

Сачков И.Н.



**Относительность: для старших
школьников и младших студентов**

Игорь Николаевич Сачков

Относительность: для старших школьников и младших студентов

*http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=69265828
SelfPub; 2023*

Аннотация

Рассматривается ряд казусов, связанных с действием принципа относительности Галилея. Можно ли рукой поймать пулю? Что ощущает пассажир летящего аэростата? Почему крутятся волчком автомобили? Показано, как открытие относительности в физике способствовало началу революции в Европе.

Содержание

Предисловие	4
Введение	6
ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ	70
КОММЕНТАРИИ И РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ	79

Игорь Сачков

Относительность: для старших школьников и младших студентов

Предисловие

Необходимо сделать следующие предупреждения. Предлагаемая брошюра адресована достаточно узкому кругу читателей. Прежде всего, она не имеет прагматического предназначения, поэтому не может быть полезной для подготовки к ЕГЭ или к экзамену по физике в вузе. Вряд ли она окажется необходимой большинству преподавателей. Эта книга не является учебным пособием, поскольку по существующим стандартам учебное пособие должно быть аффилировано с определенным учебником и лишь дополнять его. Между тем материал, представленный ниже, отсутствует в традиционных учебных изданиях.

Авторы надеются, что, как говаривал Н. Гоголь, «книга сия найдет своего читателя». Предлагаем ее умным школьникам старших классов и любознательным студентам младших курсов вузов. В качестве прецедента можно указать на

одну из лекций, проведенных академиком Н.Н. Красовским в УПИ. Перед ее началом великий ученый потребовал, чтобы «аудиторию покинули все преподаватели и остались только студенты». Один из авторов настоящей книги хотел спрятаться под партой и послушать, но постеснялся.

Введение

В фундаменте физики находится принцип относительности. Если этот «камень» убрать, все здание рухнет. Принцип был открыт в начале 17-го века Галилео Галилеем. Затем, через столетие, он был использован Исааком Ньютоном и принят сообществом ученых в виде первого закона динамики. Общую формулировку обсуждаемого принципа нетрудно найти в учебнике, а сущность его выражают следующие частные утверждения.

1) Любое движение – относительно. Любое тело может одновременно и покоиться, и двигаться с любыми скоростями.

2) Покой относителен, он является лишь одним из видов движения.

3) Движение может складываться из неограниченного числа реальных независимых движений.

4) Всякое движение можно разложить также и на воображаемые, гипотетические движения, в частности, параллельно координатным осям.

5) Значения не только скорости, но также импульса и кинетической энергии относительны, зависят от выбора наблюдателем системы отсчета.

Как известно, «короля делает его свита». Так говорил когда-то придворный итальянского герцога Н. Микиавелли (<https://upravlenie.org/468-stratagema-korolja>

delaet-svita.html). Опишем в настоящей брошюре «свиту» принципа относительности, представив его в форме реальных ситуаций, эффектов и казусов.

Полет на воздушном шаре

Обратимся сначала к персонажу №2 из представленного выше списка свиты принципа относительности. Действительно ли покой и движение относительны? Рассмотрим ситуацию «воздухоплавание».

Задача 1. На рис.1.1 изображены картины движения воздушного шара. Стрелка – направление ветра. В каких рисунках художник допустил ошибки? В чем они заключаются?

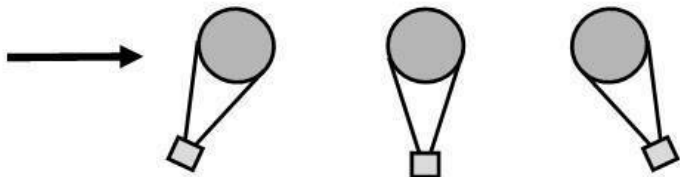


Рис.1.1. Полет аэростата в воздушном потоке; стрелка – направление ветра

Решение. Можно привести доводы в пользу правильности изображения для всех трех вариантов. Вариант «а»: «ветер тянет легкую круглую оболочку, при этом тяжелая квадратная корзина отстает»; «б» – и шар, и корзина двигаются вместе, как целое; «в» – тяжелая корзина тянет за собой лег-

кий пузырь.

Чтобы выбрать правильный ответ, вспомним, что воздушный шар относится к летательным аппаратам типа воздухоплавания. Аппарат плавает вместе с воздухом. Ветер – это просто движущийся воздух. Поэтому шар вместе с корзиной неподвижен относительно движущегося воздуха. Заметим попутно, что различные части воздушного шара и пассажир вообще не должны ощущать ветра, потому что вся рассматриваемая система как бы заключена в движущийся воздух, перемещается вместе с ним.

Ответ: правильная картинка – 2; движение шара относительно, он покоится относительно движущегося воздуха.

Чтобы проверить авторов, совершите путешествие на резиновой лодке по горной реке. Допустим, что Вашим товарищем оказался заядлый курильщик. Он бросил окурочек из лодки в бурную воду. Что будет с окурком: вода унесет его вперед, он отстанет, или будет болтаться рядом с лодкой?

Или, если у Вас имеются достаточные денежные средства, наймите воздушный шар и во время полета вывесьте флаг с его борта. Интересно, что будет с полотнищем: вытянется по ветру, отстанет от несущегося шара или будет висеть вниз?

Чтобы рассмотреть персонаж №1 из свиты короля, перенесемся мысленно на поля сражений войны 1914-го года.

Можно ли поймать пулю рукой?

Мысленно на поля сражений войны 1914-го года.

Задача 2. Во время Первой мировой войны летчик рас-

сказывал о следующем случае. «Господа, пролетая на высоте полумили над полем сражения, я наблюдал множество взрывов и выстрелов. И вдруг я увидел небольшой блестящий предмет, висящий в 2-х футах от моего аэроплана. Я схватил его рукой. Представьте мое изумление, господа! Это была пуля! Горячая ружейная пуля!»

Возможно ли это?

Решение. В принципе, возможно. Пуля, выпущенная с земли под углом к горизонту, меняет направление и величину скорости своего движения, при этом траектория приобретает форму параболы, изображенной на рис.2. Поэтому, в соответствии с принципом относительности Галилея, летящая пуля в некоторой точке траектории может приобрести скорость, равную скорости самолета. В результате эффекта относительности пуля в этой фазе полета может практически покоиться относительно самолета, летящего в том же направлении. Следует, правда, заметить, что покой пули будет продолжаться недолго. Вывод: покой и движение пули – относительны!

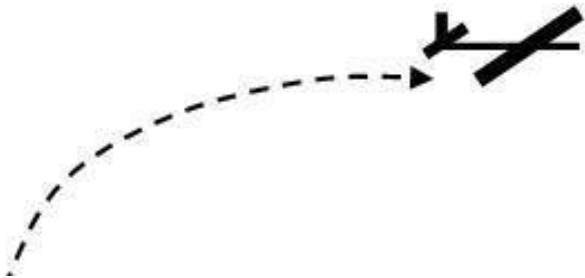


Рис. 1.2. Относительное движение пули и самолета в задаче 1.2; штриховая линия – траектория пули

Ответ. В принципе, возможно.

Необходимо все же отметить, что для осуществления подобного события необходимо соотнести скорость аэроплана, угол наклона винтовки и момент выстрела. Необходимо также учесть величину начальной скорости пули и высоту полета летчика.

Чтобы не утомлять читателя, точное решение задачи и определение «коридора» параметров предоставим на самостоятельную работу.

Относительность на яхте

Перемесимся как-либо образом на яхту. Продолжим проверку правила «любое движение относительно».

Задача 3. Металлический шар подвешен на мачте яхты,двигающейся вперед со скоростью 10 м/с. В какой точке платформы (а, б или в), изображенной на рис.1.3, следует ожидать падения сорвавшегося груза?

Решение. С точки зрения «здорового смысла» – все три варианта имеют право на рассмотрение. Можно считать, что яхта движется вперед, а болванка – вниз (вариант «а»). Или, наоборот, мачта «толкнет» шар вперед, и он опередит ее (вариант «в»).

Предлагаемую задачу можно решить традиционным, «математическим методом», но можно использовать метод «мысленного эксперимента». Он заключается в следующем. Жизненный опыт показывает, что если окружить падающий шар ширмой и встать вовнутрь ее, то движение яхты станет незаметным. Мы увидим, что болванка упадет строго вниз, под точку подвеса «б».

Можно применить также чисто «математическое» решение. Используем упомянутое выше правило 4. Согласно ему, можно разложить движение системы на независимые, горизонтальное и вертикальное. Учтем, что платформа движется вправо со скоростью V_0 . Шар падает вниз со скоростью $V_y = gt$ и вправо со скоростью V_0 . За время падения шара платформа и болванка пройдут одинаковый путь по горизонтали.

Ответ. Шар упадет в точку «б».

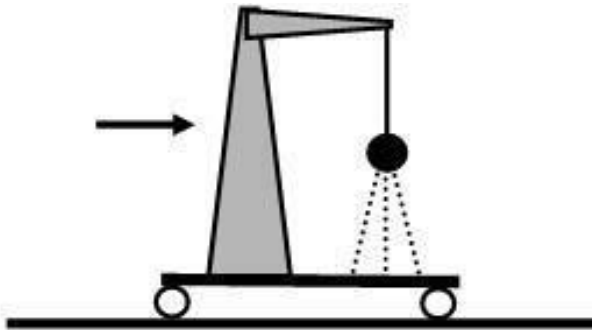


Рис.3. Возможные направления движения сорвавшегося груза

Рассмотренный пример имеет свое происхождение от задачи, которую придумал еще Галилео Галилей. Возможно, он предлагал ее придворным Лоренцо Медичи, чтобы, чтобы убедить их в правильности своих «странных» утверждений о незаметности движения. Наверно, он показывал кому-нибудь падение предмета с мачты корабля и предлагал убедиться самим, что груз падает к подножию мачты, независимо от скорости самого корабля.

По легенде, Галилей открыл свой закон именно на корабле, в каюте. Он заснул в ней, а когда проснулся, не мог определить, отчалил ли корабль от пристани. Въедливый ученый не стал открывать иллюминаторы, а попытался определить состояние корабля по движению предметов в каюте. Оказалось, что движение бросаемых предметов было таким же,

как если бы корабль стоял. Лишь выйдя на палубу, ученый убедился, что корабль стремительно удаляется от берега.

Полет на самолете со скоростью 800 км/час

Мы можем также обратиться и к современному опыту. При этом упростим задачу. Вместо покупки яхты, приобретем билет на самолет.

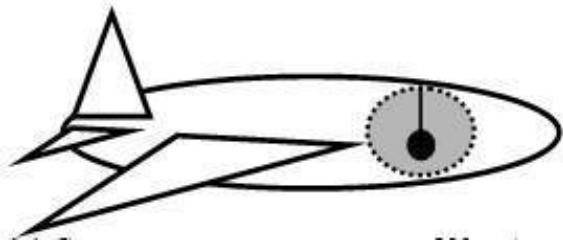


Рис. 1.4. Самолет движется со скоростью 800 км/час; в кружочке изображен шарик, висящий внутри салона

Если мы находимся внутри самолета (или едущего поезда, при условии, что он едет с постоянной скоростью и по прямой), то не ощутим этого движения. Мы знаем также, что и внутри салона самолета любые процессы не зависят от скорости полета. Действительно, если в авиалайнере мы подвесим на нитке шарик (рис.4), то он натянет нить вертикально вниз. Это означает, что грузик не «отстает» и не «опережает» самолет. Или, например, если уронить в самолете монетку, она упадет вертикально, к Вашим ногам. Если бы движение

самолета влияло на падение монетки, ее, возможно, отбросило бы в хвостовую часть салона.

Таким образом, движение самолета со скоростью 800 км/час относительно, оно существует для зрителей на земле, летающих птиц и облаков вокруг него, но отсутствует внутри лайнера. Покой – относителен!

Внутри колеса

Чтобы продемонстрировать тот факт, что движение всегда происходит лишь относительно чего-либо, рассмотрим следующую простую задачу.

Задача 5. На рис.5 изображено колесо, катящееся, вправо со скоростью 10 м/с. Радиус колеса 1 м. Чему равна скорость движения точки А, расположенной на ободке, относительно точки на оси «О» колеса?

Ответ. Условия задачи оказались провокационными. Расстояние между точками А и О не меняется! Поэтому их взаимная скорость равна нулю. В этом можно убедиться визуально, если закрепить в точке «А» диска видеокамеру и направить ее к точке «О». На экране мы увидим, что, точка «А» покоится относительно оси «О» (хотя и движется относительно земли).

С относительностью, сложением и разложением скоростей мы сталкиваемся регулярно на автомобильных дорогах. И хорошо было бы, если бы иногда такое «сложение» – было лишь воображаемым. Рассмотрим некоторые эффекты аварийных движений в следующих задачах.

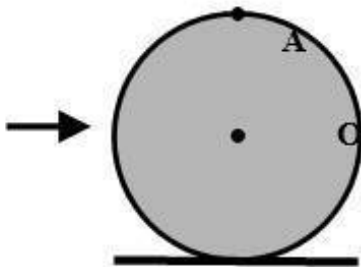


Рис.5. Диск, катящийся вправо

Откуда берется внезапное вращение автомобиля?

Яркими курьезами, связанными со сложением скоростей, могут служить ситуации, связанные со сложением вращательного и поступательного движения. Рассмотрим сценарий из повседневной жизни.

Задача 6. На рис.6 изображена схема аварийной ситуации. При движении автомобиля на скользком вираже А-В произошла потеря сцепления колес с дорогой и машину выбросило на обочину ВС. Как известно из практики вождения, в подобных ситуациях возникает вращение автомобиля в горизонтальной плоскости. Почему это происходит? Чему равна частота вращения?

Решение. При рассмотрении данной ситуации необходимо учесть, что реальное тело, в отличие от материальной точки, может одновременно двигаться поступательно и совершать вращение «как целое». Поступательное движение характеризуется линейной скоростью v , измеряемой в м/с, а вращательное движение – угловой скоростью ω , измеряемой в радианах в секунду.

Нетрудно видеть, что до точки «А» движение автомобиля было «простым»: поступательным и прямолинейным. После входа в вираж «АВ» движение автомобиля делается сложным. Можно видеть, что машина начинает менять свою ориентацию. В частности, пройдя четверть поворота, ее ось, направленная от заднего сидения к переднему, совершит поворот φ на 90 градусов, то есть на $\pi/2$ радиан. Можно констатировать, что машина приобрела угловую скорость $\omega = \Delta\varphi / \Delta t$, где φ – угол поворота, символ Δ означает «величину изменения».

Сложный характер движения на участке АВ незаметен, но он проявится сразу после того, как как машина вылетит на скользкую обочину ВС. При этом центр тяжести автомобиля продолжит свое движение со скоростью v прямолинейно и сохранится полученное вращение как целого, со скоростью ω (рис.6).

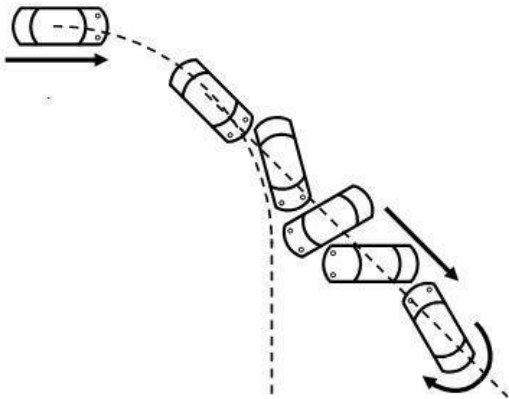


Рис.6. Движение автомобиля на скользком вираже; В – потеря контакта, прямая стрелка – вектор скорости поступательного движения, дуговая стрелка обозначает угловую скорость

Оценим масштаб наблюдаемого эффекта вращения. Пусть скорость $v = 50$ м/с и радиус виража $R = 25$ м. Тогда скорость вращения ω легко оценить, используя равенство: $\omega = \Delta\varphi / \Delta t$, где $\Delta\varphi$ и Δt – изменение угла и времени при движении по виражу. Если выразить $\Delta\varphi$ в радианах, а ω – в радианах в секунду, то нетрудно продолжить полученное равенство: $\omega = v/R$, то есть величина ω пропорциональна v и обратно пропорциональна значению радиуса виража R . Заключаем: в рассматриваемых условиях период вращения бу-

дет равен $T = 2\pi / \omega = 3,14$ сек.

Ответ. Частота вращения равна $\omega = v/R$.

В рассмотренном примере проявился сложный характер движения, характеризуемый наличием двух независимых составляющих: вращательного и поступательного. Частота вращения ω пропорциональна скорости v и обратно пропорциональна радиусу R . Попутно заметим, что в реальности приходится сталкиваться с автомобилями разных размеров, массы. Как это сказывается на скорости вращения? Может ли инициировать вращение ряд инцидентов: столкновения с препятствиями и другими машинами, состояние шин, дорожного полотна. Выносим эти вопросы на самостоятельное изучение.

Может ли лед сжигать?

Относительными могут быть не только скорость и покой различных объектов, но также и иные характеристики движения, в частности кинетическая энергия. Чтобы продемонстрировать это утверждение, рассмотрим следующую задачу.

Задача 7. Может ли энергия, заключенная в куске холодного льда, испепелить огромный район Земли?

Ответ. Астрономы утверждают, «да!» Известно, что в 1908 году упал Тунгусский метеорит. Результаты падения иллюстрируют рис.7 а,б.

1)



2)



Рис. 1.7. Эпицентр взрыва в настоящее время (а) и фотография экспедиции 1927-го года Леонида Кулика на Подкаменную Тунгуску (б), <http://www.planetsecret.ru/tungusskij-meteorit-zagadki-i-tajny/>

Астрономы говорят, что Тунгусское небесное тело состояло в основном из замороженного льда, то есть являлось кометой. На поверхность подобного объекта можно было бы безопасно посадить космический зонд. Однако при столкновении метеорита и Земли внезапно проявилась огромная кинетическая энергия их относительного движения. Метео-

рит превратился в огромное огненное облако. Эта замороженная, «безопасная» вода произвела испепеляющий взрыв, мощность которого оказалась выше, чем у сотен и даже тысяч атомных бомб! Таким образом, кинетическая энергия небесных тел – относительна. Для космического зонда, севшего на его поверхность она неощутима, а для планеты, на которую упадет пришелец – катастрофически велика.

Воробей-убийца

Задача 8. Может ли порхающий в воздухе воробей пробить стальной лист?

Ответ. Оказывается, может. Действительно, на аэродромах существует подобная острая проблема. Птица может повредить летящий самолет, благодаря сложению их скоростей. Таким образом, импульс тела – величина относительная. На рис.8 изображен результат подобного столкновения, произошедшего в Международном аэропорту Денвера, США 31 июля 2013 года. Согласно данным сайта birdstrike.org, столкновения с птицами наносят ущерб гражданской и военной авиации США на сумму свыше 600 миллионов долларов ежегодно. В частности, в Бразилии, за год фиксируют более 500 столкновений пассажирских самолетов с птицами.



Рис. 8. Фото Боинга 737 после столкновения с птицей,
<http://novostey.com/auto/news425847.html>

Сложные движения

Задача 9. Может ли свободно движущееся тело, например, снаряд, «облететь» препятствие?

Ответ. Подобная ситуация реализуется в артиллерии, при движении снаряда по «навесной» криволинейной траектории, в частности при использовании мортир, минометов и подствольных гранатометов. Схема движения снаряда, поражающего скрытую цель, представлена на рис.8.

В рассматриваемом случае движение тела – сложное. Оно состоит из суперпозиции (сложения) двух движений – равномерного по горизонтали и ускоренного по вертикали. Однако следует заметить, что такое движение возможно лишь в вертикальной плоскости. По горизонтальной плоскости такие траектории осуществимы лишь при использовании дополнительной вынуждающей силы. В настоящее время разрабатываются «умные» пули, меняющие траекторию движения по заданной программе.

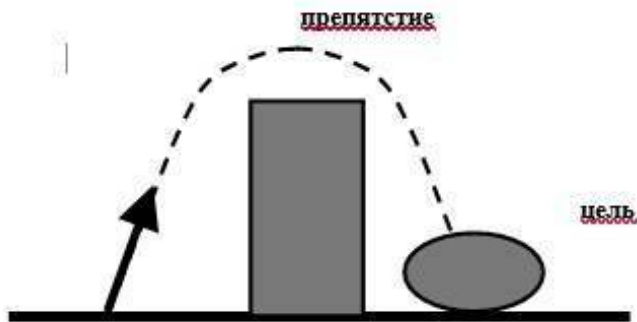


Рис.9. Штриховая линия – траектория движения снаряда.

Дорожно-транспортные иллюзии

Задача 10. Легковой автомобиль обгоняет грузовой и при этом «подрезает» его. Схема движения изображена на рис.9. Произойдет ли ДТП? Насколько будут серьезны по-

следствия? Скорость легкового автомобиля $v_{\text{легк}} = 70$ км/час, грузового составляет $v_{\text{груз}} = 60$ км/час. Руль при обгоне был повернут на угол $\alpha = 30$ градусов.

Решение. На рис.9а изображена схема движения автомобилей, как она выглядит для внешнего наблюдателя, например, для сотрудника ГИБДД. Объекты двигаются с большой скоростью по сходящимся траекториям и пересекающимся, представленным на рисунке пунктирными линиями. Однако пересечение линий еще не означает реального столкновения. Ведь к моменту, когда грузовик пересечет траекторию движения легковушки, она может уже проскочить вперед или, наоборот, отстать и пропустить грузового монстра.

Однозначное решение задачи осложняется тем, что двигаются сразу два тела. Задачу значительно упростится, если одно из тел покоится. Оказывается, принцип относительности позволяет это сделать. Ведь движение – относительно. Применим один из стандартных приемов кинематики относительного движения. Перейдем к системе отсчета, связанной с легковым автомобилем. В этой системе легковая машина покоится, а движется только грузовик.

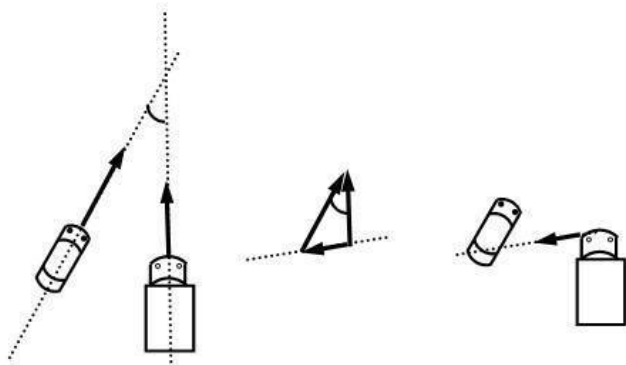


Рис.10. Обгон грузового автомобиля легковой машиной; а – схема движения для внешнего наблюдателя, б – векторное вычитание скоростей, в – картина столкновения в системе отсчета, связанной легковым автомобилем.

Чтобы выполнить такую операцию, необходимо перейти в такую систему отсчета, в которой из скоростей всех тел вычитается скорость автомобиля $v_{\text{легк}}$. Вычитание можно произвести графически, так, как изображено на рис. «в». Направление и величину новой скорости относительного движения можно найти, произведя векторное вычитание $v_{\text{отн}} = v_{\text{груз}} - v_{\text{легк}}$, изображенное на рис. 9б. В результате приходим к картине движения, представленной на схеме 9в. На нем легковушка покоится, а движется лишь грузовик. Видно, что новая, «относительная», траектория грузовика пере-

секает силуэт его соседа. Столкновение произойдет! Левая точка переднего бампера грузового должна ударить в заднюю часть правого крыла легкового автомобиля.

Проведенные математические вычисления можно заметить видеорегистратором или просто пассажиром, сидящим в легковой машине. Они бы зафиксировали, что если отвлечься от окружающих дорогу предметов, то будет казаться, что кабина легкового автомобиля и все его содержимое покоятся, а грузовик приближается сбоку, слегка отставая и «целясь» в корму.

Ответ. Легковой автомобиль ожидает существенный ремонт кузовной части, грузовик лишится фары.

Двигается ли Солнце по небу?

Перейдем к следующей задаче. На рис. 11 изображена фотография заходящего Солнца. А все-таки, что движется – Солнце, или Земля? Обсудим этот вопрос.

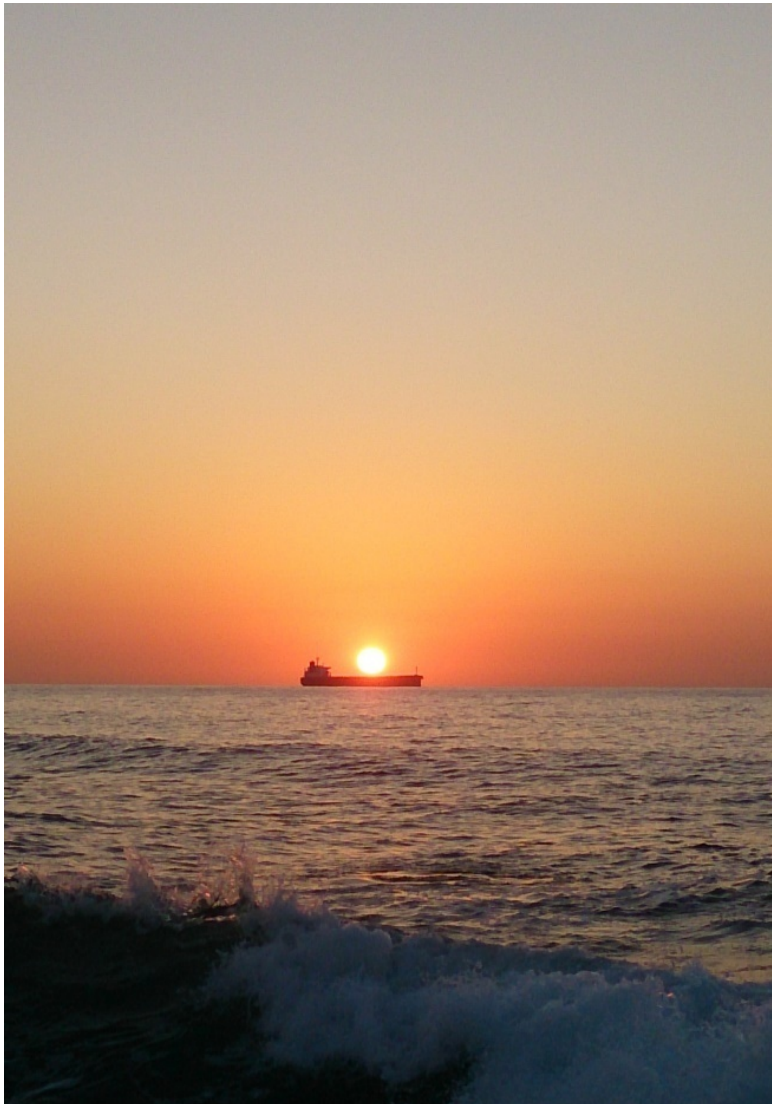


Рис.11. Бога Ра везут. Фото автора (И.Н. Сачкова)

Вопрос 11. Правильно ли говорить: «утром солнце встает, а вечером – уходит за горизонт»? Ведь известно, что это Земля вращается вокруг своей оси и движется вокруг Солнца? Решил ли Коперник этот вопрос окончательно?

Обсуждение. На рис.12 изображены портреты двух великих людей. Они оба были очень хорошими математиками и механиками. Но на поставленный выше вопрос они дали бы взаимоисключающие ответы. Первый из ученых – Клавдий Птолемей, живший в 100–170 гг. и работавший в знаменитом Александрийском Мусейоне. Он создал теорию, согласно которой Солнце вращается вокруг Земли.

Второй – Николай Коперник, 1473-1543 гг., государственный деятель Германии и Польши. Согласно его теории огромная Земля движется, как кораблик, вокруг солнечного диска.

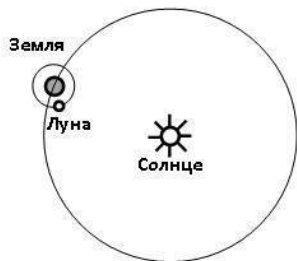


Рис.11. Портреты двух великих астрономов; сверху –

Клавдий Птолемей, создавший теорию вращения Солнца и планет вокруг Земли; снизу – Николай Коперник, предложивший схему вращения Земли и ее движения вокруг Солнца

Так кто же прав?

Обсуждение проблемы мы сделаем попозже. Там имеются нюансы. Но принципиальный ответ можно сделать уже сейчас. Любое движение относительно, можно считать, что Земля покоится, а можно утверждать, что летит вокруг Солнца. Так говорит закон относительности. А закон всегда есть закон!

Речь идет о важнейшей проблеме 17-го столетия. Из-за ее трактовки церковь сожгла на костре Джордано Бруно, замучила и сделала инвалидом Галилея. Лишь заступничество тогдашнего государя, герцога Лоренцо Медичи, спасло жизнь великому ученому. Проблему иллюстрирует

рис. 1.12, на котором сопоставлены две схемы. На верхней из них Солнце и Луна вращаются вокруг неподвижной Земли. Эта модель называется «геоцентрической». Ее разработал и усовершенствовал великий ученый античности, Клавдий Птолемей примерно в 100 – 170 гг. На нижней части рисунка представлен и схема, согласно которой Земля вращается и вместе с Луной движется вокруг Солнца. Эту теорию представил. Николай Коперник.

С точки зрения принципа относительности движения – обе схемы равноправны. Однако имеется один дополнитель-

ный фактор, который влияет на признание теории истинной. Дело в том, что теории должны еще быть связаны с другими теориями так, чтобы не противоречить им. Ситуация подобна детской игре – собрать картинку из кусочков, «пазлов».

В частности, любое положение кинематики не должно противоречить ни одному положению динамики или теории сохранения энергии.

Теория Птолемея противоречит и теории гравитации, и динамике Ньютона, и законам сохранения момента вращения. Оказывается, что не может тяжелое Солнце вращаться вокруг легкой Земли. Ну и, конечно, полеты космических кораблей окончательно делают правым Коперника.

Существует еще несколько доказательств правильности теории вращения Земли. Они заключены в эффектах закручивания атмосферных и океанических течений. Кроме того, известна общая особенность: если река течет с севера на юг в северном полушарии, то ее правый берег – крутой, а левый – пологий. Однако эти особенности требуют отдельного рассмотрения и выходят за рамки настоящей брошюры.

Необходимо сделать некоторые оговорки. Мы не учли некоторые эффекты, связанные с возникновением движения по виражу.

Кроме того, Они связаны с действием второго закона Ньютона и особенностями действия закона сохранения энергии. Они выходят за рамки настоящей брошюры. Интересны также следующие вопросы будут обсуждаться позднее, в

следующих разделах книги.

При рассмотрении представленного Следует сделать ряд Обсуждение ряда подобных вопросов вынесено в раздел «Семинары и самостоятельные решения».

Как эти факторы влияют на обсуждаемый эффект. Заметим попутно, что скорость вращения не зависит от размеров и массы автомобиля, поскольку эти величины не вошли в формулу для ω .

Помимо движения по выражу, опасное вращение автомобиля может инициироваться состоянием шин и столкновением с другим автомобилем. Иллюстрацией служат задачи, вынесенные на самостоятельное решение.

Задача 1.7. На вращающейся платформе находятся три детали. Внезапно они теряют сцепление с опорой. Опишите дальнейшее движение деталей.

Решение. До потери сцепления все три детали совершают вращение вместе с платформой. Угловые скорости их вращений одинаковы. В то же время поступательные скорости центров деталей – различны. Скорость равна нулю для детали в центре диска и максимальна – для третьей детали.

Вывод: деталь 1 будет вращаться, а центр ее останется на месте. Детали 2 и 3 будут двигаться параллельно касательной к ободу, вращаясь против часовой стрелки. Траектории и длины перемещений отражены пунктирными линиями.

Можно показать также, что расстояния, на которые отбросит детали, характеризуются формулой: длина перемещения

равна $S = 2 \pi r t / T$, где r – расстояние от центра детали до оси вращения, t – время полета детали, T – период вращения платформы.

Ответ. То есть, чем дальше от центра диска находится деталь, тем выше ее поступательная скорость. При этом скорость вращения – одинаковая, не зависит от радиуса.

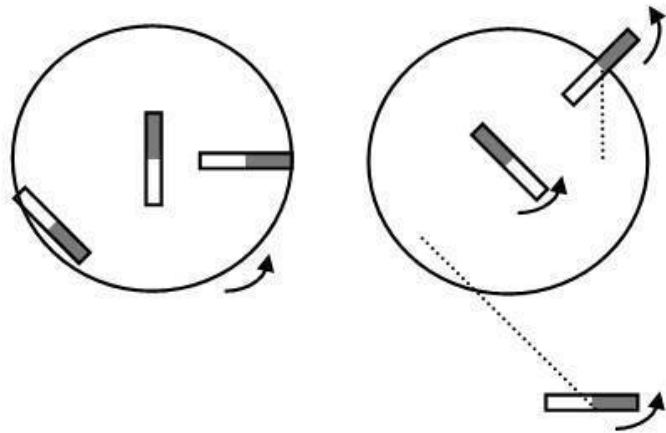


Рис. 1.7. Поведение деталей на вращающемся диске до (а) и после (б) потери сцепления, пунктир – траектории центров тяжести

Попутно заметим, что эти принципы, кажущиеся теперь

очевидными, привели к множеству трагедий на рубеже 16-го – 17-го веков. Дело в том, что тогда решался важнейший вопрос естествознания. «Что движется? Солнце вокруг Земли, или Земля вокруг Солнца?». В те времена за неудачный ответ на него вполне могли сжечь на костре. Дело в том, что в тогдашней кинематике речь шла фактически об устройстве Мира, об авторитете Библии. Но об этом поговорим попозже. Отметим лишь, что потребовалось почти сто лет, чтобы эти правила утвердились в умах ученых! Почему так долго? Решим ряд следующих задач, которые иллюстрируют некоторые странности действия этого простого принципа.

Драматическая история открытия закона относительности была описана неоднократно. Этих вещей была , открытая обстоятельства начале 17-го века Галилео Галилеем. Положения теории относительности Галилея довольно просты для нас. Их можно выразить, в частности, следующими утверждениями.

На второй – в центре мироздания расположено Солнце, а Земля вращается вокруг своей оси с периодом одни сутки и одновременно движется вокруг Солнца с периодом один год. Луна имеет период обращения – месяц. Система называется «гелиоцентрическая».

Теория правильная – если она соединяется с другими теориями, подобно пазлу в детской игре. Два пазла должны соединиться так, чтобы совпали все выступы и впадины, а также рисунки обеих деталей должны переходить одна в дру-

гую. Так же и две теории должны согласовываться друг с другом. Например, кинематика и динамика должны образовывать единую науку. Движение тел должно объясняться действиями сил. Электротехника должна использовать закон Кулона. Например, электрический ток может «пробить» электрическую изоляцию именно благодаря действию закона Кулона, а не какой-то «волей» электрического тока. Пробой происходит, когда сила Кулона, действующая на носители тока, превысит строго определенное значение.

Механика образует пазл-структуру, содержащую отдельные детали – кинематику, динамику, законы сохранения, которые должны в своих выводах согласовываться и дополнять друг друга.

Можно, конечно, рассматривать в форме отдельных случаев движение тела с постоянной скоростью, ускоренное, замедленное, движение по кругу. Но истинная теория должна требовать объяснения этих видов движения с динамикой и другими видами механики.

Теории, основанные на том, что «просто знаю» называются параномальными. Они не привлекают

Конечно, можно знать, что летающие тарелки существуют, но использовать подобные знания при прокладке трасс самолетов – будет себе дороже.

Паранормальные теории – не соединяются с другими теориями-пазлами. Они существуют изолированно, «для красоты».

Вы имеете право опрыскивать святой водой свой самолет перед посадкой на него, но нельзя требовать от авиаконструкторов введения подобного обязательного правила.

Так было не всегда. Например, охотник каменного века знал, что стрела летит сначала прямо в цель, а потом падает на землю. При этом его теория полета стрелы не использовала ни закона всемирного тяготения, ни аэродинамики. Он просто знал, что если сделать так – будет то. А если иначе – другое. В настоящее время при стрельбе из пушки необходимо, чтобы кинематика полета снаряда

Поэтому во времена охотника каменного века можно было считать, что солнце утром встает, а вечером – уходит за горизонт. В наше время, при создании кинематики движения Солнца необходимо учитывать, что существуют другие науки, с которыми необходимо согласовывать теорию движения.

В следующей главе мы представим результаты опытов, которые прямо указывают, что именно Земля вращается, а не Солнце ходит по горизонту.

Вопрос. На рис.1.15 изображены две картины движения планет. Какая из них – более правильная? Как это доказать?

Ответ 1.13. Считается, что с точки зрения математического описания – они обе дают правильные предсказания положений планет и Солнца. За неимением места, переадресуем читателя к другим книгам.

Согласно теории Птолемея, в центре Мира находится

Земля, а вокруг нее вращаются Луна, планеты, Солнце и сфера звезд (на рис. не показана). Небесные тела совершают очень сложные движения. Во-первых, вся система совершает оборот вокруг Земли в течении суток. Во-вторых, все они, за исключением звезд, совершают вращение по большим окружностям, которые он назвал деферентам. В-третьих, планеты Венера, Марс и другие двигаются по окружностям меньшего радиуса, называемыми эпициклами. Далее предусматривалось, что и эпициклы вращаются по своим эпициклам. Получался очень сложный механизм со множеством своеобразных шестеренок.

Теория Птолемея оказалась научной, то есть достаточно точной. Она использовалась мореплавателями для ориентации по солнцу и звездам более 1500 лет. Эта «геоцентрическая» модель Вселенной, в которой Земля покоилась, а небесные светила двигались, была закреплена в христианской религии. Особенность любого верования – незыблемость принятых догматов. В отличие от науки, религия не доказывает, а принимает принципы.

Правильность теории

Как известно, практика – критерий истины. Правильной можно считать такую теорию, которая

Парадокс относительности движения. Можно считать, что звезды и Солнце двигаются по небу.

Ответ. Согласно принципу относительности, оба утверждения правильны. Правда, имеется оговорка, обсуждаемая

в следующей главе. Это возможно, если считать Землю инерциальной системой отсчета. Обратимся в следующей главе к рассмотрению эффектов, связанных с действием закон инерции и к его нарушениям.

Необъяснимое вечное движение нашего светила стало основой множества религий. Солнце называли Гелиосом – у греков, Аполлоном – у римлян, Ра – в древнем Египте. Фараон Египта был Сыном Солнца. Появление первой кинематики в Египте было вызвано необходимостью предсказать движение Солнца и звезд по небосклону. Зачем это оказалось нужным?

Оказывается, движение бога Солнца Ра по небу было очень важно для древних египтян. Жрецы открыли, что именно по воле бога Ра происходили разливы Нила, приходила засуха, менялись времена года. Поэтому первые ученые на земле, жрецы, создали первую кинематику – науку о движении Солнца и звезд по небосклону. Теперь грамотные люди говорили земледельцу, как поступать, чтобы не засохла взошедшая пшеница. Или не погибла при наводнении.

Рассмотрим проблему описания движения светил.

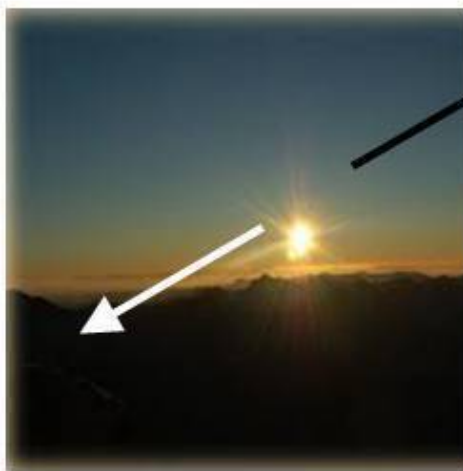


Рис. 1.12. Движение солнца по небосклону – реальность, или иллюзия?

Жрецы Египта объясняли смену дня и ночи тем, что бог Амон-Ра движется по небу на колеснице, рис.1.13. Днем она плывет по небесной реке с востока на запад, и солнце освещает землю. Обратный путь – с запада на восток – Ладья проделывает ночью: она плывет под землей через Загробный Мир, и солнце согревает своими лучами мумии, лежащие в саркофагах. На рассвете Ладья через пещеру в восточных скалах вновь выплывает на небосвод, и все повторяется сызнова.

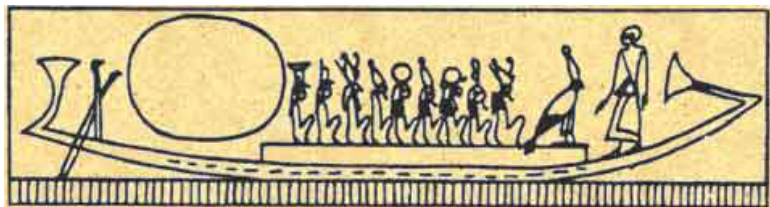


Рис.1.13. Ладья Ра; виньетка из папируса; http://www.wands.ru/txt/lnk_002r.html

Для описания движения Солнца и его положений в небе зимой и летом, жрецы создали Календарь – одно из первых научных учений. Эту теорию можно считать научной, потому что она правильно предсказывала времена года. Календарь дал тогдашним ученым людям невиданное могущество. Они могли сказать, когда нужно бросить семя в землю, чтобы не умереть с голоду!

В этом и состояло одно из главных достижений египетской науки. Жрецы определили, что год длится 365 дней. Каждый год они разделили на три сезона. Первый, равный нашим четырем месяцам, назывался «ахет» (что в переводе с языка древних египтян означает «наводнение»). Он совпадал с разливом Нила. В то время, которое теперь протекает с июля по октябрь, река затопляла берега. Следующий сезон, длившийся тоже около четырёх наших месяцев, назывался «перет» (появление суши). Вода спадала, увлажнив землю

и удоблив её илом; сезон начинался севом и заканчивался сбором урожая. С марта со стороны Сахары начинал дуть иссушающий ветер, и наступал последний сезон года, «шесму» (отсутствие воды). Таким образом был создан КАЛЕНДАРЬ – одно из великих открытий человечества.

Следует отметить, что создание этого Календаря было делом очень сложным, потребовало сотен лет. При этом жрецы догадались, что звезды вращаются вокруг Земли с периодом 365 дней, а Солнце, в свою очередь, перемещается относительно этой Звездной сферы. И хотя звезд днем не было видно, но жрецы знали, в каком созвездии «гостит» Солнце, в созвездии Козерога, Водолея или других. Таким образом, течение года означало движение Солнца мимо невидимых в этот момент созвездий, рис. 1.14.

Кроме астрономии и Календаря, жрецы предложили и еще одну науку, астрологию. Они сделали вывод, что поскольку движение Солнца и звезд так сильно влияет на великую реку Нил, то уж на жизнь ничтожных отдельных людей – подавно должно влиять. Жизнь людей запутана и противоречива. Хорошее и плохое – перемешано. Удача и неудача столь же относительны, как явление движения. Поэтому астрология и сохранила свое влияние до наших дней.

Решим попутно задачу, описывающую невидимое движение Солнца.

Вопрос 1.12. В какое время года, зимой или летом, можно увидеть на небе созвездие Льва?

Ответ. Период времени «Лев» относится к лету. В это время Солнце проходит по этому созвездию. Следовательно, лишь зимой Солнце достаточно удалится от этого созвездия, и «Лев» можно увидеть ночью.

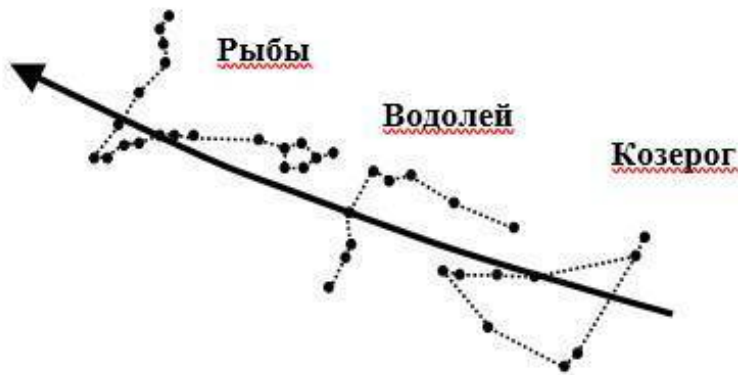


Рис.1.14. Годовое движение Солнца через созвездия
Прав ли был Галилей? Крутится ли она?

Календарь был первой, но примитивной моделью движения Солнца. Более научная же теория была создана через две тысячи лет после создания пирамид египетским ученым Птолемеем.

Вопрос. На рис.1.15 изображены две картины движения планет. Какая из них – более правильная? Как это доказать?

Ответ 1.13. Считается, что с точки зрения математического описания – они обе дают правильные предсказания положений планет и Солнца. За неимением места, переадресуем читателя к другим книгам.

Согласно теории Птолемея, в центре Мира находится Земля, а вокруг нее вращаются Луна, планеты, Солнце и сфера звезд (на рис. не показана). Небесные тела совершают очень сложные движения. Во-первых, вся система совершает оборот вокруг Земли в течении суток. Во-вторых, все они, за исключением звезд, совершают вращение по большим окружностям, которые он назвал деферентам. В-третьих, планеты Венера, Марс и другие двигаются по окружностям меньшего радиуса, называемыми эпициклами. Далее предусматривалось, что и эпициклы вращаются по своим эпициклам. Получался очень сложный механизм со множеством своеобразных шестеренок.

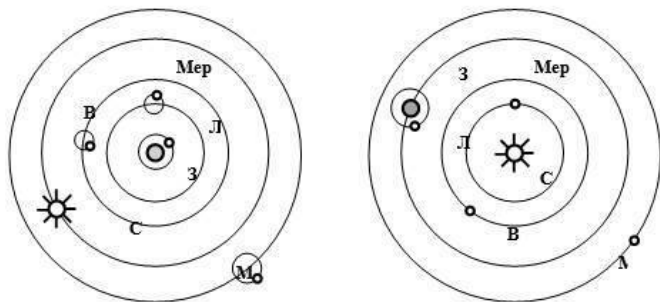


Рис.1.15.

Системы Мира Птолемея (а) и Коперника (б)

Теория Птолемея оказалась научной, то есть достаточно точной. Она использовалась мореплавателями для ориентации по солнцу и звездам более 1500 лет. Эта «геоцентрическая» модель Вселенной, в которой Земля покоилась, а небесные светила двигались, была закреплена в христианской религии. Особенность любого верования – незыблемость принятых догматов. В отличие от науки, религия не доказывает, а принимает принципы.

Однако еще до Птолемея, в древней Греции, Элладе, существовала альтернативная теория гелиоцентризма, по которой Земля движется вокруг Солнца и одновременно вращается вокруг своей оси.



Рис. 1.16. Николай Коперник, польско-немецкий ученый; портрет создан учеными путем реконструкции по черепу

И вот, в конце 16-го века, в Европе возник конфликт между рядом свободлюбивых философов и консервативной церковью. В начале 17-го века Николаем Коперником

была создана теория, по которой в центре Мироздания не Земля, а Солнце. Все планеты, включая Землю, совершают движение по идеальным окружностям вокруг Солнца.

Николай Коперник был одним из государственных деятелей Германии. Не зря Коперник опасался публиковать свою теорию. Она сразу же была запрещена церковью, потому что свободолюбивые философы Европы воспользовались ею, чтобы ослабить влияние Церкви. Дело в том, что принцип «Земля – центр Вселенной», утвержденный учениками Аристотеля, подрывала основу христианского Мироздания. Ее активный защитник Джордано Бруно – сожжен на костре.

Галилео Галилей, защищавший теорию Коперника, был репрессирован церковной инквизицией. За оскорбление его должны были сжечь на костре, как Джордано Бруно. Он спасся тем, что принял покаяние и поклялся более нигде и никогда не упоминать кощунственную теорию о движении Земли. Согласно легенде, после этой процедуры он бодро топнул ногой и заявил. «А все-таки она вертится!» Но это, конечно, вряд ли

Теперь во всех учебниках астрономии говорится, что движение Солнца по небу – кажущееся, относительное. На самом деле – это Земля крутится! Но все же, можно ли убедиться, основываясь на реальных фактах, а не с помощью запутанной теории, что это так? Об этом – следующий раздел, посвященный неинерциальным системам отсче-



та.

Рис. 1.17. Джордано Бруно, 1548-1600 гг, итальянский монах-доминиканец, поэт, философ. Пропагандировал гелиоцентрическую теорию Н. Коперника. Объявил о множественности Миров. Обвинен римской инквизицией в ереси, сожжен на костре

Нам трудно представить, потому что мы не ценим зачатую блага Госметеоцентра. А в те времена лишь жрецы знали, почему и как движется Ра. От предсказаний жрецов за-

висела жизнь народа Египта.

При этом обе теории фактически равноправны с точки зрения теории относительности.

Так все-таки, стоило ли ученым вести войну с церковью? Земля вертится или покоится?

Если смотреть движется вперед оль горизонтали (взгляд «х»), то телега кажется стоящей, а шарик падает с ускорением сверху вниз. Если смотреть сверху, то шарик и конструкция едут ВМЕСТЕ.

Однако, если следовать принципу Галилея (правило 4), то можно РАЗЛОЖИТЬ движения тележки и шара на два независимых: горизонтальное и вертикальное. и рассматривать их независимо. Нетрудно видеть, что и тележка, и груз двигаются по горизонтали одинаково, поскольку имеют одинаковые горизонтальные составляющие скорости. И только движение по вертикали – разное. Однако его можно отбросить, как независимое. И тогда, если ограничиться использованием тяжелых предметов и считать движение не слишком быстрым, приходим к следующему выводу.

Используем фурнитуру в форме ширмы, окружающей падающий шар. зайдём мысленно во внутрь и, пользуясь повседневным опытом увидим, что шар просто падает сверху вниз.

Движение вперед легко «уничтожается». Достаточно ведь поставить ширмочку, чтобы не было видно, что платформа едет – и внутри нее шар будет падать сверху вниз. Математи-

чески поступают следующим образом. Переходят мысленно в систему отсчета, связанную с тележкой. В ней – движение по горизонтали отсутствует.

Ответ. Круглый предмет на рис.1.3 упадет в точку «б» платформы, располагающуюся под точкой подвеса.

Во многих книгах говорится о том, что предсказание затмения – это демонстрация могущества. Одна из основных задач науки о движении небесных объектов – предсказание.

- 1) Затмений Солнца и Луны. Это имело огромное общественное значение в Др.Греции.
- 2) Наступления весны, разливов Нила.

В Древней Греции, в работах Эллинских мудрецов. Многие из почерпнули свои знания в путешествиях по халдейским и египетским землям.

В мифах древней Греции также утверждалось, что бог солнца Гелиос движется на колеснице, запряженной четверкой лошадей. Однако накопленное к тому времени знание об астрономии позволило уже перейти к новой теории, которую называют геоцентрической. Ее создателями можно считать Архимеда, Евдокса, Аристотеля и Гиппарха. Во 2-м веке нашей эры ей придал законченный вид Клавдий Птолемей. Упрощенная схема движения Солнца и планет изображена на рис.1.15. Она заключалась в том, что в центре мира находится шарообразная Земля, вокруг которой вращаются по нескольким идеальным окружностям Луна, Солнце и плане-

ТЫ.

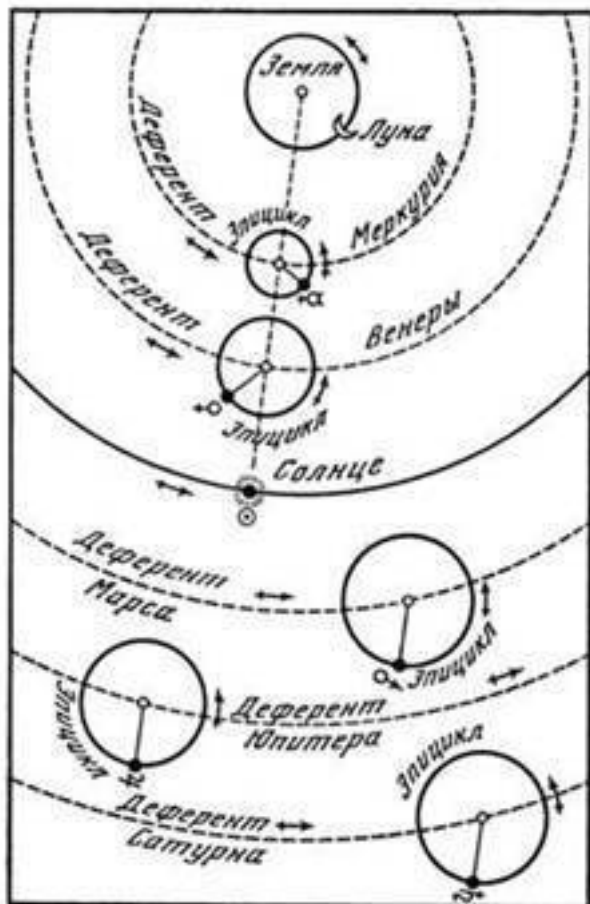


Рис. Система мира Птолемея

4 вида движения Солнца, два описания:

1) День-ночь (часы) Время разбили, в соответствии с 12-тичной системой счисления.

2)

Относительно сферы звезд: проходит через созвездия Рыб, Овна, Близнецов... Календарь, Астрология

3) Модель Птолемея – циклы, эпициклы – навигация

4) Коперник – чистая физика

5) Кеплер – астрофизика

Правильность теории определяется ее полезностью. Если бы был компьютер, можно было бы составить массив данных и обойтись без расчетов.

Жрецы обнаружили очень простую и очень сложную вещь. Звезды вращаются вокруг Земли с периодом 1 год, а Солнце, в свою очередь, перемещается относительно Звездной сферы.

Солнце в Рыбах – пора сеять! Когда в Скорпионе – пора убирать.

Звезд днем не видно, но жрецы знали, что они находятся на своем месте и Солнце пересекает соответствующее созвездие.

Жрецы обнаружили очень простую и очень сложную вещь. Звезды вращаются вокруг Земли с периодом 1 год, а Солнце, в свою очередь, перемещается относительно Звезд-

ной сферы.

Знание у жрецов было тайной, которую не должны были знать непосвященные.

Приборное обеспечение: часы – календарь – секстант – телескоп

Пространство феноменов – содержит множество придуманного, и среди этого множества содержатся элементы истины. Существует поверхность, отделяющая истину от вымыслов.

Астрология – астрономия

Теории Теслы: среди выдумок (энергия пространства, электромедицина, , раскалывание Земли...) элемент истины – асинхронный двигатель.

Если учесть, что высшая цель фараона или жреца состояла в том, чтобы взлететь

Эти явления предсказывали жрецы.

Сейчас – это просто. Есть календарь. Есть гидрометеоцентр. А если этого нет???

ТРИ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

В истории физики были созданы три теории относительности.

О первой из них говорилось в настоящем разделе. Ее создатель – Галилео Галилей, представивший ее в начале 1600-х годов. Ее важнейший тезис – скорость и движение относительны.

Вторая создана Альбертом Эйнштейном в 1904 году и на-

зывается специальная теория относительности (СТО). В ней утверждается, что время и расстояние – относительны и меняются в движущихся телах. Важнейшее применение теории – атомная энергия. Она использовала формулу $E = m c^2$.

Через 10 лет Эйнштейн выдвинул еще более общую теорию относительности. В ней понятия прямолинейности и гравитации оказываются относительными. В присутствии тяготения свет движется по кривой. Важнейший результатом можно считать теорию рождения и расширения нашей Вселенной.

1904 год: СТО длина и время относительны.

Эйнштейн: 1910 ОТО прямолинейность и гравитация – относительны

В конце XIX века ньютоновское понятие абсолютного пространства подверглось уничтожающей критике, а в начале XX века Анри Пуанкаре и Альберт Эйнштейн провозгласили всеобщий принцип относительности: нет смысла утверждать, что тело покоится или движется, если дополнительно не уточнить, относительно чего оно покоится или движется. При обосновании этого фундаментального положения оба автора использовали полемически острые формулировки. Так, Пуанкаре в книге «Наука и гипотеза» (1900 год) писал, что утверждение «Земля вращается» не имеет никакого смысла, а Эйнштейн в книге «Эволюция физики» указал, что системы Птолемея и Коперника— это просто два разных соглашения о системах координат, и их борьба бес-

смысленна. В связи с этими новыми взглядами в массовой печати неоднократно обсуждался вопрос: а был ли прав Галилей в своей настойчивой борьбе?

Хотя, в любом учебнике астрономии говорится, что Земля вращается вокруг своей оси и вокруг Солнца. И это видно из космоса. Аппараты Вояджер, находящиеся сейчас на окраинах солнечной системы, прислали фотографии, подтверждающих, что Земля – спутник Солнца.

Но можно ли реально зафиксировать вращение Земли, не выходя в космос?

Об этом следующий раздел.

Например, в 1908 году во французской газете «Матэн» появилась статья, где автор заявил: «Пуанкаре, величайший математик века, считает упорство Галилея ошибочным». Пуанкаре пришлось написать специальную статью «Вращается ли Земля?» (1904) с опровержением приписываемого ему мнения о равносильности систем Птолемея и Коперника, а в книге «Ценность науки» он заявил: «Истина, за которую пострадал Галилей, остаётся истиной».

Что касается вышеприведенного замечания Эйнштейна, то оно относится к [общей теории относительности](#) и означает принципиальную допустимость любых [систем отсчёта](#). Однако отсюда не следует их физическая (и даже математическая) эквивалентность[132]. С точки зрения удалённого наблюдателя в системе отсчёта, близкой к [инерциальной](#), планеты Солнечной системы всё же движутся «по Копер-

нику», а геоцентрическая система координат, хотя часто и удобна для земного наблюдателя, имеет ограниченную область применения[133]. Кроме того, в системе Птолемея было бы невозможно вывести законы Кеплера и закон всемирного тяготения, поэтому с точки зрения прогресса науки борьба Галилея была не напрасной[132].

Обитатели долины Нила, где нет настоящей зимы, делили год на три сезона, которые зависели от поведения реки. Первый сезон – «ахет» (что в переводе с языка древних египтян означает «наводнение») – совпадал с разливом Нила. В то время, с июля по октябрь, река затопляла низины. Следующий сезон, длившийся тоже около четырёх месяцев, назывался «перет» (появление суши). Вода спадала, увлажнив землю и удобрив её илом; сезон начинался севом и заканчивался сбором урожая. С марта со стороны Сахары полтора месяца дули иссушающие ветры, и наступал последний сезон года, «шему» (отсутствие воды). С Нила, от которого зависела вся жизнь египтян, и началась астрономия этой древней цивилизации. «Египет – это дар Нила», – писал древнегреческий историк Геродот.

Египетские жрецы-астрономы заметили, что незадолго до начала подъёма воды происходят два события: летнее солнцестояние и первое появление Сириуса на утренней заре после 70-дневного отсутствия на небосводе. Сириус, самую яркую звезду неба, египтяне называли именем богини Сопдет. Греки произносили это имя как «Сотис».

К тому времени в Египте существовал лунный календарь из 12 месяцев по 29 или 30 дней – от новолуния до новолуния. Чтобы его месяцы соответствовали сезонам года, раз в два-три года приходилось добавлять тринадцатый месяц. Сириус «помогал» определять время вставки этого месяца. Первым днём лунного года считался первый день новолуния, наступавший после возвращения этой звезды.

Задача На рис. представлены две картины взаимного движения Земли и Солнца. Какая из них – правильная?



Ответ Обе картины правильные.

Как движется Солнце? В системе Земли – по кругу, в системе Солнца – покоится, а Земля вращается вокруг нее по кругу.

Кто открыл принцип относительности Галилея? Он был им сформулирован математически. А вот первое практическое применение он нашел еще до Галилея. он был применен для решения важной научной задачи – Коперником.

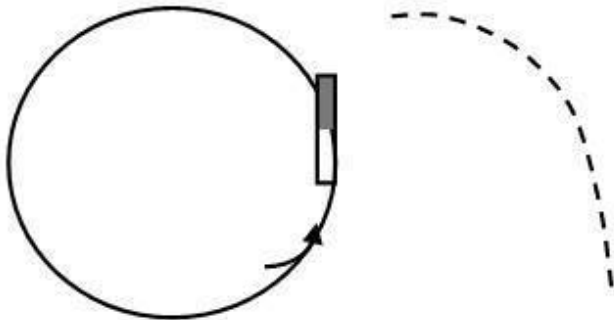
Джордано Бруно (итал. *Giordano Bruno*; настоящее имя

Филиппо, прозвище – **Бруно Ноланец**; 1548, Нола близ Неаполя – 17 февраля 1600, Рим) – итальянский монах-доминиканец, философ и поэт, представитель пантеизма.

Имеются три детали, по-разному расположенные на вращающейся платформе. В результате резкого торможения платформы детали теряют сцепление и начинают двигаться по инерции. Будут ли детали вращаться вокруг собственной оси? Какая из них быстрее?

Все три детали до потери сцепления

В чем различие характера движения деталей после этого.



Обратимся теперь к эффектам (проявлениям) сложения движений. Реальный опыт неоднократно показывает: если необходимо анализировать или прогнозировать движение любого реального объекта, то, прежде всего, необходимо разложить его поведение на отдельные виды движения.

Одновременное движение вдоль различных координат устанавливает форму траектории движения. Форма реализующейся траектории сложного движения зависит от характера независимых движений (ускоренного или равномерного). Если оба движения прямолинейные и равномерные, то траектория результирующего – также прямая линия. Если же складываются равномерное и ускоренное движения, то возможно формирование криволинейной траектории. Последняя ситуация реализуется, в частности, при падении груза, обладавшего начальной горизонтальной скоростью.

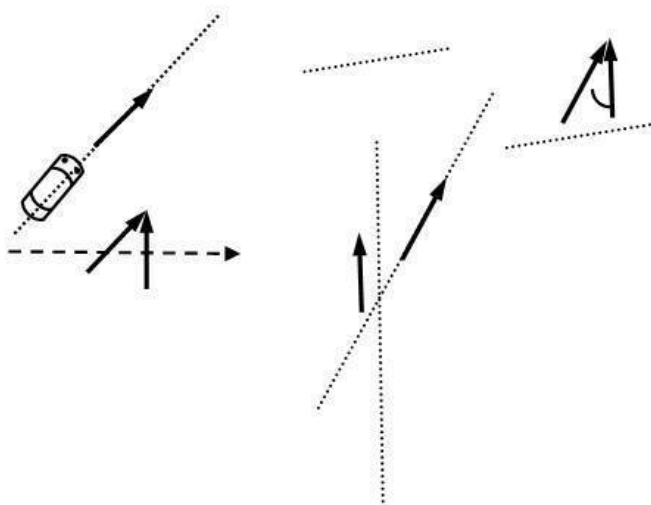
Рассмотрим теперь ряд задач, описывающих широкий спектр особенностей движения транспортных средств, грузов и других объектов.

Нужно учитывать, что движение тел в реальности оказывается сложным. В частности, состоящим из сумм поступательного и вращательного. Фактически любое произвольное движение реального объекта должно разлагаться на движение центра массы и вращательное движение тела как целого. Первое из них – поступательное второе – вращательное.

Напомним определения. Поступательным называется такое движение, при котором любая прямая тела перемещает-

ся параллельно самой себе (конгруэнтно). В случае вращательного движения траектории всех точек тела представляют окружности, различающиеся радиусом, но имеющие единый центр вращения и лежащие в параллельных плоскостях.

Рассмотрим задачи и вопросы, иллюстрирующие обсуждаемые особенности движения.





α

Смертельная авария на Коммунистической: пассажир «четырнадцатой» говорит, что их машину «подрезали»

<http://pg13.ru/auto/view/172>

7 марта 2014 – Pro Город Саранск – Новости Саранска.

Напомним, что накануне в столице Мордовии столкнулись сразу три автомобиля: ВАЗ-2114, «Рено Дастер» и «Фольксваген Поло». В ДТП погиб пассажир отечественной легковушки и еще 4 человека ранены.

Сегодня «Pro Город» удалось поговорить с пассажиром «четырнадцатой» Александром Чемезовым. Он подтвердил, что водитель Александр Ганичев выехал на встречную полосу, уходя от столкновения. «Прочитал много всего в Интернет. Мы не ехали на бешеной скорости, на спидометре было

не больше 60-70 километров в час. Нас на перекрестке «подрезала» «двенадцатая» темного цвета. Саша стал уходить от столкновения и врезался в «Рено». Дальше ничего не помню, все закрутилось. В салоне все были пристегнутые».

Александр Чемезов прокомментировал и слухи, возникшие в соцсетях, связанные с отсутствием на видеорегистраторе ВАЗ-2114 записи столкновения. Молодой человек пояснил, что у аппарата отошел шнур зарядки, поэтому он был выключен.

Пока сотрудники ГИБДД проводят проверку. «В любом случае пока выясняются обстоятельства случившегося, выводы делать рано. Все будет зависеть от установления степени вины водителя ВАЗ 2114. С учетом того, что в аварии имеется один погибший, то в случае доказанности вины, возможное максимальное наказание не превысит 5 лет лишения свободы», – говорит адвокат Андрей Елистратов.

В социальных сетях разгорелась жаркая дискуссия о вине Александра Ганичева. Многие уверены, что косвенной причиной аварии стало увлечение молодого человека экстремальным вождением по пустынным трассам. Знакомые же водителя доказывают, что он очень осторожно водил машину в черте города.



<http://kratko-news.com/2013/01/29/sposoby-vyhoda-iz-zanosa-ili-chto-delatesli-mashinu-zaneslo/>

Способы выхода из заноса. Или что делать, если машину занесло?

Тормозите на ровных участках дороги, не спешите давить на газ после выхода из поворота и не дергайте руль – в противном случае машину может занести.

Одна из главных опасностей на зимней дороге – это занос. Попасть в занос можно из-за любого неосторожного действия на скользкой дороге. В этом отношении более опасны автомобили с задним приводом, однако такая ситуация может возникнуть и с популярным нынче передним приводом.

Для того, чтобы постараться выйти из заноса, нужно проделать следующие действия:

Для переднего привода: руль вращать в сторону заноса и немного добавить газ. Самое главное, работать рулем, передачи не менять и ни в коем случае не давить на тормоз. Ручник дергать тоже запрещено, т. к. это усилит занос, и машину просто развернет, вы можете зацепить других участников движения.

Для заднего привода: руль вращать в сторону заноса, газ отпустить, в зависимости от скорости либо совсем, либо слегка, если скорость небольшая. Как и с передним приводом, передачу не меняем, тормоз и сцепление и ручник не трогаем.



Задача Какой из автомобилей вращается с большей частотой длиной 3 м, или 6 м, во сколько раз?

9. Как должен поступить водитель в случае потери сцепления колес с дорогой из-за образования «водяного клина»?

619 / 800

1. Увеличить скорость.
2. Снизить скорость резким нажатием на педаль тормоза.
3. Снизить скорость, применяя торможение двигателем.

Торможение двигателем – более эффективный способ диссипации энергии движения

Во время сильного дождя вода сохраняется в зоне контакта колес с покрытием, в результате чего может (особенно при изношенном протекторе) образоваться «водяной клин», а колеса начинают скользить по покрытию. В этом случае водителю следует плавно снизить скорость, применяя торможение двигателем, так как любое резкое изменение скорости движения может привести к заносу автомобиля. Ответ – 3

Задача . Что означает известное правило: «при заносе автомобиля поворачивать руль в направлении заноса?»

Ответ . Это необходимо, чтобы неконтролируемое вращательное движение превратить в контролируемое поступательное.

Основной вывод, который следует из рассмотренной задачи, означает: «Движение относительно». Шар летит относительно земли, но покоится в воздушном потоке. Вспомним схожую ситуацию: если мы находимся в поезде, мы не ощущаем движения стенок вагона, потому что движемся вместе с ними.

Обобщение множества подобных задач, привело Галилео Галилея к его принципам относительности, которые можно свести к следующим важнейшим практическим выводам.

- 1) Любое движение – относительно;
- 2) оно может состоять из неограниченного числа независимых движений;
- 3) всякое движение может быть разложено на независимые движения, в частности, параллельно координатным

осям;

4) покой – тоже относителен, он – лишь один из видов движения;

5) значения скорости, импульса и кинетической энергии относительны, зависят от выбора наблюдателем системы отсчета.

Закон относительности Галилея составляет основу, отправную точку теории движения. Проиллюстрируем перечисленные положения рядом задач. Обратимся сначала к относительность покоя и движения.

Поступательное и вращательное движение

с угловой скоростью $\omega_{\text{ВРАЩ}}$.

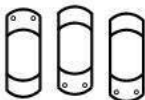
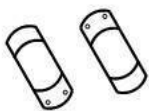
скоростью $V_{\text{ПОСТ}}$

В машина начала двигаться произошла потеря сцепления -С. Почему автомобиль начал вращаться? От чего зависит скорость вращения?

Опишите движение автомобиля, если в точке «В» произойдет потеря сцепления колес с покрытием.

После прохождения точки.

На участке ВС – поступательное движение делается прямолинейным, при этом сохраняется вращение с угловой частотой ω .

 $V_{\text{пост}}$ ОБРАЩ $V_{\text{пост}}$ 

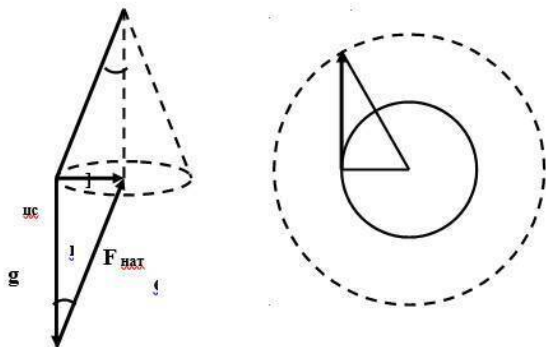
+

Можно сделать вывод, что движение по выражу «АВ» было сложным, состоявшим из поступательного и вращательного. Вращение «проявилось» и сохранилось при движении на участке «ВС».

Задача 1.12. Подвешенный груз совершает движение по кругу (рис.1.7а) радиусом $r = 2$ м на высоте $H = 3$ м от поверхности земли. Длина стропы $L = 5$ м. В каком направлении от точки обрыва полетит груз? Каков радиус опасной зоны при обрыве стропы груза?

Решение. На первый вопрос отвечала задача 1.7. Движение произойдет в направлении касательной к окружности, по которой вращался груз. Для ответа на второй изобразим схему движения рис.1.7а, выполненную в проекции на плоскость земли. В соответствии с рис.1.7б радиус вращения груза равен $r = OC$. Вектор CB задает вектор перемещения груза после обрыва. Таким образом, радиус опасной зоны $R = OB = (OC^2 + CB^2)^{1/2}$. Линейную скорость вращения груза v установим из соотношения для центростремительного уско-

рения $a_{цс} = v^2 / r$. Длина перемещения $СВ = v t$. Входящее в формулу время падения t нетрудно установить из соотношения $g t^2 / 2 = H$.



б

а

Рис.1.7. Кругообразное движение груза, подвешенного на тросе; а – вертикальная, б – горизонтальная проекции (к задаче 1.12).

Установим теперь величину радиуса вращения R . С этой целью изобразим на рис.1.7а также и схему сил, действующих на груз в процессе вращения. Здесь $m g$ – сила тяжести груза, $F_{цс}$ – результирующая центростремительная сила, $F_{нат}$

– сила натяжения стропы. Используя рассматриваемую схему, сформируем систему уравнений для нахождения R.

Исходя из треугольника сил, действующих на вращающийся груз, имеем величину центростремительной силы

$$F_{цс} = m g \operatorname{tg} \alpha .$$

Угол отклонения троса определим уравнением

$$\operatorname{Sin} \alpha = r / L .$$

Результирующая центростремительная сила

$$F_{цс} = a_{цс} m .$$

Производя математические преобразования, в итоге получаем ответ

$$R = OB = (r^2 + CD^2)^{1/2} ,$$

$$\text{где } CD = v t ,$$

$$t = (2 H / g)^{1/2} ,$$

$$v = (L g \operatorname{Sin} \alpha \operatorname{tg} \alpha)^{1/2} .$$

Вычисляем: $v = 3,8 \text{ м / с}$; $t = 0,6 \text{ с}$. Ответ: радиус опасной зоны составит $R = 3,0 \text{ м}$.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задача С Плывающего по реке плота выброшен окурок. Что с ним произойдет? Обгонит ли он плот, отстанет, или будет плыть рядом?

Ответ И окурок и плот двигаются вместе с водой

Задача Что произойдет с воздушным шаром, изображенным на рисунке? Догонит ли он облако, отстанет, или сохранит дистанцию.

ВЕТЕР

ШАР

ОБЛАКО

Рис. Взаимное движение облака и шара

Ответ И шар, и облако висят в потоке движущегося облака. Они двигаются вместе с ним. Вывод: дистанция не меняется.

Задача 1.2. Воздушный шар движется под действием ветра на север, со скоростью порядка 70 км/час. На аэроста-

те вывешен флаг. В каком направлении ветер вытянет флаг – на север, юг, запад, восток, никуда?

Ответ. Скорость шара равна скорости ветра, поэтому флаг покоится относительно воздушного потока. Флаг не будет вытянут.

Примечание Подобная картина справедлива лишь для потоков воздуха, распространяющихся ламинарно, то есть в форме параллельных струй. Если же возникает турбулентность или вихревое движение, то возникают эффекты, рассмотренные в главе настоящей книги, посвященной синергетике.

Задача Были произведены три выстрела, отличавшиеся начальной скоростью пули (рис.). Все они привели к рассмотренному выше эффекту «остановки пули около аэроплана». Можно ли, исходя из рисунка, установить, в какой из ситуаций «а-в» качество пороха была выше?

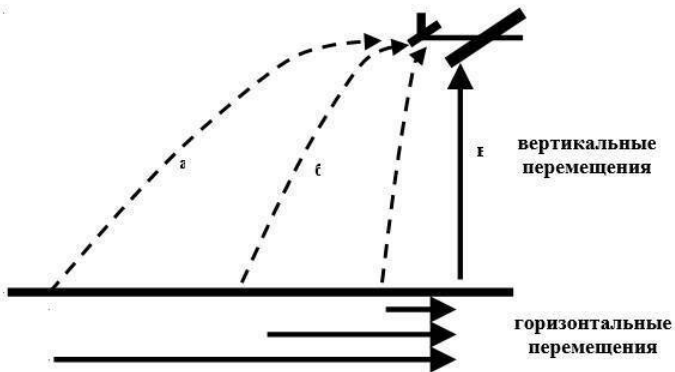


Рис. Движение различных пуль к самолету

Решение Для анализа картины движений целесообразно разложить начальные скорости пуль на их вертикальную и горизонтальную составляющие. Именно их соотношение определяет форму последующей криволинейной траектории движения пули. Результат разложения представлен на схеме рис.

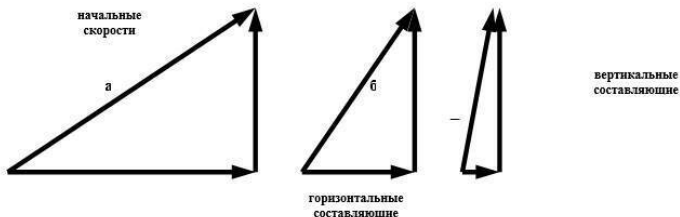


Рис. Схемы разложения векторов начальных скоростей на вертикальную и горизонтальную составляющие.

При составлении схемы учитывалось, что вертикальные составляющие во всех трех случаях должны быть одинаковыми, поскольку высота подъема – одинаковая.

Анализируя рис. можно прийти к выводу, что наилучшее качество пороха и соответственно, наибольшую скорость, имел выстрел «а».

Задача В какой из ситуаций: «а», «б» и «в» предыдущей задачи выстрел был произведен раньше?

Ответ . Одновременно. Поскольку горизонтальные скорости пули и самолета должны быть одинаковыми, выстрел производится в момент, когда аэроплан находился непосредственно над стрелком. Следует также заметить, что направление выстрела было различным.

Задача . В какой из ситуаций: «а», «б» и «в» из предыдущей задачи пуля долетит до самолета раньше?

Ответ. Можно заметить также, что, в соответствии с рис. , пули «а», «б» и «в» совершают одинаковые перемещения по вертикали. Поэтому и время движения будет везде одинаковым. Справедлива формула $h = g t^2/2$, где параметры g и h – одинаковы. Таким образом, пули прилетят одновременно.

Можно видеть, что вертикальные составляющие во всех трех вариантах одинаковы. Различие скоростей определяется горизонтальной ситуацией. Горизонтальные перемещения представлены а рис.

Произведем разложение движений пули вверх и вперед. Можно видеть, что время подъема пули одинаково. При этом за одинаковое время подъема три пули проходят три разных перемещения вперед. Горизонтальные же перемещения, изображенные на рис. , будут пропорциональны горизонтальным скоростям.

Можно даже оценить графически, во сколько раз. Для этого произведем сложение векторов

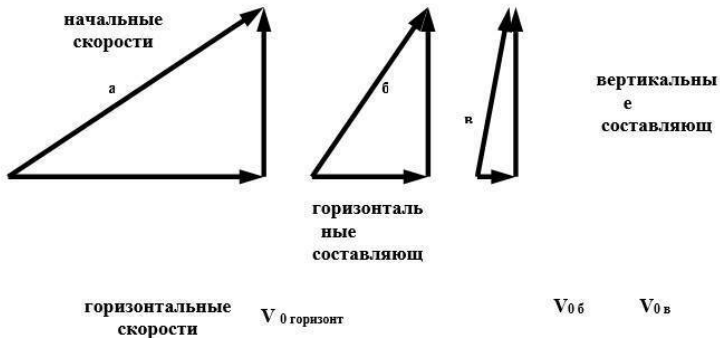


Рис. Схема векторного разложения исходной скорости на горизонтальную и вертикальную составляющие.



Мобильная артиллерийская система «Василиск»



Задача

На скользком вираже автомобиль теряет сцепление с дорогой и начинает вращаться. Чему равна скорость вращения? Влияет ли на нее размер машины? ее исходная скорость 50 км/час, радиус виража 50 м.

Задача 1.8. Автомобиль движется по радиусу $R = 15$ м со

скоростью $v = 50$ м/с. При потере контакта колес с дорогой возникает вращение автомобиля. В какую сторону? С какой частотой вращения?

Решение. Решаемая задача подобна задаче 1.5. Используем схему, изображенную на рис. 1.2. Нетрудно видеть, что на участке «АВ» автомобиль совершает поворот на $\Delta N = 1/4$ оборота по часовой стрелке. Вращение по часовой стрелке продолжится и на участке скольжения.

Для расчета частоты вращения установим время движения по дуге «АВ».

Длина дуги «АВ» $\Delta S = 2\pi R / 4$, время движения $\Delta t = \Delta S / v$. Теперь частота равна $n = \Delta N / \Delta t = (2 \Delta N v) / (\pi / R) = 0,53$ об / с .

Задача

С какой частотой будет вращаться автомобиль после этого? Время прохода виража составило 1 с.

Решение. При движении по виражу автомобиль двигался по окружности частотой $1/4$ с⁻¹, то есть 0,25 об/с. После потери сцепления автомобиль будет двигаться одновременно поступательно вдоль дороги и вращательно с частотой 0,25 об/с. Вращение по часовой стрелке.

КОММЕНТАРИИ И РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

ЗАГОТОВКИ

- 1) Относительность движения
- 2) Сложение движений
- 3) Разложение движений
- 4) Относительность скорости, кинетической энергии и

импульса.

Бутылка падает из окна вагона

Падение авиабомбы

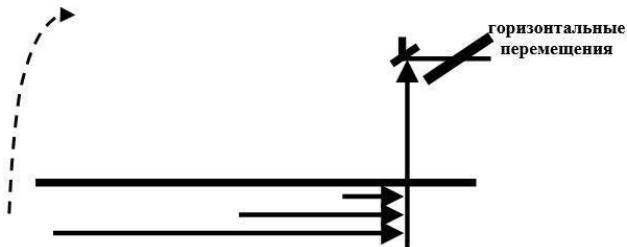
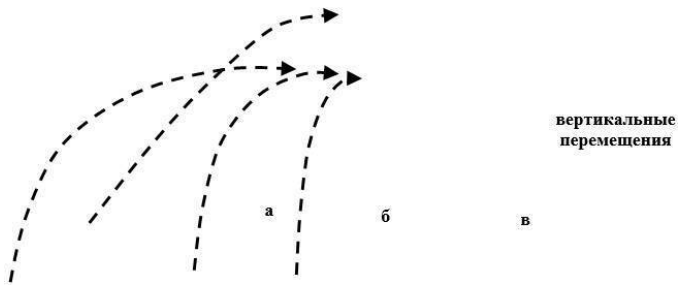
Тангенциальное и нормальное ускорения

Выбор варианта ответа на этот вопрос был во времена Галилея, был бы сопряжен с опасностью для жизни. Потому что на самом деле он приводит к другой альтернативе.

По поводу принципа относительности Эйнштейн сказал, что «Здравый смысл – это те предрассудки, которые человек усваивает в школе»

ОТБРОС

Заметим попутно, что открытие этого закона относительности оказалось одним из важнейших достижений человечества. Вспомним трагедию Джордано Бруно. Он был сожжен фактически лишь из-за спора: что вращается – небеса или Земля.



Во вторник, 31 июля, самолет авиакомпании United Airlines, производя посадку в Международном аэропорту Денвера, получил огромную дыру в носовой части. Причи-

ной пробитой обшивки стала птица, врезавшаяся в самолет, сообщает ABC News.

Впрочем, никаких серьезных повреждений, совершавший рейс из Далласа, не получил, он благополучно приземлился в 9:09 утра в Денвере и самостоятельно подрулил к телетрапу для высадки пассажиров, передает NEWSru.com.

Как заявил пилот и эксперт по авиации Стив Коуэлл, нос самолета – самое безопасное место куда могла врезаться птица.

"Такое столкновение не влияет на двигатели. И уж тем более не затрагивает выезжающие шасси. – пояснил он. – Пассажиры, вероятно, ничего и не почувствовали. Только пилот должен был слышать, как птица стукнулась о корпус".

Пилот также отметил, что после извлечения останков из корпуса самолета они будут отправлены в Смитсоновский институт в Вашингтоне на экспертизу.

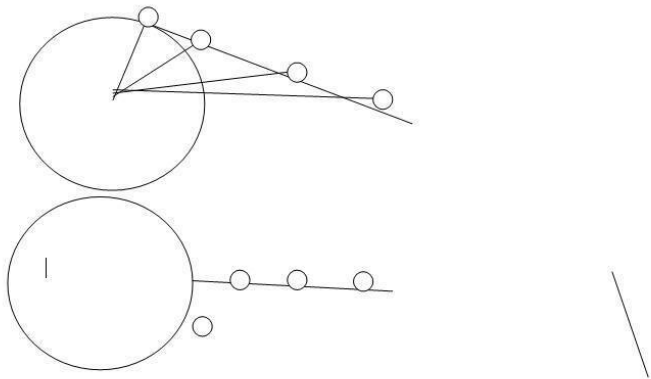
"Смитсоновский институт имеет базу данных ДНК всех видов птиц в мире, там смогут определить, что это была за птица на основе анализа ДНК", – сказала биолог из Министерства сельского хозяйства Соединенных Штатов Кендра Кросс. По ее предположению, это была крупная птица, например, гусь или утка.

"Возможно ли, что это была не одна птица? Мы этого не знаем. Мы взяли образцы с различных частей самолета, которые были задеты, так что мы сможем определить, было это несколько птиц или только одна", – добавила она.

Как отмечает ABC News, Кросс отвечает за то, чтобы представители дикой природы не попадали на территорию аэропорта в Денвере. В своей практике ученый использует такие нелетальные методы, как запуск петард в радиусе 8 километров от аэропорта. Однако, как уточнил представитель аэропорта, инцидент с Boeing 737 произошел приблизительно в 40 километрах от территории аэропорта.

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Мы находимся на вращающемся диске. На наших глазах круглая деталь отрывается и начинает двигаться самостоятельно. Что мы увидим? Какова будет траектория и характер движения этого предмета в нашей, вращающейся системе координат?



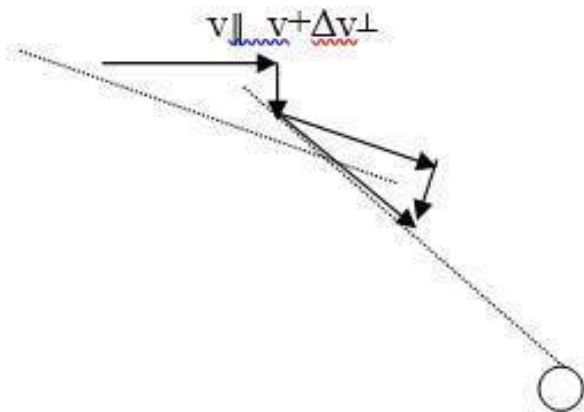
А что дальше? Возникнет колебательное движение Сину-соида? Эллипс?

Параллакс

КРИВОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Движение по синусоиде: в каких точках максимально нор-мальное ускорение, в каких – минимально? Достигим ли нуль нормального? Где происходит смена знака нормального?

Движение делается криволинейным, если к



Траектория должна быть гладкой, то есть дифференци-

руемой. В каждой точке производная конечна. Невозможно скачкообразное, сингулярное изменение скорости.

Человек последовательно делает четыре шага вперед и один вправо. Через сколько шагов он вернется в исходную точку.

Рассмотрим более простую задачу. Один вперед, один вправо. Что произойдет? Через сколько шагов он вернется обратно?

Танк не может поворачивать свои гусеницы. Как же он все-таки поворачивает?

Если течение реки тормозит одним из берегов (отмель, камень), образуется улов – место, где течение крутит лодку на одном месте. Почему возникает вращение воды?

Дифференциал???

Зачем меняют сразу два колеса?

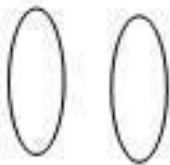
Правое колесо дефектное – автомобиль стремится повернуть вправо.

Правый гребет сильнее, чем левый. Куда повернет? Почему?

Скользит деталь. Правая часть днища более гладкая, чем левая. Куда повернет? Почему?

Как получается криволинейное движение. Рассмотрим простейший пример:

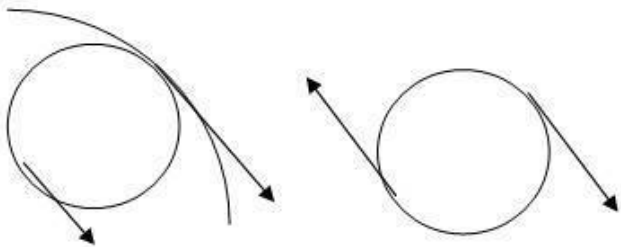
Известно, что если человек идет по густому лесу, то он возвращается в конечную точку движения. Почему? Правая нога сильнее левой, правая скорость больше левой.



Человек идет по густому лесу.

Поворот автомобиля влево означает, что его левая часть движется медленнее, чем правая.

Пример: шарик срывается с вращающейся платформы, сохраняет вращательное движение, потому что



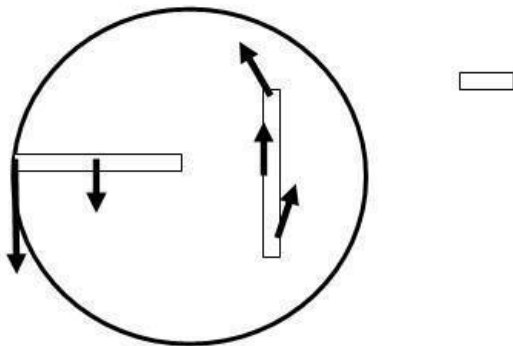
Детали прямоугольной формы вращаются на платформе и внезапно одновременно срываются. В каком направлении

они будут двигаться?

Как каждая из них будет двигаться после этого?

Почему они вертятся?

ПОЧЕМУ возникает вращение? Схему возникновения вращения иллюстрирует рисунок



ДЕТАЛЬ

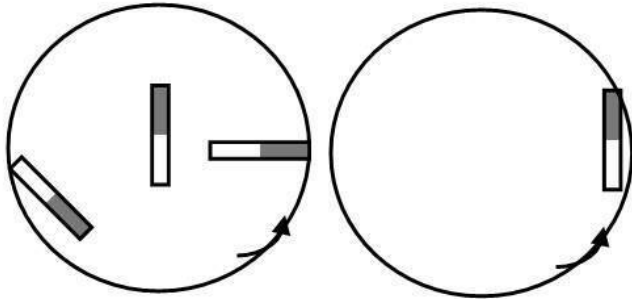
В результате резкого торможения платформы деталь теряет сцепление и начинает двигаться по инерции. Опишите характер ее движения после этого.

Имеются три детали, по-разному расположенные на вращающейся платформе. В результате резкого торможения

платформы детали теряют сцепление и начинают двигаться по инерции. Будут ли детали вращаться вокруг собственной оси? Какая из них быстрее?

Все три детали до потери сцепления

В чем различие характера движения деталей после этого.



До того, как платформа затормозит, все три детали совершают вращение вместе с платформой. Угловые скорости их вращений одинаковы. В то же время линейные скорости центров деталей – различны. Для детали в центре диска скорость равна нулю, максимальна для третьей детали.

Вывод: деталь 1 будет вращаться, а центр ее останется на месте. Детали 2 и 3 будут двигаться «вверх», вращаясь против часовой стрелки. При этом

Каков сценарий отрыва? Какой конец начнет двигаться раньше?

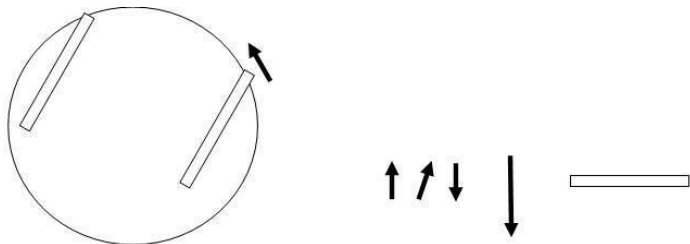
Какое действие окажут силы инерции?

Какой будет траектория во вращающейся системе отсчета?

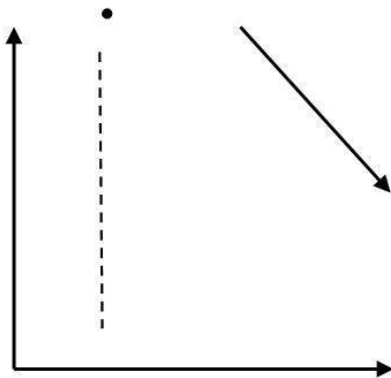
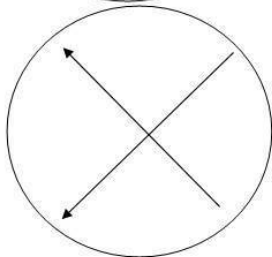
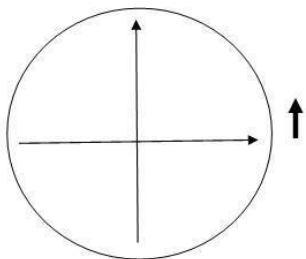
Деталь имеет разный коэффициент трения. Какая часть начнет двигаться раньше?

Какое положение более устойчиво? Или одинаково?

Сдвиг внешней части увеличивает центробежную силу.



Какую траекторию имеет покоящееся тело во вращающейся системе координат?



Эти очевидные для нас положения дали начало научно-

му европейскому мировоззрению. Он дал первый научный принцип «относительность».