

П. И. САМОЙЛЕНКО, А. В. СЕРГЕЕВ

ФИЗИКА

(ДЛЯ НЕТЕХНИЧЕСКИХ
СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ)

Допущено

*Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебника для студентов образовательных
учреждений среднего профессионального образования*

12-е издание, стереотипное



Москва
Издательский центр «Академия»
2014

УДК 53(075.32)
ББК 22.3я723
С 17

Рецензенты:

директор ИСО, д-р пед. наук, проф., академик РАО *Ю. И. Дик*;
ведущий специалист Института проблем развития среднего
профессионального образования *В. З. Озорнов*

Самойленко П. И.

С 17 **Физика (для нетехнических специальностей) : учебник для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования / П. И. Самойленко, А. В. Сергеев. — 12-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2014. — 400 с.**

ISBN 978-5-4468-0614-0

Наглядно и убедительно показано, что все многообразие физических явлений можно привести в стройную систему и понять, опираясь на небольшое количество фундаментальных законов. Для учебника характерны строгая логика, современные подходы к изложению материала, широкое использование исторических фактов. Первостепенное внимание уделяется физическому смыслу и границам применимости основных понятий, формул, законов, теорий.

Для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования.

УДК 53(075.32)
ББК 22.3я723

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

© Самойленко П. И., Сергеев А. В., 2011

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2011

ISBN 978-5-4468-0614-0 © Оформление. Издательский центр «Академия», 2011

ПРЕДИСЛОВИЕ

Физика — это фундамент современного естествознания. Она имеет важное значение для теории познания, формирования научного мировоззрения, а также для развития других наук и различных областей техники. Изучение основ физики создает необходимую базу для качественной профессиональной подготовки будущих специалистов среднего звена. Задачи экономического и социального развития нашего общества должны решать люди, вооруженные современными знаниями, поэтому в соответствующих разделах и темах курса студенты знакомятся с задачами и перспективами развития науки и техники, вопросами экологии, а в плане общекультурного развития — современной физической картиной мира во всем ее многообразии.

Данный учебник вместе со «Сборником задач и вопросов по физике» (П. И. Самойленко, А. В. Сергеев, 2011) входит в учебный комплект для студентов образовательных учреждений среднего профессионального образования, где на курс физики отводится относительно немного часов (гуманитарный профиль). В связи с этим материал изложен на качественной основе, без использования сложного математического аппарата.

Курс физики с учетом современных требований должен соответствовать профессиональной направленности. В предлагаемом учебнике показана роль физической науки в решении глобальных проблем человечества, а также в становлении культуры. Уделяется особое внимание самостоятельной работе студентов в процессе изучения физики, развитию их познавательной деятельности и умению выделять главное — обобщать полученные знания. Для этого в конце каждой главы дается сводка основных понятий и выводов, приводятся вопросы и упражнения для самопроверки.

ВВЕДЕНИЕ

Физика — наука о природе

Мы живем в мире природы. Природа — это то, что нас окружает, материя во всем многообразии своих проявлений и форм движения.

Науки о природе зародились давно — в Древнем Китае, Индии и Древней Греции. Слово «физика» древнегреческого происхождения. Оно появилось в сочинениях ученого-энциклопедиста Аристотеля, жившего в IV в. до н. э., и в переводе на русский язык означает «природа» (от греч. *physis* — природа). В русский язык это слово впервые ввел в 1746 г. М. В. Ломоносов, когда издал в переводе с немецкого языка первый в России учебник физики «Вольфианская экспериментальная физика».

Таким образом, физика — самая общая наука о природе: о строении, свойствах и взаимодействии составляющих ее материальных тел и полей. Физика — наука об изменениях и процессах, происходящих в природе, свойствах живой и неживой материи, из которой состоит окружающий мир.

Физика — наука, изучающая простейшие и вместе с тем наиболее общие закономерности явлений природы, свойства и строение материи и законы ее движения.

Главная цель этой науки — выявить и объяснить законы природы, которыми определяются все физические явления.

Физику и другие науки о природе (астрономию, биологию, химию, геологию, метеорологию, физическую географию и т. д.) называют *естественными*. В отличие от физики другие естественные науки изучают объекты и явления, которые выделяются определенным признаком, свойством, принадлежностью.

Например, астрономия изучает явления, происходящие с небесными телами и их системами; биология — живые организмы и среду, в которой они обитают; геология — строение поверхности и недр Земли, а также состав и происхождение горных пород; метеорология — атмосферу, ее строение, свойства, процессы, которые в ней происходят, а также разрабатывает методы, позволяющие предсказывать атмосферные явления; физическая география — изменения на Земле и в околоземном пространстве — литосфере, гидросфере и атмосфере; химия — такой вид взаимодействия, при котором одни вещества превращаются в другие. Как видим, физические методы исследования широко применяются в естественных науках.

Толчком к развитию физики как науки послужило использование закономерностей явлений природы, имеющих практическое значение. Так, установив законы механического движения тел, в частности планет, ученые создали календарь, с помощью которого могли предсказывать сезонные изменения времен года, рассчитывать последствия воздействия различных природных стихий и т. п.

На протяжении многих веков знания о физических законах природы обогащались и совершенствовались. Используя их, ученые и конструкторы создавали машины, разрабатывали новые технологии, преобразовали окружающий нас мир. Без преувеличения можно сказать, что не существует технических устройств или приборов, современных технологий, при создании которых не использовались бы знания физики.

Что же изучает физика? **Физика изучает физические явления и физические свойства тел.** Движение самолетов и автомобилей, обращение Земли вокруг Солнца и космической орбитальной станции вокруг Земли, свечение экрана телевизора, молния, гром, радуга, влияние Земли на стрелку компаса, отражение света от зеркальных поверхностей, таяние льда, образование облаков, взрывы атомных бомб и процессы, происходящие в недрах звезд, — все это примеры физических явлений. Многие физические явления обладают общими свойствами, и в зависимости от этого можно говорить о *механических, тепловых, электрических, магнитных, оптических* и других процессах и явлениях.

Все эти явления свойственны неживой природе. Но многие из них могут происходить внутри живых организмов. Например, влага поднимается от земли к колосу по стеблю растения; кровь течет по сосудам в теле человека и животного; по нервным волокнам передаются сигналы от мозга и т. д.

Помимо явлений природы физика изучает свойства отдельных тел, материального мира в целом. Например, очень важно знать, какие тела лучше проводят тепло или электрический ток, какие материалы следует использовать для звукоизоляции, каким веществом нужно покрыть экран телевизора, чтобы на нем можно было получить изображение, из какого вещества следует изготовить пленку для магнитофона, чтобы записать на ней звуковой сигнал и т. д. Ответить на эти вопросы можно, если исследовать соответствующие свойства тел. Таким образом, **физика — фундаментальная наука о свойствах и строении материи, законах ее движения.**

Связь физики с астрономией

Физика изучает общие законы природы, и поэтому многие естественные науки тесно связаны с физикой. В частности, существуют такие смежные разделы этой науки, как биофизика, геофизика, физическая химия и т. п. Но особенно тесно связана с физикой астро-

номия. Астрономия изучает движение звезд, планет, спутников, процессы, происходящие в атмосфере планет, в звездах и других небесных телах. Ведущим разделом современной астрономии является астрофизика.

Астрофизика — это часть астрономии, которая изучает физические свойства небесных тел и процессы, протекающие в них и в космическом пространстве. При этом широко используются физические законы, поэтому она и получила такое название. Так, с одной стороны, астрофизика занимается разработкой и применением физических методов исследования небесных тел, а с другой — на основании законов физики дает объяснение наблюдаемым во Вселенной явлениям и процессам. Кроме того, астрофизика является важным стимулом для развития современной теоретической физики. Например, вопрос об атомной энергии начал разрабатываться на основе данных об энергетической светимости Солнца и звезд. Наконец, астрономические наблюдения позволяют изучать поведение вещества в таких условиях, которые искусственным путем в земных условиях неосуществимы. С этой точки зрения Вселенную можно рассматривать как неповторимую и неисчерпаемую природную физическую лабораторию. Например, большинство так называемых элементарных частиц было открыто в космосе. Средняя энергия частиц первичного космического излучения (на верхней границе атмосферы) составляет около 10^4 МэВ. Отдельные частицы обладают энергией порядка 10^{12} МэВ, т.е. космические лучи являются источником *частиц сверхвысоких энергий*, еще не достигнутых в лабораторных условиях. При взаимодействии таких частиц с веществом происходят принципиально новые ядерные реакции, изучение которых углубляет наши знания о свойствах ядер и элементарных частиц.

Космос — это природная физическая лаборатория. В ней интенсивно происходят явления, невозможные в земных условиях (например, нагревание тел до миллионов градусов). В космосе есть небесные тела, подобные Земле, какой она была миллионы лет тому назад или какой она станет в далеком будущем. Поэтому, изучая космос, человек углубляет свои знания о Земле, в том числе и о самом себе.

Земля — это мизерная часть Вселенной. На процессы, протекающие в земной атмосфере, и на жизнедеятельность всех организмов на Земле существенное влияние оказывают другие планеты, а также Солнце и Луна. Это тоже объекты изучения астрофизики — науки, раскрывающей двери перед человечеством в крупнейший, удивительный и прекрасный мир звезд, комет, туманностей и галактик, определившей пространственные и временные масштабы этого динамического и сложного мира.

Раздел астрономии, изучающий происхождение и развитие небесных тел, называется **космогонией** (от греч. *kosmos* — Вселенная

и *genos* — происхождение). Космогония отвечает на вопросы, как и когда возникли Вселенная, галактики, звезды, планеты, какие на них происходят физические изменения и процессы.

Космология представляет собой учение о Вселенной в целом, о ее наиболее общих свойствах.

Значительно увеличила возможности изучения Земли и других небесных тел **космонавтика** (от греч. *kosmos* + *pautike* — кораблевождение) — наука о полетах в космическое пространство; совокупность отраслей науки и техники, которые проводят исследования и освоение космического пространства для нужд людей с использованием космических летательных аппаратов. Космонавтика решает следующие проблемы: расчет траектории, конструирование космических ракет, двигателей, бортовых систем управления, пусковых комплексов, систем связи и информации, создание бортовых систем обеспечения жизнедеятельности человеческого организма в условиях космического полета и др.

Основоположником космонавтики является выдающийся отечественный ученый Константин Эдуардович Циолковский (1857 — 1935), который теоретически обосновал возможность покорения космоса при помощи ракет. На практике это осуществил академик Сергей Павлович Королев (1906 — 1966). Начало практической космонавтике было положено 4 октября 1957 г., когда в нашей стране был запущен первый искусственный спутник Земли. Вскоре после этого, в 1959 г., были запущены отечественные межпланетные автоматические станции для исследования Луны и получены фотографии ее обратной, не видимой с Земли, стороны. Старт «Востока» 12 апреля 1961 г. с первым в мире космонавтом Юрием Алексеевичем Гагариным (1934 — 1968) на борту открыл век космических полетов.

В 1969 г. американские астронавты Н. Армстронг и Э. Олдрин вышли из космического корабля на поверхность Луны. Космические исследования не ограничиваются изучением Земли и ее спутника Луны. Уже запущены автоматические межпланетные станции к Марсу, Венере, Юпитеру. Обсуждается идея совместной экспедиции отечественных и американских астронавтов к планете Марс.

Единство законов природы для земных и космических явлений тесно связывает физику и астрономию. Так, движение планет вокруг Солнца и падение тел на землю происходит под действием одной и той же силы — силы тяготения (гравитационной). Движение космических аппаратов осуществляется по законам, которые были открыты на Земле при изучении движения свободно падающих тел.

Развитие астрономии, в частности астрофизики и космонавтики, способствует развитию физики. Вселенная для ученых представляет собой огромную физическую лабораторию. Вещество в ней находится нередко в таких состояниях, которые нельзя получить в земных условиях. Многие физические открытия были сделаны при анализе

явлений в космосе. Так, инертный газ гелий (от греч. *helios* — Солнце) был открыт при исследовании солнечного света, а затем его обнаружили в атмосфере Земли.

Роль физики в технике и производственной деятельности человека, в гуманитарных науках и искусстве

Развитие физики обусловлено потребностями техники. С одной стороны, необходимость технического прогресса определяет тематику физических исследований, с другой стороны, от уровня развития техники зависят возможности применяемой в научных исследованиях аппаратуры.

Между наукой и производством, наукой и практикой существуют довольно сложные отношения, но независимо ни от чего все эти виды человеческой деятельности не могут существовать без полной взаимобусловленности и взаимосвязи. Можно привести множество примеров, когда наука (теория) обгоняла практику и, наоборот, практика (техника) влияла на развитие теории.

Известно, что теоретические основы движения тел за пределами земного тяготения были сформулированы в трудах И. Кеплера (1571 – 1630) и И. Ньютона (1643 – 1727), открывших законы движения небесных тел и выяснивших причины этого движения. Однако от теории до практического использования этих законов в космонавтике прошло около трех столетий, пока не были подготовлены технические условия для запуска первого искусственного спутника Земли и полета человека в космос: изготовлены особо прочные материалы для постройки космического корабля, создано горючее для двигателей, разработаны средства управления и связи, а главное — открыт новый вид движения и сконструированы реактивные двигатели и ракеты, способные вывести полезную нагрузку за пределы Земли. Еще одним примером открытия, сделанного «на кончике пера», служит расчет орбиты планеты Нептун, а затем и ее обнаружение в 1846 г. Так было еще раз продемонстрировано величие науки, важное значение теории в процессе познания окружающего мира.

Приведем несколько обратных примеров. Несмотря на то что люди уже давно использовали в практике тепловые явления и даже создали паровые машины, теория тепловых двигателей была предложена Сади Карно лишь в 1824 г. и только тогда был показан метод исследования процессов и определения коэффициента полезного действия этих машин. Появились двигатели внутреннего сгорания, холодильные машины и реактивные двигатели.

Физика имеет огромное практическое значение. На основе фундаментальных физических теорий развиваются современная техника и вместе с ней производительные силы общества. В наши дни,

в эпоху интенсивного научно-технического прогресса, осуществляется непосредственная связь науки (прежде всего физики) с производством. Этим объясняется невиданный ранее технический прогресс, характерный для современного общества.

Вся современная техника основана на широком применении результатов исследований в физике. Физику поэтому считают основой техники, подчеркивая, что физика сегодня — это техника завтра. Примером, подтверждающим эту мысль, может служить компьютеризация современного производства, проникновение электронно-вычислительной техники во все сферы жизни человека. Движением современных воздушных и океанских лайнеров, полетом космических кораблей, автоматическими процессами управляют электронно-вычислительные машины (ЭВМ). Они производят сложнейшие математические расчеты и решают задачи в различных отраслях человеческой деятельности (от управления производством до медицины и лингвистики). В настоящее время создаются ЭВМ, производящие несколько миллионов математических операций в одну секунду. Как же велики силы человеческого ума, создавшего себе такого умного помощника!

Компьютеризация как одно из направлений научно-технического прогресса основана также на достижениях физики, в частности физической электроники, в рамках которой создаются компактные полупроводниковые и магнитные элементы, входящие в конструкции ЭВМ. Пока с компьютеризацией производства в нашей стране дело обстоит несколько хуже, чем в ряде других цивилизованных стран.

На законах физики основана работа разнообразных машин, используемых в промышленности, сельском хозяйстве, железнодорожном, воздушном, автомобильном, водном транспорте. Современная промышленность черной и цветной металлургии, машиностроение, химическая промышленность, станкостроение, пищевая промышленность, промышленность стройматериалов и многие другие отрасли народного хозяйства нуждаются в контроле и управлении технологическими процессами. Контроль и управление технологическими процессами в настоящее время при широко развитой автоматизации производств осуществляются разнообразными теплофизическими, электронными, радиоэлектронными, оптическими приборами и ЭВМ. Поэтому появились целые отрасли приборостроительной промышленности, неразрывно связанные с физическими лабораториями университетов и научно-исследовательских институтов Российской академии наук (РАН). Наука становится в физических лабораториях производительной силой.

Наша жизнь невозможна без энергетики, в основе которой лежат также законы разделов физики, таких как термодинамика, электродинамика, атомная и ядерная физика. О том, насколько развито государство и как в нем живет народ, судят по энерговооруженности

на душу населения. И тут нам предстоит много сделать, чтобы догнать развитые страны.

Достижения физики второй половины XX в. глубоко проникли и в другие отрасли научных знаний. Если ранее в области естественных наук происходил процесс обособления, дифференциации отдельных наук (биологии, геологии, химии и др.), то теперь в результате расцвета физических знаний и методов исследований вновь началось их сближение и появились интегративные науки, такие как биофизика, геофизика, физическая химия, химическая физика, агрофизика, астрофизика, радиоастрономия и др. Комплексное изучение физических процессов, происходящих в атмосфере, гидросфере и земной коре, разными науками позволяет оптимально и целенаправленно решать экологические проблемы, связанные с работой промышленности и транспорта. Величайшими достижениями в овладении космическим пространством человечество также обязано исследованиям ученых-физиков.

Люди с древних времен пользовались духовыми и струнными музыкальными инструментами. Однако развитие радиоэлектроники, физики электромагнитных колебаний способствовало созданию принципиально новых музыкальных инструментов. Цветомузыка вышла из периода лабораторных экспериментов и получила путевку в жизнь. Сейчас никого уже не удивляют звуковое, широкоэкранный и широкоформатное кино, стереокино, микрофоны, усилители, видеоманитофоны, стереопроекторы и другие аппараты записи и воспроизведения звука, а ведь в основе всего этого лежит физика!

Вам, может быть, кажется, что мы перегнули палку с высокой оценкой физики как лидера естествознания? Действительно, физика дала человеку не только выход в космос, ЭВМ, атомную энергию, но и трагедию Хиросимы, Нагасаки, Чернобыля. Не несет ли наука человечеству горе и страдания? Не следует ли в связи с этим притормозить развитие науки? Как бы вы ответили на эти вопросы? А вот что сказал по этому поводу известный физик А. Эйнштейн: «Открытие деления урана угрожает цивилизации не более чем изобретение спичек. Дальнейшее развитие человечества зависит от его моральных устоев, а не от уровня технических достижений». Подумайте над тем, как бы вы развили и обосновали эту мысль (подискутируйте с А. Эйнштейном).

Притормозить и остановить развитие науки нельзя. Наука обеспечивает развитие производства, при этом возникают новые вопросы, нуждающиеся в научных ответах. Потребности, возникающие в производстве, являются движущей силой развития науки. Но дело не только в этом. Выдающийся французский физик Луи де Бройль отмечал: «Научный прогресс во многом обязан чувству. Если он существует, то потому, что люди любили и любят науку». И эта любовь неистребима, так как человек — мыслящее существо. «Мыслию —

значит, существую», — подчеркивал французский мыслитель Р. Декарт. А мысли не остановишь. Останавливать надо не мысль, не науку, а безнравственные действия людей, которые в варварских и бесчеловечных целях используют самые выдающиеся достижения человеческого ума. Физику, как правило, делают люди с чистой совестью. Вот несколько штрихов к портретам отдельных физиков, отражающих их мысли и поступки.

Пьер Кюри — известный французский физик, изучавший радиоактивность, — подверг радиоактивному излучению свою руку, чтобы исследовать его физиологическое действие, тогда еще никому не известное. Возникла большая язва, которая медленно заживала, а он скрупулезно описывал воздействие излучения на руку и ход заживания язвы. В ответ на сообщение о представлении его к ордену он ответил: «Прошу Вас, будьте любезны передать господину министру мою благодарность и осведомить его, что я не имею никакой нужды в ордене, но весьма нуждаюсь в лаборатории». На вечере, посвященном его чествованию, главным занятием П. Кюри был подсчет в уме числа физических лабораторий, которые можно было бы оборудовать на выручку от продажи золотых и бриллиантовых украшений, принадлежащих дамам высшего общества, присутствовавшим на этом торжестве.

Как видим, роль физики в материальной и духовной жизни человека настолько велика, что ее элементы подобно литературе и музыке несомненно должны быть достоянием каждого культурного человека. По мнению лауреата Нобелевской премии профессора И. А. Раби, физика составляет сердцевину гуманитарного образования нашего времени.

Понятие о физической картине мира

Чрезвычайно велико философское значение физики. Представление о строении и развитии Вселенной в свете последних научных открытий, а также законов, описывающих известные формы движения материи, составляет современную физическую картину мира — основу научного мировоззрения. В то же время возникает вопрос: является ли эта картина вполне законченной, истинно отражающей реально существующий мир?

Стремление создать единую теорию, объясняющую общее развитие природы как на Земле, так и во всей Вселенной, имеет давнюю историю. Еще в XVIII в. сложилась механическая картина мира. Ученым того времени казалось, что закон всемирного тяготения и законы динамики И. Ньютона объясняют не только устойчивость Солнечной системы, но и всевозможные движения в окружающей человека природе, во Вселенной.

Основной смысл механической картины мира образно выразил один из создателей теоретической механики французский ученый

П. Лаплас: «Дайте мне начальные условия, и я рассчитаю весь мир». Следовательно, все многообразие явлений во Вселенной сводилось к чисто механическому движению.

В XIX в. началась коренная ломка общих представлений о законах природы, радикально изменившая все наше миропонимание. Благодаря развитию учения о свойствах света, а также электродинамике Д. К. Максвелла физика окончательно была освобождена от оков чисто механической картины мира, которая не могла объяснить многие наблюдаемые явления в природе. Началось становление новой электромагнитной, или классической, картины мира, в рамках которой механическое взаимодействие частиц и тел дополнялось электромагнитным взаимодействием. Однако неизблемым принципом, провозглашенным еще И. Ньютоном, оставался *принцип абсолютного пространства и времени*. Считалось, что пространство одинаково всегда и везде и не зависит ни от физических тел, которые в нем находятся, ни от явлений, которые в нем происходят. Образно говоря, пространство — это сцена, на которой разыгрываются реальные события. Но даже если на сцене нет «актеров», сцена остается сценой. В том же смысле говорилось и о времени. Оно течет само по себе равномерно во всех точках пространства и ни от каких физических процессов и явлений не зависит. Согласно классической картине мира Вселенная бесконечна в пространстве и времени и в целом абсолютно неизменна. Она всегда была таковой, какова сейчас, и всегда таковой останется. Только отдельные тела во Вселенной имеют свою историю. Они возникают, развиваются, гибнут. Из вещества погибших тел образуются новые тела. Говорить же об истории самой Вселенной не имеет смысла.

В XX столетии в связи с открытием релятивистских и квантовых законов физики произошел очередной революционный переворот в стиле человеческого мышления. Он расширил его рамки и принципы, уверенно вывел науку за пределы наглядного, в глубины мировоззрения. Современная физика овладела и оперирует формальным с такой же легкостью и уверенностью, как и наглядным. В этом неоценимый вклад новой физики в общечеловеческую культуру. При этом классическая картина мира уступила место современной. Эта смена происходила в упорной борьбе идей, гипотез, теорий. Наиболее важные из этих теорий — теория относительности, квантовая теория, теория горячей Вселенной — лежат в основе современной физической картины мира.

Итак, оглядываясь назад, мы видим, как по мере развития науки одна картина мира сменяла другую. Вот почему нельзя утверждать, что современная картина мира не будет заменена в будущем более совершенной.

Но тогда возникает вопрос: какой смысл ее изучать, а тем более классическую физику? На этот вопрос дал исчерпывающий ответ выдающийся датский физик, лауреат Нобелевской премии Нильс Бор.

Он выдвинул принцип, согласно которому **новая теория не отменяет старую теорию, а только включает ее в себя как частный предельный случай**. Действительно, при решении многих практических задач нас вполне устраивает классическая физика. Чтобы построить дом, собрать автомашину или токарный станок, запустить искусственный спутник Земли, достаточно прочных знаний классической физики. Однако создать лазер, атомный ледокол или термоядерный реактор без знаний современной физики уже нельзя.

В то же время, не изучив классическую физику, невозможно понять квантовую теорию и теорию относительности. Также невозможно осмыслить проблемы современной астрофизики и теорию горячей Вселенной, не разобравшись в вопросах элементарной астрономии, которая начинается с визуальных наблюдений неба.

Мир — это единое целое, и человек может и должен создать в своем сознании общую картину природы. Уверенность в этом была и есть источником неиссякаемого оптимизма и необычайной настойчивости, с которыми физики всех эпох искали и ищут общие законы природы, из которых складывается обобщенный образ, общая модель природы, лежащая в основе нашего миропонимания. «Человек стремится каким-то адекватным способом создать в себе прочную и ясную картину мира. Высшим долгом физиков является поиск тех общих элементарных законов, из которых можно получить картину», — отмечал А. Эйнштейн. Можно забыть законы Архимеда и Ома, явление диффузии и многое другое, что есть в физике (если ты не связан по своей профессии с точными науками), и быть культурным человеком. Однако у каждого из вас в результате изучения физики должно сложиться прежде всего общее понимание того, как устроен мир, т. е. *физическая картина мира*. Таким образом, **физика как наука, дающая методологические и мировоззренческие знания и нормы мышления, есть важнейший элемент общечеловеческой культуры**.

Темы докладов и рефератов

Материя, формы ее движения и существования.

Первый русский академик М. В. Ломоносов.

Великий Н. Коперник и революция в естествознании.

К. Э. Циолковский — основоположник космонавтики, ученый и патриот.

Достижения современной космонавтики и перспективы ее развития.

Искусство и процесс познания.

Физика и музыкальное искусство.

Воздействие света на произведения искусства.

Цветомузыка.

Физика в современном цирке.

Контрольные вопросы и задания

- 1.** Как понимают термин «физика» в современной науке?
- 2.** Что изучает физика и как? В чем состоит задача физики?
- 3.** Какие науки о природе вы знаете? Связаны ли они между собой?
- 4.** Почему физику считают лидером естествознания?
- 5.** Как связаны между собой физика и астрономия?
- 6.** Как связаны между собой физика и техника, физика и производство?
- 7.** Используя свои наблюдения за окружающим миром, попытайтесь привести примеры, иллюстрирующие применение физики в производстве и технике.
- 8.** В какие сферы жизни, по вашему мнению, еще не проник научно-технический прогресс?
- 9.** Не несет ли наука человечеству страдания? Ваша точка зрения?
- 10.** Какую роль играет физика в жизни современного общества?
- 11.** Какое место занимает физика в системе культуры в условиях научно-технического прогресса?
- 12.** В чем заключаются общечеловеческие ценности физики?
- 13.** Что представляет собой современная физическая картина мира?
- 14.** Каковы перспективы и направления развития современной научной картины мира?

РАЗДЕЛ I

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

ГЛАВА 1

ОСНОВЫ КИНЕМАТИКИ

§ 1.1. Общие сведения о движении

Классическая механика — фундаментальная физическая теория. Основы классической механики, сформулированные в XVII в. Галилеем и Ньютоном, считались незыблемыми более двух столетий до тех пор, пока в конце XIX в. и начале XX в. не были обнаружены явления, которые невозможно было объяснить на ее основе.

Однако самые первоначальные представления, с которых начала свое существование механика, были заложены в трудах Аристотеля в IV в. до н. э. (384 – 322 до н. э.). Древнегреческие ученые, к числу которых принадлежал Аристотель, утверждали, что главное средство изучения природы — размышление, его помощник — наблюдение.

В своем трактате «Физика», состоящем из восьми книг, Аристотель обобщил известные в те времена физические знания и высказал следующие взгляды на природу:

«Земля является центром Вселенной, вокруг нее движутся все остальные планеты, Солнце и звезды»;

«движется только движимое», т. е. только то, к чему приложена сила;

«пространство и время конечны: за сферой неподвижных звезд нет ни пространства, ни времени, ни движения» и т. д.

Именно с этих законов, далеких от истины, началось существование механики. Вместе с тем Аристотель сделал ряд правильных выводов, в частности дал достаточно полную классификацию механических движений, сформулировал закон прямолинейного распространения света. Хотя представления Аристотеля во многом были неверны, они оставались незыблемыми около двух тысячелетий, поскольку согласовывались с повседневным жизненным опытом человечества.

Позднее другой древнегреческий ученый Архимед (ок. 287 – 212 до н. э.) установил законы, которые дали толчок дальнейшему развитию физического знания, в том числе механики. Он сформулировал «золотое» правило механики, вывел формулу выталкивающей силы, действующей на тело, погруженное в жидкость, и т. д.

Родоначальником экспериментального метода физики был итальянский физик Галилео Галилей (1564 – 1642), который сумел пре-

одолеть многие ошибочные представления Аристотеля. Он доказал, что для сохранения состояния движения не нужна принудительная «движущая сила». Галилей, наблюдая движение тела по наклонной плоскости вверх и вниз, пришел к выводу, что не скорость, а ускорение пропорционально действующей силе. Далее Галилей установил, что «скорость, однажды сообщенная движущемуся телу, строго сохраняется, если устранены внешние причины ускорения или замедления» (закон инерции). Галилей также полагал, что с точки зрения механики совершенно равноправны тело, находящееся в покое, и тело, которое равномерно и прямолинейно движется, и что любой механический опыт, поставленный на равномерно и прямолинейно движущемся теле, будет протекать точно так же, как если бы оно покоилось (принцип относительности в механике). Таким образом, Галилей заложил основы механики как науки о движении.

Идеи Галилея успешно развил английский ученый Исаак Ньютон, который создал первую фундаментальную физическую теорию — классическую механику. Он сформулировал законы движения и взаимодействия тел, открыл закон всемирного тяготения, на основе которого можно рассчитать движение небесных тел, объяснить причины морских приливов и отливов действием Луны и т. д.

Ньютон считал, что открытые им законы движения едины для всех механических процессов, потому что в природе существует единое, так называемое *абсолютное время*, которое «само собой и по самой своей сущности без всякого отношения к чему-либо внешнему протекает равномерно и иначе называется длительностью». Он полагал также, что все тела природы размещены в однородном и неподвижном пространстве, законы которого определяются геометрией Эвклида. Движение тел относительно этого пространства ученый рассматривал как абсолютное движение, а законы этих движений — как абсолютные законы, обязательные для всех тел Вселенной. Свои взгляды Ньютон изложил в книге «Математические начала натуральной философии» (1687).

Современная наука называет механику, построенную на идеях Ньютона, *классической механикой* (лат. *classic* — образец). Ее построение (структура) послужило для ученых образцом при создании других физических теорий. Фундаментальный характер классической механики состоит в том, что ее основные понятия (масса, энергия, импульс, сила и др.) и законы широко используются в других физических теориях, а также позволяют объяснить все многообразие механических явлений и служат научной базой для создания огромного числа различных машин, механизмов, технических устройств, основанных на движении тел, — от обычного велосипеда до космической ракеты.

Классическая механика (и классическая физика в целом) описывает привычный нам мир, масштабы которого сравнимы с расстояниями, с которыми мы имеем дело в повседневной жизни.

Пространство и время. По современным представлениям наша Вселенная возникла примерно 15–20 млрд лет назад в результате взрыва огромной силы, который породил множество осколков из некоего плотного и горячего *прото вещества*, разлетающихся во все стороны с громадными скоростями. Иначе говоря, мы живем в расширяющейся Вселенной. Это расширение, как и все другие процессы в природе, происходит в пространстве и во времени.

Что же такое — пространство и время? У каждого человека с детства на основе личного жизненного опыта вырабатываются определенные интуитивные представления об этих понятиях, кажущихся на первый взгляд весьма простыми. Действительно, время — это то, что показывают часы, а пространство — это существование в природе физических тел, занимающих определенный объем. Но по мере взросления, когда человек больше узнает об окружающем мире, для него эти понятия наполняются более глубоким смыслом. В физике нет ни одного закона, явления, процесса, которые не включали бы в себя пространственные и временные характеристики.

Пространство и время — фундаментальные физические понятия, связанные с формами существования материи. Их нельзя четко определить, но можно описать.

Чередование различных событий, а также возникновение и прекращение многообразных процессов, различающихся своей длительностью, определяют то, что мы называем *временем*. В более строгом определении время выражает порядок смены физических состояний каких-либо событий и является объективной характеристикой физического процесса или явления.

Промежутки времени между событиями определяются с помощью показаний часов — приборов, в основу которых положены какие-либо повторяющиеся процессы или явления. Примером таких процессов могут служить колебания маятника, вращение Земли вокруг собственной оси, колебания атомов и др. В средние века часто использовались песочные часы. Современными наиболее точными часами являются атомные часы, с помощью которых в настоящее время устанавливается основная единица времени — секунда (с).

Основными свойствами времени являются одномерность и однородность. *Одномерность* времени проявляется в том, что для указания момента изучения какого-то события или длительности какого-либо процесса достаточно одного числа. Например, можно указать дату события, считая от Рождества Христова. *Однородность* времени проявляется в постоянстве законов природы, т. е. они справедливы всегда (вчера, сегодня, завтра).

Существование протяженности у материальных объектов, наличие у них границ и внутренней структуры определяет понятие *пространства*. Опыт говорит о том, что **пространство является трехмерным, однородным и изотропным**. *Трехмерность* физического пространства означает, что положение любой точки или места, в ко-

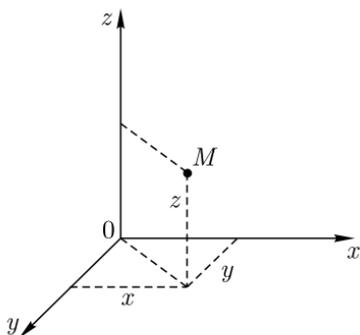


Рис. 1.1

тором происходят какие-либо события, определяется тремя числами — x , y , z , называемыми пространственными координатами (рис. 1.1). *Однородность* физического пространства проявляется в том, что одни и те же законы действуют одинаково во всех уголках Вселенной. *Изотропность* физического пространства проявляется в постоянстве физических законов по всем направлениям.

В пространственной структуре нашего мира различают три уровня:

мегамир — это мир огромных астрономических систем — галактик, включающих в себя сотни миллиардов звезд. Все вместе они образуют Вселенную;

макромир — это мир, в котором мы живем, наблюдая окружающие нас тела — от песчинки до планет Солнечной системы;

микромир — это мир молекул, атомов, элементарных частиц (электронов, протонов и т. д.).

В классической механике будем рассматривать лишь те явления, которые происходят на уровне макромира.

Механическое движение. В окружающем нас мире все находится в непрерывном движении: движутся люди, детали машин и механизмов, планеты и звезды, вода и воздух, мельчайшие частицы вещества (атомы и молекулы) и галактики. Простейшей формой движения является механическое движение. **Механическое движение — это изменение с течением времени взаимного расположения тел или их частей относительно друг друга.**

Каждый из нас обычно легко отличает движущееся тело от неподвижного. Если положение тела меняется относительно окружающих его других тел, то считаем, что тело движется, если не меняется — тело покоится.

В окружающем нас мире нет абсолютно неподвижных тел. Движутся все тела и частицы, из которых эти тела состоят. Например, столы в аудитории неподвижны относительно самой аудитории и относительно друг друга, но в то же время они вместе с Землей движутся относительно Солнца, участвуя в суточном вращении Земли. Механическое движение относительно; относительно и состояние покоя. *Относительность является важным и неотъемлемым свойством любого механического движения.* Понятие относительности движения можно проиллюстрировать примером (рис. 1.2): во время заправки реактивных самолетов в полете самолеты относительно поверхности Земли движутся со скоростями в несколько сот километров в час, тогда как относительно друг друга они покоятся.

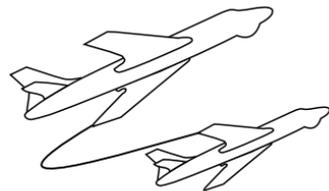


Рис. 1.2

Система отсчета. Для изучения движения какого-либо объекта прежде всего нужно выбрать тело, относительно которого рассматривается движение. Такое тело обычно называют **телом отсчета**. Любое тело может служить телом отсчета, однако выбор не каждого из них оказывается удобным. Так, перемещение автомобиля удобнее рассматривать относительно Земли, а не Солнца или Луны. Наоборот, движение планет целесообразнее (поскольку их траектории будут более простыми) рассматривать относительно Солнца, а не Земли или другой планеты. Для описания изменения положения предметов на Земле чаще всего за тело отсчета принимают тело, неподвижно связанное с Землей (дом, телеграфный столб, дерево и т. д.).

Если заранее не условиться о выборе тела отсчета, то будет непонятно, о каком движении идет речь. Пусть, например, на палубе теплохода, плывущего по реке, сидит пассажир. С точки зрения наблюдателя, находящегося на палубе, пассажир не движется. Стоящий же на берегу реки наблюдатель увидит его перемещение. Если по берегу реки едет автомобиль параллельно плывущему теплоходу с такой же скоростью, то относительно автомобиля теплоход и пассажир на его палубе не изменяют своего положения.

С телом отсчета обычно связывают *систему координат* (см. рис. 1.1). Положение движущегося тела M (на рис. 1.2 — самолет) определяется в каждый момент времени t тремя координатами: x , y , z . Координаты с течением времени изменяются, т. е. представляют собой функции времени. Если движение происходит в плоскости, то за систему координат удобно принять две взаимно перпендикулярные прямые $0x$ и $0y$, лежащие в той плоскости, в которой перемещается тело (на рис. 1.3 — автомобиль). Наконец, когда тело движется прямолинейно, то одну из координатных осей (например, $0x$) можно совместить с прямой, по которой движется тело, и надобность в остальных двух осях отпадает.

Для полного описания движения кроме тела отсчета и системы координат нужно выбрать еще способ измерения времени. Время измеряют с помощью часов, неподвижных относительно тела отсчета.

Тело отсчета, связанную с ним систему координат и выбранный способ измерения времени принято называть системой отсчета. Для описания движения тела в выбранной системе отсчета нужно знать, как с течением времени изменяются координаты движущегося тела.

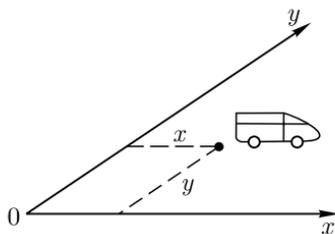


Рис. 1.3

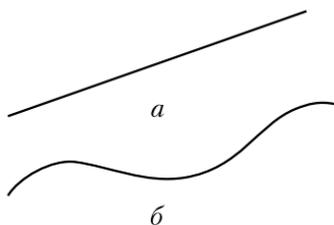


Рис. 1.4

Материальная точка. Любое тело имеет бесконечное множество точек, поэтому указать его точное положение в пространстве практически невозможно, так как необходимо указывать координаты всех точек тела. Указать координаты всех точек тела при его движении еще сложнее, поскольку эти координаты при движении постоянно меняются. В том случае, когда размерами

тела можно пренебречь, движение всех точек тела можно не рассматривать, а достаточно рассмотреть движение только одной его точки, в которой сосредоточена вся масса тела. **Тело, размерами и формой которого в условиях данной задачи можно пренебречь, называют материальной точкой.** Словом «материальная» подчеркивается ее отличие от геометрической точки, не обладающей вообще никакими физическими свойствами, по крайней мере массой.

Какое тело можно рассматривать как материальную точку, зависит не от размеров самого тела, а от конкретных условий задачи. Одно и то же тело в одних случаях может считаться материальной точкой, в других — должно рассматриваться как протяженное тело. Например, космический корабль с точки зрения наблюдателя, находящегося в Центре управления полетом на Земле, может рассматриваться как материальная точка, но для космонавта, переходящего на этот корабль из космической станции, он имеет протяженные размеры.

Траектория, путь и перемещение. Линия, которую описывает тело при своем движении, называется траекторией. Если траектория тела — прямая линия, то движение называется прямолинейным (рис. 1.4, *a*). Если она представляет собой кривую линию, то движение называется криволинейным (рис. 1.4, *б*).

Траекторию реактивного самолета, летящего на большой высоте, мы видим благодаря оставляемому им за собой туманному белому следу, траекторию автомобиля или велосипеда — благодаря отпечаткам шин колес на влажной грунтовой дороге. Форма траектории зависит от выбора системы отсчета. Допустим, что за борт едущего равномерно по прямолинейному участку шоссе грузовика уронили предмет (рис. 1.5). По отношению к автомобилю этот предмет падает вертикально, тогда как относительно шоссе он движется по кривой линии.

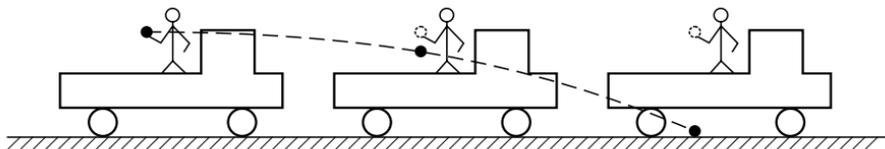


Рис. 1.5

Рассмотрим другой пример: движение точек пропеллера самолета, летящего горизонтально, относительно самолета и относительно Земли. Понятно, что относительно самолета точки описывают окружность, но относительно Земли их траектории имеют форму винтовой линии, поскольку они движутся вместе с самолетом в горизонтальном направлении (рис. 1.6).

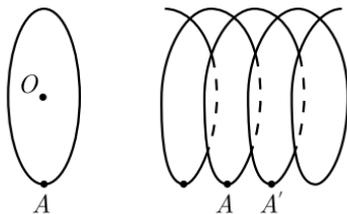


Рис. 1.6

Путь — это расстояние, пройденное телом вдоль траектории. Если измерить пройденное точкой расстояние от начального пункта движения до конечного вдоль траектории, то получим *длину пути* s (или просто путь), который точка прошла за некоторый промежуток времени. Путь, как и всякая длина, — величина скалярная; он измеряется в метрах (или других единицах длины) и показывает, как далеко переместилась точка по своей траектории, но ничего не говорит о том, в какую сторону она переместилась и где находится в данный момент. Для определения положения тела в произвольный момент времени надо знать не пройденный им путь, а его перемещение. **Перемещением \vec{r} называют вектор, проведенный из начального положения движущейся точки в ее положение в настоящий момент** (рис. 1.7). Физический смысл перемещения заключается в том, что оно показывает, на какое расстояние и в каком направлении сместилось тело за данное время.



Рис. 1.7

Путь и перемещение — разные физические величины. Поясним это. Предположим, что рыбак должен перебраться с одного берега озера на другой (рис. 1.8). Он может обойти озеро в одном или другом направлении или же переплыть на лодке. В любом случае конечная точка (перемещение \vec{AB}) одна и та же, но путь рыбака в каждом случае будет неодинаковой длины. Вектор перемещения, вообще говоря, не совпадает с траекторией точки. Они совпадают только при прямолинейном движении.

Из рис. 1.8 видно также, что в общем случае пройденный рыбаком путь AB не равен модулю вектора перемещения \vec{AB} : $AB \neq |\vec{AB}|$. Более того, в случае *замкнутой траектории*, т. е. когда начальная и конечная точки траектории совпадают, перемещение равно нулю, в то время как пройденный путь может исчисляться километрами.

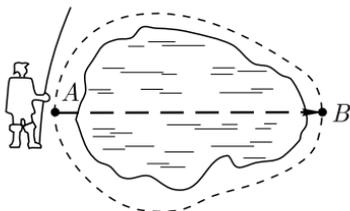


Рис. 1.8

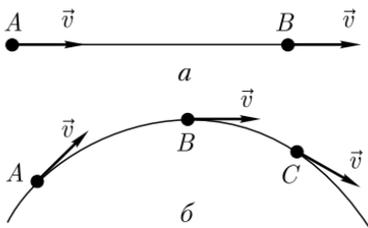


Рис. 1.9

Равномерное прямолинейное движение. Скорость. Простейший вид механического движения — это *равномерно-прямолинейное движение*, при котором материальная точка за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения. Примером этого движения может служить падение шарика в масле, снижение парашютиста вблизи поверхности земли с раскрытым парашютом и т. д.

Для характеристики быстроты и направления движения тела служит векторная величина, называемая **скоростью**. В случае равномерного прямолинейного движения скоростью называют векторную величину, численно равную отношению перемещения ко времени, за которое оно совершено. Отсюда следует, что скорость равномерного прямолинейного движения показывает, какое перемещение совершает материальная точка за единицу времени. Таким образом, скорость измеряется отношением перемещения \vec{r} за промежутки времени t к этому промежутку времени:

$$\vec{V} = \frac{\vec{r}}{t}. \quad (1.1)$$

Единица измерения скорости в СИ — 1 м/с.

В случае прямолинейного движения скорость направлена так же, как и перемещение (рис. 1.9, а), а при криволинейном — по касательной к траектории (рис. 1.9, б).

Сложение перемещений и скоростей. Система отсчета, относительно которой рассматривается движение тела, сама может перемещаться относительно какой-то иной системы отсчета, принимаемой за неподвижную. Например, система отсчета, связанная с вагоном поезда, движется по отношению к системе, связанной со станцией. Рассмотрим, как можно определить перемещение и скорость пассажира в неподвижной системе отсчета «станция», зная его перемещение и скорость в подвижной системе отсчета «вагон» и относительное движение этих систем.

Итак, пассажир идет по вагону и вместе с ним движется относительно станции. За время t перемещение вагона равно \vec{r}_1 , а пассажира в вагоне \vec{r}_2 . Тогда перемещение пассажира относительно станции

$$\vec{r} = \vec{r}_1 + \vec{r}_2. \quad (1.2)$$

Если пассажир идет по ходу поезда, то направления векторов \vec{r}_1 и \vec{r}_2 совпадают (рис. 1.10, а), перемещение \vec{r} направлено так же, как \vec{r}_1 и \vec{r}_2 , а его модуль (длина) равен сумме модулей (длин) векторов \vec{r}_1 и \vec{r}_2 :

$$r = r_1 + r_2.$$

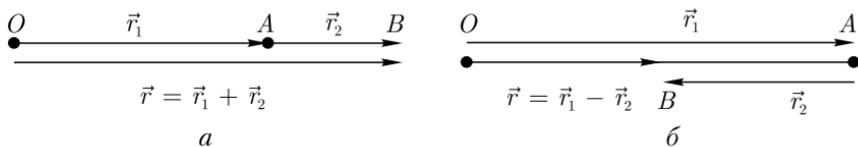


Рис. 1.10

Если пассажир идет против хода поезда, то векторы \vec{r}_1 и \vec{r}_2 имеют противоположные направления (рис. 1.10, б), перемещение \vec{r} направлено в сторону большего из них (\vec{r}_1), а его модуль равен разности модулей векторов \vec{r}_1 и \vec{r}_2 :

$$r = r_1 - r_2.$$

Рассмотрим, как складываются перемещения, образующие между собой некоторый угол, например при полете самолета в ветреную погоду. Пусть самолет летит с запада на восток со скоростью \vec{v}_1 относительно воздуха, а дующий в это время южный ветер имеет скорость \vec{v}_2 относительно поверхности Земли. Тогда самолет будет перемещаться относительно воздуха с запада на восток и вместе с ветром на север. За время t его перемещение будет: $\vec{r}_1 = \vec{v}_1 t$, а вместе с воздухом (телом отсчета) на юг $\vec{r}_2 = \vec{v}_2 t$. Отложим от точки A перемещение \vec{r}_1 самолета относительно воздуха и перемещение \vec{r}_2 самолета вместе с воздухом по отношению к Земле (рис. 1.11). В результате этих двух перемещений самолет попадет в точку B . Таким образом, определение суммарного перемещения \vec{r} сводится к нахождению диагонали параллелограмма, сторонами которого служат перемещение самолета относительно воздуха \vec{r}_1 и его перемещение вместе с воздухом \vec{r}_2 . Это правило сложения двух перемещений часто называют *правилом параллелограмма*, его смысл ясен из рис. 1.11. По правилу параллелограмма складываются и скорости, поскольку скорость движения определяется перемещением тела в единицу времени.

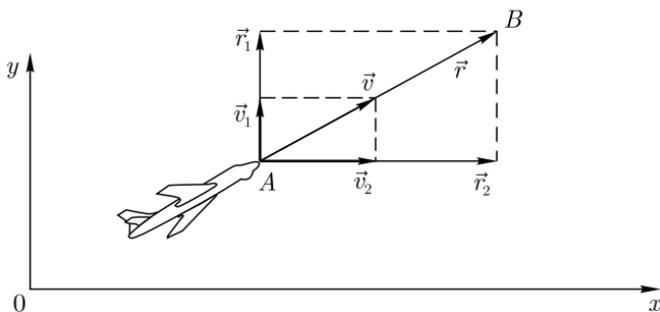


Рис. 1.11

В качестве примера рассмотрим использование правила сложения скоростей при запуске искусственных спутников Земли. Для вывода спутника на орбиту ему надо сообщить относительно центра Земли скорость около 8 км/с. Вследствие вращения Земли спутник, находясь еще на ее поверхности, обладает скоростью \vec{v}_1 , равной скорости движения места запуска. Если спутник запускается в восточном направлении, то его скорость равна $\vec{v}_1 + \vec{v}_2$, где \vec{v}_2 — скорость, сообщаемая ему реактивными двигателями. Значит, двигатели сообщают ему в этом случае скорость, меньшую 8 км/с на \vec{v}_1 . При запуске спутника в западном направлении его скорость будет $\vec{v}_1 - \vec{v}_2$, и ракетные двигатели должны сообщить ему скорость, большую 8 км/с на \vec{v}_1 . Таким образом, спутники выгоднее запускать в восточном направлении и с малых широт (где больше \vec{v}_1). Поэтому космодромы, откуда производятся запуски космических кораблей и спутников, целесообразнее строить поближе к экватору.

§ 1.2. Неравномерное прямолинейное движение

Наблюдая движение автобуса, трамвая, поезда, мы замечаем, что на одних участках пути они движутся быстрее, на других — медленнее, а на остановках скорость их движения равна нулю. Иными словами, скорость движения этих тел изменяется с течением времени. Такого рода движение называют **неравномерным**, или **переменным**.

Средняя скорость. На рис. 1.12 показаны положения санок, которые сначала скатываются по наклонной плоскости (ледяной поверхности горки), а затем движутся по горизонтальному участку, через равные промежутки времени. Сравнивая перемещения санок за одинаковые промежутки времени, видим, что при скатывании санок с ледяной горки расстояние между ними увеличивается, следовательно, скорость санок возрастает. Скатившись с горки, санки постепенно замедляют свое движение — за равные промежутки времени уменьшается расстояние, пройденное санками.

При неравномерном движении тело совершает за одинаковые промежутки времени неодинаковые перемещения. Скорость такого перемещения изменяется от точки к точке траектории движения. Для

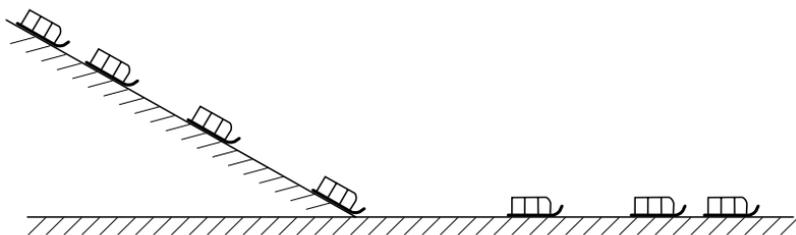


Рис. 1.12

характеристики переменного (неравномерного) движения пользуются понятием *средней скорости*. Для нахождения средней скорости на данном участке пути (или за данное время) надо пройденный телом путь разделить на время его движения:

$$v_{\text{cp}} = \frac{s}{t}. \quad (1.3)$$

Если тело проходит участки пути $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$ соответственно за время $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$, то средняя скорость

$$v_{\text{cp}} = \frac{s_1 + s_2 + s_3 + \dots + s_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}.$$

Приведем пример расчета средней скорости при переменном движении. Троллейбус, двигаясь с остановками по прямолинейному участку дороги, за три часа переместился на 114 км. Определим среднюю скорость его движения:

$$v_{\text{cp}} = \frac{114 \text{ км}}{3 \text{ ч}} = 38 \text{ км/ч}.$$

Средняя скорость дает представление только о быстроте прохождения пути. Она не определяет направления движения и является скалярной величиной.

Мгновенная скорость. Часто на практике нужно знать скорость не среднюю, а в определенный момент времени или, что то же самое, в данной точке траектории. Например, для расчета движения космического корабля важно знать его скорость в момент отделения ступеней ракеты-носителя, при прекращении работы двигателей, в момент вхождения в плотные слои атмосферы при спуске и т. д. **Скорость, которую имеет тело в данный момент времени (в данной точке траектории), называют мгновенной скоростью.** Мгновенная скорость — векторная величина. Спидометры, устанавливаемые на автомобилях, мотоциклах, показывают модуль (численное значение) этой скорости.

Для выяснения физического смысла мгновенной скорости удобнее рассмотреть движение тела по криволинейной траектории AB (рис. 1.13, a) за время t_1 .

Сравним среднюю скорость за достаточно малый промежуток времени с мгновенной скоростью в точке A . Средняя скорость на участке AB рассчитывается по формуле $\vec{v}_1 = \vec{r}_1/t_1$, где \vec{r}_1 — перемещение тела. Уменьшая одновременно участок траектории (и соответственно перемещение) и промежутки времени ($t_1 > t_2 > t_3 > \dots$), получим среднюю скорость на каждом участке: $\vec{v}_2 = \vec{r}_2/t_2$; $\vec{v}_3 = \vec{r}_3/t_3$ и т. д. С уменьшением перемещения исчезает разница между дугой и хордой, стягивающей эту дугу. Промежуток времени может быть

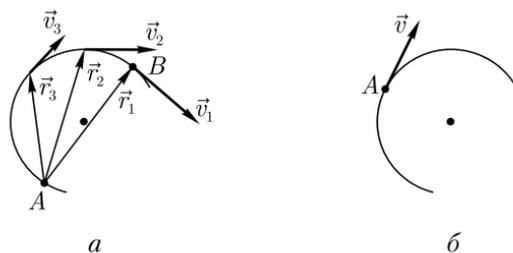


Рис. 1.13

настолько мал ($\Delta t \rightarrow 0$), что за это время можно пренебречь изменением скорости, а движение можно считать равномерным и прямолинейным. В этом случае среднюю скорость можно считать мгновенной скоростью в точке A (рис. 1.13, б).

Таким образом, для нахождения мгновенной скорости в данной точке траектории нужно очень малое перемещение $\Delta \vec{r}$ на участке, включающем эту точку, разделить на очень малый промежуток времени Δt , за который это перемещение произошло. Математически это можно выразить так:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \vec{v}_{\text{ср}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}. \quad (1.4)$$

Под символом « \lim » (предел) записывается условие, при котором выполняется предельный переход. В рассматриваемом случае — это стремление к нулю промежутка времени ($\Delta t \rightarrow 0$). Поэтому **мгновенной скоростью называют предел, к которому стремится средняя скорость за бесконечно малый промежуток времени.**

Скорость равномерного прямолинейного движения тела является его мгновенной скоростью, так как она одинакова в любой момент времени и в любой точке траектории.

При криволинейном движении мгновенная скорость в любой точке траектории направлена по касательной к кривой в этой точке (рис. 1.13, б). Примером могут служить искры, возникающие при заточке ножа на вращающемся наждачном круге. Они летят с такой же скоростью, какую каждая из них имела в последний момент времени движения вместе с точильным камнем. Направление движения искр (раскаленных частиц) совпадает с касательной к окружности в той точке, где стальной предмет (нож) касался камня.

При прямолинейном движении касательная совпадает с траекторией (прямой линией).

Ускорение. При переменном движении в одних случаях скорость может изменяться очень быстро, в других — медленно. Например, поезд приобретает скорость 20 км/ч в течение 45...50 с, а ракета при запуске за несколько минут получает скорость 2000...5000 м/с. Для

характеристики быстроты изменения скорости тела вводят понятие ускорения.

Физическая величина, характеризующая быстроту изменения скорости и равная отношению изменения скорости $\Delta\vec{v}$ к промежутку времени Δt , за которое произошло это изменение, называется средним ускорением:

$$\vec{a}_{\text{ср}} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}. \quad (1.5)$$

Среднее ускорение представляет собой вектор, направленный вдоль $\Delta\vec{v}$, и характеризует быстроту изменения скорости за *определённый конечный* промежуток времени. Неограниченно уменьшая этот промежуток ($\Delta t \rightarrow 0$), приходим к другой физической величине. Эта **величина, характеризующая быстроту изменения скорости в *данный* момент времени, называется ускорением:**

$$\vec{a} = \lim \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}. \quad (1.6)$$

Если обозначить через $v_2 = v$ скорость в момент времени $t_2 = t$, через $v_1 = v_0$ скорость в начальный момент времени ($t_1 = 0$), а промежуток времени Δt через t ($t_2 - t_1 = t - 0 = t$), то, учитывая (1.5) и (1.6), получим

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}. \quad (1.7)$$

Единица измерения ускорения в СИ — 1 м/с^2 .

В отличие от вектора скорости, который всегда направлен по касательной к траектории, вектор ускорения может иметь составляющие, направленные как по касательной, так и по нормали к траектории. При прямолинейном неравномерном движении направление вектора \vec{a} совпадает с направлением изменения скорости $\Delta\vec{v}$, причем $\vec{a} > 0$, если $\Delta\vec{v} > 0$ и $\vec{a} < 0$, если $\Delta\vec{v} < 0$. При равномерном движении по окружности ($|\vec{v}| = \text{const}$) направление вектора \vec{v} постоянно меняется. В этом случае вектор \vec{a} перпендикулярен вектору скорости \vec{v} .

При движении по криволинейной траектории вектор $\Delta\vec{v}$, а следовательно, и вектор ускорения \vec{a} направлены в сторону вогнутости траектории (рис. 1.14).

Таким образом, ускорение всегда имеет такое же направление, как и изменение скорости.

Скорость и путь в случае равноускоренного прямолинейного движения. Движение тела, при котором его скорость за любые равные промежутки времени изменяется одинаково, называют **равноускоренным** (или равнопеременным). При равноускоренном прямолиней-

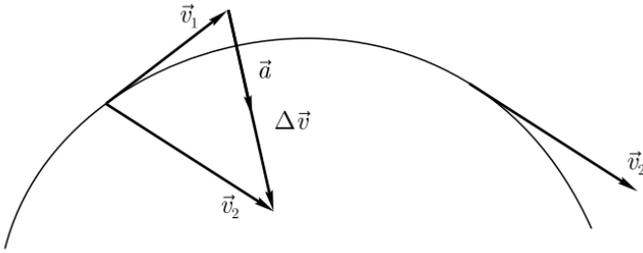


Рис. 1.14

ном движении ускорение есть величина постоянная ($\vec{a} = \text{const}$). Из формулы (1.7) можно получить выражение для мгновенной скорости равноускоренного движения:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t. \quad (1.8)$$

Таким образом, если известны начальная скорость тела (в момент времени $t = 0$) и ускорение, то мы можем найти скорость равноускоренного движения тела в любой момент времени. График скорости при $a = \text{const}$ и начальной скорости v_0 представлен на рис. 1.15.

Путь, пройденный телом при любом переменном движении, в том числе и равноускоренном, можно вычислить по формуле $s = v_{\text{cp}}t$. Так как средняя скорость при равнопеременном движении за некоторый промежуток времени t определяется как

$$v_{\text{cp}} = \frac{v + v_0}{2},$$

то

$$s = \frac{v + v_0}{2} t.$$

Но $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$, поэтому

$$s = \frac{v_0 + v_0 + at}{2} t, \quad \text{или} \quad s = v_0 t + \frac{at^2}{2}. \quad (1.9)$$

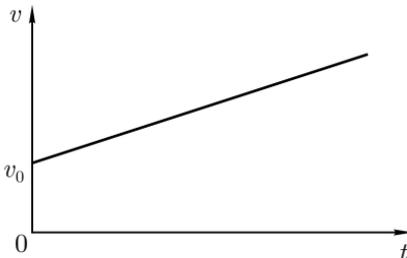


Рис. 1.15

Формулу (1.9) можно также легко получить, воспользовавшись графическим методом (рис. 1.16). Рассмотрим малый промежуток времени Δt . На основе определения средней скорости времени Δt , пройденный за промежуток времени Δt , можно записать в виде $\Delta s = v_{\text{cp}} \Delta t$. Площадь Δs численно равна площади полоски, мало отличающейся от прямо-

угольника, которая имеет ширину Δt и высоту v_{cp} . Если промежуток времени Δt выбрать достаточно малым, то значение средней скорости v_{cp} на интервале Δt можно заменить на значение мгновенной скорости v в любой точке этого интервала:

$$\Delta s = v \Delta t.$$

Это соотношение выполняется тем точнее, чем меньше промежуток времени Δt . Полный

путь s определяется площадью трапеции (см. рис. 1.16), ограниченной осями t и v , графиком скорости и вертикальным отрезком, проходящим через точку текущего времени на оси t . Так как площадь трапеции равна произведению полусуммы оснований на высоту, то

$$s(t) = \frac{1}{2}(v_0 + v(t))t.$$

Подставляя сюда значение $v(t)$ из формулы (1.8), получаем выражение, аналогичное (1.9):

$$s(t) = v_0 t + \frac{at^2}{2}.$$

График движения, описываемый формулой (1.9) при $v_0 = 0$, представляет собой отрезок параболы (рис. 1.17). Тангенс угла наклона касательной к графику движения определяет изменение скорости.

Формулы мгновенной скорости (1.8) и пути (1.9) называют *уравнениями равнопеременного прямолинейного движения*. С их помощью можно решить любую задачу на равнопеременное движение. Однако если в условии задачи не дано время движения, то ее можно решить, пользуясь соотношением между пройденным путем и конечной скоростью движения. Получим его. В формулу пути $s = v_{cp} t$ подставим зна-

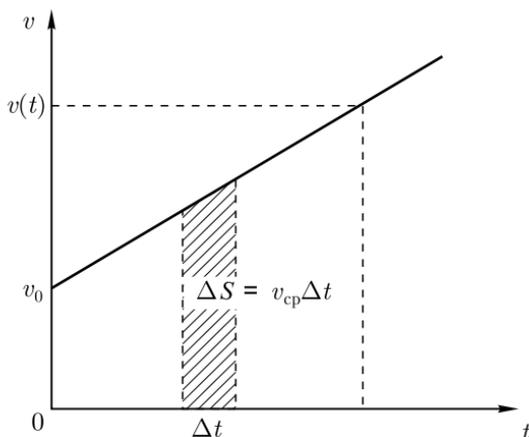


Рис. 1.16

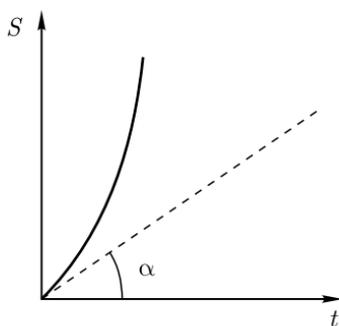


Рис. 1.17

чение средней скорости и время движения $t = \frac{v - v_0}{a}$, найденное из уравнения скорости:

$$s = \frac{v_0 + v}{2} \frac{v - v_0}{a} = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}, \quad \text{или} \quad v^2 - v_0^2 = 2as. \quad (1.10)$$

Если начальная скорость v_0 равна нулю, то формулы (1.8) – (1.10) упрощаются:

$$v = at; \quad s = \frac{at^2}{2}; \quad v^2 = 2as. \quad (1.11)$$

Поскольку при равнопеременном движении ускорение постоянно ($\vec{a} = \text{const}$), то графиком ускорения будет прямая, параллельная оси времени (рис. 1.18). Зависимость скорости от времени представляет собой линейную функцию (см. формулу (1.8)), а из курса математики известно, что график такой функции – прямая линия (рис. 1.19), отсекающая на оси ординат отрезок длиной $0v_0$. Очевидно, что если начальная скорость равна нулю, то график скорости проходит через начало координат.

По графику скорости можно определить ускорение. В самом деле, тангенс угла α наклона графика к прямой, параллельной оси абсцисс, равен отношению отрезка BC , численно равного приращению скорости $v - v_0 = at$, к отрезку AC , численно равному промежутку времени t после начала движения (см. рис. 1.19):

$$\text{tg } \alpha = \frac{BC}{AC} = \frac{at}{t} = a.$$

Значит, чем больше ускорение, тем круче идет график. Таким образом, если зависимости скорости от времени для нескольких тел заданы в виде графиков (рис. 1.20), то можно легко определить, какое из них движется с большим ускорением: тело 1 движется с большим ускорением, чем тело 2, а тело 3 движется равнозамедленно.

Графическое представление зависимости скорости от времени дает возможность сравнительно быстро качественно и количественно

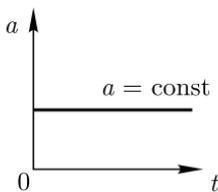


Рис. 1.18

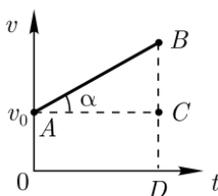


Рис. 1.19

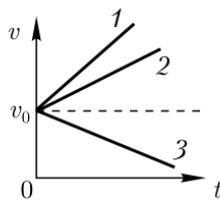


Рис. 1.20

оценить движение. Например, по графику скорости (рис. 1.21) проследим за движением электропоезда: он начал движение из состояния покоя и до момента времени t_1 двигался равноускоренно, затем до момента времени t_2 поезд шел равномерно со скоростью v_1 , в промежутке времени $t_3 - t_2$ он двигался равнозамедленно до полной остановки и в течение времени $t_4 - t_3$ стоял, потом снова начал двигаться равноускоренно и т. д.

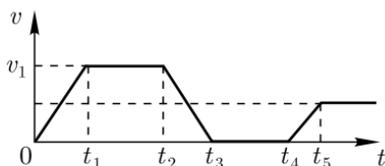


Рис. 1.21

Свободное падение тел. Важным случаем равнопеременного движения является *свободное падение тел*, которое впервые подробно изучал Галилео Галилей. Он установил, что при таком движении скорость возрастает прямо пропорционально времени движения. При этом скорость для всех тел менялась одинаковым образом. В этом можно убедиться на опыте с прозрачной толстостенной трубкой, один конец которой запаян, а другой снабжен краном.

Поместим в трубку три разных предмета, например дробинку, пробку и птичье перо. Затем, быстро перевернув трубку, увидим, что все тела упадут на дно трубки в разное время: сначала дробинка, потом пробка и, наконец, перо. С помощью насоса удалим воздух из трубки и повторим опыт. В этом случае все предметы упадут одновременно, т. е. *ускорение свободного падения для всех тел одинаково* ($g = 9,8 \text{ м/с}^2$).

Поскольку свободное падение тел обычно происходит без начальной скорости, для него справедливы формулы (1.11). В системе отсчета, связанной с поверхностью Земли, когда ось координат направлена вертикально вниз, эти формулы записываются так:

$$a = g; \quad v = gt; \quad h = gt^2 / 2; \quad v^2 = 2gh. \quad (1.12)$$

Если падающему телу сообщена начальная скорость, направленная вниз, то уравнения его движения в той же системе отсчета принимают вид

$$v = v_0 + gt; \quad h = v_0 t + gt^2 / 2; \quad v^2 - v_0^2 = 2gh. \quad (1.13)$$

Очевидно, что если тело бросить вертикально вверх, то оно будет двигаться с начальной скоростью v_0 , направленной вверх, и ускорением g , направленным вниз. В системе отсчета, связанной с поверхностью Земли (если ось координат направлена вертикально вверх), получим

$$a = -g; \quad v = v_0 - gt; \quad h = v_0 t - gt^2 / 2. \quad (1.14)$$

§ 1.3. Криволинейное движение

Особенность криволинейного движения. При криволинейном движении скорость направлена по касательной к траектории, т. е. направление скорости изменяется от точки к точке. Если модуль скорости не меняется, то еще нельзя считать такую скорость постоянной. Ведь скорость — величина векторная, а для векторных величин модуль и направление — одинаково важные характеристики. Поэтому *криволинейное движение — всегда движение с ускорением.*

Равномерное движение тела по окружности является простейшим видом криволинейного движения. В этом случае в различные моменты времени векторы мгновенной скорости равны по модулю, но различны по направлению (рис. 1.22).

Равномерное движение по окружности обладает замечательной особенностью — оно периодически: через определенные промежутки времени положение материальной точки, а также ее кинематические характеристики (перемещение, скорость, ускорение) повторяются. Поэтому кроме уже известных величин, описывающих любое движение, здесь используются специфические величины, описывающие повторяемость движения, — период T и частота ν .

Период — промежуток времени, за который тело совершает один полный оборот. Период обращения измеряется в тех же единицах, что и время, — в секундах (с) в СИ.

Частотой называется физическая величина, определяющая число оборотов, которое тело совершает за единицу времени, двигаясь по окружности. Единица частоты в СИ — Герц ($1 \text{ Гц} = 1 \text{ с}^{-1}$).

Если материальная точка за время t совершает N оборотов по окружности, то согласно определению периода $T = t/N$, а по определению частоты $\nu = N/t$. За время, равное периоду T , материальная точка совершит один оборот. Следовательно,

$$\nu = \frac{1}{T}. \quad (1.15)$$

Таким образом, частота и период — взаимно обратные величины.

Связь линейной скорости с периодом и частотой. Скорость тела, определяемая отношением длины пройденного пути s по окружности к соответствующему промежутку времени t , называется линейной (окружной) скоростью:

$$v = \frac{s}{t}, \quad (1.16)$$

где s — длина дуги.

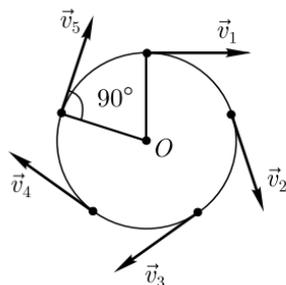


Рис. 1.22

За время, равное периоду T , материальная точка, двигаясь по окружности, пройдет путь, равный длине окружности: $s = 2\pi R$. Следовательно,

$$v = \frac{2\pi R}{T}, \quad (1.17)$$

где R — радиус окружности, по которой движется тело (материальная точка).

Учитывая формулу (1.15), можно получить связь линейной скорости с частотой:

$$v = 2\pi R\nu. \quad (1.18)$$

Угловая скорость. Связь между угловой и линейной скоростями. Быстроту движения тела по окружности наряду с линейной скоростью принято характеризовать также *угловой скоростью*.

Угловая скорость — векторная величина, характеризующая быстроту вращательного движения твердого тела. При равномерном движении тела по окружности модуль угловой скорости определяется отношением угла поворота $\Delta\varphi$ радиуса R , проведенного от центра окружности тела, к промежутку времени Δt :

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}. \quad (1.19)$$

Вектор угловой скорости направлен вдоль оси вращения в ту сторону, откуда поворот тела виден происходящим против часовой стрелки (рис. 1.23). Единица угловой скорости в СИ — радиан в секунду (рад/с).

За время $\Delta t = T$ тело обойдет всю окружность, а радиус повернется на угол $\Delta\varphi = 2\pi$ рад. Поэтому

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu. \quad (1.20)$$

Между угловой и линейной скоростями существует простая связь. Если в выражение (1.16) подставить вместо длины дуги известное из курса математики соотношение $s = R\varphi$, то получим

$$v = \frac{\varphi R}{t}, \quad \text{или} \quad v = \omega R. \quad (1.21)$$

Центростремительное ускорение. В случае криволинейного движения (как и в случае прямолинейного) ускорение определяется отноше-

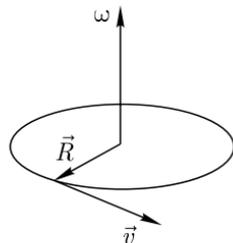


Рис. 1.23

нием приращения скорости $\Delta\vec{v}$ за интервал времени Δt к этому интервалу, т. е. $\vec{a} = \Delta\vec{v}/\Delta t$. Вспомним, как определяется ускорение в случае равномерного движения тела по окружности, когда модуль скорости остается постоянным, а изменяется лишь направление.

Пусть материальная точка равномерно движется по окружности радиусом R со скоростью \vec{v} (рис. 1.24). Найдем модуль и направление ускорения для произвольной точки A траектории. За малый промежуток времени Δt она переместится на расстояние Δs и окажется в точке B . Векторы линейной скорости \vec{v}_A и \vec{v}_B в точках A и B равны по модулю и несколько отличаются по направлению. Чтобы найти приращение скорости $\Delta\vec{v}$ за время Δt , перенесем вектор \vec{v}_A в точку B , сохранив направление, и воспользуемся правилом треугольника (параллелограмма). Треугольники AOB и BCD подобны, так как оба равнобедренные, и $\angle AOB = \angle DBC$ как углы с взаимно перпендикулярными сторонами. Поэтому можно записать

$$\frac{DC}{AB} = \frac{BD}{OA}; \quad \frac{\Delta v}{\Delta s} = \frac{v}{R}.$$

Но $\Delta s = v\Delta t$, поэтому $\frac{\Delta v}{v\Delta t} = \frac{v}{R}$, откуда

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v^2}{R}. \quad (1.22)$$

Мы нашли модуль ускорения тела в произвольно выбранной точке A окружности. Найдем теперь его направление. Мы брали очень малый промежуток времени Δt , поэтому очень мало и перемещение Δs . Это значит, что угол $\Delta\varphi$ очень мал и каждый из рассмотренных треугольников (AOB и BCD) содержит по два почти прямых угла. Отсюда следует, что вектор $\Delta\vec{v}$ (а значит, и вектор \vec{a}) направлен перпендикулярно вектору \vec{v} , т. е. к центру окружности вдоль радиуса. Поэтому ускорение, определяемое соотношением (1.22), называют **центростремительным ускорением**.

Точки A и B мы брали на окружности произвольно, поэтому очевидно, что в любой точке окружности **модуль вектора центростремительного ускорения одинаков. Вектор \vec{a} всегда направлен по радиусу к центру окружности.**

Воспользовавшись соотношениями (1.18) и (1.21), можно выразить центростремительное ускорение через частоту и угловую скорость ω :

$$a = 4\pi^2\nu^2 R; \quad a = \omega^2 R. \quad (1.23)$$

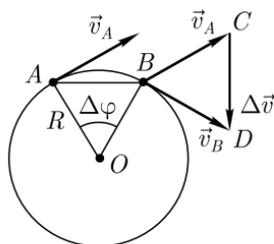


Рис. 1.24

Следует обратить внимание, что формула (1.23) справедлива только при постоянных по модулю v , ω и ν при заданном R .

Полное ускорение. Вектор ускорения \vec{a} при криволинейном движении тела обычно представляют в виде суммы двух составляющих (рис. 1.25): одна направлена по касательной к траектории — это так называемое тангенциальное (касательное) ускорение \vec{a}_τ ; вторая направлена по нормали к касательной — это нормальное (центростремительное) ускорение \vec{a}_n . Из рис. 1.25 видно, что модуль полного ускорения равен:

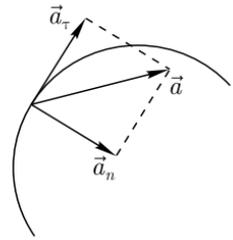


Рис. 1.25

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}, \quad (1.24)$$

где $a_\tau = \Delta v / \Delta t$, $a_n = v^2 / R$.

При движении материальной точки по прямолинейной траектории, ее нормальное ускорение, очевидно, равно нулю. В этом случае, как видно из формулы (1.24), модуль полного ускорения равен модулю тангенциального ускорения.

Тангенциальное ускорение характеризует только изменение модуля скорости, а нормальное ускорение — изменение скорости по направлению.

Произвольное криволинейное движение. В произвольном криволинейном движении материальной точки выражения $a_\tau = \Delta v / \Delta t$; $a_n = v^2 / R$ остаются справедливыми. Следует лишь учитывать, что R в последнем выражении — это не радиус окружности, а радиус кривизны траектории в этой точке.

Угловое ускорение — векторная величина, характеризующая быстроту изменения угловой скорости вращающегося тела. При равнопеременном вращательном движении твердого тела вокруг неподвижной оси модуль ε его углового ускорения определяется равенством

$$\varepsilon = \frac{\Delta \omega}{\Delta t},$$

где $\Delta \omega$ — изменение угловой скорости тела за промежуток времени Δt .

Вектор углового ускорения направлен вдоль оси вращения: в ту же сторону, что и угловая скорость, при равноускоренном движении

$$\vec{\varepsilon} \uparrow \vec{\omega}$$

и в противоположную — при замедленном

$$\vec{\varepsilon} \downarrow \vec{\omega}.$$

Единица углового ускорения в СИ — радиан разделить на секунду в квадрате ($\text{рад}/\text{с}^2$).

Основные понятия и выводы

1. **Механика** — наука о механическом движении материальных тел и происходящих при этом взаимодействиях между ними.

Кинематика — раздел механики, изучающий способы описания механического движения без рассмотрения причин, вызывающих это движение. **Механическим движением** называется изменение положения тел в пространстве с течением времени. Механическое движение тела рассматривается относительно выбранной **системы отсчета** — совокупности тела отсчета, системы координат и часов, отсчитывающих промежутки времени от произвольно выбираемого начального момента времени. Во многих задачах механики используют понятие материальной точки. Тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь, называется **материальной точкой**.

К основным физическим величинам механики, описывающим движение тела, относятся **перемещение \vec{s} , скорость \vec{v} и ускорение \vec{a}** .

Наиболее простой вид движения — это *прямолинейное равномерное движение*, определяемое уравнением

$$s = vt.$$

2. Для характеристики *неравномерного движения* пользуются понятием **средней скорости** перемещения на данном участке пути:

$$\vec{v}_{\text{cp}} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}.$$

При *прямолинейном переменном движении* **мгновенная скорость** тела постоянно меняется, поэтому для ее нахождения в любой момент времени необходимо знать быстроту перемещения тела, т. е. **ускорение**

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}.$$

Проекцию скорости тела на данном участке пути на выбранную координатную ось, направленную вдоль траектории движения тела, в любой момент времени можно вычислить по формуле

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t,$$

а проекцию перемещения — по формуле

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}.$$

Значение проекции перемещения при *равнопеременном движении* можно определить также по формуле

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}.$$

Падение тел в вакууме называется **свободным падением**. Ускорение свободного падения $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

3. Простейшим видом **криволинейного движения** является движение материальной точки по окружности. При движении материальной точки по окружности мгновенная скорость в любой точке траектории направлена по касательной к окружности. Поэтому даже равномерное движение по криволинейной траектории (окружности), при котором модуль скорости не изменяется, является движением ускоренным.

Движение тела по окружности характеризуется линейной v и угловой ω скоростями, периодом обращения T и частотой обращения ν . Модуль линейной скорости связан с этими величинами такими соотношениями:

$$v = \omega R = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi\nu R,$$

где R — радиус окружности.

При равномерном движении по окружности вектор ускорения в любой точке траектории направлен перпендикулярно вектору скорости (к центру окружности). Поэтому это ускорение называют **центростремительным**. Модуль центростремительного ускорения связан с величинами v , ω , T и ν такими соотношениями:

$$a = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = 4\pi^2 \nu^2 R.$$

Контрольные вопросы и задания

1. Что называется механическим движением?
2. Что такое система отсчета? Какие бывают системы отсчета?
3. Что такое траектория, пройденный путь, перемещение? В чем заключается их различие?
4. Как различают движения: а) по форме траектории; б) по характеру изменения скорости? Каков характер движения свободно падающего тела?
5. Перечислить признаки криволинейного движения.
6. Какова траектория движения точек винта самолета: а) по отношению к летчику; б) по отношению к Земле?
7. Какую скорость переменного движения показывает спидометр автомобиля?
8. Пешеход перебежал шоссе под углом 30° к направлению дороги со скоростью 18 км/ч за 12 с . Какова ширина шоссе?

Ответ: 30 м .

9. Одну треть пути автомобиль движется со скоростью 60 км/ч, а оставшуюся часть — со скоростью 80 км/ч. Какова средняя скорость движения автомобиля?

Ответ: 72 км/ч.

10. Человек идет по эскалатору метрополитена вверх. Если эскалатор неподвижен, то человек поднимается за 100 с. Если при этом эскалатор движется, то человек поднимается за 25 с. Длина эскалатора 50 м. Какова скорость движения ленты эскалатора?

Ответ: 1,5 м/с.

11. Тело падает с высоты 2000 м. За какое время оно пройдет последние 100 м?

Ответ: 0,5 с.

12. Самолет летит горизонтально со скоростью 360 км/ч на высоте 490 м. Когда он пролетает над пунктом А, с него сбрасывают пакет. На каком расстоянии от пункта А пакет упадет на землю?

Ответ: 1000 м.

13. Мяч брошен под углом к горизонту с начальной скоростью 8 м/с. Найти скорость мяча в момент, когда он находился на высоте 3 м.

Ответ: 2 м/с.

14. Мяч брошен под углом 30° к горизонту с начальной скоростью 10 м/с. На какую максимальную высоту поднимется мяч?

Ответ: 1,25 м.

15. Определить скорость и центростремительное ускорение вращательного движения точки на экваторе, обусловленного суточным вращением Земли.

Ответ: 475 м/с; 0,035 м/с².

16. Найти центростремительное ускорение и скорость (угловую и линейную) для орбитального спутника Земли, если его период обращения 105 мин, а высота полета над Землей 1200 км.

Ответ: 7,6 м/с²; 10^{-3} рад/с; $7,6 \cdot 10^3$ м/с.

17. Точка движется по окружности с постоянной скоростью 20 м/с. Вектор скорости изменяет направление на угол 15° за время, равное 3 с. Чему равно нормальное ускорение точки?

Ответ: 1,7 м/с².

18. Тело, двигаясь прямолинейно с постоянным ускорением a , потеряло $\frac{2}{3}$ своей начальной скорости v_0 . Какой путь прошло тело и сколько времени оно двигалось?

Ответ: $t = \frac{2v_0}{3a}$; $s = \frac{4v_0^2}{9a}$.