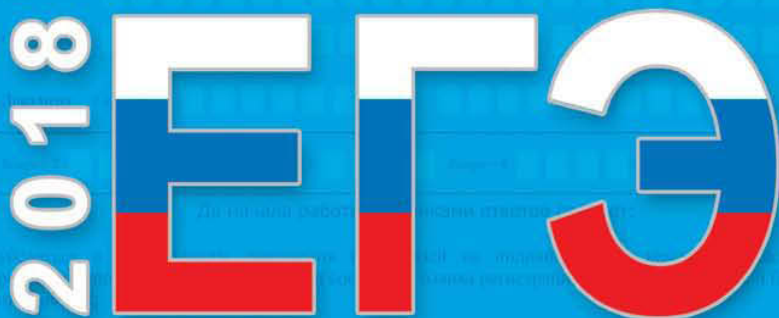


В соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта

И.Л. Касаткина

ФИЗИКА

НОВЕЙШИЙ СПРАВОЧНИК ДЛЯ ПОДГОТОВКИ
К ЕДИНОМУ ГОСУДАРСТВЕННОМУ ЭКЗАМЕНУ



- Проверочные экзамены типа ЕГЭ по разным разделам физики
- Пояснения и решения к примерам
- Решение задач средней и повышенной трудности
- Ответы на качественные вопросы

УДК 53 (075.4)
ББК 22.3я729
КТК 444
К 38

Все права защищены.

Ни одна часть данного издания не может быть воспроизведена или использована в какой-либо форме, включая электронную, фотокопирование, магнитную запись или какие-либо иные способы хранения и воспроизведения информации, без предварительного письменного разрешения правообладателя.

И.Л. Касаткина

К 38 ЕГЭ. Физика. Новейший справочник для подготовки к единому государственному экзамену / Физика. ЕГЭ. Все законы и формулы средней школы и их использование на ЕГЭ / И.Л. Касаткина — Москва: Омега-Л, 2018. — 544 с. (ЕГЭ 2018/Лучшие репетиторы России).

ISBN 978-5-370-04303-1 (ЕГЭ. Физика. Новейший справочник для подготовки к единому государственному экзамену)

ISBN 978-5-370-04302-4 (Физика. ЕГЭ. Все законы и формулы средней школы и их использование на ЕГЭ)

В пособии кратко изложен весь курс физики средней школы. Приведены основные законы и формулы, показаны особенности их применения на отдельных примерах. Даны ответы на множество качественных вопросов, встречающихся в тестах части А, и показано решение задач средней и повышенной трудности частей В и С

Единого государственного экзамена (ЕГЭ) по физике. Для проверки знаний приведены 5 проверочных экзаменов типа ЕГЭ по разным разделам курса физики, ко всем даны пояснения и решения.

Вкладыш в конце пособия содержит все основные формулы физики с названием входящих в них величин и их размерностей, а также формулы математики, необходимые для решения физических задач.

Пособие незаменимо при подготовке к ЕГЭ по физике. Оно может быть полезным учащимся старших классов школ, лицеев, гимназий и колледжам, а также абитуриентам и лицам, занимающимся самообразованием.

УДК 53 (075.4)
ББК 22.3я729

Руководитель проекта *Ж. Фролова*
Корректор *О. Соколова*
Компьютерная верстка *Н. Бакулиной*

Издание подготовлено литературным агентством «Книжкин Дом».

Приглашаем к сотрудничеству авторов и организации.

г. Ростов-на-Дону, ул. Мечникова, 112 г, офис 207.
Электронная почта (e-mail): book_house@list.ru
Сайт: www.k-dom.net Тел.: +7 (863) 207 80 06

По вопросу приобретения книг:

Сайт: www.omega-l.ru Тел.: +7 (495) 259 62 06

Общероссийский классификатор продукции
ОК-005-93, том 2; 95 3000 — книги и брошюры.

Подписано в печать 14.09.2017
Формат 84×108/32. Усл. печ. л. 23,52
Тираж 1000 экз. Заказ

ISBN 978-5-370-04303-1

ISBN 978-5-370-04302-4



© И.Л. Касаткина, 2017
© ООО «Книжкин дом», оригинал-макет, 2018
© ООО «Омега-Л», 2018

Содержание

Вступление.....7

Раздел I. Механика11

Тема 1. Кинематика..... 11

А. Виды прямолинейного движения..... 14

Б. Свободное падение 19

В. Относительность движения24

Г. Равномерное движение по окружности... 29

Проверочный экзамен

по теме 1. «Кинематика» 34

Ответы на задания проверочного экзамена

по теме 1. «Кинематика» 45

Тема 2. Динамика. Законы сохранения.

Статика..... 76

А. Законы Ньютона 76

Б. Законы сохранения. Статика..... 90

Проверочный экзамен по теме 2. «Динамика.

Законы сохранения. Статика» 101

| | |
|---|-----|
| Ответы на задания проверочного экзамена по теме 2. «Динамика. Законы сохранения. Статика» | 114 |
|---|-----|

**Раздел II. Гидродинамика. Молекулярная
физика. Термодинамика152**

| | |
|------------------------------------|-----|
| <i>Тема 3. Гидродинамика</i> | 152 |
|------------------------------------|-----|

| | |
|--|-----|
| <i>Тема 4. Молекулярная физика</i> | 158 |
|--|-----|

| | |
|------------------------------------|-----|
| <i>Тема 5. Термодинамика</i> | 177 |
|------------------------------------|-----|

| | |
|--|-----|
| Проверочный экзамен по разделу II. «Гидродинамика. Молекулярная физика. Термодинамика» | 189 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| Ответы на задания проверочного экзамена по разделу II. «Гидродинамика. Молекулярная физика. Термодинамика» .. | 203 |
|---|-----|

Раздел III. Электромагнетизм.....237

| | |
|-------------------------------------|-----|
| <i>Тема 6. Электростатика</i> | 237 |
|-------------------------------------|-----|

| | |
|--|-----|
| <i>Тема 7. Законы постоянного тока</i> | 262 |
|--|-----|

| | |
|--------------------------------|-----|
| <i>Тема 8. Магнетизм</i> | 289 |
|--------------------------------|-----|

| | |
|--|-----|
| Проверочный экзамен к разделу III. «Электромагнетизм» | 309 |
|--|-----|

Ответы на задания проверочного экзамена
к разделу III. «Электромагнетизм» 321

Раздел IV. Колебания и волны. Оптика.

Теория относительности. Физика атома 351

Тема 9. Колебания и волны..... 351

А. Механические колебания и волны..... 351

Б. Электромагнитные колебания и волны . 369

Тема 10. Оптика 381

А. Геометрическая оптика 381

Б. Волновая и квантовая оптика 408

Тема 11. Теория относительности.

Физика атома 419

А. Теория относительности 424

Б. Физика атома 429

Проверочный экзамен по разделу IV.

«Колебания и волны. Оптика.

Теория относительности. Физика атома» .. 437

Ответы на задания проверочного экзамена

по разделу IV. «Колебания и волны. Оптика.

Теория относительности. Физика атома» .. 448

| | |
|--|------------|
| ПРИЛОЖЕНИЕ..... | 479 |
| Некоторые приставки для преобразования внесистемных единиц в СИ | 479 |
| Перевод некоторых единиц в СИ | 480 |
| Некоторые сведения из математики | 482 |
| Основные формулы физики (теперь все вместе) | 488 |

Раздел I. Механика

Механика изучает механическое движение тел. Механическим движением называют изменение положения тел относительно друг друга с течением времени.

Механику разделяют на *кинематику*, *динамику* и *статику*.

Кинематика — раздел механики, где изучают движение тел, не рассматривая причины, влияющие на него.

Динамика — раздел механики, где изучают движение тел с учетом причин, влияющих на движение.

Статика — раздел механики, где изучают условия равновесия тел.

Тема 1. Кинематика

Параметрами кинематики, т. е. величинами, описывающими движение тел, являются: *координата x* , *путь S* , *перемещение \vec{S}* , *время t* , *скорость \vec{v}* , *ускорение \vec{a}* .

Координата x — точка, определяющая положение тела в пространстве в данный момент времени.

Путь S — это длина траектории тела. Путь — скалярная величина.

Перемещение \vec{S} — это вектор, соединяющий начальное и конечное положения тел, и направленный к конечному положению.

Единица координаты, пути и модуля перемещения в Системе Интернациональной (СИ) — метр (м). *Метр* — основная единица СИ.

В процессе движения путь может только увеличиваться, а перемещение — и увеличиваться, и умень-

шаться, например, когда вы поворачиваете обратно. При прямолинейном движении в одном направлении путь равен модулю перемещения, а при криволинейном — путь больше модуля перемещения. Когда вы едете на такси, то платите за путь, а когда — на поезде, то за перемещение. Если, выйдя из дома, вы через некоторое время вернулись обратно, то ваше перемещение равно нулю, а путь равен длине траектории вашего движения. Существует тело, относительно которого ваше перемещение всегда равно нулю, — это ваше собственное тело.

Время t — это количественная мера протяженности процесса. Время — скалярная и всегда положительная величина. Единица времени в СИ — секунда (с). Секунда — основная единица СИ.

Скорость \vec{v} — это количественная характеристика быстроты перемещения. Скорость (по модулю) при равномерном движении — это отношение пути ко времени, за которое этот путь пройден. Скорость — векторная величина. Направление вектора скорости совпадает с направлением вектора перемещения. Единица скорости в СИ — метр в секунду (м/с или $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$).

Координата равномерного движения определяется формулой 1:

$$x = x_0 + v_x t.$$

Путь при равномерном движении определяется формулой 2:

$$S = vt.$$

При движении с переменной скоростью различают среднюю и мгновенную скорости.

Средняя путевая скорость — это отношение пути ко времени, за которое этот путь пройден:

$$v = \frac{S}{t}.$$

Мгновенная скорость — *это скорость в данный момент времени или в данной точке траектории.*

Мгновенная скорость равна первой производной координаты тела по времени (формула 11):

$$v = x'.$$

Спидометр автомобиля показывает мгновенную скорость, а когда говорят, что скорость самолета 400 м/с, имеют в виду его среднюю скорость.

Быстроту изменения скорости характеризует *ускорение a .*

Ускорение (по модулю) при равноускоренном движении — это отношение изменения скорости ко времени, за которое это изменение произошло (формула 4):

$$a = \frac{v - v_0}{t}.$$

Ускорение — векторная величина. Вектор ускорения совпадает по направлению с вектором изменения скорости. Единица ускорения в СИ — *метр на секунду за секунду* (м/с² или м · с⁻²).

$$a_{cp} = \frac{\Delta v}{t}.$$

При любом переменном движении *среднее ускорение* есть отношение изменения скорости ко времени, за которое это изменение произошло.

Мгновенное ускорение есть первая производная скорости по времени (формула 12) или вторая производная координаты по времени (формула 13):

$$a = v' = x''.$$

Чтобы описать движение тела, нужно выбрать *систему отсчета.*

Система отсчета — это система координат, в начале которой располагается тело отсчета и прибор для измерения времени (часы).

А. Виды прямолинейного движения

Равномерное прямолинейное движение — это движение с постоянной скоростью.

Формулы равномерного и прямолинейного движения — это формулы 1) и 2).

На рис. 1, 2 и 3 представлены графики координаты, пути и скорости равномерного движения.

На графиках координаты и пути равномерного движения скорость численно равна тангенсу угла наклона графика к оси времени. На графике скорости равномерного движения путь численно равен площади прямоугольника, ограниченного самим графиком, осью времени и перпендикулярами, восстановленными из точек, соответствующих начальному и конечному моментам времени движения.

Равноускоренное движение — это движение с постоянным ускорением.

К формулам равноускоренного движения относятся формулы 3)–10).

Графики координаты, пути и скорости равноускоренного движения представлены на рис. 4, 5 и 6.

Графики координаты и пути равноускоренного движения представляют собой ветви параболы. Та парабола, которая ближе к оси координат или к оси путей, соответствует большему ускорению. На графиках координаты и пути скорость численно равна тангенсу угла наклона к оси времени прямой линии, проведенной касательно параболе. Если такая касательная линия параллельна оси времени, значит, в этот момент скорость стала равна нулю.

На графике скорости равноускоренного движения ускорение численно равно тангенсу угла наклона графика к оси времени. Путь на графике скорости равноускоренного движения численно равен площади

— Раздел I —

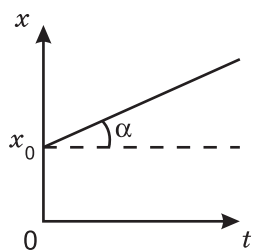


Рис. 1

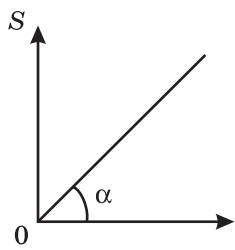


Рис. 2

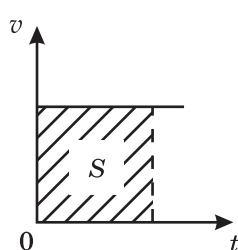


Рис. 3

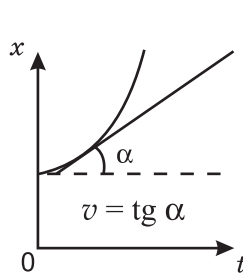


Рис. 4

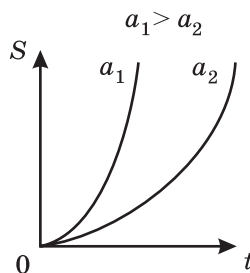


Рис. 5

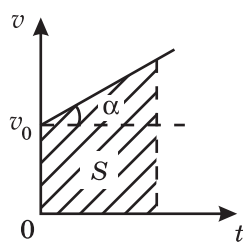


Рис. 6

прямоугольной трапеции, ограниченной графиком, осью времени и перпендикулярами, восстановленными к оси времени из точек, соответствующих моменту времени, когда скорость была начальной, и моменту времени, когда она стала конечной.

Ниже приведены формулы равномерного, равноускоренного движений и движения с переменным ускорением — с названием всех величин, входящих в формулы. В скобках приведены размерности величин в СИ.

Если движение замедленное, то его ускорение отрицательно, и во всех формулах с ускорением перед буквой «*a*» следует ставить минус.

Равномерное движение

1) $x = x_0 + v_x t$

2) $S = vt$

Здесь x — конечная координата (м), x_0 — начальная координата (м), x — проекция скорости на ось координат (м/с), t — время (с), S — путь (м), v — модуль скорости (м/с).

Равноускоренное движение

3) $x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$

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

5) $v = v_0 + at$

6) $S = v_0 t + \frac{at^2}{2}$

7) $S = v_{\text{cp}} t$

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

9) $v^2 - v_0^2 = 2aS$

10) $S_n = \frac{a}{2}(2n - 1)$

Здесь x — конечная координата (м), x_0 — начальная координата (м), a — ускорение (м/с²), Δv — изменение скорости (м/с), v — модуль конечной скорости (м/с), v_0 — модуль начальной скорости (м/с), v_{0x} — проекция начальной скорости на ось координат (м/с), a_x — проекция ускорения на ось координат (м/с²), v_{cp} — средняя скорость (м/с), t — время движения (с), S_n — путь, пройденный за n -ю секунду равноускоренного движения

без начальной скорости, n — порядковый номер этой секунды, считая от начала движения.

Движение с переменным ускорением

$$11) v = x' \text{ или } v = S'$$

$$12) a = v'$$

$$13) a = x'' \text{ или } a = S''$$

Здесь x' — первая производная координаты по времени (м/с), S' — первая производная пути по времени (м/с), $a_{\text{ср}}$ — среднее ускорение (м/с²), v' — первая производная скорости по времени (м/с²), x'' — вторая производная координаты по времени (м/с²), S'' — вторая производная пути по времени. Остальные величины названы в пункте *Равноускоренное движение*.

Правило сложения классических скоростей

$$14) \vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_0$$

Здесь \vec{v} — скорость тела относительно неподвижной системы отсчета (абсолютная скорость), \vec{v}_1 — скорость тела относительно подвижной системы отсчета (относительная скорость), \vec{v}_0 — скорость подвижной системы отсчета относительно неподвижной (переносная скорость).

Если из условия задачи следует, что тело начало движение из состояния покоя, например, поезд отошел от станции или автомобиль выехал из пункта А, и т. п., то в «Дано:» следует записать, что его начальная скорость $v_0 = 0$. Если же из условия задачи следует, что тело в конце торможения остановилось, то следует записать, что его конечная скорость $v = 0$.

Из сравнения уравнений 1) и 3)

$$x = x_0 + v_x t \quad \text{и} \quad x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$$

следует, что если координата тела x зависит от времени движения t в первой степени, то это равномерное движение, а если координата x зависит от времени t^2 , то это движение равноускоренное. Если же координата тела зависит от времени с иным показателем степени, то такое движение происходит с переменным ускорением и к нему формулы равноускоренного движения неприменимы (кроме формулы 7) $S = v_{\text{cp}} t$, которую можно использовать при любом движении). Аналогично, если скорость тела зависит от времени движения в первой степени, как в формуле 5) $v = v_0 + at$, то движение равноускоренное, а если показатель степени у времени t нулевой, то $t^0 = 1$, и это значит, что скорость не зависит от времени, т. е. постоянна, поэтому движение является равномерным. Если же показатель степени у скорости иной, то движение происходит с переменным ускорением.

Если вам дано уравнение типа $x = 6 + 4t$ см, то из сравнения его с уравнением 1) следует, что начальная координата $x_0 = 6$ см, а скорость тела $= 4$ см/с.

Если вам дано уравнение типа $x = 2 + 3t + 4t^2$ м, то из сравнения его с уравнением 3) следует, что начальная координата $x_0 = 2$ м, начальная скорость $v_0 = 3$ м/с и, так как $\frac{a}{2} = 4$ м/с², то ускорение тела $a = 8$ м/с².

Формулу средней скорости 8)

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

можно применять только при равноускоренном движении, т. е. когда ускорение тела не меняется в течение всего времени движения. Если же на некотором пути тело двигалось сначала с одним ускорением, потом с другим или вообще равномерно, то определять среднюю скорость на всем пути или за все время движения можно только из формулы 7):

$$v_{cp} = \frac{S}{t}.$$

Пути, проходимые телом при равноускоренном движении без начальной скорости, относятся как ряд последовательных нечетных чисел:

$$S_1 : S_2 : S_3 : S_4 \dots = 1 : 3 : 5 : 7 \dots$$

Если в условии задачи идет речь о скорости в средней точке пути, то учтите, что это не средняя скорость на всем пути, а мгновенная скорость на середине пути, — она является конечной скоростью для первой половины пути и начальной скоростью для второй половины.

Б. Свободное падение

Частным случаем движения с постоянным ускорением является свободное падение.

Свободное падение — это падение тел в вакууме под действием притяжения планеты. При свободном падении все тела движутся с ускорением свободного падения. В средних широтах Земли ускорение свободного падения $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

К свободному падению применимы все формулы пункта *Равноускоренное движение*, только вместо ускорения a в формулах свободного падения пишут ускорение свободного падения g , вместо координаты x пишут координату y и вместо пути S — высоту h или H . Если тело брошено вверх и нет сопротивления среды, то оно движется равнозамедленно с отрицательным ускорени-

ем свободного падения. В этом случае во всех формулах перед буквой « g » надо ставить минус.

К формулам свободного падения относятся формулы 15) — 34).

Если из условия задачи следует, что тело падало без начальной скорости, в условии задачи следует записать, что его начальная скорость $v_0 = 0$.

Если из условия задачи следует, что брошенное вверх тело достигло высшей точки, то в условии задачи следует записать, что его конечная скорость $v = 0$.

Ниже приведены формулы, применимые к разным случаям свободного падения.

Тело падает вниз
с начальной скоростью

$$v_0 \neq 0$$

$$15) h = v_{\text{cp}} t$$

$$16) v_{\text{cp}} = \frac{v_0 + v}{2}$$

$$17) h = v_0 t + \frac{gt^2}{2}$$

$$18) v = v_0 + gt$$

$$19) v^2 - v_0^2 = 2gh$$

Тело падает вниз
без начальной скорости

$$v_0 = 0$$

$$20) h = v_{\text{cp}} t$$

$$21) v_{\text{cp}} = \frac{v}{2}$$

$$22) h = \frac{gt^2}{2}$$

$$21) v_0 = gt$$

$$21) v^2 = 2gh$$

Тело, брошенное вверх,
не достигло высшей точки

$$v \neq 0$$

$$25) \quad h = v_{\text{cp}} t$$

$$26) \quad v_{\text{cp}} = \frac{v_0 + v}{2}$$

$$27) \quad h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$$

$$28) \quad v = v_0 - gt$$

$$29) \quad v^2 - v_0^2 = -2gh$$

Тело, брошенное вверх,
достигло высшей точки

$$v = 0$$

$$30) \quad h = v_{\text{cp}} t$$

$$31) \quad v_{\text{cp}} = \frac{v}{2}$$

$$32) \quad h = \frac{gt^2}{2}$$

$$33) \quad v_0 = gt$$

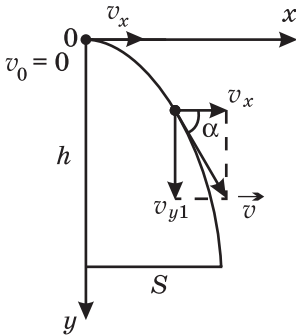
$$34) \quad v_0^2 = 2gh$$

Формулу

$$y = v_0 t - \frac{gt^2}{2}$$

можно применять для нахождения конечной координаты тела $y = h$ не только к равнозамедленному движению тела, брошенного вверх, но и к его последующему движению вниз, после того, как оно побывало в высшей точке.

Если тело, расположенное на высоте h над землей, брошено горизонтально со скоростью v_x и сопротивлением его движению можно пренебречь, то оно, продолжая двигаться по горизонтали, станет одновременно свободно падать без начальной скорости и с ускорением свободного падения. При этом его траектория будет представлять



$$S = v_x t$$

$$h = \frac{gt^2}{2}$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_y}{v_x}$$

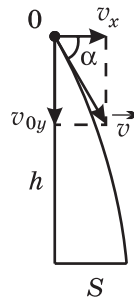
$$v_y = gt$$

Рис. 7

собой параболу. На рис. 7 показана такая параболу и приведены некоторые формулы, используемые при решении подобных задач.

Если тело, расположенное на высоте h , брошено под углом к горизонту со скоростью v_0 , то в отсутствие сопротивления среды оно тоже будет двигаться по параболу, перемещаясь в горизонтальном направлении со скоростью $v_x = v \cos \alpha$ и одновременно свободно падая с начальной вертикальной скоростью $v_{0y} = v \sin \alpha$ и ускорением свободного падения g . На рис. 8 показана такая параболу и приведены некоторые формулы, используемые при решении таких задач.

Если тело брошено с земли со скоростью v под углом α к горизонту, то в отсутствие сопротивления его движению оно тоже ста-



$$S = v_x t$$

$$h = v_{0y} t + \frac{gt^2}{2}$$

$$v_y = v_{0y} + gt$$

$$v_x = v_0 \cos \alpha$$

$$v_y = v_0 \sin \alpha$$

Рис. 8

нет двигаться по параболу, перемещаясь горизонтально со скоростью $v_x = v_0 \cos \alpha$ и одновременно двигаясь равнозамедленно вверх с начальной скоростью $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$

и с отрицательным ускорением свободного падения $-g$. Так оно будет двигаться, пока не достигнет высшей точки, где вертикальная составляющая его скорости v_y станет равна нулю, но горизонтальная составляющая v_x останется прежней. Затем, продолжая движение по горизонтали с прежней скоростью, тело станет свободно падать без начальной вертикальной скорости. Скорость v_0 , с которой тело было брошено с земли, будет равна скорости, с которой оно упадет на землю, — и угол α , под которым оно было брошено, тоже будет равен углу, под которым упадет. В каждой точке траектории ускорение тела направлено вниз и равно ускорению свободного падения. Траектория такого движения изображена на рис. 9 и там же приведены некоторые формулы, наиболее часто используемые при решении соответствующих задач.

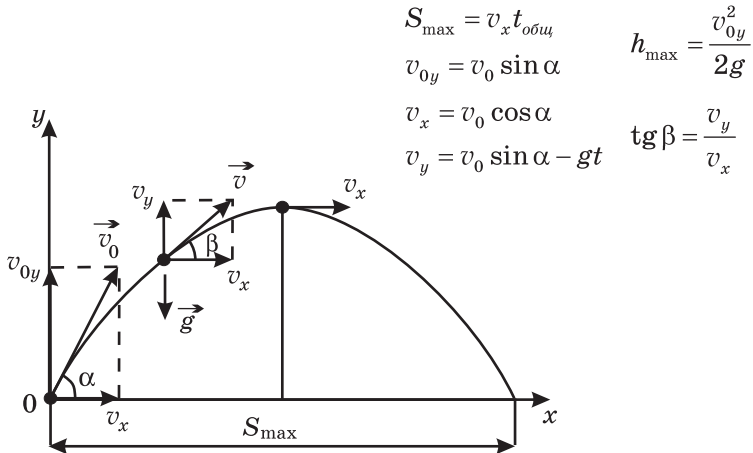


Рис. 9

Если из условия задачи следует, что два тела (или более) столкнулись на одной высоте, это значит, что их координата y стала одинакова.

В. Относительность движения

Всякое движение относительно. Это означает, что одно и то же тело одновременно и движется, и покоится. Двигается относительно одних тел и одновременно покоится относительно других. Мы все, земляне, можем покоиться относительно своего письменного стола и одновременно всегда движемся относительно Солнца. Любой из вас может привести много примеров относительности движения.

В задачах на относительность движения часто приходится пользоваться правилом сложения скоростей.

Правило сложения скоростей: *скорость тела относительно неподвижной системы отсчета \vec{v} равна сумме скорости тела относительно подвижной системы отсчета \vec{v}_1 и скорости самой подвижной системы \vec{v}_0 относительно неподвижной (формула 14):*

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_0.$$

Это правило применимо только к классическим скоростям, т. е. скоростям, значительно меньшим скорости света в вакууме (т.е. к скоростям порядка 10^6 м/с и меньше).

Если система отсчета и тело в ней движутся в одном направлении, то формула 14) примет вид:

$$v = v_1 + v_0.$$

Например, если поезд движется со скоростью 16 м/с относительно вокзала, а пассажир по ходу поезда бежит со скоростью 2 м/с относительно полка вагона, то скорость пассажира относительно вокзала равна 18 м/с.

Если система отсчета и тело в ней движутся в противоположных направлениях, то формула 14) примет вид:

$$v = v_0 - v_1.$$