

Формирование основ современного научного мировоззрения в базовом курсе физики на основе УМК "Физика. Сферы" (10-11 классы)

ЛИНИИ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ КОМПЛЕКТОВ

С Ф Е Р Ы

Ломаченков И.А., Белага В.В., Панебратцев Ю.А.





ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНИКОВ

рекомендуемых к использованию при реализации имеющих государственную аккредитацию образовательных программ начального общего, основного общего, среднего общего образования, утверждённого приказом Минпросвещения России от **28 декабря 2018** года № 345.

Учебники, рекомендуемые к использованию при реализации обязательной части основной образовательной программы.

| Порядковый номер учебника | Автор/авторский коллектив | Наименование учебника | Класс | Наименование издателя(ей) учебника | Адрес страницы об учебнике на сайте издателя |
|---------------------------|--|-----------------------------|-------|------------------------------------|---|
| 1.2.5.1.1.1 | Белага В.В., Ломаченков И.А., Панебратцев Ю.А. | Физика | 7 | АО «Издательство «Просвещение» | http://catalog.prosv.ru/item/25887 |
| 1.2.5.1.1.3 | Белага В.В., Ломаченков И.А., Панебратцев Ю.А. | Физика | 8 | АО «Издательство «Просвещение» | http://catalog.prosv.ru/item/25890 |
| 1.2.5.1.1.3 | Белага В.В., Ломаченков И.А., Панебратцев Ю.А. | Физика | 9 | АО «Издательство «Просвещение» | http://catalog.prosv.ru/item/25893 |
| 1.3.5.1.1.1 | Белага В.В., Ломаченков И.А., Панебратцев Ю.А. | Физика (базовый уровень) | 10 | АО «Издательство «Просвещение» | http://catalog.prosv.ru/item/25883 |
| 1.3.5.1.1.2 | Белага В.В., Ломаченков И.А., Панебратцев Ю.А. | Физика (базовый уровень) | 11 | АО «Издательство «Просвещение» | http://catalog.prosv.ru/item/25884 |



УМК "Физика. Сферы" 10-11 классы (базовый уровень)



Белага В.В., Ломаченков И.А., Панебратцев Ю.А.
Физика. 10 класс. Базовый уровень. Учебник для
общеобразовательных организаций



Артеменков Д. А., Дюндин А.В., Кислякова Е.В.
Физика.10 класс. Задачник. Базовый уровень



Белага В.В., Ломаченков И.А., Панебратцев Ю.А.
Физика. 11 класс. Базовый уровень. Учебник для
общеобразовательных организаций



Артеменков Д. А., Дюндин А.В., Кислякова Е.В.
Физика.11 класс. Задачник. Базовый уровень



Артеменков Д. А., Воронцова Н. И., Жумаев В. В.
Физика. Сборник примерных рабочих программ.
Предметные линии учебников "Сферы".
7-9 классы, 10-11 классы.
Базовый уровень



Воронцова Н.И. ФИЗИКА
Поурочное тематическое планирование
Пособие для учителей общеобразовательных
организаций



Базовый уровень изучения физики в 10 – 11 классах

- Часов – 140 (2 часа в неделю)
- Может изучаться в **универсальном профиле**



**ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ РАЗДЕЛ
ПРИМЕРНОЙ ОСНОВНОЙ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ
ПРОГРАММЫ СРЕДНЕГО
ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

| Предметная область | Учебный предмет | Уровень | Кол.-во ч. |
|---|--|----------|------------|
| Русский язык и литература | Русский язык | Б | 70 |
| | Литература | Б | 210 |
| Родной язык и литература | Родная литература / Родной язык | Б | |
| Математика и информатика | Математика: алгебра и начала мат. анализа, геометрия | У | 420 |
| | Информатика | Б | 70 |
| Иностранные языки | Иностранный язык | Б | 210 |
| Естественные науки | Физика | Б | 140 |
| Общественные науки | История | У | 280 |
| | Обществознание | Б | 140 |
| Физическая культура, экология и основы безопасности жизнедеятельности | Физическая культура | Б | 210 |
| | Основы безопасности жизнедеятельности | Б | 70 |
| | Индивидуальный проект | ЭК | 70 |
| | Технология | ЭК | 280 |
| | Астрономия | ФК | 70 |
| | Предметы и курсы по выбору | ФК | 210 |



Варианты использования УМК





Содержание учебника 10 класса

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 5

РАЗДЕЛ I. МЕХАНИКА

Механика как фундамент современной картины мира 7

Глава 1. КИНЕМАТИКА

| | |
|---|----|
| 1. Пространство и время | 10 |
| 2. Механическое движение | 12 |
| 3. Способы описания движения тела | 14 |
| 4. Равномерное прямолинейное движение | 16 |
| 5. Классический закон сложения скоростей | 18 |
| 6. Неравномерное движение | 20 |
| 7. Равнопеременное прямолинейное движение | 22 |
| 8. Движение с ускорением свободного падения | 26 |
| 9. Движение по окружности | 30 |
| Решение задач | 32 |
| Подведём итоги | 34 |

Глава 2. ДИНАМИКА

| | |
|--|----|
| 10. Сила. Измерение сил | 36 |
| 11. Инерция. Первый закон Ньютона | 38 |
| 12. Взаимосвязь силы и ускорения. Второй закон Ньютона | 40 |
| 13. Взаимодействие тел. Третий закон Ньютона | 42 |
| 14. Закон всемирного тяготения | 44 |
| 15. Движение под действием силы тяготения | 46 |
| 16. Вес тела | 48 |
| 17. Сила трения | 50 |
| Решение задач | 52 |
| Подведём итоги | 54 |

Глава 3. СТАТИКА

| | |
|--|----|
| 18. Условия равновесия невращающегося тела | 56 |
| 19. Равновесие тел с закреплённой осью вращения. Устойчивость равновесия | 58 |
| Решение задач | 60 |
| Подведём итоги | 62 |

Глава 4. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

| | |
|--|----|
| 20. Механическая работа | 64 |
| 21. Мощность | 66 |
| 22. Энергия | 68 |
| 23. Потенциальная энергия | 70 |
| 24. Кинетическая энергия | 72 |
| 25. Закон сохранения энергии. Относительность механической энергии | 74 |
| 26. Работа сил трения и механическая энергия | 76 |
| 27. Импульс | 78 |
| 28. Закон сохранения импульса | 80 |
| 29. Реактивное движение | 82 |
| Решение задач | 84 |
| Подведём итоги | 86 |

РАЗДЕЛ II. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Атом — от гипотезы Демокрита до таблицы Менделеева 87

Глава 5. ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

| | |
|--|----|
| 30. Основные положения молекулярно-кинетической теории | 90 |
|--|----|

| | |
|--|-----|
| 31. Основная цель молекулярно-кинетической теории | 94 |
| 32. Количество вещества. Молярная масса | 96 |
| 33. Строение газообразных, жидких и твёрдых тел | 98 |
| 34. Идеальный газ. Давление газа. Средняя скорость движения молекул газа | 100 |
| 35. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории | 102 |
| 36. Экспериментальное определение скорости движения молекул. Опыт Штерна | 104 |
| 37. Температура. Тепловое равновесие. Термометры | 106 |
| 38. Изопроцессы. Закон Гей-Люссака. Абсолютная температура | 108 |
| 39. Закон Бойля-Мариотта. Закон Шарля | 110 |
| 40. Уравнение состояния идеального газа | 112 |
| 41. Температура и средняя кинетическая энергия молекул | 114 |
| Решение задач | 116 |
| Подведём итоги | 118 |

Глава 6. ВЗАИМНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ГАЗОВ, ЖИДКОСТЕЙ И ТВЁРДЫХ ТЕЛ

| | |
|---|-----|
| 42. Агрегатные состояния вещества | 120 |
| 43. Испарение. Насыщенный и ненасыщенный пар. Кипение | 122 |
| 44. Влажность | 124 |
| 45. Кристаллические и аморфные тела | 126 |
| Подведём итоги | 128 |

РАЗДЕЛ III. ВВЕДЕНИЕ В ТЕРМОДИНАМИКУ

От паровой машины до реактивного двигателя 129

Глава 7. ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

| | |
|--------------------------------|-----|
| 46. Внутренняя энергия | 132 |
| 47. Количество теплоты | 134 |
| 48. Работа в термодинамике | 136 |
| 49. Первый закон термодинамики | 138 |
| 50. Второй закон термодинамики | 140 |
| 51. Тепловые двигатели | 142 |
| Решение задач | 144 |
| Подведём итоги | 146 |

РАЗДЕЛ IV. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

Мир электрических явлений 147

Глава 8. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

| | |
|--|-----|
| 52. Электрический заряд. Электризация тел | 150 |
| 53. Закон Кулона | 152 |
| 54. Электрическое поле | 154 |
| 55. Напряжённость электрического поля | 156 |
| 56. Проводники и диэлектрики в электрическом поле | 158 |
| 57. Работа в электрическом поле. Потенциал | 160 |
| 58. Электрическая ёмкость. Конденсаторы | 162 |
| 59. Энергия заряженного конденсатора. Применение конденсаторов | 164 |
| 60. Соединения конденсаторов | 165 |
| Решение задач | 166 |
| Подведём итоги | 168 |

Глава 9. ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

| | |
|---|-----|
| 61. Электрический ток | 170 |
| 62. Закон Ома. Сопротивление проводника | 172 |
| 63. Соединения проводников | 174 |
| 64. Работа и мощность тока | 176 |

| | |
|---|-----|
| 65. Электродвижущая сила. Закон Ома для полной цепи | 178 |
| Решение задач | 180 |
| Подведём итоги | 182 |

Глава 10. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

| | |
|--|-----|
| 66. Природа электрического тока в металлах | 184 |
| 67. Электрический ток в электролитах | 186 |
| 68. Электрический ток в газах | 188 |
| 69. Электрический ток в вакууме | 190 |
| 70. Электрический ток в полупроводниках | 192 |
| Подведём итоги | 196 |

Физика в вопросах и ответах 197

Лабораторные работы 206

Предметно-тематический указатель 222

ВВЕДЕНИЕ

Учебник физики для 10 класса, который вы держите в руках, предназначен для тех, кто выбрал изучение физики на базовом уровне. Этим определяются стиль изложения материала, его структура и уровень сложности. Знание законов физики сегодня необходимо для того, чтобы стать успешным специалистом в самых разных областях: медицине, информационных технологиях, инженерных науках, биологии, химии и экологии. Современный человек должен владеть основами естественно-научной картины мира, в котором он живёт, а также понимать, как работают те многочисленные технические устройства, которые его окружают. Интересно, что мобильный телефон, который сегодня есть практически у каждого школьника, содержит технические решения, которые базируются на физических открытиях, заслуживших большое количество Нобелевских премий по физике.

Также мы ориентировались и на тех, кто в течение 10—11 классов так заинтересуется физикой, что захочет сдать Единый государственный экзамен по этому предмету. Для этого в учебнике содержится и материал повышенной сложности, который поможет в подготовке к этому непростому экзамену.

Знание физики позволит вам сориентироваться в огромном потоке информации и поможет отличить реальные факты от гипотез, домыслов и фантазий.

Физика — экспериментальная наука, поэтому, изучая физику, вы научитесь выполнять различные опыты и экспериментальные исследования, проводить измерения, анализировать их и делать соответствующие выводы и обобщения.

Физика и её законы являются ядром естествознания, поэтому, изучая физику, мы стараемся ответить на самые разнообразные вопросы об окружающем нас мире. Великий физик первой половины XX в. Альберт Эйнштейн писал: «Самое непостижимое в мире — то, что он постижим». Хотелось бы, чтобы, изучая физику, вы почувствовали настоящий интерес к этой науке и к более глубокому пониманию законов окружающего мира. Как говорил А. Эйнштейн, «очень важно не перестать задавать вопросы. Любопытство не случайно дано человеку».

Желаем вам успехов на пути постижения новых знаний!



Содержание учебника 11 класса

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Работаем с учебником | 6 |
| РАЗДЕЛ I. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ (ПРОДОЛЖЕНИЕ) | |
| Электричество и магнетизм — великое объединение | 7 |
| Глава 1. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ | |
| 1. Магнитные взаимодействия | 10 |
| 2. Магнитное поле. Индукция магнитного поля | 12 |
| 3. Сила Ампера | 14 |
| 4. Действие магнитного поля на движущиеся заряды. Сила Лоренца | 16 |
| 5. Электромагнитная индукция | 18 |
| 6. Правило Ленца. Закон электромагнитной индукции | 20 |
| 7. Индукционное электрическое поле | 22 |
| 8. Самоиндукция. Энергия магнитного поля | 24 |
| Решение задач | 26 |
| Подведём итоги | 28 |
| РАЗДЕЛ II. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ | |
| От маятника к электромагнитным полям | 29 |
| Глава 2. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ | |
| 9. Механические колебания. Характеристики колебательного движения | 32 |
| 10. Пружинный и математические маятники. Гармонические колебания | 34 |
| 11. Превращение энергии колебаний. Затухающие колебания | 36 |
| 12. Решение уравнений свободных гармонических колебаний | 38 |
| 13. Вынужденные колебания. Резонанс | 40 |
| Решение задач | 42 |
| Подведём итоги | 44 |
| Глава 3. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ | |
| 14. Электромагнитные колебания | 46 |
| 15. Вынужденные электромагнитные колебания. Переменный ток | 48 |
| 16. Уравнение свободных гармонических колебаний в контуре. Формула Томсона | 50 |
| 17. Мощность переменного тока. Действующие значения тока и напряжения | 52 |
| 18. Производство и потребление электроэнергии | 54 |
| 19. Передача электрической энергии. Трансформатор | 56 |
| Решение задач | 58 |
| Подведём итоги | 60 |
| Глава 4. МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ | |
| 20. Волновые явления | 62 |
| 21. Длина волны. Скорость распространения волны | 64 |
| 22. Звуковые колебания и волны. Свойства звука | 66 |
| 23. Интерференция волн. Дифракция волн | 68 |
| Подведём итоги | 70 |
| Глава 5. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ | |
| 24. Электромагнитные волны | 72 |
| 25. Экспериментальное открытие электромагнитных волн | 74 |
| 26. Изобретение радио. Принципы радиосвязи | 76 |
| Подведём итоги | 78 |

| | |
|---|-----|
| РАЗДЕЛ III. ОПТИКА | |
| Свет и цвет | 79 |
| Глава 6. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА | |
| 27. Световые лучи. Отражение света | 82 |
| 28. Преломление света | 84 |
| 29. Полное внутреннее отражение света | 86 |
| 30. Плоское зеркало. Линзы | 88 |
| 31. Глаз как оптическая система | 92 |
| 32. Оптические приборы | 94 |
| Решение задач | 98 |
| Подведём итоги | 100 |
| Глава 7. СВЕТОВЫЕ ВОЛНЫ. ИЗЛУЧЕНИЯ И СПЕКТРЫ | |
| 33. Скорость света | 102 |
| 34. Дисперсия света | 104 |
| 35. Принцип Гюйгенса. Законы отражения и преломления световых волн | 106 |
| 36. Интерференция света | 108 |
| 37. Дифракция света | 110 |
| 38. Примеры использования интерференции и дифракции света | 112 |
| 39. Поперечность световых волн. Поляризация света | 114 |
| 40. Цвет | 116 |
| 41. Виды спектров. Спектральный анализ | 118 |
| 42. Спектр электромагнитных излучений | 120 |
| Решение задач | 122 |
| Подведём итоги | 124 |
| РАЗДЕЛ IV. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ | |
| От классической физики к теории относительности | 125 |
| Глава 8. СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ | |
| 43. Постулаты специальной теории относительности. Одновременность | 128 |
| 44. Преобразования Галилея и преобразования Лоренца | 130 |
| 45. Лоренцево сокращение длины. Замедление времени | 132 |
| 46. Релятивистский закон сложения скоростей | 134 |
| 47. Четырёхмерное пространство—время | 135 |
| 48. Релятивистские масса, энергия, импульс | 136 |
| Решение задач | 138 |
| Подведём итоги | 140 |
| РАЗДЕЛ V. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА | |
| Физика микрокосмоса | 141 |
| Глава 9. СВЕТОВЫЕ КВАНТЫ. АТОМНАЯ ФИЗИКА | |
| 49. Фотоэлектрический эффект. Законы фотоэффекта | 144 |
| 50. Квантовая гипотеза Планка. Квантовая теория фотоэффекта | 146 |
| 51. Давление света. Волновые и корпускулярные свойства света | 148 |
| 52. Модели строения атома. Опыт Резерфорда | 150 |
| 53. Атом Бора | 152 |
| 54. Атом и квантовая механика | 154 |
| 55. Лазер | 156 |
| Решение задач | 158 |
| Подведём итоги | 160 |

| | |
|---|-----|
| Глава 10. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ | |
| 56. Радиоактивность | 162 |
| 57. Радиоактивные превращения. Закон радиоактивного распада | 164 |
| 58. Состав и строение атомного ядра | 166 |
| 59. Ядерные силы. Ядерные реакции | 168 |
| 60. Энергия связи атомных ядер. Энергетический выход ядерных реакций | 170 |
| 61. Ядерные реакции деления. Цепные ядерные реакции | 172 |
| 62. Ядерный реактор. Атомная энергетика | 174 |
| 63. Термоядерные реакции | 176 |
| 64. Влияние радиоактивного излучения на живые организмы. Дозиметрия | 178 |
| 65. Элементарные частицы | 180 |
| 66. Фундаментальные взаимодействия и классификация элементарных частиц | 182 |
| 67. Приборы для наблюдения и регистрации элементарных частиц | 184 |
| Решение задач | 186 |
| Подведём итоги | 188 |
| РАЗДЕЛ VI. АСТРОНОМИЯ (ВСЕЛЕННАЯ) | |
| Физика макрокосмоса | 189 |
| Глава 11. СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ | |
| 68. Развитие представлений о строении мира. Законы движения планет | 192 |
| 69. Физические величины и их измерение в астрономии | 194 |
| 70. Строение Солнечной системы | 196 |
| 71. Солнце | 200 |
| 72. Звёзды | 204 |
| 73. Строение и эволюция звёзд | 206 |
| 74. Галактики | 208 |
| 75. Рождение и эволюция Вселенной | 212 |
| 76. Современные методы исследования Вселенной | 216 |
| Решение задач | 220 |
| Подведём итоги | 222 |
| Заключение | 223 |
| Лабораторные работы | 224 |
| Предметно-тематический указатель | 235 |



Основные цели изучения физики на базовом уровне, выходящие «за пределы» предметных знаний

- **Сохранить (развить) интерес и мотивацию** для изучения физики и других естественных наук в школе и на протяжении будущей жизни
- Сформировать **представления о современной естественно-научной картине мира**, в которой физика, как наука, играет системообразующую роль.
- Сформировать компетентную личность, способную **применять полученные знания по физике в повседневной жизни, умеющую объяснять разнообразные физические явления, понимающую роль и значение физики в развитии современных технологий, решении проблем энергетики и защиты окружающей среды**, осознающую важность использования достижений науки на благо развития человеческой цивилизации.
- Развить умения наблюдать природные явления, выполнять опыты, лабораторные работы и экспериментальные исследования с использованием измерительных приборов, проводить измерения, оценивать погрешности измерений, обрабатывать полученные данные с учетом этих погрешностей и делать соответствующие выводы и обобщения.
- Сформировать **понимание отличий научных данных от непроверенной информации**, ценности науки для удовлетворения бытовых, производственных и культурных потребностей человека.



Предисловия к разделам

- i. Механика. МЕХАНИКА КАК ФУНДАМЕНТ СОВРЕМЕННОЙ КАРТИНЫ МИРА
- ii. Молекулярная физика. АТОМ — ОТ ГИПОТЕЗЫ ДЕМОКРИТА ДО ТАБЛИЦЫ МЕНДЕЛЕЕВА
- iii. Введение в термодинамику. ОТ ПАРОВОЙ МАШИНЫ ДО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ
- iv. Основы электродинамики. МИР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ
ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ — ВЕЛИКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
- i. Колебания и волны. ОТ МАЯТНИКА К ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЯМ
- ii. Оптика. СВЕТ И ЦВЕТ
- iii. Элементы теории относительности. ОТ КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ К ТЕОРИИ
ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
- iv. Квантовая физика. ФИЗИКА МИКРОКОСМОСА
- v. Астрономия (Вселенная). ФИЗИКА МАКРОКОСМОСА

- Сформировать представления о современной естественно-научной картине мира, в которой физика, как наука, играет системообразующую роль
- Помочь учащимся почувствовать драматизм истории формирования современной картины мира, а также понять, что физика является «живой» наукой, которая постоянно развивается.



Предисловие к разделам

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

125

ОТ КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ К ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ



К концу XIX в. уже были созданы классическая механика и физика тепловых явлений — молекулярная физика и термодинамика, изучены электрические и магнитные явления и их взаимосвязь, обнаружены электромагнитные волны и установлено, что свет также является электромагнитной волной. Американский физик А. Майкельсон в конце XIX в. сказал: «Все основные физические принципы уже открыты ... поиск физических истин теперь ограничен лишь уточнением цифр в шестом знаке после запятой». Однако жизнь опровергла этот прогноз.

В физике того времени существовало представление, что мировое пространство заполнено эфиром — невидимой и неосознаваемой субстанцией, в которой электромагнитные волны распространяются наподобие того, как в воздухе распространяются звуковые волны. Из уравнений Максвелла следовало, что свет — это электромагнитная волна, которая распространяется в пространстве с конечной скоростью. При этом сам Максвелл также считал, что распространение света происходит в эфире. В 1887 г. американские физики Майкельсон и Морли решили провести эксперимент, в котором хотели доказать существование эфира и измерить скорость движения Земли относительно него. К их удивлению, свет, испущенный по направлению движения Земли, и свет, испущенный перпендикулярно направлению движения Земли, одно и то же расстояние проходил за одно и то же время, т. е. скорость света в этих опытах не зависела от скорости движения источника. Эти результаты противоречили принципу относительности Галилея и закону сложения скоростей.

Разрешить это противоречие удалось А. Эйнштейну в 1905 г., когда он заложил основы специальной теории относительности. В работе «Эволюция физики» он писал: «Создание новой теории не похоже на разрушение старого амбара и возведение на его месте небоскреба. Оно скорее похоже на восхождение на гору, которое открывает новые и широкие виды, показывающие неожиданные связи между нашей отравленной точкой и её богатым окружением. Но точка, от которой мы отправлялись, ещё существует и может быть видна, хотя она кажется меньше и составляет крохотную часть открывшегося нашему взору обширного ландшафта».

Остановимся подробнее на противоречиях, которые привели к открытию теории относительности и в конечном итоге к рождению современной физики. Принцип относительности Галилея, который лёг в основу первого закона Ньютона, гласит: «Если законы механики справедливы в одной системе координат, то они справедливы и в любой другой системе, движущейся прямолинейно и равномерно относительно первой». Для иллюстрации принципа относительности Галилей использует пример с кораблём, Эйнштейн — пример с поездом. Суть этих примеров состоит в том, что если окна в помещении плотно закрыты, то никакие физические опыты и самые точные измерения

126

не позволяют нам отличить равномерное прямолинейное движение от состояния покоя. При этом установить скорость равномерного прямолинейного движения нашей системы отсчёта мы можем только относительно другой известной нам системы отсчёта.

Представим себе летательный аппарат, движущийся в межзвёздном пространстве (вакууме) со скоростью v и испускающий луч света. Известно, что свет — это электромагнитная волна, и скорость её распространения в вакууме $c = 300\,000\,000\text{ м/с}$. Тогда для неподвижного относительно звёздолёта наблюдателя свет должен был распространяться со скоростью $c + v$ по направлению движения и со скоростью $c - v$ в противоположном направлении. Однако ни один опыт не подтвердил зависимости скорости света от скорости движения его источника, во всех экспериментах скорость света в вакууме оставалась постоянной для различных систем отсчёта.

Получалось, что либо принцип относительности Галилея пригоден только для механики и не распространяется на электромагнитные явления, либо для преодоления сложившегося противоречия нужно изменить уравнения Максвелла таким образом, чтобы скорость света не менялась при переходе от одной инерциальной системы отсчёта к другой при применении классических преобразований скоростей. Такую попытку предпринял, например, Герц. Но все попытки видоизменить уравнения электродинамики также оказались неудачными и не прошли проверку экспериментом. Выход из сложившейся ситуации удалось найти гениальному физiku А. Эйнштейну. В 1905 г., в возрасте 26 лет, Эйнштейн опубликовал в журнале «Annalen» («Annals of Physics») статью «К электродинамике движущихся тел», в которой мултировал более общий принцип относительности, применимый и к законам магнетизма, и к механике. Тем самым были заложены основы специальной теории относительности (СТО). Одним из следствий этой теории является то, что движение невозможно обнаружить в эксперименте: «Я из общих соображений убежден в отсутствии абсолютного движения...» — писал позже Новава теория не только объяснила противоречия, о которых говорилось, позволила сформировать новый взгляд на такие фундаментальные понятия пространства и времени. Специальная теория относительности неоднократно подтверждена экспериментально, например в физике высоких энергий.

Если в специальной теории относительности Эйнштейн коренным образом наши представления о пространстве и времени, то в общей теории (теории, созданной в 1915 г., он связал гравитацию с геометрией пространства) эти идеи, Эйнштейн выдвинул чрезвычайно красивую гипотезу, на которую его известная теория гравитации... Это, пожалуй, одна из самых красивых физических теорий», — писал Луи де Бройль в книге «Революция в физике Эйнштейна произвели коренную ломку существующих на тот момент перед, однако эти работы не опровергли работ Галилея и Ньютона.

ФИЗИКА МИКРОКОСМОСА

Конец XIX — начало XX в. ознаменовались чередой великих открытий в области физики, не только кардинально изменивших сложившуюся к этому времени картину мира, но и послуживших толчком для необычайно быстрого прогресса в технике и технологиях. К таким открытиям можно отнести: открытие рентгеновского излучения (1895); открытие Томпсоном электрона (1897); открытие Беккерелем явления радиоактивности (1896); гипотезу Планка о квантовой природе света (1900); открытие Резерфордом атомного ядра (1911); квантовую модель атома Бора (1913).

Эти открытия позволили физикам понять структуру атома. Стало абсолютно ясно, что законы классической физики неприменимы для объектов микромира, которые подчиняются другим законам — законам квантовой механики. Эти законы были разработаны блестящей плеядой физиков, среди которых были Гейзенберг, Шрёдингер, Паули, Дирак, Ландау, Фок и др.

Э. Резерфордом в 1919 г. была осуществлена первая ядерная реакция, в которой он бомбардировал атомы азота α -частицами и в результате получил атомы кислорода и водорода.

А. Эйнштейн в 1905 г. создал специальную теорию относительности, а в 1915 г. — общую теорию относительности и написал свою знаменитую формулу, связывающую массу и энергию. В 1939 г. О. Ханом и Ф. Штрассманом было открыто деление ядер урана, а в 1940 г. советскими физиками Г. Н. Флеровым и К. А. Петражком было открыто спонтанное деление урана. Стало ясно, что понимание законов квантовой механики и связи массы и энергии даёт человечеству возможность доступа к огромным запасам энергии, скрытым внутри атомных ядер. Формула Эйнштейна $E = mc^2$ стала символом XX в.

Вместе с тем впервые человечество столкнулось с огромной проблемой, когда результаты научных исследований стали не только источником знаний об окружающем нас мире, но и огромной опасностью, связанной с использованием этих знаний для производства оружия массового поражения страшной разрушительной силы. Фактически применение такого оружия ставит под угрозу жизнь на Земле и само существование человечества.

Несмотря на то что квантовая механика — это сложный раздел физики, объясняющий физические процессы внутри атома (расстояния порядка 10^{-10} м), трудно сейчас найти какую-нибудь область нашей жизни, где не применились бы достижения этого раздела физики. Мобильные телефоны, планшетные компьютеры, телевизоры с жидкокристаллическим экраном, лазерные диски, современная электроника на основе интегральных микросхем, применение в медицине лазеров, томографов, радиоизотопов — все это примеры использования квантовой механики в технических устройствах.

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

141

142



Вспомним, что слово «атом» в переводе с древнегреческого означает «неделимый». Но учёные «разделили» атом. Сегодня мы знаем, что атом состоит из атомного ядра и электронов, а само ядро — из протонов и нейтронов. Если размеры атома составляют величины порядка 10^{-10} м , то размеры протонов и нейтронов — это величины порядка 10^{-14} м . Возникает вопрос: протоны и нейтроны — это действительно элементарные, т. е. неделимые, частицы? Или они сами состоят из каких-то других, более мелких «киришечек» материи? Есть ли ещё какие-то частицы, кроме электронов, протонов, нейтронов и квантов света — фотонов?

Учёные для ответа на эти вопросы исследовали приходящие на Землю космические лучи и начали строить ускорители для получения частиц и ядер высоких энергий. В результате за вторую половину XX в. было открыто несколько сотен различных частиц, которые первоначально назывались элементарными. Но, как оказалось, есть ещё «более элементарные кирпичики» материи. Это 6 различных кварков и 6 соответствующих им антикварков.

Кварки, наверное, одни из самых загадочных объектов природы. Они имеют дробный электрический заряд ($2/3$ и $-1/3$ элементарного электрического заряда). Вместе с электрическим они обладают ещё одним новым качеством, которое физики называют цветовым зарядом. В природе объекты, которые состоят из кварков, всегда имеют целый или нулевой электрический заряд. При сильных взаимодействиях кварки постоянно обмениваются частицами, которые называют глюонами. Глюоны, как и кварки, обладают цветовым зарядом. Именно глюоны связывают кварки между собой.

Модель, по которой элементарные частицы, в том числе протон и нейтрон, состоят из кварков, была предложена в 60-е годы прошлого века. Никто и никогда не видел кварки. Сначала считалось, что кварки — это удобная математическая модель, систематизирующая «зоопарк» сотен элементарных частиц, но уже в конце 1960-х гг. в экспериментах по рассеянию электронов высоких энергий на протонах существование кварков было доказано экспериментально.

Сегодня известно, что в природе существует четыре типа взаимодействий, которые называют фундаментальными: гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое. В микромире из них самую важную роль играют три последних. Кварки участвуют в электромагнитных, сильных и слабых взаимодействиях. Каждое из взаимодействий характеризуется своим переносчиком. Переносчики носят название фундаментальных бозонов. Пока вы знакомы только с двумя фундаментальными бозонами — фотоном (переносчиком электромагнитных взаимодействий) и глюонами (переносчиками сильных взаимодействий). Есть ещё один тип действительно элементарных частиц — лептоны. Это известный вам электрон, а также загадочные частицы — нейтрино, которые возникают при слабых взаимодействиях. У них очень маленькая масса, и они могут проходить огромные расстояния во Вселенной. Эти представления о структуре материи называются Стандартной моделью.

Начало главы (шмуц-титул)

Глава 2
ДИНАМИКА

- СИЛА. ИЗМЕРЕНИЕ СИЛ
- ИНЕРЦИЯ. ПЕРВЫЙ ЗАКОН НЬЮТОНА
- ВЗАИМОСВЯЗЬ СИЛЫ И УСКОРЕНИЯ. ВТОРОЙ ЗАКОН НЬЮТОНА
- ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ. ТРЕТИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА
- ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ
- ДВИЖЕНИЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛЫ ТЯГОТЕНИЯ
- ВЕС ТЕЛА
- СИЛА ТРЕНИЯ
- РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

РАЗДЕЛ I

МЕХАНИКА

И. Ньютон

КОРОТКО О ГЛАВНОМ...
 Вся трудность физики состоит, по-видимому, в том, чтобы по явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам объяснить остальные явления...
 И. Ньютон

Глава 6
ВЗАИМНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ГАЗОВ, ЖИДКОСТЕЙ И ТВЁРДЫХ ТЕЛ

- АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА
- ИСПАРЕНИЕ. НАСЫЩЕННЫЙ И НЕНАСЫЩЕННЫЙ ПАР. КИПЕНИЕ
- ВЛАЖНОСТЬ
- КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ И АМОРФНЫЕ ТЕЛА

РАЗДЕЛ II

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

А.С.Пушкин

КОРОТКО О ГЛАВНОМ...
 В окно увидела Татьяна
 Поутру побелевший двор,
 Куртины, кровли и забор,
 На стеклах лёгкие узоры,
 Деревья в зимнем серебре...
 А. С. Пушкин.
 «Евгений Онегин»

Глава 8
СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

- ПОСТУЛАТЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ. ОДНОВРЕМЕННОСТЬ
- ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГАЛИЛЕИ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛОРЕНЦА
- ЛОРЕНЦЕВО СОКРАЩЕНИЕ ДЛИНЫ. ЗАМЕДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ
- РЕЛЯТИВИСТСКИЙ ЗАКОН СЛОЖЕНИЯ СКОРОСТЕЙ
- ЧЕТЫРЁХМЕРНОЕ ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ
- РЕЛЯТИВИСТСКИЕ МАССА, ЭНЕРГИЯ, ИМПУЛЬС
- РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

РАЗДЕЛ IV

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

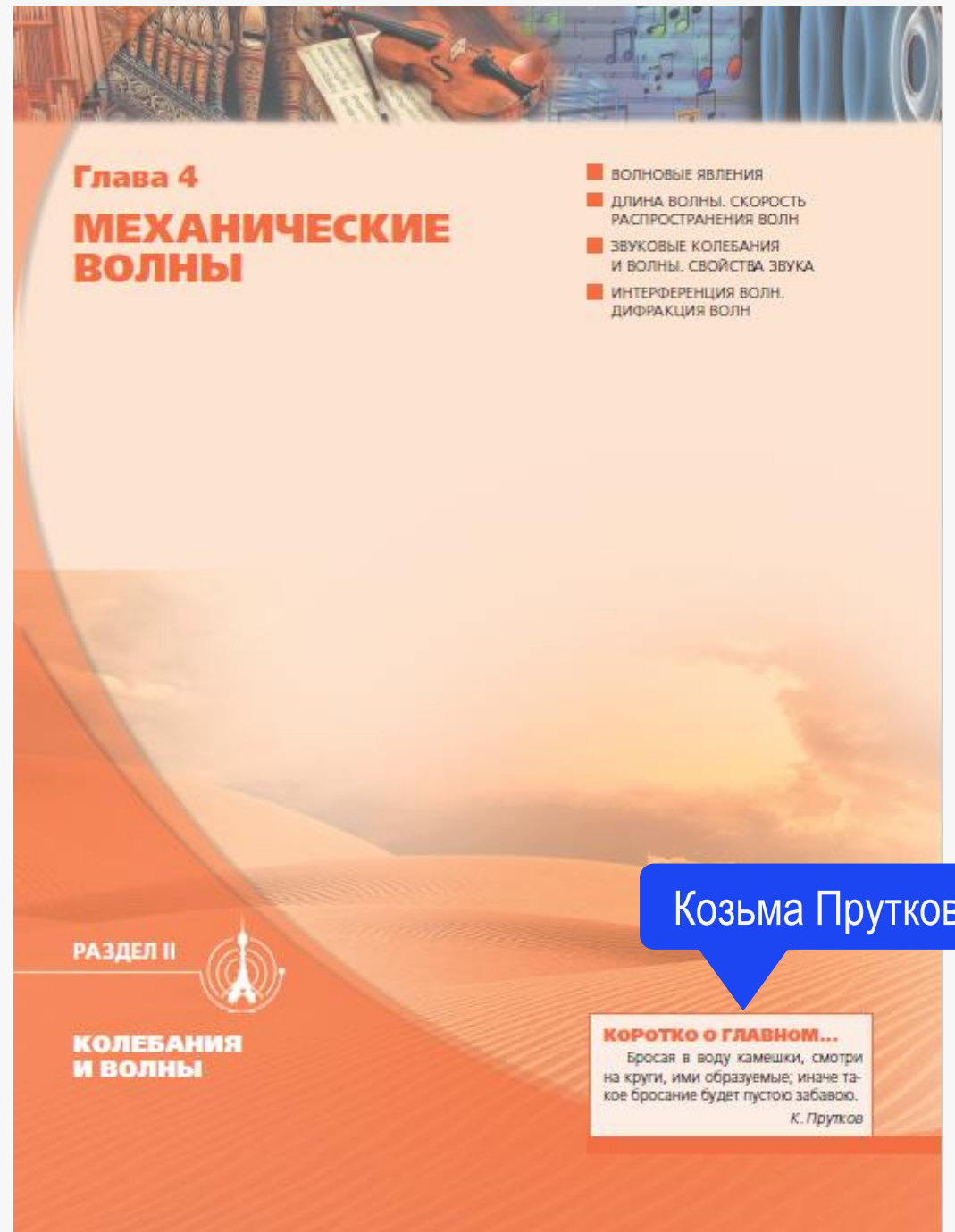
М.Планк

КОРОТКО О ГЛАВНОМ...
 Значение теории относительности простирается на все процессы природы, начиная от радиоактивности, волн и корпускул, излучаемых атомом, и вплоть до движения небесных тел, удалённых от нас на миллионы лет.
 М. Планк

Начало главы (шмуц-титул)

• Коротко о главном...

- Фалес
- Милетский
- Ньютон
- Архимед
- Ломоносов
- Фейнман
- Пушкин
- Эйлер
- Эйнштейн
- Ом
- Вольта
- Заболоцкий
- Тесла
- Козьма Прутков
- Попов
- Данте
- Максвелл
- Планк
- Ферми
- Ледерман



Параграф учебника

42

13 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ. ТРЕТИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Есть ли физическое различие между действием и противодействием.
- Как формулируется третий закон Ньютона.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое взаимодействие тел?
- Как формулируется второй закон Ньютона?

Мы уже знаем, что все силы, изучаемые в разделе «Механика», обладают общим свойством сообщать ускорения телам, на которые они действуют. Однако, кроме этого универсального свойства, силам присуща ещё одна особенность, заключающаяся в том, что любые действия тел друг на друга носят характер взаимодействия.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ Можно привести самые разнообразные примеры взаимодействия тел. Представим себе, что один из конькобежцев, находящихся на гладком льду, пытается с помощью каната подтянуть в свою сторону другого конькобежца. При этом они начнут двигаться навстречу друг к другу. Первый конькобежец, действуя на второго, принуждает его взаимодействовать на себя.

Не менее показателен пример прыжков человека на батуте. Когда человек движется вниз, растягивая сетку батута, воздействие на него со стороны сетки всё увеличивается. В результате под действием силы упругости человека подбрасывает высоко вверх.

Эти и другие многочисленные примеры убеждают нас в том, что действия тел друг на друга носят характер *взаимодействия*.

Отметим, что взаимодействие тел наблюдается не только при их непосредственном контакте. В этом можно убедиться, проведя следующий опыт.

На плавающие рядом в воде деревянные дощечки осторожно опустим небольшие полосовые магниты и расположим их разноимёнными полюсами по отношению друг к другу. Отпустив магниты, мы сможем наблюдать, как дощечки приходят в движение и начинают сближаться.

Рассмотренные выше опыты со всей очевидностью показывают, что *все силы возникают только парами, т.е. если одно тело действует на другое (действие), то второе тело, в свою очередь, действует на первое (противодействие)*. Такое деление тел является чисто условным, между ними нет какого-либо принципиального различия.

Таким образом, силы взаимодействия совершенно равноправны и всегда имеют одинаковую физическую природу.

В частности, в рассмотренном выше примере взаимодействия двух конькобежцев один из них воздействует на другого посредством силы упругости натянутого каната. При этом сила, действующая на первого конькобежца, также является силой упругости.

43

ТРЕТИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

Установим опытным путём, как количественно связаны между собой силы взаимодействия двух тел. Эти опыты лучше проводить с помощью дорожки с воздушной подушкой или использовать плавающие на поверхности воды деревянные дощечки, так как в обоих случаях сила трения достаточно мала. Технически проще провести опыты с деревянными дощечками, на которых закреплены полосовые магниты M_1 и M_2 .

Посредством пружинных динамометров D_1 и D_2 с помощью нити соединим магниты со стенками сосуда. В положении равновесия тел показания динамометров оказываются одинаковыми. При этом динамометр D_1 измеряет модуль силы \vec{F}_{12} , действующей на первый магнит со стороны второго, а динамометр D_2 — модуль силы \vec{F}_{21} , действующей на второй магнит со стороны первого.

Таким образом, силы взаимодействия магнитов оказались равными и противоположно направленными:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}. \quad (1)$$

Данное равенство представляет собой математическую формулировку **третьего закона Ньютона**: **силы, с которыми тела действуют друг на друга, равны по модулю и направлены вдоль одной прямой в противоположные стороны.**

Используя второй закон Ньютона, равенство (1) можно переписать в виде

$$m_1 \vec{a}_1 = -m_2 \vec{a}_2, \quad (2)$$

где m_1 и m_2 — массы взаимодействующих тел; \vec{a}_1 и \vec{a}_2 — ускорения, сообщённые телам.

Из формулы (2) непосредственно следует, что

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1} = \text{const},$$

т. е. **отношение модулей a_1 и a_2 ускорений взаимодействующих тел равно обратному отношению их масс и не зависит от природы сил, действующих между ними.**

Из последнего равенства следует, что в результате взаимодействия более массивное тело получает меньшее ускорение, чем более лёгкое тело. Например, при ударе футболиста ногой по мячу наблюдается заметное изменение скорости мяча, а вот обратное воздействие мяча на футболиста не приводит к сколько-нибудь существенному изменению характера его движения.

Третий закон Ньютона имеет следующую формулировку: силы, с которыми тела действуют друг на друга, равны по модулю и направлены вдоль одной прямой в противоположные стороны:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}.$$

Необходимо помнить, что силы, о которых идёт речь в третьем законе Ньютона, приложены к разным телам и поэтому не могут уравновешивать друг друга. Говорить о равнодействующей этих сил не имеет смысла.

ВОПРОСЫ:

- Имеется ли физическое различие между действием и противодействием?
- Могут ли компенсировать друг друга силы, возникшие при взаимодействии двух тел?
- Как формулируется третий закон Ньютона?
- Почему при столкновении вольной машины с детьми у лёгковозов удар сильнее, чем у грузовиков?

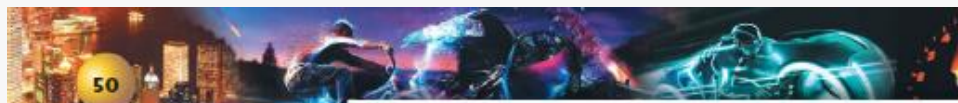
Вводные рубрики

Внимание!

«Физический блокнот»

Вопросы для закрепления

Параграф учебника



50

17

СИЛА ТРЕНИЯ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Какова природа сил трения.
- В чём заключается различие сил трения и сил упругости.
- Что такое трение покоя и трение скольжения.
- Что такое коэффициент трения.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое сила упругости?
- Как движется тело, если проекции сил на направление движения равны по величине и противоположны по знаку?

Изучая законы механики, вы уже познакомились с двумя типами сил: с силами упругости и силами тяготения. Однако существует ещё один тип сил, без действия которых невозможно представить себе движение любого тела. Это силы трения, которые всегда препятствуют относительному перемещению тел.

ПРИРОДА СИЛ ТРЕНИЯ Одна из отличительных особенностей сил трения заключается в том, что эти силы всегда направлены вдоль поверхностей соприкосновения тел, в то время как силы упругости направлены перпендикулярно этим поверхностям. Вместе с тем физическая природа сил трения и сил упругости одинакова и обусловлена электрическим взаимодействием молекул.

Обсудим причину того, что тело, лежащее на наклонной плоскости, не соскальзывает вниз. Нетрудно понять, что эта причина обусловлена наличием многочисленных неровностей на соприкасающихся поверхностях тел. Эти неровности цепляются друг за друга и препятствуют соскальзыванию тела.

То же самое происходит в случае, если одно тело пытаются перемещать по поверхности другого под действием внешней силы.

Однако при возникновении проскальзывания тел относительно друг друга шероховатости и неровности начинают разрушаться, что является следствием разрыва молекулярных связей.

Эта особенность характерна только для сил трения, и в этом заключается одно из главных различий между силами трения и силами упругости.

ТРЕНИЕ ПОКОЯ Анализируя условия равновесия тела, находящегося на наклонной поверхности, мы приходим к выводу, что на тело в направлении, параллельном наклонной плоскости, должна действовать сила, которая компенсирует проекцию силы тяжести на это направление. Эта сила получила название **силы трения покоя**.

Возникновение и изменение силы трения покоя легко проследить на опыте, используя брусок, помещённый на горизонтальную подставку, и динамометр.

Под действием на брусок посредством пружины динамометра некоторой горизонтальной силой \vec{F} . Опыт показывает, что, пока эта сила меньше некоторого значения \vec{F}_{max} , брусок сохраняет состояние покоя. Это означает, что одновременно с внешней силой \vec{F} на брусок со стороны поверхности начинает действовать сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$, равная по модулю внешней силе и направленная противоположно.

Как показывают опыты, **сила трения покоя равна по модулю и направлена противоположно силе, приложенной к телу параллельно поверхности соприкосновения его с другим телом.**



Если тело лежит на горизонтальной поверхности и параллельно этой поверхности на тело не действуют никакие силы, то **сила трения покоя равна нулю**.

Таким образом, сила трения покоя может изменяться от нуля до некоторого максимального значения $\vec{F}_{\text{тр,max}}$. Только в том случае, если параллельная поверхности сила \vec{F} превысит это значение, тело начнёт перемещаться.

Опытным путём можно установить, от чего зависит максимальное значение силы трения покоя. Для этого будем помещать на брусок дополнительные грузы, увеличивая тем самым силу, прижимающую брусок к поверхности.

Опыт показывает, что максимальная сила трения покоя прямо пропорциональна этой силе. Поскольку сила, прижимающая брусок к поверхности, уравновешивается силой \vec{N} реакции опоры, то можно записать:

$$F_{\text{тр,max}} = \mu N,$$

где коэффициент пропорциональности μ не зависит от прижимающей силы. Он называется **коэффициентом трения покоя**. Этот коэффициент зависит от материалов, из которых изготовлены поверхности соприкасающихся тел, а также от качества обработки поверхностей и их состояния.

ТРЕНИЕ СКОЛЬЖЕНИЯ Когда действующая на брусок со стороны динамометра сила упругости $\vec{F}_{\text{уп}}$ незначительно превысит силу трения покоя $\vec{F}_{\text{тр,max}}$, то брусок начнёт скользить по поверхности. Если брусок движется равномерно, то это означает, что на него в горизонтальном направлении действует ещё одна сила, равная по модулю силе упругости, но направленная противоположно ей. Эту силу называют **силой трения скольжения**.

Важная особенность силы трения скольжения заключается в том, что она направлена всегда противоположно направлению скорости движения одного тела относительно соприкасающегося с ним другого тела.

Так же как и максимальная сила трения покоя, сила трения скольжения пропорциональна силе нормального давления, модуль которой равен модулю силы реакции опоры N .

При малых относительных скоростях движения тел сила трения скольжения весьма незначительно отличается от максимальной силы трения покоя. Поэтому в большинстве случаев силу трения скольжения считают постоянной и равной значению $\vec{F}_{\text{тр,max}}$:

$$F_{\text{тр}} = F_{\text{тр,max}} = \mu N.$$

Как показывают опыты, сила трения не зависит от площади соприкасающихся поверхностей тел, а зависит от их относительной скорости.

Демонстрационный
ОПЫТ



МОИ ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определите опытным путём коэффициент трения головки спички о спичечный коробок.

«ПОМОЩНИК»

- С помощью нити и скотча соедините спички так, чтобы по коробку могли двигаться только их головки.
- В качестве дополнительного оборудования используйте динамометр и набор разновесов.

Если сила трения равна N , рассчитайте $F_{\text{тр}} = \mu N$.

ВОПРОСЫ:

- Какую силу называют силой трения?
- В чём заключается сходство, а в чём различия сил трения и сил упругости?
- От каких факторов зависит сила трения скольжения?

Демонстрационный
ОПЫТ

«Мои физические
исследования»

Параграф учебника

Работа с графиками

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Какие способы описания движения существуют в механике.
- Как найти проекции вектора перемещения на координатные оси и его длину.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое тело отсчёта и система отсчёта?
- Какие существуют системы координат?
- Как найти проекции вектора на координатные оси?

СПОСОБЫ ОПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА

Описать движение тела означает научиться отвечать на вопросы: где находится тело в данный момент времени и в каких точках пространства оно будет находиться в следующие моменты времени?

ВЫБОР СИСТЕМЫ ОТСЧЁТА Рассмотрим различные случаи движения тела. Например, тело падает вниз. При таком движении для определения положения тела в каждый момент времени достаточно одной координатной оси. Если тело отсчёта находится в начале движения и координатная ось направлена вниз, то координата тела увеличивается. А если начало отсчёта связано с поверхностью Земли, а ось направлена вверх, то координата тела уменьшается. Для описания движения на плоскости используется прямоугольная декартова система координат. Например, когда автомобиль движется из одного города в другой, его движение, как правило, является криволинейным и описывается двумя координатами. В случае если тело перемещается в пространстве, необходимо использовать трёхмерную прямоугольную декартову систему координат. Это нужно, например, для описания движения самолёта, космического корабля и т.д. Безусловно, каждая из приведённых выше систем отсчёта содержит и свои минусы.

КООРДИНАТНЫЙ СПОСОБ ОПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ Для того чтобы задать положение точки в пространстве, необходимо определить систему координат. Если речь идёт о положении точки на плоскости, то после выбора тела отсчёта определяется точка O , через которую проводят две взаимно перпендикулярные оси Ox , Oy . В полученной системе координат положение точки определяется координатами x , y . Если необходимо определить положение точки в пространстве, то через точку отсчёта O проводят три взаимно перпендикулярные оси Ox , Oy и Oz , и положение точки определяется координатами x , y и z . При движении тела его положение изменяется с течением времени относительно тела отсчёта. **Координатный способ** описания движения заключается в том, что в выбранной системе отсчёта рассматривается зависимость изменения координат тела от времени, т.е. координаты тела (материальной точки) можно записывать как функции времени:

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases} \quad (1)$$

В зависимости от вида движения в каждом конкретном случае функции (1) будут иметь определённый вид.

РАДИУС-ВЕКТОР. ВЕКТОРНЫЙ СПОСОБ ОПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ

Положение точки в пространстве можно определить не только при помощи координат, но и при помощи вектора, начало которого совпадает с началом координат. Радиус-вектором (OM) называют направленный отрезок, соединяющий начало координат O и точку M с произвольными координатами. Радиус-вектор принято обозначать через \vec{r} . При движении точки радиус-вектор с течением времени будет изменяться, поэтому при векторном способе описания движения рассматривается функция

$$\vec{r} = \vec{r}(t). \quad (2)$$

Уравнения (1) и (2) называют **кинематическими уравнениями движения точки**, записанными соответственно в координатной и векторной форме.

На плоскости координаты x и y точки M являются проекциями радиус-вектора \vec{r} на координатные оси:

$$r^2 = r_x^2 + r_y^2 = x^2 + y^2.$$

Положение любой точки M определяется при помощи радиус-вектора при условии, что известна длина радиус-вектора, концом которого является эта точка, а также положение этого радиус-вектора относительно осей координат. Для определения положения радиус-вектора на плоскости достаточно знать угол φ между ним и осью Ox :

$$x = r \cos \varphi, \quad y = r \sin \varphi.$$

ПРОЕКЦИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ НА КООРДИНАТНЫЕ ОСИ Если известен вектор перемещения тела, то при расчётах используют не координаты вектора, а его проекции на ось координат. При этом **проекция вектора на ось считается положительной, если координата конца вектора перемещения оказывается больше координаты его начала**. В противном случае проекция считается отрицательной. Когда вектор и ось параллельны, то длина вектора равна его проекции на эту ось. Если $(x_2; y_2)$ и $(x_1; y_1)$ — координаты начала и конца вектора, то его проекции на оси абсцисс и ординат будут соответственно равны

$$s_x = x_2 - x_1, \quad s_y = y_2 - y_1.$$

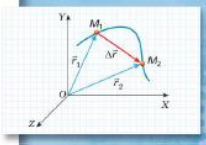
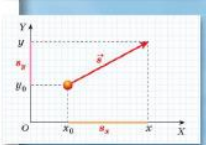
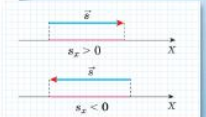
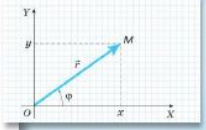
Зная проекции вектора перемещения, можно найти его длину (модуль) по теореме Пифагора:

$$s^2 = s_x^2 + s_y^2. \quad (3)$$

При векторном способе описания движения перемещение можно рассматривать как изменение радиус-вектора движения тела:

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

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ И ВЫБОР ТЕЛА ОТСЧЁТА При выборе разных неподвижных систем отсчёта координаты начальной и конечной точек движущегося тела будут различны. При этом модуль перемещения (3) остаётся **постоянным**, т.е. не зависит от выбора системы отсчёта.



ВОПРОСЫ:

- Какие уравнения называют кинематическими уравнениями движения?
- Как найти проекции перемещения на координатные оси?
- Как перемещение зависит от выбора разных тел отсчёта?

48 РАБОТА В ТЕРМОДИНАМИКЕ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что означает понятие работы в термодинамике.
- Как вычислить работу газа при изобарном процессе.
- Геометрическое истолкование работы газа.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое механическая работа?
- Что такое изобарный, изохорный и изотермический процессы?

В механике работа связана с силой и перемещением тела и совершаемая работа является мерой изменения энергии тела. Что означает термин «работа» в термодинамике?

РАБОТА В ТЕРМОДИНАМИКЕ Вы уже знаете из способов изменения внутренней энергии тела работу. Если работа совершается над телом, то внутренняя энергия увеличивается; если же тело совершает работу, это ведёт к уменьшению его энергии. При этом в термодинамике движение тела как целого не рассматривается, работы здесь связываются с изменением объёма с перемещением частей макротела друг относительно друга. Этот процесс приводит к изменению расстояния между частями, из которых состоит тело, а также к изменению скоростей их движения. Поэтому работа в термодинамике приводит к изменению внутренней энергии тела.

РАБОТА ГАЗА ПРИ ИЗОБАРОМ ПРОЦЕССЕ Пусть в цилиндре с подвижным поршнем находится газ. Рассмотрим процесс нагревания газа, при котором он расширяется изобарно, т.е. давление, оказываемое газом на поршень, постоянно. Такое предположение может быть справедливо, если процесс осуществляется медленно и смещение поршня $\Delta h = h_2 - h_1$ мало по сравнению с величинами h_1 и h_2 . Обозначим силу давления поршня на газ \vec{F} , а силу давления газа на поршень \vec{F}' . По третьему закону Ньютона $\vec{F}' = -\vec{F}$. Модуль силы, действующей со стороны газа на поршень, равен: $F' = pS$, где p — давление газа; S — площадь поверхности поршня.

Так как давление газа постоянно, работа газа равна:

$$A' = F'S = pS(h_2 - h_1) = p(S h_2 - S h_1). \quad (1)$$

Работу газа можно выразить через изменение объёма газа. Обозначим начальный и конечный объёмы газа соответственно V_1 и V_2 . Тогда $V_1 = S h_1$, а $V_2 = S h_2$. С учётом формулы (1) получаем

$$A' = p(V_2 - V_1) = p\Delta V, \quad (2)$$

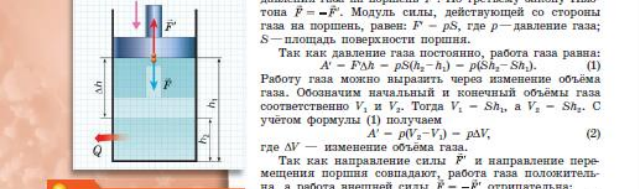
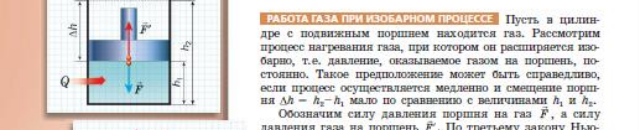
где ΔV — изменение объёма газа.

Так как направление силы \vec{F} и направление перемещения поршня совпадают, работа газа положительна, а работа внешней силы $\vec{F}' = -\vec{F}$ отрицательна:

$$A = -A' = -p\Delta V. \quad (3)$$

Если же газ сжимается, то $V_2 < V_1$ и $\Delta V < 0$, поэтому по формуле (2) $A' < 0$, т.е. при сжатии газа его работа отрицательна, а работа силы, действующей со стороны поршня на газ, положительна.

Если в процессе расширения газ не нагревать и не поддерживать давление постоянным, то внутренняя энергия газа будет уменьшаться — он отдаёт энергию поршню, стенкам сосуда. Температура газа при таком



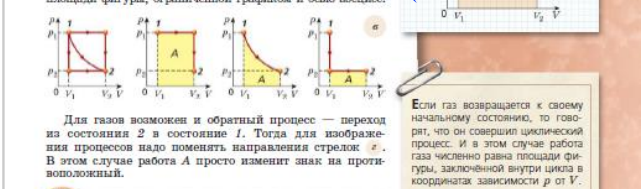
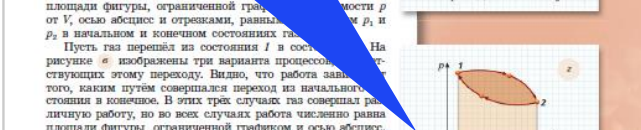
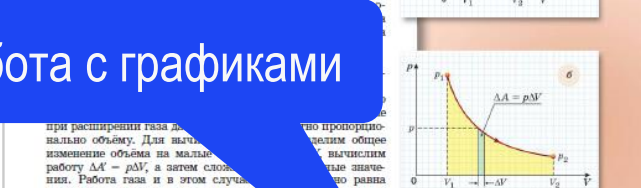
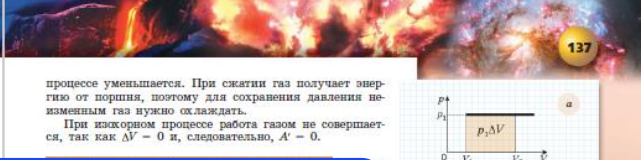
ВОПРОСЫ:

- Если обозначить величины: давление газа — p , начальный и конечный объёмы газа соответственно — V_1 и V_2 , изменение объёма газа — ΔV , то работу при изобарном изменении объёма газа рассчитают по формуле $A' = p(V_2 - V_1) = p\Delta V$.

136

процессе уменьшается. При сжатии газ получает энергию от поршня, поэтому для сохранения давления неизменным газ нужно охладить.

При изохорном процессе работа газом не совершается, так как $\Delta V = 0$ и, следовательно, $A' = 0$.



ВОПРОСЫ:

- Как вычислить работу газа при изобарном процессе?
- Каково геометрическое истолкование работы газа?

Работа с графиками

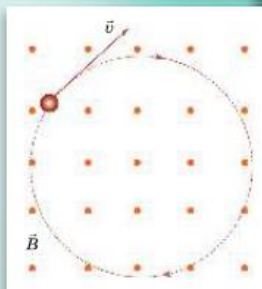
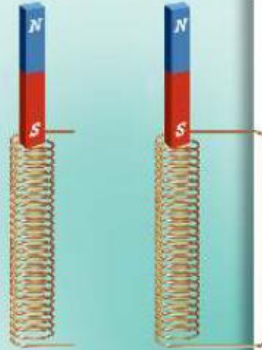
Развороты решения задач

26

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как решать задачи на вычисление скорости частиц при движении под действием силы Лоренца.
- Как решать задачи на закон электромагнитной индукции.
- Как решать задачи на вычисление энергии магнитного поля.



ЗАДАЧА 1 Два одинаковых полосовых магнита падают в вертикальном положении одновременно с одной и той же высоты. Первый во время падения проходит сквозь незамкнутый соленоид, а второй — сквозь короткозамкнутый соленоид. Сравните время падения магнитов.

Решение:
При падении магнитов будет изменяться магнитный поток, пронизывающий витки соленоидов, в результате чего в витках будет наводиться ЭДС индукции. В случае замкнутого соленоида по его виткам должен протекать электрический ток такого направления, чтобы магнитное поле, порождённое этим током, в соответствии с правилом Ленца препятствовало изменению внешнего магнитного потока. Это приведёт к замедлению падения магнита, поскольку на него будет действовать тормозящая сила со стороны магнитного поля, порождённого индукционным током.

Такой же вывод можно получить на основе закона сохранения энергии. В случае замкнутого соленоида уменьшение потенциальной энергии магнита будет компенсироваться увеличением его кинетической энергии лишь частично. Некоторая часть начальной механической энергии магнита будет преобразовываться в энергию тока, которая в конечном итоге превратится в тепло.

Ответ: время падения магнита, проходящего через замкнутый соленоид, больше времени падения магнита, проходящего через незамкнутый соленоид.

ЗАДАЧА 2 В однородное магнитное поле с индукцией 0,6 Тл влетает протон со скоростью, перпендикулярной линиям магнитной индукции. Под действием магнитного поля его траектория искривляется, при этом радиус кривизны составляет 1 см. С какой скоростью двигался протон?

| | | |
|--|--|---|
| <p>Дано: $B = 0,6 \text{ Тл}$ $R = 1 \text{ см}$ $m = 1,6 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ $v = ?$</p> | <p>СИ $0,01 \text{ м}$</p> | <p>Решение: Учитывая условие задачи, сила Лоренца, действующая на частицу, равна $F_L = qvB$. Центробежное ускорение равно $a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{R}$.</p> |
|--|--|---|

По второму закону Ньютона
 $m \frac{v^2}{R} = qvB$.
 Отсюда скорость протона равна
 $v = \frac{qBR}{m}$.

Подставив числовые значения, получим:

$$v = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 0,6 \text{ Тл} \cdot 0,01 \text{ м}}{1,6 \cdot 10^{-27} \text{ кг}} = 6 \cdot 10^5 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v = 6 \cdot 10^5 \text{ м/с}$.

ЗАДАЧА 3 Катущка с площадью поперечного сечения 25 см^2 находится в магнитном поле с индукцией 0,1 Тл. Линии индукции магнитного поля ориентированы перпендикулярно плоскости сечения катушки. Сколько витков содержит эта катушка, если при отключении магнитного поля в катушке возникает ЭДС индукции 1 В? Время отключения 5 мс.

| | | |
|---|--|---|
| <p>Дано: $S = 25 \text{ см}^2$ $B_1 = 0,1 \text{ Тл}$ $B_2 = 0$ $\mathcal{E}_i = 1 \text{ В}$ $\Delta t = 5 \text{ мс}$ $N = ?$</p> | <p>СИ $25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ $5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$</p> | <p>Решение: По закону электромагнитной индукции в катушке из N витков возникает ЭДС индукции $\mathcal{E}_i = N \left \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right$. Модуль изменения магнитного потока $\Delta \Phi = (B_2 - B_1) S$, так как плоскость сечения катушки расположена перпендикулярно линиям магнитной индукции. Из написанных равенств находим $N = \frac{\mathcal{E}_i \Delta t}{ B_2 - B_1 S} = \frac{1 \text{ В} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ с}}{ 0 - 0,1 \text{ Тл} \cdot 25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} = 20$.</p> |
|---|--|---|

Ответ: $N = 20$.

ЗАДАЧА 4 Определите энергию магнитного поля катушки с индуктивностью 0,05 Гн, если магнитный поток через катушку составляет 0,2 Вб.

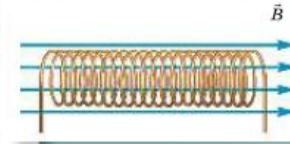
| | |
|--|--|
| <p>Дано: $L = 0,05 \text{ Гн}$ $\Phi = 0,2 \text{ Вб}$ $W = ?$</p> | <p>Решение: Энергия магнитного поля рассчитывается по формуле $W = \frac{L I^2}{2}$.</p> |
|--|--|

Силу тока в катушке можно найти через магнитный поток:
 $\Phi = LI \rightarrow I = \frac{\Phi}{L}$.

В результате получим
 $W = \frac{L (\frac{\Phi}{L})^2}{2} = \frac{\Phi^2}{2L}; \quad W = \frac{(0,2 \text{ Вб})^2}{2 \cdot 0,05 \text{ Гн}} = 0,4 \text{ Дж}.$

Ответ: $W = 0,4 \text{ Дж}$.

27



Итоговый раздел к главе

Глава 5

ОСНОВЫ МОЛЕКУЛЯРНО- КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ

118



$$\frac{V}{T} = \text{const при } p = \text{const}$$



$$pV = \text{const при } T = \text{const}$$



$$\frac{p}{T} = \text{const при } V = \text{const}$$

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- В основе молекулярно-кинетической теории лежат следующие положения: 1) все вещества состоят из мельчайших частиц — атомов и молекул; 2) частицы вещества находятся в непрерывном хаотичном движении; 3) частицы вещества взаимодействуют друг с другом.
- Основной целью молекулярно-кинетической теории является объяснение свойств макроскопических тел и тепловых процессов, происходящих в них, на основе представлений о движении и взаимодействии молекул.
- Количество вещества — это величина, пропорциональная числу частиц (атомов или молекул), содержащихся в теле.
- Молярной массой M вещества называют массу вещества, взятого в количестве один моль.
- Система тел находится в состоянии теплового равновесия, если макроскопические параметры, описывающие систему, одинаковы для всей системы и не меняются во времени.
- Процесс, при котором один из трёх макроскопических параметров — давление, объём или температура — остаётся неизменным, называют изопроцессом.
- Закон Авогадро гласит: при одинаковых температуре и давлении в равных объёмах различных газов содержится одинаковое количество молекул.
- Средняя кинетическая энергия хаотичного поступательного движения молекул газа пропорциональна абсолютной температуре.

$$p = \frac{2}{3} n \bar{\epsilon} \quad \text{МКТ} \quad pV = \frac{m}{M} RT$$

ПОДРОБНЕЕ...

- Лилсон Г. Великие эксперименты в физике. / Г. Лилсон. — М.: Мир, 1978.
- Сморodinский Я. А. Температура. Вып. 12. / Я. А. Смородинский. — М.: Наука, 1981. — (Библиотека «Квант»).
- Суорц К. Э. Необыкновенная физика обыкновенных явлений. Т. 1. / К. Э. Суорц. — М.: Наука, 1986.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Запах эфира, разбрызганного в углу комнаты, достиг противоположного угла через 15 с. Как согласовать столь малую скорость распространения запаха с большой скоростью движения молекул?
- Объём воздушного пузырька увеличивается при подъёме со дна озера на поверхность. Какова глубина озера, если температуру воды считать неизменной?
- В закрытом сосуде находится водород. Газ начинают нагревать, и при некоторой температуре начинается процесс диссоциации молекул. Будет ли при этом выполняться закон Шарля?

Физический
энциклопедический словарь
<http://www.all-fizika.com>

Мир молекул
<http://www.worldofmolecules.com>

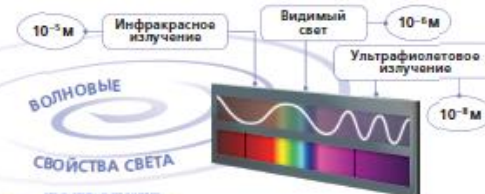
Глава 7

СВЕТОВЫЕ ВОЛНЫ. ИЗЛУЧЕНИЯ И СПЕКТРЫ

124

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Скорость света в вакууме составляет 300 000 км/с. Скорость света в среде зависит от свойств среды.
- Зависимость показателя преломления среды от цвета световых лучей называется дисперсией.
- Волновую теорию света сформулировал Х. Гюйгенс.
- Волновым фронтом называется совокупность всех точек пространства, которых волновое возмущение достигает в один и тот же момент времени. Каждая точка волнового фронта является источником вторичных волн.
- Когерентными называются волны, которые имеют одинаковые длины волн и неизменную разность фаз в любой точке пространства. При наложении когерентных световых волн осуществляется интерференция света.
- Свет представляет собой электромагнитные волны.
- Атомы каждого химического элемента испускают излучение, спектр которого непохож на спектры других элементов. Метод определения химического состава вещества по его спектру называют спектральным анализом.



ПОДРОБНЕЕ...

- Филонович С. Р. Самая большая скорость. Вып. 27. / С. Р. Филонович. — М.: Наука, 1983. — (Библиотека «Квант»).
- Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Ч. 2. Электричество и магнетизм. Термодинамика и квантовая механика. Физика ядра и элементарных частиц. — М.: Аванта+, 2000.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Для каких лучей — красных или фиолетовых — будет больше фокусное расстояние собирающей линзы? Изменится ли ответ для рассеивающей линзы?
- Почему интерференционная окраска одного и того же места поверхности мыльного пузыря непрерывно меняется?
- Можно ли наблюдать дифракцию света с помощью металлической линейки, снабжённой миллиметровыми делениями, т. е. используя её в качестве дифракционной решётки?
- Что можно узнать о составе сплава при изучении яркости спектральных линий в его спектре?

Элементы: Популярный сайт
о фундаментальной науке
<http://elementy.ru/>

Научно-популярный
интернет-журнал «Мембрана»
<http://www.membrana.ru/>

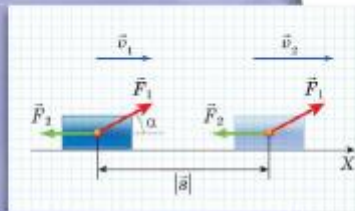
КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как формулируется теорема об изменении кинетической энергии.
- Как работа силы зависит от системы отсчёта.
- Зависит ли кинетическая энергия от выбора системы отсчёта.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое работа?
- Что такое кинетическая энергия?
- Что такое потенциальная энергия?



Примечателен тот факт, что при выводе теоремы об изменении кинетической энергии использовалось лишь определение работы и второй закон Ньютона. Никаких предположений о характере сил, действующих на тело, при этом не было сделано. Этими силами, в частности, могут быть силы упругости, силы тяготения и силы трения. Доказано также, что теорема об изменении кинетической энергии остаётся справедливой и в тех случаях, если на тело действуют переменные силы и если тело движется по криволинейной траектории.

На предыдущих уроках понятие кинетической энергии было введено на примере вычисления работы силы \vec{F} , действующей на первоначально покоящееся тело. Установим взаимосвязь между работой и изменением кинетической энергии в случае, если на уже движущееся тело начинает одновременно действовать несколько сил.

ТЕОРЕМА ОБ ИЗМЕНЕНИИ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Рассмотрим случай, когда на тело, движущееся со скоростью \vec{v}_1 , начинают действовать две силы, знаки проекций которых на направление движения противоположны.

Суммарная работа этих сил

$$A = A_1 + A_2,$$

где $A_1 = F_{1x}|\vec{s}| = |\vec{F}_1|\cos\alpha\cdot|\vec{s}|$; $A_2 = F_{2x}|\vec{s}| = -|\vec{F}_2|\cdot|\vec{s}|$. Следовательно,

$$A = (|\vec{F}_1|\cos\alpha - |\vec{F}_2|)\cdot|\vec{s}|.$$

Согласно второму закону Ньютона тело будет двигаться с ускорением \vec{a} , проекция которого

$$a_x = \frac{F_{1x} + F_{2x}}{m} = \frac{|\vec{F}_1|\cos\alpha - |\vec{F}_2|}{m}.$$

Используем далее формулу кинематики, устанавливающую взаимосвязь модулей перемещения, ускорения и квадратов начальной и конечной скоростей:

$$v_2^2 - v_1^2 = 2a_x|\vec{s}|.$$

С учётом этих формул выражение для работы примет вид

$$A = ma_x|\vec{s}| = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}.$$

Таким образом, работа сил равна разности кинетических энергий тела:

$$A = E_{k2} - E_{k1} = \Delta E_k.$$

Полученное равенство носит название **теоремы об изменении кинетической энергии: изменение кинетической энергии тела (материальной точки) равно работе сил, действующих на это тело.** Если силы совершают положительную работу, то $E_{k2} > E_{k1}$, т.е. кинетическая энергия тела увеличивается. Если же знак работы отрицательный, то $E_{k2} < E_{k1}$, т.е. кинетическая энергия уменьшается.

ЗАВИСИМОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ РАБОТЫ ОТ ВЫБОРА СИСТЕМЫ ОТСЧЁТА

Зависимость работы от выбора системы отсчёта можно наглядно продемонстрировать на следующем простом примере.

В вагоне поезда, движущегося с постоянной скоростью, на столе лежит пружина, один из концов которой закреплён. К свободному концу пружины прикреплено тело, на которое начинает действовать сила, в результате чего

пружина равномерно растягивается на величину l . Какую работу совершила эта сила в системе отсчёта, связанной с поездом, и в системе отсчёта, связанной с Землёй? При этом будем считать, что за время растяжения пружины поезд переместился на расстояние s .

В системе отсчёта, связанной с поездом, совершённая работа равна потенциальной энергии растянутой пружины:

$$A_1 = \frac{kl^2}{2}.$$

В системе отсчёта, связанной с Землёй, работа силы по растяжению пружины равна произведению средней силы $F_{cp} = kl/2$ на модуль перемещения точки приложения силы $s - l$:

$$A_2 = \frac{kl}{2}(s - l).$$

Очевидно, что эти работы не равны.

На первый взгляд мы получили неожиданный результат, поскольку в обеих системах отсчёта значение потенциальной энергии пружины одно и то же. На самом деле никакого парадокса не возникает, если учесть, что сила, действующая на пружину, является силой руки человека. Поэтому на пол вагона со стороны человека действует сила трения покоя, среднее значение которой также равно $kl/2$. Полная работа в системе отсчёта, связанной с Землёй, должна включать работу и этой силы. Сумма работ силы трения и работы A_2 равна

$$\frac{kl}{2}s - \frac{kl}{2}(s - l) - \frac{kl^2}{2}.$$

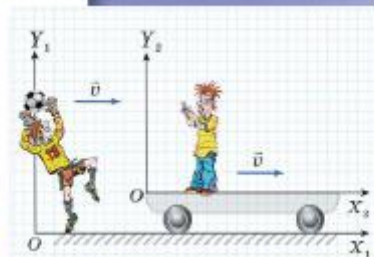
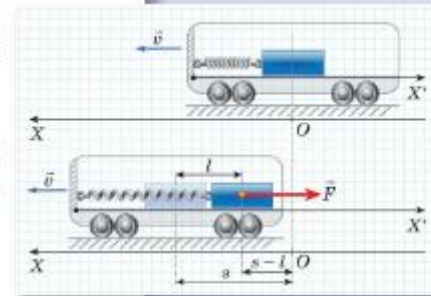
Полная работа в данной системе отсчёта оказалась той же, что и в системе отсчёта, связанной с поездом.

ЗАВИСИМОСТЬ КИНЕТИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ОТ ВЫБОРА СИСТЕМЫ ОТСЧЁТА

Поскольку скорость тела зависит от выбора системы отсчёта, то, очевидно, и кинетическая энергия зависит от системы отсчёта. Это можно понять на следующем примере.

Человек, стоящий на земле, бросает в горизонтальном направлении мяч массой m со скоростью \vec{v} . Поэтому в системе отсчёта X_1OY_1 , связанной с Землёй, начальная кинетическая энергия мяча равна $mv^2/2$. Однако с точки зрения наблюдателя, находящегося на движущейся со скоростью \vec{v} тележке (движущаяся система отсчёта X_2OY_2), скорость мяча сразу после броска равна нулю, и, следовательно, его кинетическая энергия также равна нулю. Вместе с тем затраты мышечной энергии человека одинаковы в обеих системах отсчёта.

Более подробное рассмотрение данного примера показывает, что для разрешения этого противоречия необходимо учесть воздействие человека в момент броска на Землю.



ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ:

- Как будет изменяться кинетическая энергия тела, если работа равнодействующей сил положительна? отрицательна?
- В чём заключается физическая сущность теоремы об изменении кинетической энергии?
- Может ли полная работа всех сил зависеть от выбора системы отсчёта?
- Приведите пример, подтверждающий зависимость кинетической энергии от выбора системы отсчёта.

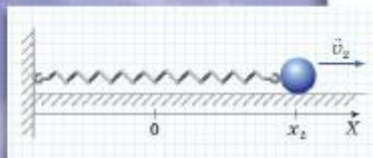
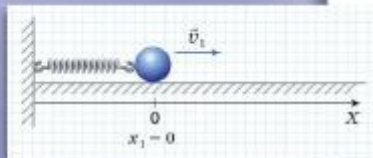
ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ. ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- При каких условиях механическая энергия системы сохраняется.
- Зависит ли потенциальная энергия от выбора системы отсчёта.
- Зависит ли изменение механической энергии от выбора системы отсчёта.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое потенциальная энергия?
- Что такое кинетическая энергия?



Рассмотренные выше примеры превращения одного вида механической энергии в другой позволяют сформулировать один из наиболее важных физических принципов — закон сохранения энергии.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Если на рассматриваемую систему тел никакие другие силы, кроме внутренних сил упругости или сил тяжести, не действуют, то работа этих сил определяет изменение потенциальной энергии системы. Поскольку речь идёт о законе сохранения механической энергии, то рассматриваются тела, которые взаимодействуют только друг с другом, образуя замкнутую систему. В результате взаимодействия этих тел могут изменяться как их скорости, так и координаты.

В качестве примера рассмотрим движение шарика, соединённого с одним концом упругой пружины, другой конец которой прикреплен к стенке. При этом поверхность, по которой движется шарик, будем считать гладкой. Пусть в начальный момент времени деформация x_1 пружины равна нулю, а шарик сообщил начальную скорость \vec{v}_1 . При движении шарика его кинетическая энергия будет убывать, поскольку действующая на него со стороны пружины сила упругости совершает отрицательную работу. Знак работы силы упругости свидетельствует о том, что потенциальная энергия пружины при этом увеличивается. Если в некоторый момент времени скорость шарика равна \vec{v}_2 , то изменение его кинетической энергии

$$\Delta E_k = \Delta E_{k2} - \Delta E_{k1} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}. \quad (1)$$

Работа силы упругости $A_{\text{уп}}$ равна изменению потенциальной энергии пружины, взятому со знаком «минус»:

$$A_{\text{уп}} = -\Delta E_x = -\left(\frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}\right), \quad (2)$$

где x_2 — деформация пружины в рассматриваемый момент времени.

Работа силы упругости также равна изменению кинетической энергии шарика: $A_{\text{уп}} = \Delta E_k$. Поэтому с учётом формулы (2) можно записать:

$$\Delta E_x = -\Delta E_k, \text{ или } \Delta E_x + \Delta E_k = 0.$$

Последнее равенство означает, что $\Delta(E_k + E_x) = 0$, т.е. изменение суммы кинетической и потенциальной энергий равно нулю. Сумму кинетической и потенциальной энергий системы называют **механической энергией системы**:

$$E = E_k + E_x = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2}. \quad (3)$$

Если обозначить величины: кинетическая энергия — E_k , потенциальная энергия — E_x , то полная механическая энергия замкнутой системы тел

$$E = E_k + E_x$$

сохраняется неизменной.

Так как изменение полной механической энергии равно нулю, то эта энергия остаётся постоянной:

$$E = E_k + E_x = \text{const.}$$

Таким образом, *в замкнутой системе, в которой действуют только силы тяжести и силы упругости, механическая энергия сохраняется*. В этом и заключается сущность одного из наиболее важных физических принципов — **закона сохранения энергии**.

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

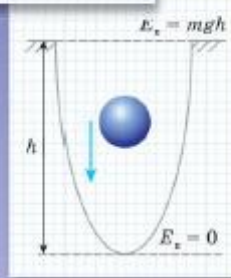
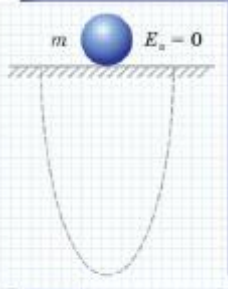
Кинетическая энергия тела зависит от выбора системы отсчёта. Зависит ли от выбора системы отсчёта потенциальная энергия? Рассмотрим пример, когда тело лежит на поверхности Земли. Всегда ли потенциальная энергия этого тела равна нулю? Представим себе, что в том месте, где находится тело, в земле образовалась яма. Очевидно, что при падении в яму тело будет увеличивать свою кинетическую энергию. Поэтому можно утверждать, что увеличение кинетической энергии тела осуществляется за счёт уменьшения его потенциальной энергии, отсчитываемой, например, относительно дна ямы. Абсолютное значение потенциальной энергии зависит от положения уровня, принятого за начало отсчёта энергии.

Важно подчеркнуть, что абсолютное значение потенциальной энергии не имеет реального физического смысла: при решении задач важна лишь разность потенциальных энергий для двух положений тела. Нулевой уровень отсчёта потенциальной энергии можно выбирать произвольно с учётом удобного способа решения задачи. При этом возможна ситуация, когда тело находится ниже нулевого уровня и его координата отрицательна. В этом случае отрицательной будет и потенциальная энергия тела. Однако *изменение потенциальной энергии, а также совершённая при этом работа не зависят от выбора нулевого уровня*.

Тот факт, что абсолютное значение потенциальной энергии зависит от выбора нулевого уровня отсчёта энергии, вовсе не означает её зависимости от выбора системы отсчёта. На первый взгляд это может показаться странным, поскольку изменение потенциальной энергии определяется работой потенциальных сил $\Delta E_x = -A$, а сама работа зависит от выбора системы отсчёта. На самом деле здесь нет никакого противоречия, нужно лишь вспомнить, что потенциальная энергия есть энергия взаимодействия двух тел, например, рассматриваемого тела и Земли. Поэтому и изменение потенциальной энергии будет определяться суммарной работой сил, действующих на тела системы. То, что суммарная работа потенциальных сил не зависит от выбора системы отсчёта, особенно наглядно видно на примере работы сил упругости системы, состоящей из двух тел, соединённых пружиной. Действительно, работа сил упругости определяется деформацией пружины, но величина деформации не может зависеть от выбора системы отсчёта.

Мы должны, таким образом, рассматривать энергию системы тел как величину, в отношении которой мы можем лишь установить, происходит ли её увеличение или уменьшение при переходе системы из одного определённого положения в другое. Абсолютная величина энергии нам неизвестна, и это не имеет для нас значения, поскольку все явления определяются изменениями энергии, а не её абсолютной величиной.

Дж.Максвелл



ВОПРОСЫ:

- В чём заключается относительный характер механической энергии?
- Что такое полная механическая энергия тела или системы тел?
- Как формулируется закон сохранения механической энергии?

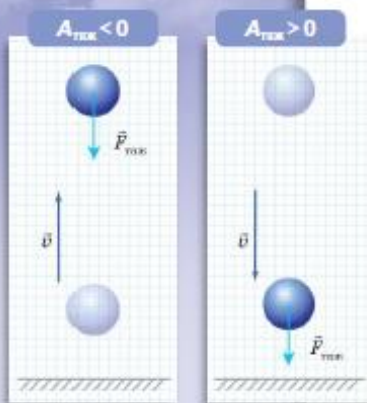
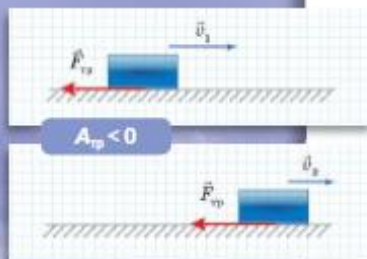
РАБОТА СИЛ ТРЕНИЯ И МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Чем отличается работа силы трения от работы других механических сил.
- Какое влияние оказывает работа силы трения на механическую энергию системы.
- Выполняется ли закон сохранения механической энергии в случае, если в системе действуют силы трения.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое сила трения?
- Что такое механическая работа?
- В чём заключается особенность работы, совершаемой силами тяжести и упругости?



Проведём простой опыт по соскальзыванию бруска с наклонной плоскости. С какой бы высоты мы ни отпустили его и независимо от степени гладкости поверхности, по которой скользит брусок, его движение после соскальзывания обязательно прекратится. Возникают вопросы: на что исчерпался запас потенциальной энергии, которой брусок обладал первоначально? Почему механическая энергия тела в конечном состоянии оказалась равной нулю?

РАБОТА СИЛЫ ТРЕНИЯ Как известно, сила трения скольжения возникает только при относительном движении соприкасающихся тел и направлена противоположно вектору относительной скорости. Характерно, что ни от координат, ни от взаимного расположения тел сила трения не зависит. Следовательно, работу силы трения нельзя выразить через изменение потенциальной энергии тела или системы тел.

Вместе с тем работу силы трения можно вычислить, если воспользоваться теоремой об изменении кинетической энергии.

Рассмотрим случай, когда телу, лежащему на горизонтальной поверхности, толчком сообщили начальную скорость \vec{v}_1 . При этом на тело со стороны плоскости будет действовать сила трения, направленная противоположно вектору скорости. Если через некоторое время скорость тела стала равной \vec{v}_2 , то $|\vec{v}_2| < |\vec{v}_1|$. При этом работа силы трения

$$A_{\text{тр}} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2},$$

где m — масса тела.

Очевидно, что работа силы трения отрицательна. В этой связи следует отметить принципиальное отличие работы силы трения от работы силы тяжести или силы упругости. Например, если тело бросить вверх с поверхности Земли, то сила тяжести совершит отрицательную работу, в результате чего потенциальная энергия тела увеличится. При падении тела на поверхность Земли сила тяжести совершит положительную работу, равную модулю работы этой силы при движении вверх. Полная же работа силы тяжести по замкнутой траектории равна нулю, о чём уже говорилось ранее.

Совсем иная ситуация наблюдается в случае движения тела под действием силы трения: уменьшение кинетической энергии не приводит к её превращению в потенциальную энергию. Поэтому тело после остановки двигаться в обратном направлении не может, на это просто нет запаса механической

энергии. Поскольку сила трения всегда направлена против вектора скорости, то работа силы трения при движении по замкнутой траектории не равна нулю. В этом заключается важное отличие *потенциальных сил* (сила тяжести и сила упругости) от *непотенциальных* (сила трения и сила сопротивления среды).

Чтобы более наглядно представить себе различие между потенциальными и непотенциальными силами, рассмотрим ещё один пример движения тела под действием силы трения.

Пусть тело равномерно поднимается вверх с помощью ленты транспортёра. При этом на тело в направлении движения действует сила трения покоя. По мере перемещения тела вверх его потенциальная энергия увеличивается. Можно ли утверждать, что увеличение потенциальной энергии произошло за счёт работы силы трения?

Ответ, конечно, должен быть отрицательным, поскольку сила трения не является потенциальной и не может изменять потенциальную энергию тела. В рассматриваемом случае увеличение потенциальной энергии обусловлено отрицательной работой составляющей силы тяжести в проекции на направление ленты транспортёра. Очевидно, что сила трения покоя совершит такую же работу, но положительную.

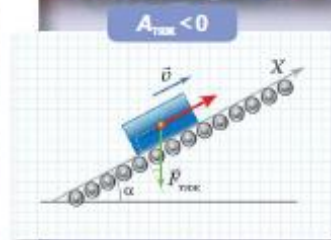
РАБОТА СИЛ ТРЕНИЯ И ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Рассмотренный выше случай движения тела по горизонтальной поверхности под действием силы трения наглядно свидетельствует о нарушении закона сохранения механической энергии: кинетическая энергия тела уменьшается, а потенциальная взамен не появляется. Этот вывод носит общий характер: в любых замкнутых системах, состоящих из макроскопических тел, механическая энергия обязательно убывает.

Действительно, если не поддерживать извне колебания маятника, то они постепенно затухнут, пущенная по льду шайба обязательно остановится через некоторое время и т.д.

Вместе с тем убыль механической энергии не может происходить бесследно. На самом деле остаётся неизменным всеобщий закон сохранения энергии: энергия из механической формы переходит в другую форму, а именно во внутреннюю энергию движения частиц, из которых состоит трущееся тело.

Например, когда мы чиркаем спичкой по коробку, то в результате нагревания головка спички воспламеняется.



Можно привести любопытный пример действия силы трения. Если автомобиль начинает разгоняться из состояния покоя, то внешней силой, сообщающей ускорение автомобилю, является сила трения покоя. Однако никакой работы при этом сила трения покоя не совершает (при условии отсутствия проскальзывания колёс).



ВОПРОСЫ:

- На тело действует сила трения. Может ли работа этой силы быть равной нулю?
- В системе тел действует несколько сил трения. Может ли какая-либо из них совершать положительную работу?
- Как изменяется механическая энергия тела, когда на него действует сила трения скольжения?

Итоговый раздел к главе «ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ»

86

$E_k + E_p = \text{const}$

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

$E_p = mgh$

$E_k = \frac{mv^2}{2}$

$A_{\text{тяж}} = F_{\text{тяж}} \Delta s$

$A_{\text{упр}} = F_{\text{упр}} \Delta s$

$N = Fv$

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \text{const}$

Потенциальная энергия упругой деформации

Архив фотографий НАСА <http://apod.nasa.gov/apod/archivepix.html>

Мемориальный музей космонавтики <http://www.museum.ru/m329#web>

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Работа постоянной силы равна произведению модулей силы и перемещения на косинус угла между ними.
- Мощностью называют отношение работы к интервалу времени, за который эта работа совершена.
- Энергия — физическая величина, характеризующая способность тела совершать работу. Различают потенциальную и кинетическую энергии.
- Работа силы тяжести не зависит от формы траектории, а зависит только от разности высот в конечном положении. Изменение потенциальной энергии также не зависит от формы траектории.
- Теорема об изменении кинетической энергии тела (материала) равно работе сил, действующих на это тело.
- Закон сохранения энергии: в замкнутой системе действуют только силы тяжести и гравитации, механическая энергия сохраняется.
- Закон сохранения импульса: векторная сумма импульсов тел, составляющих замкнутую систему, постоянна при любых движениях и взаимодействиях тел этой системы.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Воздушный шар поднимается вверх. При этом его потенциальная энергия увеличивается. За счёт чего это происходит?
- Пружинный пистолет стреляет шариками известной массы. Как, пользуясь только одной линейкой, определить жёсткость пружины?
- По доске, лежащей на гладкой поверхности, начинает скользить брусочек, и через некоторое время из-за трения его скольжение относительно доски прекращается. Можно ли для нахождения конечной скорости доски и брусочка использовать закон сохранения импульса?

ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Воздушный шар поднимается вверх. При этом его потенциальная энергия увеличивается. За счёт чего это происходит?
- Пружинный пистолет стреляет шариками известной массы. Как, пользуясь только одной линейкой, определить жёсткость пружины?
- По доске, лежащей на гладкой поверхности, начинает скользить брусочек, и через некоторое время из-за трения его скольжение относительно доски прекращается. Можно ли для нахождения конечной скорости доски и брусочка использовать закон сохранения импульса?

РЕАКТИВНОЕ ДВИЖЕНИЕ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое реактивное движение.
- На чём основан принцип движения ракеты.
- Какие успехи достигнуты человечеством в освоении космического пространства.

ВСПОМНИТЕ:

- Как формулируется закон сохранения импульса?
- Что такое искусственные спутники Земли?

Ещё до изобретения парохода существовал проект судна, движущегося на основе реактивного принципа: запас воды на судне предполагалось выбрасывать с помощью сильного нагнетательного насоса в кормовой части, вследствие чего судно должно было двигаться вперёд.



Константин Эдуардович Циолковский
(1857—1935)

Русский учёный. В 1903 г. впервые предложил конструкцию космической ракеты с жидкостным реактивным двигателем.



Каждый из нас может в домашних условиях провести следующий простой опыт. Если удерживать шланг душа рукой в вертикальном положении и опустить при этом разбрызгиватель (лейку) душа вниз в ванну, после включения воды можно увидеть, что шланг заметно отклонился в сторону, противоположную направлению струи воды. Это явление основано на так называемом реактивном движении.

РЕАКТИВНОЕ ДВИЖЕНИЕ Реактивным движением называют движение тела, возникающее при отделении некоторой его части с какой-либо скоростью относительно тела. При этом на тело будет действовать реактивная сила, сообщающая ему ускорение. Главная отличительная особенность реактивной силы заключается в том, что она возникает без какого-либо взаимодействия с окружающими телами. Характерный пример — движение ракеты в космическом пространстве. В космосе нет среды в общепринятом смысле, поэтому взаимодействие происходит лишь между ракетой и вылетающими из неё газами.

До включения двигателя ракеты суммарный импульс ракеты и топлива равен нулю. Согласно закону сохранения импульса суммарный импульс системы, состоящей из ракеты и вылетающих газов, должен остаться неизменным, т. е. равным нулю:

$$m_p v_p - m_{газ} v_{газ} = 0,$$

где m_p и $m_{газ}$ — массы ракеты и сгоревшего топлива; v_p и $v_{газ}$ — скорости ракеты и выбрасываемых газов.

Закон сохранения импульса позволяет найти скорость движения ракеты, если известна скорость истечения газов. Правда, это касается случая, когда расширяющиеся газы вылетают из ракеты сразу целиком. На самом деле сгорание топлива происходит постепенно, и полная масса ракеты с течением времени уменьшается. Поэтому приходится решать задачу о движении тела с переменной массой. Получающиеся при этом уравнения движения ракеты оказываются весьма сложными. Заметим, что принципы реактивного движения активно проявляются в живой природе. Например, осьминоги, каракатицы и кальмары движутся благодаря тому, что всасывают внутрь себя воду, а затем с силой выбрасывают её наружу.

УСПЕХИ В ОСВОЕНИИ КОСМОСА Освоение околоземного космического пространства, не говоря уже о межпланетных полётах, немислимо без развития космической тех-

ники, и прежде всего без создания мощных ракетостроителей. Основы теории реактивного движения, а также конструкцию космической ракеты с жидкостным реактивным двигателем впервые предложил в 1903 г. русский учёный К.Э. Циолковский в своей работе «Исследование мировых пространств реактивными приборами».

Циолковский также научно обосновал возможность осуществления межпланетных полётов и создал теорию движения многоступенчатых ракет. Каждая из ступеней такой ракеты снабжена собственным двигателем и баком с топливом. Когда топливо сгорает, отработанная ступень отстреливается и в работу включается следующая ступень. Именно такие ракеты теперь в основном используются в космонавтике.

Первым эпохальным событием в истории освоения космоса явился запуск в октябре 1957 г. нашей страной первого искусственного спутника Земли. Следующим важным этапом покорения космического пространства стал вывод на околоземную орбиту корабля с человеком на борту. Этим человеком, впервые шагнувшим в космос 12 апреля 1961 г., был наш соотечественник Ю.А. Гагарин. Полёты в космос были осуществлены на ракетных комплексах, сконструированных нашими учёными и инженерами под руководством С.П. Королёва.

Выдающиеся достижения в освоении космоса принадлежат также американским учёным и инженерам. Американские астронавты Н. Армстронг и Э. Олдрин 20 июля 1969 г. впервые осуществили мягкую посадку на поверхность Луны.

Большую роль в изучении околоземного пространства играют орбитальные космические комплексы, позволяющие вести постоянный мониторинг аэро- и гидросферы Земли. В настоящее время на орбитальных станциях разрабатываются технологии изготовления материалов, которые можно получать только в условиях длительной невесомости (например, сверхчистые кристаллы).

Удалённые космические объекты удобно изучать с помощью телескопов-обсерваторий, выведенных на околоземную орбиту. Так, в 1990 г. на орбиту Земли был выведен космический телескоп «Хаббл». В рамках этого международного проекта было получено огромное количество информации об удалённых галактиках, звёздах, туманностях и так называемых экзопланетах, принадлежащих другим звёздным системам.

В ноябре 1998 г. был запущен российский сегмент Международной космической станции (МКС). МКС — совместный проект, целью которого является исследование околоземного пространства и выполнение целого ряда экспериментов в условиях невесомости. В этом проекте участвуют 15 стран.

В августе 2012 г. осуществил мягкую посадку на поверхность Марса американский марсоход «Curiosity», предназначенный для исследования поверхности этой планеты.



Юрий Алексеевич Гагарин
(1934—1968)

Русский лётчик-космонавт, первый человек, совершивший полёт в космос.



Сергей Павлович Королёв
(1907—1966)

Конструктор, учёный, академик. Дважды Герой Социалистического Труда. С его именем связан запуск первого космического спутника и первый полёт человека в космос.

ВОПРОСЫ:

- Что называют реактивным движением?
- Какие примеры реактивного движения вам известны?
- Каковы основные достижения в освоении космоса?

Глава 8 СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

- ПОСТУЛАТЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ. ОДНОВРЕМЕННОСТЬ
- ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГАЛИЛЕЯ И ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЛОРЕНЦА
- ЛОРЕНЦЕВО СОКРАЩЕНИЕ ДЛИНЫ. ЗАМЕДЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ
- РЕЛЯТИВИСТСКИЙ ЗАКОН СЛОЖЕНИЯ СКОРОСТЕЙ
- ЧЕТЫРЁХМЕРНОЕ ПРОСТРАНСТВО-ВРЕМЯ
- РЕЛЯТИВИСТСКИЕ МАССА, ЭНЕРГИЯ, ИМПУЛЬС
- РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

РАЗДЕЛ IV

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

КОРОТКО О ГЛАВНОМ...
Значение теории относительности простирается на все процессы природы, начиная от радиоактивности, волн и корпускул, мучаемых атомом, и вплоть до движения небесных тел, удалённых от нас на миллионы лет.

М. Планк

140

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

ЗАКОНЫ ПРИРОДЫ ОДИНАКОВЫ ВО ВСЕХ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ОТСЧЁТА

ОДНОВРЕМЕННОСТЬ ОТНОСИТЕЛЬНА

СКОРОСТЬ СВЕТА В ВАКУУМЕ $c = 300\,000$ км/с

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

- В основе специальной теории относительности лежат два постулата:
 1. Законы природы одинаковы во всех системах отсчёта, движущихся прямолинейно и равномерно друг относительно друга.
 2. Скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчёта и не зависит ни от скорости источника света, ни от скорости приёмника светового сигнала.
- Согласно теории относительности одновременность — понятие не абсолютное, а относительное.
- При скоростях, сравнимых со скоростью света, происходит сокращение длины и замедление времени.
- Классическая механика является частным случаем релятивистской механики при скоростях, много меньших скорости света.

ЭНЕРГИЯ ПОКОЯ $E_0 = mc^2$

МАССА

ИМПУЛЬС $E^2 - p^2c^2 = m^2c^4$

ПОДРОБНЕЕ...
Филонович С.Р. Самая большая скорость. Вып. 27. / С. Р. Филонович. — М.: Наука, 1988. — (Библиотечка «Книль»).
Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Ч. 2. Электричество и магнетизм. Термодинамика и квантовая механика. Физика ядра и элементарных частиц. — М.: Аванта+, 2000.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Будут ли выполняться закон всемирного тяготения и закон Кулона для заряженных тел, движущихся друг относительно друга с релятивистскими скоростями?
- Далекая галактика удаляется от Земли со скоростью, равной половине скорости света. Наблюдатель на Земле регистрирует излучённый галактикой свет. Чему равна скорость этого света относительно наблюдателя?
- В некоторой системе отсчёта для релятивистские частицы движутся в противоположных направлениях. Может ли скорость их «разбегания» превышать скорость света?

Элементы: Популярный сайт о фундаментальной науке <http://elementy.ru/>

Научно-популярный интернет-журнал «Мембрана» <http://www.membrana.ru/>

ВЫ УЗНАЕТЕ:

● Как связаны между собой масса, импульс и энергия в теории относительности.

ВСПОМНИТЕ:

● Как связаны между собой масса, импульс и энергия в классической физике?

«Формула $E = mc^2$ является, пожалуй, самой знаменитой формулой в мире. В сознании миллионов она является символом теории относительности. Многочисленные популяризаторы науки убеждают своих читателей, слушателей и зрителей в том, что в согласии с этой формулой масса любого тела возрастает с увеличением скорости. И только немногие физики, специалисты в области физики элементарных частиц, знают, что истинная формула Эйнштейна — это $E_0 = mc^2$, где E_0 — энергия, содержащаяся в покоящемся теле, и что масса тела не зависит от скорости, с которой оно движется, и, следовательно, не зависит от его кинетической энергии», — писал академик Лев Борисович Окунь, физик-теоретик, учёный с мировым именем, известный популяризатор физики.

$$E = mc^2$$

РЕЛЯТИВИСТСКИЕ МАССА, ЭНЕРГИЯ, ИМПУЛЬС

Релятивистская физика позволила взглянуть по-новому не только на пространство и время, но и на такие фундаментальные физические понятия, как энергия, масса и импульс.

МАССА, ЭНЕРГИЯ И ИМПУЛЬС В МЕХАНИКЕ НЬЮТОНА

Из классической механики о массе мы знаем следующее:

- 1) масса является мерой количества вещества, количества материи;
- 2) масса составного тела равна сумме масс составляющих его тел;
- 3) масса изолированной системы тел сохраняется, не меняется со временем;
- 4) масса тела не меняется при переходе от одной инерциальной системы отсчёта к другой;
- 5) масса тела является мерой его инертности;
- 6) массы тел являются источником их гравитационного притяжения друг к другу.

В классической механике масса входит в основные формулы. Она связывает импульс тела p и его скорость v :

$$p = mv, \quad (1)$$

а также силу, действующую на тело, с ускорением, которое это тело приобретает в результате действия силы:

$$F = ma. \quad (2)$$

Масса входит также в формулу для кинетической энергии тела E_k :

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}. \quad (3)$$

Из формулы (3) видна связь между массой, энергией и импульсом в классической механике.

РЕЛЯТИВИСТСКИЕ МАССА, ЭНЕРГИЯ И ИМПУЛЬС И в классической, и в релятивистской физике энергия — это самая общая мера всех процессов в природе, а импульс — это самая общая мера всех движений. Энергия — скалярная физическая величина, а импульс — векторная. Величины энергии и импульса относительны, они зависят от системы отсчёта. Эйнштейну удалось не только связать между собой пространство и время, но и понять глубинную физическую сущность связи энергии и массы и получить релятивистские соотношения между энергией, импульсом и массой. В специальной теории относительности есть формула, которая является главной в этой науке, формула, связывающая не просто энергию с массой, а энергию, импульс и массу:

$$E^2 - p^2c^2 = m^2c^4. \quad (4)$$

Используя преобразования Лоренца для энергии и импульса, можно показать, что при переходе от одной

инерциальной системы координат к другой соотношение $E^2 - p^2c^2$ остаётся неизменным. Поскольку, как мы уже знаем, скорость света не изменяется при переходе от одной системы координат к другой, то масса также остаётся неизменной, т. е. она является характеристикой частицы (тела) как таковой. Представим себе, что тело массой m покоится в некоторой системе координат. В этом случае его скорость и импульс равны нулю. В этом случае тело обладает энергией, которая называется энергией покоя и обозначается E_0 . Из формулы (4) следует, что

$$E_0 = mc^2. \quad (5)$$

Открытие того, что покоящееся тело обладает огромной энергией, было великим открытием Эйнштейна, кардинально изменившим представления об окружающем мире.

Пусть теперь масса тела равна нулю. Есть ли в природе такие тела? Да, например, фотон — квант света является безмассовой частицей, т. е. масса фотона равна нулю. При этом фотоны движутся со скоростью света. В этом случае из формулы (4) следует, что

$$E = pc. \quad (6)$$

Таким образом, хотя фотон и не обладает массой, он обладает энергией и импульсом. Эксперименты выдающегося физика-экспериментатора П. Н. Лебедева по измерению давления света подтвердили наличие импульса у фотонов.

В общем случае в теории относительности импульс частицы связан с её скоростью соотношением

$$p = \frac{E}{c^2}v. \quad (7)$$

Связь полной энергии E с массой m и скоростью v даётся соотношением

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (8)$$

Отметим, что в релятивистской физике мерой инертности тела при произвольной скорости $v \leq c$ является его полная энергия E , а не его масса m .

Как и в ньютоновой механике, в теории относительности имеют место законы сохранения энергии и импульса изолированной частицы или изолированной системы частиц. Энергия и импульс сохраняются и в различных реакциях, например в столкновениях частиц на коллайдерах. Но, в отличие от механики Ньютона, в теории относительности масса системы взаимодействующих частиц не равна сумме их масс.

Например, в реакции аннигиляции электрона и позитрона вся масса переходит в энергию образовавшихся гамма-квантов. А в реакции деления ядер масса осколков деления не равна массе исходного ядра.

Схематически связь между массой, энергией и импульсом можно изобразить в виде прямоугольного треугольника, где гипотенузой является энергия частицы, а катетами — произведение импульса на скорость света и произведение массы на квадрат скорости света. Все эти «стороны треугольника» имеют размерности энергии. По теореме Пифагора:

$$E^2 = p^2c^2 + m^2c^4.$$



Законы теории относительности не отменяют законы классической физики: при скоростях, существенно меньших скорости света, отношение v/c стремится к нулю, и все формулы релятивистской физики переходят в хорошо знакомые вам формулы механики Ньютона. Таким образом, классическая механика является частным случаем релятивистской механики при скоростях, много меньших скорости света.

ЗАДАНИЯ:


- Как связаны между собой масса, энергия и импульс в классической механике?
- Как связаны между собой масса, энергия и импульс в релятивистской механике?

138

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как решать задачи на постулаты специальной теории относительности.
- Как решать задачи на вычисление энергии покоя.



ЗАДАЧА 1 Как известно, в инерциальной системе отсчёта свет от неподвижного источника распространяется в вакууме со скоростью c . Чему будет равна скорость отражённого от зеркала света в инерциальной системе отсчёта, связанной с источником, если источник света S и зеркало B движутся навстречу друг другу со скоростями, равными по модулю v ?

Решение:
Согласно одному из постулатов специальной теории относительности скорость света в вакууме одинакова для всех инерциальных систем отсчёта и не зависит ни от скорости источника, ни от скорости приёмника светового сигнала. В данной задаче роль приёмника светового сигнала играет зеркало, следовательно, скорость отражённого от зеркала света будет равна скорости света в вакууме, т.е. c .

Ответ: скорость отражённого от зеркала света равна скорости света в вакууме, т.е. c .

ЗАДАЧА 2 Вычислите энергию, соответствующую массе покоящегося электрона.

Дано:
 $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг
 $c = 3 \cdot 10^8$ м/с

Решение:
Согласно формуле Эйнштейна $E_0 = mc^2$.
Подставим числовые значения и получим

$E_0 = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг \cdot $(3 \cdot 10^8$ м/с) $^2 = 8,19 \cdot 10^{-14}$ Дж.

Ответ: $E_0 = 8,19 \cdot 10^{-14}$ Дж.

ЗАДАЧА 3 С помощью очень точных измерительных приборов проверяется выполнение законов геометрической оптики в двух космических кораблях: один из них покоится относительно некоторой инерциальной системы отсчёта, а другой движется прямолинейно со скоростью $v = c/2$, где c — скорость света в вакууме. Может ли быть обнаружено различие в результатах опыта в каждом из двух случаев?

Решение:
Никакого различия в смысле выполнения законов геометрической оптики наблюдаться не может. В соответствии с принципом относительности все физические явления, протекающие на движущемся космическом корабле, никак не зависят от скорости его равномерного и прямолинейного движения.

Ответ: нет.

139

ЗАДАЧА 4 Определите относительную скорость движения ракеты, если её продольные размеры земному наблюдателю кажутся в 3 раза меньше «истинных».

Дано:
 $l_0 = 3l$
 $v = ?$

Решение:
В системе отсчёта $X_1Y_1Z_1$, относительно которой ракета покоится, длина ракеты равна l_0 . В системе отсчёта XUY , связанной с земным наблюдателем, относительно которой ракета движется со скоростью v , длина ракеты равна l . Эти длины связаны соотношением

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Так как $l_0 = 3l$, $l = 3l \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$;

$$1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{9};$$

$$v = c \sqrt{1 - \frac{1}{9}} = 0,94c = 0,94 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} = 2,8 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v = 2,8 \cdot 10^8$ м/с.

ЗАДАЧА 5 Космический корабль движется со скоростью $0,8c$ относительно Земли. Определите, сколько времени прошло на Земле, если по корабельным часам прошло 10 лет.

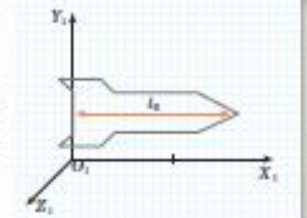
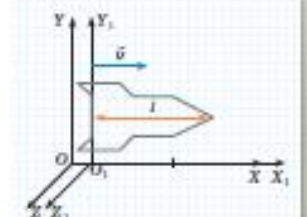
Дано:
 $v = 0,8c$
 $t_0 = 10$ лет
 $t = ?$

Решение:
Время, измеренное в системе отсчёта $X_1Y_1Z_1$, относительно которой космический корабль покоится, равно t_0 (см. рисунок предыдущей задачи). Время, измеренное наблюдателем с Земли, в системе отсчёта XUY , относительно которой космический корабль движется со скоростью v , равно t . Эти времена связаны соотношением

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad t = \frac{t_0}{\sqrt{1 - (0,8c)^2/c^2}} = \frac{t_0}{0,6}$$

$$t = \frac{10 \text{ лет}}{0,6} \approx 16,7 \text{ лет}.$$

Ответ: $t = 16,7$ лет.

Глава 9

СВЕТОВЫЕ КВАНТЫ. АТОМНАЯ ФИЗИКА

- ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ. ЗАКОНЫ ФОТОЭФФЕКТА
- КВАНТОВАЯ ТИПОТЕЗА ПЛАНКА. КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ФОТОЭФФЕКТА
- ДАВЛЕНИЕ СВЕТА. ВОЛНОВЫЕ И КОРПУСКУЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА
- МОДЕЛИ СТРОЕНИЯ АТОМА. ОПЫТ РЕЗЕРФОРДА
- АТОМ БОРА
- АТОМ И КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА
- ЛАЗЕР
- РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

РАЗДЕЛ V

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

160

КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ

- ФОТОЭФФЕКТ

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$$
- ДАВЛЕНИЕ СВЕТА

АТОМ БОРА

$$E = h\nu$$

ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА ЧАСТИЦ

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Согласно Планку излучение испускается отдельными порциями, или квантами, энергия которых определяется формулой $E = h\nu$.
- Вырывание электронов из вещества под действием света называется фотоэффектом.
- Энергия кванта расходуется на совершение работы выхода, т. е. работы, которую нужно совершить для вырывания электрона из металла, и на сообщение ему кинетической энергии.
- Свету присущ дуализм: он обладает как непрерывными (волновыми), так и дискретными (корпускулярными) свойствами.
- Согласно модели атома Бора электрон в атоме может находиться не на любых орбитах, а лишь на стационарных уровнях, где излучения не происходит. При переходе атома из одного стационарного состояния в другое испускается или поглощается квант электромагнитного излучения.
- Устройства, предназначенные для получения интенсивной электромагнитной волны вследствие вынужденного излучения, называются квантовыми генераторами. Квантовые генераторы видимого света называют лазерами.

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

ПОДРОБНЕЕ...

- Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Ч. 1. Биография физики. Путешествуем в глубь материи. Механическая картина мира. — М.: Аванта+, 2000.
- Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Ч. 2. Электричество и магнетизм. Термодинамика и квантовая механика. Физика ядра и элементарных частиц. — М.: Аванта+, 2000.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Луч какого лазера — красного или синего — оказывает при одинаковой интенсивности лопка фотонов большее давление на поверхность тела?
- Энергия квантов, вызывающих фотоэффект, увеличилась вдвое. Увеличилась ли при этом вдвое кинетическая энергия электронов, вырываемых из катода?
- Фотон и электрон обладают одинаковой кинетической энергией. Какая из частиц имеет большую длину волны?
- Имеется ли связь между частотой обращения электрона вокруг ядра атома водорода и частотой его излучения?

КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

Каждый фотон думает, что он знает, что такое фотон. Я потратил всю жизнь, чтобы узнать, что такое фотон, и до сих пор этого не знаю.
А. Эйнштейн

Образовательный интернет-проект для школьников
<http://oscteam.com/>

Физика машин
<http://www.naukadv.ru/>

Элементы Популярный сайт о фундаментальной науке
<http://elementy.ru/>

186

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как решать задачи на закон радиоактивного распада.
- Как решать задачи на вычисление энергии связи.
- Как решать задачи на вычисление энергетического выхода реакций.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ЗАДАЧА 1 Какие заряд Z и массовое число A будет иметь ядро элемента, полученного из ядра изотопа ^{238}U после одного α -распада и двух β -распадов?

Решение:
 При α -распаде массовое число уменьшается на четыре единицы, а зарядовое число уменьшается на две единицы.
 При β -распаде массовое число не изменится, так как электрон является очень лёгкой частицей, а зарядовое число при этом увеличивается на единицу.
 Следовательно, в результате трёх последовательных распадов явном образуется изотоп урана с зарядом $Z = 92$ и массовым числом $A = 234$.

Ответ: $Z = 92; A = 234$.

ЗАДАЧА 2 Период полураспада изотопа полония-210 — 138 суток. Сколько ядер полония распадается за 30 суток и образце полония массой 1 г?

| | | |
|---|----------------|--|
| Дано: $T_{1/2} = 138$ сут. $m = 1$ г $t = 30$ сут. | СИ 0,001 кг | Решение: Согласно закону радиоактивного распада число радиоактивных атомов спустя время t : |
|---|----------------|--|

$$N = N_0 \cdot 2^{-t/T_{1/2}}$$

Начальное число атомов можно найти по формуле

$$N_0 = \frac{m}{M} N_A,$$

где $M = 0,210$ кг/моль — молярная масса полония; $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ 1/моль — число Авогадро.
 Тогда число распавшихся атомов:

$$\Delta N = N_0 - N = N_0 - N_0 \cdot 2^{-t/T_{1/2}} = N_0 (1 - 2^{-t/T_{1/2}}) = \frac{m}{M} N_A (1 - 2^{-t/T_{1/2}});$$

$$\Delta N = \frac{0,001 \text{ кг}}{0,210 \text{ кг/моль}} \cdot 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}} (1 - 2^{-30/138}) = 4 \cdot 10^{20}.$$

Ответ: $\Delta N = 4 \cdot 10^{20}$.

ЗАДАЧА 3 Вычислите дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи для ядра атома углерода ^{12}C .

187

| | |
|---|---|
| <p>Дано: ^{12}C $Z = 6$ $N = 6$ $M_C = 12$ а.е.м. $m_p = 1,00728$ а.е.м. $m_n = 1,00867$ а.е.м. $m_e = 0,00055$ а.е.м.</p> <p>$\Delta m = ?$ $E_{\text{св}} = ?$ $E_{\text{уд}} = ?$</p> | <p>Решение: Дефект массы можно вычислить по формуле $\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_C$. Массу ядра атома углерода получим, вычитая из массы атома углерода массу шести его электронов: $M_C = 12$ а.е.м. $\Delta m = 6 \cdot 1,00728 + 6 \cdot 1,00867 - (12 - 6 \cdot 0,00055) = 0,0099$ а.е.м. Энергия связи ядра: $E_{\text{св}} = 0,0099$ а.е.м. $\cdot 931$ МэВ/а.е.м. = 9,217 МэВ.</p> |
|---|---|

Удельная энергия связи $E_{\text{уд}} = \frac{E_{\text{св}}}{A}$.

$$E_{\text{уд}} = \frac{92,17 \text{ МэВ}}{12} = 7,68 \text{ МэВ/нуклон}.$$

Ответ: $\Delta m = 0,0099$ а.е.м.; $E_{\text{св}} = 92,17$ МэВ;
 $E_{\text{уд}} = 7,68$ МэВ/нуклон.

ЗАДАЧА 4 Рассчитайте энергетический выход ядерных реакций при бомбардировке ядер лития ^7Li : а) протонами (в результате образуются две α -частицы); б) α -частицами (в результате образуется ядро атома бора и выбивается нейтрон).

| | |
|--|--|
| <p>Дано: $M_L = 7,01600$ а.е.м. $M_{\text{пр}} = 4,00260$ а.е.м. $M_B = 10,01294$ а.е.м. $m_p = 1,00728$ а.е.м. $m_n = 1,00867$ а.е.м. $m_e = 0,00055$ а.е.м.</p> <p>$Q_1 = ?$ $Q_2 = ?$</p> | <p>Решение: Вспомогательные реакции: а) $^7\text{Li} + ^1\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + ^4\text{He} + Q$ б) $^7\text{Li} + ^4\text{He} \rightarrow ^{10}\text{B} + ^1\text{n} + Q$.</p> <p>Энергетический выход ядерной реакции $Q = \Delta mc^2$, где Δm — разность масс исходных частиц и продуктов реакции.</p> |
|--|--|

Для ядерной реакции а):
 $\Delta m_1 = (M_L + m_p) - (2M_{\text{He}} + 2m_e) = (7,016 + 1,00728 - 2(4,0026 + 0,00055)) = 0,01863$ а.е.м.
 $Q_1 = 0,01863$ а.е.м. $\cdot 931$ МэВ/а.е.м. = 17,34 МэВ.

Для ядерной реакции б):
 $\Delta m_2 = (M_L + m_{\alpha}) - (M_B + m_n + 2m_e) = (7,016 + 4,0026 - 10,01294 - 1,00867 + 0,0011) = -0,003$ а.е.м.
 $Q_2 = -0,003$ а.е.м. $\cdot 931$ МэВ/а.е.м. = -2,8 МэВ.

Ответ: $Q_1 = 17,34$ МэВ; $Q_2 = -2,8$ МэВ.

Энергию связи можно выразить в электрон-вольтах или мегаэлектрон-вольтах (МэВ). Найдём коэффициент для перевода энергии, выраженной в джоулях, в электрон-вольты, если дефект массы выражен в атомных единицах массы (1 а.е.м. = $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг).

$$E_{\text{св}} = \Delta mc^2 = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2 = 1,49 \cdot 10^{-10} \text{ Дж} = 1,49 \cdot 10^{-10} \text{ Дж} / 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 931 \text{ МэВ}.$$

Таким образом,
 $E_{\text{св}} = \Delta m \cdot 931$ МэВ/а.е.м.

Энергетический выход реакции а) $Q_1 > 0$. Это означает, что реакция идёт с выделением энергии. $Q_2 < 0$, т.е. реакция б) идёт с поглощением энергии. Суммарная кинетическая энергия продуктов реакции (ядро бора и нейтрона) меньше, чем суммарная кинетическая энергия исходных частиц (ядро лития и альфа).

В этом случае реакция б) невозможна, если кинетическая энергия исходных частиц превышает 2,8 МэВ.

Глава 10

ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

- РАДИОАКТИВНОСТЬ
- РАДИОАКТИВНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ. ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСТАДА
- СОСТАВ И СТРОЕНИЕ АТОМНОГО ЯДРА
- ЯДЕРНЫЕ СИЛЫ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ
- ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ АТОМНЫХ ЯДЕР. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ВЫХОД ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ
- ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ ДЕЛЕНИЯ. ЦЕПНЫЕ ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ
- ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР. АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА
- ТЕРМОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ
- ВЛИЯНИЕ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ. ДОЗИМЕТРИЯ
- ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ
- ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ
- ПРИБОРЫ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ И РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ
- РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

РАЗДЕЛ V

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

Если бы я мог упомянуть название всех элементарных частиц, я бы стал болельщиком.

Э. Ферми

188

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$



Международный научно-образовательный интернет-журнал для школьников
<http://osstem.com>

Физика машин
<http://www.naukady.ru/>

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- Радиоактивность — способность атома некоторых химических элементов к самопроизвольному излучению. Радиоактивное излучение имеет сложный состав: α -частицы (являющиеся обоян электронов атома гелия), β -частицы (электроны) и γ -излучение.
- Основной закон радиоактивного распада: для каждого вида радиоактивного вещества существует определённый интервал времени, по истечении которого его активность уменьшается в два раза. Этот временной интервал называется периодом полураспада.
- Протонно-нейтронная модель ядра: ядра всех атомов состоят из положительно заряженных протонов и нейтральных нейтронов.
- Между ядерными частицами действуют короткодействующие ядерные силы.
- Энергия связи ядра называют ту энергию, которая необходима для полного расщепления ядра на составляющие его нуклоны.
- Процесс превращения ядер атомов одних элементов в ядра атомов других элементов называют ядерной реакцией. Существует два типа ядерных реакций: реакции деления и реакции синтеза.
- Мельчайшие частицы вещества, не являющиеся атомами или атомными ядрами, называют элементарными частицами.
- В природе существует четыре типа фундаментальных взаимодействий: гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое.

ПОДРОБНЕЕ...

- Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Ч. 1. Биография физики. Путешествие в глубь материи. Механическая картина мира. — М.: Аванта+, 2000.
- Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Ч. 2. Электричество и магнетизм. Термодинамика и квантовая механика. Физика ядра и элементарных частиц. — М.: Аванта+, 2000.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Некоторые химические элементы, например радий, имеют весьма малый период полураспада по сравнению с возрастом Земли. Почему же их до сих пор обнаруживают в радиоактивных превращениях?
- Почему α -частицы, испускаемые радиоактивными препаратами, не могут вызвать ядерных реакций в тяжёлых элементах?
- Могут ли существовать объекты, состоящие только из одних нейтронов?

62

ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР. АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как можно использовать энергию атомного ядра.
- Как устроен ядерный реактор.
- Каковы преимущества и недостатки атомной энергетики.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое ядерные реакции деления?
- Какую роль играют нейтроны в реакциях деления ядер?
- Что такое цепные реакции деления?

Первый ядерный реактор был запущен в СССР в 1946 г. под руководством И. В. Курчатова.



Как известно, потребности человечества в энергии постоянно растут. При этом основную долю энергии люди получают путём сжигания невозобновляемых запасов природного топлива в виде угля, нефти, газа и т. п. Поэтому важное место в жизни общества занимает поиск альтернативных способов получения энергии.

ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР Открытие деления тяжёлых ядер привело к возникновению и развитию атомной энергетики, основанной на использовании энергии, запасённой внутри ядра атома. Процесс развития управляемых цепных ядерных реакций и их контроль осуществляются в установках, называемых **ядерными реакторами**.

Главную часть реактора называют **активной зоной**. В активной зоне расположены тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы), имеющие трубчатую форму и содержащие ядерное топливо.

Топливо для реактора представляет собой таблетки, состоящие из оксида урана-235. Топливо в реакторах работает от 3 до 5 лет, после чего ТВЭЛы извлекают из активной зоны и заменяют на новые.

Чтобы ядерное топливо использовалось максимально эффективно, в активную зону реактора помещают **замедлители**, которые замедляют нейтроны, образующиеся при делении ядер. Это обусловлено тем, что ядра урана-235 с большой вероятностью делятся под действием медленных нейтронов, энергия которых меньше, чем энергия нейтронов деления. В качестве замедлителей в реакторах обычно используют тяжёлую воду или чистый графит. Эти вещества эффективно замедляют нейтроны, не поглощая их.

Снаружи активная зона реактора окружена **отражателем нейтронов**, представляющим собой оболочку, изготовленную из бериллия. Наличие отражателя не позволяет нейтронам покидать активную зону, что увеличивает вероятность деления ядер.

Для нормальной работы реактора необходимо, чтобы ядерная цепная реакция протекала стационарно. Это возможно только при строгом постоянстве во времени числа нейтронов, образующихся в процессе деления. Если их число по тем или иным причинам начнёт увеличиваться, это приведёт к резкому росту энерговыделения, что чревато взрывом реактора. Если число нейтронов

будет уменьшаться, то реакция деления быстро загаснет. Поэтому для управления цепной реакцией в реакторе предусмотрены так называемые **регулирующие стержни**, которые состоят из материалов, активно поглощающих нейтроны. Как правило, это соединения кадмия или бора. Для того чтобы остановить цепную реакцию, регулирующие стержни полностью вводят в активную зону реактора. Чтобы реактор запустить заново, стержни постепенно выводят из активной зоны до тех пор, пока не начнётся цепная реакция деления ядер урана.

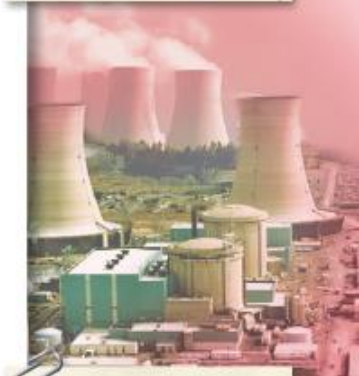
АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ Принцип работы атомной электростанции практически ничем не отличается от принципа работы обычной тепловой электростанции. Тепло, выделяющееся в активной зоне реактора, отводится теплоносителем, например водой. Теплоноситель поступает в парогенератор, в котором вода превращается в пар под высоким давлением. Затем пар подается на турбину, соединённую с генератором электроэнергии. Отработанный пар превращается в воду в конденсаторе, откуда вода снова поступает в парогенератор.

На АЭС циркулирует теплоноситель и пара осуществляются по замкнутому контурам, что важно с точки зрения обеспечения радиационной безопасности.

АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОЛОГИЯ Преимуществом ядерной энергетики по сравнению с тепловыми электростанциями является отсутствие вредных выбросов в атмосферу при работе реактора. АЭС не потребляют атмосферный кислород и позволяют в перспективе решить проблему ограниченного запаса природного топлива. При этом производимая энергия оказывается значительно дешевле энергии, вырабатываемой на тепловых электростанциях. Вместе с тем в атомной энергетике есть и свои проблемы. Очень серьёзными проблемами являются хранение и переработка радиоактивных отходов. К сожалению, на сегодняшний день не существует абсолютно безопасных методов захоронения ядерных отходов и предотвращения их попадания в окружающую среду.



При делении 1 кг урана-235 выделяется энергия, которую можно получить при сжигании 3000 т каменного угля, это примерная масса железнодорожного состава из 60 вагонов.



В настоящее время построены реакторы, работающие на быстрых нейтронах, т. е. без замедлителя. Эти реакторы называют реакторами-размножителями, поскольку при их работе в активной зоне образуется ядерное топливо — плутоний.

ВОПРОСЫ:

- При каком условии режим работы ядерного реактора является стационарным?
- Зачем в ядерном реакторе используют замедлители и поглотители нейтронов?
- Каковы преимущества АЭС по сравнению с тепловыми электростанциями?

182

66 ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как классифицируют элементарные частицы.
- Что такое фундаментальные взаимодействия.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое элементарные частицы?
- Что такое кварки?
- Что такое ядерные силы?

ТИПЫ КЛАССИФИКАЦИЙ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ Все элементарные частицы можно классифицировать по нескольким сходным признакам. По времени жизни различают стабильные и нестабильные элементарные частицы. Стабильные частицы могут существовать длительное время, не превращаясь в другие частицы. К ним относятся протон, нейтрон, фотон, нейтрино и др. Нестабильные частицы через короткое время (10^{-6} – 10^{-23} с) превращаются в другие частицы. В зависимости от массы различают безмассовые частицы, масса которых равна нулю (например, фотон), и все остальные частицы с ненулевой массой. Также элементарные частицы классифицируют по видам взаимодействий, в которых они участвуют.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В природе существует четыре типа взаимодействий, которые называют *фундаментальными*. Все процессы, происходящие с элементарными частицами, связаны с фундаментальными взаимодействиями. К фундаментальным взаимодействиям относят гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое.

В гравитационном взаимодействии участвуют все тела, имеющие массы. Однако в микромире массы элементарных частиц очень малы, поэтому влияние гравитационных сил пренебрежимо мало по сравнению с другими типами взаимодействий.

Электромагнитное взаимодействие осуществляется посредством электромагнитного поля. В нём участвуют все заряженные тела и частицы, обладающие электрическим зарядом. Именно электромагнитное взаимодействие отвечает за существование атомов и молекул. Взаимодействие между электронами и ядром атома и между атомами в молекуле имеет электромагнитную природу.

Сильные и слабые взаимодействия проявляются только внутри атомного ядра. Сильное взаимодействие выражается в виде действия ядерных сил. Ядерные силы не только действуют между протонами и нейтронами, удерживая их в ядре, но и связывают кварки внутри протонов и нейтронов. В слабом взаимодействии участвуют все элементарные частицы, кроме фотона. Оно действует на расстояниях, примерно в 1000 раз меньших, чем при сильных взаимодействиях, порядка 10^{-16} м (т. е. около

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ПРИРОДЕ

- Гравитационное
- Электромагнитное
- Сильное
- Слабое

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

- Гравитационное: 10^{-38}
- Слабое: 10^{-15}
- Электромагнитное: 10^{-2}
- Сильное: 1

183

0,1% диаметра протона). Слабое взаимодействие отвечает за большинство распадов элементарных частиц.

АДРОНЫ, ЛЕПТОНЫ И ПЕРЕНОСЧИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В зависимости от участия в том или ином типе взаимодействия элементарные частицы разделяют на два класса: адроны и лептоны. Адроны участвуют во всех видах фундаментальных взаимодействий. Все адроны состоят из кварков. По составу адроны, в свою очередь, делятся на две группы: барионы, состоящие из трёх кварков, и мезоны, состоящие из кварка и антикварка. Именно к барионам относятся протоны и нейтроны, входящие в состав атомного ядра. Лептоны — это элементарные частицы, которые не участвуют в сильных взаимодействиях. В настоящее время известны шесть типов лептонов. Среди них электрон и нейтрино.

Существует ещё один класс элементарных частиц, посредством которых осуществляются фундаментальные взаимодействия. Это так называемые *переносчики взаимодействия*. Согласно современному представлению фундаментальные взаимодействия в мире элементарных частиц осуществляются в результате обмена частицами-квантами того или иного поля. Электромагнитное взаимодействие происходит вследствие обмена фотонами — квантами электромагнитного поля. Сильное взаимодействие осуществляется посредством обмена частицами — глюонами. Так же как и фотон, глюон — безмассовая частица. Переносчиками слабого взаимодействия являются три частицы: W^+ , W^- и Z^0 бозоны. Учёные предполагают, что переносчиком гравитационного взаимодействия является частица гравитон, однако экспериментально обнаружить её пока не удалось.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ЧАСТИЦЫ После того как было обнаружено, что адроны состоят из кварков, адроны целесообразно называть не элементарными частицами, а просто частицами. А частицы, у которых отсутствует внутренняя структура, т. е. которые уже нельзя поделить на составные части, принято называть *фундаментальными частицами* или *истинно элементарными частицами*. В настоящее время к фундаментальным частицам относятся лептоны, кварки и переносчики взаимодействий.

СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ И ТЕОРИЯ ВЕЛИКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ Стандартной моделью принято называть современную теорию строения и взаимодействия элементарных частиц. Основные положения Стандартной модели согласуются с большинством экспериментов. Она описывает три из четырёх фундаментальных взаимодействий: электромагнитное, сильное и слабое, но не включает в себя гравитацию и не согласуется с теорией относительности. Учёные пытаются создать новую теорию Великого объединения, объединяющую все известные типы взаимодействий.

Названия частиц адроны (в пер. с греч. — крупный, массивный) и лептоны (в пер. с греч. — лёгкий) были предложены в то время, когда среди лептонов были известны только электрон и нейтрино — самые лёгкие из элементарных частиц. Позднее открыли частицу тау-лептон, масса которой оказалась в два раза больше массы самого лёгкого адрона.

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

- ЛЕПТОНЫ
- АДРОНЫ
- ПЕРЕНОСЧИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
 - фотон
 - глюон
 - W^+ , W^- и Z^0 бозоны
 - гравитон
- БОЗОНЫ
 - мезоны
 - кварки

Стандартная модель предполагает наличие ещё одного поля — поля Хиггса (названо по имени английского физика П. Хиггса). Считается, что поле Хиггса отвечает за массу частиц. Частицы, сильно взаимодействующие с полем Хиггса, тяжелее частиц, слабо взаимодействующих с этим полем. Фотон не взаимодействует с полем Хиггса, поэтому его масса равна нулю. Квантом поля Хиггса является бозон Хиггса, обнаруженный в 2012 г. на Большом адронном коллайдере.

ВОПРОСЫ:

- Какие существуют типы фундаментальных взаимодействий?
- На основе каких критериев осуществляют классификацию элементарных частиц?

186

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ВЫЗНАЕТЕ:

- Как решать задачи на закон радиоактивного распада.
- Как решать задачи на вычисление энергии связи.
- Как решать задачи на вычисление энергетического выхода реакций.

ЗАДАЧА 1 Каково заряд Z и массовое число A будет иметь ядро элемента, полученного из ядра изотопа $^{238}_{92}\text{U}$ после одного α -распада и двух β -распадов?

Решение:
 При α -распаде массовое число уменьшается на четыре единицы, а зарядовое число уменьшается на две единицы. При β -распаде массовое число не изменяется, так как электрон является очень лёгкой частицей, а зарядовое число при этом увеличивается на единицу. Следовательно, в результате трёх последовательных распадов изотоп образует ядро урана с зарядом $Z = 92$ и массовым числом $A = 234$.

Ответ: $Z = 92; A = 234$.

ЗАДАЧА 2 Период полураспада изотопа полония-210 — 138 суток. Сколько ядер полония распадается за 30 суток в образце полония массой 1 г?

Дано:
 $T_{1/2} = 138$ сут.
 $m = 1$ г
 $t = 30$ сут.
 $\Delta N = ?$

СИ

0,001 кг

Решение:
 Согласно закону радиоактивного распада число радиоактивных атомов спустя время t :

$$N = N_0 \cdot 2^{-t/T_{1/2}}$$

Начальное число атомов можно найти по формуле

$$N_0 = \frac{m}{M} N_A,$$

где $M = 0,210$ кг/моль — молярная масса полония; $N_A = 6 \cdot 10^{23}$ 1/моль — число Авогадро. Тогда число распавшихся атомов:

$$\Delta N = N_0 - N = N_0 - N_0 \cdot 2^{-t/T_{1/2}} = N_0 (1 - 2^{-t/T_{1/2}}) = \frac{m}{M} N_A (1 - 2^{-t/T_{1/2}});$$

$$\Delta N = \frac{0,001 \text{ кг}}{0,210 \text{ кг/моль}} \cdot 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}} (1 - 2^{-30/138}) = 4 \cdot 10^{20}.$$

Ответ: $\Delta N = 4 \cdot 10^{20}$.

ЗАДАЧА 3 Вычислите дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи для ядра атома углерода $^{12}_6\text{C}$.

187

Дано:
 ^6_6C
 $Z = 6$
 $N = 6$
 $M_C = 12$ а.е.м.
 $m_p = 1,00728$ а.е.м.
 $m_n = 1,00867$ а.е.м.
 $m_e = 0,00055$ а.е.м.

Решение:
 Дефект массы можно вычислить по формуле
 $\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_C$
 Массу ядра атома углерода получим, вычитая из массы атома углерода массу шести его электронов: $M_A = M_C - 6m_e$.
 $\Delta m = 6 \cdot 1,00728 + 6 \cdot 1,00867 - (12 - 6 \cdot 0,00055) = 0,099$ а.е.м.
 Энергия связи ядра:
 $E_{\text{св}} = 0,099$ а.е.м. $\cdot 931$ МэВ/а.е.м. = $92,17$ МэВ.

Удельная энергия связи $E_{\text{уд}} = \frac{E_{\text{св}}}{A}$.

$$E_{\text{уд}} = \frac{92,17 \text{ МэВ}}{12} = 7,68 \text{ МэВ/нуклон}.$$

Ответ: $\Delta m = 0,099$ а.е.м.; $E_{\text{св}} = 92,17$ МэВ;
 $E_{\text{уд}} = 7,68$ МэВ/нуклон.

ЗАДАЧА 4 Рассчитайте энергетический выход ядерных реакций при бомбардировке ядер лития ^7_3Li : а) протонами (в результате образуются две α -частицы); б) α -частицами (в результате образуется ядро атома бора и выбивается нейтрон).

Дано:
 $M_{\text{Li}} = 7,01600$ а.е.м.
 $M_{\text{He}} = 4,00260$ а.е.м.
 $M_{\text{B}} = 10,01294$ а.е.м.
 $m_p = 1,00728$ а.е.м.
 $m_n = 1,00867$ а.е.м.
 $m_e = 0,00055$ а.е.м.

Решение:
 Запишем ядерные реакции:

а) $^7_3\text{Li} + ^1_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^4_2\text{He} + Q;$
 б) $^7_3\text{Li} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{10}_5\text{B} + ^1_0\text{n} + Q.$

Энергетический выход ядерной реакции $Q = \Delta mc^2$, где Δm — разность масс исходных частиц и продуктов реакции.

Для ядерной реакции а):
 $\Delta m_1 = (M_{\text{Li}} - 3m_e) + m_p - 2(M_{\text{He}} - 2m_e);$
 $\Delta m_1 = (7,016 - 3 \cdot 0,00055) + 1,00728 - 2(4,0026 - 2 \cdot 0,00055) = 0,01863$ а.е.м.
 $Q_1 = 0,01863$ а.е.м. $\cdot 931$ МэВ/а.е.м. = $17,34$ МэВ.

Для ядерной реакции б):
 $\Delta m_2 = (M_{\text{Li}} - 3m_e) + (M_{\text{He}} - 2m_e) - (M_{\text{B}} - 5m_e + m_n);$
 $\Delta m_2 = (7,016 - 3 \cdot 0,00055) + (4,0026 - 2 \cdot 0,00055) - (10,01294 - 5 \cdot 0,00055 + 1,00867) = -0,003$ а.е.м.
 $Q_2 = -0,003$ а.е.м. $\cdot 931$ МэВ/а.е.м. = $-2,8$ МэВ.

Ответ: $Q_1 = 17,34$ МэВ; $Q_2 = -2,8$ МэВ.

Энергию связи принято выражать в электрон-вольтах или мегаэлектрон-вольтах (МэВ). Найдём коэффициент для перевода энергии, выраженной в джоулях, в электрон-вольты, если дефект массы выражен в атомных единицах массы (1 а.е.м. = $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг).

$$E_{\text{св}} = \Delta mc^2 = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2 = 1,49 \cdot 10^{-10} \text{ Дж} = 1,49 \cdot 10^{-10} \text{ Дж} / 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 931 \cdot 10^6 \text{ эВ} = 931 \text{ МэВ}.$$

Таким образом,
 $E_{\text{св}} = \Delta m \cdot 931$ МэВ/а.е.м.

Энергетический выход реакции а) $Q_1 > 0$. Это означает, что реакция идёт с выделением энергии. $Q_2 < 0$, т.е. реакция б) идёт с поглощением энергии. Суммарная кинетическая энергия продуктов реакции (ядра бора и нейтрона) меньше, чем суммарная кинетическая энергия исходных частиц (ядро лития и гелия). В этом случае реакция б) не идёт, если кинетическая энергия исходных частиц превышает 2,8 МэВ.

Глава 11

СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

- РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О СТРОЕНИИ МИРА. ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ ПЛАНЕТ
- ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ИХ ИЗМЕРЕНИЕ В АСТРОНОМИИ
- СТРОЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ
- СОЛНЦЕ
- ЗВЁЗДЫ
- СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЁЗД
- ГАЛАКТИКИ
- РОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ
- СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВСЕЛЕННОЙ
- РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

РАЗДЕЛ VI

АСТРОНОМИЯ (ВСЕЛЕННАЯ)

КОРОТКО О ГЛАВНОМ...

Конечная цель физики — описать Вселенную одним-единственным уравнением, которое могло бы уместиться на майке.

Л. Подарман

ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА

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

ПОДВЕДЁМ ИТОГИ

- ☉ Законы Кеплера описывают законы движения планет. Орбита любой планеты представляет собой эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце. Каждая планета движется так, что радиус-вектор планеты за равные промежутки времени описывает разные площади. Квадраты периодов обращения планет относятся как кубы больших полуосей их орбит.
- ☉ Наше Солнце является лишь одной звездой из великого их множества. Все звезды разделяются на спектральные классы.
- ☉ Зависимость спектрального класса (температура) звезды от её светимости показывает диаграмма Рассела–Герцшпрунга. По диаграмме можно проследить эволюцию звезд.
- ☉ Явление разбегания видимой Вселенной с нарастающей скоростью по мере удаления от локальной точки наблюдения получило название закона Хаббла.
- ☉ Теорию происхождения Вселенной называют теорией Большого взрыва.

ЗАКОН ХАББЛА

$$v = H R$$

ПОДРОБНЕЕ...

- ☉ Ховинг С., Млобиков Л. Кратчайшая история времени. / С. Ховинг. — М.: Амфора, 2008.
- ☉ Энциклопедия для детей. Т. 8. Астрономия. — М.: Аванта+, 2011.
- ☉ Гамов Г. Приключения Мистера Томпкинса. Вып. 85. / Г. Гамов. — М.: Биро Квантум, 1993. — (Библиотека «Квант»).

ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- ☉ Возможно ли обобщение законов Кеплера на движение спутников вокруг планет?
- ☉ Существует ли связь между спектральным классом звезды и её массой?
- ☉ Для каких галактик — близких или далёких — закон Хаббла выполняется более точно?
- ☉ Существуют ли опытные данные, подтверждающие теорию Большого взрыва?

Программа SEED
<http://www.planetseed.com/ru/node/27577>

Официальный сайт NASA
<http://www.nasa.gov/>

Европейский центр ядерных исследований
<http://home.cern/>

Брукхейвенская Национальная лаборатория
<http://www.bnl.gov/world/>

Строение и эволюция Вселенной

194

69

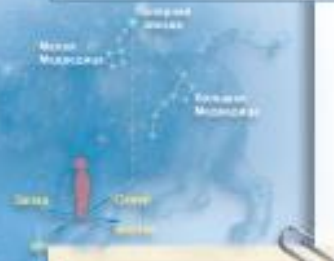
ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ИХ ИЗМЕРЕНИЕ В АСТРОНОМИИ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое созвездия.
- Как описать положение небесного тела в пространстве.
- Как измеряют расстояние в астрономии.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое широта и долгота в географии?
- Что такое скорость света и какое её значение?



Вероятно, самой известной звездой является Полярная звезда. В отличие от других звезд, Полярная звезда практически не меняет своего местоположения на небе, указывая направление на север. Вследствие суточного вращения Земли вокруг своей оси можно наблюдать, что остальные звезды движутся на небе вокруг Полярной звезды. Чтобы найти Полярную звезду на звездном небе, надо сначала найти созвездие Большой Медведицы, которое похоже на большую ковш, состоящий из семи ярких звезд. Затем через две крайние звезды ковша мысленно провести прямую линию и отсчитать на ней пять расстояний между этими звездами. В конце этого отрезка будет видна яркая звезда. Это и есть Полярная звезда, которая принадлежит созвездию Малой Медведицы.

Невооруженным глазом на небе можно рассмотреть до 3000 звезд в каждом полушарии. Местоположения звезд астрономы определяют, располагая их в созвездиях.

СОЗВЕЗДИЯ Группы звезд, видимые на определенных участках звездного неба, — созвездия. Ещё астрономы древности заметили, что группы звезд образуют на небе определенные конфигурации. Они провели между этими звездами условные линии и на их основе нарисовали воображаемые фигуры — гермы мифов, зверей, инструменты и т. д.

В настоящее время астрономы насчитывают 88 созвездий. Из них 37 находится в Северном полушарии.

Объединение звезд в созвездия весьма условно, так как на самом деле звезды могут быть расположены достаточно далеко друг от друга и никак не связаны между собой. Например, звезды конца Большой Медведицы находятся одинаково удаленными от Земли. На самом деле первая звезда ручки ковша — Бенетнаш — находится примерно в 3 раза дальше от нас, чем остальные.



Древние астрономы заметили, что Луна и Солнце не остаются всё время в одном и том же созвездии, а движутся по небу, переходя из одного созвездия в другое. Эти созвездия, через которые проходят пути Солнца и Луны, назвали зодиакальными. В Древней Греции выделили 12 зодиакальных созвездий. Хотя в настоящее время Солнце проходит также и через 13-е созвездие — созвездие Змееносца, но его в зодиакальным созвездием не причисляют.

ОПИСАНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ Чтобы описать положение небесного тела (звезды, планеты и т. д.) в пространстве, астрономы используют следующие характеристики: координаты тела на небесной сфере и расстояние до него. Небесной сферой называют воображаемую сферическую поверхность произвольного радиуса, на которую проектируются небесные тела. Наблюдатель находится в центре сферы, причём из-за малых размеров Земли по сравнению с расстояниями до звезд наблюдателей в разных точках земной поверхности можно считать находящимся в центре небесной сферы. Положение точки на земной поверхности описывают географическими координатами — широтой и долготой. Система координат на небесной сфере аналогична географическим координатам на земной поверхности. Рассмотрим основные линии небесной сферы. **Ось мира** — воображаемая линия, проходящая через центр сферы и параллельная оси вращения Земли. Точке пересечения небесной сферы с осью мира

195

называют **любовями мира**. Так же как и на Земле, существуют Северный полюс мира и Южный полюс мира. Вблизи Северного полюса мира находится Полярная звезда. Плоскость, проходящая через центр небесной сферы перпендикулярно оси мира (и параллельно плоскости экватора Земли), образует окружность большого круга — **небесный экватор**, который делит небесную сферу на два полушария: Северное и Южное. Путь от наблюдателя исходит два луча к разным точкам небесной сферы. Угол, заключенный между этими лучами, называют **угловым расстоянием**.

Одной из небесных координат является **склонение** (обозначают буквой δ) — это угловое расстояние между небесным телом и небесным экватором. Склонение аналогично географической широте. Оно может принимать значения от -90 до 90 . Склонение считают положительным для небесных тел, расположенных в Северном полушарии, и отрицательным для небесных тел, расположенных в Южном полушарии.

Второй небесной координатой, аналогичной географической долготе, является **ямное восхождение** (обозначают буквой α) — угловое расстояние между кругом склонения и точкой весеннего равноденствия (точка на небесной сфере, в которой Солнце бывает 21 марта). Прямое восхождение отсчитывается в направлении, противоположном суточному вращению Земли.

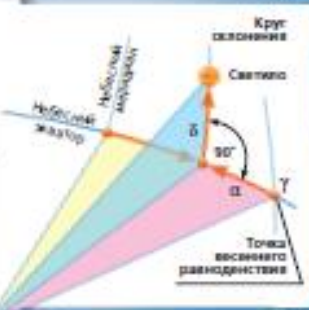
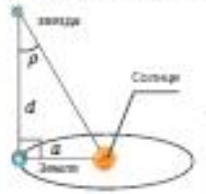
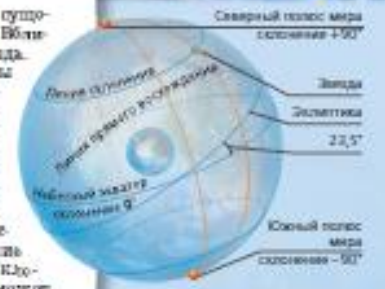
Расстояния до ближайших звезд определяют методом параллакса. Параллаксом (годи́чным параллаксом) называют угол ρ , под которым со звезды был бы виден радиус a земной орбиты, расположенный перпендикулярно направлению на звезду. Если этот угол удастся измерить, то расстояние d до звезды вычисляется по формуле

$$d = \frac{a}{\rho}$$

Для всех ближайших звезд угол ρ весьма мал (меньше 1°).

ЕДИНИЦЫ ДЛИНЫ В АСТРОНОМИИ Расстояния во Вселенной очень велики, поэтому астрономы для выражения расстояний между звездами, галактиками и другими небесными телами используют такие единицы, как астрономическая единица, световой год и парсек.

Астрономическая единица (а. е.) — это среднее расстояние от Земли до Солнца: $1 \text{ а. е.} = 150\,000\,000 \text{ км}$. **Световой год** (сл. год) — это расстояние, которое свет проходит за земной год: $1 \text{ сл. год} = 9,46 \cdot 10^{12} \text{ км}$. **Парсек** (образовано от сокращений слов «параллакс» и «секунда») — расстояние до объекта, параллакс которого равен одной угловой секунде ($1/3600$ часть градуса): $1 \text{ пк} = 3,26 \text{ сл. года} = 3,086 \cdot 10^{13} \text{ км}$.



- ВОПРОСЫ:**
- Как определяют положение небесных тел на небесной сфере?
 - Как определяют параллакс?
 - Какие единицы длины используют в астрономии?

Строение и эволюция Вселенной

71 СОЛНЦЕ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Каковы основные характеристики Солнца
- Каково строение Солнца и его атмосферы

ВОСПОМИНИТЕ:

- Что такое гравитационный коллапс?
- Что такое термоядерная реакция?
- Каким образом образуется тепло в центре?

| | |
|--|------------------------------|
| Среднее расстояние до Земли | 1,5·10 ⁸ км |
| Средний диаметр | 1,39·10 ⁶ км |
| Масса | 1,99·10 ³⁰ кг |
| Средняя плотность | 1,4 г/см ³ |
| Ускорение свободного падения на экваторе | 274 м/с ² ≈ 27,9g |
| Температура короны | 1,5·10 ⁶ К |
| Температура ядра | 1,35·10 ⁸ К |

СОСТАВ СОЛНЦА

СОСТАВ СОЛНЦА

| | |
|-----------------|-----|
| Водород (H) | 74% |
| Гелий (He) | 24% |
| Другие элементы | 2% |

СОСТАВ СОЛНЦА

| | |
|-------------|-----|
| Водород (H) | 90% |
| Гелий (He) | 10% |

СОСТАВ СОЛНЦА

| | |
|-----------------|-----|
| Водород (H) | 70% |
| Гелий (He) | 28% |
| Другие элементы | 2% |

72 СОЛНЦЕ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Каковы основные характеристики Солнца
- Каково строение Солнца и его атмосферы

ВОСПОМИНИТЕ:

- Что такое гравитационный коллапс?
- Что такое термоядерная реакция?
- Каким образом образуется тепло в центре?

СОСТАВ СОЛНЦА

| | |
|-----------------|-----|
| Водород (H) | 74% |
| Гелий (He) | 24% |
| Другие элементы | 2% |

СОСТАВ СОЛНЦА

| | |
|-------------|-----|
| Водород (H) | 90% |
| Гелий (He) | 10% |

СОСТАВ СОЛНЦА

| | |
|-----------------|-----|
| Водород (H) | 70% |
| Гелий (He) | 28% |
| Другие элементы | 2% |

ПРОУБЕДИТЕСЬ! — газ, выходящий над поверхностью Солнца в виде огромных потоков.

- Скорость движения вещества достигает в центре км/с.
- Температура до 20 тыс. К.
- Толщина 5-10 тыс. км.
- Высота достигает тысяч км.

ПЛАЗМА — образование в фотосфере Солнца.

- Температура около 6000 К.
- Размеры около 1000 км.

СОЛНЕЧНЫЕ ВСПЫШКИ — горячие выбросы энергии и вещества Солнца.

- Температура: миллионы кельвинов.
- Размеры: десятки тысяч км.

СОЛНЕЧНЫЕ ПУТИ — области на поверхности и в атмосфере Солнца.

- Температура: около 4500 К.
- Размер: до нескольких десятков тысяч км.

СОЛНЕЧНЫЕ ПУТИ

| | |
|-----------------|-----|
| Водород (H) | 74% |
| Гелий (He) | 24% |
| Другие элементы | 2% |

СОСТАВ СОЛНЦА

| | |
|-------------|-----|
| Водород (H) | 90% |
| Гелий (He) | 10% |

СОСТАВ СОЛНЦА

| | |
|-----------------|-----|
| Водород (H) | 70% |
| Гелий (He) | 28% |
| Другие элементы | 2% |

73 ГАЛАКТИКИ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое галактика
- Каково строение и размеры Млечного Пути
- Что такое квазар

ВОСПОМИНИТЕ:

- Что такое гравитационный коллапс?
- Каким образом образуется тепло в центре?
- Что такое черная дыра?

Вселенная

- Эллиптическая галактика
- Спиральная галактика
- Спиральная галактика с перемычкой
- Линзовидная галактика
- Звёздная галактика

ВЕСЕЛЕННАЯ

Млечный Путь

- Длина: 100 000 световых лет
- Ширина: 10 000 световых лет
- Масса: 100 000 масс Солнца
- Скорость вращения: 220 км/с

74 ГАЛАКТИКИ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое галактика
- Каково строение и размеры Млечного Пути
- Что такое квазар

ВОСПОМИНИТЕ:

- Что такое гравитационный коллапс?
- Каким образом образуется тепло в центре?
- Что такое черная дыра?

Спиральные галактики

- Млечный Путь
- Спиральная галактика
- Спиральная галактика с перемычкой
- Линзовидная галактика
- Звёздная галактика

Спиральные галактики

- Млечный Путь
- Спиральная галактика
- Спиральная галактика с перемычкой
- Линзовидная галактика
- Звёздная галактика

75 ГАЛАКТИКИ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое галактика
- Каково строение и размеры Млечного Пути
- Что такое квазар

ВОСПОМИНИТЕ:

- Что такое гравитационный коллапс?
- Каким образом образуется тепло в центре?
- Что такое черная дыра?

Млечный Путь

- Длина: 100 000 световых лет
- Ширина: 10 000 световых лет
- Масса: 100 000 масс Солнца
- Скорость вращения: 220 км/с

Млечный Путь

- Длина: 100 000 световых лет
- Ширина: 10 000 световых лет
- Масса: 100 000 масс Солнца
- Скорость вращения: 220 км/с

76 ГАЛАКТИКИ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое галактика
- Каково строение и размеры Млечного Пути
- Что такое квазар

ВОСПОМИНИТЕ:

- Что такое гравитационный коллапс?
- Каким образом образуется тепло в центре?
- Что такое черная дыра?

Млечный Путь

- Длина: 100 000 световых лет
- Ширина: 10 000 световых лет
- Масса: 100 000 масс Солнца
- Скорость вращения: 220 км/с

Млечный Путь

- Длина: 100 000 световых лет
- Ширина: 10 000 световых лет
- Масса: 100 000 масс Солнца
- Скорость вращения: 220 км/с

Строение и эволюция Вселенной

212

75

РОЖДЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Закон Хаббла.
- Как возник и расширился Вселенной.
- Как теория Большого взрыва объясняет происхождение Вселенной.
- Какие моменты оказались будущие Вселенной.

ВСПОМНИТЕ:

- Как образуются звезды?
- Как устроена Вселенная?
- Что такое космологическое красное смещение?

Самым большим объектом нашего мира является Вселенная. Вселенная — это всё, что существует: от атомов и молекул до огромных космических объектов и их систем.

ЗАКОН ХАББЛА. Во Вселенной всё находится в непрерывном движении: планеты вращаются вокруг своих звезд, звезды вращаются вокруг центра своих галактик. Кроме того, галактики движутся ещё и в пространстве.

В начале XX в. американский учёный Эдвин Хаббл, анализируя красное смещение далёких галактик, установил, что они удаляются от нашей планеты. Проще, чем дальше от нас находится галактика, тем с большей скоростью она удаляется. Это явление разбегания видимой Вселенной с нарастающей скоростью по мере удаления от локальной точки наблюдения подчиняется закону, который получил название закона Хаббла.

Закон Хаббла гласит: Вселенная расширяется, причём скоростью, с которой галактики удаляются друг от друга, пропорциональна расстоянию между ними. Математически закон записывается в виде следующей формулы:

$$v = H \cdot R,$$

где v — скорость удаления галактики; R — расстояние между ними; $H = 65 \text{ км/с/Мпк}$ — коэффициент пропорциональности, называемый постоянной Хаббла.

Постоянная Хаббла показывает, с какой скоростью удаляются друг от друга галактики, находящиеся на расстоянии 1 Мпк.

ВОЗРАСТ ВСЕЛЕННОЙ. Учитывая, что наша Вселенная расширяется, учёные предположили, что Вселенная расширялась с момента своего рождения. Величина, обратная постоянной Хаббла, характеризует время, прошедшее с момента рождения или начала расширения, т. е. возраст Вселенной. Согласно современным оценкам возраст Вселенной составляет 13,8 млрд лет. Если это утверждение принять за истину, то в нашей Вселенной не должно быть ни одного объекта, возраст которого превышает 14 млрд лет. Все известные на сегодняшний день научные данные согласуются с этим утверждением.

Тёмная материя не испускает электромагнитного излучения и потому недоступна для наблюдения. Её можно обнаружить только по её массе, т. е. гравитационному влиянию на другие объекты, в том числе и свет.

Тёмная энергия влияет на скорость расширения Вселенной.



213

Учёные пришли к выводу, что разогрелись само вещество Вселенной так, что разбегание галактик можно наблюдать из любой точки Вселенной. В этом смысле центра, как такового, у нашей Вселенной не существует. Если бы она и имела бы центр, то она была бы центром Вселенной.

214

РАЗМЕРЫ ВСЕЛЕННОЙ. Если возраст Вселенной, можно оценить её размеры. Согласно теории относительно ни одно тело не может иметь скорость больше, чем скорость света. Поэтому информация о самом удалённом от Земли объекте Вселенной на Земле может прийти спустя время, необходимое для того, чтобы свет от него дошёл до Земли. Таким образом, можем считать расстояние до самого удалённого наблюдаемого объекта:

$$s = ct = 13,8 \text{ млрд сл. лет},$$

где s — скорость света, t — возраст Вселенной. Получается, что наблюдаемой Вселенной представляется собой область пространства размером 13,8 млрд сл. лет. Этот размер части является частью Вселенной. Однако наблюдаемая область Вселенной много меньше радиуса всей Вселенной и является лишь её небольшой частью.

ТЕОРИЯ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА. На основе различных наблюдений учёные пришли к выводу, что наша Вселенная родилась в результате Большого взрыва, и момент которого возникла не только материя, но также пространство и время, как таковые. С тех пор наша Вселенная расширяется и постоянно остывает. Эту теорию происхождения Вселенной называют теорией Большого взрыва.

Согласно данной теории пространство на начальном этапе имело чрезвычайно высокую температуру и плотность. Учёные предполагают, что и самым первым мгновением после Большого взрыва Вселенная представляла собой сферичный «бульон», состоявший из кварков, глюонов, лептонов, фотонов и нейтрино. Одновременно с этим начался процесс расширения Вселенной и соответственно понижения температуры порционного вещества.

Через секунду после Большого взрыва температура составляла около 10 000 млн градусов, что примерно в тысячу раз выше температуры в центре Солнца. В это время Вселенная в основном состояла из фотонов, электронов и некоторого количества протонов и нейтронов, которые образовались в результате объединения кварков и глюонов. Примерно через 3 мин после Большого взрыва температура Вселенной снизилась до миллионов градусов, что соответствует температуре внутри самых горячих звезд. При такой температуре протоны и нейтроны начали объединяться друг с другом с образованием ядра атомов — ядер гелия.

Прошло около 300 000 лет после Большого взрыва до 10 000 К, что позволило про-



215

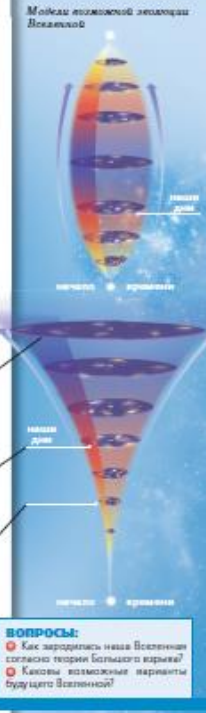
тоном и ядрам гелия объединиться с электронами с образованием атомов водорода и гелия. Затем, спустя примерно 1 млрд лет, когда температура снизилась примерно до 200 К, под действием сил гравитации из газа атомов водорода и гелия стали формироваться первые звезды и галактики. Затем галактики стали объединяться в более крупные скопления. Первые звезды умерли и обогатили космос тяжёлыми элементами, которые служили основой для формирования новых звезд и планет.

БУДУЩЕ ВСЕЛЕННОЙ. Учёные, которые занимаются изучением Вселенной, называют космологами. Их интересует не только прошлое, но и будущее нашей Вселенной. Согласно современным представлениям судьба Вселенной зависит от средней плотности её вещества. Если средняя плотность Вселенной больше критического значения (10^{-26} кг/м^3), то через некоторое время силы тяготения остановят её расширение, и начнется сжатие Вселенной.

Учёные считают, что до сих пор не известно, сколько 90% материи, из которой состоит Вселенная. Это неизвестную материю, которую мы не можем пока увидеть даже с помощью самых современных приборов и установок, учёные называют тёмной материей и тёмной энергией. Когда мы получим прибор этой материи, то сможем ответить на многие вопросы происхождения Вселенной, которые до сих пор остаются открытыми.

Вселенная будет сжиматься, пока опять не сожмётся в одну точку. В итоге произойдёт новый Большой взрыв, который приведёт к рождению новой Вселенной, но обязательно по своей структуре похожей на нашу. Если же средняя плотность Вселенной меньше критического значения, то сил тяготения будет недостаточно, чтобы остановить расширение. В этом случае Вселенная будет всё время расширяться и остывать, в результате все ядра распадутся, а Вселенная станет холодной и тёмной.

Плотность видимого вещества на Вселенной составляет около $3 \cdot 10^{-26} \text{ кг/м}^3$, т. е. меньше критической. Однако при этих расчётах не учитывается плотность, связанная с тёмной материей. Но предположительным образом она может быть в 30 раз больше плотности видимого вещества и тем самым играть определяющую роль в дальнейшем сценарии эволюции Вселенной.



ВОПРОСЫ:
 Как зародилась наша Вселенная согласно теории Большого взрыва?
 Каковы возможные варианты будущего Вселенной?

ФИЗИКА В ВОПРОСАХ И ОТВЕТАХ...

Приложение

- ВОПРОКИ ТРЕТЬЕМУ ЗАКОНУ НЬЮТОНА?
- ДЕЙСТВИТЕЛЬНО ЛИ ВОЗМОЖЕН ВЫИГРЫШ В ЭНЕРГИИ
- ЗАДАЧА ДЕМОКРИТА
- КОНВЕКЦИЯ, ДИФФУЗИЯ И ВРЕМЕНА ГОДА
- НАСКОЛЬКО ПЛОТНО «УПАКОВАНЫ» МОЛЕКУЛЫ ВОДЫ
- СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СЛИВОК
- ИСПАРЕНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ
- НАСКОЛЬКО БЫСТРО ИСПАРЯЕТСЯ ВОДА
- СОЛЁНЫЙ ЛЁД И СОЛЁНАЯ ВОДА
- ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ВОДЯНОЙ СТРУИ
- НЕИССКАЕМЫЙ ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

198



Механика

Для более глубокого усвоения и закрепления учебного материала по механике особенно полезны так называемые творческие задачи и упражнения, для решения которых недостаточно знать только формулы. Творческие задания тем и отличаются от стандартных тренировочных, что зачастую не имеют строго очерченных рамок решений. Некоторые из этих заданий можно использовать для самостоятельных физических исследований.

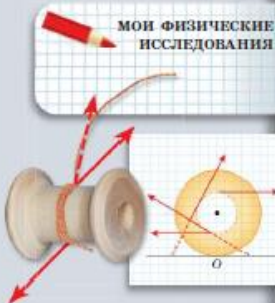
ВОПРОКИ ТРЕТЬЕМУ ЗАКОНУ НЬЮТОНА?

Хорошо известна задача-софизм о том, почему всё-таки лошадь тянет телегу, а не наоборот. Поскольку силы воздействия лошади на телегу и телеги на лошадь действительно равны и противоположно направлены, то для разрешения софизма следует учесть взаимодействие лошади и телеги с землёй.

Не менее широко известен хрестоматийный пример барона Мюнхгаузена, который вытащил себя вместе с лошадью из болота за волосы. Совершенно очевидно, что это невозможно: внутренние силы не могут изменить положение центра масс системы тел. С какой силой рука барона тянула волосы, с такой же силой волосы воздействовали на руку в противоположном направлении.

? Хорошо известно, что движущийся поперёк дороги велосипедист может въехать на тротуар, который находится выше уровня дороги. Для этого велосипедисту необходимо поднять переднее колесо, подтягивая руль к себе, при этом пригибая плечи и голову к рулю. Как вы думаете, какую роль в этом примере играет движение велосипедиста по инерции?

МОИ ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



Изучите поведение катушки с намотанной на неё нитью при условии, что катушка может катиться без проскальзывания по горизонтальной поверхности. Убедитесь на опыте, что в зависимости от значения угла между направлением нити и горизонтально направлением движения катушки может изменяться на противоположное. Определите этот угол.

«ПОМОЩНИК»

- Для предотвращения бокового смещения катушки её следует прокатывать между двумя параллельными линейками, положенными на стол.
- Если вам потребуются значения внешнего R и внутреннего r радиусов катушки, то их можно измерить с помощью линейки.
- Ответить на поставленный вопрос вам поможет рисунок.

199

ДЕЙСТВИТЕЛЬНО ЛИ ВОЗМОЖЕН ВЫИГРЫШ В ЭНЕРГИИ

Представим себе, что бетонную сваю массой 100 кг, лежащую на дне заполненного водой бассейна, необходимо поднять на высоту 1 м.

Так как на тело в воде действует выталкивающая сила, то для его поднимания, очевидно, нужно прилагать силу, меньшую 980 Н. При этом внешняя сила совершит работу, меньшую чем 980 Дж.

После удаления воды из бассейна имеется поднятое на высоту 1 м тело, которое обладает запасом потенциальной энергии 980 Дж. Получается, что вопреки закону сохранения энергии затраченная на подъём сваи энергия меньше, чем приобретённая. Этот парадокс означает, что в наших рассуждениях не были учтены все энергетические изменения системы вода—свая.

Действительно, тот кажущийся выигрыш в энергии на самом деле возник в результате того, что в данном случае не учитывается уменьшение потенциальной энергии воды, в которую погружена свая. Когда свая поднимается вверх, то на её место опускается некоторый объём воды, что и приводит в итоге к уменьшению потенциальной энергии жидкости.

Таким образом, баланс энергии сохраняется: совершённая над системой вода—свая работа в точности равна изменению потенциальной энергии системы.

? А теперь попытайтесь самостоятельно ответить на вопрос: за счёт какой энергии поднимаются вверх воздушные шары и стратостаты?



Опытные водители хорошо знают, что, когда автомобиль движется «юзом», т.е. с проскальзыванием колёс, даже незначительные боковые толчки могут сбросить машину с дороги. Почему это происходит? Чтобы разобраться в этом явлении, изучите, как будет изменяться характер движения бруска в том случае, когда на него начнёт действовать сила, направленная перпендикулярно первоначальному направлению движения бруска.

«ПОМОЩНИК»

- С помощью булавки прикрепите к бруску два динамометра: один — к торцу, другой — к боковой поверхности.
- С помощью динамометра, прикрепленного к торцу, медленно перемещайте брусок по поверхности стола.
- Определите минимальную силу, с которой нужно подвешивать на брусок сбоку, чтобы он сместился в направлении, перпендикулярном направлению движения.
- Объясните полученный результат.



МОИ ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Приложение: «Физика в вопросах и ответах»

202

Основа термодинамики

В основе многих природных явлений лежит взаимные превращения газов, жидкостей и твердых тел. Анализируя даже хорошо известные агрегатные превращения, всегда можно обнаружить такие явления, которые представляются неочевидными и парадоксальными.

ИСПАРЕНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ

Такое обычное явление, как испарение жидкости, например воды, может на первый взгляд показаться загадочным. Почему постепенно испаряется налитая в стакан вода, имеющая температуру окружающего воздуха? Ведь для её испарения необходимо определенное количество теплоты, которое вода может получить только от окружающей среды. Но процесс теплопередачи возможен лишь в том случае, если между телами существует разность температур.

Вы, конечно, знаете ответ на поставленный вопрос. Дело в том, что испарение происходит за счёт вылета из жидкости наиболее быстрых молекул, способных преодолеть силы межмолекулярного притяжения. Средняя скорость теплового движения остальных молекул уменьшается, что неизбежно ведёт к понижению температуры жидкости. В результате теплообмен между жидкостью и окружающей средой становится возможным. При испарении масса воды в сосуде уменьшается, а масса водяных паров, содержащихся в воздухе, увеличивается.

Представим, что на открытом воздухе летним вечером оставлен стакан с водой. При каких внешних условиях масса воды в сосуде не только перестает уменьшаться, но и начинает увеличиваться? Для ответа на поставленный вопрос подумайте, как связаны указанные процессы с влажностью окружающего воздуха.

НАСКОЛЬКО БЫСТРО ИСПАРЯЕТСЯ ВОДА

Если поставить стакан с водой на подоконник и наблюдать за процессом её испарения, то заметное понижение уровня воды можно обнаружить лишь спустя несколько дней. Не противоречит ли этот результат молекулярно-кинетической теории? Определим, какая масса воды испаряется с поверхности воды в сосуде за единицу времени. Если обозначить через n концентрацию молекул пара у поверхности воды при температуре T , то через поверхность жидкости площадью S за время t вылетит число молекул $N = nSt$, где $v = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ — тепловая скорость молекул, M — молярная масса воды.

МОИ ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оцените опытным путём число молекул, испаряющихся каждую секунду с поверхности воды, налитой в стакан.

«ПОМОЩНИК»

- Оцените время, по прошествии которого уровень воды в стакане опустится, например, на 1 см.
- Измерив диаметр стакана, найдите объём испарившейся воды.
- Сейчас известно, что в 1 см³ воды содержится примерно $3,3 \cdot 10^{24}$ молекул, оцените число испаряющихся молекул за время наблюдения.

203

Концентрацию молекул можно выразить через давление p пара:

$$n = \frac{p}{kT}$$

где k — постоянная Больцмана.

Если относительная влажность в помещении ϕ , то $p = \phi p_s$, где p_s — давление насыщенного пара при данной температуре. Следовательно, масса испарившейся воды

$$m = N \frac{M}{N_A} = \frac{\phi p_s S M}{N_A k T} \sqrt{\frac{3RT}{M}} t = \phi p_s S \sqrt{\frac{3M}{RT}} t.$$

Если для оценки принять $\phi = 60\%$, $T = 300$ К, $S = 10^{-2}$ м², то, подставив числовые значения $p_s = 2,3 \cdot 10^3$ Па, $M = 18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, получим, что примерно испарится масса воды $m \approx 6 \cdot 10^{-2}$ кг = 6 г. т.е. вода массой 200 г должна испариться примерно за полминуты, т.е. буквально на глазах.

На самом же деле вода может испариться гораздо быстрее. По-видимому, при оценке какую-то важную особенность процесса мы действительно, мы совсем не приняли во внимание. Дело в том, что испаряющаяся часть испарившихся молекул возвращается в жидкость. Пар, непосредственно над поверхностью воды, становится насыщенным. Это и приводит к резкому процессу испарения.

Подумайте, как можно ускорить процесс испарения.

СОЛЁНЫЙ ЛЁД И СОЛЁНАЯ ВОДА

Как известно, для предотвращения гололёда тротуары часто посыпают солью. Когда же теплеет и температура окружающего воздуха положительной, то на дорогах начинает та образовываться вода. Поэтому при последующем понижении температуры до 0°C на дороге появляется лёд, что отрицательно влияет на безопасность движения. Добавление же соли способствует понижению температуры соли. Это связано с тем, что для разрушения кристаллической решётки соли требуется приток энергии извне. Это и приводит к понижению температуры соляного раствора.

То, что добавление соли способствует понижению температуры, было хорошо известно нашим предкам. Поэтому раньше в погребах специально заготавливали лёд, смешанный с солью и покрытый сверху соломой или опилками.

Как влияет добавление соли на температуру кипения воды?

Как влияет добавление соли на температуру кипения воды?

Осторожно помешивайте раствор стеклянной палочкой с целью ускорения процесса растворения соли.

МОИ ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучите изменение температуры раствора в процессе растворения поваренной соли в воде.

«ПОМОЩНИК»

- В качестве термометра удобно использовать мультиметр, снабжённый шкалой для измерения температуры.
- Налейте в стакан примерно 30 мл воды и насыпьте в него 8–10 г поваренной соли.
- Поместив в воду термометр, осторожно помешивайте раствор стеклянной палочкой с целью ускорения процесса растворения соли.

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Проводя эксперименты, вы описываете физический процесс, используя физические величины, определяя их значения. Измерить физическую величину — это значит найти опытным путём её значение, сравнив с эталоном, используя специальные технические средства.

Измерения принято подразделять на прямые и косвенные. В **прямых измерениях** значение физической величины определяется непосредственно по шкале прибора. Например, измерение длины образца с помощью линейки, или измерение периода колебаний маятника с помощью секундомера.

При **косвенных измерениях** значение физической величины определяется по формуле через другие физические величины, которые находят прямым образом. Например, для измерения скорости тела необходимо найти путь s , пройденный телом за время t , и воспользоваться формулой

$$v = \frac{s}{t}$$

Однако истинное (точное) значение физической величины $A_{\text{ист}}$ не может быть измерено абсолютно точно. Это связано с рядом причин, в том числе с несовершенством измерительных приборов, влиянием внешних условий, различным углом зрения и т.д. Поэтому результат измерения может быть записан только приближённо, с той или иной степенью точности.

Возникающие при измерениях погрешности можно с определённой степенью условности разделить на систематические и случайные.

Систематические погрешности могут быть обусловлены, например, влиянием измерительного прибора на процесс измерения: сбит ноль прибора, слегка изогнута стрелка у стрелочного прибора, изменены физические параметры прибора и т. п. Систематические погрешности могут также возникать из-за несовершенной методики измерений, не учитывающей факторы, негативно влияющие на их точность (неучёт сил трения и сопротивления среды, изменение свойств объекта в процессе измерения и т. п.).

Если не изменять способ измерения физической величины, то при повторных измерениях в тех же условиях эта погрешность остаётся прежней.

Систематические погрешности могут быть уменьшены путём более тщательной настройки измерительных инструментов, учётом поправок, влияющих на точность измерений, использованием более совершенной методики измерений и т. п.

К **случайным погрешностям** относятся погрешности, которые неконтролируемым образом могут изменять своё значение (по величине и по знаку) при повторных измерениях в тех же условиях. При этом факторы, случайным образом влияющие на точность измерений, могут быть самыми разными: наличие в помещении конвекционных потоков воздуха, приводящих к перепадам температуры, колебаний напряжения в электрической цепи, различное время реакции человека при включении и выключении секундомера и т. п.

Основным способом борьбы со случайными погрешностями является многократное повторение измерений физической величины. При этом в качестве результата принимается среднее арифметическое значение результатов отдельных измерений.

Для количественной оценки качества измерений вводят понятия абсолютной и относительной погрешностей.

Абсолютной погрешностью ΔA физической величины называется модуль разности между истинным $A_{\text{ист}}$ и измеренным (приближённым) $A_{\text{из}}$ значениями этой величины:

$$\Delta A = |A_{\text{ист}} - A_{\text{из}}|$$

Максимальная абсолютная погрешность прямых измерений равна сумме абсолютной инструментальной погрешности и абсолютной погрешности отсчёта (при отсутствии других погрешностей):

$$\Delta A = \Delta_{\text{и}}A + \Delta_{\text{о}}A$$

Абсолютная инструментальная погрешность связана с конструкцией измерительного прибора. Абсолютную погрешность отсчёта в большинстве случаев принимают равной половине цены деления шкалы прибора.

Абсолютную погрешность измерения обычно округляют до одной значащей цифры (например, $0,287 \approx 0,3$ или $0,0854 \approx 0,09$). При этом значение результата измерения округляют так, чтобы оно заканчивалось цифрой того же разряда, что и значение погрешности измерения.

Пусть при многократном повторении прямых измерений некоторой величины A получены значения $A_1, A_2, A_3, \dots, A_N$. Тогда за наиболее близкое к истинному значению $A_{\text{ист}}$ принимается **среднее арифметическое значение величины \bar{A}** :

$$\bar{A} = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_N}{N}$$

Абсолютную погрешность измерения физической величины можно оценить, используя формулу

$$\Delta A = \frac{|A_1 - \bar{A}| + |A_2 - \bar{A}| + \dots + |A_N - \bar{A}|}{N}$$

Относительная погрешность равна отношению абсолютной погрешности измерения ΔA к измеренному значению $A_{\text{из}}$ физической величины и обычно выражается в процентах:

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_{\text{из}}} \cdot 100\%$$

Относительная погрешность косвенных измерений физической величины A , определяемой через измеряемые прямым способом физические величины B и C , вычисляется по формулам, приведённым в таблице.

Формулы для вычисления относительной погрешности косвенных измерений

| № | Формула для физической величины | Относительная погрешность |
|---|---------------------------------|---|
| 1 | $A = B + C$ | $\varepsilon = \frac{\Delta B + \Delta C}{B + C}$ |
| 2 | $A = B - C$ | $\varepsilon = \frac{\Delta B + \Delta C}{B - C}$ |
| 3 | $A = BC$ | $\varepsilon = \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta C}{C}$ |
| 4 | $A = \frac{B}{C}$ | $\varepsilon = \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta C}{C}$ |
| 5 | $A = B\sqrt{C}$ | $\varepsilon = \frac{\Delta B}{B} + \frac{1}{2} \frac{\Delta C}{C}$ |

Абсолютная погрешность косвенных измерений определяется по формуле

$$\Delta A = \varepsilon A_{\text{изп.}}$$

Инструментальная погрешность электроизмерительных приборов определяется их классом точности. Класс точности прибора — это относительная инструментальная погрешность, соответствующая максимальному значению шкалы прибора, выраженная в процентах. Так, при измерении силы тока амперметром класс точности прибора

$$\gamma = \frac{\Delta I_{\text{изп.}}}{I_{\text{max}}} \cdot 100\%$$

Например, класс точности $\gamma = 2,5$ означает относительную погрешность 2,5%. Таким образом, инструментальная погрешность прибора

$$\Delta I_{\text{изп.}} = I_{\text{max}} \frac{\gamma}{100}$$

Инструментальная погрешность вольтметра определяется аналогично:

$$\Delta U_{\text{изп.}} = U_{\text{max}} \frac{\gamma}{100}$$

Используемые в физическом практикуме электроизмерительные приборы, как правило, подразделяются на следующие классы точности: 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 4.

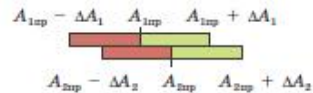
Если класс точности не указан, то инструментальная погрешность считается равной половине цены деления прибора.

Окончательный результат измерения физической величины A записывается следующим образом:

$$A = A_{\text{изп.}} \pm \Delta A, \varepsilon = \dots \%$$

Для сравнения результатов нескольких измерений необходимо записать их в виде двойных неравенств:

$$A_{1\text{изп.}} - \Delta A_1 < A_{1\text{изп.}} < A_{1\text{изп.}} + \Delta A_1; A_{2\text{изп.}} - \Delta A_2 < A_{2\text{изп.}} < A_{2\text{изп.}} + \Delta A_2$$



Затем эти неравенства изображаются графически. Если интервалы перекрываются, то результаты одинаковы при данной относительной погрешности измерений. Если интервалы не перекрываются, то результаты неодинаковы.

РАБОТА № 1

ЦЕЛЬ:

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

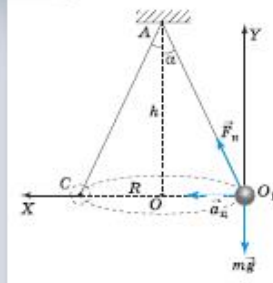
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

ИЗУЧЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛ ПО ОКРУЖНОСТИ

Определить центростремительное ускорение шарика при его равномерном движении по окружности.

Штатив с муфтой и лапкой, шарик на нити (длина нити около 60 см), весы с разновесами, динамометр, секундомер, циркуль, лист белой бумаги, рулетка.

Рассмотрим колебания конического маятника, при которых шарик, подвешенный на нити, движется по окружности заданного радиуса R . На шарик действует равнодействующая сил тяжести и натяжения нити: $\vec{F} = m\vec{g} + \vec{F}_n$, которая создаёт центростремительное ускорение a_n , направленное по радиусу к центру окружности.



Модуль центростремительного ускорения a_n можно определить, используя уравнение кинематики:

$$a_n = \frac{4\pi^2 R}{T^2} \quad (1)$$

где T — период обращения шарика.

С другой стороны, согласно второму закону Ньютона $m\vec{g} + \vec{F}_n = m\vec{a}_n$. Запишем это уравнение в проекциях на оси O_1X и O_1Y : $F_{nx} - ma_n$; $F_{ny} - mg = 0$. Из первого уравнения находим:

$$a_n = \frac{F_{nx}}{m} \quad (2)$$

Перепишем уравнения движения шарика в проекциях, используя тригонометрические функции угла α :

$$F_{nx} = F_n \sin \alpha = ma_n$$

$$F_{ny} = F_n \cos \alpha = mg$$

Из этих уравнений следует, что $\operatorname{tg} \alpha = \frac{a_n}{g}$.

Учитывая, что $\operatorname{tg} \alpha = \frac{R}{h}$, получим

$$a_n = \frac{gR}{h} \quad (3)$$

Модуль F_{nx} можно определить другим способом. С помощью динамометра оттягиваем шарик горизонтально на расстояние, равное радиусу окружности R , и снимаем показания динамометра. При этом сила упругости пружины динамометра уравнивает горизонтальную составляющую силы натяжения нити. По формуле (2) находим центростремительное ускорение шарика.

Относительную погрешность измерения ускорения можно вычислить по формулам:

$$\varepsilon_{a1} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta T}{T} + \frac{\Delta T}{T}; \Delta T \approx 0,05 \text{ с}$$

$$\varepsilon_{a2} = \frac{\Delta F}{F} + \frac{\Delta m}{m}; \Delta F = 0,05 \text{ Н}; \Delta m = 1 \text{ г}$$

$$\varepsilon_{a1} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta h}{h}; \Delta R = \Delta h = 1 \text{ см}$$

Абсолютная погрешность измерения ускорения a : $\Delta a = \varepsilon a$.

ХОД РАБОТЫ:

- Измерьте массу шарика с точностью до 1 г.
- Закрепите нить с привязанным к ней шариком в лапке штатива.
- Начертите на листе бумаги окружность радиусом около 20 см и измерьте её радиус с точностью до 1 см.
- Расположите лист бумаги с нарисованной окружностью так, чтобы шарик оказался над центром окружности. Держа рукой нить у точки подвеса, приведите шарик в движение так, чтобы он описывал окружность заданного радиуса.

212

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

- Повторите опыт три раза. Для каждого опыта вычислите ускорение a , по формуле (2) и рассчитайте его среднее значение $a_{\text{ср}}$.

| Номер опыта | 1-й способ | | | | 2-й способ | | | | |
|-------------|------------|------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------|---------|---------|--------------------------|------------------------------------|
| | m_1 , кг | m_2 , кг | $F_{\text{тр}}$, Н | $F_{\text{тр} \text{ ср}}$, Н | a_1 , м/с ² | t , с | s , м | a_2 , м/с ² | $a_{\text{ср}}$, м/с ² |
| | | | | | | | | | |

- Рассчитайте абсолютные и относительные погрешности измерений.
- Запишите результат в своей тетради в виде:
 $a - a_1 \pm \Delta a_1, \epsilon_{a1} = \dots\%$;
 $a - a_2 \pm \Delta a_2, \epsilon_{a2} = \dots\%$.
- Согласуются ли значения ускорений, вычисленные разными способами? Какой способ оказался точнее?

РАБОТА № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

ЦЕЛЬ:

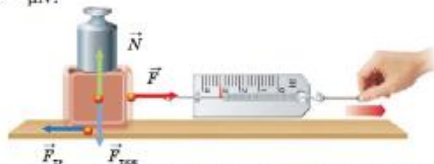
На опыте проверить, что сила трения скольжения прямо пропорциональна силе нормального давления, равной по модулю силе реакции опоры; измерить коэффициент трения скольжения дерева по дереву.

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Динамометр, деревянный брусок, деревянная доска (деревянная поверхность) набор грузов известной массы, миллиметровая бумага.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Сила трения скольжения пропорциональна силе нормального давления, модуль которой равен модулю силы реакции опоры: $F_{\text{тр}} = \mu N$.



Измерив с помощью динамометра силу трения и вес бруска, можно вычислить коэффициент трения скольжения по формуле:

$$\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{N}$$

Относительную погрешность измерения коэффициента трения можно вычислить по формуле:

$$\epsilon_{\mu} = \frac{\Delta F}{F_{\text{тр}}} + \frac{\Delta N}{N}; \Delta F = \Delta N = 0,05 \text{ Н}$$

Абсолютная погрешность измерения μ : $\Delta \mu = \epsilon_{\mu} \mu$.

213

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

ХОД РАБОТЫ:

- С помощью динамометра измерьте вес P деревянного бруска.
- Положите брусок на горизонтальную деревянную поверхность и, прикрепив к нему динамометр, равномерно перемещайте вдоль поверхности. Динамометр показывает силу, действующую на брусок, которая по модулю равна силе трения скольжения $F_{\text{тр}}$.
- Поставьте на брусок груз известной массы и измерьте силу трения скольжения ещё раз.
- Повторите опыт, поставив на брусок дополнительные 2, а затем 3 груза известной массы.
- Сделайте рисунок, обозначив на нём все силы, действующие на брусок.
- Вычислите силы реакции опоры N , действующие на брусок в каждом случае: $N = P + P_{\text{гр}}$, где $P_{\text{гр}}$ — вес грузов.
- Вычислите коэффициент трения скольжения μ для каждого случая.
- По экспериментальным точкам постройте график зависимости силы трения скольжения от силы реакции опоры $F_{\text{тр}}(N)$.
- По графику определите среднее значение коэффициента трения скольжения $\mu_{\text{ср}}$.

| Номер опыта | Измерения | | | Вычисления | | |
|-------------|-----------|--------------------------------|---------------------|------------|-------|-------------------|
| | P , Н | Вес грузов $P_{\text{гр}}$, Н | $F_{\text{тр}}$, Н | N , Н | μ | $\mu_{\text{ср}}$ |
| | | | | | | |

- Рассчитайте абсолютные и относительные погрешности измерений в каждом из опытов. В каком опыте погрешность измерения максимальна?
- Запишите результат в виде: $\mu = \mu_{\text{ср}} \pm \Delta \mu, \epsilon_{\mu} = \dots\%$.
- Найдите табличное значение коэффициента трения скольжения дерева по дереву и сравните его с полученным вами в лабораторной работе. Сделайте выводы.

РАБОТА № 4

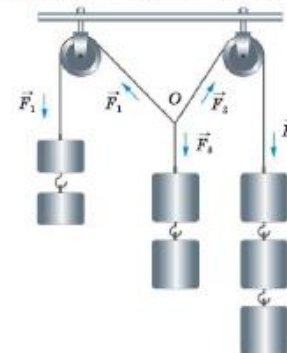
ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ РАВНОВЕСИЯ ТЕЛ

ЦЕЛЬ:

Изучить условия равновесия невращающегося тела, к которому приложены несколько сил, и условия равновесия тела с закреплённой осью вращения.

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Штатив, набор грузов, 2 блока, динамометр, линейка, транспортир, рычаг с балансиrom.



Лабораторные работы

224

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

РАБОТА № 1

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

ЦЕЛЬ:

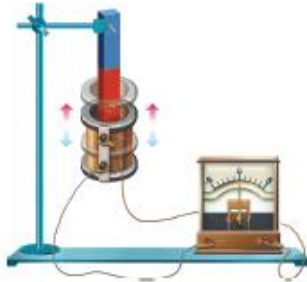
Изучить явление электромагнитной индукции, получить индукционный ток и проверить выполнение правила Ленца.

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Миллиамперметр, полосовой магнит, катушка-моток, соединительные провода.

ХОД РАБОТЫ:

- Закрепите катушку в лапке штатива и подключите её к миллиамперметру.
- Выполните следующие действия с магнитом и катушкой:
 - равномерно введите в катушку северный (южный) полюс магнита, затем извлеките магнит из катушки;
 - введите и извлеките магнит из катушки с разной скоростью (быстро, медленно);
 - сложите два магнита одноимёнными полюсами. Введите и извлеките их из катушки с разной скоростью (быстро, медленно);
 - возьмите катушку с меньшим (большим) числом витков. Повторите любое из описанных выше действий с этой катушкой.
- Для каждого опыта:
 - запишите максимальное значение силы индукционного тока I_i ;
 - сделайте схематичный рисунок катушки и магнита;
 - на рисунке укажите направление индукционного тока. Направление индукционного тока определяется по направлению отклонения стрелки миллиамперметра и по направлению намотки витков катушки;
 - укажите направление вектора магнитной индукции поля, созданного индукционным током в катушке (определяется по правилу правой руки);
 - укажите направление линий индукции магнита;
 - установите характер изменения магнитного потока в зависимости от направления движения магнита.



| Номер опыта | Действия с магнитом и катушкой | I_i , мА | Схематичный рисунок |
|-------------|--------------------------------|------------|---------------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| ... | | | |

- Выполняется ли правило Ленца в проделанных опытах? Сделайте вывод.

225

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

РАБОТА № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ НИТЯНОГО МАЯТНИКА

ЦЕЛЬ:

Определить ускорение свободного падения с помощью нитяного маятника.

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Штатив, шарик, нить, секундомер (или часы с секундной стрелкой), линейка.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Период колебаний математического маятника можно определить по формуле $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. Таким образом, измерив длину нити и период колебаний, можно вычислить ускорение свободного падения:

$$g = 4\pi^2 \frac{l}{T^2}$$

Для более точного вычисления периода колебаний рекомендуется повторить опыт несколько раз, измеряя время t , за которое маятник совершит $N = 20-30$ колебаний. Затем вычислить среднее время $t_{cp} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n}$, где n — число опытов по измерению времени N колебаний.

Относительная погрешность измерения g :

$$\epsilon_g = \epsilon_t + 2\epsilon_T, \text{ где } \epsilon_t = \frac{\Delta t}{t}$$

$$\epsilon_T = \frac{\Delta T_{cp}}{T_{cp}}, \text{ где } \Delta T_{cp} = \frac{|t_1 - t_{cp}| + |t_2 - t_{cp}| + \dots + |t_n - t_{cp}|}{n}$$

Абсолютная погрешность измерения g : $\Delta g = \epsilon_g g_{cp}$.

ХОД РАБОТЫ:

- Установите штатив на краю стола. Прикрепите нить длиной около 1 м к шарiku и подвесьте его к штативу. Измерьте длину нити l маятника от точки закрепления нити до центра шарика.
- Отклоните шарик от положения равновесия на 4–5 см и отпустите. Измерьте время t , за которое маятник совершает $N = \dots$ полных колебаний.
- Проведите ещё $n = 3-5$ таких измерений.
- Вычислите среднее значение времени t_{cp} .
- Вычислите среднее значение периода колебаний нитяного маятника по формуле $T_{cp} = \frac{t}{N}$.
- Вычислите ускорение свободного падения: $g_{cp} = 4\pi^2 \frac{l}{T_{cp}^2}$.

| Номер опыта | Измерения | | | Вычисления | | |
|-------------|-----------|-----|---------|--------------|--------------|-----------------------------|
| | l , м | N | t , с | t_{cp} , с | T_{cp} , с | g_{cp} , м/с ² |
| | | | | | | |

24

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ. ТРЕТИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

- 2.27** С какой силой действует на стол кружка с водой общей массой 400 г? С какой силой стол действует на кружку? Выполните рисунок.
- 2.28** Кирпич лежит на стене и действует на неё с силой 45 Н. С какой силой стена действует на кирпич? Сделайте рисунок.
- 2.29** Мешок лежит на полу. Укажите силы взаимодействия между мешком и Землёй, мешком и полом. Сделайте рисунки.
- 2.30** В результате взаимодействия двух тел их ускорения оказались равными 0,4 и 0,6 м/с². Определите силу, с которой взаимодействовали тела, и массу второго тела, если масса первого тела равна 150 г.
- 2.31** Мальчик, стоя на льду, отталкивает снеговика массой 8 кг с силой 24 Н. Определите ускорения снеговика и мальчика, если масса мальчика 36 кг.
- 2.32** Сравните ускорения шаров массами 1 и 3 кг, которые они получат при упругом взаимодействии (соударении).
- 2.33** Можно ли при помощи внешнего воздействия сдвинуть с места лодку, если человек, сидящий в ней, упирается в борт, препятствуя движению?
- 2.34** Два тела взаимодействуют с равными по модулю и противоположно направленными силами. Векторная сумма которых равна нулю. Объясните, по какой причине тела приобретают ускорения, ведь в соответствии со вторым законом Ньютона ускорение также должно быть равно нулю.
- 2.35** При перетягивании каната в нём возникают равные по модулю и противоположно направленные силы натяжения на концах. По какой причине один человек перетягивает другого?
- 2.36** Барон Мюнхгаузен известен тем, что вытащил сам себя из болота за волосы. Не противоречит ли это законам физики?

ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ

- 2.37** Сравните силы, с которыми Земля притягивает Луну и Луна притягивает Землю. Масса Луны в 81 раз меньше массы Земли.
- 2.38** Рассчитайте силу взаимодействия двух кораблей массами 5000 и 70 000 т, находящихся на расстоянии 20 км друг от друга.
- 2.39** Как изменится сила взаимодействия двух небольших тел массами m_1 и m_2 , находящихся на некотором расстоянии r одно от другого, если:

28

- 2.74** График зависимости силы трения от силы нормального давления изображён на рисунке 16. Определите силу трения скольжения, возникающую при движении тела массой 3 кг.

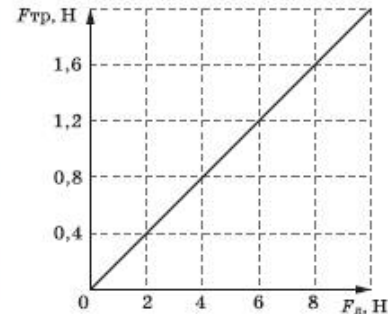


Рис. 16

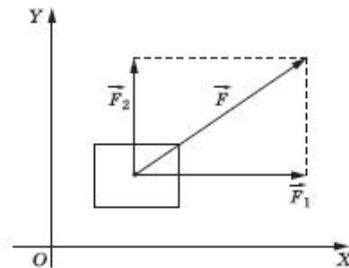
- 2.75** Укажите направление силы трения, действующей на ногу человека при ходьбе.

- 2.76** К бруску массой 4 кг приложена горизонтальная сила, которая увеличивается с течением времени по закону $F = at$, где $a = 0,8$ Н/с. Определите, в какой момент времени брусок сдвинется с места, если коэффициент трения между бруском и телом равен 0,2. Постройте график зависимости силы трения от времени.

- 2.77** При каком значении коэффициента трения ботинок массой 300 г не будет скользить по сухой металлической кровле, наклонённой под углом 30° к горизонту?

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1. На гладкой горизонтальной поверхности лежит тело массой 10 кг. На это тело действуют две горизонтальные взаимно перпендикулярные силы $F_1 = 30$ Н и $F_2 = 40$ Н. Определите ускорение этого тела.



Дано:
 $m = 10$ кг
 $F_1 = 30$ Н
 $F_2 = 40$ Н
 $a = ?$

Решение:
1-й способ
 В соответствии со вторым законом Ньютона $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$, где \vec{F} — равнодействующая сил, действующих на тело.
 $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$, поэтому $\vec{a} = \frac{\vec{F}_1 + \vec{F}_2}{m}$.

Модуль равнодействующей силы

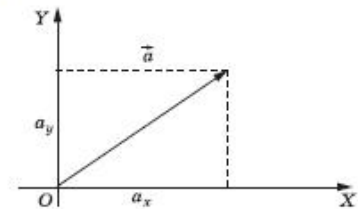
$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}, \text{ откуда}$$

$$a = \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2}}{m}; a = \frac{\sqrt{30^2 + 40^2}}{10} = 5 \text{ м/с}^2.$$

2-й способ

В соответствии со вторым законом Ньютона $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$, где \vec{F} — равнодействующая сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 , $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$.

Получаем $m\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$.



Запишем это уравнение в проекциях на оси OX и OY :

$$OX: ma_x = F_1 \rightarrow a_x = \frac{F_1}{m};$$

$$OY: ma_y = F_2 \rightarrow a_y = \frac{F_2}{m}.$$

Полное ускорение $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \sqrt{\frac{F_1^2}{m^2} + \frac{F_2^2}{m^2}} = \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2}}{m}$;

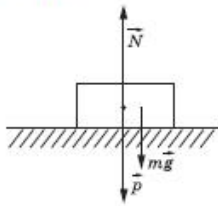
$$a = \frac{\sqrt{(30)^2 + (40)^2}}{10} = 5 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $a = 5$ м/с².

29

Задачник 10 класс

Задача 2. Определите вес спускаемого аппарата массой 75 кг на поверхности спутника Юпитера Европы.



Дано:
 $m = 75 \text{ кг}$
 $M_E = 0,008 M_Z$
 $R_E = 0,24 R_Z$

Решение:
 По третьему закону Ньютона $\vec{N} = -\vec{P}$; $N = P$, поэтому для нашего тела нужно определить силу реакции опоры.

На поверхности Земли $P_Z = G \frac{mM_Z}{R_Z^2}$. (1)

На поверхности Европы $P_E = G \frac{mM_E}{R_E^2}$. (2)

$P_E = ?$

Поделим уравнение (1) на уравнение (2):

$$\frac{P_E}{P_Z} = G \cdot \frac{mM_Z}{R_Z^2} \cdot \frac{R_Z^2}{GmM_E} = \frac{M_Z R_Z^2}{M_E R_E^2} = \frac{M_Z (0,24 R_Z)^2}{0,008 M_Z R_Z^2} = 7,2.$$

Получаем, что $R_E = P_Z \cdot \frac{1}{7,2} = \frac{mg}{7,2}$.

$$P_E = \frac{750}{7,2} \approx 104 \text{ Н.}$$

Ответ: $P_E \approx 104 \text{ Н.}$

Задача 3. Определите высоту движения спутника над поверхностью Земли, если он совершает один оборот за 2,4 часа.

Дано:
 $T = 2,4 \text{ ч}$

СИ
 8640 с

Решение:
 По второму закону Ньютона для спутника получаем $m\vec{a} = \vec{F}$, где \vec{F} — сила притяжения спутника к Земле.

$h = ?$

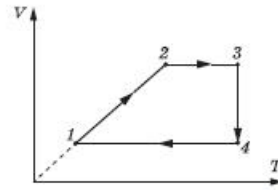


Рис. 28

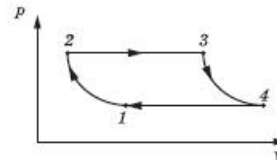


Рис. 29

5.64 Идеальный газ при температуре 293 К и давлении 1 кПа занимает объем 10 м³. Постройте график изотермического процесса, осуществляемого с этим газом, в осях координат p - V , p - T и V - T , если конечное давление газа равно 2 кПа.

5.65 С идеальным газом, находящимся под давлением $2 \cdot 10^5$ Па, осуществляют изобарный процесс. Постройте график этого процесса в осях координат p - V , p - T и V - T , если начальный объем газа — 200 см³, начальная температура — 300 К, конечная температура — 450 К.

5.66 С идеальным газом объемом 10 м³ осуществляют процесс, при котором объем газа не изменяется. Постройте график этого процесса в осях координат p - V , p - T и V - T , если начальная температура газа — 300 К, начальное давление — 200 кПа, конечная температура — 450 К.

5.67 На рисунке 28 в осях координат V - T изображен замкнутый круговой процесс, осуществляемый с идеальным газом неизменной массы. Начертите этот цикл в осях координат p - V и p - T и назовите процесс на каждом участке цикла.

5.68 На рисунке 29 в осях координат p - V изображен замкнутый круговой процесс, осуществляемый с идеальным газом неизменной массы. Процессы $1 \rightarrow 2$ и $3 \rightarrow 4$ являются изотермическими. Начертите этот цикл в осях координат p - T и V - T и назовите процесс на каждом участке цикла.

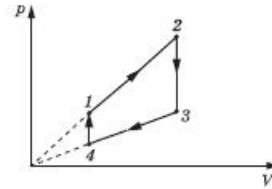
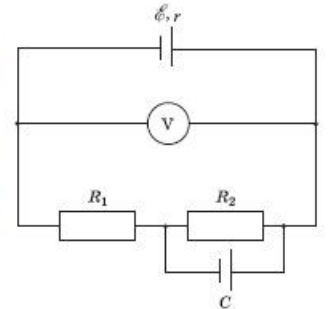


Рис. 30

5.69 На рисунке 30 в осях координат p - T изображен замкнутый круговой процесс, осуществляемый с идеальным газом неизменной массы. Начертите этот цикл в осях координат p - V и V - T и назовите процесс на каждом участке цикла.

Задача 3. В электрической цепи ЭДС источника тока 6 В, его внутреннее сопротивление 1 Ом. Определите напряжение на зажимах источника, мощность, выделяющуюся на втором резисторе, и заряд конденсатора, если $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = 3 \text{ Ом}$, $C = 10 \text{ мкФ}$. Определите КПД источника тока в установившемся режиме.



Дано:
 $\mathcal{E} = 6 \text{ В}$
 $r = 1 \text{ Ом}$
 $R_1 = 2 \text{ Ом}$
 $R_2 = 3 \text{ Ом}$
 $C = 10 \text{ мкФ}$

СИ
 10^{-5} Ф

Решение:
 В установившемся режиме ток через конденсатор не идет, поэтому сопротивление внешней части цепи $R = R_1 + R_2$.

$U = ?$
 $P_2 = ?$
 $q = ?$
 $q_C = ?$

Сила тока в цепи определяется законом Ома для полной цепи:

$$I = I = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2 + r}; \quad I = \frac{6}{2 + 3 + 1} = 1 \text{ А.}$$

Напряжение на зажимах источника

$$U = I(R_1 + R_2); \quad U = 1 \cdot (2 + 3) = 5 \text{ В.}$$

Заметим, что $U \neq \mathcal{E}$.

Мощность, выделяющаяся на втором резисторе, $P_2 = I^2 R_2$; $P_2 = 1^2 \cdot 3 = 3 \text{ Вт}$.

Напряжение на конденсаторе равно напряжению на втором резисторе сопротивлением R_2 , так как они соединены параллельно:

$$U_C = U_2 = I R_2; \quad U_C = 1 \cdot 3 = 3 \text{ В.}$$

Тогда заряд конденсатора $q_C = U_C C$; $q_C = 3 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$.

Поурочное тематическое планирование



СОДЕРЖАНИЕ

**1. Методические рекомендации по изучению курса физики
10-11 класс**

линии «Сферы» при планировании на 2 часа в неделю

**2. Пример рабочей программы к УМК «Физика»
автора Н.И. Воронцовой для 10-11 классов**

Пояснительная записка

Общая характеристика курса физики в средней школе

Место курса физики в учебном плане

Планируемые результаты освоения учебного предмета по итогам
обучения в 10-11 классах

Содержание курса:

10 класс

11 класс

Примерное поурочное тематическое планирование:

10 класс

11 класс

Требования к уровню подготовки выпускников

Учебно-методическое и материально-техническое обеспечение

Спасибо за внимание!

Белага Виктория Владимировна belaga@jinr.ru

