

Сегодня: понедельник, 22 ноября 2021 г.

Физические основы механики



Мельникова Тамара Николаевна
ст. преподаватель кафедры ОФ ФТИ ТПУ

СТАТИКА

(от греческого, «неподвижный») — раздел механики, предметом которого являются материальные тела, находящиеся в состоянии покоя при действии на них внешних сил.

В широком смысле слова статика – это теория равновесия любых тел – твердых, жидких или газообразных.

Равновесие тел - состояние механической системы, в которой тела остаются неподвижными по отношению к выбранной системе отсчета.

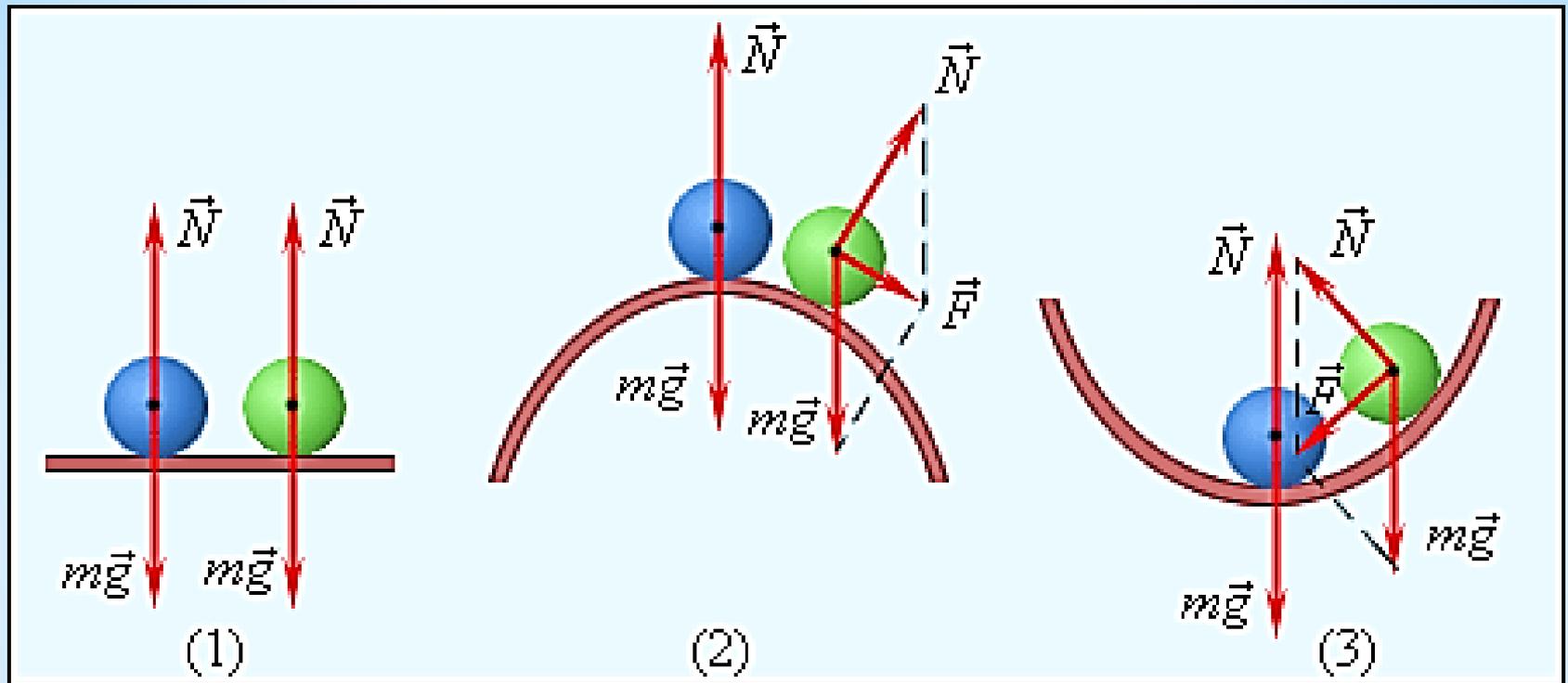
Про тело говорят, что оно находится в равновесии, если оно покоится или движется равномерно и прямолинейно относительно выбранной инерциальной системы отсчёта.

ВИДЫ РАВНОВЕСИЯ:

Устойчивое: При малом отклонении тела от положения равновесия возникает сила, стремящаяся вернуть тело в исходное состояние.

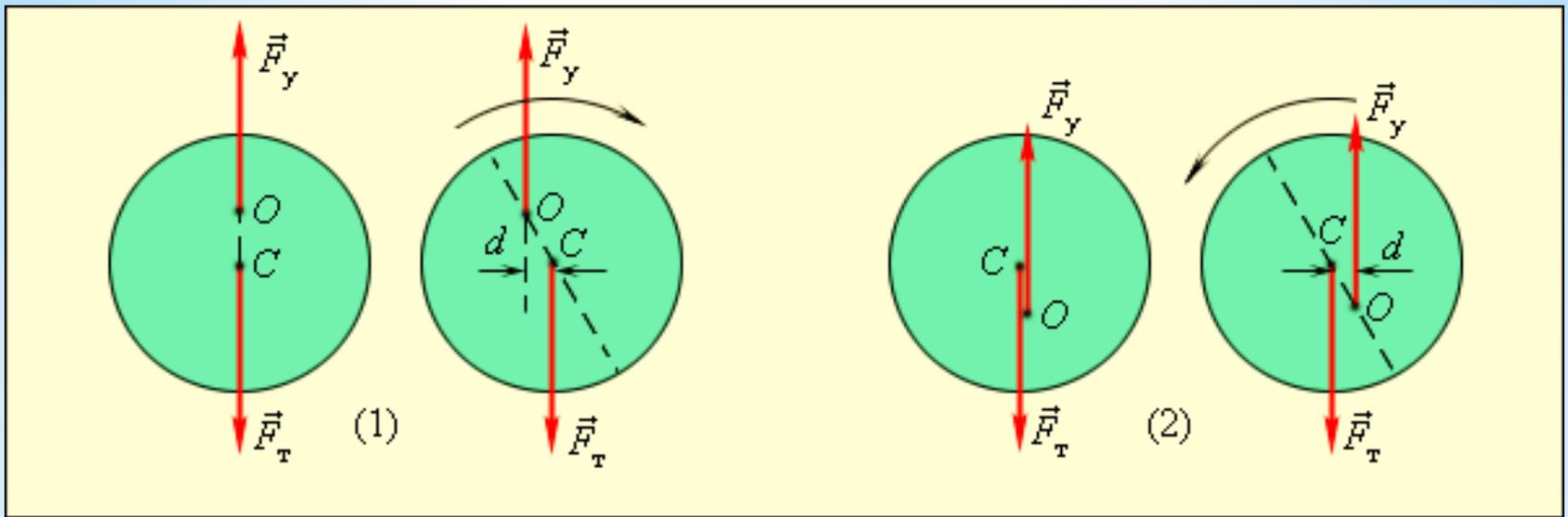
Безразличное: При малом отклонении тело остается в равновесии.

Неустойчивое: При малом отклонении тела из положения равновесия возникают силы, стремящиеся увеличить это отклонение.



Различные типы равновесия шара на опоре.

- (1) – безразличное равновесие,
- (2) – неустойчивое равновесие,
- (3) – устойчивое равновесие.



Устойчивое (1) и неустойчивое (2) равновесие
 однородного круглого диска, закрепленного на оси O ;
 точка C – центр массы диска;

\vec{F}_T – сила тяжести;

$\vec{F}_{\text{упр}}$ – упругая сила оси;

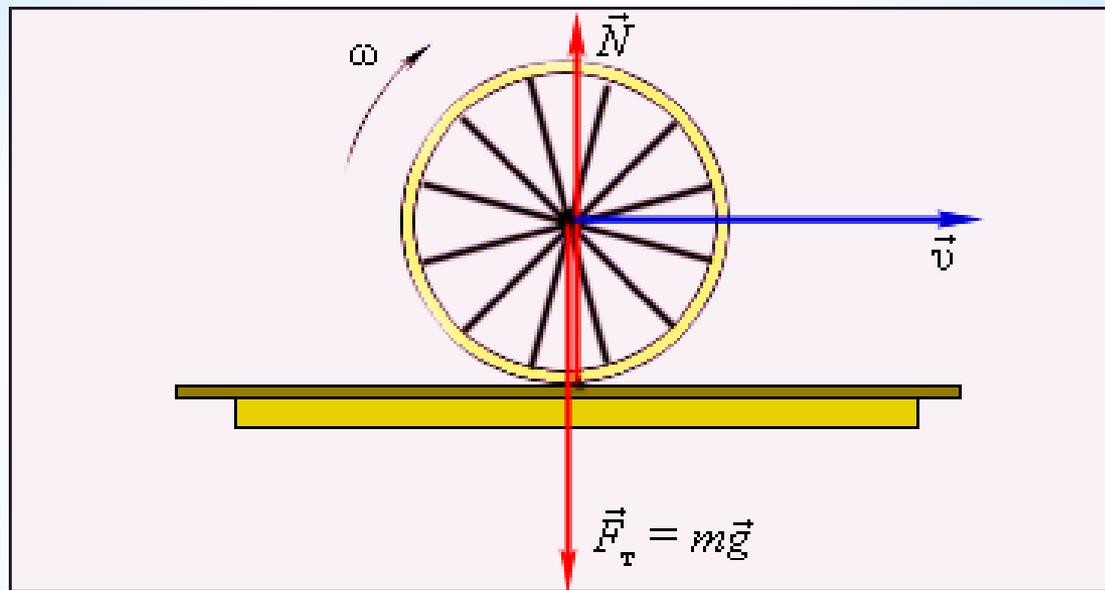
d – плечо.

В положении устойчивого равновесия тело обладает минимальной потенциальной энергией.

При выведении тела из этого положения его потенциальная энергия увеличивается. Если работу над телом совершает только сила тяжести, то в положении устойчивого равновесия центр тяжести тела находится на наименьшей высоте.

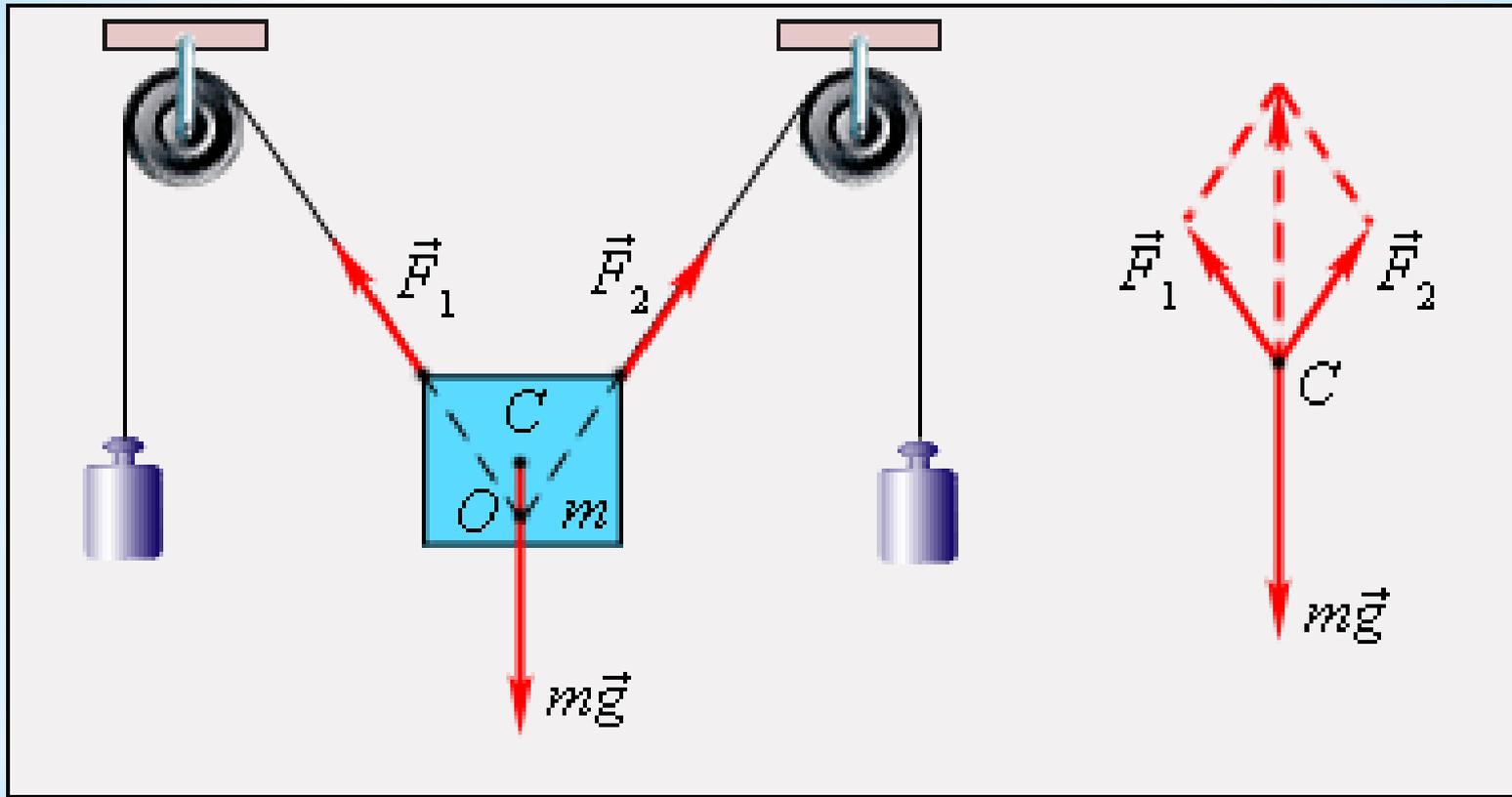
Все тела стремятся к минимуму потенциальной энергии. (Потенциальная яма).

Равновесие тел на опоре: линия действия силы тяжести проходит через площадь опоры (Пизанская башня). Чем ниже центр тяжести, тем более устойчиво равновесие.



Качение колеса по горизонтальной поверхности.
Равнодействующая сила и момент сил равны нулю.

Катящееся по горизонтальной поверхности колесо – пример безразличного равновесия. Если колесо остановить в любой точке, оно окажется в равновесном состоянии.



Равновесие твердого тела под действием трех сил. При вычислении равнодействующей все силы приведены к одной точке С

Центр масс - точка, через которую должна проходить линия действия силы, чтобы под действием этой силы тело двигалось поступательно.

$$x_{\text{цм}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i}.$$

Центр тяжести - точка приложения силы тяжести, действующей на тело.

В однородном поле тяготения центр тяжести и центр масс совпадают.

Момент силы - равен произведению силы на плечо:

$$M = Fl$$

Плечо силы - расстояние от оси вращения до линии действия силы (обозначают буквами l или d).

Момент силы, вращающий тело против часовой стрелки, считают **положительным**, по часовой стрелке – **отрицательным**.

В Международной системе единиц (СИ) моменты сил измеряются в ньютонах·метрах (Н·м).

Рычаг (Архимед)

Разновидности рычага: блок, ворот.

Условие равновесия рычага: отношение сил обратно пропорционально отношению плеч этих сил.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}.$$

"Золотое правило механики": выигрывая в силе проигрываешь в расстоянии.



Условия равновесия тел при отсутствии вращения (линии действия сил не пересекаются в одной точке):

1. Векторная сумма всех сил, действующих на тело, равна нулю;

$$\sum_{i=1}^n \overset{\mathbf{r}}{F}_i = 0.$$

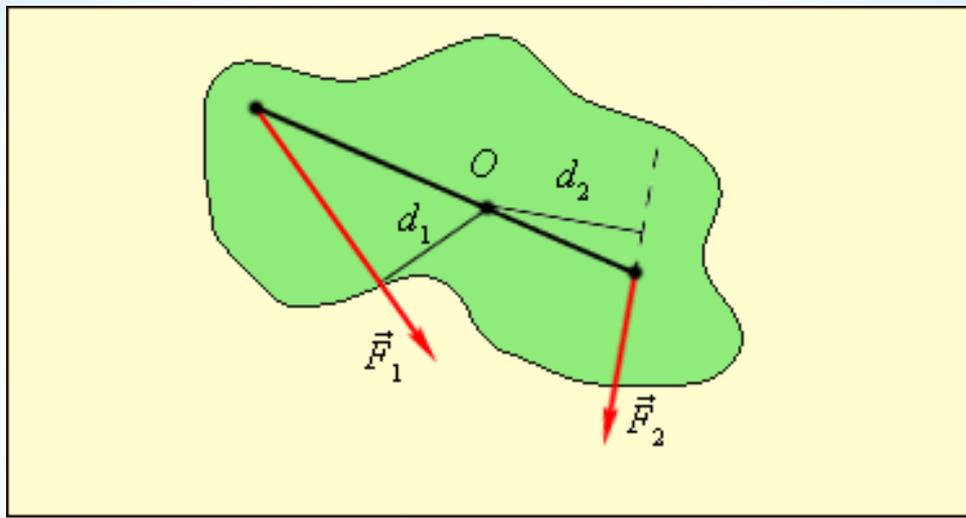
2. Правило моментов: Сумма моментов всех сил, действующих на тело, относительно любой точки равна нулю.

$$\sum_{i=1}^n \overset{\mathbf{r}}{M}_i = 0.$$

Произведение модуля силы F на плечо d называется моментом силы M .

Положительными считаются моменты тех сил, которые стремятся повернуть тело против часовой стрелки и отрицательным – по часовой стрелке.

В Международной системе единиц (СИ) моменты сил измеряются в ньютон·метрах (Н·м).



На рис. приведены силы, действующие на рычаг, и их моменты.

$$M_1 = F_1 d_1 > 0; \quad M_2 = -F_2 d_2 < 0.$$

При равновесии $M_1 + M_2 = 0$.

В общем случае, когда тело может двигаться поступательно и вращаться, для равновесия необходимо выполнение обоих условий: равенство нулю равнодействующей силы и равенство нулю суммы всех моментов. Оба эти условия не являются достаточными для покоя.

Особым случаем равновесия является равновесие тела на опоре.

В этом случае упругая сила опоры приложена не к одной точке, а распределена по основанию тела.

Тело находится в равновесии, если вертикальная линия, проведенная через центр масс тела, проходит через площадь опоры, то есть внутри контура, образованного линиями, соединяющими точки опоры.

Если же эта линия не пересекает площадь опоры, то тело опрокидывается.

Интересным примером равновесия тела на опоре является **падающая башня в итальянском городе Пиза**, которую по преданию использовал Галилей при изучении законов свободного падения тел.

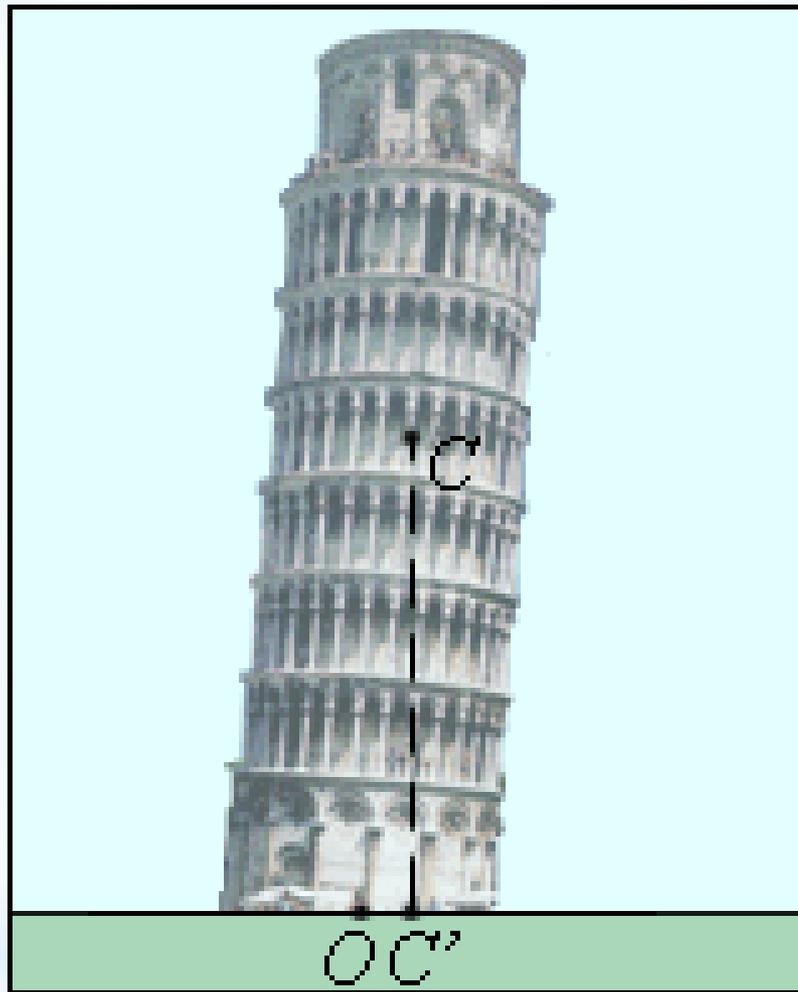
Башня имеет форму цилиндра высотой 55 м и радиусом 7 м. Вершина башни отклонена от вертикали на 4,5 м. Вертикальная линия, проведенная через центр масс башни, пересекает основание приблизительно в 2,3 м от его центра.

Таким образом, башня находится в состоянии равновесия.

Равновесие нарушится и башня упадет, когда отклонение ее вершины от вертикали достигнет 14 м.

Пизанская башня



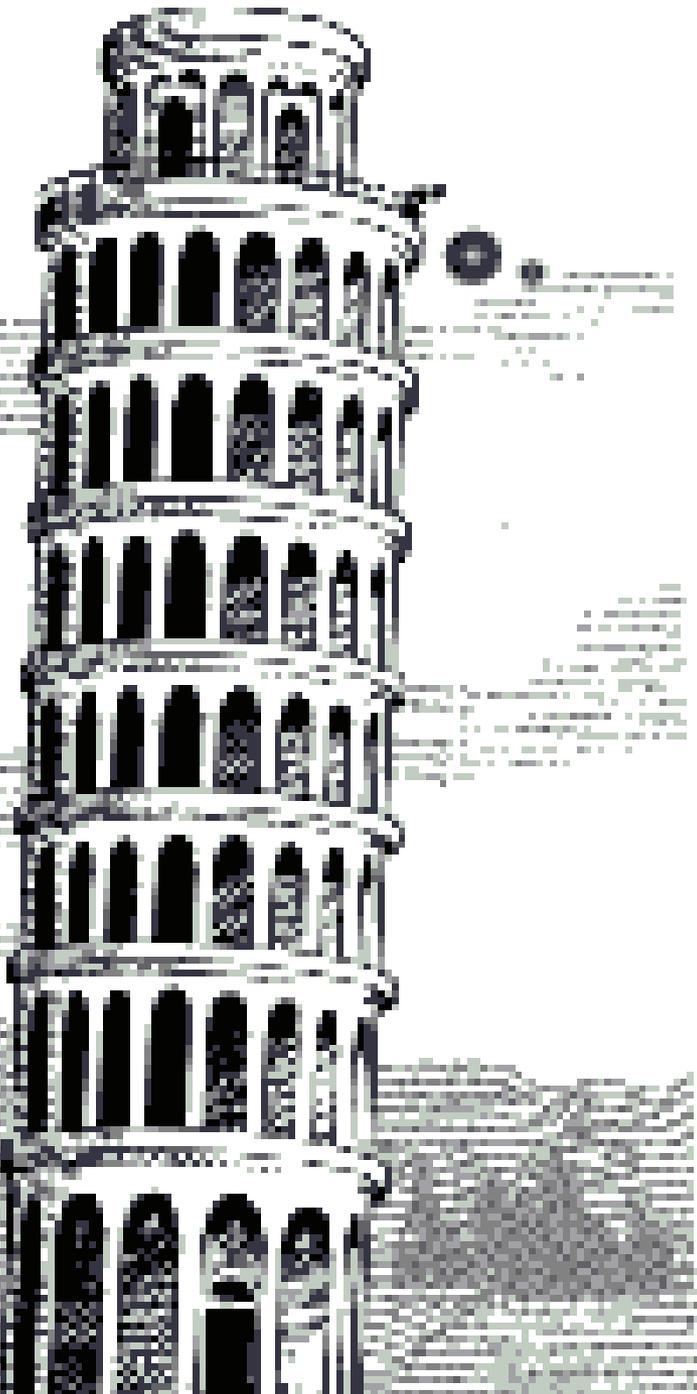


Падающая Пизанская башня. Точка C – центр масс, точка O – центр основания башни, CC' – вертикаль, проходящая через центр масс.

Опыты Галилея с падающими телами

Галилей впервые выяснил, что тяжелые предметы падают вниз так же быстро, как и легкие.

Чтобы проверить это предположение Галилео Галилей сбрасывал с Пизанской башни в один и тот же момент пушечное ядро массой 80 кг и значительно более легкую мушкетную пулю массой 200 г. Оба тела имели примерно одинаковую обтекаемую форму и достигли земли одновременно.



Задача 1

Однородные шары массами 1 кг, 2 кг, 3 кг, 4 кг расположены на невесомом стержне на одинаковом расстоянии друг от друга, равном 1 м.

Найти центр масс данной системы, считая от центра первого шара.

[2]

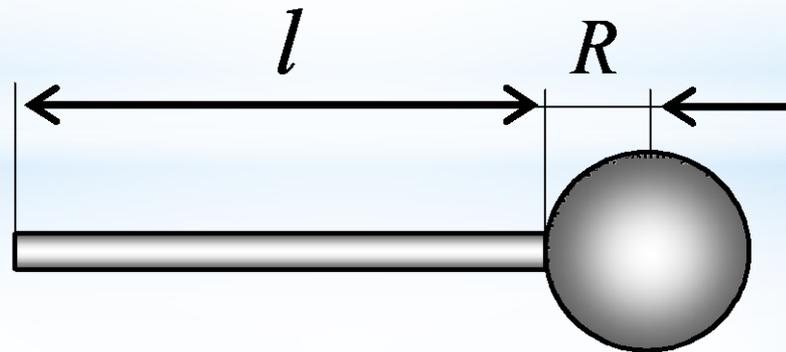
Задача 2

На конце стержня длиной $l = 30$ см укреплен шар радиусом $R = 6$ см (рис.).

Где находится центр тяжести этой системы относительно свободного конца, если масса стержня вдвое меньше массы шара?

Ответ представьте в сантиметрах.

[29]



Задача 3

Лестница прислонена к гладкой вертикальной стене под углом 30° к вертикали.

Сможет ли человек подняться по лестнице до ее середины, прежде чем лестница начнет скользить, если коэффициент трения между горизонтальным полом и лестницей равен 0,3? Массой лестницы и трением о стену можно пренебречь.

[Сможет]

Задача 4

Балку массой 100 кг уравнили на треугольной призме. Затем отрезали четверть балки.

Какую силу нужно приложить к концу балки, чтобы вернуть ее в положение равновесия?

$$[F = 375 \text{ Н}]$$

Задача 5

Однородный стержень согнули под углом 90° . Длина сторон a и b , и повесили на гвоздь.

Чему равен угол α между стороной b и вертикалью?

$$[\alpha = \arctg (a/b)^2]$$

Задача 6

Фонарь массой 10 кг подвешен над улицей на двух одинаковых тросах, угол между которыми 120° .

Найдите силы натяжения тросов.

Ответ представьте в единицах СИ.

[100]

Задача 7

Брусек, сила тяжести которого равна 4 Н , прижимают к вертикальной стене с силой 5 Н , направленной горизонтально.

Чему равен коэффициент трения, если брусок не падает?

[0,8]

Задача 8

Магнит массой 50 г прилип к стальной вертикальной плите. Для равномерного движения магнита вниз прикладывают силу 1,5 Н, направленную по вертикали.

Какую силу надо приложить, чтобы перемещать равномерно магнит по плите вертикально вверх?

Ответ представьте в единицах СИ.

[2,5]

Гидростатика

Гидростатика — раздел физики сплошных сред, изучающий равновесие жидкостей, в частности, в поле тяжести.

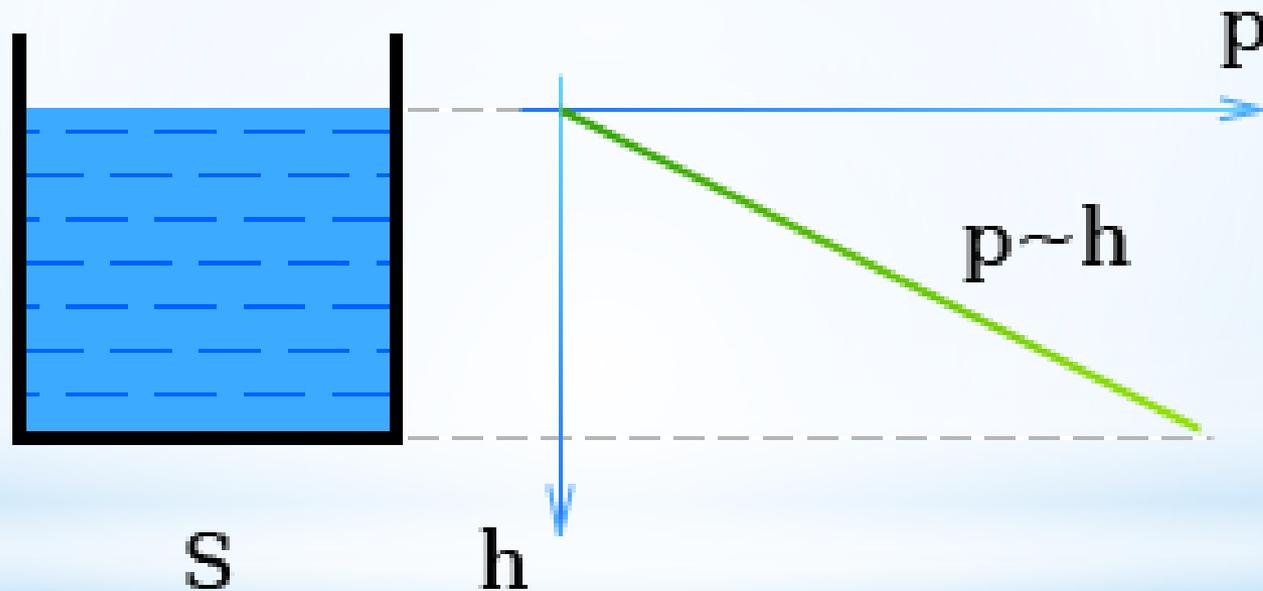
Напряжения в жидкости описываются единственной величиной — **давлением**.

Отсюда вытекает

закон Паскаля: давление, оказываемое на жидкость, передаётся жидкостью одинаково во всех направлениях.



В каждой жидкости существует давление, обусловленное ее собственным весом. Так, например, давление на основание столба воды высотой **10 м** составляет около **10^5 Па**.



Давление в системе СИ измеряется в Паскалях (Па).

Т.к. по определению давление – есть сила, действующая на единицу поверхности

$$p = \frac{F}{S}, \quad \text{то} \quad [p] = \text{Па} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

Основной закон гидростатики для толщи жидкости — зависимость давления от глубины, который для несжимаемой жидкости в однородном поле тяжести имеет вид:

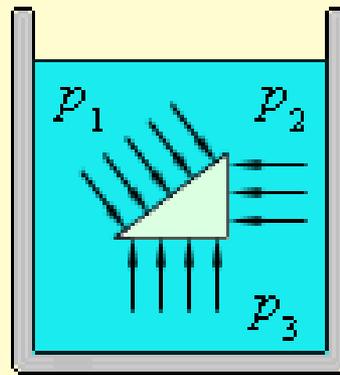
$$p = \rho gh.$$

Часто используются внесистемные единицы: нормальная атмосфера (атм) и миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.):

$$1 \text{ атм} = 101325 \text{ Па} = 760 \text{ мм Нг.}$$

Французский ученый Б. Паскаль в середине XVII века эмпирически установил закон, названный **законом Паскаля**:

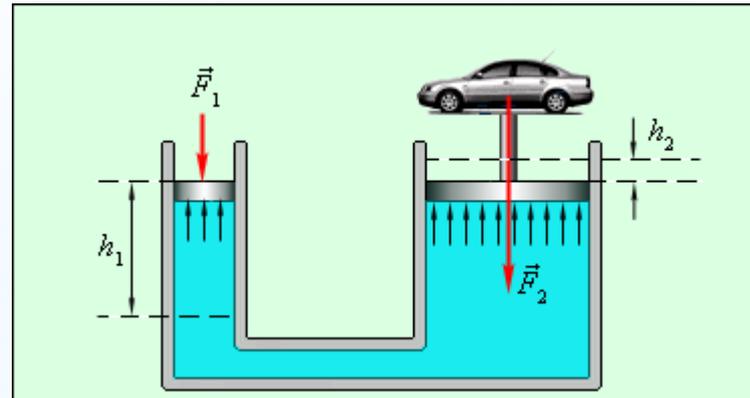
Давление в жидкости или газе передается во всех направлениях одинаково и не зависит от ориентации площадки, на которую оно действует.



На рис. изображена небольшая прямоугольная призма, погруженная в жидкость. Если предположить, что плотность материала призмы равна плотности жидкости, то призма должна находиться в жидкости в состоянии безразличного равновесия. Это означает, что силы давления, действующие на грани призмы, должны быть уравновешены. Это произойдет только в том случае, если давления, то есть силы, действующие на единицу поверхности каждой грани, одинаковы:

$$p_1 = p_2 = p_3 = p.$$

Гидравлические машины



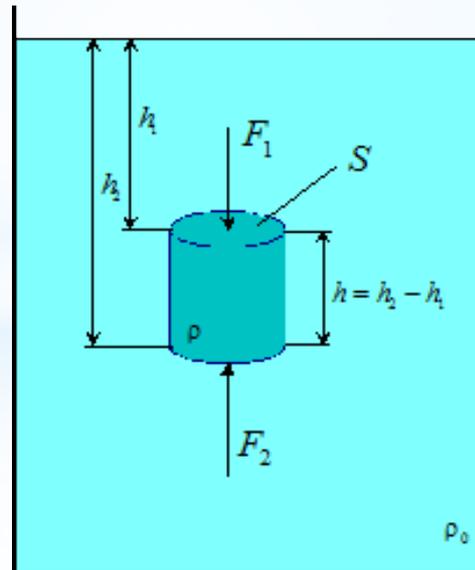
$$F_1 h_1 = F_2 h_2.$$

Это правило выполняется для любых идеальных машин, в которых не действуют силы трения. Оно называется «золотым правилом механики».

ЗАКОН АРХИМЕДА

На тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, равная весу жидкости, вытесненной телом.

$$F_A = \rho_0 g (h_2 - h_1) S = \rho_0 g h S = \rho_0 g V.$$



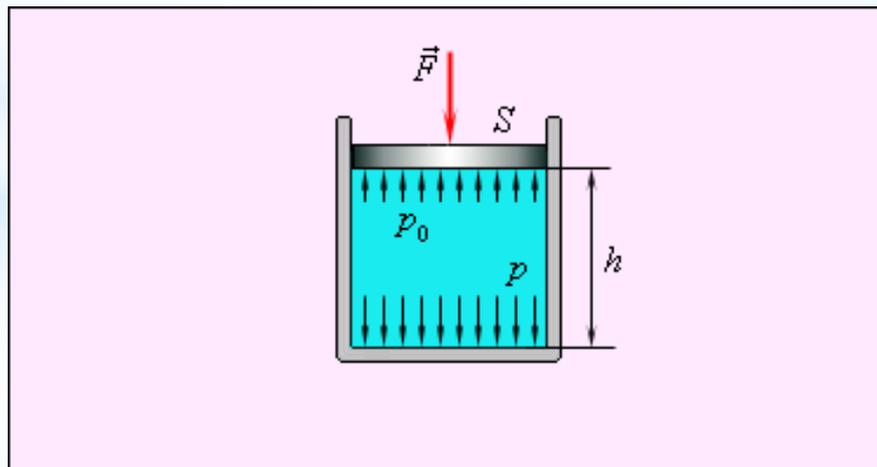
Давление жидкости на дно или боковые стенки сосуда зависит от высоты столба жидкости. Сила давления на дно цилиндрического сосуда высоты h и площади основания S равна весу столба жидкости mg , где $m = \rho hS$ — масса жидкости в сосуде, ρ — плотность жидкости. Следовательно,

Основной закон гидростатики для толщи жидкости — зависимость давления от глубины, который для несжимаемой жидкости в однородном поле тяжести имеет вид:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{\rho ghS}{S} = \rho gh.$$

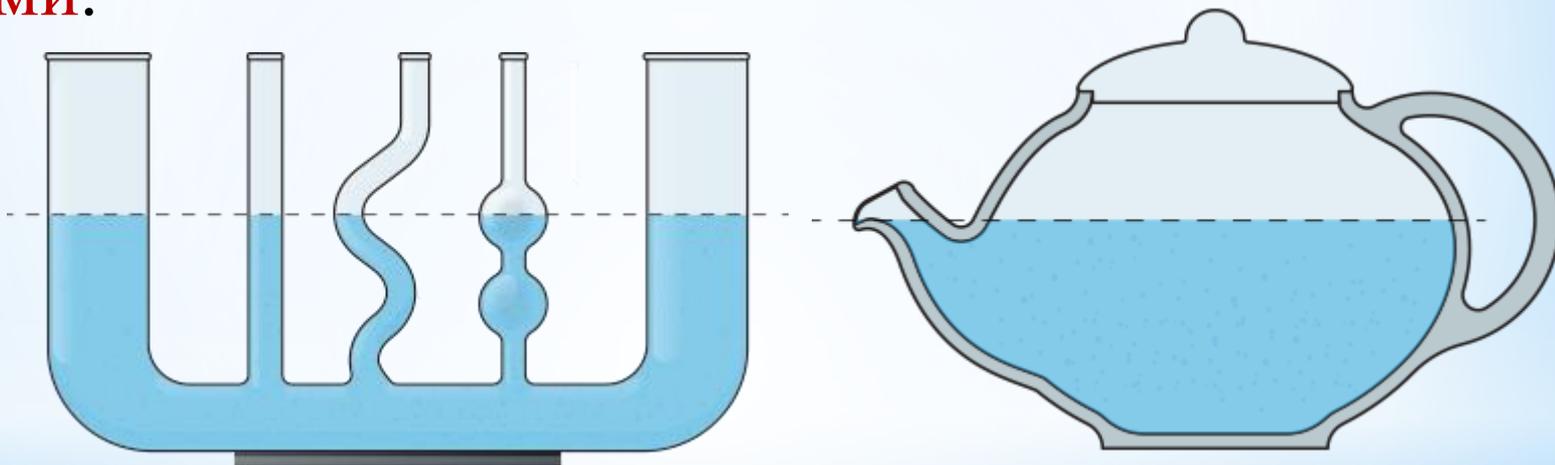
Такое же давление на глубине h в соответствии с законом Паскаля жидкость оказывает и на боковые стенки сосуда. Давление столба жидкости ρgh называют **гидростатическим давлением**. Если жидкость находится в цилиндре под поршнем (рис.), то действуя на поршень некоторой внешней силой F , можно создавать в жидкости дополнительное давление $p_0 = F/S$, где S – площадь поршня. Таким образом, полное давление в жидкости на глубине h можно записать в виде: $p = p_0 + \rho gh$.

Если на рис. поршень убрать, то давление на поверхность жидкости будет равно атмосферному давлению: $p_0 = p_{\text{атм}}$.

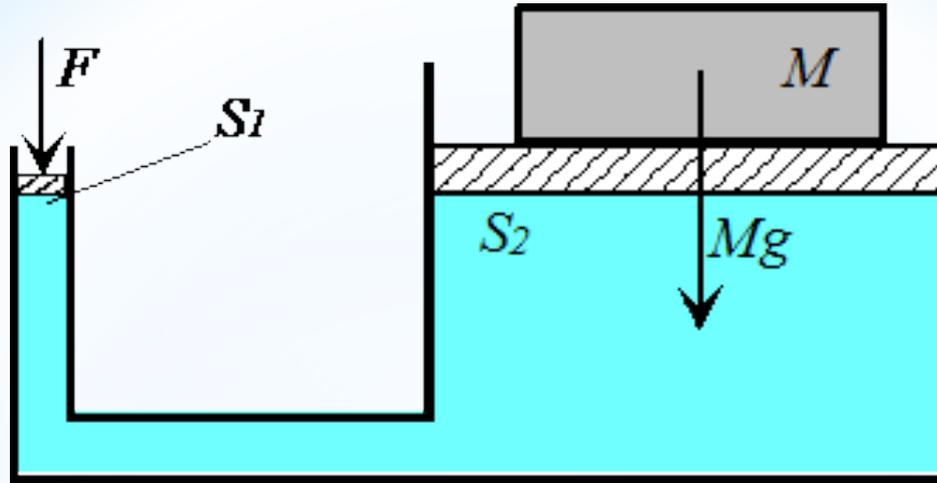


Сообщающиеся сосуды

Любые два или несколько соединённых между собой сосудов, в которых жидкость может свободно перетекать из одного сосуда в другой, называют **сообщающимися сосудами**.



В сообщающихся сосудах уровень жидкости одинаков, так как в этих сосудах выравнивается давление жидкости.



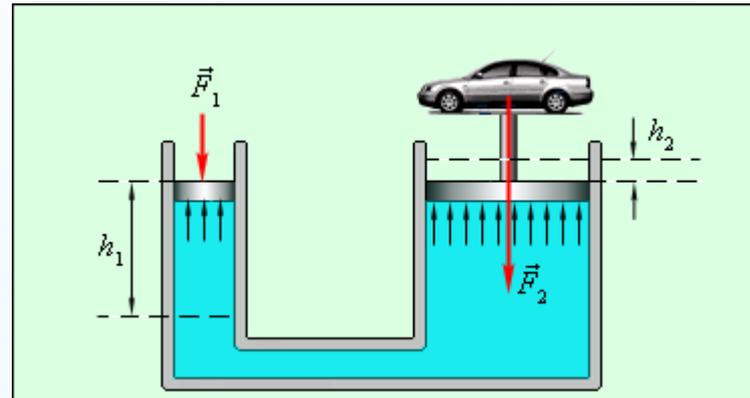
Если поршни находятся на одном уровне, то давления под ними должны быть одинаковы: $p_1 = p_2$.

Но ,

$$p_1 = \frac{F}{S_1} \quad \text{и} \quad p_2 = \frac{Mg}{S_2}.$$

$$F = Mg \frac{S_1}{S_2}.$$

Гидравлические машины



$$F_1 h_1 = F_2 h_2.$$

Это правило выполняется для любых идеальных машин, в которых не действуют силы трения. Оно называется «золотым правилом механики».

Задача 9

Определите натяжение нити, связывающей два шарика объёмом 10 см^3 каждый, если верхний шарик плавает, наполовину погрузившись в воду. Масса нижнего шарика в три раза больше массы верхнего шарика.

Ответ представьте в миллиньютонках.

[12,5]

Задача 10

Тонкая палочка шарнирно закреплена одним концом и опущена свободным концом в воду.

Определите плотность палочки, если равновесие достигается, когда в воду погружена половина палочки.

Ответ представьте в единицах СИ.

[750]

Задача 11

Стальной полый шар объемом 320 см^3 , плавает в воде так, что половина его погружена в воду.

Каков объем полости в шаре?

Ответ представьте в кубических сантиметрах.

[300]

Задача 12

Высота плоской льдины над уровнем океана 2 м.

Определите толщину всей льдины. Плотность морской воды 1030 кг/м^3 .

Ответ представьте в единицах СИ и округлите до целого числа.

[16]

Задача 13

В сообщающиеся сосуды, диаметр одного из которых больше диаметра другого в 4 раза, налита ртуть. Затем в сосуд меньшего диаметра сверху налита вода высотой 0,7 м.

Определите, на сколько изменятся уровни ртути в каждом из сообщающихся сосудов.

Ответы представьте в сантиметрах и округлите до десятых.

[0,3; 4,8]

Условие плавания тел. Сила Архимеда

Задача 14

В сосуде находятся две несмешивающиеся жидкости: керосин и вода. На границе раздела жидкостей плавает однородное тело высотой $H = 10$ см. Определите глубину h погружения тела в воду, если плотность материала тела $\rho = 912$ кг/м³. Ответ представьте в сантиметрах.

Дано: $\rho_1 = 800$ кг/м³, $\rho_2 = 1000$ кг/м³, $\rho = 912$ кг/м³, $H = 0,1$ м.

Определить h .

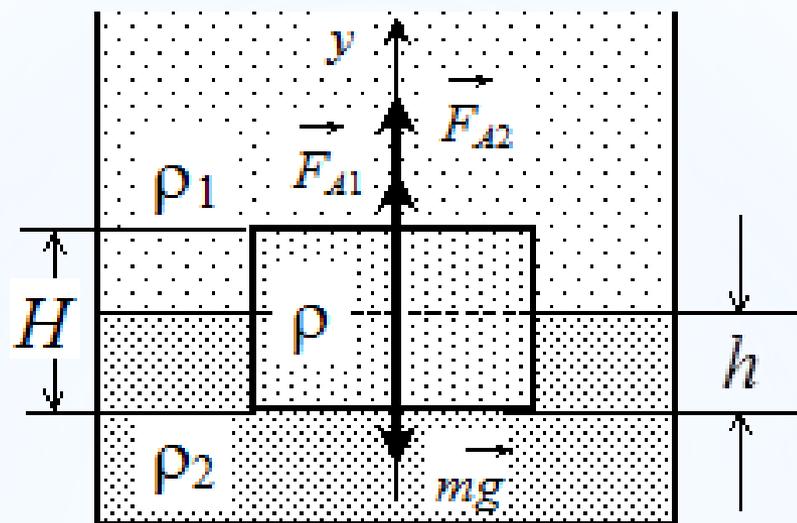


Рис. 3.2

Гидравлический пресс

Задача 15

С помощью гидравлического пресса с КПД $\eta = 75\%$ требуется спрессовать тело массой $m = 8 \cdot 10^4$ кг так, чтобы максимальная сила давления на верхнюю площадку пресса (рис.) достигала величины $F = 1$ МПа. Считая, что деформация тела по вертикали подчиняется закону Гука, а тело при этом сжимается на $h_2 = 0,3$ м, найдите величину работы A_1 совершенной двигателем. Отношение площадей поршней $S_2/S_1 = 50$. Определите число ходов n малого поршня, если он за один ход опускается на $h_1 = 0,1$ м.

Дано: $\eta = 0,75$, $m = 8 \cdot 10^4$ кг, $F = 1 \cdot 10^6$ Па, $h_1 = 0,1$ м, $h_2 = 0,3$ м, $S_2/S_1 = 50$, $g = 10$ м/с².

Определить A_1 , n .

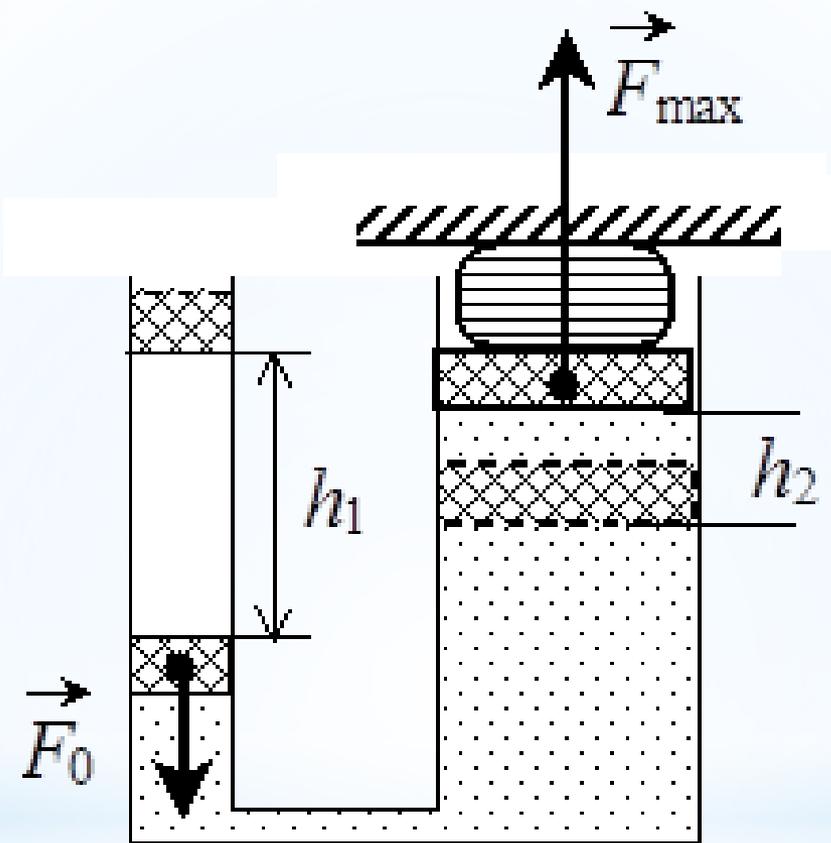


Рис. 3.3



Спасибо

за внимание!

