

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)



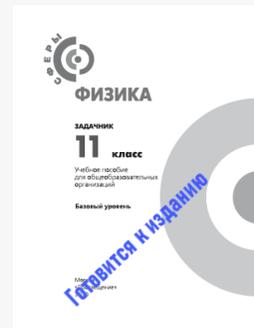
Белага В.В., Ломаченков И.А., Панебратцев Ю.А.
Физика. 10 класс. Базовый уровень. Учебник для
общеобразовательных организаций



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 волн	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

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

87

АТОМ — ОТ ГИПОТЕЗЫ ДЕМОКРИТА ДО ТАБЛИЦЫ МЕНДЕЛЕЕВА

РАЗДЕЛ II

Творцом атома принято считать древнегреческого философа Демокрита. Самую маленькую часть вещества, которую нельзя разделить на части, Демокрит назвал «атом», что в переводе означает «неделимый». Более двух с половиной тысяч лет назад Демокрит написал: «Начала Вселенной — атом и пустота, всё же остальное существует лишь во мнении».

Один из древнегреческих философов, Эмпедокл, утверждал, что окружающий нас мир построен из четырех элементов — земли, воды, воздуха и огня. Учение Эмпедокла развил великий Аристотель. Согласно его учению все тела состоят из одного и того же вещества, но это вещество может обладать разными свойствами: жидкое, тепло, влажность и сухость. Соединившись по два, они образуют элементы Эмпедокла. Так, сухое и холодное вещество даёт землю, сухое и горячее — огонь, влажное и холодное — воду. Утверждая, что все вещества могут взаимно превращаться друг в друга, Аристотель категорически отвергал существование атомов. Он говорил: «Природа не терпит пустоты», т.е. считал, что каждое тело можно дойти до бесконечности.

Демокрит был уверен в том, что все вещества в природе построены из атомов, а свойства вещества зависят от различных сочетаний атомов. Аристотель же утверждал, что всё сущее состоит из комбинаций элементов Эмпедокла, которые являются носителями определенных качеств, а именно холода, тепла, влажности и сухости. Из-за огромного авторитета Аристотеля его учение стало господствующим и определяло развитие науки почти до XVIII в.

В Средние века ученые об элементах возводили алхимики. Считалось очевидным, что одни окружающие нас тела способны превращаться в другие: Горение, обжог руды, получение сплавов металлов — все эти явления были хорошо известны. История алхимии насчитывает несколько веков: с VIII по XIII в. Несмотря на то что алхимикам не удалось превратить ртуть в золото или найти эликсир жизни, их опыты позволили постепенно накопить большое количество фактов, которые помогли дальнейшему становлению химии как науки.

Стало ясно, что число основных веществ — элементов — существенно больше четырех. Ртуть, свинец, серу, золото, сурьму нельзя было разложить на более простые составляющие, уже нельзя было говорить, что эти вещества построены из элементов Аристотеля. Напротив, они сами являлись элементами мира.

В 1668 г. в Англии вышла книга Роберта Бойля «Скелетической химии, или Сомнений и парадоксов относительно элементов алхимиков», в которой Бойль определил элементы как «некоторые примитивные, или простые, или совершенно несмешанные вещества».



ELEMENTS	
1	Hydrogen
2	Helium
3	Lithium
4	Beryllium
5	Boron
6	Carbon
7	Nitrogen
8	Oxygen
9	Fluorine
10	Neon
11	Sodium
12	Magnesium
13	Aluminum
14	Silicon
15	Phosphorus
16	Sulfur
17	Chlorine
18	Argon
19	Potassium
20	Calcium
21	Scandium
22	Titanium
23	Vanadium
24	Chromium
25	Manganese
26	Iron
27	Cobalt
28	Nickel
29	Copper
30	Zinc
31	Gallium
32	Germanium
33	Arsenic
34	Selenium
35	Bromine
36	Krypton
37	Rubidium
38	Strontium
39	Yttrium
40	Zirconium
41	Niobium
42	Molybdenum
43	Technetium
44	Ruthenium
45	Rhodium
46	Palladium
47	Silver
48	Cadmium
49	Indium
50	Tin
51	Antimony
52	Tellurium
53	Bismuth
54	Polonium
55	Astatine
56	Barium
57	Lanthanum
58	Cerium
59	Praseodymium
60	Ndymium
61	Europium
62	Gadolinium
63	Terbium
64	Dysprosium
65	Hoimium
66	Erbium
67	Ytterbium
68	Lutetium
69	Hafnium
70	Tantalum
71	Tungsten
72	Rhenium
73	Osmium
74	Iridium
75	Rhodium
76	Palladium
77	Silver
78	Cadmium
79	Indium
80	Tin
81	Antimony
82	Tellurium
83	Bismuth
84	Polonium
85	Astatine
86	Radon
87	Francium
88	Radium
89	Actinium
90	Thorium
91	Protactinium
92	Uranium
93	Nephtalium
94	Plutonium
95	Americium
96	Curium
97	Berkelium
98	Californium
99	Einsteinium
100	Fermium
101	Mendelevium
102	Nobelium
103	Livermorium
104	Flerovium
105	Dubnium
106	Rogentium
107	Bohrium
108	Hassium
109	Mt
110	Ds
111	Rh
112	Cn
113	Nh
114	Fl
115	Mc
116	Lv
117	Ts
118	Og



Антуан Лоран Лавуазье, которого считают основателем современной химии, не только ценил прием учения Бойля, но и пошел дальше: он научился выделять элементы из химических соединений. Он исходил из предположения, которое сейчас может показаться тривиальным, о том, что каждый элемент соединения весит меньше, чем всё соединение в целом. Последовательно применяя этот принцип, он составил первый список почти из 30 элементов.

Следующим шагом явились работы английского физика и химика Джона Дальтона. В 1808 г. вышла его знаменитая книга «Новая система химической философии». Дальтон определил элемент как вещество, состоящее из атомов одного вида. Атомы различных веществ различаются по массе и при всех превращениях вещества остаются неизменными — происходит лишь их перегруппировка. «Мы с таким же успехом можем прибавить новую планету к Солнечной системе, как создать или уничтожить атом водорода».

Венцом в создании современной картины строения вещества 17 февраля 1859 г. нашим великим соотечественником Дмитрием Ивановичем Менделеевым была открыта Периодическая система элементов, или, как принято Менделеева, Менделеева не только систематизировала известные элементы, но и на основании предложенной систематики нашла 6 атомных масс элементов и предсказала пять новых элементов. По элементам поставила точку в длительном споре между преддтия и Аристотелем о природе элементов.

За прошедшие со времени этого открытия годы наука шагнула вперед: мы живем в век сложной электроники и нанотехнологий строим сложную физическую установку для изучения свойств атомов, этим исследованиям было установлено, что в природе существуют атомы, еще около 25 атомов новых элементов ученые имеют своих лабораториях. В настоящее время существование атомов экспериментально, но и сконструированы устройства, позволяющие достичь возможность манипулировать отдельными атомами.

В томе «Молекулярная физика» вы изучите физические явления, которые позволяют вам ответить на многие вопросы: с какой скоростью различают вещества и от чего эта скорость зависит? Чем отличаются твердые тела, жидкости и газы? Как связаны свойства жидкостей с молекулярными силами взаимодействия и молекулярной структурой? И наконец, вы сможете дать ответ на вопрос, заданный Демокритом: что получится, если очень остро яблоко положить, потом пополам разрезать, еще раз пополам мы разрезать яблоко до бесконечности, или существуют пределы? являются ли некоторые мельчайшие частицы? Поскольку размеры ат высокой точностью, то можно действительно назвать число рд задачи Демокрита, сопоставив тем самым размеры яблока и ат



ВВЕДЕНИЕ В ТЕРМОДИНАМИКУ

129

ОТ ПАРОВОЙ МАШИНЫ ДО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

РАЗДЕЛ III

Знания, которыми обладает человечество, определяют в конечном итоге и уровень жизни нашей цивилизации, и её развитие. Получение огня путём трения, изобретение колеса древними шумерами, применение простых механизмов при строительстве пирамид в Древнем Египте, инженерные изобретения Архимеда и Леонардо да Винчи подтверждают эту мысль. Но это была предюдия к тому этапу развития человечества, который начался в XVIII в. и который называют промышленной революцией.

Начало бурного развития промышленного производства связано с изобретением ткацкого станка и паровой машины. Паровые машины способствовали развитию горного дела, они привели в движение металлургические заводы на фабриках, были изобретены пароход и паровоз. Возникла сеть железных дорог.

Дальнейший этап развития во второй половине XIX — начале XX в. был связан с открытиями в области электричества и изобретением электродвигателя. Но для использования электричества в быту и промышленности необходимо было создать паровую турбину для тепловых электростанций.

Невозможно представить себе XX век без автомобилей, самолётов, тракторов, а в быту — без холодильников и кондиционеров, т.е. невозможно представить себе нашу жизнь без двигателя внутреннего сгорания и холодильных установок.

Одним из наиболее ярких достижений нашей цивилизации является запуск в XX в. искусственного спутника Земли, полёт человека в космос, полёт человека на Луну, полёт автоматических космических станций к другим планетам. Всё это стало возможным после изобретения реактивного двигателя.

Все эти достижения так или иначе связаны с разделом физики, который называется «Термодинамикой», и возникшими на его основе теплотехникой, физикой высоких и низких температур, физикой высоких давлений.

Термодинамика как раздел физики стала развиваться в XVIII в. Параллельно с решением вопроса, связанных с развитием техники, шло развитие термодинамики как важного раздела фундаментальной науки. Рождение термодинамики связано с выходом небольшой книги молодого французского инженера Сади Карно «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу». Карно предложил новый подход к формулировке задач в термодинамике: «Чтобы рассмотреть принцип получения движения из тепла во всей его полноте, надо его изучить независимо от какого-либо механизма, какого-либо определенного агента, надо провести рассуждения, приложимые не только к паровым машинам, но и ко всем мыслимым тепловым машинам, каково бы ни было вещество, пущенное в дело, и каким бы образом на него ни производилось воздействие».

130

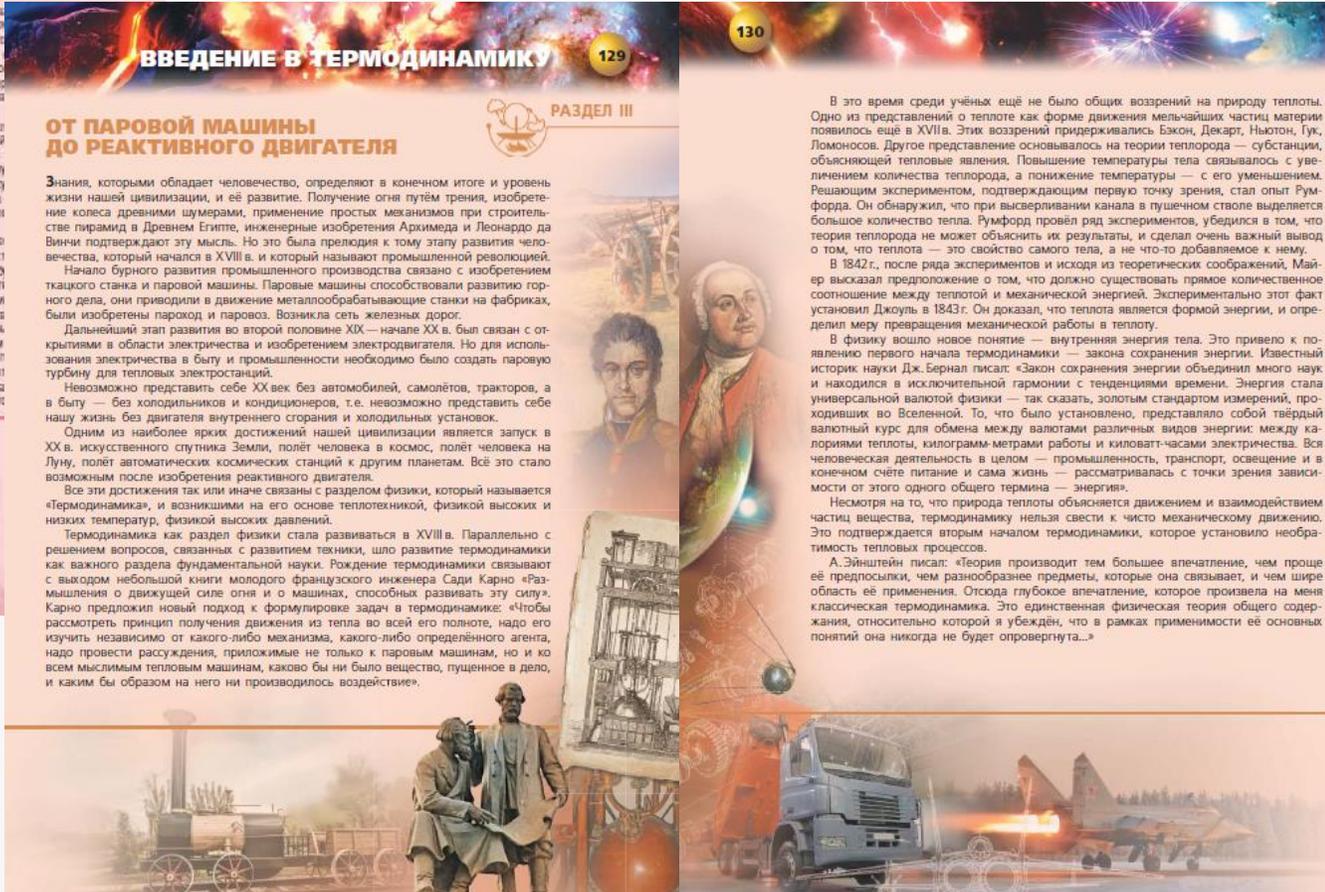
В это время среди учёных ещё не было общих воззрений на природу теплоты. Одно из представлений о теплоте как форме движения мельчайших частиц материи появилось ещё в XVII в. Этих воззрений придерживались Бэкон, Декарт, Ньютон, Гук, Ломоносов. Другое представление основывалось на теории теплоты — субстанции, объясняющей тепловые явления. Повышение температуры тела связывалось с увеличением количества теплоты, а понижение температуры — с его уменьшением. Решающим экспериментом, подтверждающим первую точку зрения, стал опыт Румфорта. Он обнаружил, что при высверливании канала в пушечном стволе выделяется большое количество тепла. Румфорт провёл ряд экспериментов, убедился в том, что теория теплоты не может объяснить их результаты, и сделал очень важный вывод о том, что теплота — это свойство самого тела, а не что-то добавляемое к нему.

В 1842 г., после ряда экспериментов и исходя из теоретических соображений, Майер высказал предположение о том, что должно существовать прямое количественное соотношение между теплотой и механической энергией. Экспериментально этот факт установил Джоуль в 1843 г. Он доказал, что теплота является формой энергии, и определил меру превращения механической работы в теплоту.

В физику вошло новое понятие — внутренняя энергия тела. Это привело к появлению первого начала термодинамики — закона сохранения энергии. Известный историк науки Дж. Бернал писал: «Закон сохранения энергии объединил много наук и находился в исключительной гармонии с тенденциями времени. Энергия стала универсальной валютой физики — так сказать, золотым стандартом измерений, прошедших во Вселенной. То, что было установлено, представляло собой твёрдый валютный курс для обмена между валютами различных видов энергии: между калориями теплоты, килограмм-метрами работы и киловатт-часами электричества. Вся человеческая деятельность в целом — промышленность, транспорт, освещение и в конечном счёте питание и сама жизнь — рассматривалась с точки зрения зависимости от этого одного общего термина — энергии».

Несмотря на то, что природа теплоты объясняется движением и взаимодействием частиц вещества, термодинамикой нельзя свести к чисто механическому движению. Это подтверждается вторым началом термодинамики, которое установило необратимость тепловых процессов.

А.Эйнштейн писал: «Теория производит тем большее впечатление, чем проще её предпосылки, чем разнообразнее предметы, которые она связывает, и чем шире область её применения. Отсюда глубокое впечатление, которое произвела на меня классическая термодинамика. Это единственная физическая теория общего содержания, относительно которой я убеждён, что в рамках применимости её основных понятий она никогда не будет опровергнута.»



Предисловие к разделам

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

147

МИР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Механическое движение, тепловые, звуковые и световые явления воспринимаются непосредственно нашими органами чувств. Даже если изучение этих явлений сопряжено с трудностями, мы не можем отрицать их существование — мы видим, слышим и осязаем. При изучении же электричества и магнетизма наши органы чувств уже не являются нашими помощниками, их должны заменить специальные приборы.

Впервые на явления, которые теперь называют электрическими, обратил внимание ещё в VI в. до н.э. древнегреческий философ и математик Фалес Милетский. Он изучал свойства янтара после натирания шерстью притягивая к себе лёгкие предметы. Это были первые простейшие опыты, в которых люди столкнулись с явлением проявления электрических сил. Однако странное поведение янтара долгое время казалось только любопытным наблюдением, никто и не предполагал, что это — проявление одного из фундаментальных взаимодействий в природе.

Первым шагом в изучении электрических явлений можно считать создание в 1660 г. Герике электрической машины. Она представляла собой шар из серы, насаженный на металлическую ось. Шар можно было вращать. Он при этом заряжался и мог создавать небольшие искры, которые наблюдались в эксперименте. Герике заметил, что шар притягивает лёгкие тела. После того как тело коснется шара, оно тут же от него отталкивается и снова.

В 1733 г. французский учёный Дюфе предположил, что существует два вида электричества: «стеклянное» (положительное) и «смоляное» (отрицательное). Он составил список веществ, позволяющие получить положительное и отрицательное электричество. Дюфе сформулировал одно из ключевых положений учения об электричестве: каждое (и положительное, и отрицательное) электричество отталкивает электричество своего рода и притягивает противоположное. На современном языке это означает: одноименные заряды отталкиваются, а разноименные — притягиваются.

Дальнейший вклад в развитие науки об электричестве сделал выдающийся американский политический деятель и учёный Бенджамин Франклин. Он усовершенствовал электрометр двух родов электричества Дюфе и в 1748 г. высказал мысль, что оба вида электричества представляют собой недостаток или избыток электричества одного вида. Это предположение легло в основу его идеи притиснуть электрическому заряду знак «+» или «-», что давало возможность количественного описания электрических явлений.

Следующим важным шагом стали опыты Кулона, поставленные им в конце XVIII в. Для этих опытов Кулон придумал чрезвычайно чувствительный прибор — крутильные весы. Кулон установил, как зависит сила притяжения и отталкивания между зарядами и от величины заряда, и от расстояния между ними, т.е. он установил закон взаимодействия заряженных тел, лежащих друг относительно друга.



РАЗДЕЛ IV

148



Но оставался непонятным главный вопрос: каким образом происходит взаимодействие двух зарядов? Ответил на него основоположник современных представлений об электромагнетизме Майкл Фарадей. Он ввел в физику совершенно новое понятие — понятие электрического поля. Согласно его идее заряды не действуют друг на друга непосредственно («близкодействие»). Каждый из зарядов создаёт в окружающем пространстве электрическое поле. На заряд 1 действует не сам заряд 2 , а созданное им поле.

Следующим этапом исследований было изучение движения электрических зарядов. Для этого требовалось создать источник электрического тока.

Делая многочисленные анатомические опыты, итальянец Гальвани сделал открытие, что если положить конечности лягушки на железную пластинку и прижать их к ней латунным крючком, то мышцы конечности всегда сокращаются. Причина состояла в том, что при соприкосновении двух различных металлов образовывался электрический заряд. Сочетавшись Гальвани Александр Вольта свёл эти опыты к чистой физике. Он понял, что требуется лишь контакт между двумя разнородными металлами, разделёнными каким-нибудь проводящим веществом. Эту роль в опытах Гальвани и выполняла жидкость в конечностях лягушки. Следуя этому выводу, Вольта изготовил первый электрический элемент, состоявший из цинковой и медной пластинок, разделённых лоскутком ткани, пропитанным солевой водой или разбавленной кислотой. В 1775 г. Вольта создал устройство, которое называют «вольтов столб». Фактически был первый источник электрического тока.

Поворот магнитной стрелки вблизи проводника с током в опытах Эрстеда уже указал на связь электрических и магнитных явлений. Задачу «превратить нетизм в электричество» поставил перед собой в 1821 г. М.Фарадей. На эту задачу он потратил около 10 лет. Успешное её решение и открытие Фарадея закона электромагнитной индукции позволили в дальнейшем создать электрический двигатель, генератор электрического тока, электростанции.

Если XVIII век назывался веком пара, то XIX век стал веком электричества. Эчество открыло для человечества принципиально новые возможности. Паровая машина может преобразовывать энергию сгорания угля в полезную работу, но испортить эту энергию можно только в том месте, где установлена угольная топка и котёл. Электростанция может быть размещена на большом расстоянии от потребителя энергии и при этом снабжать его необходимой электроэнергией.

Учение об электричестве и магнетизме охватывает огромную совокупность лений природы. Трудно и даже почти невозможно указать явления, не связанные с действием электромагнитных сил. Это верно не только для физики, но и для химии при описании функционирования биологических объектов, например клетки. П изучение электромагнитных явлений имеет важное значение.

В 10 классе вы изучите три раздела: «Электростатика», «Законы постоянного и «Электрический ток в различных средах». Дальнейшее изучение электромагнитных явлений вы продолжите в 11 классе.



ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

7

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ — ВЕЛИКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ

РАЗДЕЛ I

Когда-то люди считали, что падение яблока на Землю и движение Луны вокруг Земли — это разные физические явления, подчиняющиеся различным законам. Однако гениальный И.Ньютон, наблюдая за падением яблока и за движением Луны, объединил эти явления, предложив для их описания закон всемирного тяготения. Это было первое великое объединение в физике. Вторым великим объединением в физике стало объединение электричества и магнетизма. И в этом огромная заслуга гениального физика-экспериментатора М.Фарадея и гениального физика-теоретика Д.Максвелла.

Всего двести лет назад, в начале XIX в., очень мало было известно и о природе магнитных явлений. И ещё меньше — о связи электричества и магнетизма. Первым, кто «обратил электричество в магнетизм», был голландский учёный Х.Эрстед. В истории физических открытий говорится, что в 1820 г. Эрстед во время лекции для студентов, в которой он рассказывал о магнетизме и различных видах электричества, провёл следующий опыт. Он поместил компас вблизи от проволоки, проходившей параллельно стрелке компаса. И когда по проволоке пошёл ток от батареи, стрелка компаса отклонилась на 90° и приняла направление «восток—запад». Фактически этот простой опыт обнаружил связь между электричеством и магнетизмом и послужил началом развития одного из важнейших разделов физики — электромагнетизма.

Открытие Эрстеда послужило толчком для новых важных открытий и изобретений. Уже в том же 1820 г. французский физик и астроном Д.Араго изобрёл электромагнит, пропустив ток через проволоку, намотанную на железный стержень. Другой французский учёный А.Ампер пришёл к заключению, что параллельные токи притягиваются, и подтвердил это экспериментально.

Одним из величайших экспериментаторов по праву считают английского учёного М.Фарадея. Историк науки Г.Липсон в своей книге «Великие эксперименты в физике» пишет, что, в отличие от других великих учёных — современников Фарадея, «открытия которых представляли собой отдельные «чужие» Фарадей воздвиг «горную цепь» из взаимосвязанных работ. Начав исследовать какой-либо вопрос, Фарадей с гениальной способностью определял основные направления поиска... У Фарадея был инстинкт, помогающий ему свести вместе звенья какого-нибудь вопроса и создать из них законченное целое». Фарадей считал, что если электричество создаёт магнетизм, то и магнетизм должен создавать электричество. Эксперименты Фарадея увенчались успехом в 1831 г., т.е. спустя 11 лет после открытия Эрстеда. При помощи достаточно простого прибора он сделал своё великое открытие — открытие электромагнитной индукции.

Опыт Фарадея состоял в следующем. На железное кольцо наматывались две отдельные спирали. Одна из спиралей подсоединялась к батарее, а другая — к гальванометру. При замыкании первой цепи наблюдалось резкое отклонение стрелки гальванометра, а

8

при размыкании цепи стрелка отклонялась в противоположную сторону. Этот опыт Фарадей проводил различными способами, и всегда ему удавалось «получить электричество из магнетизма». В направлении Фарадеем, работали многие физики того времени. Один из них, американец Д.Генри, открыл электромагнитную индукцию независимо, но к тому времени, когда стало известно об открытии Фарадея, ещё не успел опубликовать результаты своей работы. Ещё одной заслугой Генри стало открытие явления самоиндукции, суть которого состоит в том, что при появлении и прекращении тока, текущего через катушку, в самой катушке наводится электродвижущая сила. Фарадей встретился с рядом затруднений при формулировке общего правила для определения направления индуцированного тока. Этому вопросу были посвящены исследования молодого профессора Петербургского университета Э.Х. Ленца. Ленц провёл и описал большое количество экспериментов, на основании которых сформулировал правило, носящее сейчас его имя.

Анализируя результаты опытов по исследованию взаимосвязи электрических и магнитных явлений, Фарадей в 1852 г. написал: «Многие силы очевидным образом обнаруживаются на расстоянии; их физическая природа для нас непостижима — всё же мы можем узнать о них много реального и положительного, в том числе можем до известной степени уяснить себе состояние пространства между телом, которое оказывает действие, и телом, на которое оказывается действие, или между взаимодействующими телами. Такие силы представляются нам в явлениях тяготения, света, электричества, магнетизма и т.д.». Фактически Фарадей пришёл к новой фундаментальной физической идее электрического и магнитного поля и соответствующих им силовых линий. Он писал, что все экспериментальные факты «указывают на существование физических силовых линий как вне, так и внутри магнитов... Вокруг магнита должно существовать и им поддерживается некоторое состояние... и это состояние доказывает физическую природу линий магнитной силы». Во времена Фарадея не было никаких оснований считать, что магнетизм и свет как-то связаны между собой. Однако Фарадей стал исследовать прохождение света через магнитное поле и обнаружил, что магнитное поле оказывает воздействие на характер распространения света. В дальнейшем стало понятно, что свет — электромагнитная волна.

Английский учёный Дж.Максвелл был замечательным математиком и сумел перевести идеи Фарадея на язык математической теории. В 1864 г. им была создана теория электромагнитного поля, которая фактически завершила великое объединение электричества и магнетизма в виде четырёх уравнений, которые носят его имя.

Сегодня известно, что электромагнитные взаимодействия лежат в основе огромного количества явлений окружающего нас мира. Они являются одними из четырёх фундаментальных взаимодействий, которым подчиняются все объекты Вселенной. Электромагнитные взаимодействия всеобъемлющи — они действуют и в микромире, и в макромире. Электромагнитные силы связывают атом в единое целое, а свет Солнца и звезд — это электромагнитные волны.





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.

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

141

142

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 (расстояние 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.

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^{-16} 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

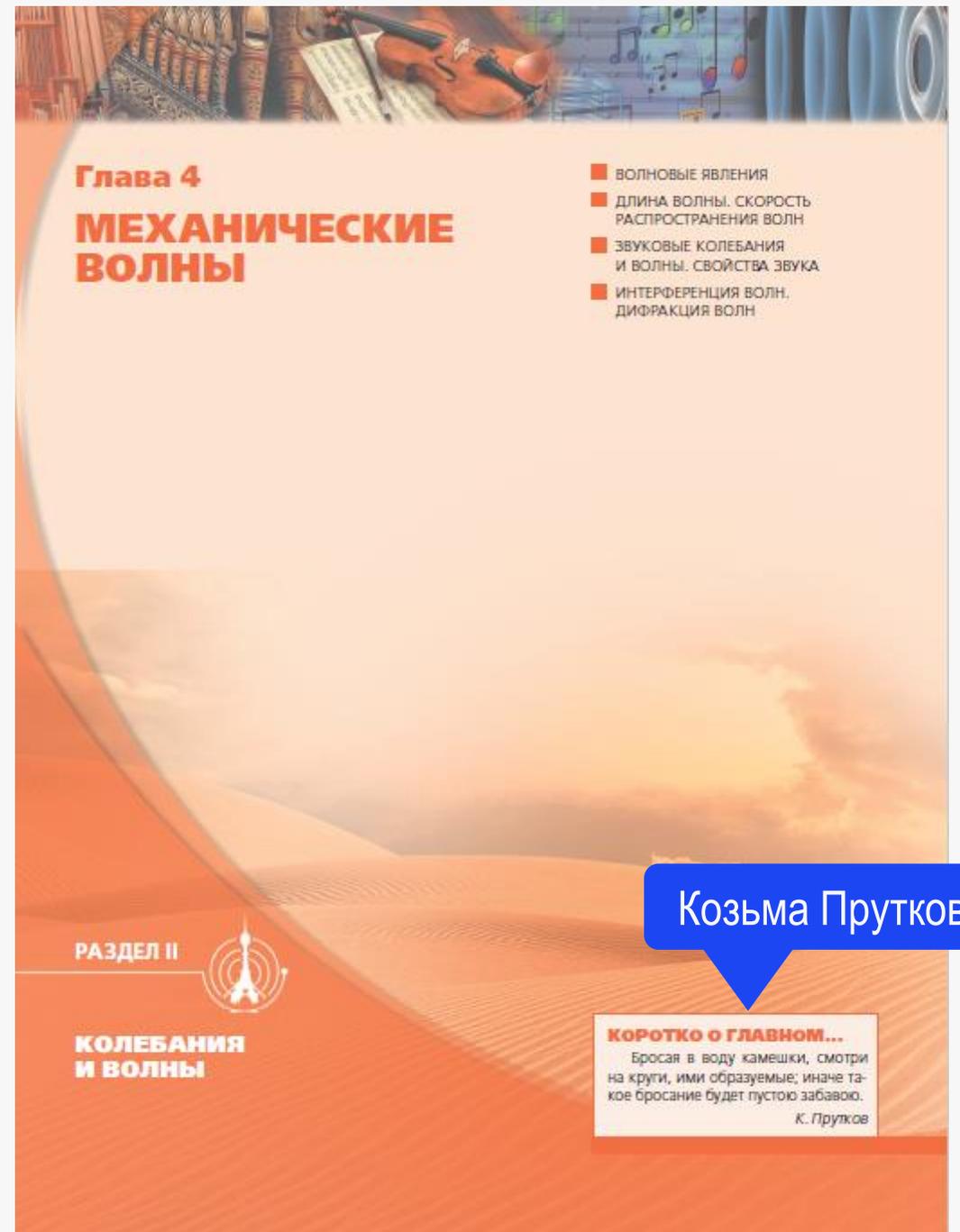
М.Планк

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
- Вольт
- Заболотский
- Тесла
- Козьма Прутков
- Попов
- Данте
- Максвелл
- Планк
- Ферми
- Ледерман



Параграф учебника

42
43

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 показательны примеры 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.

14

ТРЕТИЙ ЗАКОН НЬЮТОНА

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 лёгковой машины чем у грузовика?

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 .

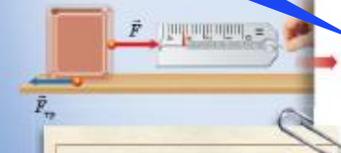
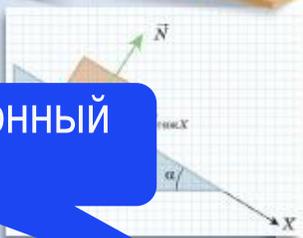
При малых относительных скоростях движения тел сила трения скольжения весьма незначительно отличается от максимальной силы трения покоя. Поэтому в большинстве случаев силу трения скольжения считают постоянной и равной значению $\vec{F}_{\text{тр,max}}$:

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

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



Демонстрационный опыт



При скольжении дерева по дереву без смазки с некоторой скоростью сила трения также пропорциональна нормальному давлению.
Ш. Кулон

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?

«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. 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.

Работа с графиками

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?

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

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 работа. 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 ИЗОБАРНОМ 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: $A' = F'S = pS(h_2 - h_1) = p(S h_2 - S h_1)$. (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 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

ВОПРОСЫ:

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

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, $A' = 0$.

РАБОТА ГАЗА ПРИ ИЗОХОРНОМ ПРОЦЕССЕ Вы уже знаете из способов изменения внутренней энергии тела работа. 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 ИЗОХОРНОМ ПРОЦЕССЕ Пусть в цилиндре с подвижным поршнем находится газ. Рассмотрим процесс нагревания газа, при котором он расширяется изохорно, 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: $A' = F'S = pS(h_2 - h_1) = p(S h_2 - S h_1)$. (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 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

рабочий процесс. 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, $A' = 0$.

РАБОТА ГАЗА ПРИ ИЗОХОРНОМ ПРОЦЕССЕ Вы уже знаете из способов изменения внутренней энергии тела работа. 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 ИЗОХОРНОМ ПРОЦЕССЕ Пусть в цилиндре с подвижным поршнем находится газ. Рассмотрим процесс нагревания газа, при котором он расширяется изохорно, 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: $A' = F'S = pS(h_2 - h_1) = p(S h_2 - S h_1)$. (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 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

ВОПРОСЫ:

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

Параграф учебника

«Физический калейдоскоп»

176

63 ТЕРМОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

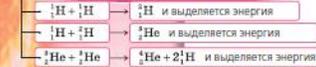
- Что такое термоядерные реакции и при каких условиях они протекают.
- Какая энергия выделяется при термоядерных реакциях.
- Как можно применять термоядерные реакции.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое ядерные силы?
- Что такое ядерные реакции?
- Как рассчитывают энергетический выход ядерных реакций?

Термоядерные реакции происходят в недрах Солнца и других звезд, состоящих в основном из водорода. Например, четыре ядра водорода (протона) в результате ядерных реакций образуют ядро гелия, состоящее из двух протонов и двух нейтронов.

ТЕРМОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ, ПРОИСХОДЯЩИЕ НА СОЛНЦЕ



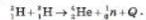
Термоядерные реакции более эффективны с точки зрения выделения энергии, чем реакции деления ядер. Так, в реакции синтеза гелия на один нуклон выделяется энергия 17,8/5 = 3,5 МэВ/нуклон. Для сравнения: в реакции деления урана выделяется энергия ~0,8 МэВ/нуклон, что примерно в 4 раза меньше.

Кроме реакции деления, огромная энергия выделяется и в реакции синтеза (слияния) лёгких ядер.

ТЕРМОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ И УСЛОВИЯ ИХ ПРОТЕКАНИЯ Для того чтобы произошло слияние ядер, необходимо преодолеть их взаимное отталкивание, для чего необходимо действовать ядерные силы, т.е. порядка 10^{-14} м. Однако, так как атомные ядра положительно заряжены, при их сближении возникают мощные силы кулоновского отталкивания. Чтобы преодолеть это отталкивание, атомные ядра должны обладать высокой энергией, т.е. двигаться навстречу друг другу с большими скоростями.

Ускоренные частицы можно получить на ускорителе либо в сильно нагретом состоянии. Температура вещества должна достигать $10^8\text{--}10^9$ К. При такой высокой температуре вещество представляет собой полностью ионизированный газ, состоящий из ядер и электронов, т.е. плазму. Поэтому реакции синтеза, протекающие при высоких температурах, называют **термоядерными**.

ЭНЕРГИЯ, ВЫДЕЛЯЮЩАЯСЯ ПРИ ТЕРМОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ Масса образовавшегося в результате термоядерной реакции ядра оказывается меньше суммарной массы исходных ядер. Это означает, что при слиянии лёгких ядер выделяется энергия. Действительно, для ядер с массовым числом $A < 60$ удельная энергия связи растёт с увеличением A , поэтому энергия связи образовавшегося более тяжёлого ядра больше энергии связи исходных лёгких ядер. Рассмотрим реакцию синтеза ядра гелия и трития с образованием гелия:



Оценим, какая энергия Q выделяется в данной реакции. Удельная энергия связи дейтерия равна 1,1 МэВ/нуклон, трития — 2,8 МэВ/нуклон, а гелия — 7,1 МэВ/нуклон. В ядре дейтерия 2 нуклона, в ядре трития 3 нуклона, поэтому для разделения ядер дейтерия и трития на составляющие их нуклоны необходимо потратить энергию:

$$1,1 \cdot 2 + 2,8 \cdot 3 = 10,6 \text{ МэВ}$$

В ядре гелия 4 нуклона, поэтому при синтезе гелия выделяется энергия $7,1 \cdot 4 = 28,4$ МэВ. Следовательно, энергетический выход данной реакции $Q = 28,4 - 10,6 = 17,8$ МэВ. Это приблизительно соответствует экспериментальным данным.

УПРАВЛЯЕМЫЕ ТЕРМОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ Для использования энергии, освобождающейся при реакциях синтеза, нужно научиться осуществлять управляемые термоядер-

ные реакции. Тогда человечество получит практически неисчерпаемый источник энергии, превосходящий все остальные источники. Однако, чтобы данный процесс в земных условиях осуществлялся, вещество нужно нагреть до температуры в несколько миллионов кельвинов, чтобы оно превратилось в плазму и поддерживать это состояние. Удерживать такую высокую температуру плазму в замкнутом объёме и отделить её от стенок реактора можно либо с помощью сильных магнитных полей, либо используя лазерные



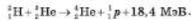
Первые исследования возможности создания термоядерного реактора проводились в 1950-х гг., а первый реактор был построен в 1954 г. в СССР в Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова. В настоящее время наиболее проработан реактор типа токамак (тороидальная камера с магнитными катушками). Токмак представляет собой камеру в виде тора (бублика), надетую

на сердечник трансформатора (это вторичная обмотка). По первичной обмотке трансформатора пускают импульсы тока, в результате в плазме (газе) происходит газовый разряд до высокой температуры, не термоядерной реакции. Вокруг магнетрона электрического тока воз удерживающие плазму в этой

Реакция синтеза гелия из дейтерия и трития наиболее перспективна для использования в термоядерном реакторе и сравнительно легко осуществима с помощью современных технологий. Дейтерий можно получить из воды, а тритий производят на ядерном реакторе путём облучения лития нейтронами:



Существенным недостатком реакции синтеза гелия является значительное количество радиоактивных отходов в виде быстрых нейтронов. Учёные изучают возможность использования так называемых *беленейтронных* термоядерных реакций, т.е. реакций, в которых не образуются нейтроны, вызывающие радиоактивное загрязнение в конструкциях реактора. Термоядерным топливом для таких реакций может служить дейтерий и изотоп гелия-3:



Эту реакцию сложнее осуществить, так как для её протекания необходимо достичь температуры в 10^9 К. На Земле гелий-3 получают в ограниченных количествах.

НЕУПРАВЛЯЕМЫЕ ТЕРМОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ Неуправляемая термоядерная реакция протекает в водородной бомбе, которая действует следующим образом. Внутри оболочки взрывается небольшая атомная бомба, в результате чего образуются нейтроны и создается высокая температура, необходимая для начала термоядерной реакции. Нейтроны бомбардируют термоядерное топливо — соединение дейтерия с литием. Под действием нейтронов литий расщепляется на гелий и тритий. Затем начинается термоядерная реакция дейтерия и трития, в результате которой выделяется огромное количество энергии.

178

64 ВЛИЯНИЕ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ. ДОЗИМЕТРИЯ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Что такое поглощённая доза излучения.
- Что такое эквивалентная поглощённая доза излучения.
- Единицы в дозиметрии.

ВСПОМНИТЕ:

- Что такое альфа-частицы, бета-частицы и гамма-излучение?
- Что такое радиоактивность?

ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ



ВОПРОСЫ

- Какие условия начала термо?
- Как реаг на точки эрг синтез и?
- Какие эле топливом дл чий?

Самой первой единицей дозы излучения был рентген (Р); он определялся по ионизации, производимой излучением. В настоящее время 1 Р определяют как дозу рентгеновского или γ -излучения, при которой 1 см³ воздуха при нормальном давлении образует около $2 \cdot 10^8$ пар ионов.

Излучения, возникающие при радиоактивных превращениях и распадах, оказывают очень сильное воздействие на все живые организмы. Рассмотрим, какое излучение наиболее опасно для человека и как от него можно защититься.

ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ Когда в обиходной жизни употребляют слово «радиация», то имеют в виду ионизирующее излучение, которое представляет собой поток альфа- и бета-частиц, гамма-квантов и нейтронов. Такое излучение, проходя через вещество, выбивает электроны из его атомов и молекул, т.е. происходит ионизация вещества. Ионизация атомов и молекул живой клетки может вызвать её значительные повреждения. С другой стороны, излучения применяются для лечения некоторых заболеваний, например рака. Поэтому важно уметь определять количество дозы излучения, проходящего через то или иное вещество. Этим и занимается *дозиметрия*.

Альфа-излучение представляет собой поток ядерных частиц, состоящих из двух протонов и двух нейтронов. Энергия α -частиц 1–2 МэВ, длина их пробега в воздухе 30–50 см, а длина пробега в биологических тканях — всего несколько сантиметров. Бета-излучение — это поток электронов, искусственных ядрами при бета-распаде. Длина пробега β -частиц в воздухе в зависимости от их энергии 1 см — 20 м. Гамма-излучение — это самое коротковолновое электромагнитное излучение с длинами волн в диапазоне примерно от 10^{-10} до 10^{-14} м. Нейтронное излучение — это поток частиц, не имеющих электрического заряда. Масса нейтрона приблизительно в четыре раза меньше, чем масса α -частицы.

ИЗМЕРЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ Мощность (интенсивность) источника излучения в заданный момент времени характеризуют его активностью, или числом распадов в секунду. Используются специальная единица активности — *кюри* (Ки):

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ расп./с.}$$

Воздействие излучений на живые организмы характеризуется физической величиной, называемой *дозой излучения*. Доза излучения — это количество переданной организму энергии. Чем больше энергия ионизирующего излучения, переданная организму, тем сильнее могут быть поражения тканей.

Для удобства измерения используют **поглощённую дозу излучения** — энергию ионизирующего излучения, поглощённую облучаемым веществом и рассчитанная на единицу массы.

Поглощённая доза излучения равна отношению энергии, поглощённой телом, к его массе:

$$D = \frac{E}{m}$$

В системе СИ дозу излучения выражают в *греях* (Гр). Один грей равен поглощённой дозе излучения, при которой 1 кг передаётся энергия в 1 Дж:

«Физический калейдоскоп»

Известно, что разные виды излучения обладают различной биологической эффективностью (ОБЭ). Биологическое воздействие любого вида ионизирующего излучения принято сравнивать с аналогичными эффектами, возникающими вследствие рентгеновского излучения или γ -излучения, считающегося образцовым. На основе данных об ОБЭ разные виды ионизирующего излучения характеризуются своими коэффициентами качества. Значения коэффициента качества для рентгеновского и γ -излучения $K=1$. При этом α -излучение имеет коэффициент качества $K=20$, что означает, что при одинаковой поглощённой дозе биологический эффект от действия α -излучения в 20 раз больше, чем от γ -излучения.

Произведение коэффициента качества (K) и поглощённой дозы (D) называют **эквивалентной поглощённой дозой (H)**: $H = KD$. Эквивалентная поглощённая доза является количественной мерой последствий облучения живого организма. Единица эквивалентной дозы в СИ — *зиверт* (Зв). Из формулы следует, что 1Зв равен поглощённой дозе в 1Гр для рентгеновского или γ -излучения, у которых $K=1$, или, по-другому, 1Зв — это количество энергии, поглощённое килограммом биологической ткани, равное по воздействию поглощённой дозе 1Гр.

ЗАЩИТА ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ Все существа на Земле подвержены постоянному воздействию ионизирующей радиации путём внешнего и внутреннего облучения за счёт естественных и искусственных источников излучения. *Естественные источники* — это космическое излучение и природные радиоактивные вещества. *Искусственные источники* — это отходы атомной промышленности, радиоактивные отходы, используемые в биологии, медицине, сельском хозяйстве и др. Ионизирующие излучения могут проникать сквозь вещество, причём различные вещества по-разному их поглощают. В качестве материалов для защиты используют свинец, свинцовое стекло, железо (сталь), кирпич, бетон, а иногда и воду.

Приборы для измерения эквивалентной дозы ионизирующего излучения за некоторый промежуток времени называют дозиметрами. Дозиметры бывают профессиональные, бытовые, индивидуальные, промышленные и военные.



Равенство зиверта и грея показывает, что эквивалентная поглощённая доза и поглощённая доза имеют одинаковую размерность. Но это не означает, что эффективная доза численно равна поглощённой дозе. При определении эквивалентной поглощённой дозы учитывается биологическое воздействие радиации. Она равна поглощённой дозе, умноженной на коэффициент качества, зависящий от вида излучения, и характеризует биологическую активность того или иного вида излучения.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ:

- Чем отличается поглощённая доза излучения от эквивалентной поглощённой дозы излучения?
- Объясните физический смысл единицы дозы излучения.

Имена в истории физики

110

39

ЗАКОН БОЙЛЯ—МАРИОТТА. ЗАКОН ШАРЛЯ

ВЫ УЗНАЕТЕ:
 • Какой процесс называют изотермическим.
 • Закон Бойля—Мариотта.
 • Какой процесс называют изохорным.
 • Закон Шарля.

ВСПОМНИТЕ:
 • Что такое изохор?
 • Закон Гей-Люссака.



Роберт Бойль
 (1627—1691)
 Англо-ирландский физик и химик. По некоторым данным, первым выдвинул гипотезу о существовании химических элементов. Доказал, что воздух необходим для горения и дыхания.



Эдм Мариотт
 (1620—1684)
 Французский физик, аббат. Независимо от Р. Бойля (1662) открыл один из газовых законов (1676).

Первыми законами, установленными для разреженных газов неизменной массы, были законы, описывающие их поведение при постоянной температуре, а также при постоянном объёме.

ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС Процесс, происходящий с газом данной массы, при котором температура остаётся постоянной, называют изотермическим. При изотермическом процессе изменяются объём и давление газа.

При проведении экспериментов с газом данной массы при постоянной температуре было обнаружено, что объём газа обратно пропорционален его давлению: $V = 1/p$, т. е. при изотермическом процессе при увеличении объёма газа давление уменьшается и, наоборот, при уменьшении объёма давление увеличивается.

Экспериментально зависимость давления газа от его объёма при изотермическом процессе была установлена в 1662 г. Р. Бойлем и несколько позже французским учёным Э. Мариоттом.

ЗАКОН БОЙЛЯ—МАРИОТТА Закон Бойля—Мариотта гласит: для данной массы газа при изотермическом процессе произведение давления газа на его объём остаётся постоянным: $pV = \text{const}$ при $T = \text{const}$.

Обозначив начальный и конечный объёмы газа заданной массы как V_1 и V_2 и начальное и конечное давления как p_1 и p_2 . На основании закона Бойля—Мариотта получаем

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

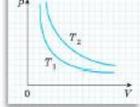


График зависимости давления от объёма при изотермическом процессе называют изотермой. Поскольку изотерма соответствует обратной зависимости давления от объёма, то она уже не будет прямой. Такой график называют гиперболой.

Для разреженных газов закон Бойля—Мариотта выполняется с высокой степенью точности. Однако для сильно сжатых или охлаждённых газов обнаруживаются заметные отклонения.

ИЗОХОРНЫЙ ПРОЦЕСС Процесс, происходящий с газом данной массы, при котором объём остаётся постоянным, называют изохорным. При данном процессе изменяются давление и температура газа.

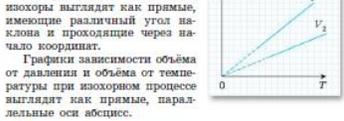
Исследования изохорных процессов были впервые проведены в 1787 г. французским учёным Ж. Шарлем.

Его опыты можно воспроизвести при помощи газового термометра постоянного объёма. Баллон, заполненный газом, соединён с ртутным манометром узкой изогнутой трубкой. При измерении баллон С погружают в жидкость, температуру которой измеряют. Объём газа в баллоне поддерживают постоянным, поднимая или опуская трубку с ртутью. Давление газа в баллоне равно сумме атмосферного давления и давления столба ртути АВ. При нагревании газ стремится расширяться, поэтому, поднимая трубку с ртутью, добиваются увеличения внешнего давления, что препятствует расширению газа.

Изменяя (увеличивая) температуру воды в сосуде, можно проследить зависимость изменения давления от изменения температуры. Опыты показали, что при изохорном процессе давление газа увеличивается линейно с ростом температуры.

График зависимости давления от температуры при изохорном процессе называют изохорой.

Изохора — прямая линия. Все рассуждения, приведенные при анализе графика изобарного процесса, верны и для изохоры. Если на графике по оси абсцисс отложить абсолютную температуру, а по оси ординат — давление газа, то изохора будет выглядеть как прямая, проходящая через начало координат.



С момента открытия закона Бойля—Мариотта до открытия закона Гей-Люссака прошло около ста лет. Причина в том, что для первого опыта не нужно было точно измерять температуру, важно было только следить за тем, чтобы она не менялась. Но чтобы исследовать зависимость объёма от температуры, надо не только иметь хороший термометр и уметь точно измерять температуру, но и понимать, что такое определяется точность термометра и что такое температура и теплота вообще. В конце XVIII в. на протяжении всего XVIII в. проблема измерения температуры была одной из самых главных и сложных.

111



Жак Александр Сезар Шарль
 (1746—1823)
 Французский физик, химик, инженер и воздухоплаватель.

Закон Бойля—Мариотта имеет вид $pV = \text{const}$ при $T = \text{const}$.
 Для данной массы газа закон Шарля имеет вид $\frac{p}{T} = \text{const}$ при $V = \text{const}$.

ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ:
 • Какой процесс называют изотермическим?
 • Сформулируйте закон Бойля—Мариотта.
 • Какой процесс называют изохорным?
 • Сформулируйте закон Шарля.

98

33

СТРОЕНИЕ ГАЗООБРАЗНЫХ, ЖИДКИХ И ТВЁРДЫХ ТЕЛ

ВЫ УЗНАЕТЕ:
 • Чем различаются макроскопические и микроскопические параметры газообразных, жидких и твёрдых тел.
 • Как делать количественные оценки в молекулярной физике.

ВСПОМНИТЕ:
 • Агрегатные состояния вещества.
 • Основные положения МКТ.



Яков Ильич Френкель
 (1894—1952)
 Выдающийся советский физик.

Различные агрегатные состояния вещества различаются как с макроскопической, так и с микроскопической точки зрения. МКТ позволяет понять, почему вещество может находиться в твёрдом, жидком и газообразном состоянии и как осуществляется переход от одного состояния к другому.

МАКРОСКОПИЧЕСКИЕ И МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАЗЛИЧНЫХ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЙ ВЕЩЕСТВА Форма и объём тела являются макроскопическими параметрами. Твёрдое тело сохраняет свою форму и объём, и для их изменения необходимо приложить значительную силу. Жидкости не имеют определённой формы, они принимают форму сосуда, в котором находятся. При этом объём жидкости, как и объём твёрдого тела, очень трудно изменить. Газы не обладают ни определённой формой, ни объёмом. Они полностью заполняют сосуд, в котором находятся.

С микроскопической точки зрения то или иное агрегатное состояние определяется взаимным расположением составляющих вещество молекул, а также характером их движения и взаимодействия.

В газах при атмосферном давлении расстояния между молекулами намного больше размеров самих молекул, поэтому притяжение между молекулами газа мало. При обычных температурах скорости движения молекул газа достаточно велики, и их средней кинетической энергии вполне достаточно для совершения работы по преодолению сил их взаимного притяжения, поэтому молекулы газа разлетаются, если газ не сдерживают стенки сосуда. Плотности жидкостей и твёрдых тел во много раз больше плотностей газов, а их молекулы расположены гораздо ближе друг к другу. В этом случае силы взаимного притяжения молекул намного больше, и средней кинетической энергии молекул уже недостаточно для того, чтобы совершить работу по преодолению сил межмолекулярного притяжения. Это является причиной того, что молекулы в жидкостях и особенно в твёрдых телах не могут далеко удаляться друг от друга. Поэтому атомы и молекулы твёрдого тела колеблются около своих положений в кристаллической решётке. В жидкости скорости движения молекул выше, чем в твёрдых телах, поэтому уже нельзя говорить об их «фиксированном» положении: молекулы жидкости могут осуществлять «перескоки» относительно друг друга.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ Современной науке известны размеры атомов и молекул. Для определения этих размеров были выполнены сложные расчёты и поставлены специальные эксперименты. Приведём некоторые при-

меры расчётов для газов, жидкостей и твёрдых веществ. Известно, что в 1 см³ любого газа при нормальных условиях (0°C и 760 мм рт. ст.) содержится около 2,7 · 10²³ молекул. Для того чтобы узнать, какой объём приходится на одну молекулу газа, необходимо разделить объём газа на число содержащихся в нём молекул:

$$V_0 = \frac{1 \text{ см}^3}{2,7 \cdot 10^{23}} = 0,37 \cdot 10^{-23} \text{ см}^3.$$

Можно сказать, что на каждую молекулу приходится объём $V_0 = 0,4 \cdot 10^{-23} \text{ см}^3$, что соответствует объёму кубика со стороной примерно $0,3 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 3 \cdot 10^{-9} \text{ м}$. Из таблицы видно, что размеры молекул азота и кислорода, из которых состоит воздух, на порядок меньше, т. е. средний объём газа, на который приходится одна молекула, в 1000 раз больше объёма самой молекулы.

Теперь оценим, насколько плотно «упакованы» молекулы воды. Молярная масса воды $M = 18 \text{ г/моль}$, плотность воды $\rho = 1 \text{ г/см}^3$. Объём одного моля воды $V_{\text{моль}} = M/\rho$. Поскольку один моль воды содержит количество молекул, равное числу Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$, то объём, приходящийся на одну молекулу воды, составляет

$$V_0 = \frac{V_{\text{моль}}}{N_A} = \frac{M}{\rho N_A} = \frac{18}{1 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 3 \cdot 10^{-23} \text{ см}^3.$$

В этом случае на каждую молекулу воды приходится объём $V_0 = 3 \cdot 10^{-23} \text{ см}^3$, что соответствует объёму кубика со стороной примерно $3,1 \cdot 10^{-8} \text{ м}$. Это свидетельствует о том, что в жидкости молекулы «упакованы» достаточно плотно.

ЗАДАЧА ФЕЙНМАНА Р. Фейнман предложил своим студентам очень поучительную задачу: «В один из давних дней палеозойской эры кажда послеполуденного линия ушла на мягкую ровную землю и оставила на ней отпечаток. Шло время, на это отпечаток при раскопках наткнулся страдающий от жары и жажды студент-геолог. Окуная свою фляжку, он от нечего делать присиделся, чтобы сделать работу по преодолению сил межмолекулярного притяжения. Это является причиной того, что молекулы в жидкостях и особенно в твёрдых телах не могут далеко удаляться друг от друга. Поэтому атомы и молекулы твёрдого тела колеблются около своих положений в кристаллической решётке. В жидкости скорости движения молекул выше, чем в твёрдых телах, поэтому уже нельзя говорить об их «фиксированном» положении: молекулы жидкости могут осуществлять «перескоки» относительно друг друга.

Пусть объём древней капли 1 см³, т. е. капля содержала около $N = 3 \cdot 10^{23}$ молекул. Естественно предположить, что за прошедшее с тех пор время молекулы той капли равномерно распределились по всей имеющейся на Земле воде. Учёные считают, что объём всей воды на земном шаре составляет примерно $V = 1,45 \cdot 10^{21} \text{ см}^3$. Предположим, что объём воды, выпитый студентом, составляет $v = 150 \text{ см}^3$. Тогда студент-геолог выпил

$$n = \frac{v}{V} N = \frac{150}{1,45 \cdot 10^{21}} \cdot 3 \cdot 10^{23} = 3.$$

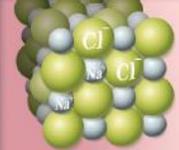
Полученный результат ошеломляет: в стакане воды содержится несколько молекул из той древней капли!

99

РАЗМЕРЫ НЕКОТОРЫХ АТОМОВ И МОЛЕКУЛ

Азот N ₂	3,2 · 10 ⁻⁸ см
Кислород O ₂	3 · 10 ⁻⁸ см
Вода H ₂ O	3 · 10 ⁻⁸ см
Натрий Na	1,9 · 10 ⁻⁸ см
Хлор Cl	0,8 · 10 ⁻⁸ см
Углерод C	0,67 · 10 ⁻⁸ см

Расстояние между ионами Na⁺ и Cl⁻ в кристаллической решётке поваренной соли составляет примерно 2,8 · 10⁻⁸ см, и это также свидетельствует о том, что расстояние между узлами кристаллической решётки и размеры атомов имеют один и тот же порядок величины.



ВОПРОСЫ:
 • Чем объясняются различия между газообразными, жидкими и твёрдыми телами?
 • Как соотносятся средний объём, занимаемый молекулой, и размер самой молекулы в газах и жидкостях?

Развороты решения задач

60

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как решать задачи на равновесие тел, используя равенство проекций сил.
- Как решать задачи на равновесие тел при наличии сил трения.
- Как решать задачи на равновесие тел на основе равенства моментов сил.

ЗАДАЧА 1 Однородный стержень массой 2 кг и длиной 1 м подвешен на двух нитях длиной 1 м каждая. Нити прикреплены к концам стержня и закреплены в одной точке на потолке. Чему равна сила натяжения каждой нити?

Дано: $m = 2 \text{ кг}$, $L = 1 \text{ м}$, $T = ?$
Решение: По условию задачи стержень и закрепленные в одной точке нити образуют равносторонний треугольник. Согласно симметрии также ясно, что сила натяжения левой и правой нитей одинаковы:

$$T_1 = T_2 = T.$$

Поскольку стержень однородный, то равнодействующая всех сил тяжести, действующих на отдельные элементы стержня, приложена в его геометрическом центре (точка O).

Запишем условие равновесия стержня в проекции на вертикальную ось OY : $2T \cos 30^\circ - mg = 0$.

Отсюда находим: $T = \frac{mg}{2 \cos 30^\circ}$.

$$T = \frac{2 \cdot 10}{\sqrt{3}} \text{ Н} = 11,5 \text{ Н}.$$

Ответ: $T \approx 11,5 \text{ Н}$.

ЗАДАЧА 2 Деревянный брусок, прижатый к вертикальной стенке, будет находиться в равновесии, если на него действовать горизонтальной силой, не меньшей 300 Н. Чему равна масса бруска, если коэффициент трения между бруском и стенкой 0,2?

Дано: $F = 300 \text{ Н}$, $\mu = 0,2$, $m = ?$
Решение: Выберем прямоугольную систему координат и запишем условие равновесия бруска в проекциях на координатные оси OX и OY . При этом учтём, что в горизонтальном направлении на брусок действуют внешняя сила F и сила реакции опоры N со стороны стенки. В вертикальном направлении на брусок также действуют две силы — сила тяжести mg и сила трения $F_{\text{тр}}$:

$$OX: N - F = 0, \quad (1)$$

$$OY: F_{\text{тр}} - mg = 0. \quad (2)$$

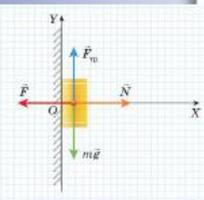
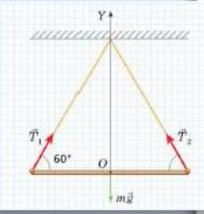
Поскольку прижатый брусок находится на грани проскальзывания, то сила трения покоя достигает своего максимального значения: $F_{\text{тр}} = \mu N$.

С учётом условий равновесия (1) и (2) $\mu F - mg = 0$.

Из последнего равенства находим:

$$m = \frac{\mu F}{g} = \frac{0,2 \cdot 300}{10} \text{ кг} = 6 \text{ кг}.$$

Ответ: $m = 6 \text{ кг}$.



ЗАДАЧА 3 Однородная балка массой 80 кг и длиной 2 м уравновешена в горизонтальном положении на опоре с помощью верёвки, прикреплённой к одному из концов балки. Верёвка вертикальна и другим концом прикреплена к потолку. С какой силой балка давит на опору, которая расположена на расстоянии 0,5 м от конца балки?

Дано: $m = 80 \text{ кг}$, $L = 2 \text{ м}$, $l = 0,5 \text{ м}$, $F = ?$
Решение: На балку в вертикальном направлении действуют сила тяжести, сила натяжения верёвки и сила реакции опоры. Запишем условие равновесия балки в проекции на вертикальную ось OY :

$$T + N - mg = 0. \quad (1)$$

В данной задаче уравнение равенства моментов сил удобно записать относительно точки опоры:

$$T(L-l) = mg \left(\frac{L}{2} - l \right).$$

Из этого уравнения находим силу натяжения верёвки:

$$T = mg \frac{L/2 - l}{L-l}.$$

Из равенства (1) получаем выражение для силы реакции опоры

$$N = mg - T = \frac{mgL}{2(L-l)}.$$

По третьему закону Ньютона сила давления балки на опору $F = N$. Подставив числовые значения, получим

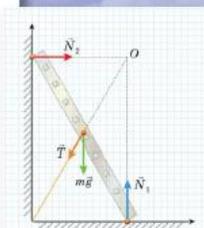
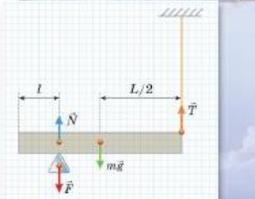
$$F = \frac{80 \cdot 10 \cdot 2}{2 \cdot 1,5} \text{ Н} = 533 \text{ Н}.$$

Ответ: $F \approx 533 \text{ Н}$.

ЗАДАЧА 4 Лестница, центр тяжести которой находится посередине, опирается своими концами на абсолютно гладкие пол и стену. К середине лестницы одним концом привязана верёвка, которая другим концом закреплена в углу комнаты. Можно ли путём изменения силы натяжения верёвки добиться устойчивого положения лестницы?

Решение:

Если тело находится в равновесии, то условие равенства нулю алгебраической суммы моментов сил, действующих на тело, должно выполняться относительно любой оси. Линии действия сил реакции опоры N_1 и N_2 , а также силы натяжения T верёвки пересекаются в точке O . Поэтому момент каждой из этих сил относительно точки O равен нулю. Однако момент силы тяжести относительно той же точки не равен нулю. Поэтому равновесие лестницы невозможно ни при каком угле наклона.



61

98

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

- Как решать задачи на преломление светового луча через призму.
- Как решать задачи на вычисление показателя преломления.
- Как решать задачи на формулу тонкой линзы.

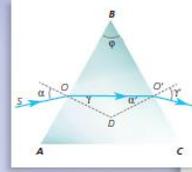
ЗАДАЧА 1 На рисунках даны положения главной оптической оси OO_1 , оптического центра собирающей и рассеивающей линзы и ход произвольного луча. Найдите построенное положение главных фокусов линзы.

Решение: Для каждого из случаев а) и б) проведём побочную оптическую ось, параллельную падающему лучу и проходящую через оптический центр линзы. Точка пересечения побочной оптической оси с преломленным лучом (для собирающей линзы а) или с продолжением преломленного луча (для рассеивающей линзы б) лежит в фокальной плоскости линзы. Опустив перпендикуляр из точки пересечения на оптическую ось, находим положение главного фокуса.



ЗАДАЧА 2 Луч света падает под углом 40° на треугольную стеклянную призму с преломляющим углом 60° . Определите, под каким углом луч света выходит из призмы. Показатель преломления стекла равен 1,5.

Дано: $L = 2 \text{ м}$, $\Gamma = 3$, $d = ?$, $F = ?$
Решение: Построим ход лучей через призму. Луч света падает на призму под углом α к перпендикуляру, построенному к грани AB . Затем луч преломляется (обозначим угол преломления как γ) и идёт по прямой до грани BC .



Обозначим угол падения на грань BC призмы как α' . После преломления луч света выходит под углом γ' . Запишем закон преломления для падающего луча на грани AB :

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} \rightarrow \sin \gamma = \frac{\sin \alpha}{n};$$

$$\gamma = \arcsin \left(\frac{\sin 40^\circ}{1,5} \right) \approx 25^\circ.$$

В четырёхугольнике $OBOD$ углы $\angle BOD$ и $\angle B'OD'$ равны, потому что $\angle ODO' = 180^\circ - \phi = 180^\circ - 60^\circ = 120^\circ$. Из треугольника $\triangle ODO'$ найдём угол α' :

$$\alpha' = 180^\circ - \angle ODO' - \gamma;$$

$$\alpha' = 180^\circ - 120^\circ - 25^\circ = 35^\circ.$$

Запишем закон преломления для грани BC :

$$\frac{1}{n} = \frac{\sin \alpha'}{\sin \gamma'} \rightarrow \sin \gamma' = n \sin \alpha';$$

$$\gamma' = \arcsin(1,5 \cdot \sin 35^\circ) \approx 59^\circ.$$

Ответ: $\gamma' \approx 59^\circ$.

ЗАДАЧА 3 Найдите показатель преломления некоторого вещества, если предельный угол полного отражения для границы вещество—вода равен 33° . Определите, что это за вещество.

Дано: $\alpha_0 = 33^\circ$, $n_2 = 1,33$, $n_1 = ?$
Решение: По закону Снеллиа $\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$. Следовательно, $n_1 = \frac{n_2}{\sin \alpha_0}$; $n_1 = \frac{1,33}{\sin 33^\circ} = 2,4$.

По таблице показателей преломления различных веществ находим, что 2,4 соответствует алмазу.

Ответ: $n_1 = 2,4$; алмаз.

ЗАДАЧА 4 Предмет находится на расстоянии 2 м от экрана. На каком расстоянии от предмета нужно поставить собирающую линзу, чтобы получить на экране изображение предмета, увеличенное в 3 раза? Чему равно фокусное расстояние линзы?

Дано: $L = 2 \text{ м}$, $\Gamma = 3$, $d = ?$, $F = ?$
Решение: Увеличение линзы $\Gamma = \frac{f}{d}$, а $L = f + d$, поэтому составим систему уравнений:

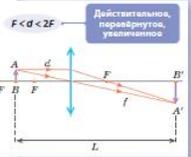
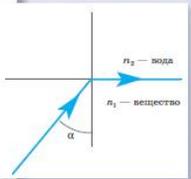
$$\begin{cases} f + d = L \\ \frac{f}{d} = \Gamma \end{cases}$$

Решая эту систему уравнений, находим, что $d = \frac{L}{\Gamma + 1} = 0,5 \text{ м}$, $f = \Gamma d = 1,5 \text{ м}$.

В соответствии с формулой тонкой линзы $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$.

$$F = \frac{df}{d+f} = \frac{0,5 \cdot 1,5}{0,5 + 1,5} = 0,375 \text{ м} = 37,5 \text{ см}.$$

Ответ: $d = 0,5 \text{ м}$; $F = 37,5 \text{ см}$.



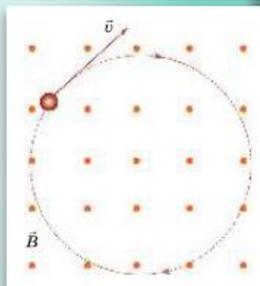
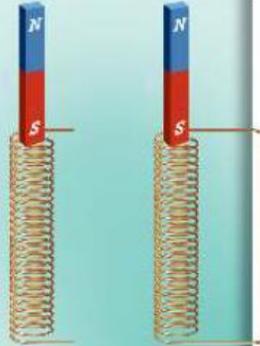
Развороты решения задач

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?

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

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 Катюшка 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.

Дано: $S = 25 \text{ см}^2$ $B_1 = 0,1 \text{ Тл}$ $B_2 = 0$ $\mathcal{E}_i = 1 \text{ В}$ $\Delta t = 5 \text{ мс}$ $N = ?$	СИ $25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ $5 \cdot 10^{-3} \text{ с}$	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 $N = \frac{\mathcal{E}_i \Delta t}{ B_2 - B_1 S} = \frac{1 \text{ В} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ с}}{ 0 - 0,1 \text{ Тл} \cdot 25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} = 20$.
--	---	---

Из написанных равенств находим

$$N = \frac{\mathcal{E}_i \Delta t}{|B_2 - B_1| S} = \frac{1 \text{ В} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \text{ с}}{|0 - 0,1 \text{ Тл}| \cdot 25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2} = 20.$$

Ответ: $N = 20$.

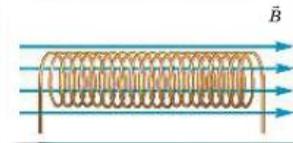
ЗАДАЧА 4 Определите энергию магнитного поля катушки с индуктивностью 0,05 Гн, если магнитный поток через катушку составляет 0,2 Вб.

Дано: $L = 0,05 \text{ Гн}$ $\Phi = 0,2 \text{ Вб}$ $W = ?$	Решение: Энергия магнитного поля рассчитывается по формуле $W = \frac{L I^2}{2}$. Силу тока в катушке можно найти через магнитный поток: $\Phi = LI \rightarrow I = \frac{\Phi}{L}$.
--	--

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

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. — (Библиотечка «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>

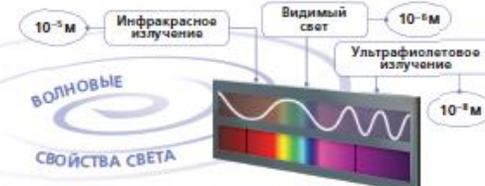
Мир молекул
<http://www.worldofmolecules.com>

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. — (Библиотечка «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/>

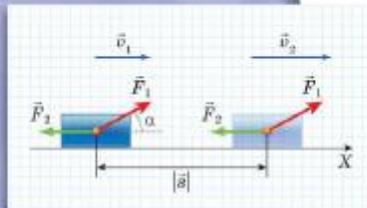
КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

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

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

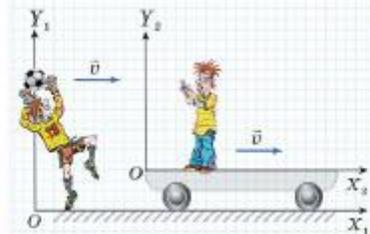
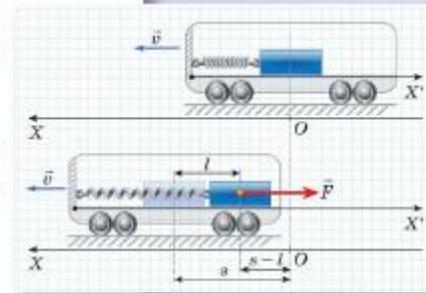
Полная работа в данной системе отсчёта оказалась той же, что и в системе отсчёта, связанной с поездом.

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.

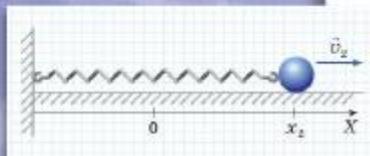
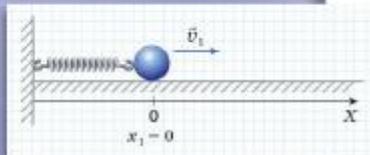
ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ. ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

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 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 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

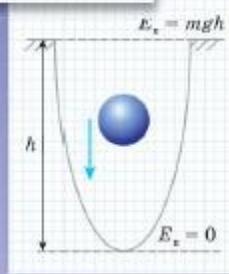
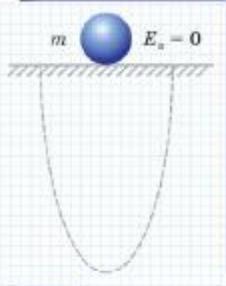
Кинетическая энергия тела зависит от выбора системы отсчёта. Зависит ли от выбора системы отсчёта потенциальная энергия? Рассмотрим пример, когда тело лежит на поверхности Земли. Всегда ли потенциальная энергия этого тела равна нулю? Представим себе, что в том месте, где находится тело, в земле образовалась 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?

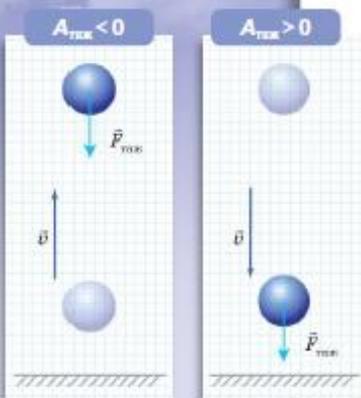
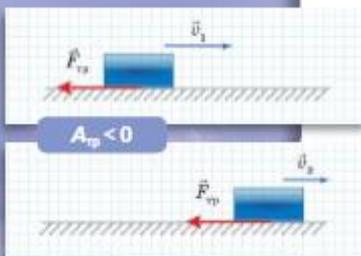
РАБОТА СИЛ ТРЕНИЯ И МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

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.

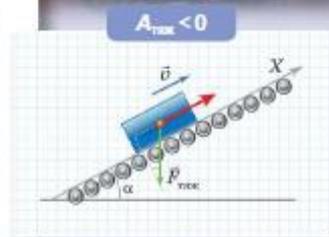
РАБОТА СИЛ ТРЕНИЯ И ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

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 неизменно 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 NASA
<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.

ПОДРОБНЕЕ...

- Липсон Г. Великие эксперименты в физике. — М.: Мир, 1978.
- Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Физика физики. Путешествие в глубь материальной картины мира. — М.: Аванта+, 2001.
- Энциклопедия для детей. Т. 14. Техника. — М.: Аванта+, 2001.

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

- 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 $E^2 - p^2c^2 = m^2c^4$

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

ПОДРОБНЕЕ...
Филонович С.Р. Самая большая скорость. Вып. 27. / С. Р. Филонович. — М.: Наука, 1983. — (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 две 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:

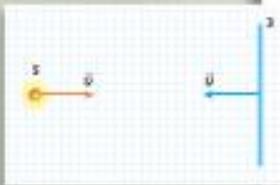
- Как связаны между собой масса, энергия и импульс в классической механике?
- Как связаны между собой масса, энергия и импульс в релятивистской механике?

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.

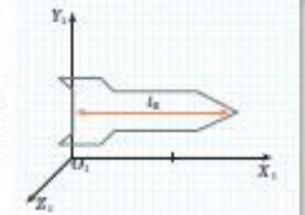
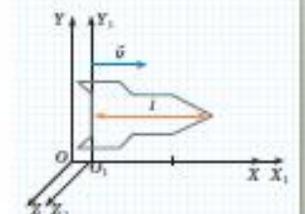
Дано:
 $v = 0,8c$
 $t_0 = 10$ лет
 $t = ?$

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

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

160

КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДРАЙВМ

ФОТОЭФФЕКТ

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

ДАВЛЕНИЕ СВЕТА

АТОМ БОРА

$$E = h\nu$$

ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА ЧАСТИЦ

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

Физика машин
<http://www.naukadv.ru/>

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

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.: Аланта+, 2000.
- 📖 Энциклопедия для детей. Т. 16. Физика. Ч. 2. Электричество и магнетизм. Термодинамика и квантовая механика. Физика ядра и элементарных частиц. — М.: Аланта+, 2000.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ:

- Луч какого лазера — красного или синего — оказывает при одинаковой интенсивности лотка фотонов большее давление на поверхность тела?
- Энергия квантов, вызывающая 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?

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

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

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.	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. $\Delta m = 6 \cdot 1,00728 + 6 \cdot 1,00867 - (12 - 6 \cdot 0,00055) = 0,099$ а.е.м. Энергия связи ядра: $E_{\text{св}} = 0,099$ а.е.м. $\cdot 931$ МэВ/а.е.м. = $92,17$ 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).

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

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

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 ^7Li : 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: Важнейшие ядерные реакции: а) $^7\text{Li} + ^1\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + ^4\text{He} + Q$ б) $^7\text{Li} + ^4\text{He} \rightarrow ^{10}\text{B} + ^1\text{n} + Q$ Энергетический выход ядерной реакции $Q = \Delta m c^2$, где Δm — разность масс исходных частиц и продуктов реакции.
---	---

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

Для ядерной реакции б):
 $\Delta m_2 = (M_{\text{Li}} + m_{\alpha}) - (M_{\text{B}} + m_n) = (7,016 + 4,0026 - 10,01294 - 1,00867) = -0,003$ 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.

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) не идёт, 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 обоям 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

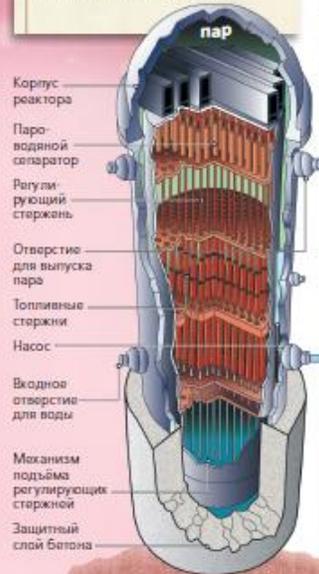
ВЫ УЗНАЕТЕ:

- 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.

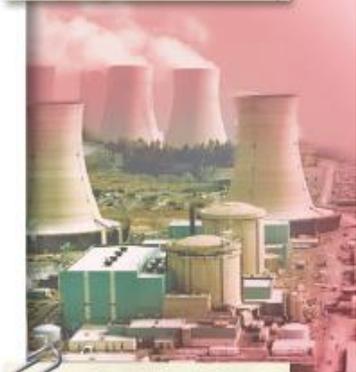
АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ Принцип работы атомной электростанции практически ничем не отличается от принципа работы обычной тепловой электростанции. Тепло, выделяющееся в активной зоне реактора, отводится теплоносителем, например водой. Теплоноситель поступает в парогенератор, в котором вода превращается 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?

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?



В настоящее время открыто более 350 элементарных частиц и античастиц. При таком количестве возникает необходимость их классификации.

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

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.



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:	СИ	Решение:
$T_{1/2} = 138 \text{ сут.}$		Согласно закону радиоактивного распада число радиоактивных атомов спустя время t :
$m = 1 \text{ г.}$	0,001 кг	
$t = 30 \text{ сут.}$		
$\Delta N = ?$		

Начальное число атомов можно найти по формуле

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

где $M = 0,210 \text{ кг/моль}$ — молярная масса полония; $N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ 1/моль}$ — 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
 $Z = 6$
 $N = 6$
 $M_C = 12 \text{ а.е.м.}$
 $m_p = 1,00728 \text{ а.е.м.}$
 $m_n = 1,00867 \text{ а.е.м.}$
 $m_e = 0,00055 \text{ а.е.м.}$

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: $M_A = M_C - 6m_e.$
 $\Delta m = 6 \cdot 1,00728 + 6 \cdot 1,00867 - (12 - 6 \cdot 0,00055) = 0,099 \text{ а.е.м.}$
 Энергия связи ядра:
 $E_{\text{св}} = 0,099 \text{ а.е.м.} \cdot 931 \text{ МэВ/а.е.м.} = 92,17 \text{ МэВ.}$

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

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:	Решение:
$M_{\text{Li}} = 7,01600 \text{ а.е.м.}$	Запишем ядерные реакции: а) $^7_3\text{Li} + ^1_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^4_2\text{He} + Q;$ б) $^7_3\text{Li} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{10}_5\text{B} + ^1_0\text{n} + Q.$
$M_{\text{He}} = 4,00260 \text{ а.е.м.}$	
$M_{\text{B}} = 10,01294 \text{ а.е.м.}$	
$m_p = 1,00728 \text{ а.е.м.}$	
$m_n = 1,00867 \text{ а.е.м.}$	
$m_\alpha = 0,00055 \text{ а.е.м.}$	Энергетический выход ядерной реакции $Q = \Delta mc^2$, где Δm — разность масс исходных частиц и продуктов реакции.

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

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

Ответ: $Q_1 = 17,34 \text{ МэВ}; Q_2 = -2,8 \text{ МэВ.}$

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

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

222

ЗАКОНЫ КЕПЛЕРА

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

ЗАКОН ХАББЛА

$$v = H R$$

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/>

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 равные 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.

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?

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 ее 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. Еще 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 — гербов мира, 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 все 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, называют экваториальными. В Древней Греции выделили 12 экваториальных созвездий. Хотя в настоящее время Солнце проходит также и через 13-е созвездие — созвездие Змееносца, но его в экваториальным 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, причем из-за малых размеров Земли по сравнению с расстояниями до звезд наблюдателей в разных точках земной поверхности можно считать находящимися 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. Если 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 (годишным 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

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

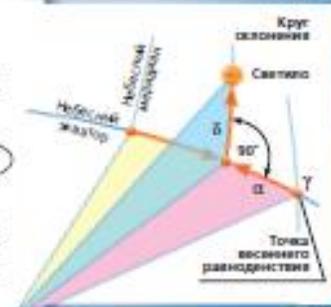
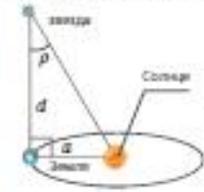
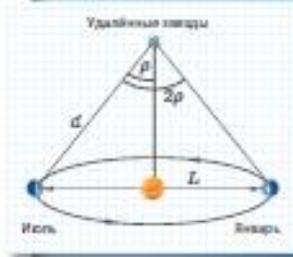
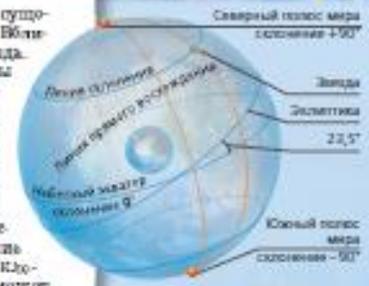
Для всех ближайших звезд угол ρ весьма мал (меньше 1°).

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

ВСПОМНИТЕ:

- 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 = 27,96 g
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%

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

ВСПОМНИТЕ:

- 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%

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

ВСПОМНИТЕ:

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

ВСПОМНИТЕ:

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

ВСПОМНИТЕ:

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

74 ГАЛАКТИКИ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

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

ВСПОМНИТЕ:

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

ВСПОМНИТЕ:

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

ВСПОМНИТЕ:

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

75 ГАЛАКТИКИ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

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

ВСПОМНИТЕ:

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

ВСПОМНИТЕ:

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

ВСПОМНИТЕ:

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

76 ГАЛАКТИКИ

ВЫ УЗНАЕТЕ:

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

ВСПОМНИТЕ:

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

ВСПОМНИТЕ:

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

ВСПОМНИТЕ:

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

Строение и эволюция Вселенной

212

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; $H = 65 \text{ км/с (Mpc)}$ — коэффициент пропорциональности, называемый постоянной Хаббла.

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

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 16 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 же и Земля не является 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:

$$s = ct = 13,8 \text{ млрд лет},$$

где s — скорость света, t — возраст Вселенной. Получается, что наблюдаемой Вселенной представляется собой область пространства размером 13,8 млрд лет. Этот размер часто называют радиусом 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 порождающего 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 ещё около 300 000 лет, Вселенная остыла до 10 000 К, что позволило про-

тоном и ядрам гелия объединиться с электронами с образованием атомов водорода и гелия. Затем, спустя примерно 1 млрд лет, когда температура снизилась примерно до 300 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 удалось найти сигнал 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 поймём природу 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 являющиеся в ней объекты станут холодными и тёмными.

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. По предварительным оценкам она может быть в 30 раз больше плотности видимого вещества и тем самым играть определяющую роль в дальнейшем сценарии эволюции Вселенной.

Модели возможной эволюции Вселенной



ВОПРОСЫ:

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

Строение и эволюция Вселенной

216

76

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВСЕЛЕННОЙ

- ВЫ УЗНАЕТЕ:**
- Какие области науки занимаются исследованием Вселенной.
 - Современные космические телескопы.
 - Экспедиции в Солнечной системе.
- ВСПОМНИТЕ:**
- Что такое спектр электромагнитного излучения?
 - Как устроена Вселенная?

Исследовать Вселенную можно различными способами: изучая метеориты, упавшие на Землю; наблюдая за объектами, находящимися за пределами нашей планеты, с помощью телескопов; изучая космическое пространство с помощью ракет, спутников, космических станций и кораблей. Кроме того, при помощи экспериментальной физики установок можно изучать материю на уровне атомов, атомных ядер и еще глубже.

ОБЛАСТИ НАУКИ, ЗАНИМАЮЩИЕСЯ ИССЛЕДОВАНИЯМИ ВСЕЛЕННОЙ Для того чтобы лучше понять законы Вселенной, в которой мы живем, необходимо изучать окружающий нас мир как в масштабах галактик, звезд, планет и т. п., так и на уровне атомов, протонов, нейтронов и т. д. Науку, изучающую движение, строение, происхождение и развитие небесных тел и их систем, называют астрономией. В современной физике проблемами микромира занимается такая наука, как физика микромира. В XX в. появилась новая область науки, называемая астрофизикой. Она изучает небесные тела, их системы и пространство между ними на основе исследования процессов и явлений. Астрофизики изучают не только небесные объекты самых разных размеров (от космических пылинок до Вселенной и полей), но и различные свойства самого космического пространства.

ИЗУЧЕНИЕ МЕТЕОРИТОВ Метеориты являются важным материалом для изучения Вселенной. Исследуя их состав и структуру, можно судить о составе самой Вселенной. Оказалось, что в составе метеоритов не найдено ни одного химического элемента, не известного на Земле. Подобные находки позволяют лучше изучить внутренние строение Земли и других планет Солнечной системы, а также понять прошлое и будущее нашей Солнечной системы.

КОСМИЧЕСКИЕ ТЕЛЕСКОПЫ Космические объекты очень сложно наблюдать с Земли, так как земная атмосфера поглощает часть электромагнитного излучения, идущего из космоса, и отражает другую его часть, обратно в космос. Так, например, большая часть инфракрасного и ультрафиолетового излучений, а также рентгеновское и гамма-лучи космического происхождения недоступны для наблюдений с поверхности Земли. Для того чтобы изучать этот спектр электромагнитных волн, существующих в космическом пространстве, необходимо проводить астрономические наблюдения за пределами атмосферы нашей планеты.

Самым известным космическим телескопом является космический телескоп «Хаббл» (Габбл), работающий в оптическом диапазоне и занимающий в честь американ-

ского астронома Эдвина Хаббла. Телескоп был запущен в 1990 г. в рамках совместной программы НАСА (Национальное управление США по воздухоплаванию и исследованию космического пространства) и Европейского космического агентства. Из-за отсутствия вблизи земной орбиты разрешающая способность у такого телескопа в 7–10 раз больше, чем у подобных телескопов, расположенных на Земле.

За все время работы с помощью космического телескопа «Хаббл» получено более миллиона высококачественных изображений 22 тыс. небесных объектов: галактик, туманностей, звезд, планет, комет, астероидов (планеты, не принадлежащие Солнечной системе). По результатам наблюдений Хаббл был уточнен возраст Вселенной — 13,8 млрд лет, а также вычислено ускорение, с которым расширяется Вселенная.

Благодаря космическому телескопу были расширены представления о строении и эволюции Вселенной, пересмотрены старые теории и построены новые, более точно описывающие различные астрономические явления.

Наши глаза способны воспринимать лишь небольшую часть астромагнитного спектра, поэтому большая часть Вселенной остается невидимой для оптических приборов. Между тем наблюдения в инфракрасных лучах позволяют нам обнаруживать так называемые теплые объекты, включая планетарные системы и межзвездную пыль. Благодаря инфракрасным космическим телескопам ученые удаются обнаруживать скрытые звездные объекты и изучать такие процессы, как рождение звезд и целых галактик.

Рентгеновские лучи несут до нас массу информации о процессах, происходящих во Вселенной. Поэтому в наши времена существуют космические рентгеновские обсерватории для поиска и регистрации различных рентгеновских источников в космосе. Сейчас с помощью рентгеновских обсерваторий ученые изучают звезды и галактики. Так, нами стало известно многое о рождении, эволюции и смерти звезд. А изучение дальних галактик показало, что их рентгеновское излучение связано с черными дырами, расположенными в центрах этих галактик.

Одной из программ НАСА является программа «Спектры обсерватории», которая включает в себя запуск четырех научно-исследовательских телескопов: «Хаббл» (1990) — для наблюдений в видимом диапазоне, «Спитцер» (2003) — для наблюдений в инфракрасном диапазоне, «Чандра» (1999) — для наблюдений в рентгеновском диапазоне и «Кэмпбелл» (2001) — для наблюдений гамма-лучей. Изображения, полученные этими телескопами, доступны не только ученым, но и всем, кто интересуется астрономией.

217

Космический телескоп «Планк» (2009–2013) был создан для изучения реликтового излучения. На основе результатов исследований был уточнен состав вещества Вселенной. По последним данным Вселенная состоит на 4,9% из обычного вещества, на 26,8% из темной материи и на 68,3% из темной энергии.



Космический телескоп «Спитцер»

Благодаря инфракрасному телескопу «Спитцер» были получены изображения центров галактик.



Космический телескоп «Чандра»

С помощью рентгеновского телескопа «Чандра» было открыто излучение сверхмассивной черной дыры в центре нашей Галактики.

218

Гамма-телескоп «Ферми» был запущен в 2008 г. За время работы телескоп зарегистрировал множество гамма-источников от различных объектов Вселенной. На основе полученных данных ученые ищут поиски темной материи.

Космическое гамма-излучение возникает вследствие ядерных процессов, происходящих внутри атомных ядер, а также в процессе аннигиляции, т. е. взаимодействия частиц и античастиц (например, электронов и позитронов). Гамма-кванты излучаются сверхновыми, нейтронными звездами и черными дырами. Специальные приборы могут регистрировать гамма-лучи, исходящие от Солнца во время солнечных вспышек.

Мы рассмотрели лишь некоторые космические телескопы и обсерватории, выведенные за пределы нашей планеты. При этом для получения изображений того или иного космического объекта ученые предпочитают комбинировать изображения, полученные посредством нескольких телескопов, с целью получения наиболее полного представления об изучаемом объекте.

Перед нами изображением галактики M101, построенном на основе снимков, полученных с помощью рентгеновской обсерватории «Чандра», телескопа «Хаббл» и инфракрасного телескопа «Спитцер».

КОСМИЧЕСКИЕ МИССИИ Космические экспедиции очень важны для исследования и освоения Вселенной. В 1957 г. был запущен первый искусственный спутник Земли, а в 1961 г. на орбиту вокруг Земли был выведен первый в мире космический корабль-спутник «Восток», с экипажем на борту — Юрием Гагариным. С тех пор было отправлено множество спутников и беспилотных космических аппаратов ко всем планетам Солнечной системы, а также на спутники, астероиды и кометы.

Естественно, что первым объектом для исследования стала Луна как ближайшая к Земле небесное тело. В 1960–1980 гг. было проведено множество успешных миссий СССР и США. В 1969 г. в результате полета «Луна-3» были получены первые фотографии обратной стороны Луны, не видимой с Земли. В 1969 г. в рамках миссии «Аполлон-11» был осуществлен первый пилотируемый полет на Луну. Астронавты Нил Армстронг и Эдвин Олдридж вывелись на поверхность Луны и собрали первые образцы лунной породы для исследований. После этого экспедиции к Луне совершили Япония, Европейское космическое агентство, Китай и Индия. Благодаря этим исследованиям были составлены подробные карты лунной поверхности и выполнен анализ лунных пород.

После успешных экспедиций к Луне были отправлены космические миссии к Венере и к Марсу. Марс является самой изучаемой планетой Солнечной системы, так как многие ученые предполагают, что на Марсе когда-то была жизнь. В рамках первых программ «Марс» (СССР) и «Маринер» (США) были запущены космические аппараты к Марсу, которые сделали снимки поверхности, исследовали состав атмосферы и измерили температуру на поверх-

ПЛАНЕТА	КОЛИЧЕСТВО МИССИЙ
☾	2
☿	41
♁	46
♂	9
♃	5
♅	1
♁	1

219

ности. В настоящее время на орбитах Марса работают 5 искусственных спутников, а на поверхности находится 2 марсохода: «Оппортьюнити» (с 2004 г.) и «Кьюриосити» (с 2012 г.), которые должны получить подробный состав марсианских почв и установить, существовала ли когда-либо условия, подходящие для жизни, а также провести подготовку для высадки человека на Марс. Результаты проведенной деятельности будут к данному времени на Марсе была пресная вода, пригодная для жизни.

Миссии к планетам-гигантам начались только через 10 лет после начала изучения планет земной группы. К ним были запущены аппараты НАСА (программы «Пионер», «Вояджер» и др.). Космический аппарат «Галлилео» (1989) первым вышел на орбиту Юпитера, подробно изучил его атмосферу и спутники. Космическая станция «Кассини-Гюйгенс», в настоящее время изучает не только Сатурн, но и его крупнейший спутник Титан.

Человек пока побывал только на Луне, но ученые планируют отправить людей на Марс, Венеру, астероиды и даже за пределы Солнечной системы.

СОВРЕМЕННАЯ ФИЗИКА МИКРОМИРА Одной из основных задач современной физики микромира является получение ответов на вопросы о том, что происходило в первые мгновения развития Вселенной, что является теми фундаментальными «кирпичиками материи», из которых состоит окружающий нас мир.

Для того чтобы изучать структуру материи на расстояниях, существенно меньших размеров протона, получить в лабораторных условиях температуру и плотность вещества, сравнимых с теми, которые были на ранних стадиях развития Вселенной, создаются гигантские физические установки, называемые коллайдерами.

В коллайдере сталкиваются частицы и ядра, движущиеся со скоростями, близкими к скорости света, и образующие огромные энергии. В результате таких столкновений ученые пытаются смоделировать условия, которые существовали в первые мгновения зарождения нашей Вселенной. Подобные установки требуют огромных интеллектуальных и материальных затрат, которые невозможны в рамках одного, даже самого богатого государства. Именно поэтому различные государства мира объединяют свои усилия и создают международные организации и сообщества, под эгидой которых ученые и инженеры разных стран совместно решают ряд сложных задач.

Крупнейшими мировыми научными центрами являются Европейский центр ядерных исследований (ЦЕРН), расположенный недалеко от швейцарского города Женева, Брукхейвенская национальная лаборатория, расположенная близ Нью-Йорка (США), и Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ) и подмосковном городе Дубне (Россия).

Космический аппарат «Вояджер-2», запущенный НАСА в 1977 г., пролетел мимо Сатурна, приблизился к Урану (1986) и добрался до Нептуна (1989), передвигаясь между планет и их спутниками на Земле. В настоящее время он приближается к границам Солнечной системы и все еще поддерживает связь с Землей.



Иллюстрация столкновения ядер золота при сверхвысоких энергиях

ВОПРОСЫ:

- Какие существуют современные методы исследования 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?



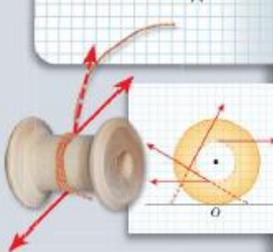
Хорошо известна задача-софизм о том, почему всё-таки лошадь тянет телегу, а не наоборот. Поскольку силы воздействия лошади на телегу и телеги на лошадь действительно равны и противоположно направлены, то для разрешения софизма следует учесть взаимодействие лошади и телеги с землёй.

Не менее широко известен хрестоматийный пример барона Мюнхгаузена, который вытаскил 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.
- Посредством 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 взаимное превращение газов, жидкостей и твёрдых 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 определённое 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.

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 · 10²⁴ молекул, оцените число испаряющихся молекул за время наблюдения.

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.

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

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

Если для оценки принять $\phi = 60\%$, $T = 303$ 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 полчаса, т.е. буквально за час.

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. Возможно возвращаться в жидкость. Пар, в непосредственной близости от поверхности 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 °С 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.

СОЛЁНЫЙ ЛЁД И СОЛЁНАЯ ВОДА

Как известно, для предотвращения гололёда тротуары часто посыпают солью. Когда наступают оттепель и температура окружающего воздуха становится положительной, то на дорогах начинает таять лёд, т.е. образуется вода. Поэтому при последующем понижении температуры до 0 °С на дороге появится ледяная корка, что отрицательно повлияет на безопасность движения. Добавление же соли способствует понижению температуры замораживания воды. 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.

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

$$\Delta A = \varepsilon A_{\text{изм}}$$

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

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

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

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

Инструментальная погрешность вольтметра определяется аналогично:

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

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.

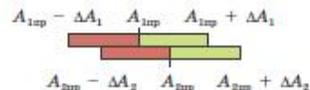
Если класс точности не указан, то инструментальная погрешность считается равной половине цены деления прибора.

Окончательный результат измерения физической величины A записывается следующим образом:

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

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

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



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

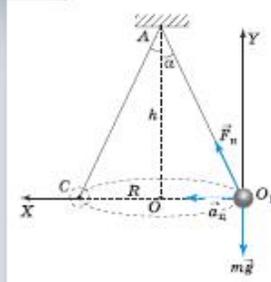
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

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	$F_{\text{тр пр}}$, 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:

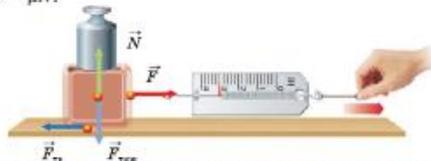
На опыте проверить, что сила трения скольжения прямо пропорциональна силе нормального давления, равной по модулю силе реакции опоры; измерить коэффициент трения скольжения дерева по дереву.

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

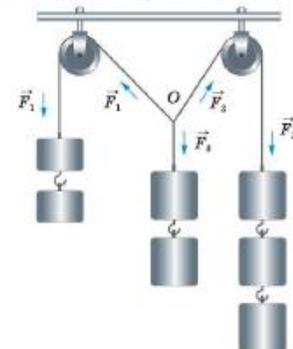
ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ РАВНОВЕСИЯ ТЕЛ

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.



224

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

РАБОТА № 1

ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

ЦЕЛЬ:

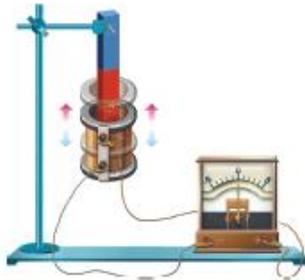
Изучить явление электромагнитной индукции, получить индукционный ток и проверить выполнение правила Ленца.

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.

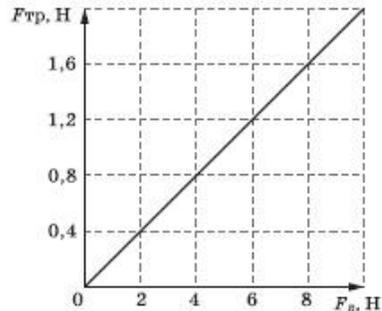


Рис. 16

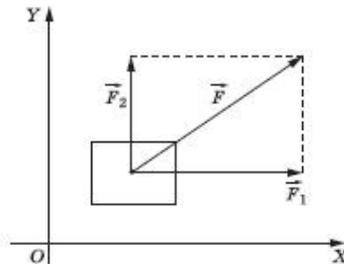
- 2.75** Укажите направление силы трения, действующей на ногу человека при ходьбе.

- 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

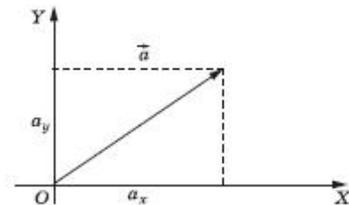
$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}, \text{ откуда}$$

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

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 :

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

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

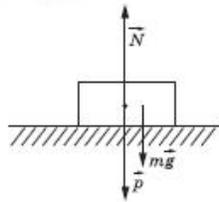
Полное ускорение $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \sqrt{\frac{F_1^2}{m^2} + \frac{F_2^2}{m^2}} = \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2}}{m}$;

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

Ответ: $a = 5$ м/с².

29

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.

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

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

$P_E = ?$

Поделим уравнение (1) на уравнение (2):

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

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

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

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.

$h = ?$

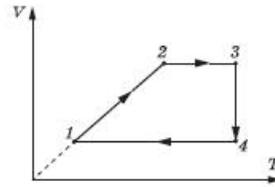


Рис. 28

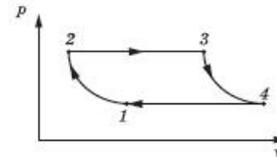


Рис. 29

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.

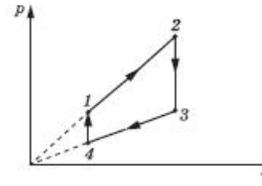
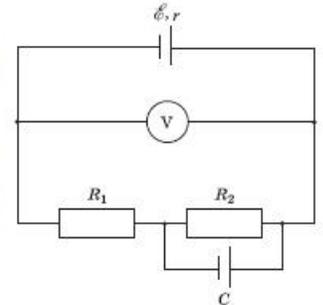


Рис. 30

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:

$$U_C = U_2 = IR_2; \quad U_C = 1 \cdot 3 = 3 \text{ В.}$$

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

