Рассмотрено на педагогическом совете Протокол № 1 от «30»08 . 2023 г.	Согласовано «30»августа 2023 г. Зам директора по УВР ______________________ Михайлова Т.П.	Утверждаю Приказ №78-од от 01.09.2023г. Директор МАОУ «СШ п.Боровёнка» ____________________ Л.Н.Селезнева

Рабочая программа по внеурочной деятельности

«Векторные треугольники»

(для 9 класса)

Составитель:

Максимова М.Н.,

учитель физики МАОУ «СШ п.Боровёнка»

ТОЧКА РОСТА

ОБРАЗОВАНИЕ

НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ

Пояснительная записка

Главная идея программы – это идея относительности движения, идея определяющей роли системы отсчёта, которая может «работать» в курсе физики основной школы только при активном использовании векторных величин.

Данный курс является дополнительным к основному курсу физики. Рассчитан на 18 часов изучения, обеспечивает углублённое изучение основного курса физики, направлен на удовлетворение познавательного интереса учащихся в рамках физико-математического профиля. Обычно школьников учат переходить от векторных выражений к скалярным координатным методом, хотя геометрическим методом это сделать зачастую гораздо проще. Краткость, наглядность, эффективность геометрического метода заслуживает большего внимания к нему учащихся.

Умение применять теоретические знания на практике вырабатывается в ходе решения задач. В пособии В.М.Чиганашкина и Б.Т.Яковлева «Векторные треугольники», положенном в основу курса внеурочной деятельности, в качестве образца приводится подробный анализ и решение наиболее оптимальным способом таких задач, которые дают представление об основных типах задач по данному разделу курса. (По материалу курса имеются публикации в еженедельнике «Физика» издательского дома «Первое сентября», в издательстве ПОИПКРО выходило учебное пособие «Векторные треугольники». Пособие имело успех на Всероссийском открытом конкурсе «Педагогические инновации-2005», – авторы В.М.Чиганашкина и Б.Т.Яковлева получили дипломы лауреатов конкурса).

Этот курс может быть предложен различным группам девятиклассников; сложность его можно варьировать, выбирая задачи различного уровня сложности. Формы деятельности учащихся на уроке обогащаются применением школьной лекции (длительностью не более 0,5 ч), практикума по решению задач и творческих заданий. Особое место занимают исследовательские работы «Переправа» и «Мяч в полёте». Они служат развитию творческих способностей на основе применения знаний, получаемых на занятиях. В ходе их выполнения ученики получают некоторое представление о деятельности физика-исследователя. Творческое применение знаний, происходящее в исследовательской деятельности, наилучшим образом способствует развитию способностей, закреплению знаний, их углублению.

Творческие задания требуют создания условий для индивидуальной самостоятельной работы. Хороший приём создания условий состоит в следующем: «Учитель разбирает задачу в классе и даёт задание самостоятельно найти другие варианты её решения».

Последовательность изучения тем курса согласована с изучением соответствующих тем обязательного курса физики, что повышает эффективность курса, так как на восстановление забытых знаний не нужно тратить время, изучение новых знаний опирается на параллельно изучаемый ученый материал. В свою очередь, внеурочный курс повышает результативность изучения обязательного курса.

Контроль за деятельностью учащихся учитель осуществляет постоянно, но ненавязчиво. деятельность учащихся учитель постоянно отслеживает и при необходимости корректирует. Оценки не выставляются.

***Цели курса*:**

1. Создать дополнительные условия для осуществления учащимися пробы своих возможностей, для оценки своих потребностей и обоснованного выбора профиля обучения.
2. Пополнить арсенал методов решения задач одним из наиболее прогрессивных методов – методом «векторных треугольников».
3. Пополнить представление учащихся о физике как науке, о методах исследования в физике, о путях применения физических знаний в современной технике.

4. Знакомить учащихся с трудными и привлекательными сторонами учёбы в старшей школе, в вузе, в работе специалистов после окончания ВУЗа.

***Задачи курса*:**

- Развитие творческих способностей учащихся.
- Воспитание личности, обладающей навыками анализа, самоанализа, способной создавать программы саморазвития.
- Развитие мышления учащихся; формирование умений выдвигать гипотезы, строить логические умозаключения, пользоваться методами аналогий и идеализаций.
- Освоение новых для школьников форм деятельности: лекция, семинар, практикум по решению задач, творческие работы и творческие задания.
- Формирование умения самостоятельно приобретать и применять знания.
- Формирование познавательного интереса, создание мотивов учения.
- Воспитание потребности к продолжению обучения по выбранному профилю.

Методическое обеспечение:

1. Сборник вопросов и задач по физике под ред. П.А.Знаменского. М.: гос.учебно-педагогическое издательство, 1962г.
2. В.П.Демкович Сборник вопросов и задач по физике. М.: Просвещение 1966г.
3. А.П.Рымкевич Сборник задач по физике. М.:Просвещение 1990 г.
4. Л.С. Хижнякова, Ю.А. Коварский Самостоятельная работа учащихся по физике в 9 классе средней школы. М.: Просвещение 1993 г.
5. Сборник задач по физике сост. Г.Н.Степанова. М.: Просвещение 1996г.

Учебно-тематический план

№ п/п	Тема	Время	Виды деятельности	Контроль
1	Цели и задачи курса. Механическое движение. Характеристики движения: координата, скорость, перемещение, пройденный путь, ускорение. Векторный характер кинематических величин.	2	Лекция. Актуализация знаний по механике	Входной тест
2	Относительность механического движения. Действия над векторными величинами. Правило сложения перемещений, скоростей и ускорений. Решение треугольника с помощью теоремы Пифагора, теоремы синусов и теоремы косинусов.	2	Лекция Творческое задание «Переправа»	
3	Нахождение мгновенной скорости тела, брошенного под углом к горизонту. Определение координат тел, времени и дальности их полета, высоты подъема	2	Практикум по решению задач. Творческое задание «Полет мяча»	Оценка за ответы на семинаре
4	Задачи на правило сложения перемещений и скоростей	2	Практикум по решению задач. Самостоятельная работа	Проверка самостоятельной работы
5-6	Задачи на правило сложения ускорений Применение его для решения задач в неинерциальных системах отсчета	2	.Лекция. Практикум по решению задач.	Тест
7	Сила, второй закон Ньютона. Нахождение равнодействующей силы. Равновесие тел. Применение правила сложения сил при равновесии тел	2	Практикум по решению задач.	
8	Задачи на применение правила сложения сил при равновесии тел	2	Самостоятельная работа	Проверка с. работы
9	Импульс силы, импульс тела. Второй закон Ньютона в импульсной форме. Закон сохранения импульсов. Правило сложения импульсов	2	Лекция Практикум по решению задач	Тест
10-11	Задачи на правило сложения импульсов. Обобщающее занятие	2	Семинар «Сила, импульс» Зачетная работа.	Проверка зачетной работы

Занятие 1. Цели и задачи курса. Механическое движение. Характеристики движения: координата, перемещение, пройденный путь, скорость и ускорение (2 ч)

В начале занятия учитель обсуждает с учащимися цели и задачи курса, сообщает краткое его содержание, знакомит с новыми для учащихся формами деятельности, способами и критериями оценки деятельности.

В ходе лекции (0,5 ч) актуализируются знания учащихся о характеристиках механического движения. Особо подчёркивается векторный характер кинематических величин.

Обсуждается различие перемещения и пройденного пути и их численное равенство при сонаправленном движении.

Занятия 2. Принцип относительности механического движения. Правила сложения перемещений, скоростей и ускорений. Решение треугольника с помощью теоремы Пифагора, теоремы косинусов и теоремы синусов (2 ч)

Лекция (0,5 ч). Многие утверждения о механическом движении относительны, так как вид движения зависит от выбора системы отсчёта. В различных системах отсчёта, движущихся друг относительно друга, значение многих кинематических величин оказываются различными. Такие величины называют относительными. Относительными величинами в кинематике являются координаты, перемещение, скорость и ускорение. Относительна и траектория движения, её вид зависит от выбора системы отсчёта.
В механике И.Ньютона не зависят от выбора системы отсчёта промежуток времени и длина отрезка Не зависит от выбора системы отсчёта и ускорение, но только в том случае, если системы отсчёта движутся друг относительно друга с постоянной скоростью.

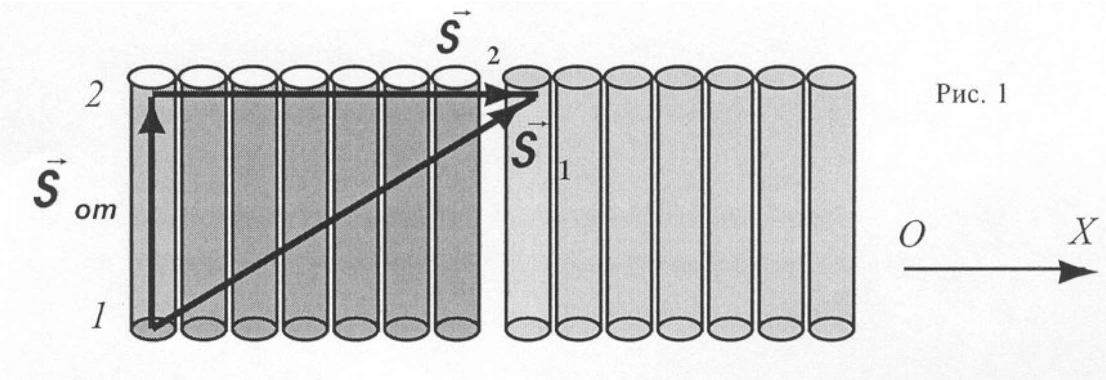


Рис.

Координаты данного тела, его скорость, ускорение и перемещение в разных СО связаны между собой.
Рассмотрим движение человека по краю плота (рис. 1), плывущего по реке. Перемещение человека из точки *1* в точку *2* в СО «Плот» – $S_{от}$, перемещение плота в СО «Берег» – S_2 (в новом положении плот отмечен светлой окраской). Очевидно, что перемещение человека в СО «Берег» S_1 не равно его перемещению в СО «Плот» $S_{от.}$, т.е. мы получили наглядное опытное доказательство относительности перемещения тела.
Очевидна и наглядна также связь между перемещениями, она выражается геометрически треугольником, составленным из этих перемещений. Для этой связи справедливо векторное равенство: $S_1 = S_2 + S_{от.}$.
Мы видим, что векторные величины – перемещение в разных СО – складываются не алгебраически, а геометрически (в нашем примере они образуют векторный треугольник). Таким образом, мы получили опытным путём правило сложения перемещений и обобщаем это правило на сложение других векторных величин – скорости, ускорения, силы и др.

Выполняется практическая работа «Действия над векторными величинами»
а) *Сложение векторов, направленных под углом друг к другу*
Пусть на тело действуют две взаимно перпендикулярные силы F_1 = 2 Н и F_2 = 3 Н (рис. 2). Начало 1-го вектора совместим с телом (материальная точка!), начало 2-го вектора совместим с концом 1-го вектора. Начало 1-го вектора соединим с концом 2-го и получим результирующий вектор. Эти действия математически записываются следующим образом:

$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_1 + \boldsymbol{F}_2$

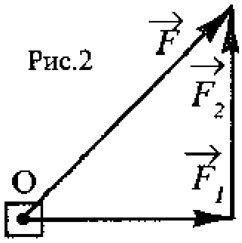


Рис.2

Обратите внимание: направленные под углом друг к другу векторы, входящие в полученное выражение, всегда образуют треугольник.
Складывая заданные векторы, получаем прямоугольный треугольник.
Модуль результирующего вектора найдём по теореме Пифагора:

$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$, $F = 3{,}6$ Н

При сложении двух одинаковых по модулю взаимно перпендикулярных векторов, например, $F_1 = F_2 = 4$ Н, получаем:

$$F = 4\sqrt{2}\text{ Н} = 5{,}7\text{ Н}.$$

Если векторов больше, чем два, то сначала складывают любые два из них, затем к полученной сумме прибавляют третий вектор и т.д.
Запомните правило: нельзя подставлять числовые значения в векторное равенство, их подставляют только в такие уравнения, в которых векторные величины выражены через их модули.

б) нахождение сторон треугольника с помощью теоремы синусов или косинусов.
Правило сложения скоростей Галилея: $\boldsymbol{v}_1 = \boldsymbol{v}_2 + \boldsymbol{v}_{\text{от.}}$ – можно записать в разных видах:

$\boldsymbol{v}_2 = \boldsymbol{v}_1 + (-\boldsymbol{v}_{\text{отн}})$; $\boldsymbol{v}_{\text{отн}} = \boldsymbol{v}_1 + (-\boldsymbol{v}_2)$.

Каждому из этих выражений соответствует векторный треугольник, отличающийся от других. В конкретной задаче удобным оказывается один из них, именно он позволяет увидеть реальную картину происходящего в задаче, подсказывает ход её решения.
После выбора удобного векторного треугольника задача зачастую решается каким-либо простым способом, известным из геометрии: по теореме Пифагора (см. пункт *а*), по теореме косинусов, синусов и т.д.

Теорема косинусов
Треугольник образован тремя векторами скоростей (рис. 3), требуется найти модуль скорости $\boldsymbol{v}_1$ по известным модулям двух других скоростей и углу ✔ между ними:

$$v_1 = \sqrt{v_2^2 + v_{\text{от}}^2 - 2v_2 \cdot v_{\text{от}} \cos\alpha}$$

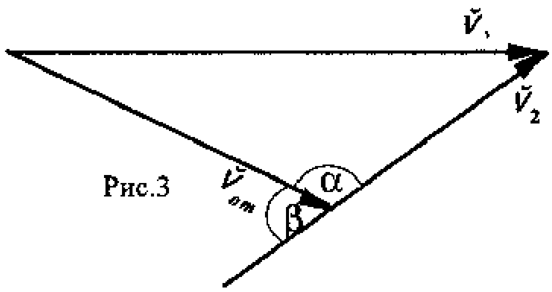


Рис.3

Если угол ✓ тупой, то можно сделать замену: $\cos\alpha = \cos(180 - \beta) = -\cos\beta$

Теорема синусов

Если известны углы треугольника ✓ и ✓ и одна из его сторон v_1 (рис. 4), то можно найти две его другие стороны:

$$\frac{v_1}{\sin\alpha} = \frac{v_{от}}{\sin\beta} = \frac{v_2}{\sin(180^\circ - \alpha - \beta)}$$

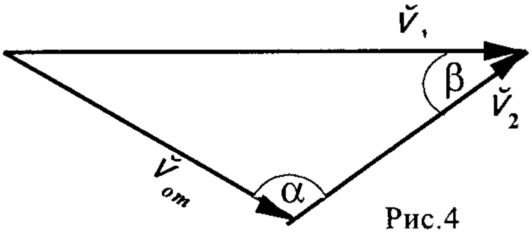


Рис.4

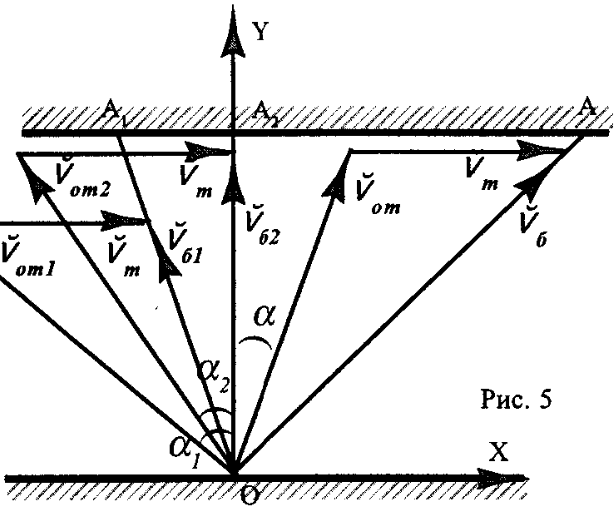


Рис. 5

Творческое задание «Переправа» выполняется при ведущей роли учителя, так как это первое задание подобного рода. Оно проводится в форме решения исследовательской задачи.

Задача 1. Катер пересекает реку, ширина которой равна *d*. Скорость течения равна $\vec{v}_{т}$, а скорость катера относительно воды $\vec{v}_{от}$. Под каким углом к оси *OY* должен идти катер, чтобы:
а) пересечь реку по кратчайшему пути;
б) пересечь реку за минимальное время;
в) снос был минимальным?

Решение. *Запишем правило сложения скоростей Галилея:*

$\boldsymbol{v}_б = \boldsymbol{v}_т + \boldsymbol{v}_{от}$

Неподвижную систему отсчёта свяжем с точкой *O* на берегу реки. Построим векторные треугольники скоростей, главное отличие которых – угол между направлением относительной скорости и осью *OY*.
Учитывая снос катера текущей водой (здесь «снос» – явление), катер направляют под тем или иным углом к оси *OY* (задают курс). Держа курс под углом α к оси *OY* (рис. 5), катер, идёт со скоростью $\boldsymbol{v}_б$ относительно берега и попадает в точку *A*; при угле α_1 катер попадёт в точку A_1; при угле α_2 – в точку A_2.

Время переправы определяется проекцией скорости катера относительно воды на *OY* и шириной реки:

$$t = \frac{d}{v_{от}\cos\alpha} \qquad (1)$$

Очевидно, что время переправы наименьшее тогда, когда относительная скорость тела (катера, лодки, пловца) направлена перпендикулярно течению ($\cos\alpha = 1$).
Снос (количественная характеристика переправы) – это величина, равная координате *x* точки причаливания катера к противоположному берегу (выбор системы отсчёта соответствует рис. 5):

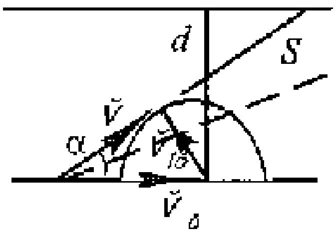
$$x = v_{б.x.}\cdot t = t(v_{от.x} + v_{т.x}) = \quad v_{от}\cos(90^\circ - \alpha) + v_т\}t = \frac{d\cdot v_т}{v_{от}\cos\alpha} + d\ \mathrm{tg}\,\alpha$$

В результате исследования полученного выражения находим, что при $\sin\alpha_2 = \frac{v_т}{v_{от}}$ координата $x_2 = 0$, т.е. сноса нет, катер идёт по кратчайшему пути от точки *O* до точки A_2.

$$x_1 = \frac{d\cdot v_т}{v_{от}\cos\alpha} - d\ \mathrm{tg}\,\alpha \qquad (2)$$

При скорости течения, большей скорости катера относительно воды, снос есть всегда и он положительный. Задача о минимальном сносе в этом случае решается с применением рисунка 6. (Её можно решить, исследуя формулу (2) с помощь дифференцирования, но девятиклассникам этот метод ещё недоступен).

Рис. 6



Как показывает рисунок, снос катера наименьший, если его скорость относительно берега направлена перпендикулярно относительной скорости катера. Тогда:

$$\sin\alpha = \frac{v_{от}}{v_{т}}$$

При этом условии и путь, пройденный катером при переправе, тоже наименьшей. Зато время переправы, которое в любом случае определяется формулой (1), не является наименьшим. Если требуется переправиться за кратчайшее время, то придётся мириться с большим сносом катера.

Занятие 3. Творческое задание «Полёт мяча»: Нахождение мгновенной скорости тела, брошенного под углом к горизонту, в любой точке траектории. Определение координат таких тел, времени и дальности их полёта, высоты подъёма (2 ч).
Проводится семинар по теме «Относительность механического движения».
2-е творческое задание – «Полёт мяча» – должно быть выполнено при большей самостоятельности учащихся (учитель приходит на помощь при затруднениях)
а) Координаты мяча, брошенного под углом к горизонту, в любой момент времени полёта.
На мяч в полёте действует только сила тяжести, поэтому:

– его проекция на ось *OY* движется равноускоренно: $y = y_0 + \mathbf{v}_{00}t - gt^2/\ 2$

– его проекция на ось *OX* движется прямолинейно равномерно: $x = x_0 + \mathbf{v}_{0Q}t$;
Эти два уравнения связаны между собой. Исключив *t*, получим уравнение параболы, следовательно: мяч, брошенный под углом к горизонту, движется по параболической траектории (рис. 7).

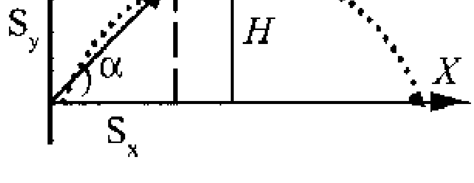


Рис.7

б) Время полёта мяча, брошенного под углом к горизонту, и время его подъёма до наибольшей высоты.
Для всего времени полёта мяча $t_д$ уравнение координаты *y* имеет вид:

$$O = y_0 + v_{00}t_д - gt_д^2/\ 2$$

При начальной координате $y_0 = 0$ получаем

$t_д = 2v_{0y}/g;$

Для нахождения времени подъёма на наибольшую высоту используем формулу проекции скорости мяча на ось *OY*:

$v_y = v_{0y} - gt_п.$

На предельной высоте проекция скорости на ось *OY* равна 0, следовательно:

$0 = v_{0y} - gt_п,$

откуда следует, что

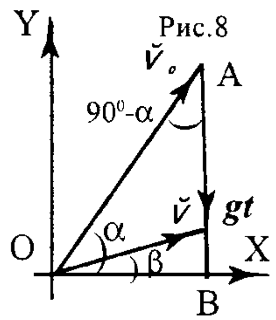
$$t_п = \frac{v_{oy}}{g} = \frac{v_0 \sin\alpha}{g} = \frac{t_д}{2},$$

т.е. сколько времени мяч поднимается на наибольшую высоту, столько же времени он опускается на исходный уровень.
Задачу о нахождении времени подъёма тела на наибольшую высоту можно решить с помощью векторного треугольника скоростей. Покажем это в ходе решения задачи.

Задача 2. Начальная скорость тела, брошенного под углом к горизонту, равна 26 м/с. В верхней точке траектории скорость этого тела равна 10 м/с. Сколько времени тело поднималось от точки старта до верхней точки траектории? Сопротивлением воздуха пренебречь.
Решение. Векторы, входящие в формулу скорости движения мяча, образуют треугольник:

$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_0 + \boldsymbol{g}t_п;$

Векторный треугольник скоростей *OAB* соответствует моменту достижения высшей точки траектории (рис. 8).



По теореме Пифагора:

$$gt_п = \sqrt{v_0^2 - v_0^2\cos^2\alpha} \Rightarrow t_п = \frac{v_0 \sin\alpha}{g}$$

в) Нахождение мгновенной скорости мяча, брошенного под углом к горизонту, в любой точке его траектории
Векторы, входящие в формулу скорости движения мяча, образуют треугольник:

$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_0 + \boldsymbol{g}t.$

Построим векторный треугольник, учитывая, что вектор *gt* всегда направлен вертикально вниз, вектор $\vec{v}_0$ направлен под углом α к горизонту, а вектор $\vec{v}$ направлен по касательной к траектории в интересующей нас точке (рис. 8).
Угол наклона вектора скорости к горизонту найдём по теореме синусов, а модуль вектора скорости – по теореме косинусов:

$$\frac{gt}{\sin(\alpha-\beta)} = \frac{v_0}{\cos\beta}; \quad v = \sqrt{v_0^2 = g^2t^2 - 2v_0 gt\sin\alpha}$$

Скорость тела, вернувшегося на исходный уровень, равна по модулю начальной скорости и направлена под тем же (по численному значению) углом к горизонту, но со знаком «–» (рис. 9).

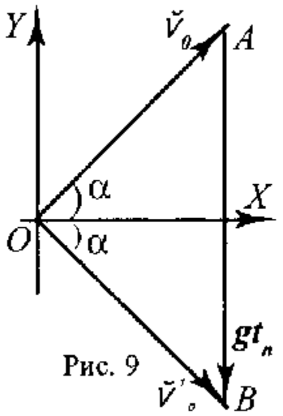


Рис. 9

г) *Дальность полёта и высота подъёма мяча, брошенного под углом к горизонту*
Мяч в полёте достигает наибольшей... высоты $H = y_{max} = v_{00}^2 / 2g$.
Дальность полёта мяча выражается формулой $L = 2 v_{0Q} \cdot v_{00} / g$.
Мяч поднимется на максимальную высоту, если будет брошен под углом 90° к горизонту (вертикально вверх), максимальная дальность полёта достигается при угле 45°.

Занятие 4. Решение задач на правило сложения перемещений; скоростей (2 ч)
Проводится в виде практикума по решению задач: сначала разбираются образцовые задачи, затем самостоятельно решаются элементарные задачи этих типов, завершается самостоятельной проверочной работой.

Задача 3. По прямому шоссе со скоростью v_1=16 м/с движется автобус. На расстоянии *d* = 60 м от шоссе и *S* = 400 м от автобуса находится человек (рис. 10), В каком направлении должен бежать человек, чтобы выйти к какой-либо точке шоссе одновременно с автобусом или раньше него? Человек может бежать со скоростью v_2=4 м/с. При какой наименьшей скорости он может встретиться с автобусом? В каком направлении следует при этом двигаться?

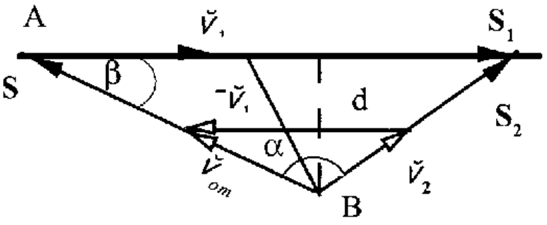


Рис.10

Решение. В СО «Земля» скорость человека:

$v_2 = v_1 + v_{отн}$

его относительная скорость направлена также, как и относительное перемещение, соединяющее начальное положение человека и автобуса:

$\boldsymbol{v}_{отн} = \boldsymbol{v}_2 + (-\boldsymbol{v}_1)$:

Относительная скорость может принимать различные значения в зависимости от угла α. Сначала построим векторный треугольник перемещений, а на его основе построим подобный ему векторный треугольник скоростей. Применяя теорему синусов, получаем:

$\frac{v_1}{\sin\alpha} = \frac{v_2}{\sin\beta}$, где $\sin\beta = \frac{d}{S} \Rightarrow \sin\alpha = \frac{v_1 d}{v_2 S}$

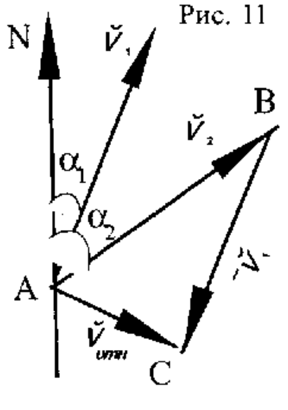
При наибольшей скорости человека v = 4 м/с $\sin\alpha$ = 0,6. Значению синуса соответствуют два значения угла – 36°45′ и 143°15′, при которых человек прибегает точно к приходу автобуса.
При выборе промежуточных углов, сохраняя прежнюю скорость, он выбегает на шоссе раньше автобуса. Для нахождения наименьшей скорости преобразуем полученное выше выражение:

$$v_2 = v_1 \frac{d}{S \cdot \sin\alpha} \Rightarrow$$

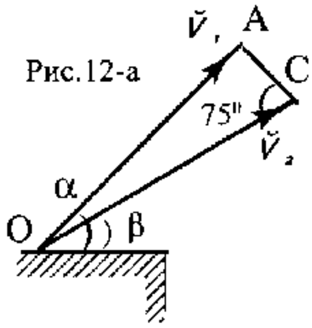
при α = 90° скорость человека наименьшая. Она равна 24 м/с.
Ответ. Со скоростью 4 м/с человек может бежать под любым углом к дороге в интервале 36°45′–143°15′, наименьшая скорость равна 24 м/с, если угол α = 90°.

Задача 4. Два корабля движутся относительно берега со скоростями v_1 и v_2, направленными под углом α_1 и α_2 меридиану. Найдите модуль скорости второго корабля относительно первого?
Решение. На рисунке 11 меридиан *AN* указывает северное направление. В точке *A* совмести начала векторов скорости кораблей. Скорость 2-го корабля относительно Земли:

Рис. 11



$\boldsymbol{v}_2 = \boldsymbol{v}_1 + v_{отн}$,
где v_1 – скорость движущейся СО (1-й корабль), $v_{отн}$ – относительная скорость 2-го корабля, как её видит наблюдатель на 1-м корабле. Его видению отвечает выражение



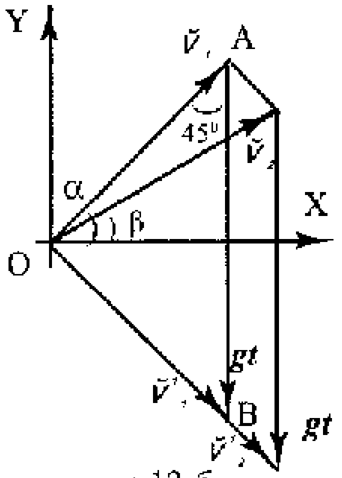


рис.12-б

$\boldsymbol{v}_{отн} = \boldsymbol{v}_2 + (-\boldsymbol{v}_2)$
и соответствующий ему векторный треугольник *ABC*.

Угол *ABC*, очевидно, равен ($\alpha_2 - \alpha_1$). 2-й корабль удаляется от первого в направлении относительной скорости (см. рис. 11), а модуль этой скорости найдём с помощью теоремы косинусов:

Ответ: $v_{отн} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 - 2v_1 \cdot v_2 \cos(\alpha_2 - \alpha_1)}$

Задача 5. В некоторый момент времени из одной точки *O* на краю пропасти бросили два камня: один – белый, другой – серый. Их скорости лежали в одной вертикальной плоскости, а векторы скоростей образовывали с горизонтом углы $\alpha = 45°$ и $\beta = 30°$ соответственно (рис. 12-а). В треугольнике, построенном на векторах скоростей камней, угол *ACO* равен 75°. На фотографии, сделанной через время *t* после броска, изображения камней видны как две параллельные чёрточки. Вычислите начальную скорость v_1.
Решение. Запишем уравнения скорости камней:

$$\boldsymbol{v}_1' = \boldsymbol{v}_1 + \boldsymbol{g}t; \quad \boldsymbol{v}_2' = \boldsymbol{v}_2 + \boldsymbol{g}t$$

Анализируя полученные векторные выражения, находим, что изображения камней в соответствии с условиями данной задачи могут выглядеть как параллельные чёрточки только на нисходящих ветвях траектории, причём так, как показано на рисунке 12-б. Треугольник *AOB* оказывается прямоугольным равнобедренным, поэтому:

Ответ: $v_1 = \frac{gt}{\sqrt{2}}$ –

Занятие 5–6. Решение задач на правило сложения ускорений. Применение правила сложения ускорений для решения задач в неинерциальной системе отсчёта (2 ч)

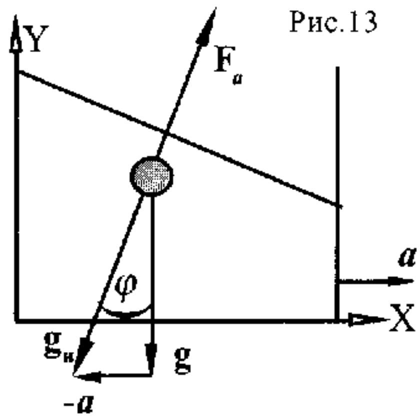
Лекция (0,5 ч). Практикум по решению задач. Самостоятельная тренировочная работа по решению задач. В конце занятия проводится тестирование.

В школьной кинематике хорошо обосновано правило сложения перемещений; правило сложения скоростей получают из правила сложения перемещений чисто математически, деля перемещения на время.
Правило сложения ускорений можно вести как частный случай правила сложения векторов:

$a_1 = a_2 + a_{от}$.

В школе возможно применение лишь частного случая сложения ускорений, когда неинерциальная СО не имеет угловых ускорений, а ускорением Кориолиса можно пренебречь.
Весьма полезно сложение ускорений при использовании неинерциальных СО (НИСО). Специфика таких задач в том, что для использования законов Ньютона в НИСО, необходимо ввести, помимо сил, обусловленных взаимодействием тел (сил в ньютоновском понимании), особые силы – силы инерции.
Применяя правило сложения ускорений, можно разобраться даже в некоторых сложных вопросах, связанных с НИСО, без привлечения сил инерции.
Это правило хорошо «работает» при решении задач на определение веса тела в СО, движущейся с ускорением по вертикали; веса лётчика в верхней и нижней точке «мёртвой петли»; веса тяжёлой машины, движущейся по выпуклому или вогнутому мосту.
Чаще всего приходится находить ускорение свободного падения в неинерциальных СО. Такое название не создаёт дополнительные трудности для учащихся, ведь оно давно существует в замаскированном виде: ускорение свободного падения на различных широтах, на экваторе и т.п.

Задача 6. Шарик, плотность которого меньше плотности воды, привязали тонкой нитью ко дну большого сосуда, заполненного водой. Сосуд движется с ускорением *a* в горизонтальном направлении (рис. 13). Ускорение свободного падения *g*. В какую сторону и на какой угол отклонится нить от вертикали?



Решение. Сначала определим направление архимедовой силы, действующей на шар в воде, движущейся с ускорением *a* в горизонтальном направлении. Ускорение в СО «Земля» *g* и ускорение в движущейся СО «Сосуд» $g_и$ связаны соотношением:

$$g = a + g_и \Rightarrow g_и = g + (-a).$$

Построим векторный треугольник. Поверхность воды перпендикулярна направлению ускорения в СО «Сосуд», а архимедова сила перпендикулярна поверхности жидкости:

$F_A = \rho g_и V$;

из векторного треугольника по теореме Пифагора получим:

$$g_и = \sqrt{a^2 + g^2}.$$

Нить вытягивается вдоль $g_и$ и таким образом оказывается отклонённой от земной вертикали в сторону, противоположную движению сосуда на угол φ, который определяется из векторного треугольника: $\operatorname{tg}\varphi = a/g$.

Ответ: Нить расположится вдоль вектора ускорения $g_и$, угол $\varphi = \operatorname{arctg} a/g$.

Задача 7. С помощью правила сложения ускорений покажите, что ускорение свободного падения g зависит от широты места из-за вращения Земли (рис. 14).

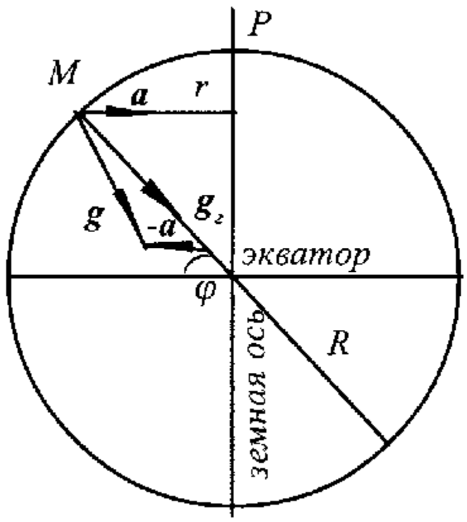


Рис.14

Решение. Обозначим gг – ускорение точки M на широте φ, обусловленное только гравитацией, r – радиус окружности суточного движения точка M, a – центростремительное ускорение этой точки, R – радиус земного шара, v – линейная скорость точки M на указанной широте. Запишем правило сложения ускорений и построим векторный треугольник этих ускорений:

gг = g + a $\Leftrightarrow$ g = gг + (–a).

$$a = \frac{v^2}{r}, \quad v = \frac{2r\pi}{T}, \quad r = R\cos\varphi.$$

По теореме косинусов найдём выражение для ускорения свободного падения на различных широтах:

$$g = \sqrt{a^2 + g_г^2 - 2ag_г\cos\varphi} \Rightarrow$$

$$g = \sqrt{\frac{16\pi^2R^2\cos^2\varphi}{T^4} + \frac{G^2M^2}{R^4} - \frac{8\pi^2GM\cos^2\varphi}{T^2R}}.$$

Ответ. На экваторе: $g_э = \frac{GM}{R^2} - \frac{4\pi^2 R}{T^2}$. На полюсах: $g_п = \frac{GM}{R^2}$.

Занятие 7. Сила, второй закон Ньютона. Нахождение равнодействующей силы. равновесие тел. Правило моментов. Применение правила сложения сил при равновесии тел (2 ч)

Практикум по решению задач.
Векторные треугольники получаются при нахождении равнодействующей сил (эквивалентной силы), направленных под углом друг к другу, а также при применении условия равновесия тела, на которое действуют три силы.
Если число сил (включая эквивалентную) больше трёх, то сначала складывают любые две из них, затем к полученной сумме прибавляют третий вектор и т.д.

Задача 8. Между двумя неподвижными муфтами может без трения перемещаться вниз и вверх стержень, масса которого m (рис. 15). Стержень нижним концом касается гладкой поверхности клина массы M. Клин лежит на гладком горизонтальном столе. Определите ускорения клина и стержня.

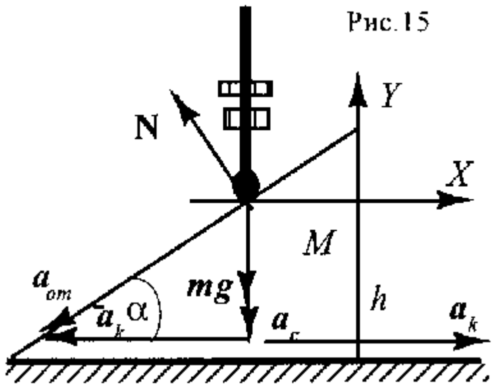


Рис.15

Решение. Ускорение стержня относительно Земли можно представить как сумму ускорений клина относительно Земли и стержня относительно клина:

$a_с = a_к + a_{от}$, $a_{от} = a_с + (–a_к)$.

Построим векторный треугольник ускорений, из которого следует:

$a_с/a_к$ = tg ✔ .

2-й закон Ньютона для стержня, OX:
$mg – N$ cos ✔ $= ma_с$
и для клина, OY: N sin ✔ $= Ma_к$.
Решая систему уравнений (1–3), получим:

Ответ: $a_с = \frac{mg\ \mathrm{tg}^2\alpha}{M + m\ \mathrm{tg}^2\alpha}$ и $a_к = \frac{mg\ \mathrm{tg}\,\alpha}{M + m\ \mathrm{tg}^2\alpha}$.

Задача 9. Шар лежит в щели *ABC*, образованной двумя плоскими стенками. Найдите угол между плоскостями, если сила давления шара на вертикальную стенку *CB* вдвое превышает силу тяжести, действующую на шар (рис. 16). Трением пренебречь.

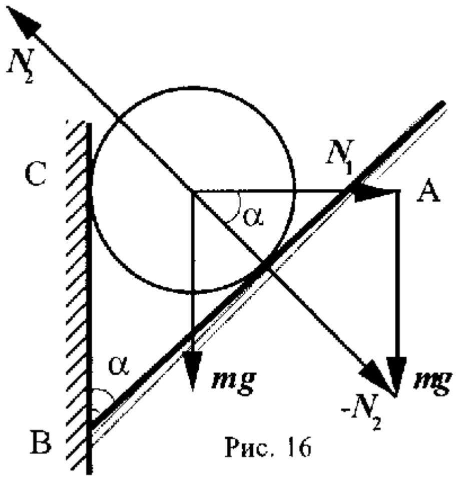


Рис. 16

Решение. Изобразим силы, действующие на шар. Видим, что линии их действия проходят через центр масс шара, поэтому моментов они не создают и условием равновесия ара является:

$N_1 + N_2 + mg = 0.$

Построим векторный треугольник, из которого следует:

$$\frac{mg}{2mg} = \mathrm{tg}\,\alpha \Rightarrow \alpha = \mathrm{arctg}\,0,5.$$

Ответ: $\alpha = \mathrm{arctg}\,0,5.$

Задача 10. Неоднородный стержень висит на двух невесомых нитях так, как показано на рисунке 17. Определите построением центр тяжести тела.

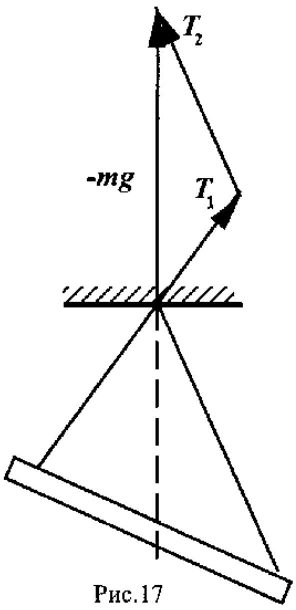


Рис.17

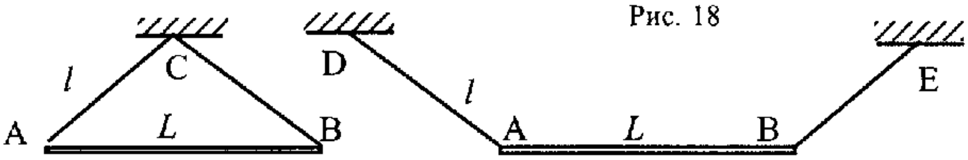
Решение. Стержень находится в равновесии под действием трёх сил:

$T_1 + T_2 + mg = 0$.

Зададим произвольно длину одного из векторов, например, длину вектора силы тяжести, тогда легко построим векторный треугольник (точку приложения сил перенесём в точку подвеса стержня), так как направления всех трёх сил мы знаем. Центр тяжести стержня находится на пересечении линии действия силы тяжести с осью стержня.
Ответ: смотри рисунок 17.

Задача 11. Два однородных стержня, вес каждого из которых P = 160 Н и длина L = 1,2 м, подвешены в горизонтальном положении на канатах (рис. 18). Длина канатов *AC*, *BC*, *AD* и *BE* одинаковы и равны l = 1 м. Определите натяжение канатов и сжимающей (растягивающей) силы, которые будут действовать на стержни в обоих случаях. Канат *DA* параллелен *BC*, канат *BE* параллелен *AC*.

Рис. 18



Ответ. T = 100 Н; $F = \dfrac{PL}{2\sqrt{4l^2 - L^2}} = 60$ Н.

Занятие 8. Решение задач на правила сложения сил при равновесии тел (2 ч)
Тренировочная самостоятельная работа по решению задач. В конце занятия проверочная самостоятельная работа.

Занятие 9. Импульс силы, импульс тела. Второй закон Ньютона в импульсной форме. Закон сохранения импульса. Применение правила сложения импульсов (2 ч)

Лекция (0,5 ч). Практикум по решению задач.

Результат действия силы зависит от времени её действия, в этом нетрудно убедиться на простых опытах.

Действие в течение короткого времени называют ударом.

Для характеристики такого действия служит величина, называемая импульсом силы и равная произведению силы на время её действия *Ft*.

Единица импульса силы Н•с (ньютон–секунда).

Покажем, что импульс силы связан с изменением скорости тела данной массы:

$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$, $\boldsymbol{a} = \dfrac{\Delta \boldsymbol{v}}{t} \Rightarrow \boldsymbol{F} = m\dfrac{\Delta \boldsymbol{v}}{t} \Rightarrow \boldsymbol{F} \cdot t = m\Delta \boldsymbol{v}$

$\boldsymbol{F}\, t = m(\boldsymbol{v} - \boldsymbol{v}_0)$.

Это выражение называют формулой второго закона Ньютона в импульсной форме.

Величина $m(\boldsymbol{v} - \boldsymbol{v}_0)$, где $\boldsymbol{v}_0$ – начальная скорость тела, называется изменением импульса тела. единица импульса тела кг•м/с (килограмм-метр на секунду), в тех же единицах измеряется изменение импульса тела.

Второй закон Ньютона в импульсной форме читается так:

Изменение импульса тела равно импульсу силы.

Другими словами, чтобы изменить скорость тела, необходимо действие силы в течение некоторого времени.

Рис. 19

На рисунке 19 изображены два тела, движущиеся друг за другом. Во время столкновения, в соответствии с третьим законом Ньютона, на тела подействуют одинаковые силы упругости, что приведёт к изменению скорости каждого тела:

$\boldsymbol{F}_1 = m_1\boldsymbol{a}_1$, $\boldsymbol{a}_1 = \dfrac{(\boldsymbol{v}_1' - \boldsymbol{v}_1)}{t} \Rightarrow \boldsymbol{F}_1 = m_1\dfrac{(\boldsymbol{v}_1' - \boldsymbol{v}_1)}{t}$

Аналогично для второго тела:

$$\boldsymbol{F}_2 = m_2\frac{(\boldsymbol{v}_2' - \boldsymbol{v}_2)}{t}$$

Учитывая, что $\boldsymbol{F}_1 = -\boldsymbol{F}_2$, получаем

$$m_1(\boldsymbol{v}_1 - \boldsymbol{v}_1) = -m_2(\boldsymbol{v}_2 - \boldsymbol{v}_2).$$

Запишем это выражение так, чтобы импульсы грузов после столкновения находились в правой части выражения, а до столкновения – в левой, и получим формулу закона сохранения импульса:

$$m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2 = m_1\mathbf{v}'_1 + m_2\mathbf{v}'_2.$$

Обращаем внимание, что сохраняется (остаётся неизменным) импульс не отдельных тел, а сумма импульсов всех взаимодействующих тел.
Два и более тела, движение которых рассматривается совместно и одновременно, в механике называются системами тел. Тела, входящие в систему, могут подвергаться действию различных сил. Силы взаимодействия между телами, принадлежащими к данной системе тел, называются внутренними силами системы. Силы взаимодействия между телами, не принадлежащими к данной системе, называются внешними силами.
Если на систему тел не действуют никакие внешние силы, то система называется замкнутой или изолированной.
Сумма импульсом сохраняется только в замкнутых системах.
Вместе с тем, если система не замкнута, но в каком-то направлении на неё не действуют внешние силы, то для расчёта движения тел системы в этом направлении закон сохранения импульса применять можно. Благодаря этому имеется возможность решать задачи, где закон сохранения импульса в векторной форме оказывается невыполнимым.
Закон сохранения импульса читается следующим образом:
Векторная сумма импульсом тел, входящих в замкнутую систему после взаимодействия равна векторной сумме импульсов тел до взаимодействия.

Задача 11. Два костяных шарика одинаковой массы налетают друг на друга со скоростями $\mathbf{v}_1$ и $\mathbf{v}_2$ (рис. 20), направленными под углом ✓ друг к другу, и разлетаются после

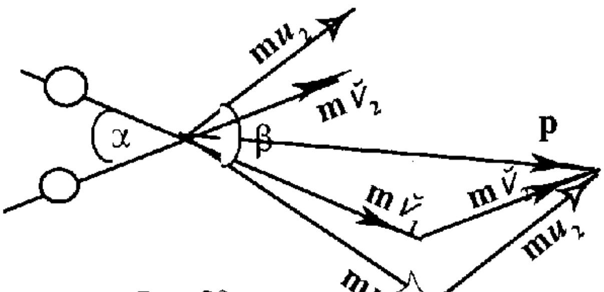


Рис. 20

абсолютно упругого удара со скоростями u_1 и u_2. Найти угол разлёта шаров ✓.

Решение. Воспользуемся постоянством суммарного импульса до и после столкновения шаров и построим два векторных треугольника, имеющих общую сторону, каковой является вектор суммарного импульса.
Применим теорему косинусов для выражения модуля вектора p:

$$p^2 = (m\mathbf{v}_1)^2 + (m\mathbf{v}_2)^2 + 2m^2\mathbf{v}_1\mathbf{v}_2 \cos ✓; \qquad (1)$$
$$p^2 = (mu_1)^2 + (mu_2)^2 + 2m^2u_1u_2 \cos ✓. \qquad (2)$$

Левые части этих выражений одинаковы, можем приравнять их друг к другу и после упрощения получаем:

$$\boldsymbol{v}_1^2 + \boldsymbol{v}_2^2 + 2\boldsymbol{v}_1\boldsymbol{v}_2 - \cos\alpha = u_1^2 + u_2^2 + 2u_1u_2\cos\beta. \qquad (3)$$

На основании закона сохранения энергии получим (после упрощения):

$$\boldsymbol{v}_1^2 + \boldsymbol{v}_2^2 = u_1^2 + u_2^2. \qquad (4)$$

Из (3) и (4) следует: $\boldsymbol{v}_1\boldsymbol{v}_2 \cos \checkmark = u_1u_2 \cos \checkmark$.

Ответ. $\cos\beta = \dfrac{v_1v_2}{u_1u_2}\cos\alpha.$

Занятие 10–11. Решение задач на применение правила сложения импульсов (2 ч)

Обобщающее занятие в форме семинара «Сила, импульс силы, импульс тела». Решение сложных задач. Зачётная работа.