МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГУМАНИТАРНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»)
Высшая школа физической культуры и спорта
Кафедра теории и методики физической культуры и спорта

Л.М. Кравцова

БИОМЕХАНИКА

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ И СПОРТА

Челябинск
2022

УДК 612.7(021)
ББК 28.984я73
К 78

Кравцова Л.М. Биомеханика: учебно-методическое пособие - Челябинск: Изд-во «Библиотека А. Миллера», - 2022. – 76 с.

ISBN 978-5-93162-664-2

В пособии раскрываются основные понятия биомеханики. Раскрываются биомеханические особенности выполнения двигательных действий при занятиях физической культурой и спортом. Представлен список контрольных вопросов для самостоятельной подготовки студентов к занятиям.

Пособие адресовано специалистам физической культуры, студентам высшей школы физической культуры и спорта, а также представленные материалы могут быть интересны специалистам в области биомеханики.

Рецензенты:
Михайлова Т.А., кандидат педагогических наук, доцент кафедры теории и методики ФК и спорта, ЮУрГГПУ
Макаренко В.Г., доктор педагогических наук, профессор кафедры теории и методики ФК и спорта, ЮУрГГПУ

ISBN 978-5-93162-664-2

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Биомеханика движений человека представляет собой одну из частей более общей дисциплины, кратко называемой «биомеханика».

Биомеханика – это раздел биофизики, в котором изучаются механические свойства тканей, органов и систем живого организма и механические явления, сопровождающие процессы жизнедеятельности. Пользуясь методами теоретической и прикладной механики, эта наука исследует деформацию структурных элементов тела, течение жидкостей и газов в живом организме, движение в пространстве частей тела, устойчивость и управляемость движений и другие вопросы, доступные указанным методам. На основе этих исследований могут быть составлены биомеханические характеристики органов и систем организма, знание которых является важнейшей предпосылкой для изучения процессов регуляции. Учет биомеханических характеристик дает возможность строить предположения о структуре систем, управляющих физиологическими функциями. До последнего времени основные исследования в области биомеханики были связаны с изучением движений человека и животных. Однако сфера приложения этой науки прогрессивно расширяется; сейчас она включает в себя также изучение дыхательной системы, системы кровообращения, специализированных рецепторов и т. д. Интересные данные получены при изучении эластичного и неэластичного сопротивления грудной клетки, движений газов через дыхательные пути. Предпринимаются попытки обобщенного подхода к анализу движения крови с позиций механики сплошных сред, в частности, изучаются упругие колебания сосудистой стенки. Доказано также, что с точки зрения механики структура сосудистой системы оптимальна для выполнения своих транспортных функций. Реологические исследования в биомеханике обнаружили специфические деформационные свойства многих тканей тела: экспоненциальную нелинейность связи между напряжениями и деформациями, существенную зависимость от времени и т. д. Полученные знания о деформационных свойствах тканей помогают решению некоторых практических задач, в частности, они используются при создании внутренних протезов (клапаны, искусственное сердце, сосуды и пр.). Особенно плодотворно применяется классическая механика твердого тела в изучении движений человека. Часто под биомеханикой понимают именно это ее приложение. При изучении движений биомеханика использует данные антропометрии, анатомии, физиологии нервной и мышечной систем и других биологических дисциплин. Поэтому часто, может быть, в учебных целях, в биомеханику ОДА включают его функциональную анатомию, а иногда и физиологию нервно-мышечной системы, называя это объединение кинезиологией.

Количество управляющих воздействий в нервно-мышечной системе огромно. Тем не менее, нервно-мышечная система обладает удивительной надежностью и широкими компенсаторными возможностями, способностью не только многократно повторять одни и те же стандартные комплексы движений (синергии), но и выполнять стандартные произвольные движения, направленные на достижение определенных целей. Помимо способности организовать и активно заучивать необходимые движения, нервно-мышечная система обеспечивает приспособляемость к быстро меняющимся условиям окружающей и внутренней среды организма, изменяя применительно к этим условиям привычные действия. Эта вариативность имеет не только пассивный характер, но обладает чертами активного поиска, осуществляемого нервной системой, когда она добивается наилучшего решения поставленных задач. Перечисленные способности нервной системы обеспечиваются переработкой в ней информации о движениях, которая поступает по обратным связям, образованным сенсорной афферентацией. Деятельность нервно-мышечной системы отражается во временной, кинематической и динамической структурах движения. Благодаря этому отражению становится возможным, наблюдая механику, получить информацию о регуляции движений и ее нарушениях. Такой возможностью широко пользуются при диагностике заболеваний, в нейрофизиологических исследованиях с помощью специальных тестов при контроле двигательных навыков и обученности инвалидов, спортсменов, космонавтов и в ряде других случаев.

1 КИНЕМАТИКА

Раздел механики, в котором изучается механическое движение, но не рассматриваются причины этого движения, называется кинематикой (гр. kinema – движение). Описание движения как тела человека (его частей) в различных видах спорта, так и всевозможных спортивных снарядов является неотъемлемой частью спортивной биомеханики.

1.1 Механическое движение. Система отсчета. Материальная точка. Траектория. Путь и перемещение. Вестибулярный аппарат как инерциальная система ориентации

В подавляющем большинстве случаев взаимное расположение интересующих нас тел изменяется с течением времени и эти изменения имеют практическое значения. Например, вращение Земли вокруг своей оси вызывает смену дня и ночи, а вращение Земли вокруг Солнца – смену времен года. Для описания подобных изменений в физике вводят понятие механического движения.

Механическое движение – это изменение положения тела в пространстве относительно других тел.

Прежде чем описывать само движение нужно выбрать способ количественного описания положения тела. В физике для этого используют систему отсчета.

Система отсчета – это некоторое тело, относительно которого указывают положения других тел, связанная с ним система координат и часы для отсчета времени.

Выбор тела отсчета, системы координат и точки, в которую помещается ее начало, зависит от решаемой задачи. Например, для того, чтобы указать положение марафонца на дистанции, систему координат связывают с Землей, а начало отсчета помещают в месте старта. Если же требуется описать движение гимнаста, крутящего «солнце» на перекладине, то начало координат связывают с перекладиной. Тип выбираемой системы координат также определяется особенностями решаемой задачи.

В физике используют два основных типа системы координат: прямоугольный и полярный. На плоскости эти системы показаны на рис. 1.

В прямоугольной системе положение тела указывается с помощью его координат по двум осям. В полярной системе для определения положения тела указывают его удаление от начала отсчета (R) и угол (θ), который радиусвектор тела образует с выбранным направлением

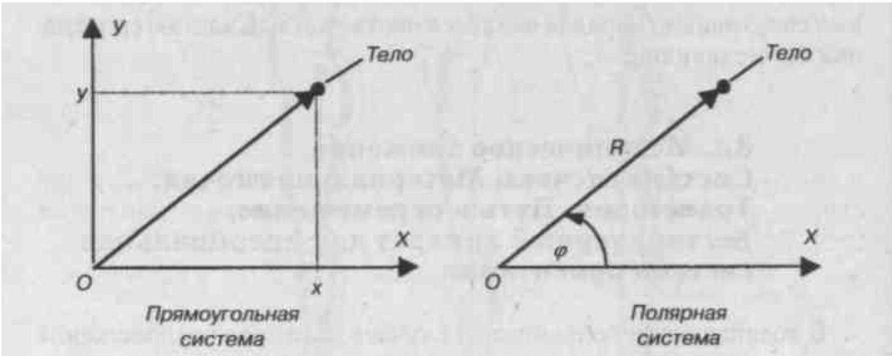


Рисунок 1 – Типы систем координат

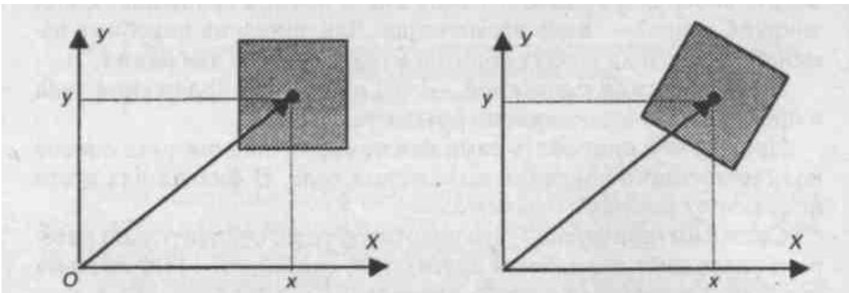


Рисунок 2 – Различие в положениях двух одинаковых тел

(ось X). Понятно, что для тела, размеры которого значительны, этого не достаточно.

Например, на рис. 2 координаты центров квадратов одинаковы.

Но положения этих квадратов различны. Однако во многих случаях размеры тел при описании их движения не имеют существенного значения. Например, не имеют значения размеры планет при описании их движения вокруг Солнца. В этих случаях тела называют материальными точками.

Материальная точка – тело, размерами и внутренней структурой которого в данных условиях можно пренебречь.

Ответ на вопрос о том, можно ли рассматривать тело как материальную точку, зависит от решаемой задачи. Так, при определении средней скорости бегуна (V=S/t) его собственными размерами безусловно можно пренебречь. В то же время при описании движения тела прыгуна в воду его нельзя рассматривать как материальную точку, поскольку в данном случае значение имеет вид прыжка и чистота его исполнения.

Рассмотрим, какие характеристики используются для описания движения материальной точки.

Движущаяся точка описывает в пространстве некоторую непрерывную линию, которая называется траекторией движения (рис. 3).

Траекторией называется линия, которую описывает движущаяся точка по отношению к данной системе отсчета.

Путем (s), пройденным телом, называется длина траектории.

Перемещением (ΔR) тела называется вектор, соединяющий начальную точку траектории с конечной.

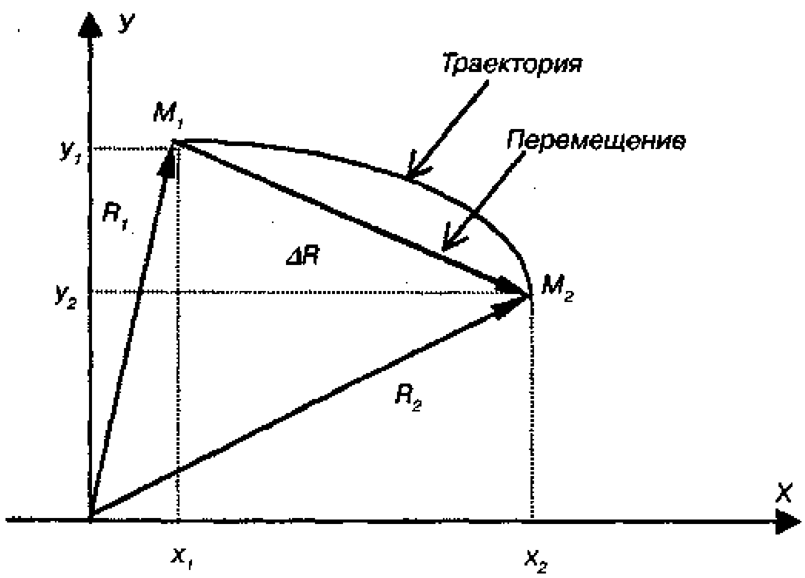


Рисунок 3 – Траектория движения точки и ее перемещение

В начальный момент времени (t1) точка находится в положении M1 которое задается радиус-вектором R1 (ее координаты обозначены x1 и y1). В конечный момент времени (t2) точка находится в положении M2 с радиусвектором R2 (координаты – x2 и y2). Примеры траекторий некоторых реальных тел показаны на рис. 4-6. На рис. 4. представлены траектории движения снаряда, выпущенного из минометa под углом 75° (а), и пули при горизонтальном направлении выстрела (б). На рис. 5 показана траектория, которую описывает в горизонтальной плоскости центр масс тела стоящего человека (статокинезиграмма). На рис. 6 приведена стробоскопическая фотография полета мяча.

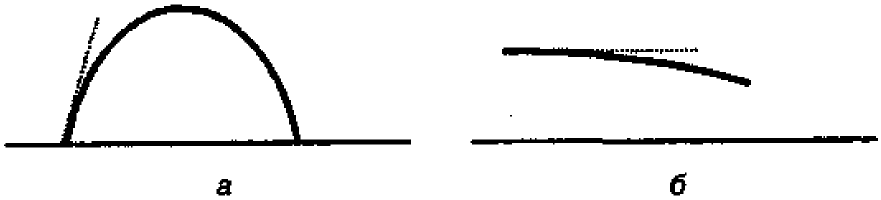


Рисунок 4 – Траектория движения снаряда минометa (а) и пули (б). (Пунктиром показана ориентация ствола)

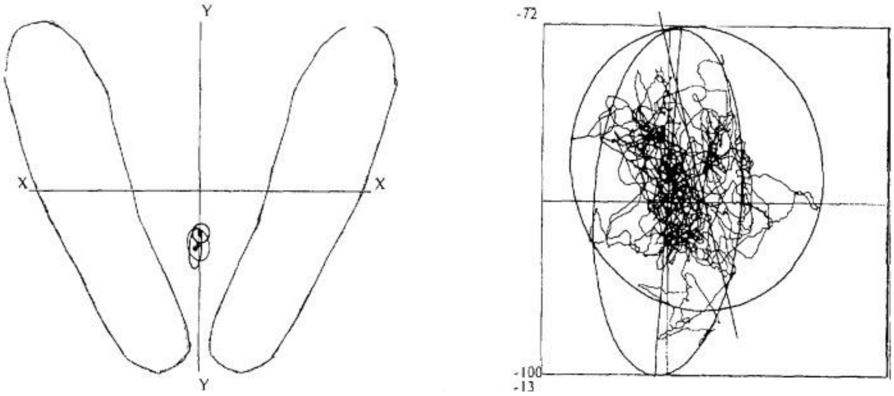


Рисунок 5 – Статокинезиграмма стоящего человека

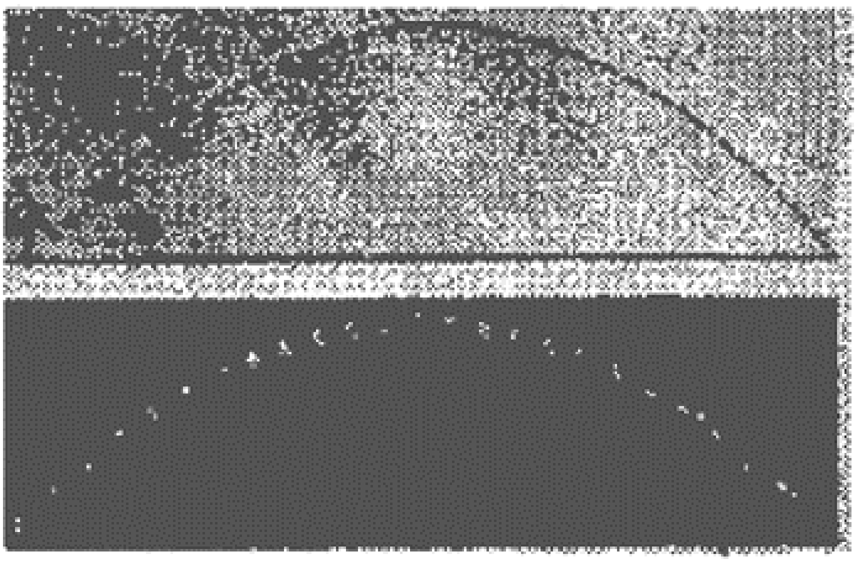


Рисунок 6 – Стробоскопическая фотография полета мяча

В разных системах отсчета траектории движения различны. Так, траектория точки А, находящейся на ободе катящегося колеса, в системе, связанной с осью колеса (О), представляет собой окружность, в то время как относительно земли – это циклоида (пунктирная линия) (рис. 7).

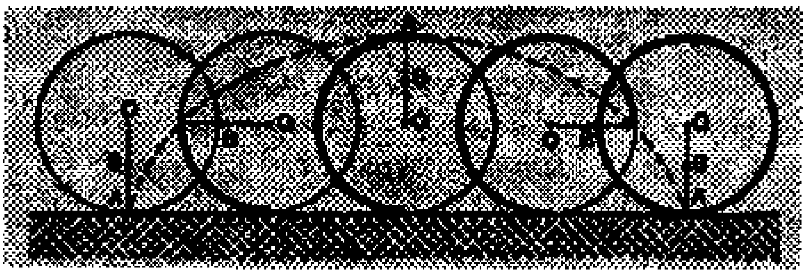


Рисунок 7 – Траектории точки А: окружность – относительно оси колеса; циклоида – относительно земли

У человека имеется орган, который по существу является инерциальной системой ориентации – это вестибулярный аппарат. Он расположен во внутреннем ухе и состоит из трех взаимно перпендикулярных полукружных каналов и полости – преддверия. На внутренней поверхности стенок преддверия и в части полукружных каналов находятся группы чувствительных нервных клеток, имеющих свободные окончания в форме волосков. Внутри преддверия и полукружных каналов имеется студенистая масса (эндолимфа), содержащая мелкие кристаллы фосфорнокислого и углекислого кальция (отолиты).

При движении головы в пространстве (с ускорением или замедлением) эндолимфа вследствие инерции отстает от движения костных стенок лабиринта и, следовательно, перемещается относительно них в обратном направлении. Перемещение эндолимфы вызывает сгибание волосков нервных клеток, в которых при этом возникают импульсы, сигнализирующие в центральную нервную систему о направлении и величине ускорения перемещения эндолимфы. При вращательном движении головой эти явления наиболее выражены в том полукружном канале, который лежит преимущественно в плоскости вращения.

При прямолинейном движении аналогичные явления наиболее выражены в преддверии, причем в этом случае действие перемещения жидкости усиливается перемещением вместе с ней отолитовой массы.

Вестибулярный аппарат, как и любая другая биофизическая система, не различает силы тяжести и силы инерции, а реагирует на равнодействующую этих сил. Если силы инерции будут периодически воздействовать на вестибулярный аппарат, например, при качке корабля, то это может привести к морской болезни.

От состояния вестибулярного аппарата зависит способность к ориентированию в пространстве, а также способность сохранения равновесия тела. При нарушении функции вестибулярного аппарата наблюдается промахивание при пальцево-носовой пробе, а также неустойчивость в пробе Ромберга.

1.2 Скорость. Средняя и мгновенная скорость. Временные характеристики движения

Для того, чтобы охарактеризовать насколько быстро изменяется в пространстве положение движущегося тела, используют специальное понятие скорость.

Средней скоростью тела на данном участке траектории называется отношение пройденного пути ко времени движения: $V_{ср} = \frac{s}{t}$.

Если на всех участках траектории средняя скорость одинакова, то движение называется равномерным.

Вопрос о скорости бега является важным в спортивной биомеханике. Известно, что скорость бега на определенную дистанцию зависит от величины этой дистанции. Бегун может поддерживать максимальную скорость только в течение ограниченного времени. Средняя скорость стайеров обычно меньше, чем спринтеров. На рис. 8. показана зависимость средней скорости (V) от длины дистанции (S).

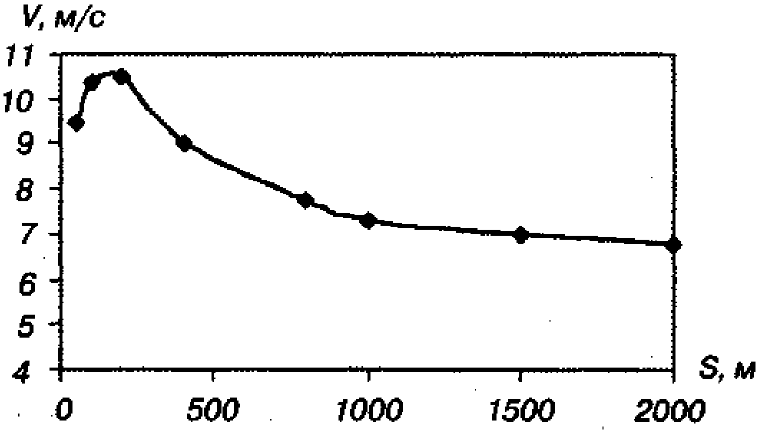


Рисунок 8 – Зависимость средней скорости бега от длины дистанции

График зависимости проведен через точки, соответствующие средним скоростям для всех рекордных результатов у мужчин на дистанциях от 50 до 2000 м. Средняя скорость растет с увеличением дистанции до 200 м, а затем убывает.

Для удобства проведения вычислений среднюю скорость можно записать и через изменение координат тела. При прямолинейном движении пройденный путь равен разности координат конечной и начальной точек. Так, если в момент времени t0 тело находилось в точке с координатой x0, а в момент времени t1 – в точке с координатой x1 , то пройденный путь ?x = x1 - x0, а время движения ?t = t1 - t0 (в физике и математике принято использовать символ ? для обозначения разности однотипных величин или для обозначения очень маленьких интервалов). В этом случае

$$V_{ср} = \frac{\Delta x}{\Delta t}.$$

В общем случае средние скорости на различных участках пути могут отличаться. На рис. 9 представлены координаты падающего тела, моменты времени, в которые тело проходит через эти точки, а также средние скорости для выделенных интервалов.

x, м	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
t, с	0,000	0,319	0,452	0,553	0,639	0,714	0,782	0,845	0,904	0,958	1,010
$V_{ср1}$						[illegible]					
$V_{ср2}$						[illegible]					
$V_{ср3}$						[illegible]					
$V_{ср4}$						[illegible]					
$V_{ср5}$						[illegible]					
V						7,00					

Рисунок 9 – Зависимость средней скорости от участка пути

Из данных, приведенных на рис. 9 видно, что средняя скорость на всем пути (от 0 м до 5 м) равна

$$V_{ср1} = \frac{\Delta x_1}{\Delta t_1} = \frac{(5-0)}{(1{,}010-0{,}000)} = 4{,}95 \text{ м/с}.$$

Средняя скорость на интервале от 2 м до 3 м равна

$$V_{ср2} = \frac{\Delta x_5}{\Delta t_5} = \frac{(3-2)}{(0{,}782-0{,}639)} = 6{,}96 \text{ м/с}.$$

Движение, при котором средняя скорость изменяется, называется неравномерным.

Мы вычисляли среднюю скорость в окрестности одной и той же точки $x = 2{,}5$ м. На рис. 9 видно, что по мере уменьшения интервала, по которому проводятся вычисления, средняя скорость стремится к некоторому пределу (в нашем случае это 7 м/с). Этот предел называется мгновенной скоростью или скоростью в данной точке траектории.

Мгновенной скоростью движения, или скоростью в данной точке траектории называется предел, к которому стремится отношение перемещения тела в окрестности этой точки ко времени при неограниченном уменьшении интервала:

$$V = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta R}{\Delta t} = \frac{dR}{dt}.$$

Размерность скорости в СИ – м/с.

Часто скорость указывают в других единицах (например, в км/ч). При необходимости такие значения можно перевести в СИ. Например, 54 км/ч = 54000 м/3600 с =15 м/с.

Для одномерного случая мгновенная скорость равна производной от координаты тела по времени:

$$V = \frac{dx}{dt}.$$

При равномерном движении величины средней и мгновенной скорости совпадают и остаются неизменными.

Мгновенная скорость – величина векторная. Направление вектора мгновенной скорости показано на рис. 10.

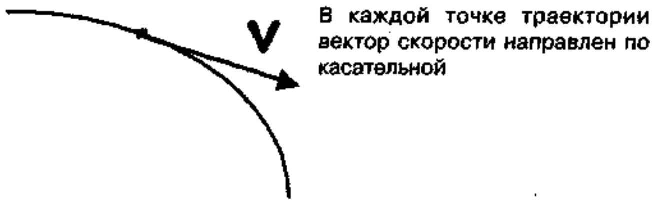


Рисунок 10 – Направление вектора мгновенной скорости

Во время забега мгновенная скорость бегуна меняется. Особенно существенны такие изменения в спринте. На рис. 11 приводится пример такого изменения для дистанции 200 м.

Бегун начинает движение из состояния покоя и разгоняется, пока не достигнет максимальной скорости. Для бегуна-мужчины время ускорения приблизительно 2 с, а максимальная скорость приближается к 10,5 м/с. Средняя скорость на всей дистанции меньше этого значения.

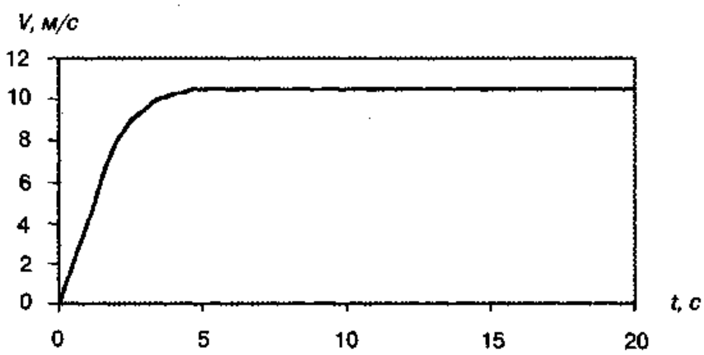


Рисунок 11 – Зависимость мгновенной скорости от времени бега для дистанции 200 м, мужчины

Причина того, что бегун не может долго поддерживать свою максимальную скорость движения, состоит в том, что он начинает испытывать недостаток кислорода. Тело содержит кислород, запасенный в мышцах, а в дальнейшем получает его при дыхании. Поэтому спринтер может поддерживать свою максимальную скорость только до тех пор, пока не израсходует запас кислорода. Это кислородное истощение наступает на дистанции около 300 м. Следовательно, для больших дистанций бегун должен ограничивать себя скоростью меньше максимальной. Чем длиннее дистанция, тем меньше должна быть скорость, чтобы кислорода хватило на весь забег. Только спринтеры бегут на максимальной скорости всю дистанцию.

На соревнованиях бегун обычно стремиться либо победить соперника, либо установить рекорд. От этого зависит стратегия забега. При установлении рекорда оптимальной стратегией будет та, при которой выбирается скорость, соответствующая полному истощению запаса кислорода к моменту пересечения финиша.

В спорте используются специальные временные характеристики.

Момент времени (t) – это временная мера положения точки, тела или системы. Момент времени определяют промежутком времени до него от начала отсчета.

Моментами времени обозначают, например, начало и окончание движения или какой-либо его части (фазы). По моментам времени определяют длительность движения.

Длительность движения (?t) – это его временная мера, которая измеряется разностью моментов времени окончания и начала движения:

?t = tкон – tнач

Длительность движения представляет собой количество времени, прошедшее между двумя ограничивающими его моментами времени. Сами моменты длительности не имеют. Зная путь точки и длительность ее движения, можно определять ее среднюю скорость.

Темп движения (N) – это временная мера повторности движений. Он измеряется количеством движений, повторяющихся в единицу времени (частота движений):

В повторных движениях одинаковой длительности темп характеризует их протекание во времени. Темп – величина, обратная длительности движений. Чем больше длительность каждого движения, тем меньше темп, и наоборот.

Ритм движений – это временная мера соотношения частей движений. Он определяется по соотношению промежутков времени – длительностей частей движений: ?t2-1 : ?t2-3: ?t4-3...

Различный ритм движений для лыжников при скользящем шаге (для пяти фаз шага) показан на рис. 12.

В повторных движениях одинаковой длительности темп характеризует их протекание во времени. Темп – величина, обратная длительности движений. Чем больше длительность каждого движения, тем меньше темп, и наоборот.

Ритм движений – это временная мера соотношения частей движений. Он определяется по соотношению промежутков времени – длительностей частей движений: ?t2-1 : ?t2-3: ?t4-3...

Различный ритм движений для лыжников при скользящем шаге (для пяти фаз шага) показан на рис. 12.

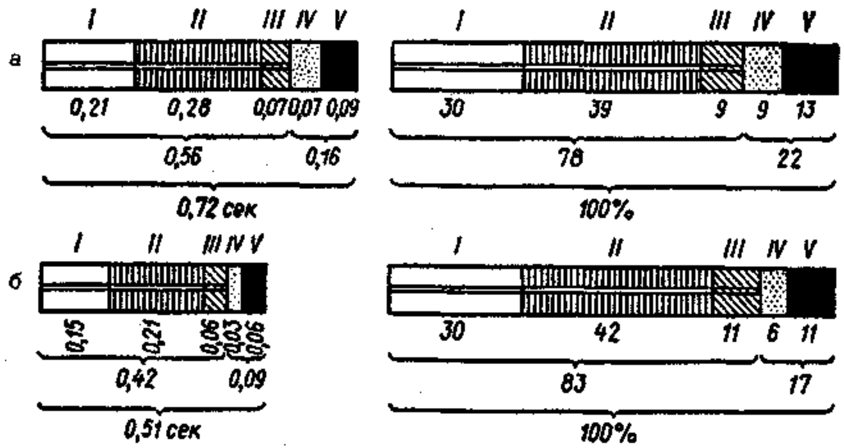


Рисунок 12 – Различный ритм в скользящем шаге на лыжах: а) у высококвалифицированных лыжников; б) у сильнейших лыжников мира; фазы I-III – скольжение, фазы скольжения, фазы IV-V – стояние лыжи.

Быстрота – это темп, в котором преодолевается расстояние без учета направления.

Быстрота – скалярная величина. Пусть между двумя пунктами при движении по одному шоссе одновременно движутся автомобилист, мотоциклист, велосипедист, бегун. У всех четверых одинаковы траектории, пути, перемещения. Однако их движение отличается быстротой (стремительностью), для характеристики которой и вводится понятие «скорость».

1.3 Равномерное прямолинейное движение и его графическое представление

Рассмотрим простейший вид движения – равномерное прямолинейное.

Равномерным называют движение, при котором за любые равные промежутки времени тело проходит одинаковые пути. В этом случае величина скорости остается неизменной (по направлению скорость может изменяться, если движение криволинейное).

Прямолинейным называется движение, при котором траектория является прямой линией. В этом случае направление скорости остается неизменным (величина скорости может изменяться, если движение не равномерное).

Равномерным прямолинейным называется движение, которое является и равномерным, и прямолинейным. В этом случае остаются неизменными и величина, и направление скорости.

Для описания прямолинейного движения ось X обычно направляют по линии движения, а положение тела указывают с помощью его координаты. В этом случае величина перемещения равна разности координат. Запишем определение скорости при равномерном прямолинейном движении:

$$v=\frac{\Delta x}{t}=\frac{(x-x_0)}{t},$$

- x0 – координата при t = 0;
- x – координата в текущий момент времени t',
- t – время движения

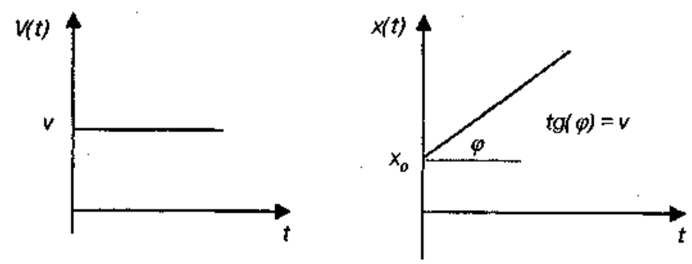


Рисунок 13 – Графики зависимости скорости и координаты от времени для равномерного движения

v = const. График – прямая, x = x0 + v·t – линейная функция, параллельная оси f. График – наклонная прямая, проходящая тем выше, проходящая тем круче, чем больше скорость чем больше скорость.

Отсюда получим зависимость координаты от времени движения:

x = x0+v·t

Графики зависимостей v(t) и x(t) показаны на рис. 13.

1.4 Ускорение. Равноускоренное прямолинейное движение, графики

В общем случае при движении тела изменяются и величина, и направление вектора скорости. Для того, чтобы охарактеризовать насколько быстро происходят эти изменения, используют специальную величину – ускорение.

Мгновенным ускорением тела или его ускорением в данной точке траектории называется векторная величина, равная пределу, к которому стремится отношение изменения вектора скорости ко времени этого изменения, при неограниченном уменьшении интервала времени.

$$a = \lim_{\Delta t \to 0}\left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right).$$

Размерность ускорения в СИ – м/с2.

При прямолинейном движении вектор скорости во всех точках направлен вдоль прямой, по которой движется тело. Вдоль этой же прямой направлен и вектор ускорения.

Прямолинейное движение называется равнопеременным, если за любые равные промежутки времени скорость тела изменяется на одну и ту же величину.

В этом случае отношение $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ одинаково для любых интервалов времени. Поэтому величина и направление ускорения остаются неизменными: a = const.

Для прямолинейного движения вектор ускорения направлен по линии движения. Если направление ускорения совпадает с направлением вектора скорости, то величина скорости будет возрастать. В этом случае движение называют равноускоренным. Если направление ускорения противоположно направлению вектора скорости, то величина скорости будет уменьшаться. В этом случае движение называют равнозамедленным.

Запишем уравнения, описывающие изменение скорости и координаты тела при равнопеременном движении. Будем отсчитывать время от момента начала наблюдений за движением тела. В этом случае t0 = 0. Если конечный момент времени обозначить t, то ?t = t – 0 = t и по определению ускорения можно записать:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(v - v_0)}{t},$$

где v0 – скорость движения при t = 0; v – скорость в текущий момент времени t.

Отсюда получим зависимость скорости от времени движения: v = v0+a·t

Можно показать, что при равнопеременном движении координата тела изменяется по квадратичному закону: $x = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$.

Часто при описании перехода тела из одной точки в другую (расстояние между ними *s)* удобно пользоваться уравнением, связывающим начальную и конечную скорость перехода: $v^2 - v^2_0 = 2as$.

За исключением времени, все величины, входящие в уравнения, являются алгебраическими. Это означает, что численные значения скоростей (v, v), ускорения (a) и перемещения (s)

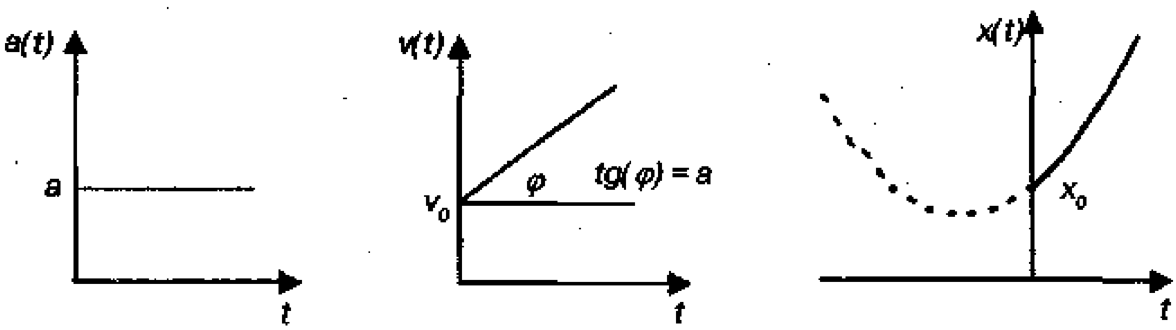


Рисунок 14 – Графики зависимости кинематических величин от времени для равноускоренного движения

a = const. График – прямая, V = V0 + a-t – x = x0 + v0·t+ a·t2/2 – параллельная оси f, линейная квадратичная функция проходящая тем функция. График – График – участок выше, чем больше наклонная прямая, параболы (t>0) ускорение проходящая тем круче, чем больше ускорение.

Графики зависимости кинематических величин от времени для равноускоренного движения подставляются в уравнения со знаком «+», если соответствующий вектор направлен в сторону оси X, и со знаком «–» в противном случае. Обычно, при описании прямолинейного движения координатную ось X направляют в сторону движения. При таком выборе оси ускорение положительно для равноускоренного движения и отрицательно для равнозамедленного движения. На рис. 14 представлены графики зависимостей ускорения, скорости и координаты тела от времени равноускоренного движения.

Примеры равноускоренного движения

а) Гоночный автомобиль стартует с места и при постоянном ускорении развивает скорость 385 км/ч (107 м/с) на пути 0,4 км (400 м).

Применим формулу, из которой найдем ускорение при разгоне:

$$v^2 - v_0^2 = 2as \rightarrow a = \frac{(v^2 - v_0^2)}{2s} = \frac{(107^2 - 0)}{800} = 14{,}3 \text{ м / с.}$$

Это ускорение близко к максимально достижимому сухопутными колесными средствами и зависит от трения между колесами и дорогой. Попытки превысить эту максимальную величину путем использования более мощного двигателя приведут к проскальзыванию шин.

Время, затраченное на разгон, найдем из уравнения:

$$v = v_0 + a \cdot t \rightarrow t = \frac{(v - v_0)}{a} = \frac{(107 - 0)}{14{,}3} \approx 7{,}5 \text{ с.}$$

б) Найдем тормозной путь автомобиля, знать который важно не только для безопасности движения, но и в целях рациональной организации движения. Пусть, например, при скорости движения v_0 = 100 км/ч (28 м/с) водитель принимает решение об экстренном торможении. Считается, что время реакции, затраченное на реализацию решения включить тормоз, составляет 0,3-1,0с. Положим его равным 0,50 с. В это время автомобиль будет двигаться равномерно и пройдет путь $s_1 = v_o \cdot t =$ 14м. На сухой ровной дороге ускорение торможения составляет 5-8 м/с^2. Положим его равным 6,0 м/с^2. Подставим это значение в формулу со знаком «–» (так как движение замедленное) и найдем путь s_2, пройденный от начала торможения до остановки:

$$s_2 = \frac{(0 - v_0^2)}{2a} = \frac{-28^2}{-12} \approx 65 \text{ м.}$$

Полной путь равен $s = s_1 + s_2$ = 79 м. На мокрой дороге или при гололеде величина a может составлять лишь треть величины а на сухой дороге и тормозной путь значительно увеличится.

в) Игрок в бейсбол (рис. 3.15) бросает мяч со скоростью v = 30 м/с (начальная скорость v =0). При броске мяч ускоряется на общем расстоянии (для взрослого мужчины) s ≈ 3,5 м, когда игрок проводит мяч из-за спины до точки, в которой мяч освобождается. Воспользовавшись соотношением найдем ускорение, сообщаемое мячу: $a = \frac{(v^2 - v_0^2)}{2s} = 129\ \text{м}/\text{с}^2$.

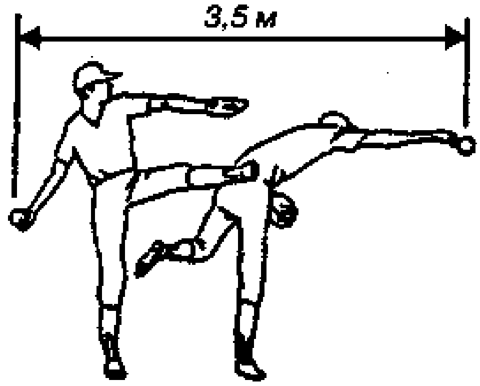


Рисунок 15 – Игрок в бейсбол ускоряет мяч на отрезке 3,5 м

Это почти в 13 раз больше ускорения свободного падения.

1.5 Свободное падение и его ускорение

В природе существует естественное равноускоренное движение – это свободное падение.

Свободным падением называется падение тела, если на него действует единственная сила – сила тяжести.

Опыты, проведенные Галилеем, показали, что при свободном падении все тела движутся с одинаковым ускорением, которое называют ускорением свободного падения и обозначают буквой g. Вблизи поверхности Земли g = 9,8 м/с2. Ускорение свободного падения обусловлено притяжением со стороны Земли и направлено вертикально вниз. Строго говоря, такое движение возможно лишь в вакууме. Падение в воздухе можно считать приблизительно свободным, если сила сопротивления движению со стороны воздуха мала по сравнению с силой тяжести.

На рис. 16 приведены стробоскопические фотографии стального шарика, падающего вертикально вниз без начальной скорости, и шарика, которому сообщена горизонтальная скорость.

Рисунок 16 – Стробоскопическая фотография свободного падения

Траектория движения свободно падающего тела зависит от направления вектора начальной скорости. Если тело брошено вертикально вниз, то траектория – вертикальный отрезок, а движение является равнопеременным. Если тело брошено вертикально вверх, то траектория состоит из двух вертикальных отрезков. Сначала тело поднимается, двигаясь равнозамедленно. В точке наивысшего подъема скорость становится равной нулю, после чего тело опускается, двигаясь равноускоренно. Если вектор начальной скорости направлен под углом к горизонту, то движение тела происходит по параболе. Так при отсутствии сопротивления воздуха двигаются брошенный бейсбольный мяч, диск, молот, спортсмен прыгающий в длину (в высоту), летящая пуля и др.

Предположим, что тело брошенное под углом к горизонту 9o имеет начальную скорость vo, рис. 17.

Движение происходит в вертикальной плоскости, проходящей через вектор начальной скорости. Поместим начало координат в начальную точку, а координатные оси направим горизонтально (X) и вертикально вверх (Y). Ускорение в любой точке полета равно ускорению свободного падения g.

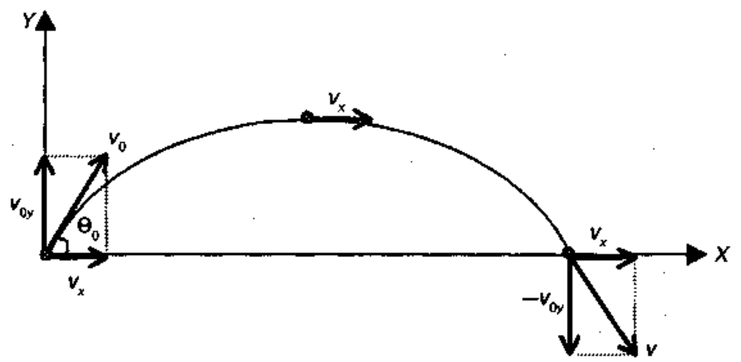


Рисунок 17 – Движение тела, брошенного под углом к горизонту

Проекция вектора g на ось X равна нулю. Поэтому движение вдоль этой оси является равномерным со скоростью vx = v0·cos(?0). Проекция вектора g на ось Y равна – g. Поэтому движение вдоль этой оси является равнопеременным с ускорением – g и начальной скоростью v0y = v0 · sin (?0). Таким образом, тело, брошенное под углом к горизонту участвует одновременно в двух независимых движениях: равномерном движении по горизонтали и в равнопеременном – по вертикали. Дальность полета максимальна при ?0 = 45°.

Следует иметь в виду, что скорости в симметричных точках параболы по модулю одинаковы, но направление вертикальных проекций противоположное.

Тело в баллистическом движении может пересечь ось X, если исходная точка броска находилась выше, чем точка приземления.

Рассмотрим некоторые примеры теоретических расчетов.

Полет футбольного мяча

По футбольному мячу ударяют так, что он взлетает под углом ?0 = 37° со скоростью 20 м/с. Используя формулы приведенные

Из автомата производят выстрел в горизонтальном направлении (q0 = 0). Начальная скорость пули v0 = 715м/с. Расстояние до мишени x = 100 м. В нашем случае vx – v0x = v0 = 715 м/с; v0y = 0.

Из уравнения x = vx·t найдем t = $\frac{x}{v_x}$ = 0,14с Координата точки мишени, в которую попадет пуля, находится из уравнения y = $v_{0y} \cdot t$ $\frac{gt^2}{2}$ = -0,1 м. Таким образом пуля опустится на 10 см. Чтобы скомпенсировать такое опускание, выстрел производят под небольшим углом вверх, для чего соответствующим образом устанавливают прицел.

Прыжок в длину с разбега (рис. 18)

Оценим теоретическую максимальную дальность прыжка в длину, определяемую физическими возможностями человека. Горизонтальную скорость v0x спортсмен набирает при разбеге.

Примем ее равной максимальной скорости спринтера: v0x = 10,5 м/с. Вертикальную скорость v0 спортсмен приобретает при отталкивании. Оценим ее исходя из того, что высота, на которую человек может поднять свой центр масс, прыгая вертикально вверх с места, приблизительно равна 0,6 м. Из формулы: $H = \frac{v_{0y}^2}{2g}$

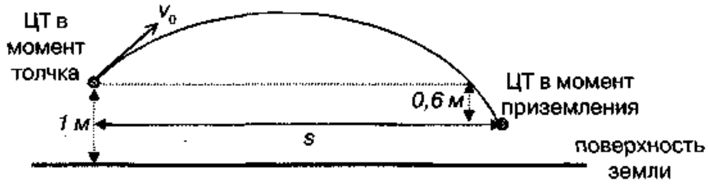


Рисунок 18 – К описанию прыжка в длину с разбега

Найдем $\boldsymbol{v_{0y}} = \sqrt{2gH} =$ 3,43 м/с. Прыгун отталкивается в вертикальном положении, а приземляется в «сидячем» положении. При этом центр масс опускается приблизительно на 0,6 м (при отталкивании центр масс находится на высоте ~1 м, а при приземлении на высоте ~0,4 м). Значит координата точки приземления $y \approx$ -0,6 м.

Эта координата определяется формулой $y = v_{0_y} \cdot t - \frac{gt^2}{2}$. Подставив численные значения, получим квадратное уравнение: $4{,}9 \cdot t^2 - 3{,}43 \cdot t - 0{,}6 = 0$. Решив его, найдем время полета t = 0,845 с. Дальность прыжка найдем из формулы s = $v_x \cdot t$ = 8,87 м.

1.6 Движение по окружности, центростремительное и тангенциальное ускорения. Угловое ускорение

В природе движение тела чаще происходит по кривым линиям. Почти любое криволинейное движение можно представить как последовательность движений по дугам окружностей. В общем случае, при движении по окружности скорость тела изменяется как по величине, так и по направлению.

Равномерное движение по окружности

Движение по окружности называется равномерным, если величина скорости остается неизменной.

Основными характеристиками такого движения являются:

• радиус окружности R;

• скорость движения (линейная скорость) V;

• угловая скорость движения ω;

• угол поворота радиуса (угловое перемещение) φ ω.

Угловой скоростью тела, движущегося по окружности равномерно, называется отношение угла поворота его радиус-вектора ко времени, за которое совершен поворот: $\omega=\frac{\varphi}{t}$.

В физике применяется радианная мера угла (безразмерная), которая определяется, как отношение длины дуги (*l*) к радиусу окружности: $\varphi=\frac{l}{R}$, поэтому размерность угловой скорости – $\frac{1}{c}=c^{-1}$, рис. 19, а. Радиан – такой угол, длина дуги которого равна радиусу окружности. Полный поворот по окружности содержит *2?* радиан.

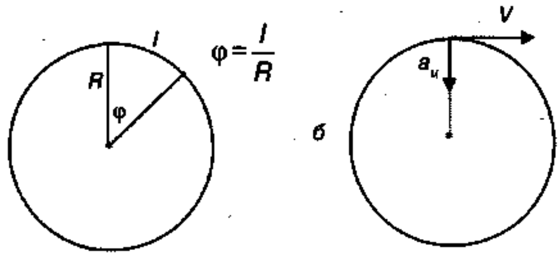


Рисунок 19 – Радианная мера угла

(а). Центростремительное ускорение (б) Между линейной и угловой скоростями существует простая связь: $V=\frac{l}{t}=R\cdot\frac{\varphi}{t};\ \frac{\varphi}{t}=\omega\rightarrow$

$V=\omega\cdot R.$

Можно показать, что при равномерном движении по окружности вектор ускорения направлен к центру. Такое ускорение называется центростремительным.

Величина центростремительного ускорения определяется формулами

$$a_ц=\frac{V^2}{R}=\omega^2\cdot R.$$

Кроме основных характеристик вращательного движения, используются следующие вспомогательные величины:

• частота вращения (ν), равная числу оборотов за единицу времени: $\nu = \frac{N}{t}$ (N – число оборотов). Размерность – 1 /с.

• период обращения (Т), равный времени, за которое тело совершает один оборот: $T = \frac{t}{N}$. Размерность – с.

Эти величины связаны с угловой скоростью соотношениями: $\omega = 2 \cdot \pi \cdot \nu = \frac{2 \cdot \pi}{T}$.

Неравномерное движение по окружности Если скорость тела, движущегося по окружности, изменяется по величине, то наряду с центростремительным ускорением $a_ц$ будет иметь место и тангенциальное ускорение a_t, рис. 20.

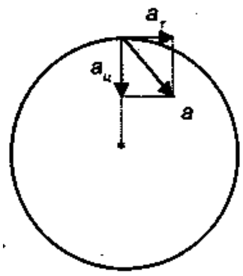


Рисунок 20 – Компоненты ускорения при неравномерном вращательном движении

В отличие от центростремительного ускорения, которое обусловлено изменением направления скорости, тангенциальное ускорение возникает из-за изменения величины вектора скорости: $a_\tau = \frac{dv}{dt}$.

Тангенциальное ускорение всегда направлено по касательной к окружности, и, если скорость увеличивается, его направление совпадает с направлением движения. Если же скорость уменьшается, то направление тангенциального ускорения противоположно вектору скорости. Вектора $a_ц$ и $a_?$ перпендикулярны друг другу, а их сумма дает вектор полного ускорения: $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a_ц} + \boldsymbol{a_?}$.

Поскольку эти векторы всегда перпендикулярны друг другу, величина полного ускорения в любой момент времени равна: $a = \sqrt{a_ц^2 + a_\tau^2}$.

С тангенциальным ускорением мы встречаемся в спорте. Например, раскручивая молот, спортсмен сообщает ему тангенциальное ускорение для того, чтобы он приобрел к моменту броска высокую скорость.

Кроме обычного ускорения *(a)*, при описании неравномерного движения по окружности используют еще одну характеристику – угловое ускорение (?).

Угловым ускорением тела называется производная от угловой скорости по времени (отношение изменения угловой скорости ко времени этого изменения, вычисленное в очень маленьком интервале данной точки траектории): $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$.

Размерность ускорения в СИ – 1 /с^2.

Примечание. В тех случаях, когда угловая скорость рассматривается как вектор, угловое ускорение тоже является вектором. В данном учебнике такие случаи не рассматриваются.

Можно показать, что угловое ускорение равно отношению тангенциального ускорения к радиусу окружности: $\varepsilon = \frac{a_\tau}{R}$.

1.7 Связь вращательного движения с колебательным

Вращательное движение тесно связано с колебательным. На рис 21. показано, что при равномерном движении тела по окружности его координата вдоль оси Y изменяется по гармоническому закону (аналогичная зависимость имеет место и вдоль оси X). Угол поворота радиуса при этом, отсчитывается от горизонтальной оси против часовой стрелки. Этот угол называется фазой (греч. phasis – появление).

Примеры вращательного движения показаны на рис 22.

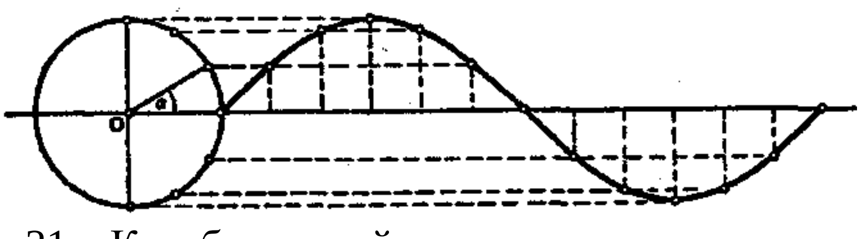
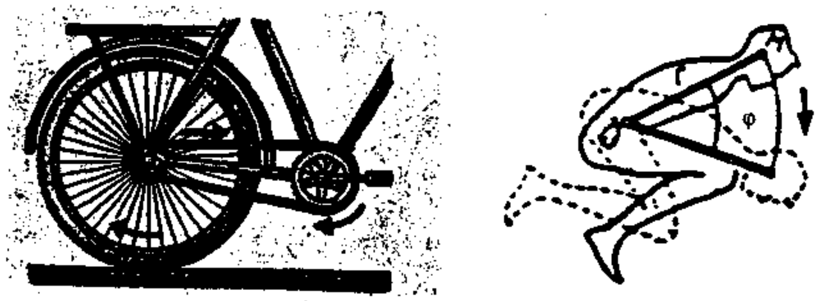


Рисунок 21 – Колебательный характер изменения координаты точки при ее равномерном вращении



а б

Рисунок 22 – Вращательное движение: колеса велосипеда (а), тела человека вокруг центра масс (б)

Ускорение вызывается силой. Следовательно, на тело, движущееся по окружности, действует сила, направленная к центру окружности. Эта сила Fц называется центростремительной. С этой силой на движущееся по окружности тело действует связь. Роль центростремительной силы может выполнять любая по природе сила.

По второму закону Ньютона Fц = тац. Так как центростремительное ускорение $a_ц = \frac{V^2}{R}$ или $a_ц$=?^{2}·R, то центростремительная сила равна: $F_ц = \frac{m \cdot V^2}{R}$ или $F_ц = m \cdot \omega^2 \cdot R.$

По третьему закону Ньютона всякое действие вызывает равное и противоположно направленное противодействие. Центростремительной силе, с которой связь действует на тело, противодействует равная по модулю и противоположно направленная сила, с которой тело действует на связь. Эту силу Рц.б. назвали центробежной, так как она направлена по радиусу от центра окружности. Центробежная сила равна по модулю центростремительной:

$$F_{ц.б.} = \frac{m \cdot V^2}{R} \text{ или } F_{ц.б.} = m \cdot \omega^2 \cdot R.$$

Примеры. Рассмотрим случай, когда спортсмен вращает вокруг своей головы предмет, привязанный к концу нити. Спортсмен ощущает при этом силу, приложенную к руке и тянущую ее наружу. Для удержания предмета на окружности спортсмен (посредством нити) тянет его внутрь. Следовательно, по третьему закону Ньютона, предмет (опять-таки посредством нити) действует на руку с равной и противоположно направленной силой, и это та сила, которую ощущает рука спортсмена (рис. 23). Сила, действующая на предмет – это направленная внутрь сила натяжения нити.

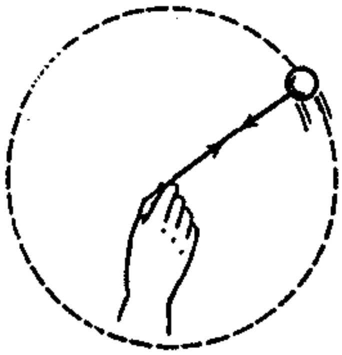


Рисунок 23 – При вращении шарика на нити рука действует на шарик, шарик на руку

Другой пример: на спортивный снаряд «молот» действует трос, удерживаемый спортсменом (рис. 24).

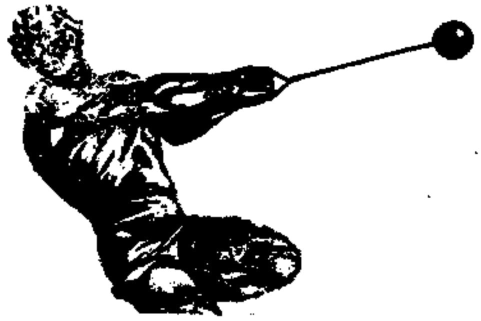


Рисунок 24 – На спортивный снаряд «молот» действует трос, удерживаемый спортсменом

Напомним, что центробежная сила действует не на вращающееся тело, а на нить. Если бы центробежная сила действовала на тело, то при обрыве нити оно улетело бы по радиусу в сторону от центра, как показано на рис 3.25, а. Однако на самом деле при обрыве нити тело начинает двигаться по касательной (рис 25, б) в направлении скорости, которую оно имело в момент обрыва нити.

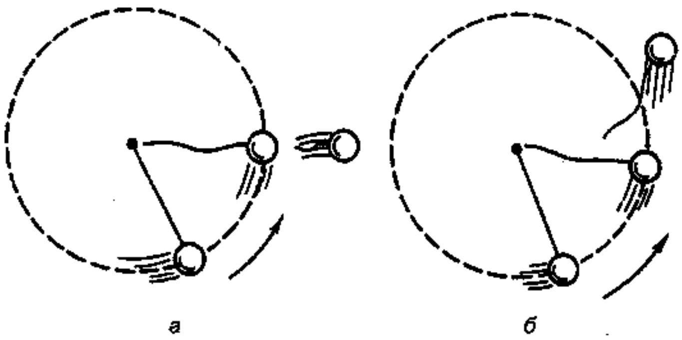


Рисунок 25 – Движение тела после обрыва нити: а) если бы центробежная сила была приложена к телу, то при обрыве нити тело улетело бы по радиусу; б) действительный полет тела

Центробежные силы находят широкое применение.

Центрифуга – устройство, предназначенное для тренировок и испытаний летчиков, спортсменов, космонавтов. Большой радиус (до 15 м) и большая мощность двигателей (несколько МВт) позволяют создавать центростремительное ускорение до 400 м/с^2. Центробежная сила при этом прижимает тела с силой, превосходящей нормальную силу тяжести на Земле больше чем в 40 раз. Человек может выдерживать временную перегрузку в 20-30 раз, если он лежит перпендикулярно направлению центробежной силы, и в 6 раз, если лежит вдоль направления этой силы.

1.8 Элементы описания движения человека

Движения человека носят сложный характер и с трудом поддаются описанию. Однако в ряде случаев можно выделить существенные моменты, отличающие одни виды движений от других. Рассмотрим, например, чем отличается бег от ходьбы.

Элементы шагательных движений при ходьбе представлены на рис. 26. В шагательных движениях каждая нога поочередно бывает опорной и переносной. В опорный период входят амортизация (торможение движения тела по направлению к опоре) и отталкивание, в переносной – разгон и торможение.

Последовательные движения тела человека и его ног при ходьбе представлены на рис. 27.

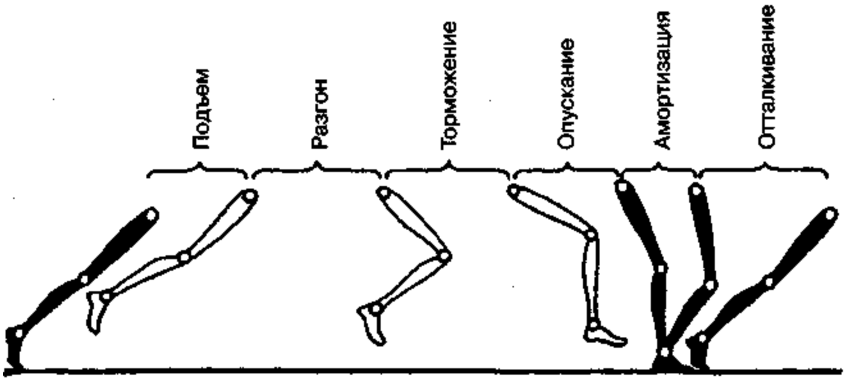


Рисунок 26 – Элементы шагательного движения

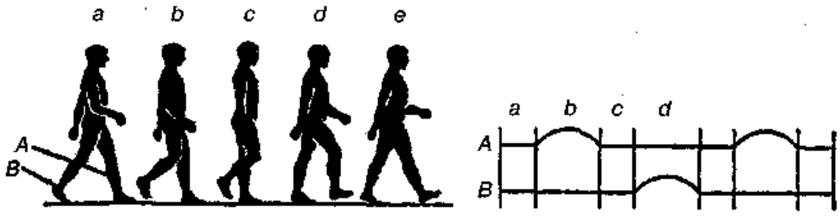


Рисунок 27 – Последовательные движения тела человека при ходьбе

Линии А и В дают качественное изображение движения стоп ног в процессе ходьбы. Верхняя линия А относится к одной ноге, нижняя линия В – к другой. Прямые участки соответствуют моментам опоры стопы о землю, дугообразные участки – моментам движения стоп. В течение промежутка времени (а) обе ноги опираются на землю; затем (b) – нога А в воздухе, нога В продолжает опираться; а после (с) – вновь обе ноги опираются о землю. Чем быстрее ходьба, тем короче становятся промежутки (а и с).

На рис. 28 представлены последовательные движения тела человека при беге и графическое изображение движений стоп. Как видно на рисунке, при беге существуют промежутки времени (b, d, f), когда обе ноги находятся в воздухе, а промежутков одновременного касания ног земли нет. Этим и отличается бег от ходьбы.

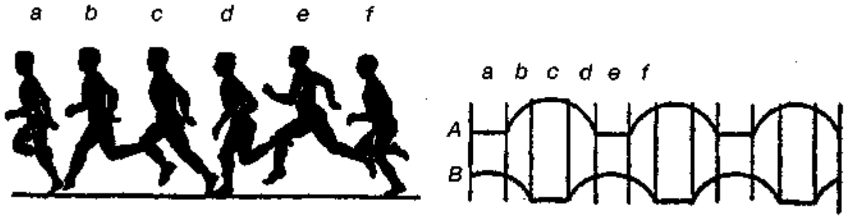


Рисунок 28 – Последовательные движения тела человека при беге

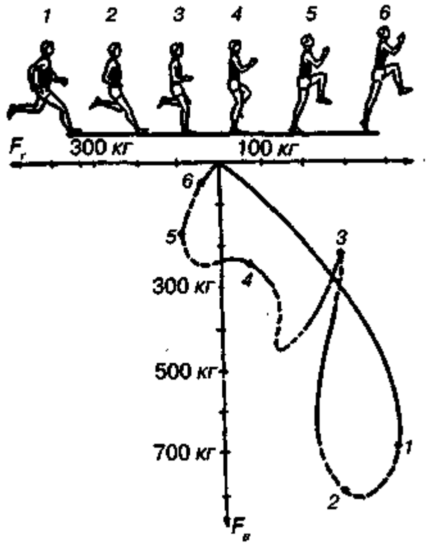


Рисунок 29 – Силы, действующие на опору при отталкивании

Другим распространенным видом движения является отталкивание от опоры при различных прыжках. Отталкивание совершается за счет выпрямления толчковой ноги, маховых движений рук и туловища. Задача отталкивания – обеспечить максимальную величину вектора начальной скорости общего центра масс спортсмена и его оптимальное направление. На рис. 29 показаны фазы процесса отталкивания и соответствующие им силы (горизонтальная – F_r и вертикальная – f_b), с которыми спортсмен m = 70 кг действует на опору при прыжке в длину. Видно, что эти силы значительно превышают вес спортсмена.

2 ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Динамикой называется раздел механики, в котором изучается движение тела с учетом его взаимодействия с другими телами.

В разделе «Кинематика» были введены понятия скорости и ускорения материальной точки. Для реальных тел эти понятия нуждаются в уточнении, так как для различных точек реального тела эти характеристики движения могут быть различны. Например, закрученный футбольный мяч не только движется вперед, но и вращается. Точки вращающегося тела движутся с разными скоростями. По этой причине сначала рассматривается динамика материальной точки, а затем полученные результаты распространяются на реальные тела.

2.1 Первый закон Ньютона. Инерциальная система отсчета

В различных системах отсчета движение одного и того же тела выглядит по-разному и от выбора системы отсчета во многом зависит простота или сложность описания движения. Обычно в физике используют инерциальную систему отсчета, существование которой установил Ньютон, обобщив опытные данные.

Первый закон Ньютона

Существует система отсчета, относительно которой тело (материальная точка) движется равномерно и прямолинейно или сохраняет состояние покоя, если на него не действуют другие тела. Такая система называется инерциальной.

Если тело неподвижно или движется равномерно и прямолинейно, то его ускорение равно нулю. Поэтому в инерциальной системе отсчета скорость тела изменяется только под воздействием других тел. Например, футбольный мяч, катящийся по полю, через некоторое время останавливается. В данном случае изменение его скорости обусловлено воздействиями со стороны покрытия поля и воздуха.

Инерциальных систем отсчета существует бесчисленное множество, потому что любая система отсчета, которая движется относительно инерциальной системы равномерно прямолинейно также является инерциальной.

Во многих случаях инерциальной можно считать систему отсчета, связанную с Землей.

2.2 Масса. Сила. Второй закон Ньютона. Сложение сил

В инерциальной системе отсчета причиной изменения скорости тела является воздействие других тел. Поэтому при взаимодействии двух тел изменяются скорости обоих.

Опыт показывает, что при взаимодействии двух материальных точек их ускорения обладают следующим свойством.

Отношение величин ускорений двух взаимодействующих тел есть величина постоянная, не зависящая от условий взаимодействия.

Например, при столкновении двух тел отношение величин ускорений не зависит ни от скоростей тел, ни от угла, под которым происходит столкновение.

То тело, которое в процессе взаимодействия приобретает меньшее ускорение, называется более инертным.

Инертность – свойство тела оказывать сопротивление изменению скорости его движения (как по величине, так и по направлению).

Инертность – неотъемлемое свойство материи. Количественной мерой инертности является специальная физическая величина – масса.

Масса – количественная мера инертности тела.

В быту мы измеряем массу взвешиванием. Однако этот метод не является универсальным. Например, невозможно взвесить планету. Поэтому физики ввели понятие массы, основанное на закономерностях взаимодействия тел. Для этого используется следующая процедура:

• некое тело выбирают в качестве эталона массы (т. е. его массу принимают за единицу: тэ= 1);

• для определения массы другого тела его приводят во взаимодействие с эталоном и определяют величины ускорений тела – ат и эталона – аэ;

• массу тела вычисляют по формуле

$$m = \left(\frac{a_э}{a_т}\right) \cdot m_э.$$

Единица измерения массы в СИ называется килограмм (тэ = 1 кг).

Вместо эталона можно использовать любое другое тело, масса которого уже известна, например – т1 Тогда определяемая масса – т2 находится по аналогичной формуле

$$m_2 = \left(\frac{a_1}{a_2}\right) \cdot m_1.$$

Данные формулы имеют теоретическую ценность, но в практических расчетах используют более удобную формулу:

$$m_2 = \left(\frac{|\Delta v_1|}{|\Delta v_2|}\right) \cdot m_1.$$

Здесь $|?v_1|$ и $|?v_2|$ – изменения векторов скоростей тел за все время взаимодействия.

Преимущество формулы состоит в том, что измерить изменение вектора скорости во многих случаях значительно проще, чем ускорение.

Пример. Тело т1= 2 кг и тело неизвестной массы т2 расположены на гладком столе. Между ними расположена сжатая пружина (30). Пружину освобождают, и она расталкивает тела. Первое тело приобретает скорость vl = 0,3 м/с, а второе – v2 = 0,5 м/с.

Поскольку начальные скорости равны нулю, то |?v1| = v1 , |?v2| = v2. По формуле находим т2= (0,3/0,5)·2 = 1,2 кг.

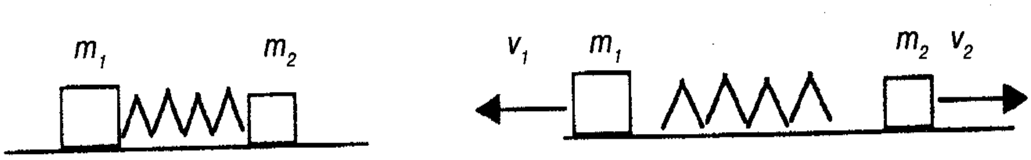


Рисунок 30 – Определение массы неизвестного тела

Изменение скорости тела обусловлено воздействием других тел. Поэтому естественно считать, что воздействие тем интенсивнее, чем больше созданное им ускорение. С другой стороны, у тела с большей массой ускорение меньше (т. е. его скорость изменить труднее). Поэтому измерять воздействие на тело со стороны всех других тел принято произведением массы тела на сообщенное ему ускорение. Эту меру воздействия называют силой.

Силой, действующей на тело со стороны других тел, называется векторная величина, равная произведению массы тела на его ускорение относительно инерциальной системы отсчета:

$F = m \cdot a$.

Единица измерения силы в СИ называется ньютон: Н = кг·м/с2

Между массой тела, действующей силой и приобретенным ускорением существует взаимосвязь. Если соотношение переписать в виде $a = \frac{F}{m}$, то мы получим Второй закон Ньютона: в инерциальной системе отсчета ускорение тела прямо пропорционально действующей на него силе и обратно пропорционально его массе. Направление ускорения совпадает с направлением действующей силы: $a = \frac{F}{m}$.

Сложение сил

Если на тело (материальную точку) действует несколько других тел, то сила результирующего воздействия (равнодействующая сила), которая и создает ускорение тела, равна векторной сумме отдельных сил: F0 = F1 + F2 + ...

Например, на прыгуна в длину действуют сила тяжести (m·g) и сила сопротивления воздуха (Fc), рис 4.2, а. Ускорение создает их равнодействующая (Fp).

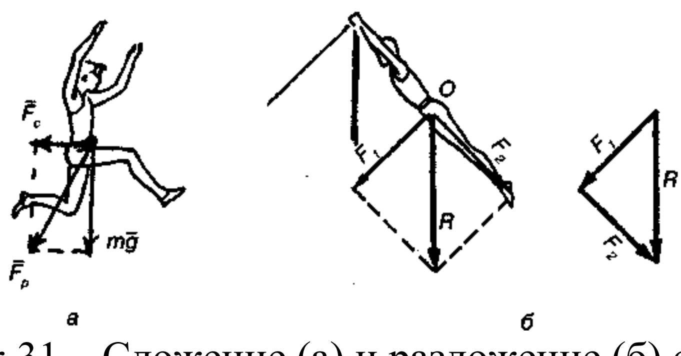


Рисунок 31 – Сложение (а) и разложение (б) сил

В некоторых случаях требуется решить обратную задачу: представить одну действующую силу в виде суммы двух составляющих, направленных определенным образом. Это также делается путем построения параллелограмма сил. На рис. 31, б показан гимнаст, выполняющий упражнение на перекладине. Действующую на него силу тяжести удобно представить как сумму двух взаимно перпендикулярных сил F_1 и F_2. Первая составляющая создает линейное ускорение ОЦМ, а вторая составляющая принимает участие в создании центростремительного ускорения (вместе с реакцией перекладины, действующей на кисти рук).

2.3 Третий закон Ньютона

Из определения массы тела как меры его инертности следует, что при взаимодействии двух тел их ускорения обратно пропорциональны массам:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}.$$

Освободившись от знаменателя, получим: $m1 \cdot a1 = m2 \cdot a2$.

В соответствии с формулой, произведение массы тела на его ускорение равно действующей на тело силе: $m \cdot a = F$. Поэтому взаимодействующие тела действуют друг на друга с силой одинаковой по величине: $Fl = F2$ ($F1$ – сила, действующая на первое тело со стороны второго, $F2$ – сила, действующая на второе тело со стороны первого).

Кроме того, экспериментально установлено, что ускорения взаимодействующих тел всегда имеют противоположные направления. Поэтому и силы $F1$, $F2$ направлены в противоположные стороны. Это определяет содержание Третьего закона Ньютона: взаимодействующие тела действуют друг на друга с силой, одинаковой по величине и противоположной по направлению: $Fl = -F2$.

2.4 Кинетическая энергия материальной точки и механическая работа

Второй закон Ньютона устанавливает связь между ускорением материальной точки и действующими на нее силами. Однако в ряде случаев бывает удобно освободиться от ускорения. Это можно сделать путем совместного использования уравнений кинематики и второго закона Ньютона. При этом появляются две новые физические величины, имеющие большое значение: механическая работа и кинетическая энергия.

Пусть материальная точка движется прямолинейно с ускорением а под действием силы, направленной в сторону движения тела. Из кинематики известно, что при переходе тела из одной точки в другую выполняется соотношение

$$v_2^2 - v_1^2 = 2 \cdot a \cdot s,$$

где v2 и v1 – конечная и начальная скорости тела; s – пройденный путь. По второму закону Ньютона $a = \frac{F}{m}$. Подставив в формулу, получим:

$$\frac{m \cdot v_2^2}{2} - \frac{m \cdot v_1^2}{2} = F \cdot s.$$

Можно показать, что в общем случае, когда сила образует с направлением движения угол *a,* формула принимает вид (рис. 32):

$$\frac{m \cdot v_2^2}{2} - \frac{m \cdot v_1^2}{2} = F \cdot s \cdot \cos(\alpha).$$

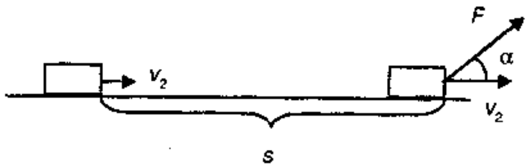


Рисунок 32 – Изменение кинетической энергии тела под действием силы

Скалярная величина, равная половине произведения массы тела на квадрат его скорости называется кинетической энергией тела:

$$E_к = \frac{m \cdot v^2}{2}.$$

Кинетическая энергия тела (от гр. kinetikos – приводящий в движение) – это энергия, которой тело обладает вследствие движения.

Скалярная величина, равная произведению силы, действующей на тело, на пройденный им путь и на косинус угла между направлением силы и направлением движения называется механической работой:

A = F·s·cos(?).

Если на тело действует несколько сил (FI, FII ...), то полная работа равна сумме работ отдельных сил:

A = AI+AII+...

Подставив формулы в соотношение, получим связь между работой равнодействующей силы и кинетической энергией материальной точки.

Изменение кинетической энергии материальной точки равно сумме работ всех действующих на нее сил:

ЕК2 - ЕК1= АI+АII+...

Здесь ЕК2 и ЕК1 – кинетическая энергия тела в начальной и конечной точках траектории.

Это соотношение выполняется и в общем, случае, но работа вычисляется как интеграл от силы вдоль траектории движения от ее начальной точки (1) до конечной точки (2):

$$A = \int_1^2 F \cdot \cos(\alpha) \cdot ds.$$

Работа силы может быть как положительной, так и отрицательной. Ее знак определяется величиной угла а. Если этот угол острый (сила направлена в сторону движения тела), то работа положительна. При тупом угле а работа отрицательна.

Если при движении точки угол ? = 90° (сила направлена перпендикулярно вектору скорости), то работа равна нулю.

Пример. Пусть тело массой т, начальная скорость которого равна нулю, начинает двигаться по гладкой горизонтальной плоскости под действием силы F, направленной вдоль нее. Кроме силы F, на тело будут действовать еще две силы (рис. 33):

• сила притяжения (Fпр), направленная вниз;

• реакция опоры (N), действующая со стороны плоскости и направленная перпендикулярно ей.

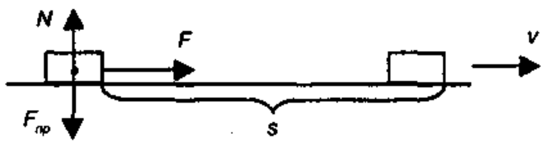


Рисунок 33 – Движение тела по гладкой плоскости

Требуется определить, какую скорость приобретет тело, пройдя путь s.

Применим к движению тела уравнение:

ЕК2 - ЕК1= Аf+Апр+ Аf

Начальная скорость равна нулю, поэтому Ек1 = 0. Конечную скорость обозначим v. Тогда $E_{к2} = \frac{m \cdot v^2}{2}$.

Для силы F угол ? = 0 и cos(?) = 1. Поэтому AF = F˙s. Для сил Fnp и N угол ? = 90° и cos(?) = 0. Поэтому их работы равны нулю. Подставив эти значения, получим:

$$\frac{m \cdot v^2}{2} - 0 = F \cdot s + 0 + 0.$$

Отсюда найдем конечную скорость:

$$V = \sqrt{\frac{2F \cdot s}{m}}.$$

2.5 Динамика движения материальной точки по окружности. Центростремительная и тангенциальная силы. Плечо и момент силы. Момент инерции. Уравнения вращательного движения точки

В данном случае материальной точкой можно считать тело, размеры которого малы по сравнению с радиусом окружности.

В подразделе (1.6) было показано, что ускорение тела, движущегося по окружности, складывается из двух составляющих (см. рис. 20): центростремительного ускорения – ац тангенциального ускорения ат, направленных по радиусу и касательной соответственно. Эти ускорения создаются проекциями равнодействующей силы на радиус окружности и касательную к ней, которые называются центростремительной силой (F) и тангенциальной силой (FT) соответственно (рис. 4.5). Ft

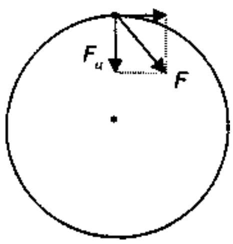


Рисунок 34 – Компоненты равнодействующей силы при неравномерном вращательном движении

Центростремительной силой называется проекция равнодействующей силы на тот радиус окружности, на котором в данный момент находится тело.

Тангенциальной силой называется проекция равнодействующей силы на касательную к окружности, проведенную в той точке, в которой в данный момент находится тело.

Роль этих сил различна. Тангенциальная сила обеспечивает изменение величины скорости, а центростремительная сила вызывает изменение направления движения. Поэтому для описания вращательного движения записывают второй закон Ньютона для центростремительной силы:

Fц=т·ац.

Здесь т – масса материальной точки, а величина центростремительного ускорения определяется по формуле

$$\frac{m \cdot v^2}{2} - 0 = F \cdot s + 0 + 0.$$

.

В ряде случаев для описания движения по окружности удобнее использовать не центростремительную силу (Fц), а момент силы, действующей на тело. Поясним смысл этой новой физической величины.

Пусть тело вращается вокруг оси (О) под действием силы, которая лежит в плоскости окружности.

Кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы (лежащей в плоскости вращения) называется плечом силы (h).

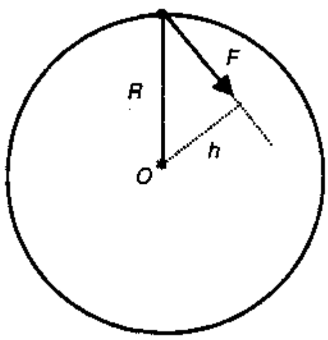


Рисунок 35 – Плечо силы *(h)*

На рис. 35 показаны действующая сила и ее плечо.

Моментом силы (М) относительно оси вращения называется произведение величины силы на ее плечо:

М = ±F·h. (4.12)

Момент силы берется со знаком «+», если сила стремится повернуть тело по часовой стрелке и со знаком «–» в противном случае.

Примечание. В некоторых случаях момент силы считают вектором, направленным по оси вращения. В данном учебнике такие случаи не рассматриваются.

Можно показать, что угловое ускорение (?), с которым материальная точка движется по окружности, прямо пропорционально моменту (М) действующей на него силы:

$$\varepsilon = \frac{M}{m \cdot R^2}.$$

Величина, входящая в знаменатель формулы, называется моментом инерции.

Моментом инерции (J) материальной точки относительно оси вращения называется произведение ее массы (т) на квадрат расстояния (R) до оси вращения:

J = m·R2.

Из определения следует, что измеряется момент инерции в кг·м2.

Подставив момент инерции в знаменатель формулы, получим уравнение описывающее вращение материальной точки под действием силы:

$$\varepsilon = \frac{M}{J}.$$

Угловое ускорение материальной точки равно отношению момента действующей на нее силы к моменту инерции точки относительно оси вращения.

3 ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

3.1 Консервативные силы, потенциальная энергия. Закон сохранения энергии в механике

В механике есть силы, работа которых при перемещении тела по замкнутому контуру равняется нулю. Такие силы называются потенциальными, или консервативными.

Консервативной называется сила, работа которой при перемещении тела по замкнутому контуру равняется нулю.

Нетрудно показать, что консервативные силы обладают еще двумя свойствами:

1) работа консервативной силы при переходе тела из одного положения в другое не зависит от траектории движения, а определяется только начальным и конечным положениями тела;

2) при изменении направления перехода работа консервативной силы изменяет свой знак, не меняя величины $A_{1\text{-}2} = -A_{2\text{-}1}$.

Опираясь на закон всемирного тяготения и закон Гука, можно доказать, что сила тяготения и упругая сила являются потенциальными.

Потенциальность этих сил связана с тем, что на одном участке замкнутой траектории силы совершают положительную работу, а на другом – отрицательную так, что в сумме получается ноль. Покажем это на примере силы тяготения, действующей у поверхности Земли. Пусть тело проходит по замкнутой прямоугольной траектории 1-2-3-4-1 (рис. 36).

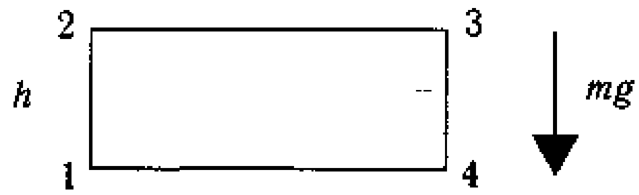


Рисунок 36 – Работа силы тяжести на замкнутой траектории

На участке 1-2 сила тяготения мешает движению, и ее работа отрицательна: $A_{1\text{-}2} = -mgh$. На участках 2-3 и 4-1 сила тяготения перпендикулярна направлению движения, и ее работа равна нулю: $A_{2\text{-}3} = A_{4\text{-}1} = 0$. На участке 3-4 сила тяготения помогает движению, и ее работа положительна:$A_{3-4} = mgh$. Полная работа на всем пути получается равной нулю:

$A_{1-2} + A_{2-3} + A_{3-4} + A_{4-1} = -mgh + mgh + 0 = 0$.

Не все силы являются потенциальными. Например, сила трения скольжения всегда направлена против движения тела и ее работа на всем пути – отрицательна. Сила трения не консервативна.

Работу консервативной силы удобно рассчитывать через уменьшение специальной величины – потенциальной энергии. Получим соответствующую формулу.

Пусть тело переходит из положения 1 в положение 2 (рис. 37). Выберем некоторую точку пространства (О) в качестве точки отсчета и рассмотрим траекторию движения, проходящую через эту точку: 1-О-2.

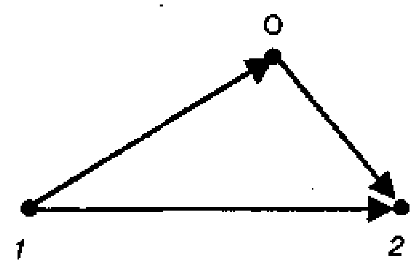


Рисунок 37 – Работа на траектории, проходящей через точку отсчета (О)

По свойству 1 работа на этой траектории такая же, как для прямого перехода 1-2: $A_{1-0} + A_{0-2} = A_{1-2}$.

По свойству 2: $A_{0-2} = -A_{2-0}$. Поэтому выполняется равенство:

$A_{1-2} = A_{1-0} - A_{2-0}$

Потенциальной энергией тела (Еп) называется скалярная величина, равная работе, совершаемой консервативной силой, при переходе тела из данного положения на выбранный уровень отсчета (О).

В соответствии с этим определением $A_{1-0} = E_{п1}$ и $A_{2-0} = E_{п2}$. Поэтому формулу можно записать в следующем виде:

$A_{1-2} = E_{п1} - E_{п2}$

Таким образом, доказано, что работа консервативной силы равна убыли потенциальной энергии.

Гравитационная потенциальная энергия

Найдем потенциальную энергию тела, поднятого над землей. За уровень отсчета возьмем любой удобный горизонтальный уровень (О). Пусть тело массой m находится над этим уровнем на высоте h (рис. 38).

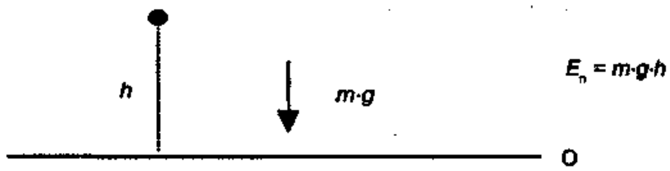


Рисунок 38 – Потенциальная энергия тела, поднятого над уровнем отсчета

Согласно определению, потенциальная энергия тела равна работе, совершенной силой тяготения при переходе тела с высоты h на уровень отсчета (h = 0):

En=m·g·h.

Формула определяет потенциальную энергию, связанную с гравитационным взаимодействием.

Потенциальная энергия упругих тел

Существует еще один вид потенциальной энергии, связанный с упругим взаимодействием молекул при небольших деформациях почти всех тел. Для наглядности рассмотрим сжатую пружину (рис. 39, а), которую мы возвращаем в исходное (недеформированное) состояние (рис. 39, б), придерживая рукой. При этом на руку действует сила упругости, совершающая работу. Выберем в качестве уровня отсчета положение, в котором пружина не деформирована (б). Тогда, согласно определению, совершенная силой упругости работа равна потенциальной энергии деформированной пружины. Вычислим ее величину.

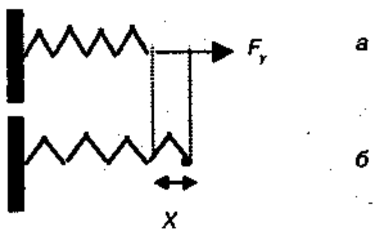


Рисунок 39 – Потенциальная энергия пружины: а) сжатая пружина, б) пружина в исходном состоянии

В соответствии с законом Гука сила упругости, действующая на руку, пропорциональна величине деформации (x) и направлена в сторону уменьшения деформации Fy = – kx. Пусть пружина, распрямляясь, переместила руку на небольшой отрезок dx. Тогда она совершила работу

$dA = Fy \cdot dx = -k \cdot x \cdot dx.$

Полная работа вычисляется с помощью определенного интеграла:

$$A=\int_x^0(-kx)dx=\frac{k\cdot x^2}{2}.$$

Потенциальная энергия деформированной пружины определяется такой же формулой:

$$E_п=\frac{k\cdot x^2}{2}.$$

где k – жесткость пружины; x – ее деформация.

Из приведенных примеров видно, что энергию можно накопить в форме потенциальной энергии (поднять тело, сжать пружину) для последующего использования. Кроме того, следует заметить, что, если для кинетической энергии тела (частицы) существует единое универсальное выражение, то для потенциальной энергии такого выражения нет; аналитический вид формул для вычисления потенциальной энергии зависит от рассматриваемых сил. Потенциальная энергия всегда связана с той или иной силой, действующей со стороны одного тела на другое. Например, Земля силой тяжести действует на падающий предмет, сжатая пружина – на шарик, натянутая тетива – на стрелу. Потенциальная энергия это не то, что присуще самому телу: она всегда связана со взаимодействием тел.

Потенциальная энергия – это энергия, которой обладает тело благодаря своему положению по отношению к другим телам, или благодаря взаимному расположению частей одного тела.

Рассмотрим случай, когда в процессе движения тела работу совершают только консервативные силы. Тогда можно записать:

$E_{к2} - E_{к1} = A = E_{п1} - E_{п2}$,

или

$E_{к2} + E_{п2} = E_{к1} + E_{п2}$

Таким образом, в данном случае сумма кинетической и потенциальной энергий тела осталась неизменной. Эта сумма называется полной механической энергией тела.

Полной механической энергией тела называется сумма его потенциальной и кинетической энергий:

$E = E_к + E_п$

Мы получили закон сохранения механической энергии.

Если в системе действуют только консервативные силы, то полная механическая энергия входящих в систему тел не изменяется: E = const.

Иными словами, для любых двух моментов времени полные механические энергии одинаковы:

E2 = E1

Закон сохранения энергии в механике имеет ограниченный характер. Он не утверждает, что механическая энергия всегда сохраняется, а лишь указывает условие, при котором такое сохранение имеет место: работу должны совершать только консервативные силы. В этом случае при движении тела происходит переход кинетической энергии в потенциальную или наоборот.

Если при движении на тело действуют не консервативные силы, которые совершают работу, то полная механическая энергия не сохраняется. В этом случае ее изменение равно этой работе:

$$E_2 - E_1 = A_{\text{не конс.}}.$$

Примеры

1) Падение камня

Тело падает на землю с высоты ho без начальной скорости, а силой сопротивления воздуха можно пренебречь (рис. 9.5). На тело действует только сила тяжести, которая является консервативной. Следовательно, полная механическая энергия сохраняется.

Рисунок 40 – При падении тела его потенциальная энергия переходит в кинетическую

Запишем закон сохранения энергии для двух положений: начального (1) и конечного (2) – тело подлетело к земле:

E2 = E1

В исходном положении скорость движения равна нулю и тело обладает только потенциальной энергией: El = mghQ. При падении камня потенциальная энергия уменьшается, но увеличивается его кинетическая энергия. В конечной точке траектории высота равна нулю, скорость движения максимальна (ук) и тело обладает только кинетической энергией.

$$E_2 = \frac{mv_к^2}{2}.$$

Подставив эти значения в закон сохранения, получим:

$$\frac{mv_к^2}{2} = mgh_0.$$

В промежуточных точках траектории тело обладает и кинетической, и потенциальной энергиями, сумма которых остается постоянной:

$$\frac{mv^2}{2} + mgh = mgh_0 = \text{const}.$$

2) Движение велосипедиста по холмистой местности

Пусть велосипедист начинает скатываться с вершины холма и, пройдя ложбину, поднимается по инерции на соседний холм (рис. 41). Допустим, что сопротивлением воздуха и трением качения можно пренебречь. Тогда на велосипедиста действуют две силы: консервативная сила тяжести (mg) и сила нормального давления со стороны дороги (N). Последняя сила перпендикулярна направлению движения и работы не совершает. Поэтому полная механическая энергия велосипедиста сохраняется: Ек + Еп. = const.

При спуске с холма потенциальная энергия переходит в кинетическую, которая достигает максимума у подножия холма. Далее велосипедист начинает вкатываться на другой холм. При этом кинетическая энергия переходит в потенциальную.

Если высота второго холма меньше высоты первого, то при подъеме на его вершину велосипедист израсходует не всю кинетическую энергию. Поэтому он минует вершину и скатится с противоположного склона второго холма.

Рисунок 41 – Велосипедист, съезжающий с холма

Если высота второго холма больше высоты первого, то велосипедист израсходует всю кинетическую энергию, не достигнув вершины, и остановится. Это произойдет на высоте, равной первоначальной. Для того, чтобы перевалить через вершину, велосипедист должен увеличить механическую энергию за счет работы ног.

В реальном случае велосипедист испытывает действие силы трения, которая совершает отрицательную работу. Поэтому, если велосипедист не работает ногами, полная механическая энергия сохраняться не будет:

E2-E1= A трения.

Для того, чтобы поддерживать механическую энергию неизменной, велосипедист должен компенсировать отрицательную работу силы трения положительной работой своих мышц

A мышц = A трения.

Отсюда следует, что, чем меньше сила трения, тем меньшая работа требуется от мышц, тем меньше утомление и выше результаты. Поэтому фирмы, занимающиеся производством спортивной техники и спортивной одежды, ведут постоянные исследования, направленные на уменьшение силы трения.

В некоторых случаях механическая энергия сохраняется при передаче энергии от одного тела к другому. Например, потенциальная энергия, запасенная в натянутой тетиве лука, преобразуется в кинетическую энергию стрелы.

3.2. Энергетика прыжков Прыжок в высоту с места

Если человек или животное присядет, а затем использует мышцы ног для вертикального прыжка, то центр масс поднимется на определенную высоту. При этом выполняется соотношение между работой неконсервативных сил и изменением механической энергии.

Пусть (1) – положение прыгуна, присевшего перед прыжком (рис. 42). В этом положении у него есть только потенциальная энергия Jj = mgHr где Я, – высота, на которой находится центр масс присевшего человека. В результате толчка человек приобретает кинетическую энергию и начинает подниматься вверх. При этом происходит переход кинетической энергии в потенциальную и

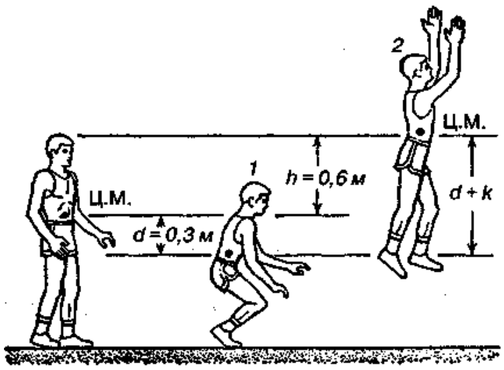


Рисунок 42 – Прыжок в высоту с места

на высоте максимального подъема центра масс (2) у прыгуна остается только потенциальная энергия $E_2 = mgH_2$, где H_2 – высота, на которую поднимается центр масс в результате прыжка. Соотношение между изменением механической энергии и работой мышц принимает следующий вид: $E_2 - E_1 = A_{мышц}$. Раскрыв значения энергий, получим:

$$mgH_2 - mgH_1 = A_{мышц}.$$

Выполним необходимые расчеты.

Пусть первоначально центр масс находился на высоте H_0, а при приседании он опускается на расстояние d. Тогда d – это расстояние, на котором мышцы ног производят работу, а $H_1 = H_0 - d$. Работа мышц во время прыжка определяется по формуле

$A_{мышц} = F \cdot d,$

где F — сила мышц.

Соотношение принимает вид:

mg(h + d) = F·d,

где т – масса тела, а h = H2 – H0 – высота, на которую центр масс поднялся в результате прыжка.

Отсюда находим общее вертикальное перемещение центра масс при прыжке с места

$$h + d = \frac{F \cdot d}{mg}.$$

Известно, что сила мышц пропорциональна второй степени характерных размеров тела (L), а масса – третьей степени: $F \sim L^2$; $m \sim L^3$. В то же время глубина приседания пропорциональна первой степени размеров тела: $d \sim L$. Тогда из формулы следует, что для животных одного вида общее расстояние, на которое поднимется центр масс, не зависит от их размеров:

$$h+d=\frac{F\cdot d}{mg}\sim L^2\cdot\frac{L}{L^3}=\text{const.}$$

И действительно, маленький крысиный кенгуру (размером с зайца) может прыгать на ту же высоту, что и гигантский кенгуру (примерно 2,5 м).

Отметим также, что большинство прыгающих животных (человек – исключение) могут прыгать значительно выше того расстояния, на которое они опускаются, приседая. Иначе говоря, для них h много больше d.

Лучший прыжок в высоту, который может выполнить мужчина, поднимет его центр масс приблизительно на 0,6 м (h = 0,6 м). При прыжке мышцы ног работают на расстоянии примерно 0,3 м (d = 0,3 м). Значит, мышечная сила, необходимая для прыжка, равна

$$F=\frac{mg(h+d)}{d}=\frac{mg\cdot(0{,}6+0{,}3)}{0{,}3}=3mg.$$

Таким образом, сила мышц ног, производящая прыжок, втрое превышает действующую на спортсмена силу тяжести.

Прыжок в высоту с разбега

При прыжке в высоту с разбега прыгун должен поднять свое тело, чтобы преодолеть горизонтальную перекладину. Мировой рекорд для прыжков этого типа равен 2,4 м. Если считать, что центр масс человека (при вертикальном положении) расположен на высоте приблизительно 1 м, то для достижения высоты перекладины, прыгун должен поднять свой центр масс на расстояние примерно 1,4 м. Так как центр масс тела находится внутри него, то для преодоления планки центру масс необходимо подняться еще на 0,1 м (рис. 43). Общая высота, на которую прыгун должен поднять свой центр масс, равна

H = 2,4 м + 0,10м – 1,0 м= 1,50м.

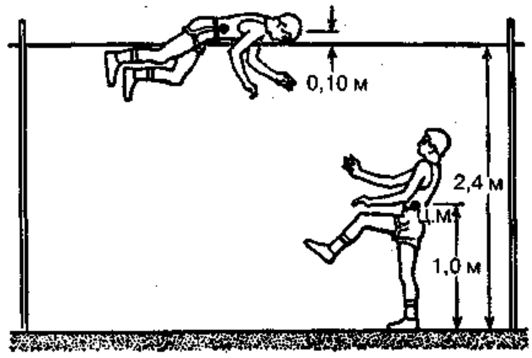


Рисунок 43 – Прыжок в высоту с разбега

Мы выяснили, что при прыжке с места прыгун может поднять свой центр масс приблизительно на 0,6 м. Оставшиеся 0,9 м, необходимые для преодоления перекладины, должны быть получены за счет разбега. Таким образом, кинетическая энергия горизонтального бега должна перейти в энергию прыжка. Прыгун в высоту не подбегает к перекладине на скорости спринтера, так как в этом случае он не успеет выполнить фазу вертикального отталкивания.

Примем скорость разбега v = 6 м/с. Тогда кинетическая энергия прыгуна весом 70 кг равна

$$E_к = \frac{mv^2}{2} = \frac{70 \cdot 6^2}{2} = 1260 \text{ Дж.}$$

Энергия, требующаяся для оставшихся 0,9 м прыжка, равна

E = mgh = 70-9,8-0,9 = 617Дж.

Таким образом, прыгуну в действительности нужно перевести в энергию прыжка менее половины энергии разбега. Если бы это преобразование можно было выполнить с большей эффективностью, прыгун смог бы преодолеть значительно большую высоту.

Прыжки с шестом

Используя только ноги, прыгун не может преобразовать достаточно большую часть энергии разбега в энергию вертикального толчка. Используя шест, он может выполнить такое преобразование с большей эффективностью. В этом виде спорта прыгун разбегается с максимально возможной скоростью, держа в руках длинный гибкий шест. Он втыкает конец шеста у основания перекладины, и его поступательное движение в этом случае почти удваивает высоту прыжка (рис. 44). При этом кинетическая энергия бега преобразуется в упругую потенциальную энергию шеста. Когда шест разгибается, за счет этой энергии он совершает работу, поднимая прыгуна над планкой. Оценим максимальную высоту, которую может взять прыгун с шестом. Соотношение для этого случая принимает следующий вид:

E2-E1=Атолчка.

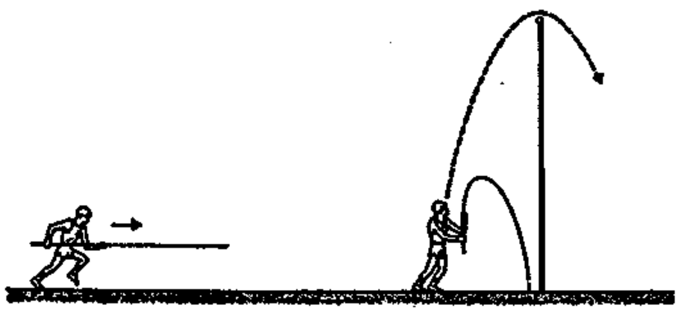


Рисунок 44 – Прыжок с шестом

Начальная энергия складывается из кинетической энергии разбега и потенциальной энергии центра масс бегущего человека:

$$E_1 = \frac{mv^2}{2} + mgH_0,$$

где H_0 = 1 м.

Энергия человека в момент перехода через планку на высоте H фактически является потенциальной энергией: $E_2 = mgH$.

Работа, совершенная при отталкивании – это работа аналогичная работе мышц при прыжке вверх с места. При рассмотрении таких прыжков была получена формула для расчета этой работы:

$$A_{\text{толчка}} = mg(h+d), \text{ где } h+d \approx 0{,}9 \text{ м.}$$

Подставим все эти оценки в соотношение:

$$mgH - \frac{mv^2}{2} - mgH_0 = mg(h+d).$$

Отсюда получим формулу для расчета предельной высоты прыжка:

$$H = (h+d+H_0) + \frac{v^2}{2g}.$$

Если положить максимальную скорость равной 9,5 м/с (мы не выбираем максимальную скорость равной 10,5 м/с, потому что прыгун еще несет шест), то получим

$$H = (0{,}9+1) + \frac{9{,}5^2}{19{,}6} = 1{,}9 + 4{,}6 = 6{,}5 \text{ м.}$$

Эта оценка несколько превосходит реально достигнутую высоту, так как не вся кинетическая энергия прыгуна может превратиться в упругую потенциальную энергию шеста – прыгун должен обладать еще и некоторой горизонтальной скоростью для пересечения планки. Современный мировой рекорд для прыжков с шестом равен 6,2 м. Очевидно, что гибкий шест позволяет со значительно большей эффективностью использовать кинетическую энергию разбега. (Мы еще не учли усилие прыгуна, прилагаемое к шесту руками в завершающей фазе, а оно также увеличивает высоту прыжка).

3.3 Закон сохранения импульса. Реактивное движение

Закон сохранения импульса

Понятие импульса произвольного тела и получено уравнение, описывающее изменение импульса под действием внешних сил. Так как изменение импульса обусловлено только внешними силами, то уравнение удобно применять для описания взаимодействий нескольких тел. При этом взаимодействующие тела рассматривают как одно сложное тело (систему тел). Можно показать, что импульс сложного тела (системы тел) равен векторной сумме импульсов его частей:

$p = p1+p2+\ldots$

Для системы тел уравнение вида записывается без всяких изменений:

$dp = F{\cdot}dt.$

Изменение импульса системы тел равно импульсу действующих на нее внешних сил.

Рассмотрим некоторые примеры, иллюстрирующие действие этого закона.

На рис. 45, а спортсменка стоит, опираясь правой ногой на скейтборд, а левой отталкивается от земли. Достигнутая при толчке скорость зависит от силы толчка и от времени, в течение которого эта сила действует.

На рис. 45, б изображен метатель копья. Скорость, которую приобретет копье данной массы, зависит от силы, приложенной рукой спортсмена и от времени, в течение которого она приложена.

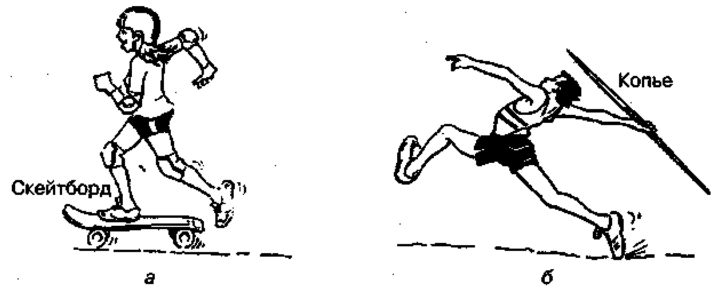


Рисунок 45 – а) Спортсменка на скейтборде; б) метатель копья

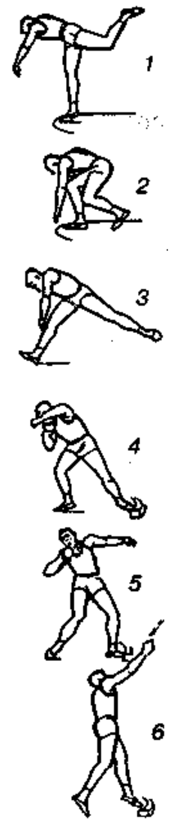


Рисунок 46 – Толкание ядра

Поэтому перед броском копья спортсмен заносит руку далеко назад. Более детально подобный процесс разобран ни примере спортсмена, толкающего ядро.

Из равенства вытекает одно важное для практического применения следствие, называемое законом сохранения импульса. Рассмотрим систему тел, на которую не действуют внешние силы. Такую систему называют замкнутой.

Система тел, которые взаимодействуют только между собой и не взаимодействуют с другими телами, называется замкнутой.

Для такой системы внешних сил нет ($F = 0$ и $dp = 0$). Поэтому имеет место закон сохранения импульса.

Векторная сумма импульсов тел, входящих в замкнутую систему, остается неизменной (сохраняется).

Иными словами, для любых двух моментов времени импульсы замкнутой системы одинаковы:

p1=p2

Закон сохранения импульса – это фундаментальный закон природы, не знающий никаких исключений. Он абсолютно точно соблюдается и в макромире и в микромире.

Конечно, замкнутая система – это абстракция, так как практически во всех случаях внешние силы есть. Однако для некоторых типов взаимодействий с очень малой длительностью наличием внешних сил можно пренебречь, так как при малом интервале действия импульс силы можно считать равным нулю:

F·dt 0?dp 0.

К процессам малой длительности относятся

• соударения движущихся тел

• распад тела на части (взрыв, выстрел, бросок).

Примеры. В боевиках часто присутствуют сцены, в которых после попадания пули человека отбрасывает по ходу выстрела. На экране это выглядит довольно эффектно. Проверим, возможно ли это? Пусть масса человек М =70 кг и он в момент попадания пули находится в состоянии покоя. Массу пули примем равной т = 9 г, а ее скорость v = 750 м/с. Если считать, что после попадания пули человек приходит в движение (в действительности этому может помешать сила трения между подошвами и полом), то для системы человек— пуля можно записать закон сохранения импульса: p1 = p2. Перед попаданием пули человек не движется и в соответствии с импульс системы p1 = m·v +0. Будем считать, что пуля застревает в теле. Тогда конечный импульс системы p2 = (М + т)·и, где и — скорость, которую получил человек при попадании пули. Подставив эти выражения в закон сохранения импульса, получим:

$$(M+m)\cdot u = m\cdot v;$$

$$u = \frac{m\cdot v}{(M+m)} = \frac{0{,}009\cdot 750}{70{,}009} = 0{,}1\ \text{м/с}.$$

Полученный результат показывает, что ни о каком отлетании человека на несколько метров не может быть и речи (кстати, тело, брошенное вверх со скоростью 0,1 м/с, поднимется на высоту всего 0,5 мм!).

2) Столкновение хоккеистов.

Два хоккеиста массой M_1 и M_2 двигаются навстречу друг другу со скоростями, соответственно, v_1, v_2 (рис. 47). Определить общую скорость их движения, считая столкновение абсолютно неупругим (при абсолютно неупругом ударе тела «сцепляются» и двигаются далее как одно целое).

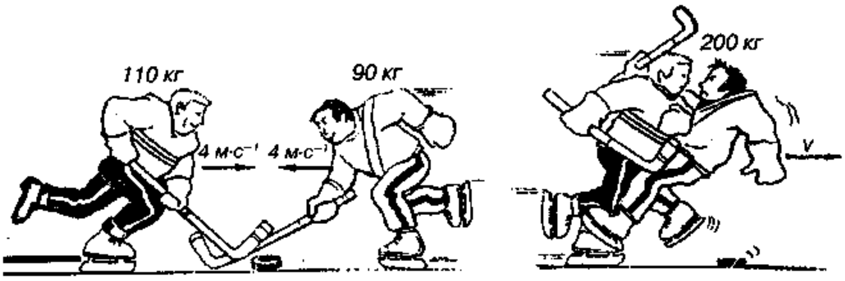


Рисунок 47 – Абсолютно неупругое столкновение хоккеистов

Применим закон сохранения импульса к системе, состоящей из двух хоккеистов. Импульс системы перед столкновением $p_1=M_1 \cdot v_1 - M_2 v_2$. В этой формуле стоит знак «–» потому, что скорости v_1 и v_2 направлены навстречу друг другу. Направление скорости v_1 считается положительным, а направление скорости v_2 – отрицательным. После неупругого столкновения тела движутся с общей скоростью v и импульс системы $p_2 = (M_1 + M_2) \cdot v$. Запишем закон сохранения импульса и найдем скорость v:

$$(M_1 + M_2) \cdot v = M_1 v_1 - M_2 v_2;$$

$$v = \frac{(M_1 v_1 - M_2 v_2)}{(M_1 + M_2)} = 0{,}4 \text{ м/с}.$$

Направление скорости v определяется ее знаком.

Обратим внимание на одно важное обстоятельство: закон сохранения импульса можно применять только к свободным телам. Если движение одного из тел ограничено внешними связями, то общий импульс сохраняться не будет.

Реактивное движение

На использовании закона сохранения импульса основано реактивное движение. Так называют движение тела, возникающее при отделении от тела с какой-то скоростью некоторой его части. Рассмотрим реактивное движение ракеты. Пусть ракета и ее масса вместе с топливом М покоится. Первоначальный импульс ракеты с топливом равен нулю. При сгорании порции топлива массы т образуются газы, которые выбрасываются через сопло со скоростью и. По закону сохранения импульса общий импульс ракеты и топлива сохраняется: p2 = p1 ? т·и +(M – m)·v = 0, где v – скорость, полученная ракетой. Из этого уравнения находим: v = – т·и /(M – т). Мы видим, что ракета приобретает скорость, направленную в сторону противоположную направлению выброса газа. По мере сгорания топлива скорость ракеты непрерывно возрастает.

Примером реактивного движения является и отдача при выстреле из винтовки. Пусть винтовка, масса которой m1 = 4,5 кг, стреляет пулей массой т2 = 11 г, вылетающей со скоростью v1 = 800 м/с. Из закона сохранения импульса можно высчитать скорость отдачи:

$$m_1v_1 = -m_2v_2;\ v_1 = -\frac{m_2v_2}{m_1} = -2{,}0\ \text{м/с}.$$

Такая значительная скорость отдачи возникнет, если винтовка не прижата к плечу. В этом случае стрелок получит сильный удар прикладом. При правильной технике выстрела стрелок прижимает винтовку к плечу и отдачу воспринимает все тело стрелка. При массе стрелка 70 кг скорость отдачи в этом случае будет равна 11,8 см/с, что вполне допустимо.

3.4 Применение закона сохранения импульса к ударам

Соударения часто встречаются в спорте: удары теннисной ракеткой, бейсбольной битой, клюшкой по мячу и шайбе, соударения бильярдных шаров, соударения футболистов и хоккеистов и т. д.

Ударом называется столкновение между двумя телами, если оно происходит за очень короткое время и силы взаимодействия при этом столь велики, что можно пренебречь всеми остальными силами.

(Сила удара боксера средней весовой категории – 2 кН, сила удара футболиста по мячу – 7,8 кН). Обычно время соударения много меньше по сравнению со временем наблюдения.

В физике принята следующая классификация ударов.

Абсолютно упругий удар

Это такой удар, при котором не происходит необратимых преобразований кинетической энергии во внутреннюю энергию тел.

При абсолютно упругом ударе свободных тел сохраняется кинетическая энергия системы и ее импульс. Формы всех тел после завершения удара восстанавливаются.

Упругое столкновение в макроскопическом мире – это недостижимый идеальный случай, так как часть кинетической энергии тел всегда переходит в другие виды энергии (тепловую, звуковую и т. п.).

Абсолютно неупругий удар

Это удар, при котором после столкновения тела «слипаются».

При абсолютно неупругом соударении свободных тел импульс системы сохраняется, а ее кинетическая энергия уменьшается (потерянная кинетическая энергия переходит во внутреннюю энергию – тела нагреваются). Деформации тел в процессе такого удара постоянно нарастают и формы тел после завершения удара не восстанавливаются.

Реальные удары

Абсолютно упругий и абсолютно неупругий удары – это идеальные предельные случаи. При соударении реальных тел имеют место элементы, свойственные как упругим, так и неупругим ударам.

Характерные свойства абсолютно упругого и абсолютно неупругого ударов наглядно проявляются в системе отсчета, связанной с центром масс сталкивающихся тел. В этой системе отсчета удары выглядят очень просто.

Коэффициент k одинаков для обоих тел и показывает в системе центра масс, чему равно отношение величины скорости тела после удара (v1) к величине скорости до удара:

$$k = \frac{v^1}{v}.$$

Его называют коэффициентом восстановления скорости. Он характеризует степень упругости. Если k = 1, то удар абсолютно упругий (удар стального шара о стальную плиту); если k = O, то удар абсолютно неупругий (удар комка влажной глины о плиту).

При игре в теннис коэффициент восстановления может принимать значения до 0,7.

Игра в теннис

При игре в теннис резкое изменение характера движения мяча при ударе ракетки обусловлено силой, действующей на него со стороны ракетки. Время действия силы удара очень мало, но ее величина весьма значительна. И мяч, и ракетка при столкновении деформируются довольно сильно.

Подача мяча при игре в теннис – пример неупругого соударения. Ракетка массой М со скоростью v0 ударяет по неподвижному мячу массой т. После того, как мяч отделился от поверхности ракетки, он движется со скоростью и, а скорость ракетки после этого становится v. Рассматривая ракетку и мяч как изолированную систему, можно записать закон сохранения импульса:

Mv0 = Mv + ти.

Высокоскоростная съемка позволяет определить скорость ракетки в момент удара и после удара, а также скорость мяча после удара. Найденные таким путем скорости можно использовать для вычисления потерь кинетической энергии при выполнении подачи. Для профессионального игрока разность между кинетической энергией ракетки перед ударом и суммарной кинетической энергией ракетки и мяча после удара составляет приблизительно 30-35 Дж. Эта энергия превращается в другие формы энергии, а именно в тепловую и звуковую (всегда слышен удар ракетки по мячу).

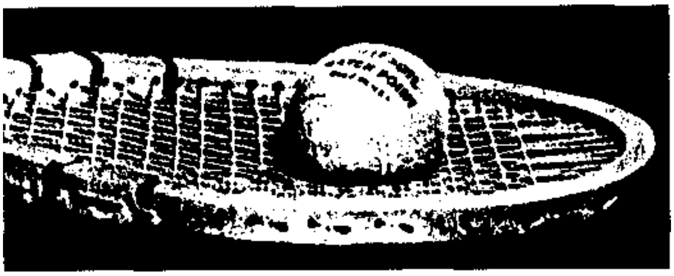


Рисунок 48 – Удар теннисной ракеткой по мячу: деформируются оба тела

Рисунок 49 – Взаимодействие ракетки и мяча при игре в теннис

Удар ногой по мячу. При изучении баллистического движения спортсменов, выполняющих удары, было обнаружено, что, если в начале выполнения такого движения все усилия, приложенные к центрам тяжести звеньев кинематической цепи (нога), направлены по ходу движения, то перед самым соприкосновением с ударяемым предметом эти усилия меняют свое направление на обратное (рис. 49).

Физиологически этому торможению соответствует активность антагонистов (совершенно пассивных в начальной фазе движения), хорошо прослеживаемая при отведении биоэлектрических потенциалов соответствующих мышц (рис. 50).

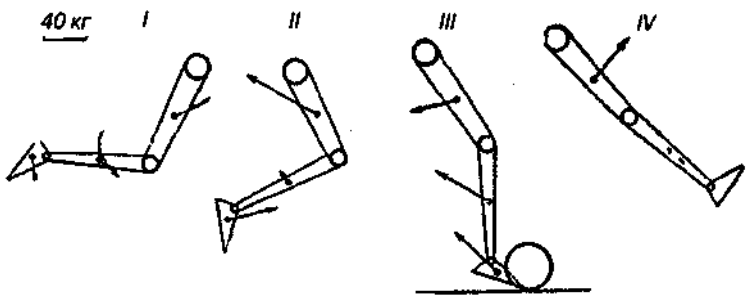


Рисунок 50 – Направление усилий, приложенных к центрам тяжести звеньев ноги спортсмена, выполняющего удар по мячу: I и II – начало движения; III – момент соприкосновения стопы с мячом; IV спортсмена, выполняющего удар по мячу: I и II – начало движения; III – момент соприкосновения стопы с мячом; IV – момент после удара момент после удара

Рисунок 51 – Биоэлектрическая активность мышц ноги спортсмена, выполняющего удар по мячу: 1 – прямая мышца бедра; 2 – двуглавая мышца бедра; 3 – передняя большеберцовая ; 4 – икроножная

Описываемое явление имеет под собой совершенно определенные физические причины. При нанесении любого удара весьма важно превратить мягкую кинематическую цепь ноги в единый жесткий рычаг (сделать ее стержнем). В этом случае в ударе примет участие не только масса конечного звена цепи, но и массы всех остальных звеньев (что заметно повышает массу ударяющего предмета). Превратившись в жесткую систему, кинематическая цепь конечности не будет в самые решающие мгновения амортизировать и, следовательно, передаст ударяемому предмету максимально возможное количество кинетической энергии.

3.5 Соударение предмета с движущимся массивным препятствием

Многие удары в игровых видах спорта можно рассматривать как столкновение мяча с движущейся «преградой». К таким соударениям, например, относятся прием мяча в теннисе, футболе, волейболе и т.п. Вследствие того, что конечность, наносящая удар, превращается в жесткую кинематическую цепь, удар мяча воспринимает не отдельное звено, а практически все тело. Масса тела во много раз больше массы мяча и его (тела) скорость в результате соударения практически не меняется. Для описания таких соударений существуют простые и удобные формулы. Мы рассмотрим два случая.

1. Перед ударом мяч и препятствие движутся навстречу друг другу. Скорость мяча – v0, скорость препятствия – и (рис. 52, а).

Обозначим коэффициент восстановления скорости мяча k. Тогда скорость мяча после удара (рис. 52, б) определяется формулой

$v = k \cdot v0+(k + 1) \cdot u.$

Во встречных ударах скорость после удара может оказаться больше, чем до удара. В частности, при абсолютно упругом ударе (k = 1) она возрастет на 2и.

2. Перед ударом мяч движется на «убегающее» от него препятствие. Скорость мяча – v0, скорость препятствия – и (рис. 53, а).

Обозначим коэффициент восстановления скорости мяча k. Тогда скорость мяча после удара (рис. 53, б) определяется формулой

$$v = k \cdot v0 - (k + 1) \cdot u$$

Рисунок 52 – Встречное соударение мяча с движущейся преградой: а) до удара, б) после

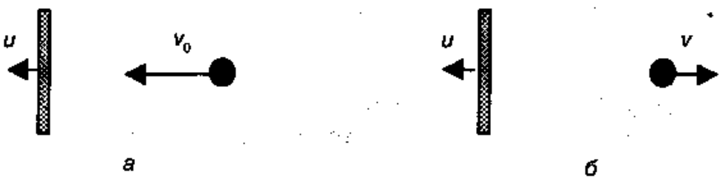


Рисунок 53 – Соударение мяча с «убегающей» преградой: а) до удара, б) после

При соударениях «вдогонку» скорость после удара всегда меньше чем до удара. Это используют для «укрощения» мяча при приеме. Например, футболист, принимающий мяч на грудь и сбрасывающий его себе под ноги, в момент приема мяча резко подает корпус назад.

3.6 Закон сохранения момента импульса

Понятие момента импульса произвольного тела и получено уравнение, описывающее изменение момента импульса под действием моментов сил. Если внешние силы не создают вращательного момента (M = 0), то уравнение принимает вид, который выражает важный закон сохранения момента импульса:

$$dL = 0?L = const.$$

Если суммарный момент внешних сил, действующих на тело, вращающееся вокруг оси, равняется нулю, то его момент импульса остается постоянным.

Этот закон применяется при рассмотрении вращения системы тел вокруг общей оси. Примеры, иллюстрирующие этот закон, представлены на рис. 54.

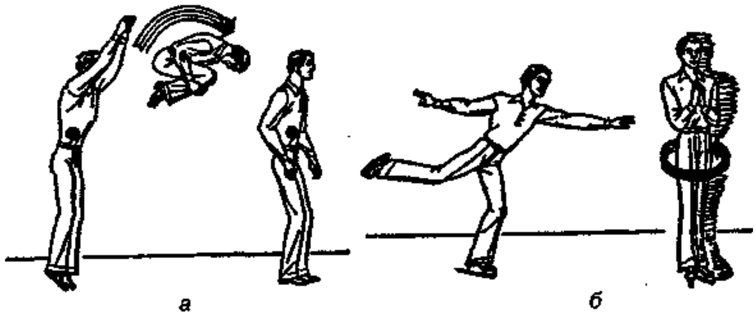


Рисунок 54 – Примеры проявления закона сохранения момента импульса: а) гимнаст, б) фигурист

Гимнаст, выполняющий сальто (рис. 54, а), в начальной фазе сгибает колени и прижимает их к груди, уменьшая тем самым момент инерции и увеличивая угловую скорость вращения вокруг горизонтальной оси. В конце прыжка его тело выпрямляется, момент инерции возрастает, угловая скорость уменьшается.

Фигурист, совершающий вращение вокруг вертикальной оси (рис. 54, б), в начале вращения приближает руки к корпусу, тем самым уменьшая момент инерции и увеличивая угловую скорость. Так, если момент инерции фигуриста уменьшается в два раза, то во столько же раз увеличивается его угловая скорость. В конце вращения происходит обратный процесс: при разведении рук увеличивается момент инерции и уменьшается угловая скорость, что позволяет легко остановиться.

Во время прыжка в воду с трамплина, толчок, испытываемый спортсменом в момент отрыва от гибкой доски, «закручивает» его, т. е. сообщает прыгуну начальный запас момента импульса относительно его ЦМ. Прежде чем прыгнуть в воду, прыгун совершает один или несколько оборотов с большой угловой скоростью; затем он вытягивает руки, увеличивая тем самым свой момент инерции и, следовательно, снижая свою угловую скорость до совсем небольшой величины перед входом в воду. Момент инерции при этом может измениться в 3,5 раза.

ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ

1. Что называется кинематикой?
2. Движение. Виды движения (поступательное, вращательное, равномерное, равноускоренное). Относительность движения (примеры).
3. Траектория. Криволинейное и прямолинейное движение. Понятия путь и перемещение.
4. Кинематические характеристики движения (перемещение, скорость, ускорение). формулы расчета этих величин для равномерного и равноускоренного движения.
5. Вращательное движение. Период, частота, угловая скорость, центростремительное ускорение.
6. Законы Ньютона.
7. Гравитационные силы. Закон всемирного тяготения. Сила тяжести.
8. Электромагнитные силы: сила трения, сила упругости, сила реакции опоры, вес тела.
9. Применение II закона Ньютона (привести пример: движение тел под действием несколько сил, наклонная плоскость, движение связанных тел.)
10. Импульс тела. Импульс силы.
11. Закон сохранения импульса. Привести примеры.
12. Работа. Работа в поле силы тяжести и работа упруго деформированного тела.
13. Мощность.
14. Энергия, виды энергии. Теоремы о кинетической и потенциальной энергиях.
15. Закон сохранения энергии. Примеры применения закона.
16. Механическое движение, его относительность. Траектория движения. Путь и перемещение. Материальная точка.
17. Характеристики механического движения: перемещение, скорость, ускорение. Кинематические уравнения, связывающие перемещение, скорость и ускорение в векторной форме.
18. Прямолинейное равномерное движение. Скорость. Графическое представление движения.
19. Равнопеременное движение. Уравнения скорости и перемещения при равнопеременном движении. Графическое представление равнопеременного движения.

20. Основная задача механики.
21. Поступательное движение (определение, примеры).
22. Способы описания движения: координатный и векторный.
23. Радиус-вектор. Проекция вектора на координатную ось.
24. Система отсчёта. Тело отсчёта.
25. Траектория, путь, перемещение.
26. Равномерное движение (определение, примеры).
27. Уравнения равномерного прямолинейного движения в векторной и координатной форме.
28. Мгновенная скорость (определение, формула, направление, физический смысл)
29. Средняя скорость (определение, формула).
30. Закон сложения скоростей (формулировка, формула).
31. Ускорение (определение, формула, направление, физический смысл).
32. Равноускоренное и равнозамедленное движения (определение, примеры).
33. Графики зависимости проекции скорости и ускорения от времени при равноускоренном прямолинейном движении.
34. Кинематические уравнения равноускоренного движения.
35. Свободное падение. Ускорение свободного падения.
36. Движение тела под действием силы тяжести вертикально вверх и вниз (рисунки, формулы).
37. Движение тела под действием силы тяжести брошенного под углом к горизонту (рисунок, формулы).
38. Движение тела под действием силы тяжести брошенного горизонтально с некоторой высоты (рисунок, формулы).
39. Равномерное движение точки по окружности. Центростремительное ускорение (формула, физический смысл).
40. Вращательное движение твёрдого тела (определение, примеры).
41. Период и частота вращения (определение, формулы).
42. Угловая скорость вращения (определение, формула).
43. Связь между линейной и угловой скоростями вращательного движения тела (вывод формулы).
44. Связь между ускорением и угловой скоростью вращательного движения тела (вывод формулы).

ГЛОССАРИЙ

1. Активность – число ядер радиоактивного препарата, распадающихся за единицу времени
2. Анизотропия – различие свойств материала по разным направлениям.
3. Анизотропия кожи акустическая – различие скорости распространения поверхностной акустической волны во взаимно перпендикулярных направлениях.
4. Баллистокардиография — метод исследования механических проявлений сердечной деятельности, основанный на регистрации пульсовых микроперемещений тела, обусловленных выбрасыванием толчком крови из желудочков сердца в крупные сосуды.
5. Биомеханика – наука, изучающая механические свойства живых тканей, органов и организма, а также происходящие в них механические явления.
6. Блок – диск с желобом для веревки или каната.
7. Быстрота – темп, в котором преодолевается расстояние без учета направления.
8. Вертикаль – линия, вдоль которой направлена сила тяжести.
9. Вес тела – сила, с которой тело действует на неподвижную относительно него горизонтальную опору (или неподвижный относительно него подвес).
10. Вынужденные колебания – колебания, которые возникают в системе при воздействии внешней периодической силы.
11. Гармонические колебания – колебания, при которых наблюдаемая величина изменяется во времени по закону синуса или косинуса.
12. Гармонический анализ – разложение сложного колебания на гармонические колебания.
13. Горизонтальная плоскость – плоскость, которая перпендикулярна вертикали.
14. Движение неравномерное – движение, при котором величина мгновенной скорости изменяется.
15. Движение прямолинейное – движение по прямолинейной траектории.

16. Движение равномерное – движение, при котором за любые равные промежутки времени тело проходит одинаковые пути. При равномерном движении величина скорости одинакова для всех точек траектории.

17. Деформация – изменение взаимного расположения частиц тела, приводящее к изменению его формы и размеров.

18. Деформация пластическая – деформация, которая не исчезает после снятия нагрузки.

19. Деформации текучести – деформация, которая возрастает без увеличения напряжения.

20. Деформация упругая – деформация, исчезающая сразу после снятия нагрузки.

21. Динамика – раздел механики, в котором изучается движение тела с учетом его взаимодействия с другими телами.

22. Длительность движения – разность моментов времени окончания и начала движения.

23. Импульс сложного тела (системы тел) – величина, равная векторной сумме импульсов его частей.

24. Импульс тела – векторная величина, равная произведению массы тела на скорость его центра масс.

25. Инертность – свойство тела оказывать сопротивление изменению скорости его движения (как по величине, так и по направлению).

26. Кинематика – раздел механики, в котором изучается механическое движение, но не рассматриваются причины его возникновения.

27. Колебание – движение или изменение состояния, обладающие той или иной степенью повторяемости.

28. Коэффициент восстановления скорости – величина, равная отношению скорости тела после удара к его скорости до удара в системе отсчета, связанной с центром масс сталкивающихся тел.

29. Коэффициент полезного действия – отношение полезной мощности к затраченной. Коэффициент полезного действия показывает насколько эффективно используется энергия.

30. Масса – количественная мера инертности тела.

31. Материальная точка – тело, размерами и внутренней структурой которого в данных условиях можно пренебречь.

32. Механическая работа – скалярная величина, равная произведению силы, действующей на тело, на пройденный им путь и на косинус угла между направлением силы и направлением движения.

33. Механическое движение – изменение положения тела в пространстве относительно других тел.

34. Момент импульса тела (относительно некоторой оси) – величина, равная произведению момента инерции относительно данной оси на угловую скорость вращения.

35. Момент инерции материальной точки (относительно некоторой оси) – величина, равная произведению массы точки на квадрат ее расстояния до оси вращения.

36. Момент инерции тела (относительно некоторой оси) – величина, равная сумме моментов инерции всех его точек.

37. Момент силы (относительно некоторой оси) – произведение величины силы на ее плечо. Момент силы характеризует ее вращательное действие.

38. Мощность затраченная (мощность энергозатрат) – скалярная величина, равная отношению затраченной энергии ко времени, за которое она израсходована.

39. Мощность полезная – скалярная величина, равная отношению полезной работы ко времени, за которое она совершена.

40. Перемещение тела – вектор, соединяющий начальную точку траектории с конечной.

41. Период колебаний – промежуток времени, за который совершается одно полное колебание.

42. Период обращения – промежуток времени, за который тело совершает один оборот.

43. Плечо силы – кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы (лежащей в плоскости вращения).

44. Положение равновесия – положение, в котором тело может оставаться в покое сколь угодно долго.

45. Положение равновесия неустойчивое – положение равновесия, при небольших отклонениях от которого возникает сила, стремящаяся увеличить это отклонение.

46. Положение равновесия устойчивое – положение равновесия, при небольших отклонениях от которого возникает сила, стремящаяся возвратить тело в исходное состояние.

47. Путь, пройденный телом – длина траектории.

48. Ритм движений – мера соотношения частей движений. Он определяется по соотношению промежутков времени (длительностей частей движений).

49. Ритм работы – определенная последовательность чередования рабочих операций и их отдельных элементов в процессе деятельности.

50. Рычаг – твердое тело чаще в виде стержня, которое может вращаться (поворачиваться) вокруг неподвижной оси или опоры.

51. Свободное падение – падение тела, происходящее под действием единственной силы – силы тяжести.

52. Свободные механические колебания – колебательные движения системы, выведенной из положения равновесия вследствие начального смещения или сообщения начальной скорости.

53. Сила – векторная величина, характеризующая воздействие, оказываемое на тело другими телами.

54. Сила в неинерциальной системе отсчета – векторная сумма сил тяготения и инерции.

55. Сила инерции – векторная величина, равная произведению массы тела на ускорение системы отсчета, и направленная в сторону, противоположную ускорению системы.

56. Сила консервативная – сила, работа которой при перемещении тела по замкнутому контуру равняется нулю.

57. Сила тангенциальная – проекция равнодействующей силы на касательную к окружности, проведенную в той точке, в которой в данный момент находится тело.

58. Сила трения покоя – сила, возникающая на границе соприкасающихся тел при отсутствии их относительного движения.

59. Сила трения скольжения – сила, возникающая на границе соприкасающихся тел при их относительном движении.

60. Сила тяготения – гравитационная сила, действующая на тело в соответствии с законом всемирного тяготения.

61. Сила упругости – сила, возникающая при деформации тела и направленная в сторону, противоположную смещению частиц тела.

62. Сила центростремительная – проекция равнодействующей силы на тот радиус окружности, на котором в данный момент находится тело.

63. Система отсчета – тело, относительно которого указывают положения других тел, связанная с ним система координат и часы для измерения времени.

64. Система отсчета инерциальная – система отсчета, относительно которой тело (материальная точка) движется равномерно и прямолинейно или сохраняет состояние покоя, если на него не действуют другие тела.

65. Система тел замкнутая – система, в которой тела взаимодействуют только между собой и не взаимодействуют с другими телами.

66. Скорость мгновенная – предел, к которому стремится отношение перемещения тела в окрестности данной точки ко времени при неограниченном уменьшении интервала.

67. Скорость падения предельная – максимальная скорость, которой достигает тело в процессе падения.

68. Скорость средняя – отношение пройденного телом пути ко времени движения.

69. Скорость угловая – отношение угла поворота радиус-вектора точки (тела) ко времени, за которое совершен поворот при равномерном вращательном движении.

70. Стабилография – метод оценки способности спортсмена удерживать проекцию центра масс в пределах координат границы площади опоры.

71. Статика – часть динамики, в которой изучаются условия равновесия тел.

72. Статокинезиграмма – траектория, которую описывает горизонтальной плоскости центр масс тела стоящего человека.

73. Статокинезиметрия – метод оценки способности спортсмена сохранять вертикальную позу.

74. Темп движений – мера повторяемости движений. Он измеряется количеством движений, повторяющихся в единицу времени – частотой движений.

75. Темп работы – число последовательно выполняемых операций в единицу времени.

76. Теплопроводность – процесс передачи теплоты от более нагретых частей системы к менее нагретым, происходящий без переноса массы вещества и без излучения электромагнитных волн.

77. Траектория – линия, которую описывает движущаяся точка по отношению к данной системе отсчета.

78. Удар – столкновение между двумя телами, при котором силы взаимодействия столь велики, что можно пренебречь всеми остальными силами.

79. Удар абсолютно неупругий – удар, после которого столкнувшиеся тела движутся как единое целое.

80. Удар абсолютно упругий – удар, при котором не происходит необратимых преобразований кинетической энергии во внутреннюю энергию тел.

81. Уровень интенсивности – величина, равная десятичному логарифму отношения интенсивности данного звука к интенсивности звука на пороге слышимости.

82. Ускорение линейное – векторная величина, равная пределу, к которому стремится отношение изменения вектора скорости ко времени этого изменения, при неограниченном уменьшении интервала времени.

83. Ускорение тангенциальное – составляющая полного ускорения, направленная по касательной к траектории.

84. Ускорение угловое – предел, к которому стремится отношение изменения угловой скорости ко времени этого изменения при неограниченном уменьшении интервала времени.

85. Ускорение центростремительное – ускорение, направленное к центру при равномерном движении по окружности.

86. Центр масс (центр инерции) – точка, характеризующая распределение масс в механической системе. При движении системы центр масс движется как материальная точка, в которой сосредоточена масса всей системы и на которую действуют все внешние силы, приложенные к системе.

87. Центр тяжести тела – точка, относительно которой сумма моментов сил тяжести, действующих на все частицы тела, равна нулю. Если поле тяжести однородно, то центр тяжести совпадает с центром масс.

88. Частота вращения – число оборотов, совершаемых телом за единицу времени.

89. Энергия механическая полная – сумма потенциальной и кинетической энергий тела или системы тел.

90. Энергия потенциальная тела – скалярная величина, равная работе, совершаемой консервативной силой, при переходе тела из данного положения на выбранный уровень отсчета.

91. Энергия тела кинетическая – энергия, которой тело обладает вследствие движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аношкина, Н. Л. Практикум по биомеханике : методические указания / Н. Л. Аношкина, А. А. Демидова. – Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2021. – 18 с.

2. Белоусова, В. М. Введение в биомеханику / В. М. Белоусова ; В. М. Белоусова. – Санкт-Петербург : 2011. – 79 с.

3. Дубровский, В. И. Биомеханика : Учеб. для сред. и высш. учеб. заведений по физ. культуре / В. И. Дубровский, В. Н. Федорова ; В. И. Дубровский, В. Н. Федорова. – Москва : ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003. – 669 с.

4. Кичайкина, Н. Б. Практикум по биомеханике двигательной деятельности : Учебное пособие для бакалавров, обучающихся по направлениям подготовки 49.03.01 – «Физическая культура», 49.03.02 – «Физическая культура для лиц с отклонениями в состоянии здоровья (адаптивная физическая культура)», 44.03.02 – «Психолого-педагогическое образование» / Н. Б. Кичайкина ; Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург. – Санкт-Петербург : Без издательства, 2021. – 139 с.

5. Нопин, С. В. Физиологический и биомеханический контроль функционального состояния двигательной системы спортсменов / С. В. Нопин, Ю. В. Корягина. – Ессентуки : Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», 2021. – 176 с.

6. Стеблецов, А. Е. Биомеханика : учебник для студентов вузов, обучающихся по естественно-научным направлениям / А. Е. Стеблецов, И. И. Болдырев. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Издательство ЮРАЙТ», 2021. – 160 с.

Кравцова Л.М.
Биомеханика

ЗАО «Библиотека А. Миллера
454091, г. Челябинск, Свободы улица, 159

Учебно-методическое пособие для студентов высшей школы физической культуры и спорта

Издание опубликовано в авторской редакции

Подписано в печать 12.10.2022 г. Формат 60х90/16.

Усл. печ. л. 4,6. Тираж 50 экз.

Отпечатано с готового оригинал-макета в типграфии ЮУрГГПУ

454080, г.Челябинск, пр. Ленина, 69