

В. А. Касьянов

ФИЗИКА

Учебник

Рекомендовано
Министерством просвещения
Российской Федерации

8-е издание, переработанное

МОСКВА



2019

БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

10

класс



российский
учебник

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72
К28

**Одобрено Научно-редакционным советом корпорации
«Российский учебник» под председательством академиков
Российской академии наук В. А. Тишкова и В. А. Черешнева**

Касьянов, В. А.

К28 Физика. Базовый уровень. 10 класс : учебник / В. А. Касьянов. — 8-е изд., перераб. — М. : Дрофа, 2019. — 301, [3] с. : ил. — (Российский учебник).

ISBN 978-5-358-17521-1

Учебник соответствует требованиям Федерального государственного образовательного стандарта среднего общего образования, рекомендован Министерством просвещения Российской Федерации. Включён в Федеральный перечень учебников в составе завершённой предметной линии.

Учебник предназначен учащимся 10 классов, изучающим физику на базовом уровне.

Учебник создан с учётом современных научных представлений и включает следующие основные разделы: «Механика», «Молекулярная физика», «Электростатика».

Достоинством учебника является тщательно разработанный методический аппарат, включающий вопросы, задачи, творческие задания. Синим цветом выделены названия параграфов, необязательных для изучения.

К учебнику изданы дидактические материалы.

Раздел «Лабораторные работы» подготовлен Г. Г. Никифоровым.

Творческие задания составлены О. А. Крысановой и Н. В. Ромашкиной.

**УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72**

ISBN 978-5-358-17521-1

© ООО «ДРОФА», 2013
© ООО «ДРОФА», 2019, с изменениями

ВВЕДЕНИЕ



Физика в познании вещества, поля, пространства и времени

§ 1. Что изучает физика

Возникновение физики. Любое природное явление имеет множество характеристик и признаков. Например, море ассоциируется с водой и пеной, рябью и набегающими волнами, шумом приливов и отливов, водорослями и рыбами. Гроза сопровождается ливневыми потоками воды, разрядами молнии, раскатами грома.

Стремление понять окружающий мир, увидеть общее в разных природных явлениях, понять причины, порождающие их, а также желание предсказать их возникновение привело к зарождению науки.

Любознательному человеку интересно узнать, чем отличаются различные звуки и что у них общего, что определяет разный цвет тел, что общего между падением тел на Землю и движением звёзд и планет.

Физика — наука, занимающаяся изучением самых общих закономерностей явлений природы, свойств и структуры окружающего нас мира. Поэтому её понятия и законы используются в самых разных областях научного знания: геологии, химии, биологии и др.

Задачи, стоящие перед физикой, определяют особенности физического метода исследования: от эксперимента к количественным формулировкам законов, которые проверяются практикой.

Начало физике положил итальянский учёный *Галилео Галилей*, поставивший первые физические эксперименты и предложивший теоретическое объяснение движения тел. До Галилея изучение движения основывалось на чисто философских идеях и было описательным.

Изучая падение тел разной массы, Галилей не просто наблюдал за их движением, но и *измерял высоту*, с которой падают тела, и *определял время* их падения. В результате измерений Галилеем были получены *количественные* соотношения между величинами.

Базовые физические величины в механике. Среди многочисленных физических величин существуют основные (базовые) величины, через которые с помощью определённых количественных соотношений выра-

жаются все остальные. Такими величинами являются *длина* и *время*, характеризующие изменение расположения тел, и *масса*, определяющая гравитационные и инерционные свойства.

С целью измерения необходимо задать эталон единицы измерения. Так, метр — единица длины, равная расстоянию, которое проходит свет в вакууме за $1/299\,792\,458$ с.

Секунда — единица времени, равная $9\,192\,631\,770$ периодам излучения изотопа атома цезия-133.

Килограмм — единица массы, равная массе международного эталона килограмма.

Кратные и дольные единицы. Определив в Международной системе единиц (СИ) основные единицы (метр — для длины, секунда — для времени, килограмм — для массы) в зависимости от диапазона измерений, удобно использовать единицы, большие или меньшие по величине. Эти *кратные* и *долные единицы* отличаются от системных по порядку величины и обозначаются с помощью соответствующих десятичных приставок (табл. 1).

Диапазон восприятия органов чувств. Органы чувств человека являются источником информации об окружающем мире. Они помогают ему приспособиться к изменениям внешней среды. Вместе с тем у органов чувств сравнительно узкий диапазон воспринимаемых информационных сигналов.

Например, органы *осязания* не позволяют отличать друг от друга мелкие шероховатости и различать слабые раздражители. Рецепторы *вкуса* чувствительны только к ограниченному набору химических соединений

Таблица 1

Приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц

Степень	Приставка	Символ	Пример	Степень	Приставка	Символ	Пример
10^{18}	экса-	Э	эксаджоуль, ЭДж	10^{-1}	деци-	д	децибел, дБ
10^{15}	пета-	П	петаватт, ПВт	10^{-2}	санти-	с	сантиметр, см
10^{12}	тера-	Т	терагерц, ТГц	10^{-3}	милли-	м	миллиметр, мм
10^9	гига-	Г	гигавольт, ГВ	10^{-6}	микро-	мк	микрограмм, мкг
10^6	мега-	М	мегаватт, МВт	10^{-9}	нано-	н	нанометр, нм
10^3	кило-	к	килоом, кОм	10^{-12}	пико-	п	пикофарад, пФ
10^2	гекто-	г	гектопаскаль, гПа	10^{-15}	фемто-	ф	фемтометр, фм
10	дека-	да	деканьютон, даН	10^{-18}	атто-	а	аттокулон, аКл

и веществ. Органы *обоняния* реагируют лишь на некоторые газы, пары и их смеси в узком диапазоне концентрации. Достаточно велики возможности восприятия звука малой и большой громкости (интенсивности) органами *слуха*. Однако частотный диапазон сигналов, принимаемых человеческим ухом, ограничен (16 Гц — 20 кГц). Через орган *зрения* человек получает наибольший объём информации по сравнению с другими органами чувств. Однако человеческий глаз не может воспринимать излучение сверхвысокой интенсивности и различать последовательные короткие сигналы (длительностью менее 0,05 с). Видимый свет занимает чрезвычайно узкий (по сравнению со спектром возможных излучений) диапазон длин волн от 0,38 до 0,78 мкм. Крайне невелика и разрешающая способность глаза: минимальный размер объекта, различаемого глазом, оказывается около 50—80 мкм.

Вспомним притчу о пяти слепых, пытавшихся представить себе, что такое слон. Первый слепой, взобравшийся на спину слона, считал, что это стена. Второй, ощупывающий ногу слона, решил, что это колонна. Третий, взявший в руки хобот, принял его за трубу. Слепой, дотрагивающийся до бивня, думал, что это сабля, а слепой, поглаживающий хвост слона, заподозрил, что это верёвка.

Аналогично недостаток чувственных восприятий, казалось бы, неизбежно должен привести к неоднозначным и противоречивым представлениям о структуре окружающего мира. «Жизненный опыт» оказывается недостаточным при изучении явлений, характеризующихся пространственными размерами и временным интервалом, недоступными для непосредственного наблюдения. В этих условиях дополнительную информацию можно получить с помощью приборов и экспериментальных установок. Они существенно расширяют диапазон принимаемых информационных сигналов.

Физика и культура. Взаимосвязи физики и культуры многогранны. Художественная литература является источником знаний о единстве мира, путях его познания, о возможных направлениях развития приложений физических явлений (научная фантастика). Физические основы акустики совершенствуют запись и воспроизведение звука, музыкальных произведений, рассматривая музыкальные инструменты как физико-акустические приборы. В то же время компьютерная обработка информации позволяет интенсифицировать изобразительные средства телевидения и кинематографа. Новые строительные материалы, разрабатываемые в научных лабораториях, дают возможность современной архитектуре существенно совершенствовать строительные конструкции и проектировать их на основе физических законов. Радиоуглеродный метод геохронологии позволяет с большой точностью определить как возраст древнейших памятников культуры (рукописей, картин, скульптур, строений и т. д.), так и время вымирания доисторических животных.

В О П Р О С Ы

1. Что является предметом изучения физики?
2. Почему именно Галилео Галилея считают первым физиком?
3. Какие физические величины называют базовыми или основными?
4. Почему ограниченность диапазона восприятия органов чувств препятствует формированию научных представлений об окружающем мире?
5. Чем ограничен диапазон восприятия органов осязания, вкуса, обоняния и слуха? Что компенсирует недостаток восприятия органов чувств человека при формировании представлений о структуре окружающего мира?

§ 2. Эксперимент. Закон. Теория

Особенности научного эксперимента. Суть любого научного эксперимента состоит в наблюдении явления и измерении физических величин, его характеризующих.

В ходе эксперимента выявляют характер изменения наблюдаемых величин или их постоянство. Результаты таких исследований формулируются в виде определённых количественных и качественных закономерностей.

Физический закон — соотношение между физическими величинами, устойчиво проявляющееся при определённых условиях в эксперименте.

Особая ценность закона, полученного из опыта, состоит в том, что с его помощью часто можно описать не только изучаемое явление, но и ряд других явлений и экспериментов. Сравнительно небольшого числа основных, фундаментальных физических законов достаточно для описания многих природных явлений.

Научная гипотеза является предположением о том, что существует связь между известным и вновь объясняемым явлением.

Дав количественное описание падения тел на землю, Галилей не ответил на вопрос, почему они падают. **Исаак Ньютон**, основоположник фундаментальной физической теории, высказал гипотезу, согласно которой причина падения тел — притяжение их к Земле. Ньютоном же была создана классическая теория тяготения.

Научная теория содержит постулаты, определения, гипотезы и законы, объясняющие наблюдаемое явление.

Результаты теории постоянно проверяются *экспериментом*, являющимся *критерием правильности теории*.

Ни одна физическая теория не может быть признана окончательной и верной навсегда. Всегда существует вероятность, что новые наблюдения потребуют её уточнения или создания новой теории.

Фундаментальные физические теории. Особую роль в физике играет *фундаментальная* теория, способная предсказывать новые экспериментальные эффекты, которые не могут быть объяснены в рамках прежней теории. Примером является общая теория относительности **Альберта Эйнштейна**. Она количественно точно по сравнению с теорией тяготения Ньютона описала отклонение светового луча в поле тяготения.

Особенностью фундаментальных физических теорий является их *пре-емственность*. Более общая теория включает частные, уже известные законы и определяет границы применимости предыдущей теории. Так, механика Ньютона в течение двух столетий прекрасно описывала поведение макроскопических тел. Однако движение тел со скоростью, близкой к скорости света, она объяснить не смогла. Специальная теория относительности Эйнштейна, основанная на постулатах, отличных от ньютоновских, объяснила законы движения тел, движущихся со скоростью, сравнимой со скоростью света, например элементарных частиц, испускаемых Солнцем. Для небольшой скорости (много меньшей скорости света) результаты теории относительности совпадают с результатами классической механики Ньютона. Это совпадение и определяет одну из границ применимости теории Ньютона.

Модельные приближения. Физические законы — лишь ступени познания окружающего мира. Изучение природных явлений часто невозможно без введения упрощающих предположений.

Подобные приближения называют *модельными*. В разговорной речи слово «модель» используется применительно к небоскрёбу, железной дороге, демонстраторам одежды и т. д.

Модель в физике — упрощённый аналог физической системы (процесса), сохраняющий её (его) главные черты.

Например, при изучении полёта теннисного мяча в воздухе следует иметь в виду, что он не идеально сферичен и не идеально твёрд. На его движение оказывают влияние сопротивление воздуха и ветер. При движении мяч может вращаться, а сила тяжести, действующая на него, изменяется с высотой. Строго говоря, следует принимать во внимание и вращение Земли. Однако, если учитывать все эти факторы, проанализировать движение мяча практически невозможно. Тем не менее, пренебрегая размерами мяча, сопротивлением воздуха, вращением Земли и считая постоянной силу тяжести, можно рассчитать, что мяч движется по параболической траектории. Результаты теоретического расчёта достаточно точно описывают реальную траекторию движения мяча (хотя и несколько отличающуюся от параболической). Это означает, что создан-

ная модель содержит главные черты системы, а мы пренебрегли не самыми существенными её характеристиками. В то же время теория принципиально расходится с экспериментом, если пренебречь силой притяжения мяча к Земле. В этом случае мяч должен двигаться равномерно и прямолинейно, а не по параболе.

Пределы применимости физической теории. Успех описания явления зависит от того, насколько удачно выбрана физическая модель, насколько она адекватна явлению.

Для описания сложных физических систем используется целый ряд стандартных физических моделей: материальная точка, абсолютно твёрдое тело, математический маятник, идеальный проводник, изолятор и т. д.

Любая теория является описанием некоторой модели физической системы, некоторым приближением к реальности и поэтому в дальнейшем может быть развита и обобщена. В этом смысле одни и те же модели могут использоваться для объяснения различных физических явлений. Эйнштейна восхищало то, что «можно так много сделать, зная так мало».

В О П Р О С Ы

1. В каком случае соотношение между физическими величинами можно назвать физическим законом?
2. В чём ценность фундаментальных законов?
3. Перечислите основные компоненты физической теории.
4. Для чего в физике вводят модельные приближения?
5. Приведите примеры стандартных физических моделей.

§ 3. Идея атомизма

Атомистическая гипотеза. Греческий философ *Демокрит* в V в. до н. э. предположил, что *все вещества состоят из невидимых человеческим глазом малых частиц — атомов* (от греч. *atomos* — неделимый). Атомистическая гипотеза впервые в научном познании предполагала существование объектов, недоступных восприятию органов чувств человека. На протяжении многих лет такие выдающиеся учёные, как М. В. Ломоносов, А. Авогадро, Р. Клаузиус, Д. Бернулли, Ж. Перрен, Дж. Максвелл, Д. Гиббс, А. Эйнштейн, создавали теоретические и экспериментальные предпосылки для подтверждения атомистической гипотезы. Эта гениальная идея получила экспериментальное подтверждение в XIX в., в работах английского физика и химика *Джона Дальтона*. Объясняя химические превращения и реакции, он пришёл к выводу, что каждому химическому элементу соответствует свой тип мельчайших

невидимых атомов, а все вещества состоят из химических соединений атомов.

Последующая классификация атомов была осуществлена Д. И. Менделеевым в Периодической системе химических элементов в порядке возрастания массы. В настоящее время насчитывается всего 118 химических элементов. Это означает, что многообразный окружающий мир сконструирован примерно из сотни типовых блоков — атомов.

Современная техника позволила заглянуть непосредственно в глубь вещества — с помощью электронного микроскопа получены изображения атомов.

Модели в микромире. Исследования структуры вещества на меньших пространственных масштабах привели к открытию новых простейших кирпичиков мироздания. В 1897 г. английский физик *Джозеф Томсон* обнаружил ещё одну частицу — *электрон*. По своим характеристикам электрон не вписывается в Периодическую систему химических элементов Д. И. Менделеева.

Открытие английским физиком *Эрнестом Резерфордом* в 1911 г. атомного ядра привело к созданию *планетарной модели атома*. Согласно этой модели, атом состоит из *ядра*, вокруг которого вращаются электроны.

Последующие эксперименты (1914—1932) показали, что атомное ядро состоит из тяжёлых (по сравнению с электроном) частиц: электронной-тральных *нейтронов* и положительно заряженных *протонов*. Заряд протона равен по величине и противоположен по знаку отрицательному заряду электрона. В целом атом электронейтрален, так как число протонов в ядре равно числу электронов в атоме.

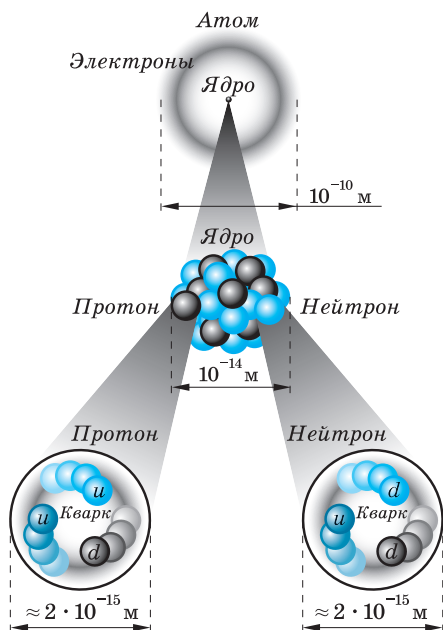
Число протонов в ядре определяет химические свойства атома и его место в Периодической системе химических элементов Д. И. Менделеева.

Согласно современным представлениям, протон и нейтрон являются сложными частицами, состоящими из трёх *кварков* (рис. 1).

К настоящему времени открыто свыше 400 различных *элементарных частиц*.

Элементарная частица — микрообъект, который невозможно расщепить на составные части.

Лёгкие частицы образуют группу *лептонов* (от *греч.* leptós — мелкий), а тяжёлые — группу *адронов* (от *греч.* hadrós — сильный). Особую группу составляют частицы — *переносчики взаимодействий* (например, *фотон* является переносчиком электромагнитного взаимодействия).



▲ 1

Структура атома: протон и нейтрон — частицы, состоящие из трёх кварков

Несмотря на то что в веществе содержится большое число различных элементарных частиц, существует лишь четыре вида фундаментальных взаимодействий между ними: *гравитационное, слабое, электромагнитное и сильное*. Все процессы и явления в природе (падение яблока, взрыв сверхновой звезды, прыжок кузнечика или радиоактивный распад веществ) происходят в результате этих взаимодействий.

Фундаментальные взаимодействия — взаимодействия, которые не могут быть сведены к другим, более простым видам взаимодействия.

Характеристики взаимодействий. *Гравитационное взаимодействие* универсально: в нём участвуют все элементарные частицы. Оно определяет движение планет, звёзд, галактик.

Электромагнитное взаимодействие связывает между собой заряженные частицы, например электроны и ядра в атомах и молекулах.

В О П Р О С Ы








1. В чём состояла гипотеза Демокрита о строении вещества?
2. Какие выводы следовали из экспериментов Д. Дальтона?
3. От чего зависят химические свойства атома и его место в Периодической системе химических элементов Д. И. Менделеева?
4. С помощью Интернета найдите, какова современная модель строения атома. Найдите в ней элементы модели атома по Резерфорду.
5. На какие три группы подразделяют элементарные частицы?

§ 4. Фундаментальные взаимодействия

Виды взаимодействий. Упорядоченность расположения небесных тел во Вселенной объясняется их взаимодействием друг с другом. Структура вещества этих тел стабильна благодаря связям между составляющими его частицами.

Таблица 2

Взаимодействия, в которых участвуют основные элементарные частицы

Лептон	Нейтральный (нейтрино)	Заряженный (электрон)	Цветовое обозначение взаимодействий	
				Гравитационное
Адрон	Нейтральный (нейтрон)	Заряженный (протон)	Слабое	
			Электромагнитное	
Фотон			Сильное	

Слабое взаимодействие присуще всем частицам, кроме фотона, и определяет радиоактивный распад тяжёлых элементов, реакции термоядерного синтеза на Солнце.

Сильное взаимодействие определяет связи только между адронами. Оно обеспечивает связь кварков в протонах и нейтронах, исключительную прочность связи протонов и нейтронов в ядрах атомов и тем самым стабильность вещества в земных условиях.

В таблице 2 представлены важнейшие элементарные частицы, принадлежащие к основным группам: адроны, лептоны, переносчики взаимодействий (например, фотоны). Там же показаны типы взаимодействий, в которых эти частицы могут участвовать.

Важнейшей характеристикой фундаментального взаимодействия является его *радиус действия* (табл. 3).

Радиус действия взаимодействия — максимальное расстояние между частицами, за пределами которого их взаимодействием можно пренебречь.

При малом радиусе действия взаимодействие называют *короткодействующим*, при большом — *дальнодействующим*.

Сильное и слабое взаимодействия являются короткодействующими. Их интенсивность быстро убывает при увеличении расстояния между частицами. Такие взаимодействия проявляются на небольшом расстоянии, недоступном для восприятия органами чувств. По этой причине сильное и слабое взаимодействия были открыты позже других, лишь в XX в., с помощью сложных экспериментальных установок.

Таблица 3

Основные характеристики фундаментальных взаимодействий

Взаимодействие	Взаимодействующие частицы	Радиус действия, м
Гравитационное	Все	∞
Слабое	Все, кроме фотона	10^{-17}
Электромагнитное	Заряженные частицы	∞
Сильное	Адроны	10^{-15}

Электромагнитное и гравитационное взаимодействия являются дальнодействующими. Такие взаимодействия медленно убывают при увеличении расстояния между частицами и не имеют конечного радиуса действия.

Физические представления о фундаментальных взаимодействиях постоянно уточняются.

В 1967 г. *Шелдон Глэшоу, Абдус Салам и Стивен Вайнберг* создали теорию, согласно которой электромагнитное и слабое взаимодействия представляют собой проявление *единого электрослабого взаимодействия*. Если взаимодействие между элементарными частицами происходит на расстоянии, меньшем радиуса действия слабых сил (10^{-17} м), то различие между электромагнитным и слабым взаимодействиями исчезает.

В настоящее время экспериментальную проверку проходит теория *«великого объединения»*. Согласно этой теории существуют лишь два типа взаимодействий: *объединённое* и *гравитационное*. Не исключено, что все четыре взаимодействия являются частными проявлениями единого взаимодействия. На предпосылках таких предположений мы остановимся более подробно при обсуждении теории возникновения Вселенной (модель Большого взрыва).

В О П Р О С Ы

1. Как расположить в порядке возрастания интенсивности фундаментальные взаимодействия?
2. Для взаимодействия каких частиц характерно каждое фундаментальное взаимодействие?
3. Какие фундаментальные взаимодействия являются короткодействующими, а какие — дальнодействующими? Чему равен их радиус действия?
4. Какое взаимодействие называют электрослабым?
5. Какие взаимодействия описывает теория «великого объединения»?

Т В О Р Ч Е С К И Е З А Д А Н И Я

1. Напишите эссе «Эксперименты в моей жизни».
2. Какие события, происходящие с вами в школьной жизни, в семье, можно считать закономерностями? В чём отличие и общность этих и физических закономерностей? Ответ представьте в виде таблицы.
3. В каких взаимодействиях участвуете вы? Ответ представьте в виде схемы. Можно ли назвать эти взаимодействия фундаментальными? Почему?
4. Подготовьте фотоальбом «Идея атомизма: прошлое, настоящее, будущее».
5. В каких величинах «измеряются» доброта, толерантность, любовь?

О С Н О В Н Ы Е П О Л О Ж Е Н И Я

- **Физика** — наука, занимающаяся изучением самых общих закономерностей явлений природы, свойств и структуры окружающего нас мира.
- **Базовые физические величины** — величины, через которые выражаются все остальные. Базовыми физическими величинами в механике являются длина, время и масса.
- **Органы чувств** человека являются источником информации об окружающем мире.
- **Физический закон** — соотношение между физическими величинами, устойчиво проявляющееся при определённых условиях в эксперименте.
- **Научная теория** содержит постулаты, определения, гипотезы и законы, объясняющие наблюдаемое явление. Критерий правильности теории — **физический эксперимент**.
- Границы применимости теории определяются физическими упрощающими предположениями, сделанными при постановке задачи и в процессе вывода соотношений.
- **Модель в физике** — упрощённый аналог физической системы (процесса), сохраняющий её (его) главные черты.
- **Элементарная частица** — микроскопический объект, который невозможно расщепить на составные части. Элементарные частицы подразделяются на три группы: адроны, лептоны, переносчики взаимодействий.
- **Фундаментальные взаимодействия** — взаимодействия, которые не могут быть сведены к другим, более простым видам взаимодействия. Существует четыре вида фундаментальных взаимодействий: гравитационное, слабое, электромагнитное и сильное.
- **Гравитационное взаимодействие** присуще всем частицам. Оно определяет процесс образования и структуру Вселенной.
- **Слабое взаимодействие** ответственно за взаимодействие всех частиц, кроме фотона.
- **Электромагнитное взаимодействие** связывает между собой частицы, содержащие электрические заряды. Оно объединяет атомы и молекулы в веществе.
- **Сильное взаимодействие** определяет связи только между адронами. Оно обуславливает связь кварков в протонах и нейтронах, связь протонов и нейтронов в атомном ядре.

МЕХАНИКА

2

Кинематика материальной точки

§ 5. Траектория. Закон движения

Описание механического движения. Формой существования вещества во Вселенной является движение. Оно является причиной изменений, происходящих в окружающем нас мире. По поверхности Земли и вблизи неё перемещаются, например, вода, песок, атмосферный воздух, транспорт и т. д. Земля вращается вокруг собственной оси и вокруг Солнца, которое вместе со всеми планетами Солнечной системы перемещается относительно центра Галактики. Вселенная как целое расширяется. В движении участвует каждый атом любого тела.

Движение тела как целого относительно других тел с течением времени называют *механическим движением*.

Кинематика изучает механическое движение тел, не рассматривая причины, которыми это движение вызывается. Для описания механического движения тела необходимо знать положение тела в пространстве в любой момент времени. Указать положение тела при его движении одной точкой можно лишь в случае, когда размеры и форма тела несущественны.

Например, при описании полёта пули к мишени нет необходимости учитывать размеры пули. Поэтому в механике часто используется простейшая физическая модель — *материальная точка*.

Материальная точка — тело, размерами которого в данной задаче можно пренебречь.

Землю, движущуюся вокруг Солнца, можно рассматривать как материальную точку, так как радиус Земли много меньше расстояния от Зем-

ли до Солнца ($R_{\oplus} \ll r_{\odot}$). Подобное неравенство в физике означает, что R_{\oplus} меньше r_{\odot} по крайней мере на порядок, т. е. $R_{\oplus} < 0,1r_{\odot}$.

В то же время Землю нельзя считать материальной точкой во всех «земных» задачах, когда рассматривается движение самолётов, кораблей, поездов, автомобилей.

Указать положение материальной точки в реальном физическом пространстве можно лишь относительно положения других тел.

Тело отсчёта — произвольно выбранное тело, относительно которого определяется положение движущейся материальной точки (или тела).

При описании механического движения космических ракет, искусственных спутников Земли в качестве тела отсчёта обычно рассматривают Землю, считая её неподвижной материальной точкой. При описании движения Земли и планет за тело отсчёта принимается Солнце.

Траектория. Очень важным понятием при описании движения тела является *траектория* — последовательность точек (линия), в которых находилось тело в процессе своего движения.

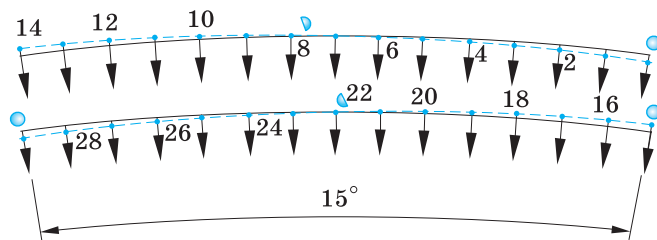
В разных системах отсчёта траектория материальной точки может быть различной (рис. 2, 3). Возможно и непосредственное наблюдение траектории материальной точки: искры, летящие при сварке; след в небе от ракеты или реактивного самолёта; линия, рисуемая мелом на доске или ручкой в тетради; лыжный след.

Закон движения. Положение материальной точки в пространстве в произвольный момент времени (например, теннисный мяч, движу-



▲ 2

Траектория Луны относительно Земли (геоцентрическая система отсчёта)



▲ 3

Траектория Луны относительно Солнца (гелиоцентрическая система отсчёта). Пунктир — траектория Земли, стрелки направлены к Солнцу