюмах. Не следует вынимать препарат из специального контейнера; открывая крышку контейнера, следует помнить, что излучение распространяется по прямой линии. Необходимо учитывать, что излучение может отражаться от стен лаборатории. Недопустимо сливать радиоактивные отходы в канализационную систему.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Какая энергия выделяется при ядерной реакции ${}^{7}_{3}Li + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{8}_{4}Be + {}^{1}_{0}n$?

Дано:

${}^{7}_{3}Li + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{8}_{4}Be + {}^{1}_{0}n$

$m({}^{7}_{3}Li) = 7,01601\ а.е.м.$

$m({}^{2}_{1}H) = 2,01410\ а.е.м.$

$m({}^{8}_{4}Be) = 8,00531\ а.е.м.$

$m({}^{1}_{0}n) = 1,00866\ а.е.м.$

$E_{вых}$ – ?

Решение:

Определим массу ядер, вступающих в реакцию:

$m_1 = m({}^{7}_{3}Li) + m({}^{2}_{1}H);$

m_1 = 7,01901 а.е.м. + 2,01410 а.е.м. = 9,03011 а.е.м.

Масса ядер и частиц, полученных в результате ядерной реакции, равна:

$m_2 = m({}^{8}_{4}Be) + m({}^{1}_{0}n);$

m_2 = 8,00531 а.е.м. + 1,00866 а.е.м. = 9,01397 а.е.м.

Определим разность масс ядер до и после реакции: $\Delta m = m_1 - m_2$;

Δm = 9,03011 а.е.м. – 9,01397 а.е.м. = 0,01614 а.е.м.

Используя уравнение Эйнштейна, определим энергию выхода реакции:

$E_{вых} = \Delta m \cdot 931,5$ МэВ;

$$E_{вых} = 0,01614\ а.е.м. \cdot 931,5 \frac{МэВ}{а.е.м.} = 15\ МэВ.$$

Ответ: $E_{вых} = 15\ МэВ$.

Контрольные вопросы

1. Какую реакцию называют термоядерной?
2. На каком устройстве впервые была осуществлена термоядерная реакция?
3. Что такое энергия выхода?

АРМАН-ПВ басасы

4. Как определяют энергию выхода ядерной реакции?
5. В каком случае энергия поглощается, в каком – выделяется?
6. Какова природа излучения звезд?
7. Какие частицы называют радиоизотопами?
8. В чем заключается «метод меченых атомов»?

Упражнение 40

1. В результате термоядерной реакции соединения двух протонов образуется дейтрон и нейтрино. Какая еще появляется частица?
2. Выделяется или поглощается энергия в результате реакции:
   $^{9}_{4}Be + ^{2}_{1}H \rightarrow ^{10}_{5}B + ^{1}_{0}n$;
   $^{7}_{3}Li + ^{1}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{4}_{2}He$?

Упражнение 40д

1. Найдите наименьшую энергию γ-кванта, достаточную для осуществления реакции разложения дейтерия γ-лучами:
   $^{2}_{1}H + \gamma \rightarrow ^{1}_{1}H + ^{1}_{0}n$.
2. Какая энергия выделяется при термоядерной реакции:
   $^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$?

Творческое задание

Подготовьте сообщения по темам (на выбор):

1. «Рождение и смерть звезды».
2. «Как получить водород из воды?».
3. «Технический проект ИТЭР».
4. «Использование радиоизотопов в промышленности, сельском хозяйстве, медицине в странах мира и РК».
5. «Сравнительный анализ действия радиоактивного излучения на живые организмы».
6. «Последствия ядерных взрывов на Семипалатинском ядерном полигоне».

АРМАН-ПВ баспасы

§ 41. Элементарные частицы

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *классифицировать элементарные частицы.*

Ответьте на вопросы

1. *Что означает в переводе на русский язык слово «атом»?*
2. *Какие частицы называют элементарными?*
3. *По каким признакам вы отличаете элементарные частицы от всех остальных частиц?*

Задание 1

Запишите обозначения частиц: фотон, протон, нейтрон, электрон, позитрон.

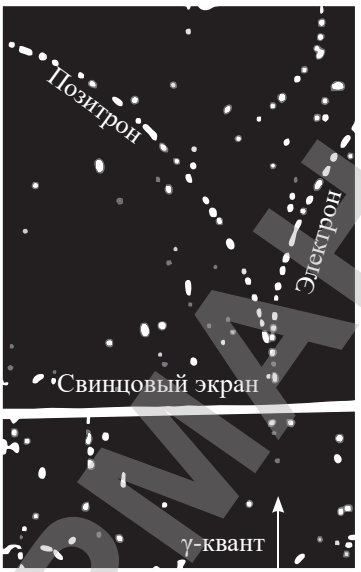


Рис. 229. *Образование пары частиц: электрона и позитрона из кванта энергии – фотона*

I. Элементарные частицы

В нашем представлении элементарными являются те частицы, которые не делятся на более мелкие. **Демокрит** считал элементарными частицами атомы и называл их «кирпичиками мироздания».

Изучение атомных явлений и ядерных взаимодействий позволило ученым проникнуть в тайны микромира. Открытие радиоактивности в конце XIX – начале XX века, опыты **Э. Резерфорда** и **Д. Чедвика** по исследованию строения атома показали, что он имеет сложную структуру. В середине XX века к элементарным частицам физики относили фотон, протон, нейтрон, электрон, позитрон.

Элементарные частицы – это частицы, которые не имеют своего состава.

II. Античастицы

Английский физик **Поль Дирак** в 1928 г. создал теорию движения электрона, согласно которой он мог быть заряженным как отрицательно, так и положительно. В 1932 г. электрон с положительным зарядом был обнаружен американским физиком **Карлом Дейвидом Андерсоном** в космических лучах, он был назван *позитроном*. Позже в 1933 г. ученые наблюдали рождение пары *позитрон – электрон* при взаимодействии γ-кванта с веществом в камере Вильсона – специальной камере для наблюдения за движением и взаимодействием элементарных частиц *(рис. 229)*.

$$\gamma \rightarrow {}_{-1}^{0}e + {}_{+1}^{0}e\,.$$

В 1934 г. Ирен и Фредерик Жолио-Кюри открыли β^+-распад, в результате которого радиоактивное ядро испускает позитрон, при этом протон в ядре превращается в нейтрон:

$${}_{1}^{1}p \rightarrow {}_{0}^{1}n + {}_{+1}^{0}e + {}_{0}^{0}\nu\,,$$

где ${}_{0}^{0}\nu$ – нейтрино.

АРМАНТ ТВ басасы

Такому распаду подвержено ядро изотопа фосфора ${}^{30}_{15}P$:

$$ {}^{30}_{15}P \rightarrow {}^{30}_{14}Si + {}^{0}_{+1}e + {}^{0}_{0}\nu . $$

Позитрон является античастицей электрона. Частица и ее античастица при взаимодействии друг с другом исчезают, образуя квант энергии. Явление исчезновения частиц при их взаимодействии называют *аннигиляцией.* Физики предположили, что у каждой элементарной частицы существует античастица. В 1955 г. был обнаружен – *антипротон*, а в 1956 г. – *антинейтрон*. В 1969 г. был получен антигелий. Взаимодействие гелия и антигелия привело к исчезновению вещества с выделением соответствующего количества энергии:

$$ E = mc^2 . $$

Ответьте на вопросы

1. *Почему нельзя утверждать, что нейтрон состоит из протона?*
2. *Почему при столкновении быстрых частиц появляются частицы с массой, превышающей массу сталкивающихся?*
3. *Почему для ускорения частиц до скоростей, близких к космическим, необходим ускоритель больших размеров?*

III. Превращение элементарных частиц

Д. Чедвик, открыв нейтрон в 1932 г., обнаружил, что эта частица не стабильная – нейтрон распадается на протон, электрон и антинейтрино:

$$ {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{0}\tilde{\nu}. $$

Однозначно заявить, что нейтрон состоит из этих частиц невозможно, ведь протон в свою очередь распадается на нейтрон, позитрон и нейтрино:

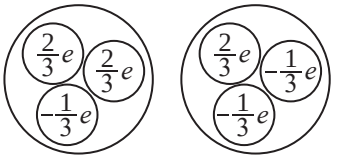
$$ {}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{+1}e + {}^{0}_{0}\nu. $$

Для изучения строения Вселенной и выяснения состава ее материи ученые создали ускорители заряженных частиц. Разрушая столкновением быстрые частицы, физики пытались обнаружить их состав. Эксперименты дали неожиданный результат: массы вновь образовавшихся частиц были сравнимы и даже превышали массу сталкивающихся, при этом количество частиц после столкновения увеличивалось. При увеличении кинетической энергии сталкивающихся частиц возрастало количество вновь образовавшихся частиц с большей массой. В настоящее время известно более 400 элементарных частиц, всем им свойственно превращение друг в друга. *Все элементарные частицы при взаимодействии способны превращаться друг в друга*.

IV. Состав нуклонов

В 1964 г. американские ученые **Мюррей Гелл-Ман** и **Джордж Цвейг** независимо друг от друга предложили модель нуклонов, состоящих из кварков. Кварки имеют дробный электрический заряд $+\frac{2}{3}e$ и $-\frac{1}{3}e$. В протонах и нейтронах содержится по 3 кварка *(рис. 230)*. Взаимодействие между кварками осуществляют частицы, названные *глюонами*.

АРМАНПРЕСС



Протон Нейтрон

Рис. 230. *Состав нуклонов: протона и нейтрона*

V. Космические лучи

В природе существуют элементарные частицы, энергия которых в тысячу раз больше, чем энергия частиц, ускоренных в современных ускорителях. Оценивая значение энергии этих частиц, ученые пришли к выводу, что частицы ускоряются объектами с массой, сравнимой с массой галактики. В нашей Галактике есть черная дыра, масса которой равна 10^6 солнечных масс. Масса нашей Галактики – 10^{11} солнечных масс. Черные дыры, которые могут ускорять частицы до самых высоких энергий, имеют массу в 10^9 солнечных масс, сравнимую с массой всей нашей Галактики. Ученые полагают, что именно такие черные дыры являются ускорителями элементарных частиц. Косвенные наблюдения показывают, что, действительно, космические лучи приходят из таких активных галактик.

VI. Хронология развития Вселенной

Согласно теории относительности Эйнштейна, Вселенная возникла из точки с очень большой плотностью и бесконечным количеством энергии в результате взрыва. Этому событию ученые дали название «Большой взрыв». В наше время Вселенная расширяется – к такому выводу пришел русский ученый **Александр Александрович Фридман**. Экспериментально расширение было обнаружено американским астрономом **Эдвином Хабблом.** *Последние несколько миллиардов лет Вселенная расширяется не с замедлением, а с ускорением.*

Используя достижения современной науки, ученые воссоздали хронологию развития Вселенной с самых первых мгновений после Большого взрыва *(рис. 231)*.

Рис. 231. *Этапы развития Вселенной*

АРМАН-ПВ бесплатны

В момент времени 10^{-43} секунд после взрыва Вселенная была до предела раскаленной и сверхплотной. Все силы, зарождающиеся в это момент, были объединены в единую «суперсилу». На 10^{-35} секунде «суперсила» увеличила Вселенную с размеров субатомной частицы до космических масштабов. Через 10^{-32} секунд появились элементарные частицы, на 10^{-6} секунде сформировались кварки, затем протоны и нейтроны.

После 200 секунды от момента взрыва при температуре 10^6 *°C* протоны и нейтроны начали образовывать ядра атомов. В течение 20 минут температура Вселенной снижается настолько, что процесс образования ядер прекращается. Последними были сформированы ядра водорода и гелия, которые являются самыми распространенными химическими элементами во Вселенной.

Через 300 тыс лет Вселенная остыла до 10^3 *°C* , электроны с ядрами образовали первые атомы, Вселенная обрела способность пропускать свет.

Первые звезды зажглись через 200 млн лет, после 1 млрд лет сформировались звездные скопления, которые называют галактиками. Ко времени, когда после Большого взрыва прошло 9 млрд лет, гравитационные силы, пытающиеся замедлить космическое расширение, начали проигрывать антигравитационному эффекту «темной энергии» – таинственной силы, которая приводит к ускоренному расширению Вселенной.

По истечении 9,1 млрд лет в галактике Млечный путь сформировалась небольшая звезда Солнце, окруженная диском каменистой породы и газа. Гигантские обломки, сталкиваясь и объединяясь, образовали Землю, Луну и другие планеты.

Рис. 232. *Адронный коллайдер*

VII. Адронный коллайдер

Чтобы понять природу Большого взрыва, ученые проводят эксперименты на большом адронном коллайдере – крупнейшем на планете ускорителе элементарных частиц *(рис. 232)*. Длина кольца ускорителя составляет около 27 километров. В нем с 2008 г. проводят эксперименты по взаимодействию быстрых частиц. В коллайдере сталкивают протоны, нейтроны и другие частицы с энергиями, близкими, но все же уступающими по значению тем, которые существовали в момент Большого взрыва *(рис. 233)*. Значит, понять, что происходило в момент взрыва и прогнозировать, что должно произойти в будущем, можно только теоретически.

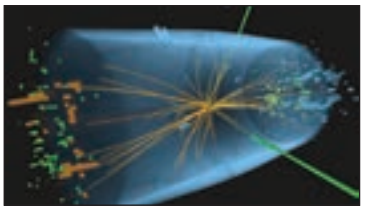


Рис. 233. *Столкновение элементарных частиц*

АРМАН-ПВ баспасы

Задание 2

Рассмотрите *рисунки 234* и *235*. Назовите частицы, из которых состоит атом (молекула) вещества. Посредством каких частиц они взаимодействуют между собой? Изобразите модель атома.

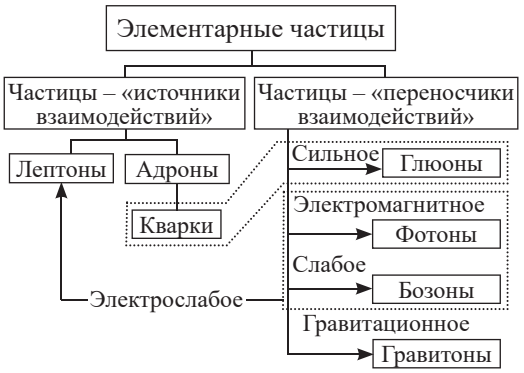


Рис. 234. Частицы вещества и поля

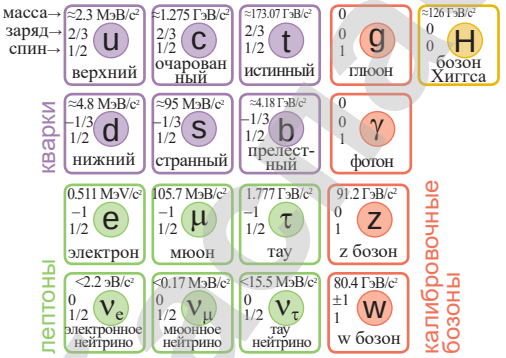


Рис. 235. Стандартная модель элементарных частиц

Контрольные вопросы

1. Какие частицы называют элементарными?
2. В чем заключается сходство и различие частицы и античастицы?
3. Что происходит при взаимодействии частицы и античастицы?
4. Каким основным свойством обладают все элементарные частицы?
5. Каков состав нуклонов?
6. Назовите основные этапы развития Вселенной.

Творческое задание

Подготовьте сообщение по темам (на выбор):

1. «Работа большого адронного коллайдера».
2. «Классификация элементарных частиц».

АРМАН-ПВ 6 класс

Итоги главы 7

Формулы расчета дефекта масс	Формулы расчета энергии связи
$A = N + Z$ $\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_я$ $M_я = M_{ат} - Zm_e$ $\Delta M = ZM({}^1_1H) + Nm_n - M_{ат}$	$E_{св} = \Delta M \cdot c^2$ $E_{св} = \Delta M \cdot 931,5 МэВ$ $E_{уд} = \frac{E_{св}}{A}$
Закон радиоактивного распада	**Формулы расчета энергии выхода ядерной реакции**
$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$ $\Delta N = N_0 - N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$	$E_{вых} = \Delta m \cdot 931,5\ МэВ$ $\Delta m = m_1 - m_2$

Глоссарий

Дефект масс – это разность суммы масс покоя нуклонов, из которых состоит ядро, с массой покоя самого ядра.

Изотопы – это ядра, состоящие из равного числа протонов, но с различными массовыми числами.

Коэффициент размножения нейтронов – это отношение числа нейтронов в каком-либо «поколении» к числу нейтронов в предшествующем «поколении».

Критическая масса – это минимальная масса делящегося вещества, при которой может протекать цепная ядерная реакция.

Нуклоны – это частицы, из которых состоит ядро: протоны и нейтроны.

Период полураспада – это время, в течение которого распадается половина радиоактивных ядер.

Радиоактивность – это самопроизвольное превращение одних ядер в другие, сопровождающееся испусканием различных частиц.

Радиоизотопы – это нестабильные ядра химических элементов, полученные искусственным путем в результате ядерной реакции.

Термоядерная реакция – это реакция слияния легких ядер при температуре свыше 100 млн К.

Удельная энергия связи – это энергия связи, приходящаяся на один нуклон.

Цепная ядерная реакция – это самоподдерживающаяся реакция деления тяжелых ядер, в которой непрерывно воспроизводятся нейтроны, делящие все новые и новые ядра.

Элементарные частицы – это частицы, которые не имеют своего состава.

Энергия выхода – это энергия, которая выделяется или поглощается в результате ядерной реакции.

Энергия связи – это энергия, которую необходимо затратить для полного расщепления ядра на нуклоны.

Ядерная реакция – это изменение атомных ядер при их взаимодействии с элементарными частицами или друг с другом.

Ядерные силы – это силы, удерживающие нуклоны в ядре.

АРМАНПВ баспасы

Заключение

СОВРЕМЕННАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ КАРТИНА МИРА

Изучив подраздел, вы сможете:

- объяснять влияние развития физики и астрономии на формирование мировоззрения человека;
- оценивать преимущества и учитывать риски влияния новых технологий на окружающую среду.

АРМАН-ПВ баспасы

§ 42. Мировоззренческое значение физики и астрономии

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *объяснять влияние развития физики и астрономии на формирование мировоззрения человека.*

Наука ставит превыше всего познание истины в логических соотношениях и в устройстве природы

Сазанов А.А.

Ответьте на вопросы

1. *Каким представляли окружающий мир древние люди?*
2. *Почему взгляды человека на окружающий мир меняются?*
3. *Какие факторы влияют на мировоззрение человека?*
4. *Что означает понятие «научное мировоззрение»?*

I. Физика и философия

Физика как точная наука обязана своим появлением на свет Галилео Галилею (1564–1642). Подавляющее большинство ученых в XVII столетии были мыслителями и универсалами. Не было четкого разделения на физику, астрономию, химию, математику. Философы выступали как естествоиспытатели – Кант, Декарт, а физики как философы – Гельмгольц, Пуанкаре, Ньютон.

Стремление объяснять все явления природы только присущими природе закономерностями, не прибегая к каким-либо внешним причинам, является великим завоеванием и достоинством науки. Научному объяснению поддаются все виды механического движения, притяжение небесных тел, преобразование химико-биологической энергии потребленной человеком пищи в механическую работу его костно-мышечной системы. Но мысленный импульс, побуждающий человека к определенному действию, не вытекает из общих законов физики или биологии. Наличие творческой мысли и воли не должно быть изгнано из поля зрения философов и естествоиспытателей.

Задание 1

Приведите примеры противоречия науки «физика» с религиозными учениями.

II. Вернадский о ноосфере. Современные взгляды на мир

В работах В.И. Вернадского раскрыто представление о том, что с появлением в земной биосфере вида «homo sapiens» – человека разумного – у планеты начинается формирование сферы разума – ноосферы. По мере того как возрастало могущество людей над природой, слепая потребительская устремленность становилась все более сильным дестабилизирующим

Задание 2

Приведите примеры влияния достижений в науке и технике на изменение мировоззрения человека.

АРМАН-ПВ басылы

фактором в экологии планеты. Достаточно вспомнить планы по изменению направления течения сибирских рек в конце XX века. Воду планировали направлять вспять по Иртышу, затем по Тургайскому прогибу в Казахстан, к Амударье и Сырдарье. Уже в ближайшем будущем приходится ожидать катастроф глобального масштаба по нескольким жизненно важным направлениям. Современному человечеству предстоит выявить способность или неспособность быть истинной сферой разума Земли. Первым шагом в доказательстве способности должны стать такие разумные изменения производственной

Владимир Иванович Вернадский (1863–1945) – ученый-естествоиспытатель, мыслитель и общественный деятель. В круг его интересов входили многие науки. Создатель науки биогеохимии.

Интересно знать!

Для существования и развития жизни на Земле требуется сохранение в узком диапазоне значений средней температуры земной поверхности и химического состава атмосферы на протяжении миллионов лет. Попытка объяснить поддержание параметров биосферы в узких диапазонах значений, необходимых для сохранения жизни, заключается в том, чтобы рассматривать планету как живой организм, обладающий способностью поддержания важнейших характеристик в допустимых пределах вопреки изменениям условий среды.

Рис. 236. *Живая Земля*

Живую Землю придется наделить еще и высокоразвитым интеллектом, чтобы объяснить, каким образом удалось избежать многочисленных угроз для жизни, возникавших при случайных изменениях характеристик земной и космической среды *(рис. 236).*

(Из монографии А.Д. Арманда «Эксперимент «Гея». Проблема живой Земли»)

Задание 3

Опишите окружающий вас мир на основе знаний:

- законов механики;
- законов электродинамики;
- законов квантовой физики.

Сравните ваши описания с мировоззрениями XVII, XIX, XX веков.

Задание 4

Обсудите последствия столкновения Земли с астероидами.
Можно ли утверждать, что динозавры исчезли после столкновения Земли с крупным астероидом?
Можно ли утверждать, что малые ледниковые периоды на Земле спровоцировали ее столкновения с астероидами?

Архив ПБ БГПУ

деятельности, которые положили бы конец опасному истощению природных ресурсов. Затем видятся меры по предотвращению столкновений с астероидами, что уже по силам земной науке и технике.

В дальнейшей перспективе людям предстоит взять под свой контроль управление климатическими условиями на планете и добиваться не худших результатов, чем это делалось без участия людей.

Более правдоподобным и естественным будет признать, что способности анализировать ситуацию, выбирать оптимальные варианты развития событий и осуществлять их принадлежат высокоразвитому и могущественному космическому разуму, управляющему эволюцией Земли до тех пор, пока эти заботы не сможет принять на себя развивающееся на Земле человечество. Не так ли и человеческий индивидуум нуждается в младенчестве в заботах старших, чтобы по мере взросления принимать на свои плечи ответственность за свою жизнь?

Взгляды Вернадского находят подтверждение в современной жизни. Проблема с опасностью столкновений с астероидами разрешается. В России разработано оружие космического масштаба. Автор супероружия – доктор технических наук Виктор Моторин. Выстрел из гамма-лазера способен полностью уничтожить объект диаметром в несколько сотен метров. Например, такой, как астероид Апофис. На гамма-лазер выдан патент РФ-RU 2243621. И это не единственный способ защиты от астероидов.

Проблема контроля над климатическими условиями на планете назрела.

Алексей Давидович Арманд (род. в 1931 г.) – сотрудник Института географии РАН, доктор географических наук, посвятил свой труд проблемам разработки иерархии информационных структур Мира и живой Земли, чему посвящены его многочисленные публикации в научной и популярной литературе. Лауреат премии имени А.А. Григорьева за монографию «Эксперимент «Гея». Проблема живой Земли» (2001).

Обратите внимание!

В нашем земном доме нарастание порядка преобладает, каждый предыдущий этап подготавливает благоприятные условия для успешного протекания следующего.

А.Д. Арманд

III. Космическая эра

В наши дни много говорится о вступлении земного человечества в космическую эру. Но основанием для этого пока служат только начальные технические достижения в запуске

АРМАНТЕ базы

космических кораблей. Почти отсутствует понимание того, как радикально должен измениться образ жизни, деятельности, мышления народов или хотя бы их правящих верхов для того, чтобы земная цивилизация могла войти сознательным и ответственным участником в космическое сообщество высокоразвитых цивилизаций.

По инерции господства в сознании классического научного мировоззрения мы считаем главным препятствием для космических контактов барьеры пространства и времени, которые нужно преодолевать с помощью развития техники. Но даже земная история убедительно демонстрирует отрицательные последствия технического воздействия духовно неразвитой цивилизации на среду обитания и другие народы. О том, что сейчас готовы нести земляне на другие планеты и звездные системы и что они ожидают там встретить, ярко свидетельствуют фильмы на темы звездных войн. Поэтому надо считать за благо космическую изолированность неразвитых цивилизаций и осознать, что путь к звездам пролегает через духовное совершенствование, совпадающее с развитием культуры в ее высшем и глубочайшем понимании. Не отказываясь от поисков космического разума в других звездных системах и галактиках, нужно не закрывать глаза на проявления космической заботы о развитии и совершенствовании нашей земной жизни.

Контрольные вопросы

1. Как развитие науки «Физика и астрономия» влияет на формирование научного мировоззрения?
2. В чем различие понятий «мировоззрение» и «научное мировоззрение»?
3. Почему современные цивилизации должны быть «духовно развитыми»?

Творческое задание

Подготовьте сообщение по темам (на выбор):

1. «Проекты защиты Земли от астероидов».
2. «Разум во Вселенной».
3. «Перспективы управления климатом».

АРМАН-ПВ басылы

§ 43. Экологическая культура

Ожидаемый результат

Прочитав параграф, вы сможете:

- *оценивать преимущества и учитывать риски влияния новых технологий на окружающую среду.*

I. Ноосфера

Мы вступили в тот этап жизни человечества, когда преобразующая деятельность человека должна основываться на строго научном и действительно разумном понимании всего происходящего в окружающем мире. Она обязательно должна сочетаться с интересами природы. Человек несет прямую ответственность за эволюцию планеты, стихийность развития сделает биосферу непригодной для обитания людей. В связи с этим человеку следует соизмерять свои потребности с возможностями биосферы.

В начале XX века Владимиром Ивановичем Вернадским создана теория перехода биосферы в «ноосферу», идея которой заключается в центральной роли человека, его разума во всей Вселенной. Основой теории Вернадского о ноосфере является то, что не только природа оказывает влияние на человека, существует и обратная связь – влияние человека на окружающую среду. Предупреждая о возможных последствиях расширяющегося воздействия человека на природу, Вернадский писал: «Человек становится геологической силой, способной изменить лик Земли».

Ответьте на вопросы

1. *Почему необходим переход к альтернативным источникам энергии?*
2. *Почему исчезают пчелы? К каким глобальным экологическим последствиям это может привести?*
3. *Возможно ли управление климатом на Земле?*
4. *Какие факторы оказывают большее влияние на климатические условия на Земле: космические или антропогенные?*

II. Влияние человека на природу. Техносфера

Развитие промышленности, индустриализация, научно-техническая революция, массовое сведение лесов, строительство заводов-гигантов, атомных, тепловых и гидроэлектростанций, процесс истощения и опустынивания земель привел к тому, что перед мировым сообществом стал вопрос выживания и сохранения человека как вида.

Техносфера все сильнее преобразует природу, изменяя прежние и создавая новые ландшафты, активно влияя на все сферы и оболочки Земли, и прежде всего на биосферу. Последствия непродуманного воздействия на природу удручают. Технические ландшафты из отходов производства,

Задание 1

Перечислите известные вам факторы, способные значительно изменить параметры, характеризующие нашу планету и термодинамические условия на Земле.
Предложите пути решения этих проблем.

АДАМАН-ПВ бастасы

уничтожение признаков жизни в целых регионах – вот реальные плоды отрицательного влияния человека на окружающую среду. Все это является также следствием недостаточного взаимодействия естественных и общественных наук в осмыслении данной проблемы *(рис. 237, 238)*.

Рис. 237. *Алмазный рудник в Якутии*

Рис. 238. *Шерубай-Нуринское песчано-гравийное месторождение, Карагандинская область*

АРМАГЕДДОН ПРЕСС

III. Экология. Экологическая культура

Первая Конференция ООН по окружающей среде в 1972 г. официально констатировала наличие на Земле глобального экологического кризиса всей биосферы. Уничтожены и продолжают уничтожаться тысячи видов растений и животных; в значительной мере истреблен лесной покров; стремительно сокращается имеющийся запас полезных ископаемых; мировой океан не только истощается в результате уничтожения живых организмов, но и перестает быть регулятором природных процессов; атмосфера во многих местах загрязнена до предельно допустимых норм.

С началом космических полетов проблемы экологии переместились и в открытое космическое пространство. Неутилизированные отходы от космической деятельности человека накапливаются в космосе, что также становится все более острой проблемой. Уже сегодня можно говорить о проблеме космической экологии. Не решен вопрос о влиянии космических полетов на появление озон овых дыр в атмосфере Земли.

Интересно знать!

25 июня 1998 г. в датском городе Орхус была принята Конвенция о доступе к информации, участии общественности в процессе принятия решений и доступе к правосудию по вопросам, касающимся окружающей среды.

Обратите внимание!

В развитых государствах технологический процесс замкнут, предполагает безотходное производство.

Задание 2

Обсудите экологические проблемы вашей местности и причины, которые, по вашему мнению, вызвали эту проблему.

Возьмите на заметку

В Республике Казахстан сложилась законодательная база, регулирующая вопросы, связанные с доступом граждан к экологической информации.

В соответствии с Экологическим кодексом экологическая информация включает в себя сведения и данные о:

- состоянии окружающей среды;
- факторах воздействия на окружающую среду, в том числе о ее загрязнении;
- программных, административных и иных мерах, оказывающих или способных оказать воздействие на окружающую среду;
- экологических нормативах и экологических требованиях к хозяйственной и иной деятельности;
- планируемых и реализуемых мероприятиях по охране окружающей среды и их финансировании;
- деятельности, оказывающей или способной оказать воздействие на окружающую среду, процессе принятия решения и результатах инспекторских экологических проверок по ней, в том числе рассмотренные при этом расчеты, анализы и иные сведения, касающиеся окружающей среды;
- воздействии состояния окружающей среды на здоровье, безопасность и условия проживания населения, объекты культуры, здания и сооружения.

АРМАН-ПВ баспасы

В результате антропогенной деятельности природа оказалась под прямой угрозой уничтожения. Из-за неразумного отношения к ней и к ее ресурсам, из-за неправильного понимания своего места и положения во Вселенной человечеству грозит вымирание. Поэтому проблема «правильного» восприятия природы, равно как и «экологической культуры», выходит в настоящий момент на передний план.

Интересно знать!

В РК составлен специальный перечень стратегических месторождений, который регулярно обновляется. Перечень стратегических участков недр утвержден постановлением Правительства РК от 28.06.2018 г. №389. Стратегические месторождения урана, взятые из перечня, даны в тексте параграфа.

IV. Пути решения экологических проблем

Для решения экологических проблем, прежде всего, следует перейти от потребительского подхода к природе к поиску гармонии с ней. Необходимы меры по экологизации производства, применение природосберегающих технологий и производств, обязательная экологическая экспертиза новых проектов, создание безотходных технологий замкнутого цикла, безвредных как для природы, так и для здоровья человека.

Необходимо поддерживать динамическое равновесие между природой и человеком. Человек должен не только брать у природы, но и восстанавливать природные ресурсы: леса, рыбу в озерах и реках; создавать национальные парки, заповедники и т.п.

К улучшению экологической ситуации приведет разумное самоограничение в расходовании природных ресурсов, особенно энергетических источников.

Задание 3

В сети Интернет найдите перечень стратегических месторождений РК (всего 161). Выясните, какие месторождения находятся в вашем регионе. Как повлияет освоение месторождения на экологическое состояние вашей местности?

Общество должно пересмотреть свое отношение к природе и животному миру, отказаться от принципа удовлетворения всех своих потребностей, попытаться гармонизировать свои отношения с природой.

Из перечня стратегических месторождений:

Вид полезного ископаемого	Наименование месторождения, участка недр	Область Местонахождение
Уран	Агашское	Акмолинская с.ш. 53°19′0″ в.д. 71°35′0″
Уран	Акдала	Туркестанская с.ш. 45°31′0″ в.д. 68°40′0″
Уран	Аккан-Бурлук	Северо-Казахстанская с.ш. 52°38′17″ в.д. 67°51′33″
Уран	Бала-Саускандыкское	Кызылординская с.ш. 44°30′0″ в.д. 67°24′0″/
Уран	Буденовское	Туркестанская с.ш. 44°45′0″ в.д. 67°41′0″

АРМАН-ПВ баспасы

Контрольные вопросы

1. Поясните значение слова «ноосфера». Кем оно было введено?
2. Что означает слово «техносфера»?
3. Приведите примеры отрицательного влияния технических достижений на природные условия.
4. Приведите примеры технических достижений, способствующих восстановлению природных условий.

Творческое задание

1. Изучите экологический кодекс РК.
2. Выясните истинные причины экологических проблем вашего края. Предложите пути решения проблем. По возможности реализуйте их.
3. Что означает понятие «точка невозврата»? Приведите доказательства тому, что эту точку мы уже достигли (назовите фамилии ученых и дайте ссылки на проведенные ими исследования).
   Приведите примеры, опровергающие мнение указанных вами ученых.

АРМАН-ПВ баспасы

Приложения

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ И ТАБЛИЦЫ

- В лабораторных работах указаны цели их проведения, необходимое оборудование, приведено описание хода работы с рисунками, таблицами и расчетными формулами.

АРМАН-ПВ баспасы

Приложение 1. Лабораторные работы

Лабораторная работа № 1.
Определение ускорения тела при равноускоренном движении

Цель работы: измерить ускорение, с которым шарик скатывается по наклонному желобу.

Оборудование: штатив с муфтой и лапкой, металлический желоб, шарик, цилиндрическое тело, измерительная лента, секундомер.

Краткая теория. Тело движется по наклонной плоскости с ускорением, перемещение тела будет равно: $s = \upsilon_0 t + \frac{at^2}{2}$.

При нулевом значении начальной скорости: $s = \frac{at^2}{2}$.

Получим формулу расчета:

$$a = \frac{2s}{t^2}. \qquad (1)$$

Указание к работе

1. Соберите установку, которая показана на *рисунке 1*, у основания желоба положите цилиндрическое тело.

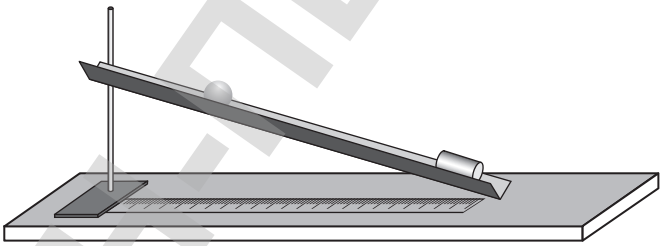


Рис. 1.

2. Пустите шарик по желобу, измерьте время движения шарика по желобу.
3. С помощью измерительной ленты определите расстояние от начального положения шарика до цилиндра.
4. Результаты измерений занесите в таблицу 1:

Таблица 1

№ п/п	Измерено		Вычислено	
	Расстояние s, м	Время движения t, с	Ускорение a, м/с²	Среднее значение ускорения $a_{ср}$, м/с²
1				

5. Повторите опыт 5 раз, не изменяя угла наклона желоба.

АРМАНПВ баспасы

6. Рассчитайте ускорение шарика по формуле (1) для каждого опыта, результат занесите в таблицу.
7. Рассчитайте среднее значение ускорения по формуле:

$$a_{ср} = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5}{5}.$$

8. Оцените погрешность измерений статистическим методом, определив абсолютную погрешность при каждом измерении:

$$\Delta a = |a_{ср} - a|;$$

среднее значение абсолютной погрешности:

$$\Delta a_{ср} = \frac{\Delta a_1 + \Delta a_2 + \Delta a_3 + \Delta a_4 + \Delta a_5}{5},$$

относительную погрешность:

$$\varepsilon = \frac{\Delta a_{ср}}{a_{ср}} \cdot 100\,\%.$$

9. Запишите результат измерений в виде:

$$a = a_{ср} \pm \Delta a_{ср} \quad при\, \varepsilon = \ldots \cdot 100\,\%.$$

Дополнительное задание: сравните полученный вами результат со значением ускорения, рассчитанным по формуле $a = g sin\alpha$, где α – угол наклона плоскости.

Вывод.

Сделайте вывод о причине возникновения ускорения шарика, скатывающегося по желобу.

Лабораторная работа № 2.
Изучение движения тела, брошенного горизонтально

Цель работы: определить начальную скорость тела, брошенного горизонтально.

Оборудование: штатив, стальной шарик, лабораторный желоб, линейка, листы белой и копировальной бумаги.

Краткая теория. Тело, брошенное горизонтально, движется по вертикали равнопеременно с ускорением свободного падения, по горизонтали равномерно. Начальную скорость определяют по дальности полета:

$$v_0 = \frac{l}{t}. \qquad (1)$$

время полета по высоте уровня, с которого падает тело:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}. \qquad (2)$$

Подставив соотношения (2) в (1), получим формулу расчета начальной скорости:

$$v_0 = l\sqrt{\frac{g}{2h}}. \qquad (3)$$

АРМАНПВ баспасы

Указание к работе

1. Соберите установку, изображенную на *рисунке 2*.
2. Пустите шарик по желобу от зафиксированной на ней пластинки.
3. Измерьте высоту h и дальность полета l.
4. Занесите полученные результаты в таблицу 2.

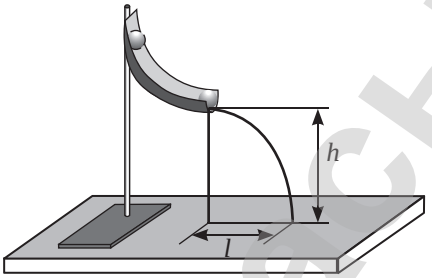


Рис. 2.

Таблица 2

№ п/п	Измерено		Вычислено	
	Высота h, м	Дальность полета l, м	Начальная скорость υ_0, м/с	Среднее значение скорости $\upsilon_{0ср}$, м/с
1				

5. Повторите опыт 5 раз, не изменяя уровень спуска шарика по желобу.
6. Рассчитайте значение начальной скорости для каждого опыта по формуле (3), результаты занесите в таблицу.
7. Определите среднее значение скорости:

$$\upsilon_{0ср} = \frac{\upsilon_{01} + \upsilon_{02} + \upsilon_{03} + \upsilon_{04} + \upsilon_{05}}{5}.$$

8. Оцените погрешность измерений статистическим методом (см. лабораторную работу № 1).
9. Запишите результат измерений в виде:

$$\upsilon_0 = \upsilon_{0ср} \pm \Delta\upsilon_{0ср} \quad при\ \varepsilon = \ldots \cdot 100\ \%.$$

Контрольный вопрос

Почему в проведенных опытах нельзя менять уровень, с которого шарик спускается по желобу?

Лабораторная работа № 3. Определение ускорения свободного падения с использованием математического маятника

Цель работы: при помощи математического маятника определить ускорение свободного падения на Земле, сравнить полученное значение с истинным, равным $g = 9{,}8\frac{м}{с^2}$.

АРМАН-ПВ базасы

Оборудование: электронный секундомер (сотовый телефон) или часы с секундной стрелкой, измерительная лента, шарик на нити, штатив с муфтой и кольцом.

Краткая теория. Период колебания математического маятника связан с длиной подвеса и ускорением свободного падения формулой:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\,. \qquad (1)$$

Период колебания – это время одного полного колебания:

$$T = \frac{t}{N}\,. \qquad (2)$$

Из формул (1) и (2) следует:

$$g = \frac{4\pi^2 l N^2}{t^2}\,. \qquad (3)$$

Указание к работе

1. Установите на краю стола штатив. У его верхнего конца при помощи муфты укрепите кольцо и подвесьте к нему шарик на нити. Шарик должен висеть на расстоянии 3–5 см от пола.
2. Измерьте длину подвеса измерительной лентой, результат занесите в таблицу 3.

Таблица 3

№ п/п	Измерено			Вычислено	
	Длина нити l, м	Число колебаний N	Время колебаний t, с	Ускорение свободного падения g, м/с²	Среднее значение ускорения $g_{ср}$, м/с²
1					

3. Измерьте время 40 колебаний, результат занесите в таблицу.
4. Повторите опыт пять раз, не изменяя условий опыта.
5. Вычислите ускорение свободного падения для каждого опыта и найдите его среднее значение.
6. Найдите абсолютную и относительную погрешности измерения, приняв значение $g = 9,8\frac{м}{с^2}$ по формулам:

$$\Delta g = |g - g_{ср}|\,.$$

$$\varepsilon_g = \frac{\Delta g}{g}\cdot 100\,\%\,.$$

7. Запишите результат измерений с учетом погрешности:

$$g = g_{ср} \pm \Delta g \text{ при } \varepsilon_g = \ldots\cdot 100\%\,.$$

АРМАН-ПВ баспасы

Лабораторная работа № 4.
Определение скорости распространения поверхностной волны

Цель работы: измерить скорость распространения волн на поверхности воды.

Оборудование: кювета с водой, поплавок, секундомер, измерительная лента.

Краткая теория. Все виды волн распространяются в однородной среде с постоянной скоростью:

$$\upsilon = \frac{l}{t},$$

где l – расстояние между источником колебаний и точки пространства, до которой распространялась волна; t – время распространения волны.

Указания к работе:

1. Залейте кювету водой, опустите на край кюветы поплавок *(рис. 3)*.
2. Приведите поплавок в колебательное движение, погрузив его глубже в воду.
3. Зафиксируйте время, за которое волна, созданная колебательным движением поплавка, достигнет противоположного борта кюветы.
4. Повторите опыт 5 раз, результаты измерений занесите в таблицу 4.

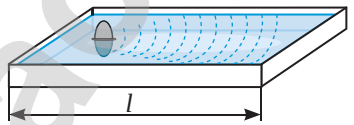


Рис. 3.

Таблица 4

№ п/п	Измерено		Вычислено	
	Время t, *с*	Длина кюветы l, *м*	Скорость волны υ, *м/с*	Среднее значение скорости волны $\upsilon_{ср}$, *м/с*
1				

5. Рассчитайте скорость волны для всех опытов, результаты занесите в таблицу.
6. Определите среднее значение скорости волны.
7. Оцените погрешность измерения скорости волны статистическим методом.
8. Запишите результат измерений в виде:
   $\upsilon = \upsilon_{ср} \pm \Delta\upsilon_{ср}$ *при* $\varepsilon = ... \cdot 100\ \%$.

Контрольный вопрос

Какие условия нужно создать для повышения точности измерения?

АРМАН-ПВ басылы

Приложение 2. Таблицы

Таблица 1. *Экваториальные координаты звезд*

Звезда	Название	Прямое восхождение, α	Склонение, δ
α – Тельца	Альдебаран	$04^h34'$	+16°28′
α – Орла	Альтаир	$19^h49'$	+08°48′
α – Скорпиона	Антарес	$16^h28'$	–26°23′
α – Волопаса	Арктур	$14^h14'$	+19°19′
α – Ориона	Бетельгейзе	$05^h53'$	+07°24′
α – Лиры	Вега	$18^h36'$	+38°47′
α – Лебедя	Денеб	$20^h40'$	+45°10′
α – Возничего	Капелла	$05^h14'$	+45°58′
α – Близнецов	Кастор	$07^h33'$	+31°57′
β – Близнецов	Поллукс	$07^h43'$	+28°05′
α – М. Медведицы	Полярная	$02^h07'$	+89°09′
α – М. Пса	Процион	$07^h38'$	+05°17′
α – Льва	Регул	$10^h07'$	+12°05′
β – Ориона	Ригель	$05^h13'$	–08°14′
α – Б. Пса	Сириус	$06^h44'$	–16°41′
α – Девы	Спика	$13^h23'$	–11°02′

Таблица 2. *Работа выхода металлов*

Вещество	Работа выхода электронов $A_{вых}$, эВ
Алюминий	4,25
Вольфрам	4,54
Золото	3,30
Медь	4,40
Олово	4,38
Ртуть	4,52
Свинец	4,0
Серебро	4,3
Цинк	4,24
Сталь	4,3
Барий	2,49
Германий	4,76
Кадмий	3,80
Калий	2,20
Литий	2,38
Натрий	2,35
Рубидий	2,16
Цезий	1,81

АРМАН-ПВ оастасы

Таблица 3. *Атомная масса изотопов химических элементов и элементарных частиц*

Изотоп	Масса атома, а.е.м.	Масса атома, МэВ
$^{0}_{-1}e$	0,00055	0,511
$^{1}_{1}p$	1,00728	938,26
$^{1}_{0}n$	1,00866	939,55
$^{1}_{1}H$	1,00783	938,26
$^{2}_{1}H$	2,01410	1875,58
$^{3}_{1}H$	3,01543	2808,87
$^{3}_{2}He$	3,01605	2809,45
$^{4}_{2}He$	4,00260	3728,42
$^{6}_{3}Li$	6,01512	5601,42
$^{7}_{3}Li$	7,01600	6533,72
$^{8}_{3}Li$	8,02065	7471,24
$^{6}_{4}Be$	6,01738	5605,19
$^{7}_{4}Be$	7,01457	6534,07
$^{8}_{4}Be$	8,02168	7472,20
$^{9}_{4}Be$	9,01219	8394,85
$^{9}_{5}B$	9,01038	8393,17
$^{10}_{5}B$	10,01294	9324,28
$^{11}_{5}B$	11,00930	10252,38
$^{11}_{6}C$	11,00788	10253,84
$^{12}_{6}C$	12,00000	11174,67
$^{13}_{6}C$	13,00335	12109,26
$^{14}_{6}C$	13,99961	13040,64
$^{14}_{7}N$	14,00307	13039,97
$^{15}_{7}N$	15,00010	13968,69
$^{16}_{8}O$	15,99491	14894,82
$^{17}_{8}O$	16,99913	15830,23
$^{17}_{9}F$	16,99676	15832,48
$^{27}_{13}Al$	27,98154	26064,80
$^{235}_{92}U$	235,04418	218242,32
$^{238}_{92}U$	238,05113	221743,28

АРМАН-ПВ базасы

Изотоп	Масса атома, а.е.м.	Масса атома, МэВ
$^{239}_{93}Np$	239,05320	222667,67
$^{239}_{94}Pu$	239,05242	222675,97

Таблица 4. *Период полураспада радиоактивных элементов*

Изотоп	Период полураспада	Безопасный период
Водород-3	12,3 года	123 года
Вольфрам-181	145 дней	1450 дней
Вольфрам-185	74,5 дней	745 дней
Вольфрам-187	24 часа	10 суток
Йод-131	8 суток	80 суток
Криптон-94	1,4 с	14 с
Кобальт-60	5,2 года	52 года
Олово-115	9,4 дня	94 дня
Радон-222	3,8 суток	38 суток
Рений-187	70 млрд лет	700 млрд лет
Хлор-38	37,7 мин	6,28 часа
Углерод-14	5730 лет	57300 лет
Уран-235	4,5 млрд лет	45 млрд лет

Таблица 5. *Сведения о Солнце, Земле и Луне*

Величины:	Солнце	Земля	Луна
Радиус, м	$7\cdot10^{8}$	$6{,}4\cdot10^{6}$	$1{,}74\cdot10^{6}$
Масса, кг	$2\cdot10^{30}$	$6\cdot10^{24}$	$7{,}35\cdot10^{22}$
Расстояния между небесными телами, м			
Между Солнцем и Землей			$1{,}5\cdot10^{11}$
Между Землей и Луной			$3{,}84\cdot10^{8}$

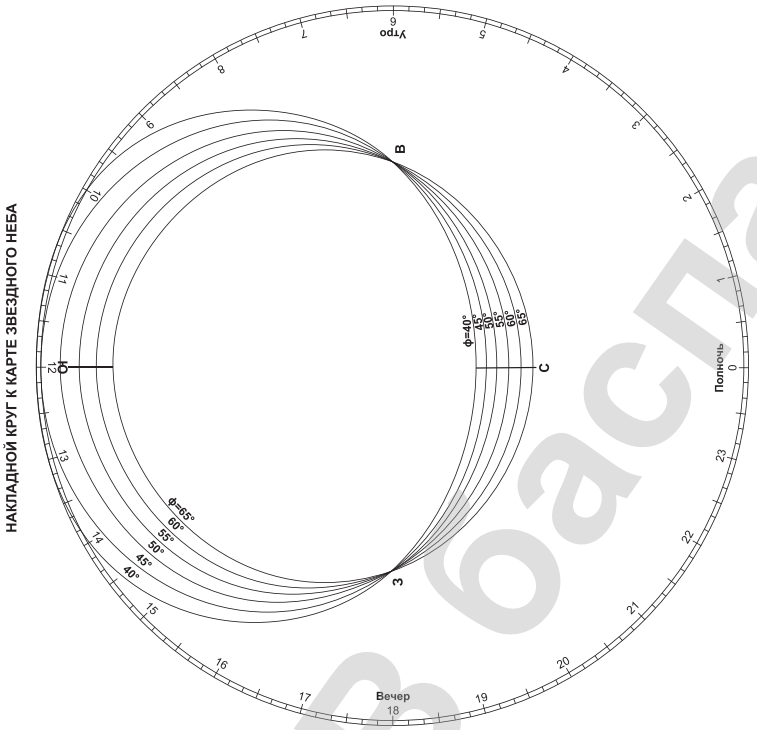
Таблица 6.

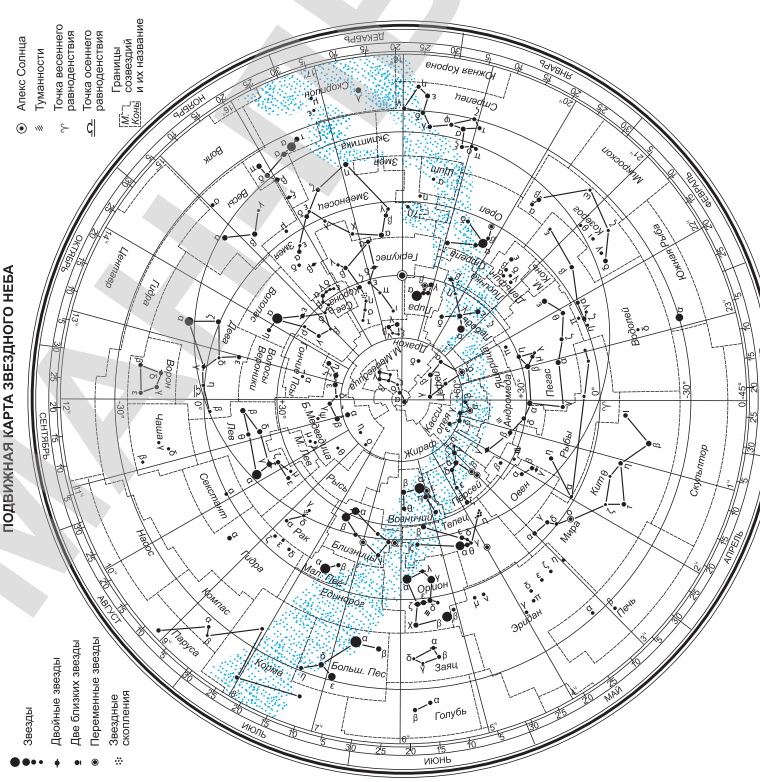
Греческий алфавит					
Α α	альфа	**Ι ι**	йота	**Ρ ρ**	ро
Β β	бета	**Κ κ**	каппа	**Σ σ**	сигма
Γ γ	гамма	**Λ λ**	лямбда	**Τ τ**	тау
Δ δ	дельта	**Μ μ**	мю	**Υ υ**	ипсилон
Ε ε	эпсилон	**Ν ν**	ню	**Φ ϕ**	фи
Ζ ζ	дзета	**Ξ ξ**	кси	**Χ χ**	хи
Η η	эта	**Ο ο**	омикрон	**Ψ ψ**	пси
Θ θ	тета	**Π π**	пи	**Ω ω**	омега

Латинский алфавит					
A a	а	**J j**	жи	**S s**	эс
B b	бе	**K k**	ка	**T t**	тэ
C c	це	**L l**	эль	**U u**	у
D d	де	**M m**	эм	**V v**	вэ
E e	э	**N n**	эн	**W w**	дубль-вэ
F f	эф	**O o**	о	**X x**	икс
G g	же	**P p**	пэ	**Y y**	игрек
H h	аш	**Q q**	ку	**Z z**	зет
I i	и	**R r**	эр		

АРШАН-ПВ баспасы

Приложение 3. Подвижная карта звездного неба




ПОДВИЖНАЯ КАРТА ЗВЕЗДНОГО НЕБА
Звезды
Двойные звезды
Две близких звезды
Переменные звезды
Звездные скопления
Апекс Солнца
Туманности
Точка весеннего равноденствия
Точка осеннего равноденствия
Границы созвездий и их название
Большая Медведица
Малая Медведица
Дракон
Волосы Вероники
Волопас
Геркулес
Лира
Лебедь
Орел
Змеиносец
Змея
Змеи
Стрелец
Скорпион
Весы
Дева
Лев
Рак
Близнецы
Возничий
Телец
Орион
Заяц
Голубь
Большой Пес
Корма
Парус
Компас
Гидра
Секстант
Рысь
Жираф
Кассиопея
Андромеда
Пегас
Рыбы
Овен
Кит
Эридан
Печь
Мирфак
Плеяды
Большая Медвежья
Малая Медвежья
Дракон
Цефей
Лисичка
Стрела
Орел
Дельфин
Лебедь
Лира
Геркулес

Ответы к упражнениям

Упр. 1. 1. С. **2.** 19 км/ч. **3.** 20 с. **4.** $\frac{n+1}{n-1}$.
Упр. 2. 2. 70 км; 50 км. **3.** 5 м; 4 м; –3 м.
Упр. 3. 1. 10 м/с. **2.** 2 м/с. **3.** 5 м/с, 2 м/с, 7,5 м.
Упр. 4. 1. 500 м. **2.** 10 с . **3.** $\upsilon_{1x} = 10 + 0{,}8t$, ускоренно; $\upsilon_{2x} = 2 - 2t$,замедленно, через 1 с ускоренно; $\upsilon_{3x} = -4 + 4t$, замедленно, через 1 с ускоренно $\upsilon_{4x} = -1 + 12t$, ускоренно.
Упр. 5. 1. 10 м/с. **2.** 20 м. **3.** 6 м.
Упр. 6. 1. 3,14 м/с. **2.** 0,16 м/с. **3.** 32.
Упр. 7. 1. 8 м/с^2. **2.** 20 м/с. **3.** а) 1:2; б) 2:1.
4. 8000 км, 1 ч 44 мин 40 с.
Упр. 8. 1. $4{,}1\cdot10^{15}$ км. **2.** 6,25. **3.** $8{,}5\cdot10^{26}$ кВт.
Упр. 10. 1. 53°. **2.** 60°. **3.** 6.
Упр. 11. 1. 1,84 земного года. **2.** 10^{22} кг.
Упр. 12. 1. 60′36′′; 54′19′′. **2.** 388,6. **3.** 3142 км.
Упр. 13. 2. 400 Н. **3.** 0,8.
Упр. 14. 1. 15 кН. **2.** 21 Н. **3.** $\frac{1}{\sqrt{3}}$, да.
Упр. 15. 1. 0,03 МН. **2.** 1 м/с^2. **3.** 2 кг.
Упр. 16. 1. Не разорвется. **2.** 200 Н.
Упр. 17. 1. $9R_3$. **2.** 8,2 Н. **3.** 8,8 м/с^2.
Упр. 18. 2. 1125 Н. **3.** 36 кН.
Упр. 19. 1. 45 м; 145 м. **2.** 70,7 м/с. **3.** 2. **4.** 311,4 м.
Упр. 20. 1. 16 $\frac{кг\cdot м}{с}$; 48 $\frac{кг\cdot м}{с}$; 16 Н. **2.** 4 м/с.
3. 360 г.
Упр. 21. 2. 6,4 м/с.
Упр. 22. 1. –100 Дж; 0; 100 Дж; 0. **2.** –100 Дж.
3. 96 Дж.
Упр. 23. 1. 10 м. **2.** 20 м. **3.** 56 Дж.
Упр. 24. 1. 2 с; 0,5 Гц. **2.** 0,05 м; 1 с;
1 Гц, 2π; π/2, 3π/2, 5π/2.
Упр. 25. 1. 2,8 Дж; 3,8 м/с. **2.** В 12 раз увеличится.
Упр. 26. 1. 3,2 Гц. **2.** 30 Н/м. **3.** 9:1.
Упр. 27. 1. 72 км/ч. **2.** 1 Гц; 1 с; 0,1 м.
Упр. 28. 1. 5 мкДж. **2.** 0,38 мс.
Упр. 29. 1. 2 м. **2.** 0,5 с; 2 Гц. **3.** 100 м.
Упр. 30. 1. 79 Гц, 1360 Гц. **2.** 5 км. **3.** 900 м.
Упр. 31. 1. 30 км. **2.** от 60 м до 190 м.
Упр. 32. 1. В 81. **2.** 56,7 $\frac{кВт}{м^2}$. **3.** ≈ 73,5 МВт.
Упр. 33. 1. $2{,}76\cdot10^{-19}$ Дж. **2.** 2,34 эВ.
3. $2{,}13\cdot10^{-19}$ Дж.
Упр. 34. 1. Да, да в первом. **2.** $3\cdot10^{-11}$ м.
3. $1{,}38\cdot10^{4}$ км/с; $2{,}4\cdot10^{20}$ Гц; да.
Упр. 35. 1. ${}^{4}_{2}He$ **2.** ${}^{215}_{84}Po$.
Упр. 36. 1. 0,49 мкм. **2.** $3{,}4\cdot10^{15}$ Гц.
Упр. 37. 2. 0,00236 а.е.м., 2,2 МэВ, 1,1 МэВ.
Упр. 38. 3. 17190 лет.
Упр. 39. 1. ${}^{239}_{92}U$ **2.** ${}^{239}_{94}Pu$.
Упр. 40. 1. 4,35 МэВ; 17,3 МэВ выделяется.

Ответы к домашним упражнениям

Упр. 1д. 1. Да, если движется в обратном направлении со скоростью эскалатора. **2.** 20 м/с. **3.** 0,1 ч.
Упр. 2д. 1. 620 м; 20° к направлению на север.
2. 14 м; 10 м. **3.** 5 м/с, 8,66 м/с.
Упр. 3д. 1. 43,2 км/ч. **2.** 10 м/с.
Упр. 4д. 1. 375 м. **2.** 100 м. **3.** а) 10 с; 40 м; б) 45 м; в) 120 м.
Упр. 5д. 1. 20 м. **2.** 5 м. **3.** 20 м.
Упр. 6д. 1. 125 км. **2.** 2. **3.** 60.
Упр. 7д. 1. 0,006 м/с^2. **2.** 25 м/ с^2; **3.** 2 м.
Упр. 8д. 1. $7{,}8\cdot10^{13}$ м. **2.** 39.
Упр. 10д. 1. Для Нур-Султана 47°40′, для Алматы 55°37′. **2.** 17 ч 20 мин. **3.** 11 ч.
Упр. 11д. 1. 12 лет.
Упр. 12д. 1. 1,22 млн.км. **2.** 2′12′′. **3.**109,2.
Упр. 13д. 2. 2,5 Н.
Упр. 14д. 1. 1,6 см. **2.** 0.
Упр. 15д. 1. 9,8 кг. **2.** 200 м/с^2. **3.** 2,4 м/с^2.
Упр. 16д. 2. 5 Н. **3.** 0,25 м/с^2, 0,2 м/с^2.
Упр. 17д. 1. 1 Н. 2. 3,8 м/с^2.
Упр. 18д. 2. 700 Н. **3.** 15 кН.
Упр. 19д. 1. 20 м. **2.** 1000 м. **3.** 9,8 м. **4.** 7,57 км/с, 96,5 мин.
Упр. 20д. 1. 9,8 кг. **2.** 14 $\frac{кг\cdot м}{с}$, 20 $\frac{кг\cdot м}{с}$, 0.
3. 3,6 м/с.
Упр. 21д. 1. да. **2.** 48 м/с; 115,2 м. **3.** 0,7 м/с.
Упр. 22д. 1. 4600 кДж. **2.** 10,8 МДж.
Упр. 23д. 1. 19 м/с; 10 м/с. **2.** 1 кН.
Упр. 24д. 1. 1,25 с, 0,8 Гц. **2.** 0,2 м, 4 с, 0,25 Гц, π/2; π, 2π, 3π.
Упр. 25д. 1. 0,244 м/с.
Упр. 26д. 1. 4 кг. **2.** 18 см, 50 см.
Упр. 27д. 1. Нет. **2.** 15 Гц; 1/15 с; 2,5 м.
Упр. 28д. 1. 50 мкДж. **2.** 50 пФ.
Упр. 29д. 1. 10 м. **2.** 2,4 м/с.
Упр. 30д. 1. 3,8 м, 3,8 см. **2.** Занижено на 0,58 с.
3. 0,4 с.
Упр. 31д. 1. 1,2 МГц. **2.** 37,7 км.
Упр. 32д. 1. В 16 раз. **2.** В 2 раза. **3.** ≈ 4,6 МВт.
Упр. 33д. 1. 260 нм. **2.** 4 эВ. **3.** 696 км/с. **4.** 204 нм, 234 нм.
Упр. 34д. 1. Больше в 100 раз. **2.** Может, практически полностью поглощается стеклом;
3. $3{,}1\cdot10^{-12}$ м.
Упр. 35д. 1. ${}^{235}_{92}U$. **2.** ${}^{224}_{88}Ra$
Упр. 36д. 1. 0,25 мкм. **2.** 0,49 мкм.
Упр. 37д. 2. 225 МэВ. **3.** ≈ 7,48 МэВ/нуклон.
4. ≈ 6 %.
Упр. 38д. 2. В 4 раза.
Упр. 39д. 2. ${}^{94}_{40}Zr$.
Упр. 40д. 1. 2,2 МэВ; **2.** 17,3 МэВ.

АРАНТІВ Жасы

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

ПЕРИОДЫ	РЯДЫ	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
		ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ									
1	1	H 1 ВОДОРОД 1,008 1						(H)		He 2 ГЕЛИЙ 4,003 2	K
2	2	Li 3 ЛИТИЙ 6,941 1 2	Be 4 БЕРИЛИЙ 9,012 2 2	5 B БОР 10,811 3 2	6 C УГЛЕРОД 12,011 4 2	7 N АЗОТ 14,00 5 2	8 O КИСЛОРОД 15,999 6 2	9 F ФТОР 18,998 7 2		Ne 10 НЕОН 20,179 8 2	L K
3	3	Na 11 НАТРИЙ 22,990 1 8 2	Mg 12 МАГНИЙ 24,305 2 8 2	13 Al АЛЮМИНИЙ 26,981 3 8 2	14 Si КРЕМНИЙ 28,085 4 8 2	15 P ФОСФОР 30,974 5 8 2	16 S СЕРА 32,064 6 8 2	17 Cl ХЛОР 35,453 7 8 2		Ar 18 АРГОН 39,948 8 8 2	M L K
4	4	K 19 КАЛИЙ 39,098 1 8 8 2	Ca 20 КАЛЬЦИЙ 40,08 2 8 8 2	Sc 21 СКАНДИЙ 44,956 2 9 8 2	Ti 22 ТИТАН 47,90 2 10 8 2	V 23 ВАНАДИЙ 50,941 2 11 8 2	Cr 24 ХРОМ 51,996 1 13 8 2	Mn 25 МАРГАНЕЦ 54,938 2 13 8 2	Fe 26 ЖЕЛЕЗО 55,847 2 14 8 2	Co 27 КОБАЛЬТ 58,933 2 15 8 2	Ni 28 НИКЕЛЬ 58,70 2 16 8 2	N M L K
	5	29 Cu МЕДЬ 63,546 1 18 8 2	30 Zn ЦИНК 65,38 2 18 8 2	31 Ga ГАЛЛИЙ 69,72 3 18 8 2	32 Ge ГЕРМАНИЙ 72,59 4 18 8 2	33 As МЫШЬЯК 74,922 5 18 8 2	34 Se СЕЛЕН 78,96 6 18 8 2	35 Br БРОМ 79,904 7 18 8 2		Kr 36 КРИПТОН 83,80 8 18 8 2	N M L K
5	6	Rb 37 РУБИДИЙ 85,468 1 8 18 8 2	Sr 38 СТРОНЦИЙ 87,62 2 8 18 8 2	Y 39 ИТТРИЙ 88,906 2 9 18 8 2	Zr 40 ЦИРКОНИЙ 91,22 2 10 18 8 2	Nb 41 НИОБИЙ 92,906 1 12 18 8 2	Mo 42 МОЛИБДЕН 95,94 1 13 18 8 2	Tc 43 ТЕХНЕЦИЙ 98,906 2 13 18 8 2	Ru 44 РУТЕНИЙ 101,07 1 15 18 8 2	Rh 45 РОДИЙ 102,905 1 16 18 8 2	Pd 46 ПАЛЛАДИЙ 106,42 0 18 18 8 2	O N M L K
	7	47 Ag СЕРЕБРО 107,868 1 18 18 8 2	48 Cd КАДМИЙ 112,41 2 18 18 8 2	49 In ИНДИЙ 114,82 3 18 18 8 2	50 Sn ОЛОВО 118,69 4 18 18 8 2	51 Sb СУРЬМА 121,75 5 18 18 8 2	52 Te ТЕЛЛУР 127,60 6 18 18 8 2	53 I ИОД 126,904 7 18 18 8 2		Xe 54 КСЕНОН 131,30 8 18 18 8 2	O N M L K
6	8	Cs 55 ЦЕЗИЙ 132,905 1 8 18 18 8 2	Ba 56 БАРИЙ 137,33 2 8 18 18 8 2	La * 57 ЛАНТАН 138,905 2 9 18 18 8 2	Hf 72 ГАФНИЙ 178,49 2 10 32 18 8 2	Ta 73 ТАНТАЛ 180,94 2 11 32 18 8 2	W 74 ВОЛЬФРАМ 183,85 2 12 32 18 8 2	Re 75 РЕНИЙ 186,207 2 13 32 18 8 2	Os 76 ОСМИЙ 190,2 2 14 32 18 8 2	Ir 77 ИРИДИЙ 192,22 2 15 32 18 8 2	Pt 78 ПЛАТИНА 195,09 1 17 32 18 8 2	P O N M L K
	9	79 Au ЗОЛОТО 196,966 1 18 32 18 8 2	80 Hg РТУТЬ 200,59 2 18 32 18 8 2	81 Tl ТАЛЛИЙ 204,37 3 18 32 18 8 2	82 Pb СВИНЕЦ 207,2 4 18 32 18 8 2	83 Bi ВИСМУТ 208,980 5 18 32 18 8 2	84 Po ПОЛОНИЙ [209] 6 18 32 18 8 2	85 At АСТАТ [210] 7 18 32 18 8 2		Rn 86 РАДОН [222] 8 18 32 18 8 2	P O N M L K
7	10	Fr 87 ФРАНЦИЙ [223] 1 18 32 18 8 2	Ra 88 РАДИЙ 226,025 2 8 18 32 18 8 2	Ac** 89 АКТИНИЙ [227] 2 9 18 32 18 8 2	Ku 104 КУРЧАТОВИЙ [261] 2 10 32 32 18 8 2	Ns 105 НИЛЬСБОРИЙ [261] 2 11 32 32 18 8 2	106 2 12 32 32 18 8 2	107 2 13 32 32 18 8 2	108 2 14 32 32 18 8 2		Q P O N M L K
ВЫСШИЕ ОКСИДЫ		R_2O	RO	R_2O_3	RO_2	R_2O_5	RO_3	R_2O_7	RO_4		
ЛЕТУЧИЕ ВОДОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ					RH_4	RH_3	H_2R	HR			

ЛАНТАНОИДЫ * 58 – 71

Ce 58 ЦЕРИЙ 140,12 2 8 20 18 8 2	Pr 59 ПРАЗЕОДИМ 140,908 2 8 21 18 8 2	Nd 60 НЕОДИМ 144,24 2 8 22 18 8 2	Pm 61 ПРОМЕТИЙ [145] 2 8 23 18 8 2	Sm 62 САМАРИЙ 150,4 2 8 24 18 8 2	Eu 63 ЕВРОПИЙ 151,96 2 8 25 18 8 2	Gd 64 ГАДОЛИНИЙ 157,25 2 9 25 18 8 2	Tb 65 ТЕРБИЙ 158,925 2 8 27 18 8 2	Dy 66 ДИСПРОЗИЙ 162,50 2 8 28 18 8 2	Ho 67 ГОЛЬМИЙ 164,930 2 8 29 18 8 2	Er 68 ЭРБИЙ 167,26 2 8 30 18 8 2	Tm 69 ТУЛИЙ 168,934 2 8 31 18 8 2	Yb 70 ИТТЕРБИЙ 173,04 2 8 32 18 8 2	Lu 71 ЛЮТЕЦИЙ 174,967 2 9 32 18 8 2	P O N M L K

АКТИНОИДЫ * 90 – 103

Th 90 ТОРИЙ 232,038 2 10 18 32 18 8 2	Pa 91 ПРОТАКТИНИЙ 231,036 2 9 20 32 18 8 2	U 92 УРАН 238,029 2 9 21 32 18 8 2	Np 93 НЕПТУНИЙ 237,048 2 9 22 32 18 8 2	Pu 94 ПЛУТОНИЙ [244] 2 8 24 32 18 8 2	Am 95 АМЕРИЦИЙ [243] 2 8 25 32 18 8 2	Cm 96 КЮРИЙ [247] 2 9 25 32 18 8 2	Bk 97 БЕРКЛИЙ [247] 2 9 26 32 18 8 2	Cf 98 КАЛИФОРНИЙ [251] 2 8 28 32 18 8 2	Es 99 ЭЙНШТЕЙНИЙ [254] 2 8 29 32 18 8 2	Fm 100 ФЕРМИЙ [257] 2 8 30 32 18 8 2	Md 101 МЕНДЕЛЕВИЙ [258] 2 8 31 32 18 8 2	(No) 102 НОБЕЛИЙ [255] 2 8 32 32 18 8 2	(Lr) 103 ЛОУРЕНСИЙ [256] 2 9 32 32 18 8 2	Q P O N M L K

Химический знак — Порядковый номер

Sc 21
СКАНДИЙ
44,956
2 9 8 2

Относительная атомная масса

Число электронов на данном энергетическом уровне

Название элемента

– s-элементы
– p-элементы
– d-элементы
– f-элементы

I энергетический уровень K
II энергетический уровень L
III энергетический уровень M
IV энергетический уровень N
V энергетический уровень O
VI энергетический уровень P
VII энергетический уровень Q

9 F
ФТОР
18,998
7
2

У элементов, которым соответствуют простые вещества – неметаллы, порядковые номера помещены в квадратике.

Mo 42
МОЛИБДЕН
95,94
1 13 18 8 2

У элементов, оксиды и гидроксиды которых проявляют амфотерные свойства, порядковые номера обведены кружочком.

Na 11
НАТРИЙ
22,990
1 8 2

У элементов, которым соответствуют простые вещества – металлы, порядковые номера особыми знаками не обозначены.

Учебный распаковщик

Предметно-именной указатель

Абсолютная звездная величина M 56
Азимут A 61
Акустический резонанс 178
Амплитуда 143
Абсолютно черное тело 190
Высота h 61
Вес тела 107
Вынужденные колебания 142
Горизонтальный параллакс 75
Гармонические колебания 144
Динамика 81
Длина волны 173
Дефект масс 220
Замкнутая система тел 123
Затухающие колебания 158
Звук 175
Инерциальные системы отсчета 83
Импульс тела 120
Импульс силы 120
Изотопы 219
Кинематика 6
Колебательная система 143
Колебательное движение 142
Колебательный контур 165
Красная граница фотоэффекта 198
Коэффициент размножения нейтронов 230
Критическая масса 230
Кульминация 66
Линейчатый спектр 213
Мгновенная скорость 41
Местное время 66
Механическая волна 170
Небесная сфера 58
Невесомость 109
Непрерывный или сплошной спектр 213
Нуклоны 219
Период 39
Проекция вектора 16
Прямолинейное равнопеременное движение 21
Поясное время 67
Прямое восхождение 59
Первая космическая скорость 115
Перегрузка 108
Полная механическая энергия 135
Положение равновесия 143
Поперечная волна 171
Продольная волна 170
Пирометр 191
Период полураспада 225
Работа 135
Реактивное движение 125
Радиолокация 185
Реверберация 179
Резонанс 159
Рентгеновское излучение 202
Рентгеновская трубка 203
Радиоактивность 207
Радиоизотопы 236
Свободное падение 33
Световой год 52
Склонение δ 59
Созвездие 54
Солнечные сутки 66
Свободные колебания 142
Смещение 143
Спектр 212
Спектральный анализ 216
Тепловое излучение 190
Термоядерная реакция 233
Угловое перемещение 40
Угловая скорость 40
Ускорение 20
Удельная энергия связи 221
Фотон 195
Фотоэффект 195
Фотоэлемент 198
Цепная ядерная реакция 229
Частота 39
Эклиптика 62
Электромагнитная волна 181
Электромагнитные колебания 165
Эхо 178
Эхолокация 179
Элементарные частицы 239
Энергия выхода 235
Энергия связи 221
Ядерная реакция 224
Ядерные силы 220

АЙМАН-ПРЕСС ЕАСПАСЫ

Список использованной литературы

1. Балашов М.М. Физика. Пробный учебник для 9 класса средней школы. – М.: «Просвещение», 1993.
2. Ванеев А.А., Дубицкая З.Г., Ярунина Е.Ф. Преподавание физики в 10 классе средней школы. – М.: «Просвещение», 1978.
3. ВанеевА.А., Корж Э.Д., Орехов В.П. Преподавание физики в 9 классе. – М.: «Просвещение», 1980.
4. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. – М.: 1976. – 464 с.
5. Воронцов-Вельяминов Б.А. Астрономия. Учебник для 11 классов средней школы. – М.: Просвещение, 1989.
6. Демидова М.Ю., Коровин В.А. Методический справочник учителя физики. – М.: Мнемозина, 2003.
7. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Физика. Учебник для 9 класса средней школы. – М.: Просвещение, 1992.
8. Классная физика: Образовательный сайт. Адрес сайта: class-fizika.narod.ru.
9. Ковжасарова М. Р. Технология обучения на основе системного подхода с использованием блочного системного структурированного представления изучаемого материала. Методические рекомендации. – Алматы: «Мектеп», 2003.
10. Мухамеджанова С.Т., Есназарова У.А., Жумагалиева С.Ж. Система организации научно-методической работы в школе. – ИПК г. Алматы, 2002.
11. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б. Физика. Учебник для 11 класса общеобразовательных учреждений. – М.: Просвещение, 1995.
12. Орехов В.П., Усова А.В., Турышев И.К. и др. Методика преподавания физики в 8–10 классах средней школы. – М.: «Просвещение», 1980 г.
13. Практикум по физике в средней школе: Дидакт. материал. /Буров В.А., Дик Б.С., Зворыкин Ю.И. и др. – М.: Просвещение, 1987.
14. Рымкевич А.П., Рымкевич П.А. Сборник задач по физике. – М.: «Просвещение», 1984.
15. Сборник задач по физике: Для 10–11 кл. общеобразовательных учреждений/Сост. Г.Н. Степанова. – М.: Просвещение, 2001.
16. Селевко Г.К. Современные образовательные технологии. – М.: Народное образование, 1998.
17. Физика: Еженедельник Издательского дома «Первое сентября». Адрес сайта: http://fiz. 1 september.ru.
18. «Физика». Перевод с английского Ахматова А.С. и др. – М.: «Наука», 1965.
19. Физический практикум для классов с углубленным изучением физики: Дидакт. материал: 9–11 кл./Дик Ю.И., Кабардин О.Ф., Орлов В.А. и др. – М.: Просвещение, 1993.

АРМАНПБ басылы

20. Шахмаев Н.М. и др. Физика. Учебник для 11 класса средних школ. – М.: Просвещение, 1991.
21. Элементарный учебник физики/под ред. акад. Г.С. Ландсберга. Главная редакция физико-математической литературы. Том I. – М.: 1975 г.
22. Эллиот Л., Уилкокс У. Физика./Перевод с английского под редакцией проф. А.И. Китайгородского. Главная редакция физико-математической литературы. – М.: «Наука», 1975 г.
23. Энциклопедия для детей. Том 8. Астрономия. – 2-е изд.,/глав.ред. Аксенова М.Д. – М.: Аванта, 2000.
24. https://kursiv.kz/news/issledovaniya/2015-11/samye-zagryaznennye-regiony-kazakhstana. Самые загрязненные регионы Казахстана.

Ссылки на иллюстрационные материалы

1. liter.kz
2. pdd.adrive.by
3. sputniknews.kz
4. www.shyu.ru
5. vse.kz
6. skisite.kz
7. starshop.kz
8. www.kakprosto.ru
9. www.voxpopuli.kz
10. spacegid.com
11. turbina.ru
12. vesti.kz
13. www.altyn-orda.kz
14. images2.popmeh.ru
15. www.blogodisea.com
16. almatyregion-tour.kz
17. ke.kz
18. too-kpa.kz
19. neurodoctor.ru
20. www.uhimik.ru
21. secrets-world.com
22. ellhnkaichaos.blogspot.com
23. alltheworldstokamaks.wordpress.com
24. www.energovector.com
25. www.svoboda.org
26. metalmininginfo.kz

АРМАН-ПВ баспасы

Содержание

Предисловие ... 4
Глава 1. Основы кинематики ... 5
§ 1. Механическое движение ... 6
§ 2. Векторы и действия над ними, проекция вектора на координатные оси ... 12
§ 3. Прямолинейное равнопеременное движение, ускорение ... 19
§ 4. Скорость и перемещение при прямолинейном равноускоренном движении ... 25
§ 5. Свободное падение тел, ускорение свободного падения ... 32
§ 6. Криволинейное движение, равномерное движение материальной точки по окружности. Линейная и угловая скорости ... 38
§ 7. Центростремительное ускорение ... 44
Глава 2. Основы астрономии ... 51
§ 8. Звездное небо ... 52
§ 9. Небесная сфера, системы небесных координат ... 58
§ 10. Видимое движение светил на различных географических широтах, местное, поясное и всемирное время ... 64
§ 11. Законы движения планет Солнечной системы ... 70
§ 12. Определение расстояний в астрономии методом параллакса ... 75
Глава 3. Основы динамики ... 81
§ 13. Первый закон Ньютона, инерциальные системы отсчета ... 82
§ 14. Силы в механике ... 87
§ 15. Второй закон Ньютона, масса ... 92
§ 16. Третий закон Ньютона ... 97
§ 17. Закон всемирного тяготения ... 102
§ 18. Вес тела, невесомость ... 107
§ 19. Движение тела под действием силы тяжести. Движение искусственных спутников Земли ... 112
Глава 4. Законы сохранения ... 119
§ 20. Импульс тела и импульс силы. Закон сохранения импульса ... 120
§ 21. Реактивное движение ... 125
§ 22. Механическая работа и энергия ... 130
§ 23. Закон сохранения и превращения энергии ... 135
Глава 5. Колебания и волны ... 141
§ 24. Колебательное движение ... 142
§ 25. Превращение энергии при колебаниях. Уравнение колебательного движения ... 147
§ 26. Колебания математического и пружинного маятников ... 153
§ 27. Свободные и вынужденные колебания, резонанс ... 158
§ 28. Свободные электромагнитные колебания ... 164
§ 29. Волновое движение ... 170
§ 30. Звук, характеристики звука, акустический резонанс, эхо ... 175
§ 31. Электромагнитные волны. Шкала электромагнитных волн ... 181
Глава 6. Строение атома, атомные явления ... 189
§ 32. Тепловое излучение ... 190
§ 33. Гипотеза Планка о световых квантах. Явление фотоэффекта ... 195
§ 34. Рентгеновское излучение ... 201
§ 35. Радиоактивность. Природа радиоактивных излучений ... 207
§ 36. Опыт Резерфорда, строение атома ... 211

АРШАН-ПВ баспасы

Глава 7. Атомное ядро 217
§ 37. Ядерное взаимодействие, ядерные силы.
Дефект масс, энергия связи атомных ядер 218
§ 38. Ядерные реакции, закон радиоактивного распада 224
§ 39. Деление тяжелых ядер, цепная ядерная реакция. Ядерный реактор 228
§ 40. Термоядерные реакции. Радиоизотопы, защита от радиации 233
§ 41. Элементарные частицы 239
Заключение. Современная физическая картина мира 245
§ 42. Мировоззренческое значение физики и астрономии 246
§ 43. Экологическая культура 250
Приложения. Лабораторные работы и таблицы 255
Приложение 1. Лабораторные работы 256
Лабораторная работа № 1.
Определение ускорения тела при равноускоренном движении 256
Лабораторная работа № 2.
Изучение движения тела, брошенного горизонтально 257
Лабораторная работа № 3.
Определение ускорения свободного падения с использованием математического маятника 258
Лабораторная работа № 4.
Определение скорости распространения поверхностной волны 260
Приложение 2. Таблицы 261
Приложение 3. Подвижная карта звездного неба 264
Ответы к упражнениям 265
Ответы к домашним упражнениям 265
Предметно-именной указатель 267
Список использованной литературы 268
Ссылки на иллюстрационные материалы 269

АРМАН-ПВ баспасы

Внимание

При необходимости вы всегда сможете найти содержание CD с электронным приложением на сайте *arman-pv.kz* и загрузить его на свой компьютер для дальнейшей работы

Учебное издание

Назифа Анваровна Закирова
Руслан Рауфович Аширов

ФИЗИКА

Учебник для 9 класса общеобразовательной школы

Художник	А. Айтжанов
Главный редактор	К. Караева
Редакторы	Б. Масакбаева, Г. Маликова, А. Бекболатова
Технический редактор	В. Бондарев
Художественный редактор	Е. Мельникова
Бильд-редактор	Ш. Есенкулова
Художник-оформитель	О. Подопригора
Дизайн обложки	В. Бондарев, О. Подопригора
Верстка	Л. Костина, С. Сулейменова, Т. Макарова

По вопросам приобретения обращайтесь по следующим адресам:
г. Нур-Султан, м-н 4, д. 2, кв. 55.
Тел.: 8 (7172) 92-50-50, 92-50-54. E-mail: astana@arman-pv.kz
г. Алматы, м-н Аксай 1А, д. 28Б.
Тел./факс: 8 (727) 316-06-30, 316-06-31. E-mail: info@arman-pv.kz

Книжный магазин «Арман-ПВ»
г. Алматы, ул. Алтынсарина, д. 87. Тел.: 8 (727) 303-94-43.

Сдано в набор 25.07.18. Подписано в печать 29.05.19. Формат 70x100 $^{1}/_{16}$. Бумага офсетная.
Гарнитура «Times New Roman». Печать офсетная. Объем 21,93 усл. печ. л. Тираж 80000 экз.

Артикул 809-009-001р-19

АРМАН-ПВ баспасы