

# Статика

Выполнили: Учащиеся лицея №38 группы  
№11

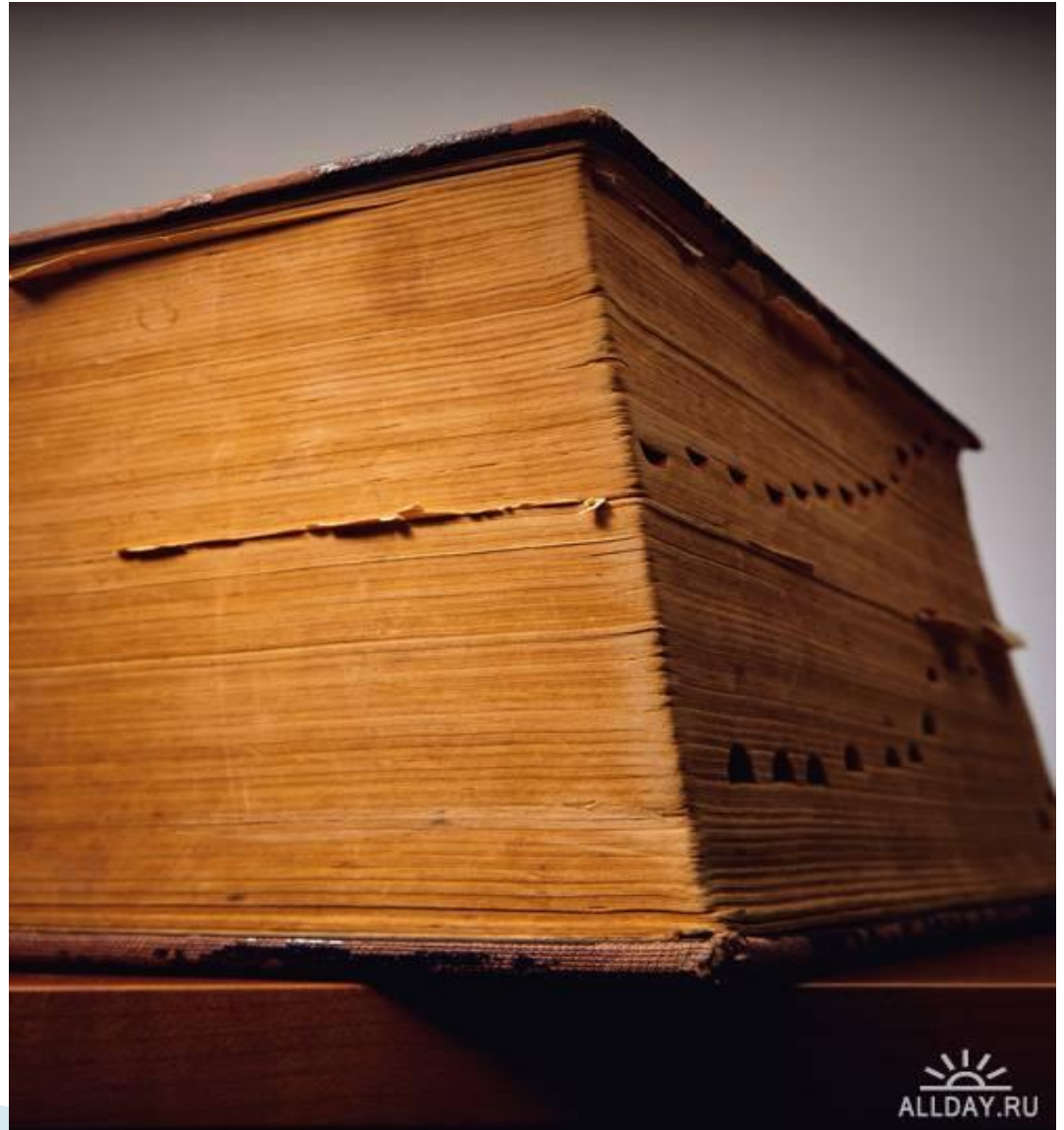
Руководитель: учитель физики высшей  
категории лицея № 38 Балакин М.А.

г. Нижний Новгород  
2009 г.

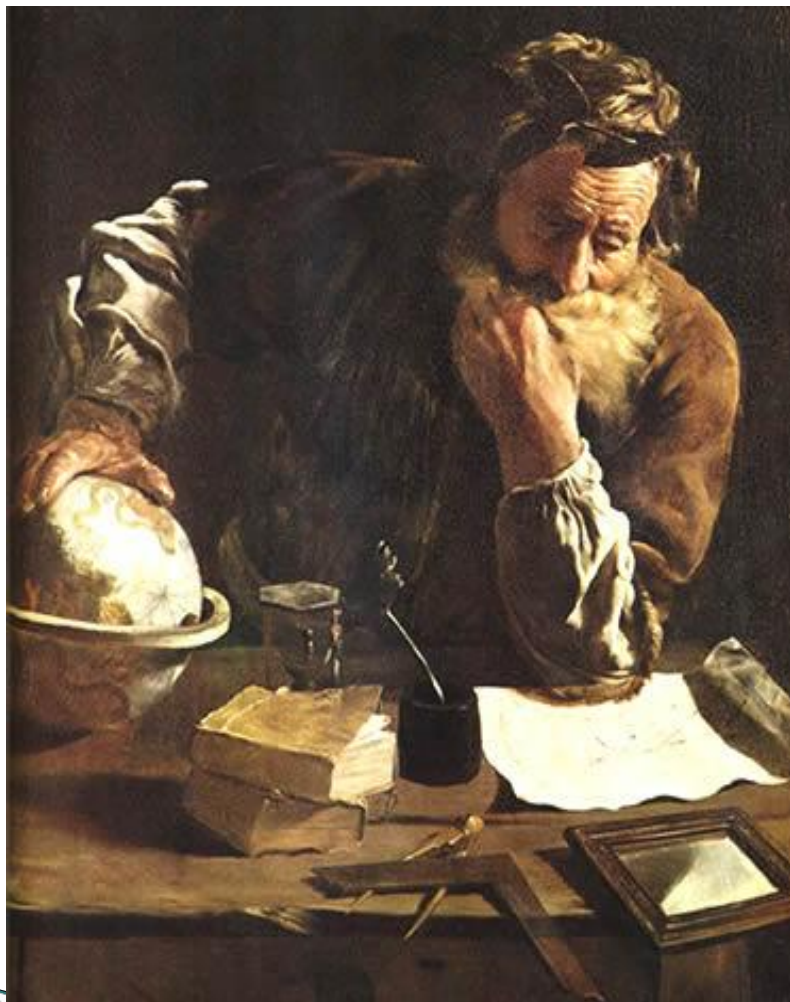
# Оглавление

- Теория
- Задачи
- Эксперименты

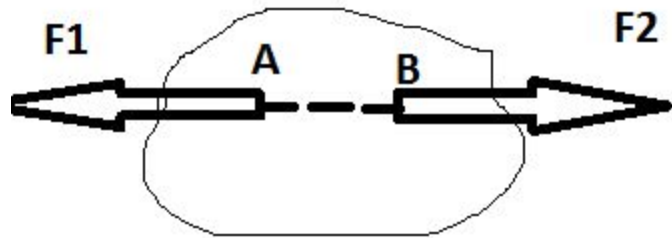
# Теория



# *Историческая справка*



# Аксиомы Статики



3.1

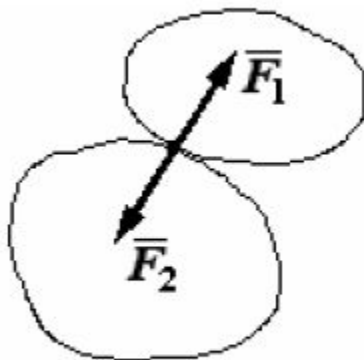
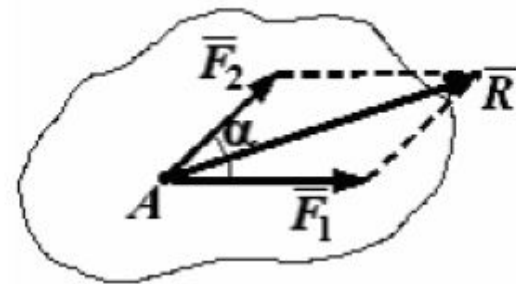


Рис. 3.3.



3.2

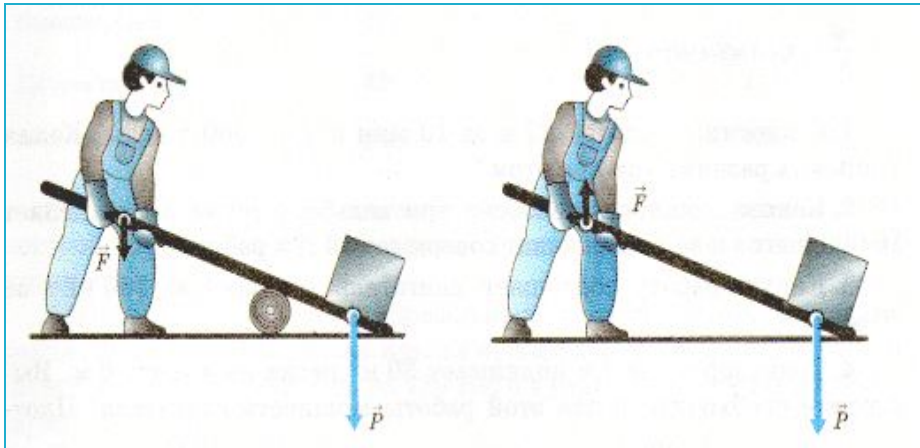
$$\bar{R} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2$$



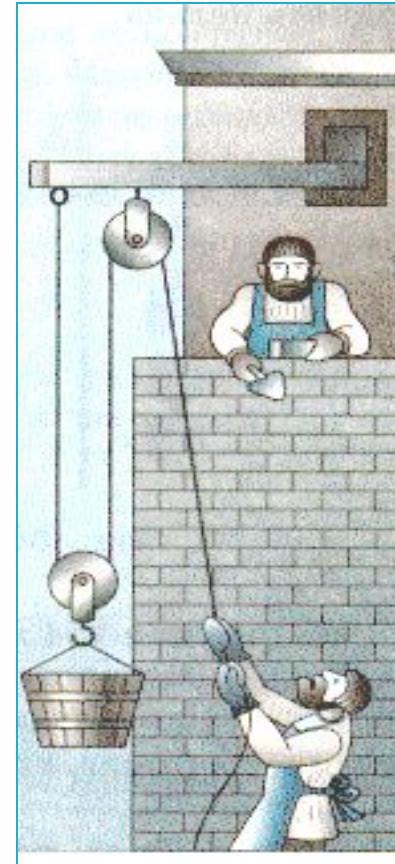
# Рычаги

1 рода

2 рода

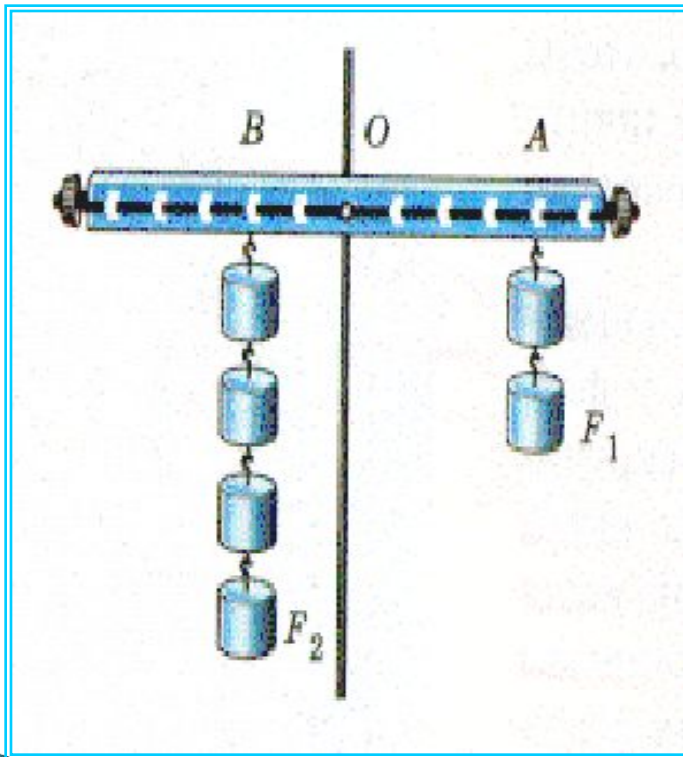


# Блоки



# Момент сил

## Условие равновесия рычага



## 2 блок конспекта

Ось закреплена

A diagram showing a fixed axis of rotation, represented by a central point  $O$  with a dot. Two forces,  $F_1$  and  $F_2$ , are shown acting on a body.  $F_1$  is on the left, and  $F_2$  is on the right. Distances from the axis to the points of application are labeled  $d_1$  and  $d_2$ . The formula  $M = F \cdot d$  is written below the diagram.

$d$  - плечо силы  
 $M$  - момент силы

$M - (+) \downarrow$   
 $M - (-) \uparrow$

Общий случай:  $\sum \vec{F} = 0$   $\sum M = 0$  качели



# Виды равновесий

Устойчивое



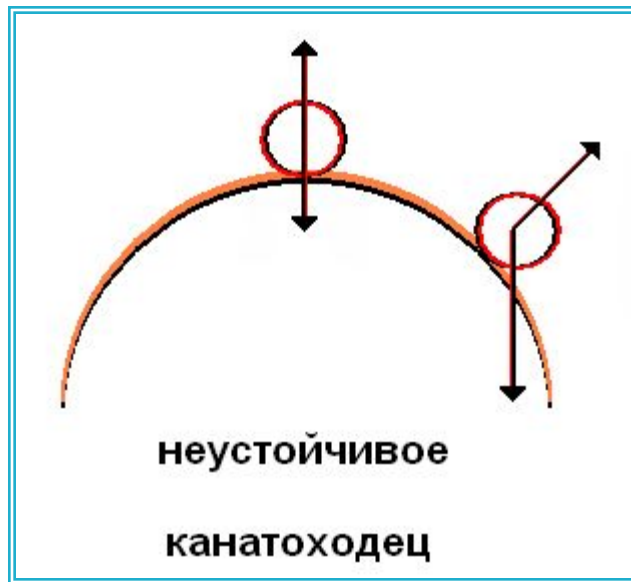
Пример устойчивого  
равновесия



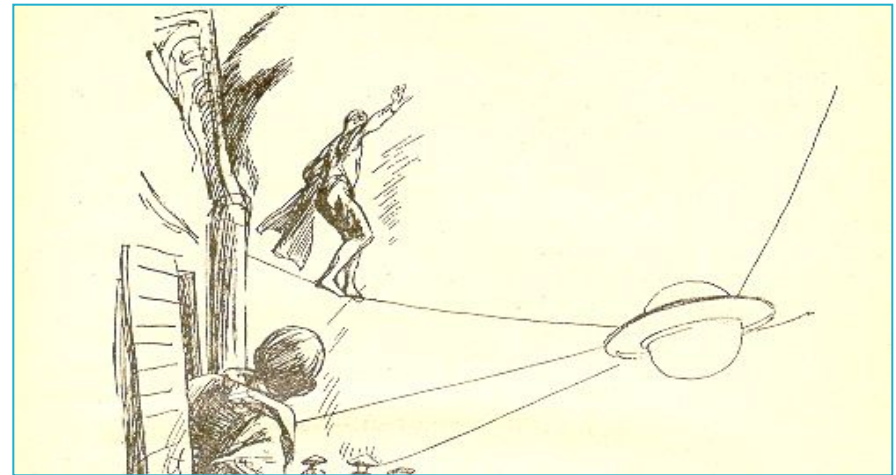


# Виды равновесий

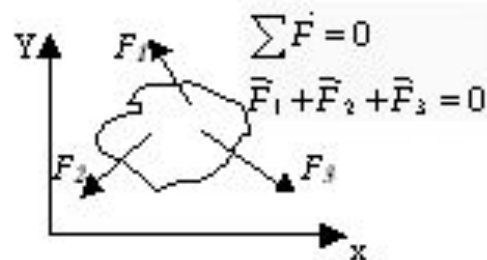
## Неустойчивое



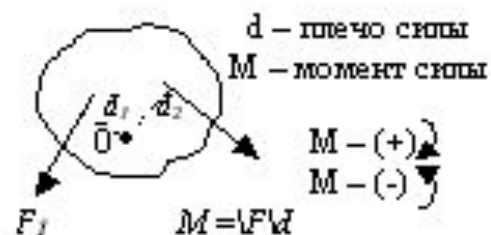
## Пример неустойчивого равновесия



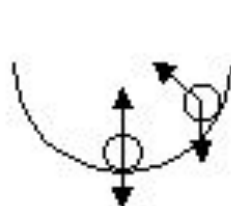
Нет вращения



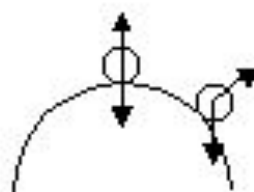
Ось закреплена



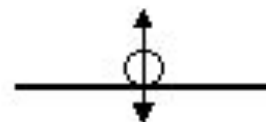
Общий случай:  $\sum \vec{F} = 0$      $\sum M = 0$     качели



устойчивое  
маятник



неустойчивое  
канатоходец



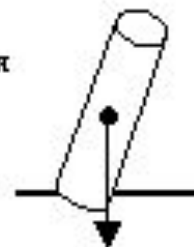
безразличное  
колесо

Равновесие на опорах



$S$  опоры – max  
остановочная башня

$h_{\text{оп.}}$  – min  
гоночные машины



отвес из  
ц. т.  
через  $S$   
опоры



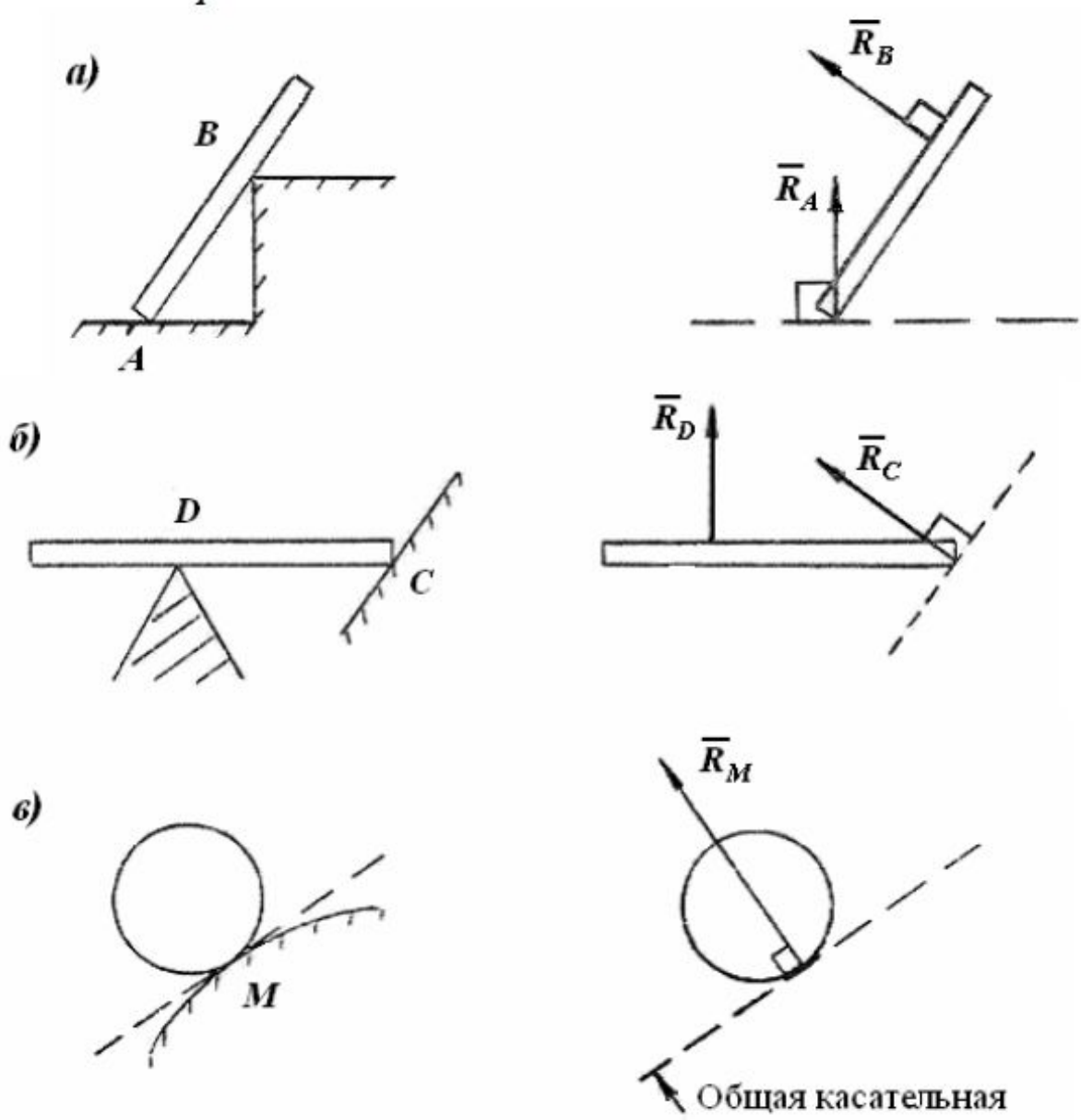
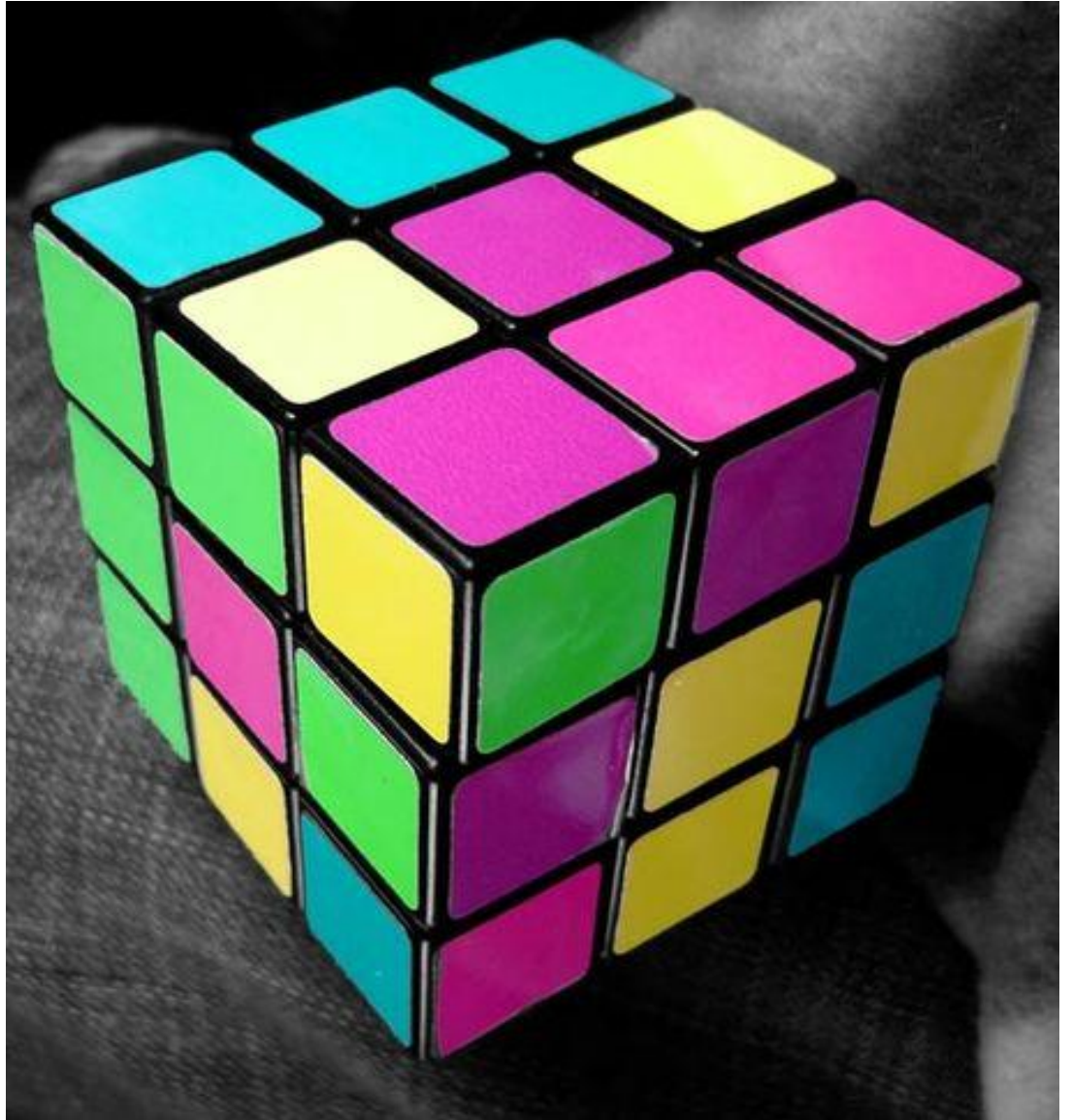


Рис. 5.4.



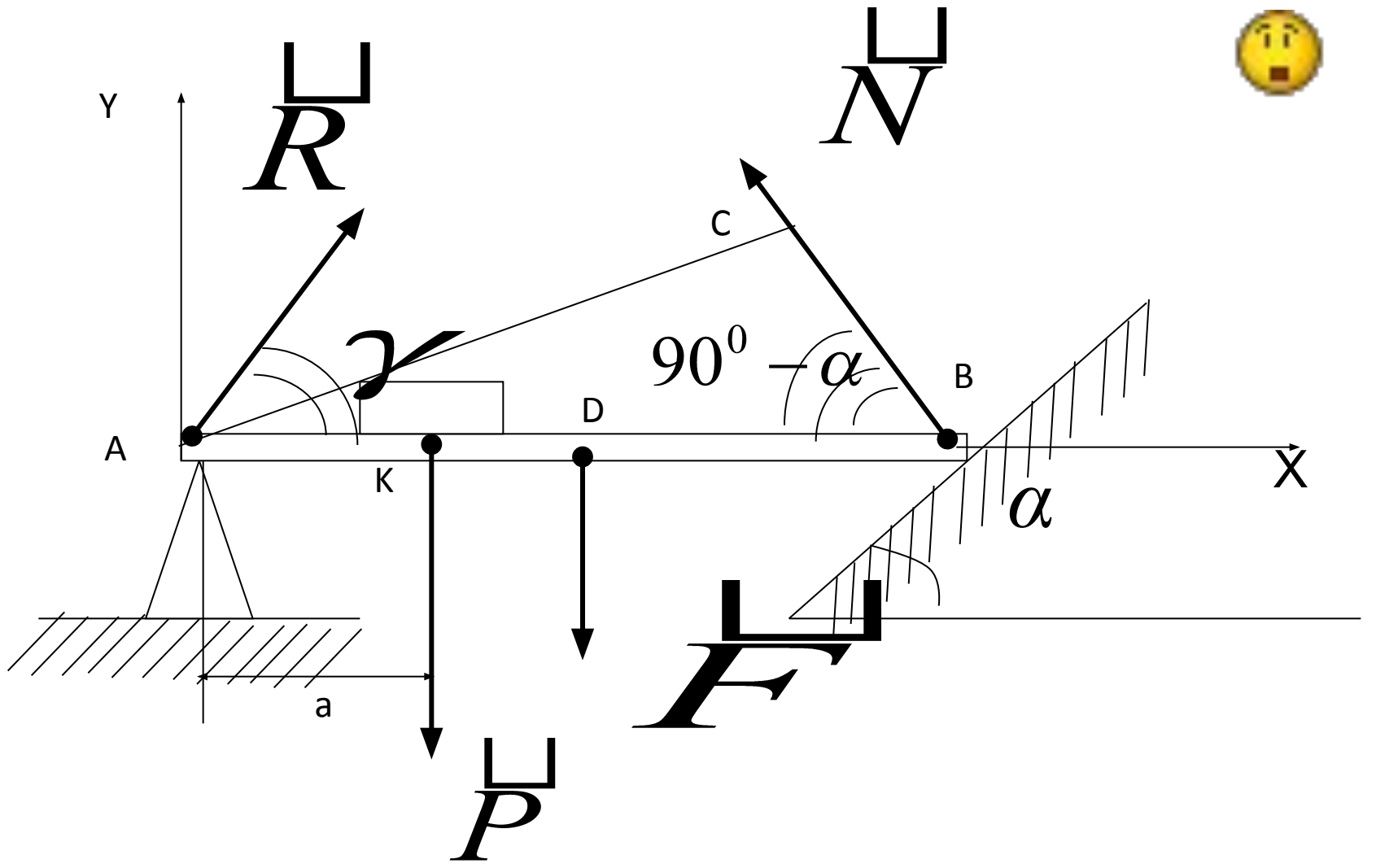
# ЗАДАЧИ



## Задача № 3

Однородная балка, длиной  $2l$  и массой  $m$ , расположенная горизонтально, одним концом шарнирно закреплена в точке А. Другой конец балки опирается в точке В на гладкую плоскость, наклонённую под углом  $\alpha$ . На балке на расстоянии  $a$  от шарнира А расположен груз массой  $m^1$ . Найдите силы реакции шарнира и плоскости. Трение в шарнире отсутствует.





# Решение

Т.к. балка в равновесии, то сумма моментов сил относительно шарнира равна нулю:

$$M_N + M_F + M_P + M_R = 0$$

Найдём плечи сил:

$$d_N = AC = 2l \sin(90^\circ - \alpha) = 2l \cos \alpha - \text{плечо силы } \overset{\perp}{N},$$

$$d_F = AD = l - \text{плечо силы } \overset{\perp}{F},$$

$$d_P = AK = a - \text{плечо силы } \overset{\perp}{P},$$

$$d_R = 0 - \text{т.к. сила приложена в шарнире и проходит через ось.}$$

Тогда, уравнение моментов:

$$N * 2l \cos \alpha - mgl - m_1ga = 0.$$

Отсюда:

$$N = \frac{g(ml + m_1a)}{2l \cos \alpha}$$



Для нахождения силы реакции шарнира воспользуемся первым условием равновесия:

$$\vec{R} + \vec{N} + \vec{F} + \vec{P} = 0.$$

Проекции на оси  $X$  и  $Y$ :

$$R_X - N \sin \alpha = 0,$$

$$R_Y + N \cos \alpha - mg - m_1 g = 0.$$

Отсюда:

$$R_X = N \sin \alpha = \frac{g(ml + m_1 a)}{2l} \operatorname{tg} \alpha,$$

$$R_Y = g(m_1 + m) - \frac{g(ml + m_1 a)}{2l} = \frac{g}{2l} [ml + m_1(2l - a)].$$

Модуль силы реакции шарнира равен:

$$R = \sqrt{R_X^2 + R_Y^2}.$$

С осью  $X$  вектор силы  $R$  образует угол  $\gamma$ ,  
косинус которого определяется выражением:

$$\cos \gamma = \frac{R_X}{R}.$$

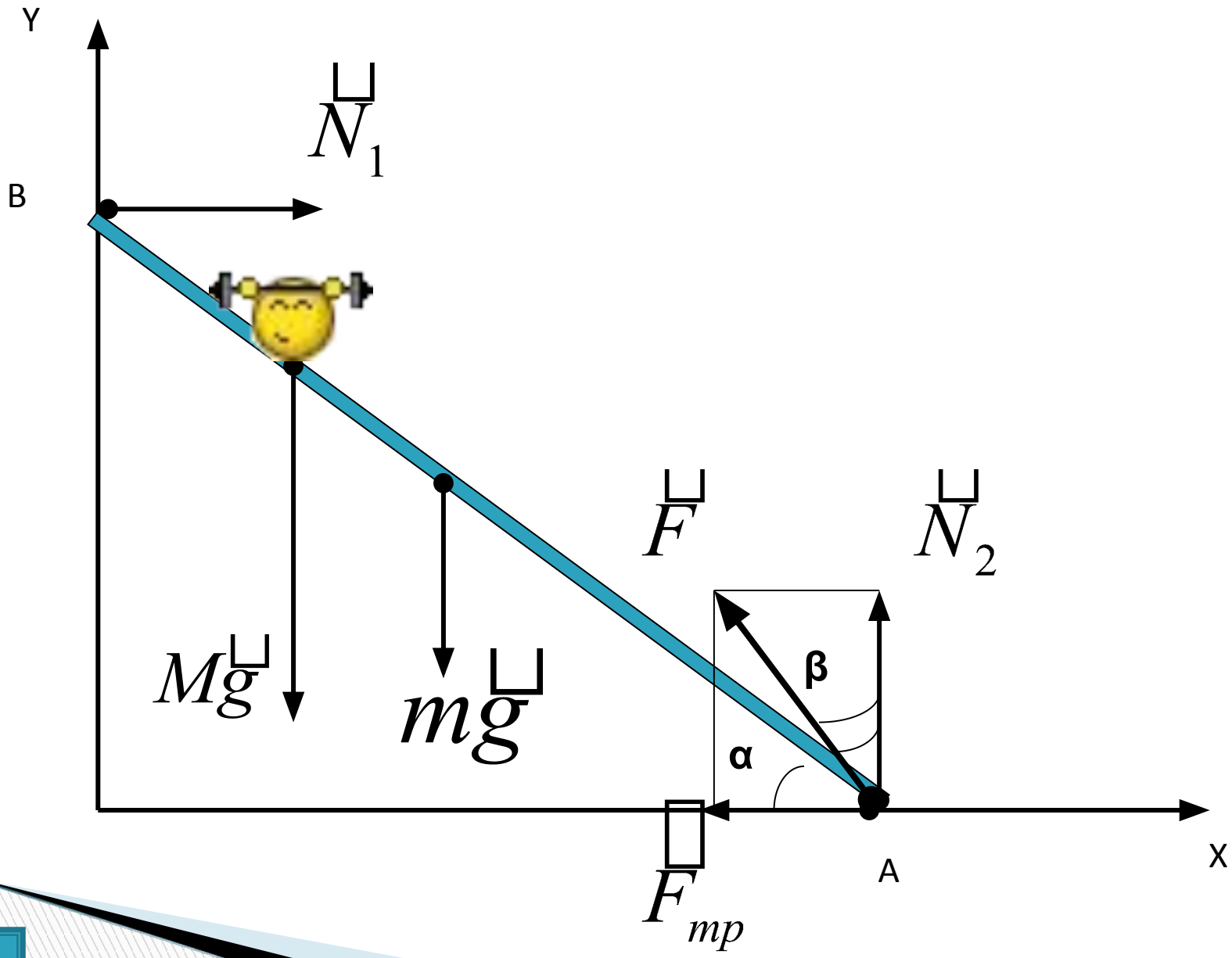




## Задача № 4

Лестница длиной  $l = 3$  м стоит, упираясь верхним закруглённым концом в гладкую стену, а нижним в пол. Угол наклона лестницы к горизонту  $\alpha = 60^\circ$ , её масса  $m = 15$  кг. На лестнице на расстоянии  $a = 1$  м от её верхнего конца стоит человек массой  $M = 60$  кг. С какой силой давит пол на нижний конец лестницы и как направлена эта сила?





# Решение

Запишем уравнения равновесия:

$$Ox: F_{mp} + N_1 = 0,$$

$$Oy: Mg + mg - N_2 = 0,$$

Моменты сил относительно точки  $A$ :

$$mg\left(\frac{l}{2}\right)\cos\alpha + Mg(l-a)\cos\alpha - N_1l\sin\alpha = 0.$$

Решая систему, найдём:

$$F_{mp} = \left(\frac{m}{2} + \frac{2M}{3}\right)g \operatorname{ctg}\alpha = 275 \text{ Н},$$

$$N_2 = (M + m)g = 750 \text{ Н}.$$

Лестница давит на пол с силой  $F = (F_{mp}^2 + N_2^2)^{\frac{1}{2}} = 800 \text{ Н}$ .

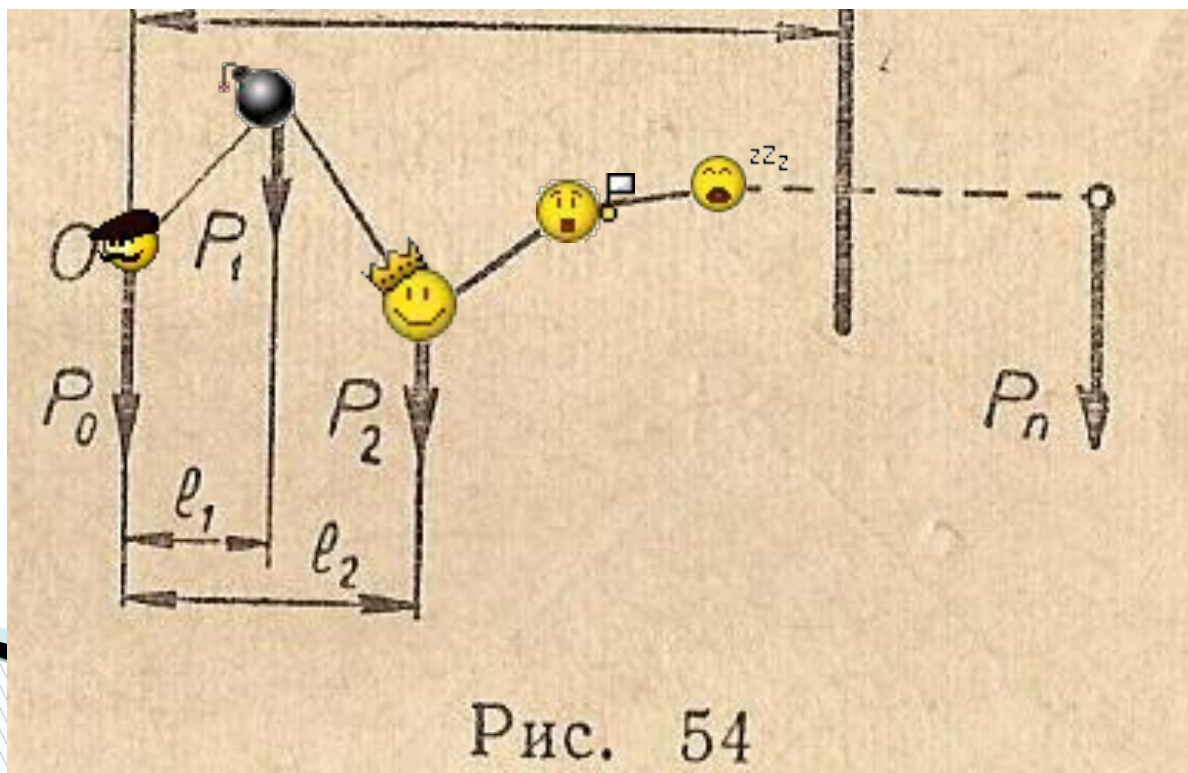
Эта сила направлена к вертикали под углом

$$\beta = \operatorname{arctg}\left(\frac{F_{mp}}{N_2}\right) \approx 20^\circ$$



# Задача № 8

Пять шаров, вес которых равен соответственно  $P$ ,  $2P$ ,  $3P$ ,  $4P$  и  $5P$ , укреплены на стержне так, что их центры находятся на расстоянии  $L$  друг от друга. Пренебрегая весом стержня, найти центр тяжести системы.



# Решение

Искомое расстояние от точки  $O$  до силы  $F$  можно найти из уравнения моментов сил относительно точки  $O$ :

$$P_0 \cdot 0 + P_1 l_1 + \dots + P_n l_n - Fx = 0$$

Где  $l_1, l_2$  и т.д. - плечи сил относительно центра тяжести левого груза  
 $P_0$



# Решение

Выразим  $x$ :

$$x = \frac{P_1 l_2 + P_2 l_2 + \dots + P_n l_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n}$$



Мы нашли основную формулу. Теперь можно решать задачу:

$$\mathbf{F=P+2P+3P+4P+5P}$$

Плечи сил относительно точки  $O$  равны соответственно  $0, l, 2l, 3l, 4l$ .

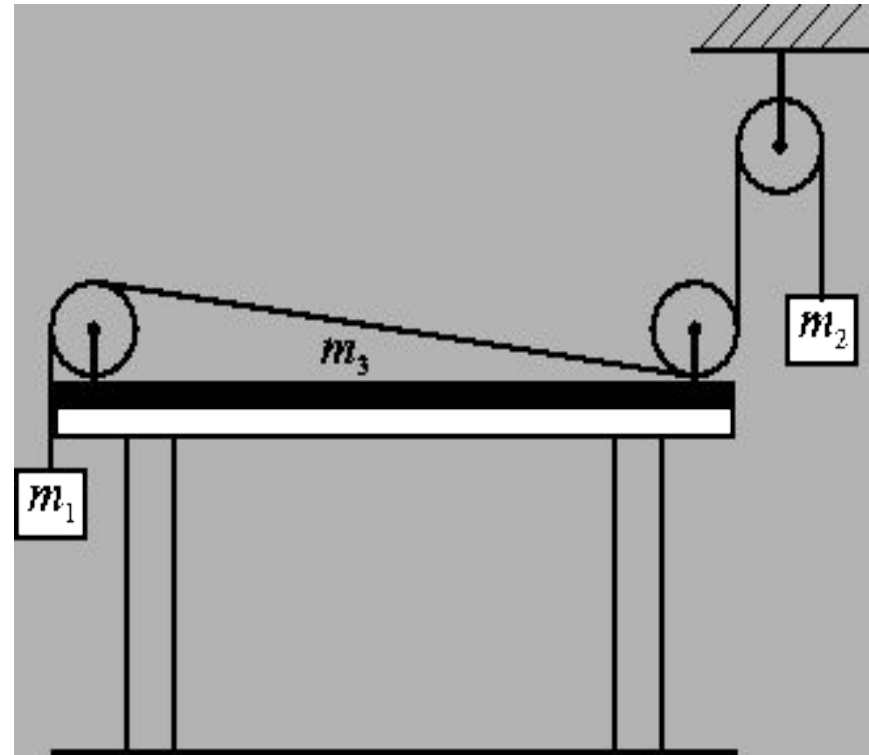
Определяем положение центра тяжести:

$$x = \frac{2Pl + 3P * 2l + 4P * 3l + 5P * 4l}{P + 2P + 3P + 4P + 5P} = \frac{8}{3}l$$



# Задача № 10

В системе, изображённой на рисунке, нить невесома и нерастяжима, блоки невесома, трения нет. Массы грузов на концах нити равны  $m_1$  и  $m_2$ , однородная доска массой  $m_3$  лежит на горизонтальном столе так, что вертикальные участки нити, переброшенной через закреплённые на доске блоки, проходят вдоль её торцов. При каком условии доска при движении грузов будет оставаться в горизонтальном положении?



# Решение:

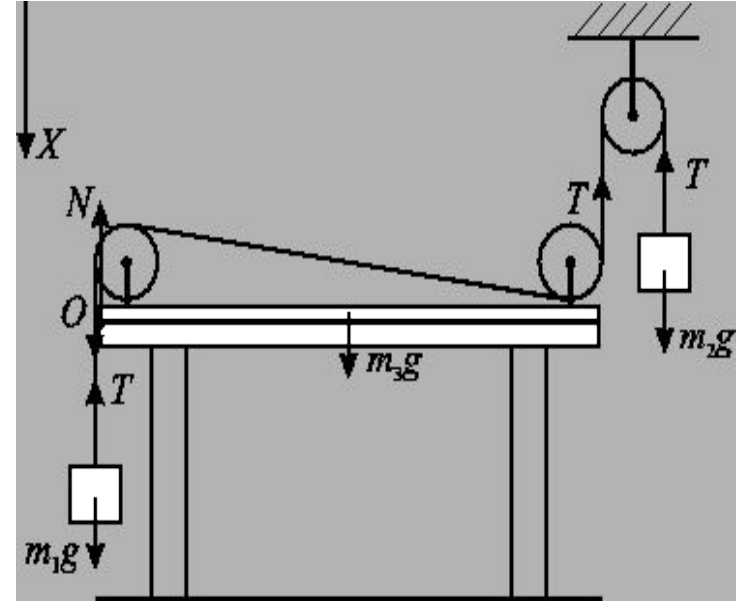
$L$  = длина доски

$T$  = сила натяжения (она одна и та же, т.к. нить не растяжима и блоки невесомы).

доска покоится  $\Rightarrow$   $Mmg$  относительно точки будет больше, чем  $MT$ , то есть

$$(L/2) m_3 g \geq TL, \text{ или } T \leq (m_3/2)g$$

Горизонтальных сил нет, так что при движении грузов, система остается неподвижной.



ОХ:  $m_1 a_1 = m_1 g - T$ ,  $m_2 a_2 = m_2 g - T$ .  
 $a_1 = -a_2$ , т.к. нить нерастяжима

Отсюда:  $a_1 = g - \frac{T}{m_1}$ ,  $a_2 = g - \frac{T}{m_2}$ ,  $T = \left( \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) 2g$ .

$$T = (2m_1 m_2 / (m_1 + m_2)) g$$
$$\frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2} g \leq \frac{m_3}{2} g, \quad m_3 \geq \frac{4m_1 m_2}{m_1 + m_2}$$

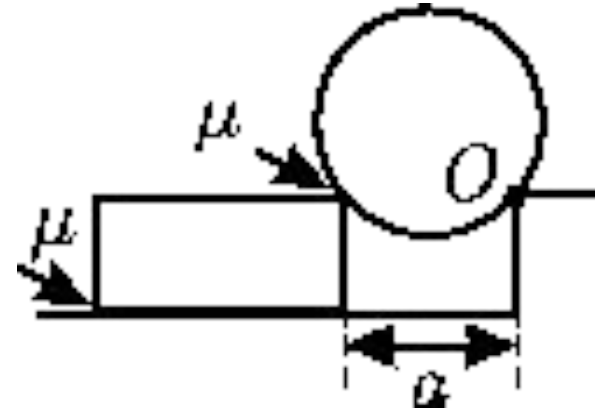
Ответ:  $m_3 \geq \frac{4m_1 m_2}{m_1 + m_2}$

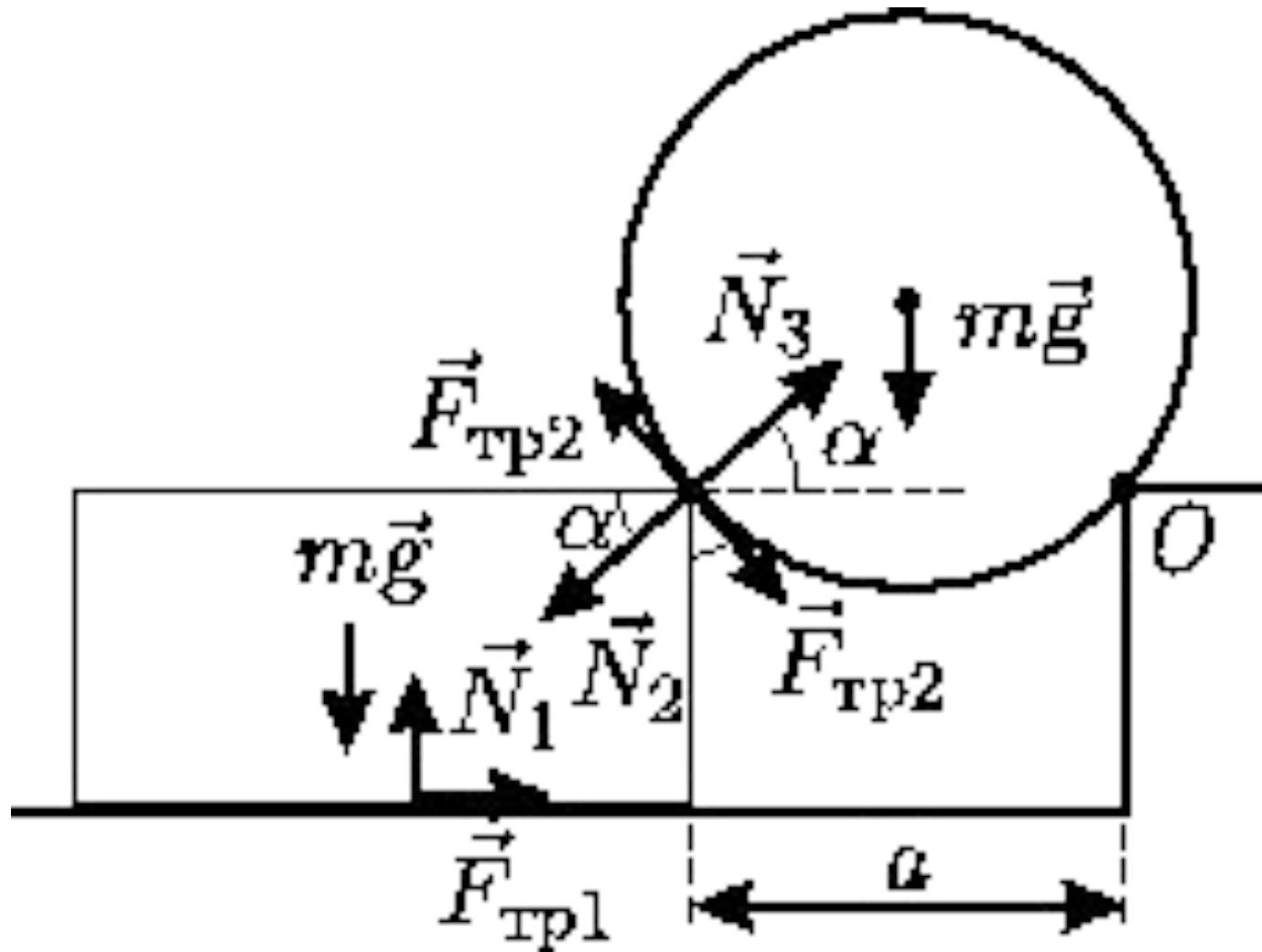




# Задача № 11

На горизонтальной плоскости на расстоянии  $A$  от закрепленной ступеньки лежит брусок. Высоты ступеньки и бруска одинаковы. На ребро бруска, параллельное краю ступеньки, опирается цилиндр, который может без трения вращаться вокруг оси  $O$ , прикрепленной к краю ступеньки. Массы бруска и цилиндра равны. Если  $\mu < \frac{A}{2R}$ , где  $R$  — радиус цилиндра, то брусок покоится, а если  $\mu > \frac{A}{2R}$ , то брусок скользит, не отрываясь от плоскости. Считая коэффициент трения  $\mu$  между всеми трущимися поверхностями одинаковым, найти величину  $\mu$ .





# Решение:

При  $a \leq 2^{1/2}R$  угол  $\alpha$  между нормальной составляющей силы  $\vec{N}_2$  реакции цилиндра на брусок и горизонтом удовлетворяет условию:

$$\sin \alpha = \cos \alpha = 1/\sqrt{2}.$$

Поскольку при этом брусок еще остается неподвижным относительно инерциальной системы отсчета, то согласно второму закону Ньютона:

$$N_1 = mg + N_2 (\sin \alpha + \mu \cos \alpha) \quad \mu N_1 = N_2 (\cos \alpha - \mu \sin \alpha),$$

$$N_2 = \frac{\sqrt{2}\mu mg}{1 - 2\mu - \mu^2}.$$

Согласно правилу моментов, записанному относительно оси, на которой закреплен цилиндр, условие его равновесия можно представить в виде:

$$mga/2 = N_2 (R \sin 2\alpha + \mu a \cos \alpha).$$

С учетом ранее полученных соотношений из этого уравнения следует:

$$3\mu^2 + 4\mu - 1 = 0.$$

Берем лишь положительное значение:

$$\mu = \frac{\sqrt{7} - 2}{3} \approx 0,2.$$



# Эксперименты



# Моменты сил

Если тело может вращаться относительно некоторой оси, то для его равновесия недостаточно равенства нулю равнодействующей всех сил.

Вращающее действие силы зависит не только от ее величины, но и от расстояния между линией действия силы и осью вращения.

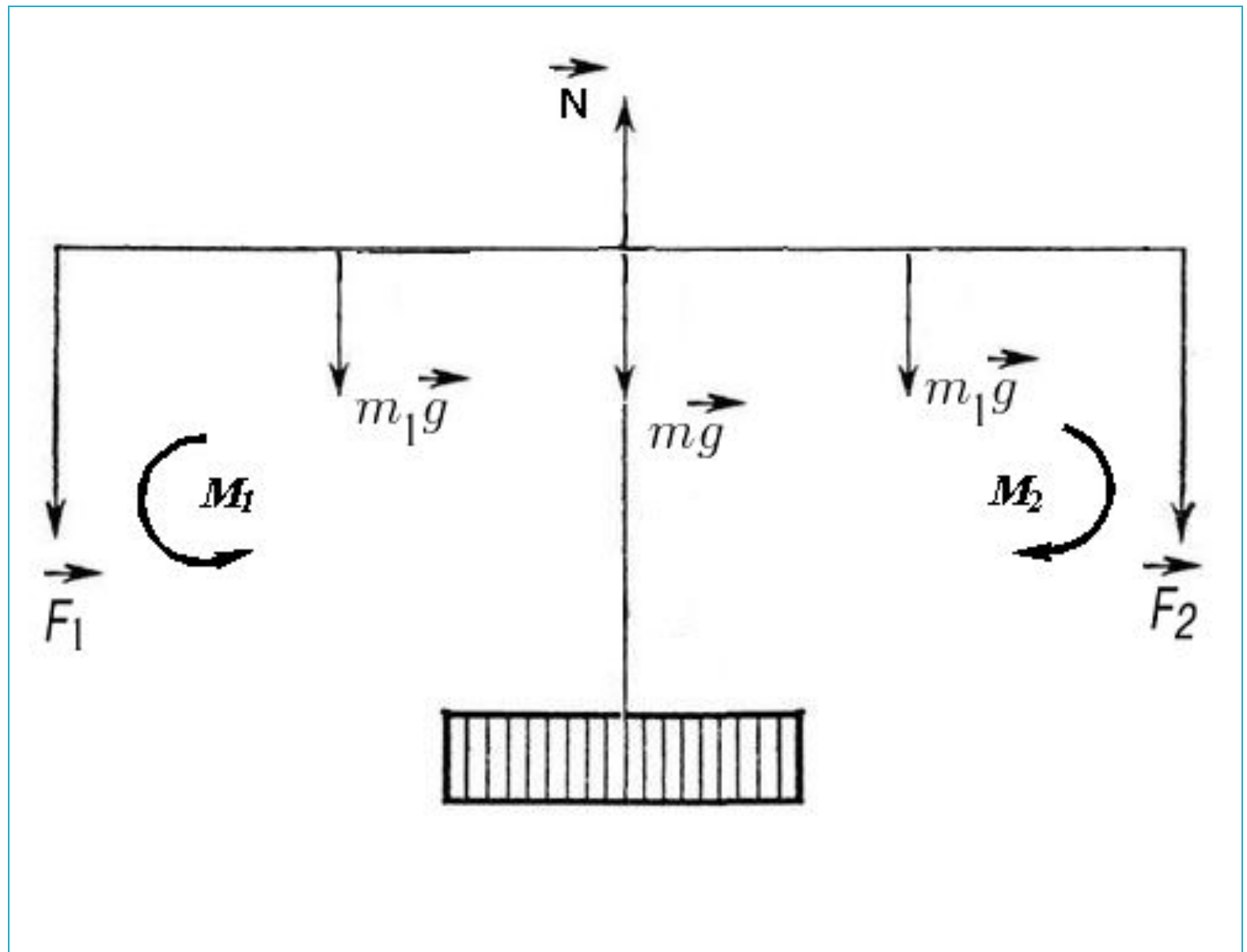
Длина перпендикуляра, проведенного от оси вращения до линии действия силы, называется плечом силы.



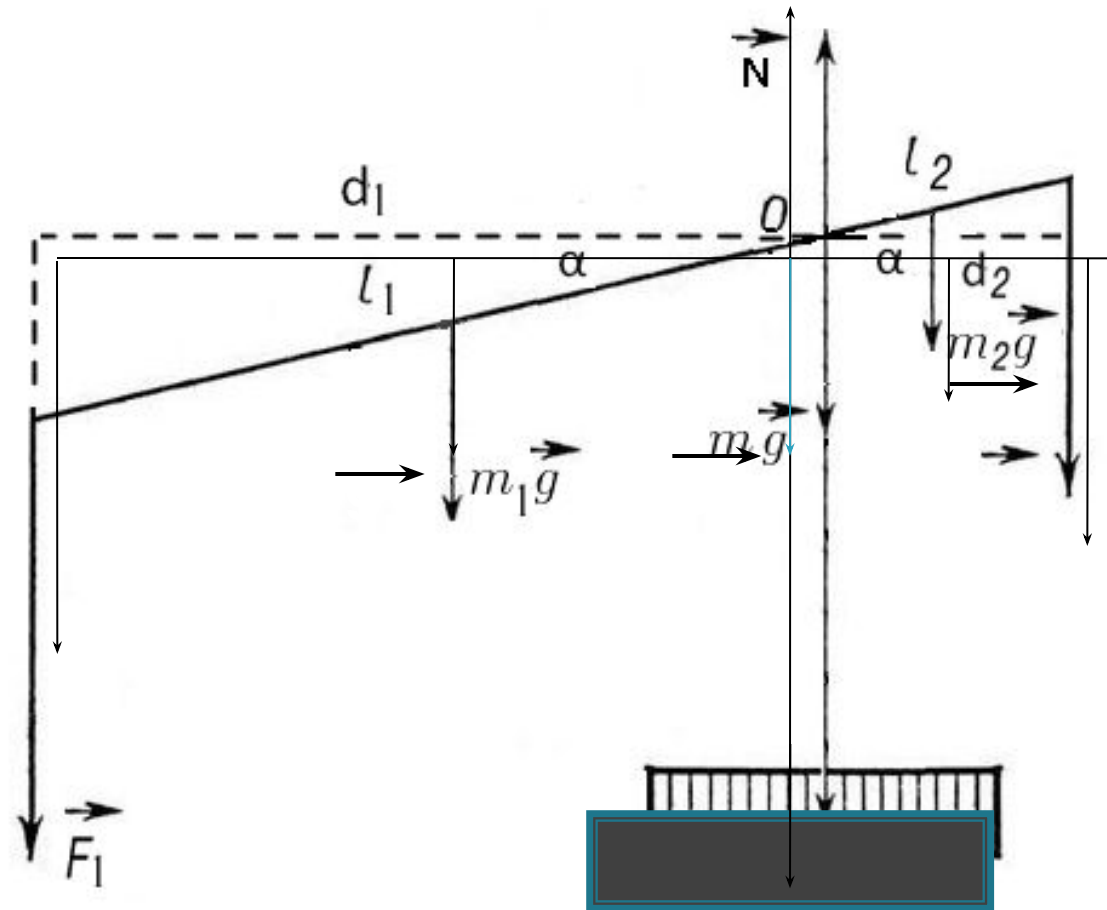
$$M = Fd$$

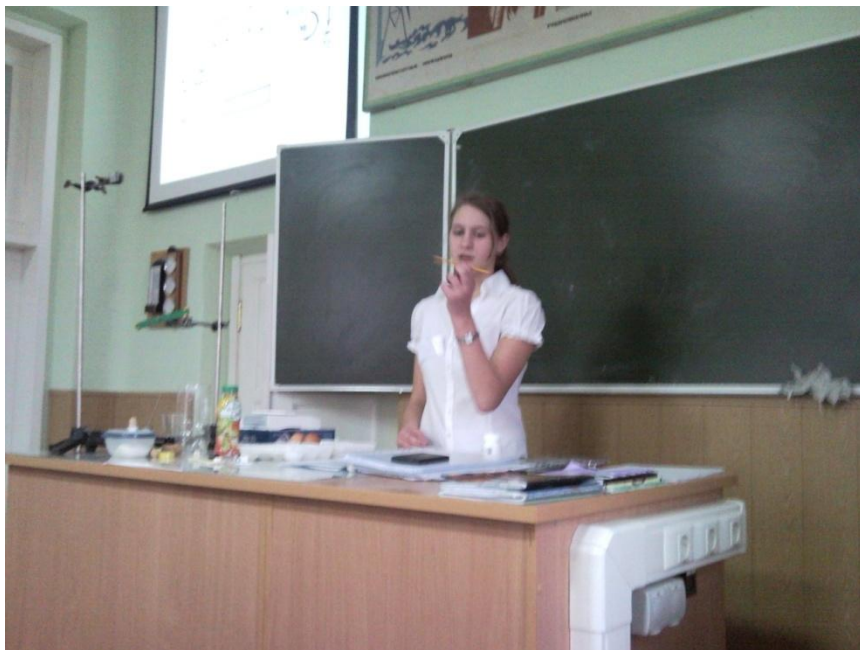
Положительными считаются моменты тех сил, которые стремятся повернуть тело против часовой стрелки.



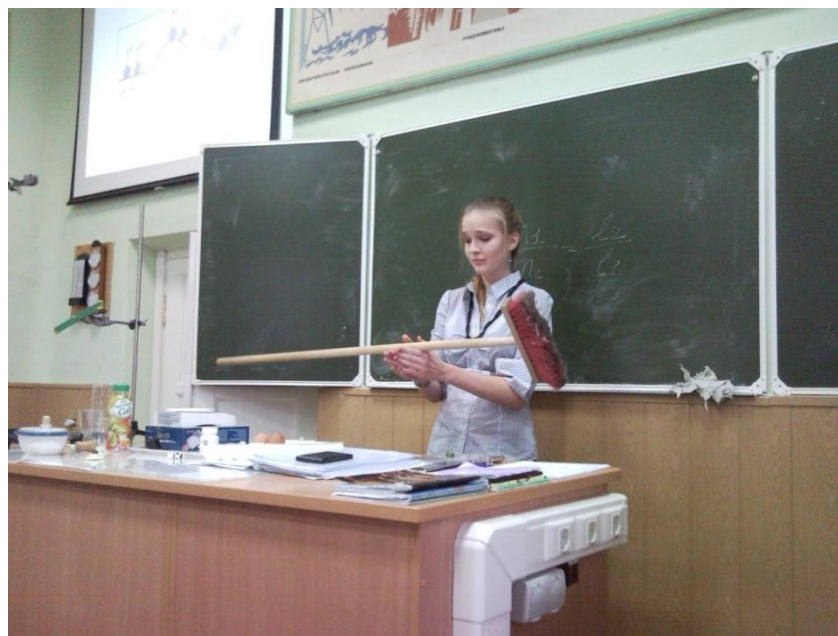


- Опыты показывают, что рычаг находится в равновесии, если суммы моментов сил, вращающих рычаг в противоположные стороны (против и по ходу часовой стрелки), равны друг другу.





В поисках  
центра масс





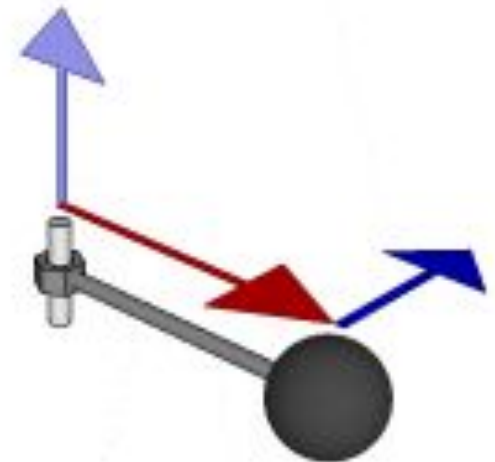
- Отношение между векторами силы, момента силы и импульса во вращающейся системе

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{r} \times \mathbf{F},$$

- Где  $\mathbf{F}$  — сила, действующая на частицу, а  $\mathbf{r}$  — радиус-вектор частицы.
- $L$  — момент импульса

- $L = \mathbf{r} \times \mathbf{p} = r^2 \cdot m \cdot \boldsymbol{\omega}$

$$\begin{aligned}\boldsymbol{\tau} &= \mathbf{r} \times \mathbf{F} \\ \mathbf{L} &= \mathbf{r} \times \mathbf{p}\end{aligned}$$

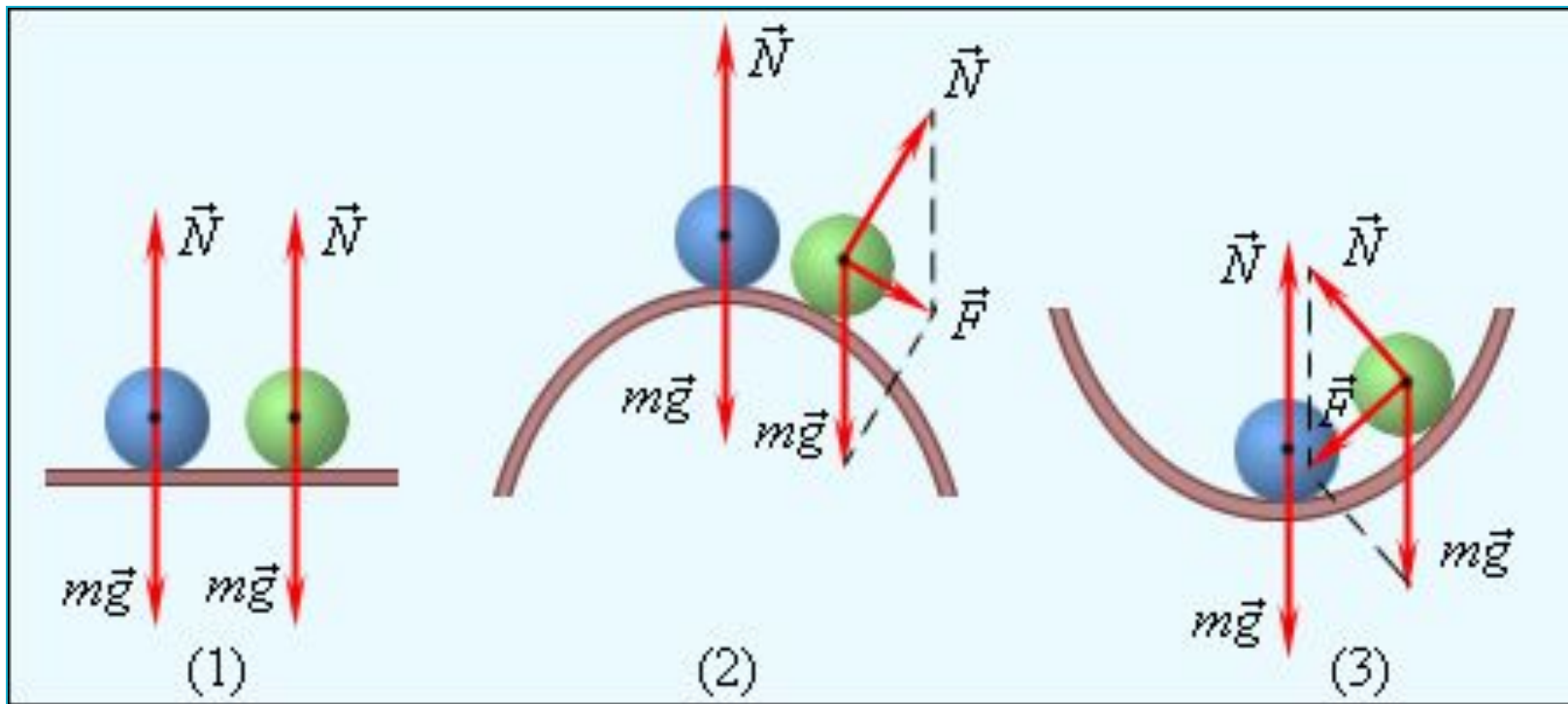


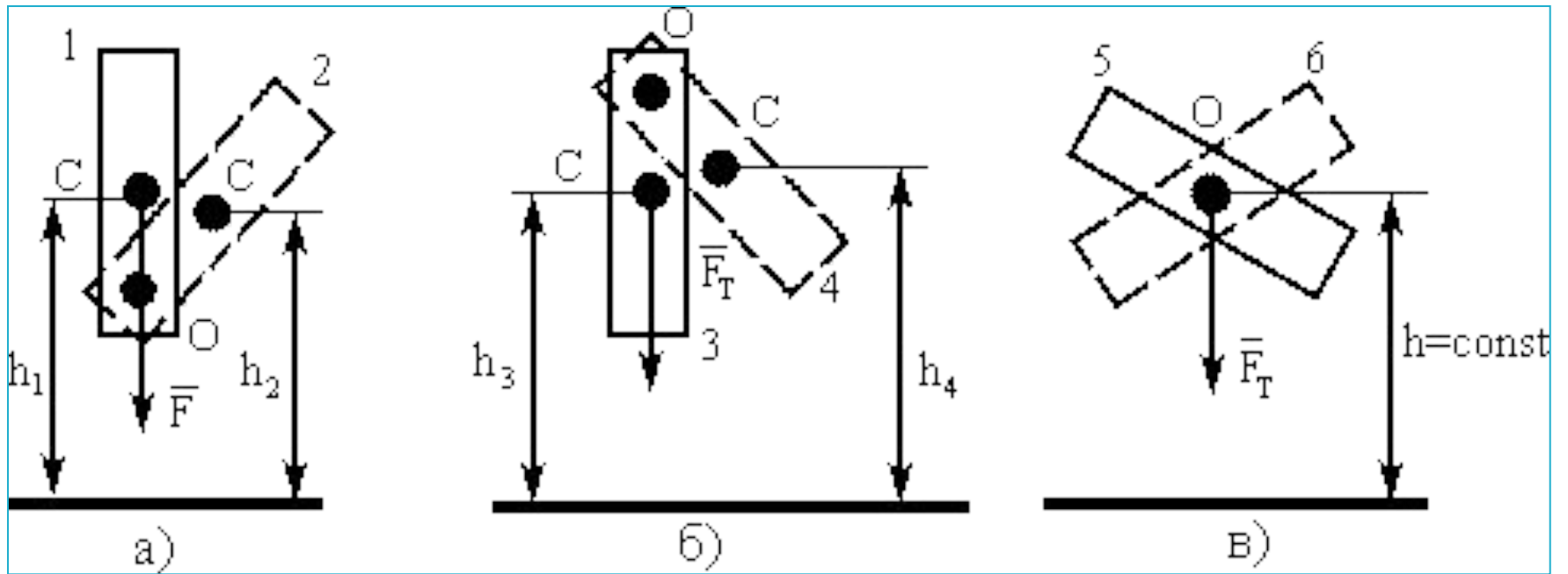
# Изобретения Архимеда

- ✓ **Блок**
- ✓ **Бесконечный винт**
- ✓ **Клин**
- ✓ **Лебёдка**
- ✓ **Рычаг**



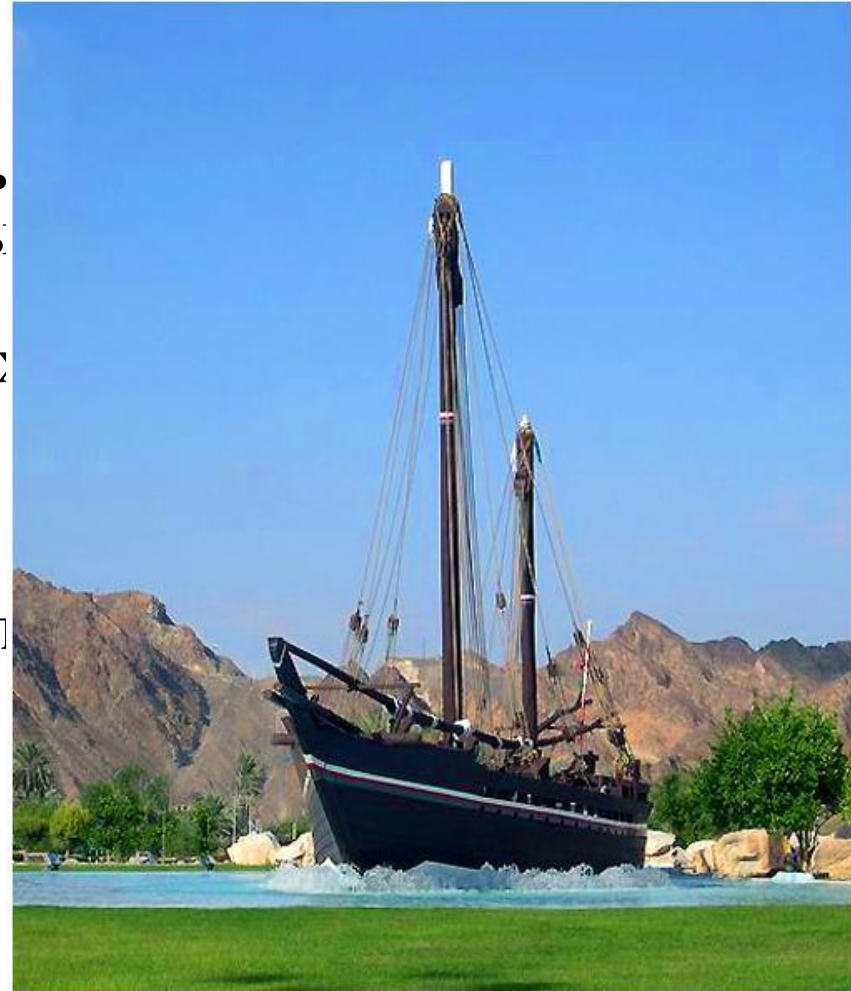
# Равновесие и его виды





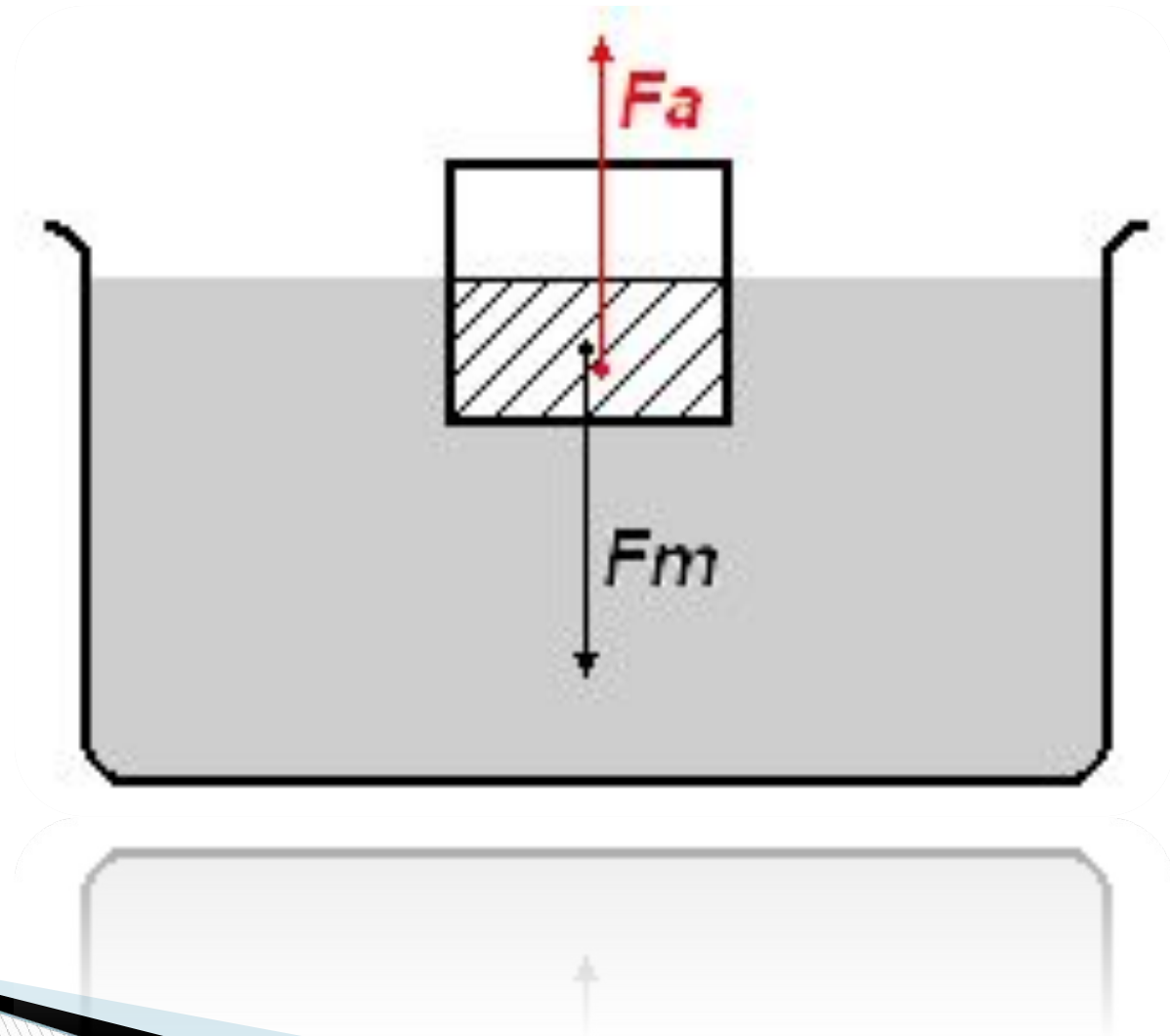
# Гидростатика

- На тело, погруженное в жидкость действуют силы давления, которые зависят от глубины. На тело действует сила, равная сумме всех сил давления жидкости на поверхность данного тела.
- Эта результирующая сила называется **выталкивающей силой**

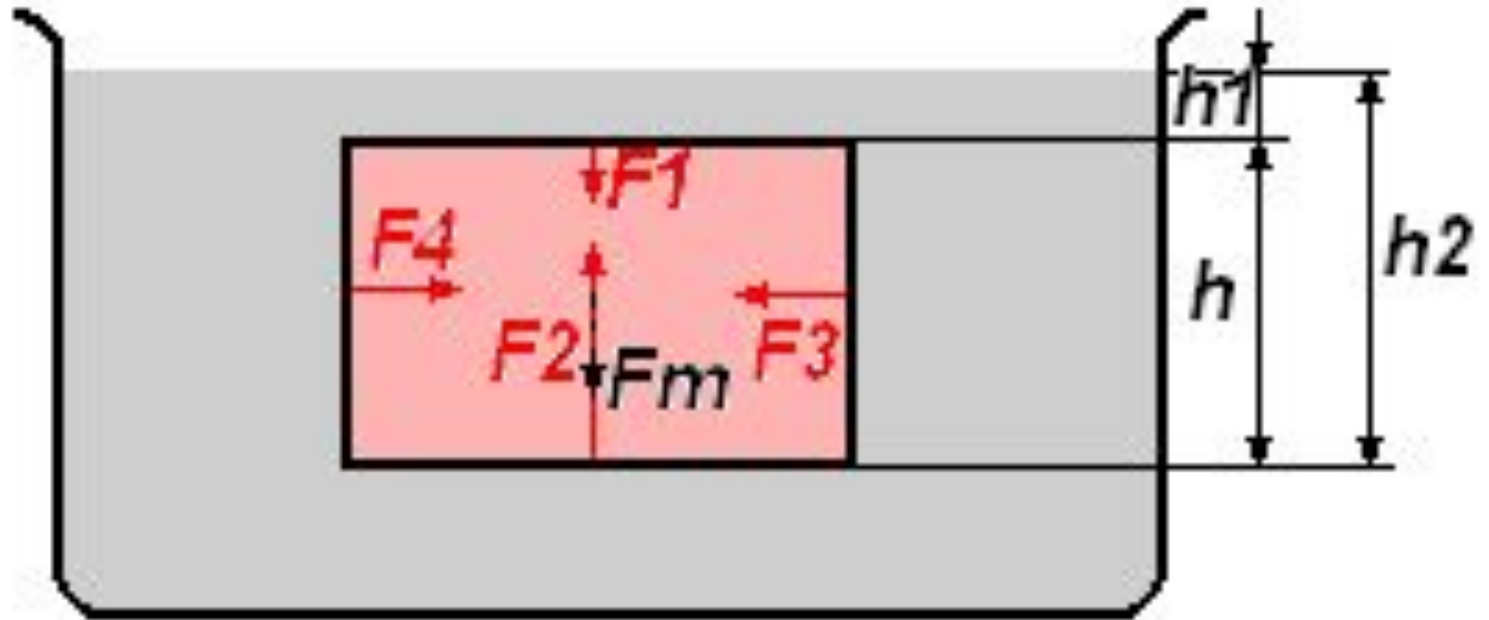




**Тело, помещённое в воду, плавает, если сила Архимеда уравновешивает силу тяжести тела.**



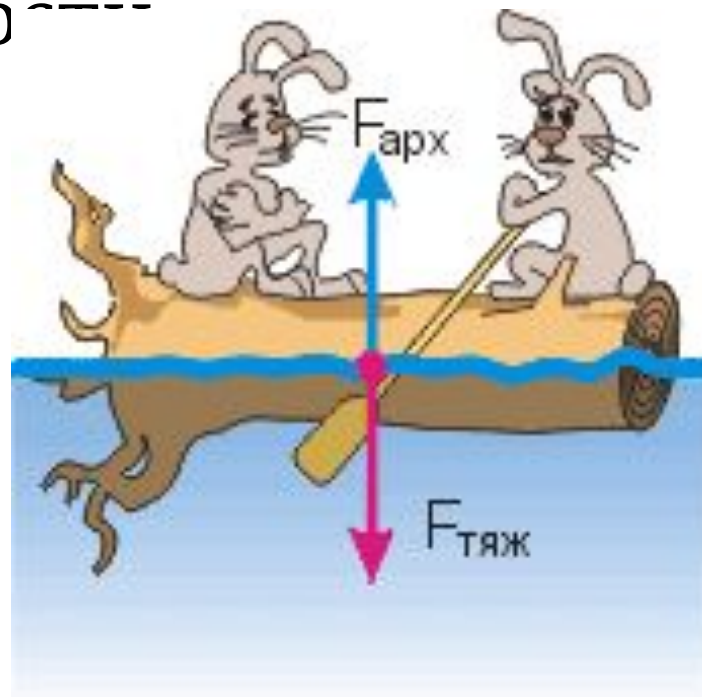
$$F_2 - F_1 = \rho g h_2 S - \rho g h_1 S = \rho g S \Delta h = \rho g V = mg$$





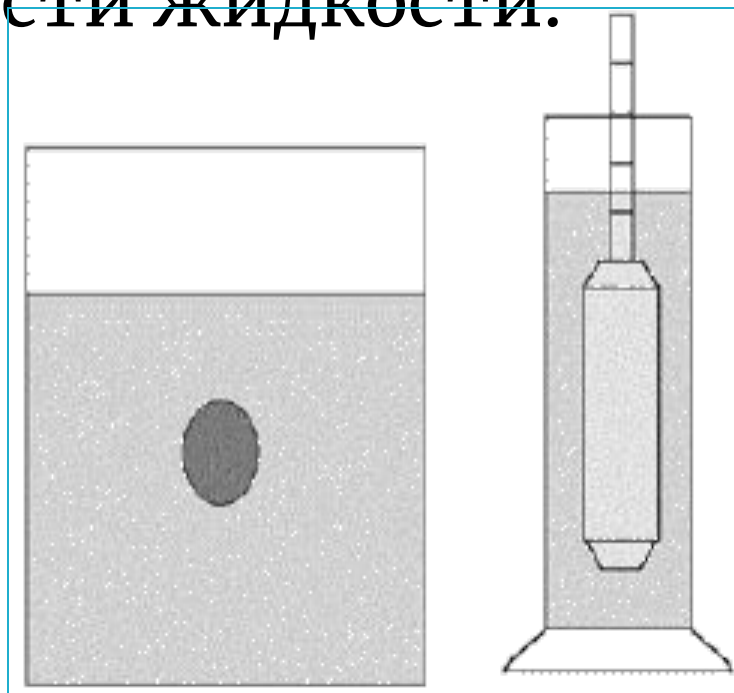
# Условия плавания тела

- 1. Тело частично погружено в жидкость, если сила тяжести равна силе Архимеда, а средняя плотность тела меньше плотности жидко



# Условия плавания тела

- 2. Тело находится в равновесии внутри жидкости, если сила тяжести равна силе Архимеда, а средняя плотность тела равна плотности жидкости.



# Условия плавания тела

- 3. Тело тонет (находится на дне), если сила тяжести больше силы Архимеда, а средняя плотность тела больше плотности жидкости.



# Литература

- Физика: учеб. Для 10 кл. с углубл. Изучением физики; ред. А.А. Пинского, О.Ф. Кабардина. – М. ; Просвещение, 2005. – 431 с.
- <http://termeh-sorokin.on.ufanet.ru/statika.htm>;
- Физика; 3800 задач для школьников и поступающих в ВУЗы. Н.В. Турчина, Л.И. Рудакова, О.И. Суров и др. – М.; Дрофа, 2000. – 672 л.
- <http://www.afportal.ru/physics/task/statics> ;



**Спасибо за  
внимание!**

