

Е.И. Бутиков

Физика для поступающих в вузы

**Москва
«Книга по Требованию»**

Е11 **Е.И. Бутиков**
Физика для поступающих в вузы / Е.И. Бутиков – М.: Книга по Требованию, 2023. – 606 с.

ISBN 978-5-458-25639-1

Эта книга — репринт оригинального издания (издательство ""Главная редакция физико-математической литературы"", 1982 год), созданный на основе электронной копии высокого разрешения, которую очистили и обработали вручную, сохранив структуру и орфографию оригинального издания. Редкие, забытые и малоизвестные книги, изданные с петровских времен до наших дней, вновь доступны в виде печатных книг.

Задача книги - способствовать развитию более широкого кругозора, навыков физического мышления и глубокого понимания основных физических законов, а также стимулировать интерес к предмету. Большое внимание уделено разбору конкретных физических задач и примеров. Используемый математический аппарат полностью соответствует школьной программе. В новом издании исправлены опечатки и отдельные неточности предыдущего издания, вышедшего в 1978 г.

Эта подборка книг для школы поможет ученикам, учителям и их родителям в обучении по всем школьным предметам. С помощью этих книг вы достигнете высоких результатов в ЕГЭ и учёбе! Здесь вы найдёте все необходимое: учебники, практические пособия, тесты, руководства и справочники. Благодаря нашей коллекции вы сможете расширить свои знания, освоить эффективные стратегии обучения и успешно подготовиться к экзаменам. Независимо от уровня или предмета, эти книги помогут вам достичь наилучших результатов и стать увереннее в своих знаниях!

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

К ЧИТАТЕЛЮ

Это обращение адресовано тем читателям, которые решили готовиться к вступительному экзамену по физике в вуз с помощью этой книги.

Вступительный экзамен в вуз в наше время не сводится к формальному ответу на вопросы экзаменационного билета, а зачастую представляет собой беседу с абитуриентом, во время которой выясняются не только его фактические знания, а главным образом круг его интересов, степень его подготовленности для обучения в данном вузе. Поэтому подготовка к экзамену не должна сводиться только к повторению изученного в школе материала, а должна обязательно углублять полученные в школе знания и расширять кругозор. При этом не следует забывать, что подготовка к экзамену необходима не только для того, чтобы преодолеть этот барьер, но и для укрепления фундамента, на котором будет построено дальнейшее обучение в вузе.

Приступать к чтению этой книги следует, располагая достаточным запасом времени. Книга насыщена материалом, поэтому ее чтение потребует временами от читателя некоторых усилий. Во всяком случае читать ее следует с карандашом в руке, обязательно воспроизводя некоторые опущенные выкладки (как правило, в тексте приводятся необходимые указания, как делать эти выкладки). Не пренебрегайте этим советом, так как многие выкладки в книге не приведены потому, что именно самостоятельное их воспроизведение читателем способствует наиболее глубокому пониманию и эффективному усвоению материала.

Обычно в каждом параграфе материал расположен по нарастающей трудности. Поэтому при первом чтении книги можно не стремиться обязательно дочитать параграф до конца. Затруднения могут быть связаны с недостаточным знанием материала школьного учебника по этому вопросу. Тогда целесообразно открыть школьный учебник и освежить

в памяти соответствующий материал. Причиной затруднений может быть и недостаточная математическая подготовка. В этом случае важно не падать духом, а проявить определенную настойчивость,— в учении никогда не бывает легко!

Изучение этой книги должно помочь читателю составить представление о предмете в целом и об отдельных его разделах. Умение уверенно ориентироваться в обширном материале особенно важно потому, что абитуриенту известна только программа экзамена. Конкретные вопросы, входящие в экзаменационные билеты, могут быть сформулированы по-разному, и для успешного ответа абитуриенту прежде всего необходимо самому сделать правильный отбор нужного материала. Поэтому, встретив в этой книге не изучавшийся в школе материал, не торопитесь отбрасывать его в сторону. Разобравшись в нем, можно по-новому взглянуть на некоторые хорошо известные вещи и обнаружить взаимосвязь между явлениями, ранее казавшимися совершенно независимыми. Читая книгу, задумывайтесь над тем, на какие вопросы можно ответить, используя изучаемый материал.

В книге подробно рассмотрено большое число конкретных примеров, иллюстрирующих содержание фундаментальных физических законов и применение этих законов. Но авторы рекомендуют не ограничиваться разбором только приведенных примеров. Обязательно нужно решать задачи. Только самостоятельно решая задачи, можно достичь того высокого уровня понимания физических законов, при котором появится возможность отвечать на новые вопросы, относящиеся к изучаемой области.

1. МЕХАНИКА

КИНЕМАТИКА

§ 1. Пространство и время. Системы отсчета. Основные понятия кинематики материальной точки

Механическое движение — это перемещение изучаемого тела относительно другого тела, принимаемого за неподвижное. Одно и то же механическое движение может выглядеть совершенно по-разному в зависимости от того, какое тело при изучении этого движения считается неподвижным. Так, например, с точки зрения наблюдателя, находящегося в вагоне поезда, выскользнувший из рук предмет падает вертикально вниз, а для наблюдателя на земле это же движение

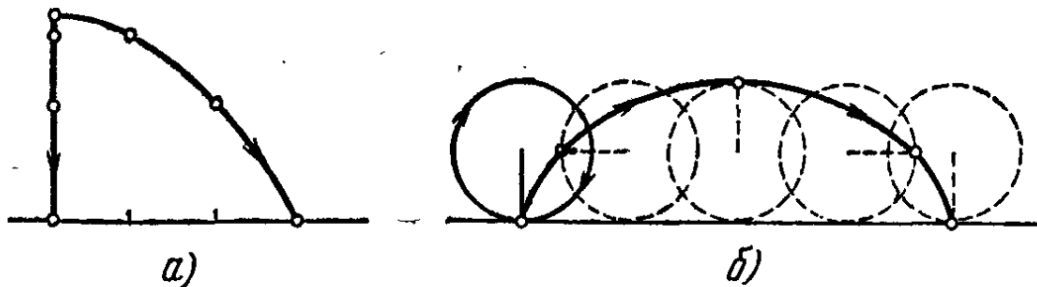


Рис. 1.1. Траектории свободно падающего тела (а) и точки на ободе колеса (б) в разных системах отсчета.

происходит по параболической траектории. Точка на ободе колеса вагона движется по окружности для первого из этих наблюдателей, но это же движение с точки зрения второго наблюдателя происходит по замысловатой кривой — циклоиде (рис. 1.1). В этом заключается простейшее проявление относительного характера механического движения.

Механическое движение происходит в пространстве и во времени. Понятия пространства и времени относятся к числу фундаментальных понятий, которые невозможно определить через какие-то более простые понятия. Но в физике

более важными являются не формальные определения, а конкретные свойства пространства и времени, проявляющиеся при протекании тех или иных физических процессов. И эти конкретные свойства познаются опытным путем.

Физика — точная наука, т. е. в ее основе лежит изучение не только качественных, но и количественных соотношений, поэтому любой физический опыт связан с измерениями. По словам Д. И. Менделеева, наука начинается с тех пор, как начинают измерять.

Для изучения механического движения, происходящего в пространстве и во времени, нужно прежде всего уметь измерять промежутки времени и расстояния.

В различных областях физики и техники используются разные способы измерения расстояний и промежутков времени. Любое измерение сводится к сравнению измеряемой величины с другой величиной, принятой за единичную, т. е. с эталоном. Выбор эталона и способа сравнения измеряемой величины с эталоном может быть сделан по-разному.

В настоящее время в качестве эталона длины принят метр — длина, равная 1 650 763,73 длин световых волн в вакууме определенной оранжевой линии в спектре излучения атома криптона-86.

В качестве эталона времени принята секунда — промежуток времени, равный 9 192 631 770 периодам электромагнитного излучения, соответствующего определенному переходу в атоме цезия-133 в отсутствие внешних полей.

Использовавшийся ранее эталон метра в виде стержня из сплава платины и иридия оказался недостаточно надежным, ибо, как и все твердые тела, подвержен внешним влияниям и не может быть воспроизведен в случае его утраты. Точно так же не удовлетворяет современным требованиям эталон времени, основанный на использовании «астрономических часов», т. е. суточного или орбитального вращения Земли. Не исключено, что технический прогресс приведет к такой точности измерений, что и существующие эталоны придется заменить на новые, более совершенные.

Существуют различные способы сравнения измеряемой величины с эталоном. Например, при измерении длины возможно непосредственное сравнение измеряемого отрезка с промежуточными эталонами — жесткими линейками. Такой способ основан на свойстве твердых тел сохранять до известной степени неизменными свою форму и размеры.

Другой возможный способ измерения длины — триангуляция (рис. 1.2). В этом способе непосредственно измеряют длину «базы» AB , на концах которой измеряют углы α и β в направлении на объект C . Затем искомое расстояние AC (или BC) рассчитывается по формулам тригонометрии. В основе этого способа лежит подтверждаемая опытом гипотеза о том, что световые лучи, приходящие от объекта C к точкам A и B , подчиняются тем же аксиомам геометрии Евклида, что и геометрические прямые линии.

Еще один возможный способ измерения расстояний — радиолокация (или светолокация). При этом измеряется время прохождения электромагнитного сигнала до объекта и обратно и предполагается, что сигнал распространяется туда и обратно с одинаковой скоростью.

Вопрос о том, согласованы ли между собой разные способы измерения расстояний, т. е. дают ли они одно и то же или нет, решается только на опыте.

Измерение промежутков времени также возможно не только путем непосредственного сравнения с эталоном, но и путем использования различных косвенных методов, основанных на физических явлениях разной природы. Например, возможно использование периодических механических колебаний, как это делается в обычных маятниковых и кварцевых часах. Для измерения больших промежутков времени, например, в геологии и археологии, используется явление радиоактивного распада.

Для описания механического движения, как и любых других физических процессов, протекающих в пространстве и во времени, используются системы отсчета. Под системой отсчета понимают тело или систему тел, относительно которых рассматривается изучаемое движение, вместе с совокупностью связанных с этими телами приборов для измерения расстояний и промежутков времени.

Одно и то же физическое явление можно рассматривать в разных системах отсчета. Хотя изучаемое явление в разных системах отсчета может выглядеть по-разному, но длины тел и промежутки времени, как показывает опыт, при движении со скоростями, малыми по сравнению со

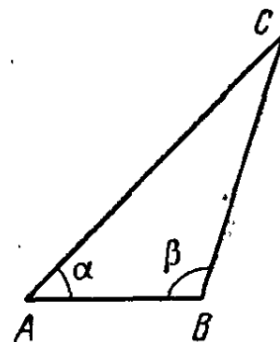


Рис. 1.2. Измерение расстояний методом триангуляции.

скоростью света, являются абсолютными, т. е. не зависят от того, в какой системе отсчета они измеряются.

Кинематика описывает механическое движение, отвлекаясь от физических причин, его вызывающих. Выбор системы отсчета в кинематике определяется исключительно соображениями удобства при математическом описании. Никаких принципиальных преимуществ у одной системы

отсчета по сравнению с другой в кинематике нет. Преимущества определенного класса систем отсчета — инерциальных систем — выявляются только в динамике.

Из-за сложности физического мира, изучая реальное явление, мы всегда вынуждены упрощать его и вместо самого явления рассматривать некоторую идеализированную его модель, стремясь к тому, чтобы в выбранной модели сохранить самые характерные, наиболее важные черты явления. По образному выражению Я. И. Френкеля, физики фактически рассматривают

не само явление, а карикатуру на него, и успех зависит от того, насколько удачна эта карикатура.

Простейшей моделью в кинематике является материальная точка. Материальной точкой считается любое тело, размеры которого в рассматриваемом явлении несущественны и их можно не принимать во внимание. Одно и то же тело в одних условиях можно считать материальной точкой, а в других — нельзя. Например, тяжелый шар, подвешенный на упругой проволоке, можно считать материальной точкой при изучении вертикальных колебаний (рис. 1.3, а) и нельзя — при изучении крутильных колебаний вокруг вертикальной оси (рис. 1.3, б). Таким образом, используя модель материальной точки, мы идеализируем не столько свойства самого тела, сколько условия его движения.

Положение материальной точки в некоторой системе отсчета можно определить, задавая ее радиус-вектор r . Если связать с системой отсчета координатные оси, например, декартовой прямоугольной системы координат, то

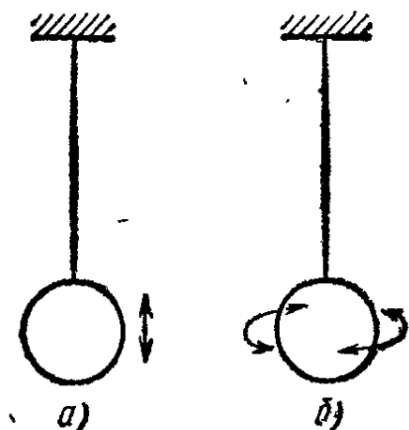


Рис. 1.3. Вертикальные (а) и крутильные (б) колебания тяжелого шара на упругой проволоке.

задание радиус-вектора \mathbf{r} эквивалентно заданию трех координат x, y, z — проекций радиус-вектора на выбранные оси. Движение материальной точки математически описано полностью, если известен ее радиус-вектор как функция времени $\mathbf{r}(t)$, т. е. известны три скалярные функции $x(t), y(t)$ и $z(t)$.

Изменение радиус-вектора за некоторый промежуток времени $\Delta t = t_2 - t_1$, равное $\mathbf{r}(t_2) - \mathbf{r}(t_1)$, называют перемещением $\Delta \mathbf{r}$ за время Δt . Линия, которую описывает при этом конец радиус-вектора $\mathbf{r}(t)$, называется траекторией материальной точки, а длина этой линии — пройденным за время Δt путем ΔS (рис. 1.4).

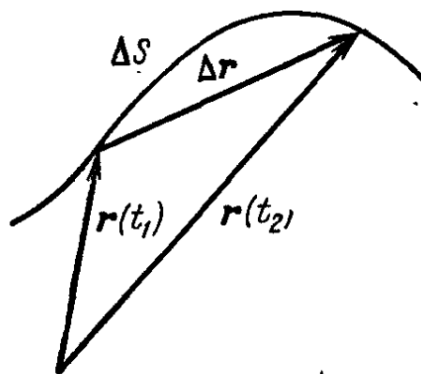


Рис. 1.4. Траектория, пройденный путь ΔS и перемещение $\Delta \mathbf{r}$ материальной точки.

Отношение вектора перемещения $\Delta \mathbf{r}$ к промежутку времени Δt называется средней по времени скоростью движения: $\mathbf{v}_{\text{ср}} = \Delta \mathbf{r} / \Delta t$. Если уменьшать значение промежутка времени Δt , то отношение $\Delta \mathbf{r} / \Delta t$ будет стремиться к пределу, который называется мгновенной скоростью (или просто скоростью):

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}. \quad (1.1)$$

Таким образом, мгновенная скорость представляет собой производную радиус-вектора \mathbf{r} по времени. Наряду с приведенным обозначением $d\mathbf{r}/dt$ для производной часто используется другое обозначение: \mathbf{r}' . Из самого определения скорости следует, что в каждой точке вектор скорости направлен по касательной к траектории.

Часто используется еще одна, но уже скалярная величина, также называемая скоростью, — средний модуль скорости \bar{v} , определяемый как отношение пути ΔS к промежутку времени Δt , за который этот путь пройден: $\bar{v} = \Delta S / \Delta t$. Средняя скорость $\mathbf{v}_{\text{ср}} = \Delta \mathbf{r} / \Delta t$ и средний модуль скорости \bar{v} , вообще говоря, характеризуют движение с разных сторон. Например, при движении автомобиля по замкнутому пути вектор средней скорости $\mathbf{v}_{\text{ср}}$, вычисляемый за полное время движения, равен нулю, несмотря на то, что

автомобиль прошел немалый путь, а средний модуль скорости $\bar{v} = \Delta S / \Delta t$ отличен от нуля. Однако при стремлении промежутка времени Δt к нулю величина вектора средней скорости $\mathbf{v}_{\text{ср}}$ приближается к среднему модулю скорости \bar{v} и в пределе $\Delta t \rightarrow 0$ эти величины совпадают. Это как раз та

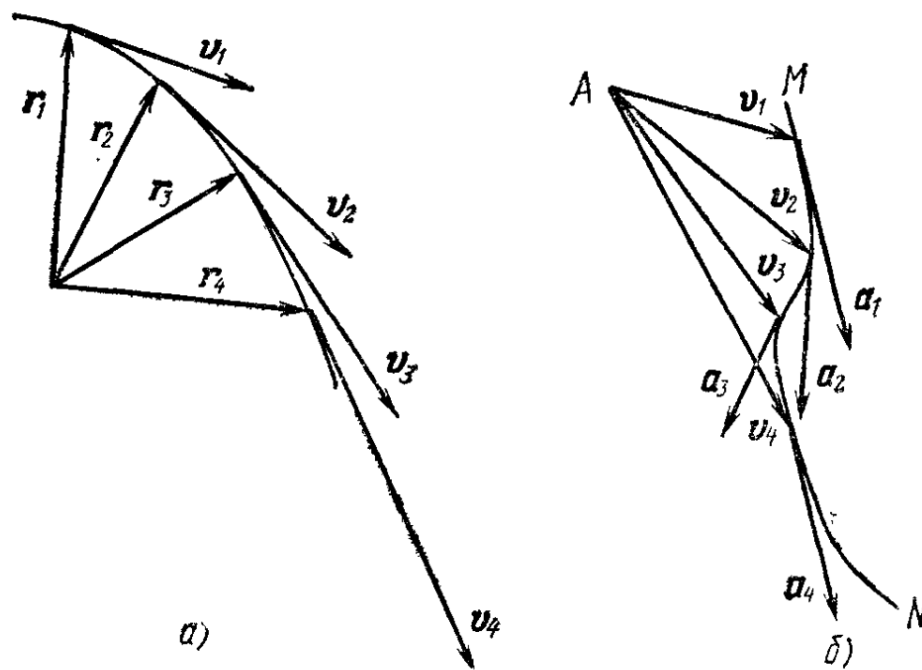


Рис. 1.5. Траектория (а) и годограф вектора скорости (б) материальной точки.

величина, которую показывает стрелка на спидометре автомобиля.

Вектор скорости характеризует быстроту изменения вектора перемещения материальной точки. Для характеристики быстроты изменения вектора скорости вводят ускорение. Средним за время Δt ускорением $\mathbf{a}_{\text{ср}}$ называется отношение приращения скорости $\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}(t_2) - \mathbf{v}(t_1)$ к промежутку времени Δt : $\mathbf{a}_{\text{ср}} = \Delta \mathbf{v} / \Delta t$. Предел этого отношения при $\Delta t \rightarrow 0$ называется мгновенным ускорением (или просто ускорением):

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt}. \quad (1.2)$$

Сравнивая формулы (1.1) и (1.2), можно отметить следующую формальную аналогию между скоростью и ускорением. Если скорость характеризует быстроту изменения радиус-вектора, то ускорение характеризует быстроту из-

менения вектора скорости. Рассмотрим эту аналогию подробнее. Пусть конец радиус-вектора описывает некоторую траекторию, показанную на рис. 1.5, а. В каждый момент времени вектор скорости направлен по касательной к траектории. Изобразим все векторы скорости v_1, v_2 и т. д. так, чтобы они начинались в одной произвольной точке А

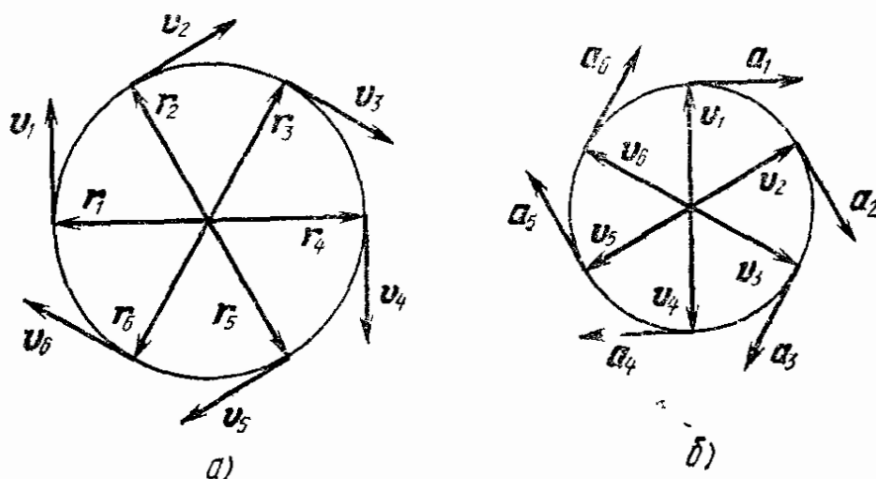


Рис. 1.6. Траектория (а) и годограф вектора скорости (б) при равномерном движении по окружности.

(рис. 1.5, б). При движении материальной точки по траектории конец вектора скорости на таком чертеже будет описывать кривую MN , называемую годографом вектора скорости. Используя такое определение, можно сказать, что сама траектория материальной точки является годографом ее радиус-вектора. Теперь легко сообразить, что вектор ускорения на рис. 1.5, б будет в каждой точке направлен по касательной к годографу вектора скорости MN подобно тому, как вектор скорости направлен по касательной к траектории на рис. 1.5, а.

Описанная аналогия может быть использована, например, для нахождения ускорения точки, равномерно движущейся по окружности (рис. 1.6, а). Годограф вектора скорости для такого движения показан на рис. 1.6, б. Пока материальная точка совершает один оборот по траектории, конец вектора скорости совершает один оборот по годографу. Величина скорости материальной точки связана с радиусом окружности R и периодом обращения T соотношением

$$v = \frac{2\pi R}{T}.$$

Аналогичное соотношение связывает величину ускорения a с радиусом годографа скорости v :

$$a = \frac{2\pi v}{T}.$$

Сравнивая эти формулы, получаем

$$a = \frac{v^2}{R}. \quad (1.3)$$

Сравнивая рис. 1.6, *a* и *б*, убеждаемся, что вектор ускорения a в каждый момент времени направлен противоположно радиус-вектору материальной точки для этого же момента времени, т. е. ускорение a направлено к центру окружности, являющейся траекторией движения.

В рассматриваемом примере равномерного движения точки по окружности вектор скорости изменяется только по направлению, оставаясь неизменным по абсолютной величине, т. е. по модулю. Вектор ускорения при этом направлен перпендикулярно вектору скорости, т. е. по нормали к траектории. Так будет при движении с постоянной по величине скоростью по любой траектории. Если же скорость точки меняется и по величине, то у вектора ускорения кроме нормальной составляющей, направленной перпендикулярно скорости, будет еще составляющая, направленная по или против вектора скорости в зависимости от того, увеличивается или уменьшается скорость по величине. Величина нормальной составляющей ускорения определяется по-прежнему формулой (1.3), где под R понимается радиус кривизны траектории в данной точке, т. е. радиус окружности, дуга которой приблизительно совпадает с участком траектории вблизи рассматриваемой точки. Величина составляющей ускорения, параллельной скорости и характеризующей изменение величины скорости, равна производной от величины скорости по времени dv/dt .

§ 2. Кинематика движения в однородном поле

Простейший случай неравномерного движения — это движение с постоянным ускорением. Такое движение происходит в постоянном во времени однородном силовом поле. Примером такого поля может служить поле тяготения вблизи поверхности Земли при условии, что движение тела