

И.Л. Касаткина

# ФИЗИКА

ПОЛНЫЙ КУРС  
ПОДГОТОВКИ

ЕГЭ-2010

РАЗБОР РЕАЛЬНЫХ  
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ  
ЗАДАНИЙ

- Вся школьная программа по физике
- Разбор реальных экзаменационных заданий ЕГЭ
- Все основные законы и формулы

Серия основана в 2006 году

**Касаткина И. Л.**

**К** Физика. Подготовительный курс. Решение задач. Разбор реальных экзаменационных заданий. — М.: Изд-во «Книжкин Дом»; М.: Изд-во «Астрель», 2008. — 544 с. (Самоучитель)

ISBN

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 и 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.

ББК

УДК  
ББК

Общероссийский классификатор продукции  
ОК-005-93, том 2; 953000 — книги, брошюры

Санитарно-эпидемиологическое заключение  
№ 77.99.02.953.Д.003857.05.06. от 05.05.2006 г.

ISBN.

© Касаткина И.Л., текст, 2010

© Фролов И.И., обложка, 2010

© ООО «Издательство «Астрель», 2010

© Оригинал-макет. ООО «Издательство «Книжкин Дом», 2010

# Содержание

**Вступление.....7**

**Раздел I. Механика .....11**

***Тема 1. Кинематика..... 11***

А. Виды прямолинейного движения..... 14

Б. Свободное падение ..... 19

В. Относительность движения .....24

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. Термодинамика .....152**

<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

# Вступление

Дорогие ребята! Вы приняли решение после окончания средней школы поступать в физико-математический или технический вуз. Значит, вам предстоит сдавать Единый государственный экзамен (ЕГЭ) по физике — важнейшему предмету, без знания которого невозможен научно-технический прогресс ни в одной стране мира. Законы физики лежат в основе всех специальных предметов, изучаемых в естественно-научных или технических вузах, — без их понимания и умения применять на практике не может состояться толковый инженер. Набрав высокие баллы на ЕГЭ по физике, вы сможете по вашему выбору поступить в лучшие университеты страны, и, что важно, на бюджетные отделения.

Но не секрет: у некоторых из вас с изучением этого непростого предмета имеются проблемы, особенно при решении задач. Наше пособие написано, чтобы помочь вам справиться с ними и как можно лучше подготовиться к экзамену.

Вам следует знать, что при сдаче Единого государственного экзамена, который проводится в письменной форме, вы должны будете ответить на 25–30 вопросов части А, решить 4–5 задачи из части В и 5–6 задач из части С. По крайней мере, столько заданий предлагалось на этом экзамене в последние годы. Примерно четверть вопросов части А являются качественными, проверяющими знание теории, а остальные задания этой части — это относительно простые задачи, для решения которых достаточно знать основные законы и формулы физики и находить из этих формул или из соответствующих графиков нужные величины. В части В предлагаются задачи средней трудности — типа тех,

что имеются в вашем школьном задачнике Рымкевича и учебниках для средней школы. А вот часть С содержит действительно трудные задачи, для решения которых недостаточно знать основные законы и формулы, надо еще уметь нестандартно мыслить. Но чтобы научиться этому, необходимо прежде всего:

- 1) знать законы физики — не вызубрить! — а помнить, понимать и уметь применять на практике: при ответах на теоретические вопросы и решении задач;
- 2) выучить назубок все основные формулы;
- 3) научиться решать задачи средней трудности;
- 4) перейти к задачам повышенной трудности.

Без выполнения этих условий вам вряд ли удастся справиться с задачами из части С и набрать высокий балл. Правда, если вы даже не доведете до конца их решение, но сумеете записать основные формулы и приступить к решению, вам уже добавят баллы.

Некоторые из вас говорят: мне физика нравится, вот только задач я боюсь. Не надо бояться задач — они не дерутся, не кусаются. Их не надо бояться — их надо решать. Задачи те же загадки — кто-то придумал, а ты отгадай. Все вы когда-то любили отгадывать загадки. Вот и сейчас полюбите решать задачи — это очень увлекательное занятие.

Но для начала надо понять физические законы и выучить формулы. Мы не устанем повторять: выучите, выучите формулы! Выучите их назубок — так, чтобы, разбуди вас ночью, вы могли любую из них отчеканить, не задумываясь. Потому что незнание хотя бы одной из них, даже самой простенькой, может не позволить вам справиться с задачей, за которую выставляют наибольшее количество баллов. Так зачем же рисковать?

Некоторые говорят: ой, формул так много, я все не запомню! Запомните, если захотите. Когда вы были



маленькими, еще в начальной школе, вам предстояло запомнить огромную таблицу умножения, — и ведь справились. И здесь справитесь. А чтобы вам помочь, мы в краткой теории к каждой теме привели все законы и формулы, необходимые для решения задач этой темы. Остается только их выучить. Их, конечно, немало, — но ведь многие из них следуют из других формул. Мы записали все формулы, чтобы в процессе решения вы могли вспомнить нужную, а не выводить ее. Для вашего удобства в конце этой книги помещен вкладыш, содержащий таблицу всех формул с их нумерацией. Положив рядом с собой эту таблицу, вы легко найдете нужную формулу в процессе работы над теорией и при решении задач. Повесьте таблицу на стенку и повторяйте формулы каждый день. При этом, конечно, надо знать название всех величин, входящих в формулу, и их размерности, — иначе это не формула, а узор.

Наше пособие включает четыре раздела:

I. Механика.

II. Гидродинамика. Молекулярная физика. Термодинамика.

III. Электромагнетизм.

IV. Колебания и волны. Оптика. Теория относительности. Физика атома.

Каждый раздел содержит несколько тем. В начале каждой темы излагается краткая теория и приводятся все нужные законы и формулы. В конце раздела предложен *ПРОВЕРОЧНЫЙ ЭКЗАМЕН*, состоящий, как и на настоящем ЕГЭ, из трех частей. В части А содержатся качественные вопросы и несложные задачи, подобные тем, что могут встретиться на ЕГЭ в этой части. В части В приведены четыре типовые задачи средней трудности, а в части С — шесть более серьезных задач. После этого

подробно разъясняются правильные ответы на задания части А и показано решение задач из частей В и С.

Не факт, что именно эти задания встретятся вам на экзамене. Но уже то, что вы будете готовы к встрече с подобными вопросами и задачами, существенно повысит ваши возможности. И если, поработав с этим пособием, вы сумеете потом решить любую из его задач и ответить на любой вопрос — *никуда не подглядывая!* — вы сделаете гигантский шаг на пути к высоким баллам на ЕГЭ. А после того, как проработаете эту книгу, беритесь за другие — с более трудными, олимпиадными задачами. И все у вас получится.

Зато потом, когда вы станете студентами лучших вузов страны, — представляете, какое это будет счастье! Ради него стоит потрудиться.

В конце пособия мы привели систему единиц СИ, а также необходимые теоремы и формулы математики, без которых задачи физики не решить. Ведь математика — инструмент физики, без нее никакую задачу не «вскрыть». Поэтому их тоже надо знать назубок.

**ЖЕЛАЕМ ВАМ ВЫСОКИХ БАЛЛОВ НА ЕГЭ!**

# 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 м · с<sup>-1</sup>).

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 ( $\text{м/с}^2$  или  $\text{м} \cdot \text{с}^{-2}$ ).

$$a_{\text{ср}} = \frac{\Delta v}{t}.$$

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 —

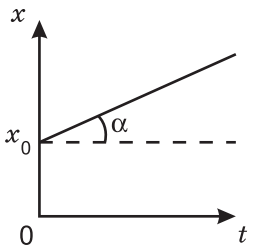


Рис. 1

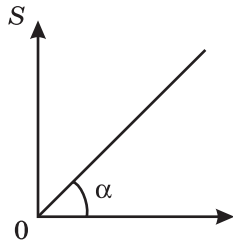


Рис. 2

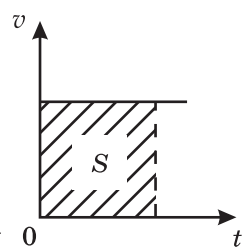


Рис. 3

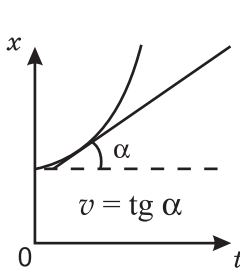


Рис. 4

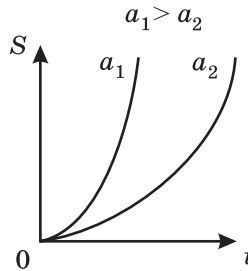


Рис. 5

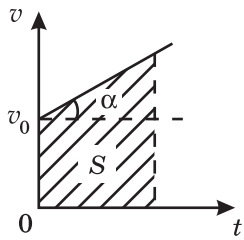


Рис. 6

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/с<sup>2</sup>),  $\Delta v$  — 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/с<sup>2</sup>),  $v_{\text{cp}}$  — 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/с<sup>2</sup>),  $v'$  — первая производная скорости по времени (м/с<sup>2</sup>),  $x''$  — вторая производная координаты по времени (м/с<sup>2</sup>),  $S''$  — 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/с<sup>2</sup>, то ускорение тела  $a = 8$  м/с<sup>2</sup>.

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  
 $v_0 = 0$

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

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

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

$$21) v_0 = gt$$

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