

Гидростатические задачи-парадоксы и софизмы

(из книги М.Е. Тульчинский, *Занимательные задачи-парадоксы и софизмы по физике*,
– М.: Просвещение, 1971, с.23-37, с. 109-117).

47. Дальность полета струи.

Тело, брошенное горизонтально, имеет тем большую дальность полёта, чем с большей высоты оно брошено (при прочих равных условиях). В известном опыте по давлению жидкости на стенки сосуда (рис. 26) дальность полёта водяных струй не увеличивается с высотой, а уменьшается. Объясните это кажущееся противоречие.

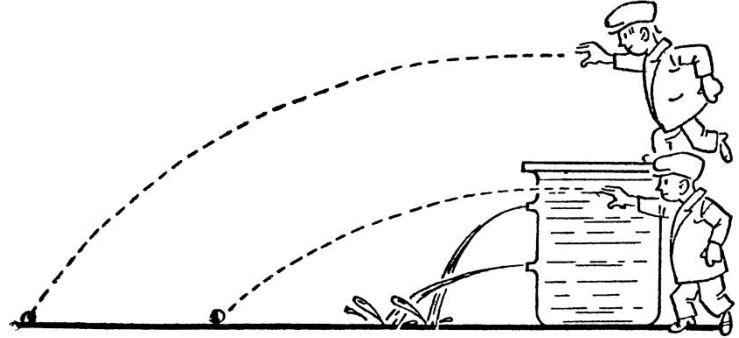


Рис. 26.

48. Опыт Паскаля.

Разрыв бочки в опыте Паскаля (рис. 27) представляет парадокс, так как единственная действующая здесь сила – тяжесть воды в трубке для этого, очевидно, недостаточна; для разрыва бочки требуется сила, значительно большая, чем вес бочки вместе с водой. Откуда же берётся эта дополнительная огромная сила?



Рис. 27.



49. Ещё раз об опыте Паскаля.

В известном опыте Паскаля (см. задачу № 48) давление в бочке с водой создается весом столба воды в трубке. Если удвоить силу, действующую на тело, то удвоится и давление. Следовательно, если вместо одной трубки с водой взять две (рис. 28), то давление воды на стенки бочки должно увеличиться вдвое. Соберём установку, изображенную на рисунке 28 Манометр, показывающий давление, производимое на жидкость, при замене одной трубки двумя не изменяет своих показаний. В чем ошибка рассуждений?

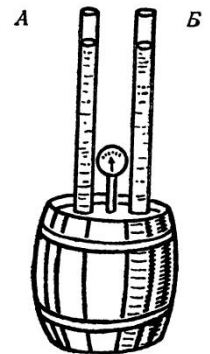


Рис. 28.

50. Парадокс Паскаля.

Сосуд $EADCBF$ с приставным дном CD опущен в резервуар с водой (рис. 29). Вода в объеме $ABCD$ имеет массу 2,5кг, значит, она весит 24,5Н. Если на дно CD поставить узкий цилиндр весом 25Н, то оно не отрывается, а если

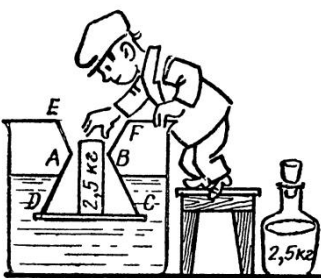


Рис. 29.



налить 2,5кг воды, то оно отрывается. Объясните парадокс.

51. Ещё один парадокс Паскаля.

Закон Паскаля формулируется так: если на какую-либо часть поверхности жидкости, заключённой в закрытый со всех сторон сосуд, производится давление, то оно передаётся через жидкость во все стороны одинаково. В соответствии с этим давления на площадки *A* и *B* (рис 30), находящиеся в верхнем и нижнем частях сосуда, должны быть одинаковы. Ибо если бы на одну из них давление было больше, чем на другую, то согласно закону Паскаля избыток давления целиком передался бы другой площадке и в итоге давления оказались бы равными. Но, с другой стороны, известно, что давление в какой-либо точке тяжёлой и спокойной жидкости равно весу столба жидкости, высота которого *BC* равна глубине погружения точки, а основание – единице. Следовательно, на площадку *B* жидкость будет производить давление, а на площадку *A* – не будет. Как разрешить эти два противоречащих друг другу вывода?

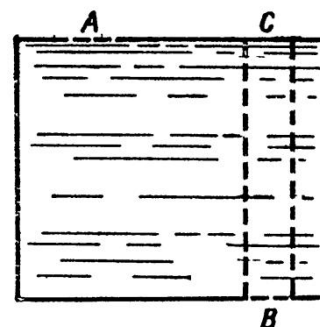


Рис. 30.

52. Вечный гидростатический двигатель.

В цилиндре, заполненном жидкостью, имеется поршень, форма которого изображена на рисунке 31. Слева на поршень действует некоторая сила. Так как справа площадь поршня больше, чем слева, то можно ожидать большую силу давления на воду. А раз так, то можно как будто получить и большую работу при некотором перемещении поршня влево. В чем ошибка таких рассуждений?

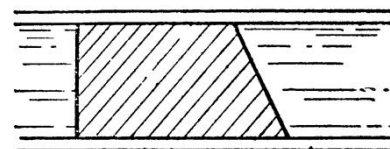


Рис. 31.

53. Закон сообщающихся сосудов.

В одинаковых сообщающихся сосудах *A* и *B* находится комнатная вода (рис. 32). Кран *K* закрыли и воду в сосуде *B* нагрели, вследствие чего её уровень немного повысился. Станет ли вода переливаться из одного сосуда в другой, если открыть кран?

Решение. Один ученик сказал, что увеличение высоты столба жидкости в сосуде *B* вызовет увеличение давления на уровне соединительной трубки. Поэтому жидкость будет перетекать из сосуда *B* в сосуд *A*, если открыть кран *K*.

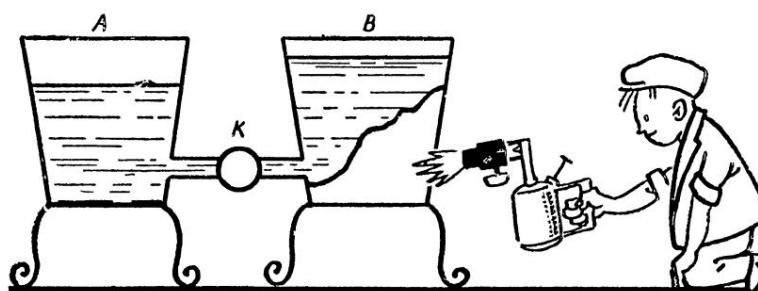


Рис. 32.

Другой ученик утверждал, что после нагревания воды в сосуде *B* давление в обоих сосудах не изменилось, так как не изменились вес воды и площадь основания дна сосуда.

Третий ученик доказывал, что давление воды в сосуде *B* на уровне соединительной трубки после её нагревания уменьшится. И если открыть кран *K*, то вода будет перетекать из сосуда *A* в сосуд *B*. Это происходит потому, что сосуд *B* расширяется кверху, и увеличение высоты уровня воды в нём не будет обратно пропорционально уменьшению плотности, вызванному нагреванием воды. Кто же из учеников прав?

54. Вечный гидродинамический двигатель.

Большая круглая железная труба, изогнутая в виде кольца с просветом между точками *A* и *B* (рис. 33), наполовину закапывается в землю и наполовину висит над землей. Мельничное колесо, состоящее из ряда лопаток, насаженное на ось, помещается внутри подземной части трубы в точке *B*. Если в эту трубу, в левую её половину, возле точки *B* сразу вылить 2-3 бочки воды, то (по мнению автора проекта) эта вода с разгона помчится по трубе, дойдёт до точки *A*, снова обрушится вниз и т.д., попутно приводя мельничное колесо в быстрое вращательное движение. Единственное, что якобы необходимо для дальнейшей бесперебойной работы мельницы, – это время от времени подливать в трубу воду для замены той, которая испарилась. В чём ошибка проекта? Как фактически стала бы двигаться вода в трубе?

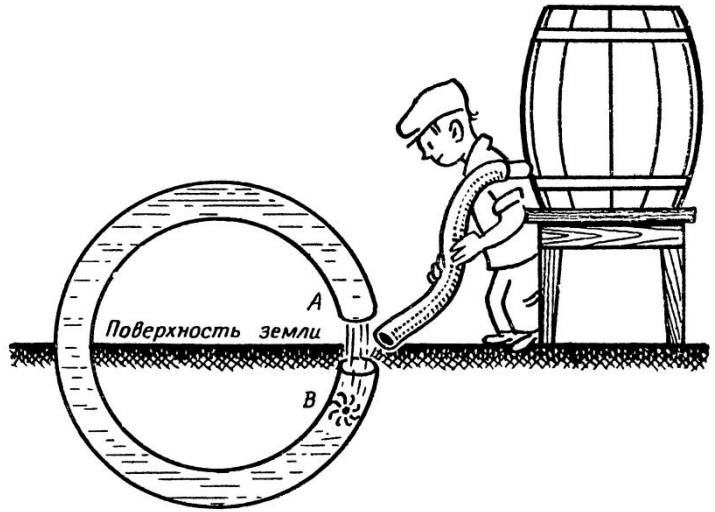


Рис. 33.

55. Что удерживает воду в стакане?

Полный стакан с водой, взятой при температуре 20°C, накрывают листом бумаги и, придерживая лист, переворачивают стакан. Затем убирают руку, которая придерживала лист. Вода не выливается. Её удерживает атмосферное давление. Повторим тот же опыт без листа бумаги. Вода выливается из стакана. Но ведь атмосферное давление существовало и в этом случае, а результат получился другой. Как объяснить этот парадокс?

56. Сколько весит барометрическая трубка?

К чашке равноплечих весов подвешена тонкостенная цилиндрическая барометрическая трубка со ртутью (рис. 34). Конеч трубки лишь на ничтожную глубину погружён в чашку со ртутью. Чтобы уравновесить весы, надо на другую чашку весов поместить груз, вес которого равен сумме весов трубки и ртутного столба в ней. Но ведь ртуть в трубке (если пренебречь трением ртути о стенки) своим весом давит на ртуть в чашке, а не на трубку. Как разрешить это противоречие?

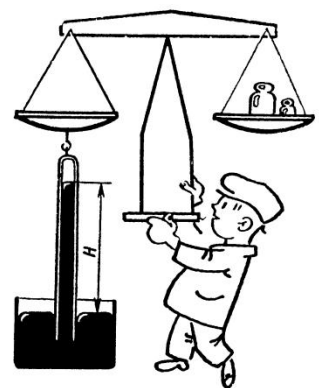


Рис. 34.

57. «Вечный» насос.

Был предложен следующий проект «вечного» насоса. На берегу реки ставится железный бак с краном *A* и трубой *B* (шлангом), опущенным в реку (рис. 35). Для того чтобы привести устройство в действие, надо через кран *A* выкачать из бака воздух и наполнить его водой. Если затем отключить воздушный насос и

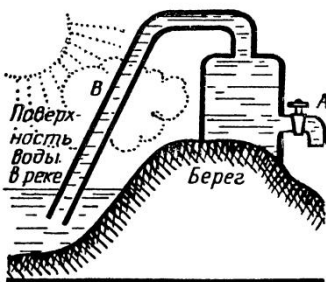


Рис. 35.

открыть кран *A*, то вода (по мнению изобретателя) в силу своей тяжести потечёт из крана, а атмосферное давление по трубке *B* будет поставлять в бак всё новые и новые количества воды. В чём ошибка проекта?

58. Ещё один проект «вечного» насоса.

Сосуд, имеющий форму, изображённую на рисунке 36, заполнен водой. Радиус отверстия *A* равен радиусу трубки *B*. Что произойдет, если вынуть пробку *A*? Явлениями капиллярности пренебречь.

Решение. Под действием веса жидкость будет вытекать из отверстия *A*. Одновременно в расширенную часть *C* будут поступать через трубку *B* новые количества жидкости.

Опыт опровергает это решение. В чём ошибка рассуждений?



Рис. 36.

59. Почему не текла вода по трубе?

Резиновый шланг, внутренний диаметр которого 15-20 мм, намотан на барабан диаметром 300 мм (рис. 37). Один конец шланга опущен в ведро, а другой поднят над барабаном примерно на 1 м. В шланге воды нет. На нём нет ни кранов, ни зажимов. Если вставить воронку в верхний конец шланга и начать наливать в неё воду из водопровода, то вода из нижнего конца шланга не польется. А ведь давление воздуха у верхнего и нижнего концов шланга одинаковое. Как объяснить этот парадокс?

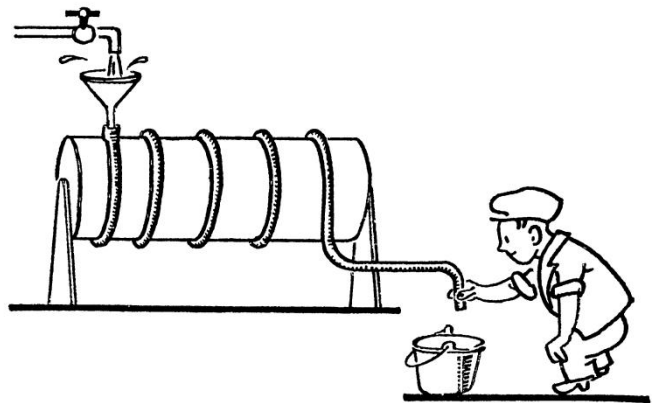


Рис. 37.

61. Фонтан Герона.

Физик древности Герон Александрийский предложил оригинальную конструкцию фонтана (рис. 38). Вначале сосуд *A* наполняют водой и некоторое количество воды наливают в сосуд *C*. Получится ли вечный круговорот воды в системе: сосуд *C*, трубка 1, сосуд *B*, трубка 2, сосуд *A*, трубка 3, струя 4, сосуд *C* и т.д.?

Так как фонтан является действующей системой (в чём легко убедиться на опыте, соорудив его из консервных банок), то не нарушается ли закон сохранения энергии: вода в струе 4 поднята на более высокий уровень, чем она была в сосуде *C*?

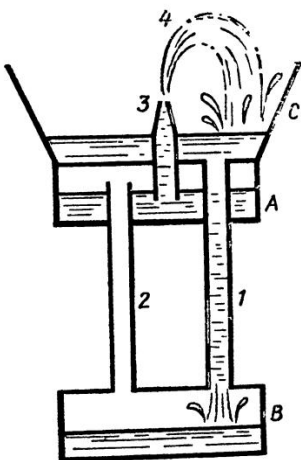


Рис. 38.

63. Давление воды на дно сосуда.

В сосуде с водой плавает стакан, в котором находится камень. Как изменится уровень воды в сосуде, если из стакана вынуть камень и опустить его в сосуд?

Решение. При перенесении камня в сосуд общий вес воды, камня и стакана не меняется. Площадь дна сосуда тоже не меняется. Следовательно, давление системы трёх тел на дно сосуда не должно измениться. Но давление столба воды на дно сосуда $p = pgh$, где p – плотность воды, g – ускорение силы тяжести, h – высота столба. Следовательно, уровень воды в сосуде не должен измениться.

Проделаем соответствующий опыт и убедимся, что уровень воды в сосуде понизится. В чём ошибочность решения?

64. Как рассчитать выталкивающую силу?

В сосуде со ртутью плавает чугунный цилиндр с достаточно широким основанием, а сверху налита вода (рис. 40). Определить выталкивающую силу, действующую на цилиндр.

Решение. На нижнюю часть цилиндра действует выталкивающая сила, равная весу ртути в объеме $ABKE$. На верхнюю часть действует выталкивающая сила, равная весу воды в объеме $EКСМ$. Следовательно, сила, которая выталкивает цилиндр, равна весу ртути в объеме $ABKE$ плюс вес воды в объеме $EКСМ$.

С другой стороны, вода оказывает на ртуть некоторое давление, которое передается на нижнее основание цилиндра AB . Следовательно, выталкивающая сила, действующая на нижнюю часть цилиндра AB , больше веса ртути в объеме $ABKE$. Наряду с этим сила, с которой вода действует на верхнюю часть цилиндра, будет не выталкивающей, а погружающей. Следовательно, сила, которая выталкивает цилиндр, равна разности сил давления на верхнее и нижнее его основания. Однако расчёт показывает, что выталкивающая сила равна весу ртути в объеме $ABKE$ плюс вес воды в объеме $EКСМ$. Какое же из решений является научно более строгим?

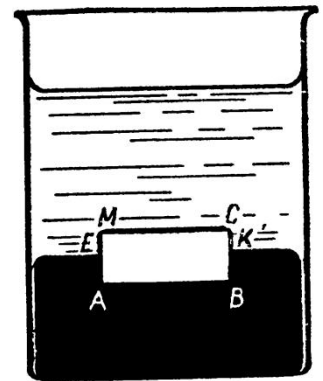


Рис. 40.

65. Положение центра тяжести плавающего бруска.

В сосуде со ртутью плавает чугунный брусок. Изменится ли положение центра тяжести бруска по отношению к уровню ртути, если в сосуд налить воды (см. задачу № 64)?

Решение. Вода давит на брусок сверху и с боков. Силы давления на брусок с боков уравниваются, а сила давления на брусок сверху должна понизить положение центра тяжести бруска по отношению к уровню ртути.

Проделаем соответствующий опыт и обнаружим, что брусок в ртути не опускается, а немного всплывает. В чём ошибочность представленного выше решения?

66. Когда тело находится в устойчивом равновесии?

Известно положение о том, что равновесие тела тем более устойчиво, чем ниже расположен его центр тяжести. На рисунке 41 показаны два положения плавающей льдины. Положение b несомненно является более устойчивым, но центр тяжести льдины находится выше, чем в положении a . Как разрешить это противоречие?

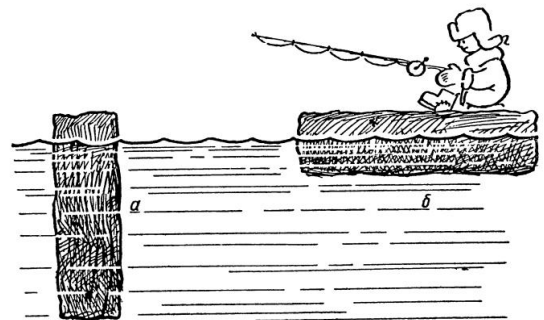


Рис. 41.

67. Как совершился переход энергии?

Кусок дерева, помещённый на дно сосуда с водой, всплывая, приобрел кинетическую энергию. Согласно закону сохранения энергии не может возникнуть «из ничего». Какое же тело передало энергию куску дерева?

68. Нарушается ли закон сохранения энергии?

Обычно считают, что сифоном можно переливать жидкость из верхнего сосуда в нижний. Если в большой сосуд с водой поместить два сосуда *A* и *B*, причём в первом находится керосин, а во втором – вода (рис. 42), и соединить их трубкой, то керосин будет переливаться из нижнего сосуда *A* в верхний сосуд *B*. Таким образом, керосин, всплывая, увеличивает свою потенциальную энергию по отношению к Земле. Не противоречит ли этот опыт закону сохранения энергии?

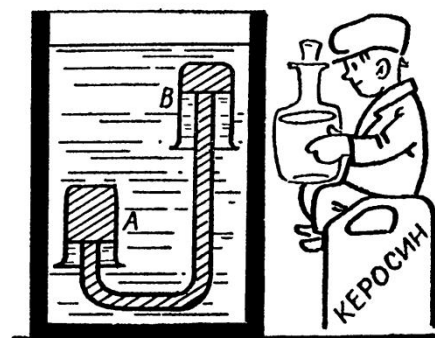


Рис. 42.

69. Земные и лунные ареометры.

Двое учащихся поспорили. Один сказал, что космонавтам придется изменить шкалу (увеличить деления в 6 раз) земного ареометра, когда им придется пользоваться на Луне, так как сила тяжести на ней в 6 раз меньше, чем на Земле.

Другой доказывал, что земными ареометрами можно пользоваться на любой планете, ибо если в некоторое число раз изменяется вес самого ареометра, то во столько же раз изменяется и вес вытесненной им воды. Кто же из них прав?

70. Почему опрокинулась кювета?

Кювета с водой стоит на бруске (рис. 43). На воде плавает коробочка с гирей. Кювета находится в равновесии. Если вынуть гирю из коробочки и поставить на дно кюветы под тем местом, где плавала коробочка, то равновесие нарушится (рис. 44), хотя вес левой части кюветы как будто бы не изменился. Объясните ошибку рассуждений.



Рис. 43.

Рис. 44.

71. Какой необходим груз?

Если в установке, изображенной на рисунке 45, пережечь нить *AB*, то тело *P* имеющее объем 100см^3 , целиком погружается в воду и остается висеть на нити *ACB*. При этом равновесие весов нарушается. На какую чашку весов, и какой добавочный груз необходимо положить, чтобы восстановить равновесие

Решение. В соответствии с законом Архимеда тело *P*, погруженное в воду, будет выталкиваться вверх с силой

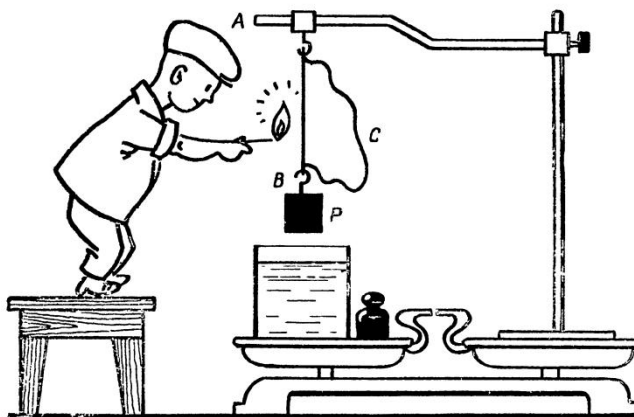


Рис. 45.

0,98Н. Поэтому на правую чашку весов будет действовать вес штатива и вес тела P , уменьшенный на вес вытесненной им воды.

Следовательно, для восстановления равновесия весов необходимо на правую чашку поставить гирию массой 100г.

Однако опыт показывает, что на правую чашку весов необходимо поставить гирию массой 200г. В чём ошибка решения?

72. Какая часть сосуда тяжелее?

Симметричный относительно вертикальной плоскости OK сосуд $ABCD$ (рис. 46) наполнен водой и опирается о ребро неподвижной призмы. В правую часть сосуда опустили кусок алюминия массой 0,5кг, а в левую – кусок свинца массой 0,4кг. Какая часть сосуда перетянет?

Решение. Сосуд представляет собой сложный равноплечий рычаг. Так как вес куса алюминия больше, чем свинца, то перетянет правая сторона сосуда, где лежит кусок алюминия.

Опыт, однако, опровергает это заключение. В чём ошибка решения?

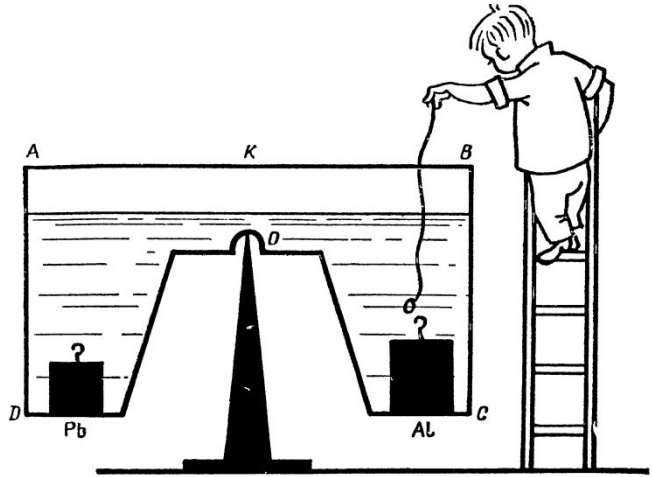


Рис. 46.

73. Капризный поплавок.

В высокий стеклянный цилиндрический сосуд помещают песочные часы, наливают воды до самого верха и закрывают крышкой (рис. 47). Часы всплывают под самую крышку. Затем цилиндр переворачивают. Часы не всплывают (рис. 48), хотя они окружены водой и выталкивающая сила больше веса часов. Через определенное промежуток времени, когда некоторое количество песка высыплется в нижнее отделение, часы начнут медленно всплывать. Таким образом, перетекание песка из верхнего отделения часов в нижнее влияет на его плавучесть. Но ведь часы герметически закрыты и вес их от перетекания песка не изменяется. Как объяснить этот парадокс?



Рис. 47.

Рис. 48.

74. Как избежать перегрузки?

Взлёт космического корабля с Земли происходит с ускорением, в несколько раз превышающим ускорение силы тяжести. Поэтому находящийся в корабле космонавт подвергается действию перегрузки (силы, прижимающей человека к опоре).

Чтобы избежать перегрузки, предлагают помещать космонавта в камеру с водой (плотность воды примерно равна плотности человеческого тела). Авторы проекта считали, что человек, находясь в воде, становится невесомым и, следовательно, совершенно

избавляется от действия как естественной, так и искусственной тяжести (перегрузки). В чём состоит ошибка такого заключения?

75. Простой проект вечного двигателя.

Рассмотрим один из проектов вечного двигателя. В вырез стенки AB бака с жидкостью вставлен вал (рис. 49), ось которого O лежит в плоскости стенки AB . Вал закрывает собой весь вырез, так что жидкость не выливается; вал может вращаться на своей оси. На половину вала, погруженную в жидкость, по закону Архимеда действует подъемная сила, которая, по мысли изобретателя, должна вызвать вращение вала против часовой стрелки. Это вращение должно было бы продолжаться вечно. В чём ошибка проекта?

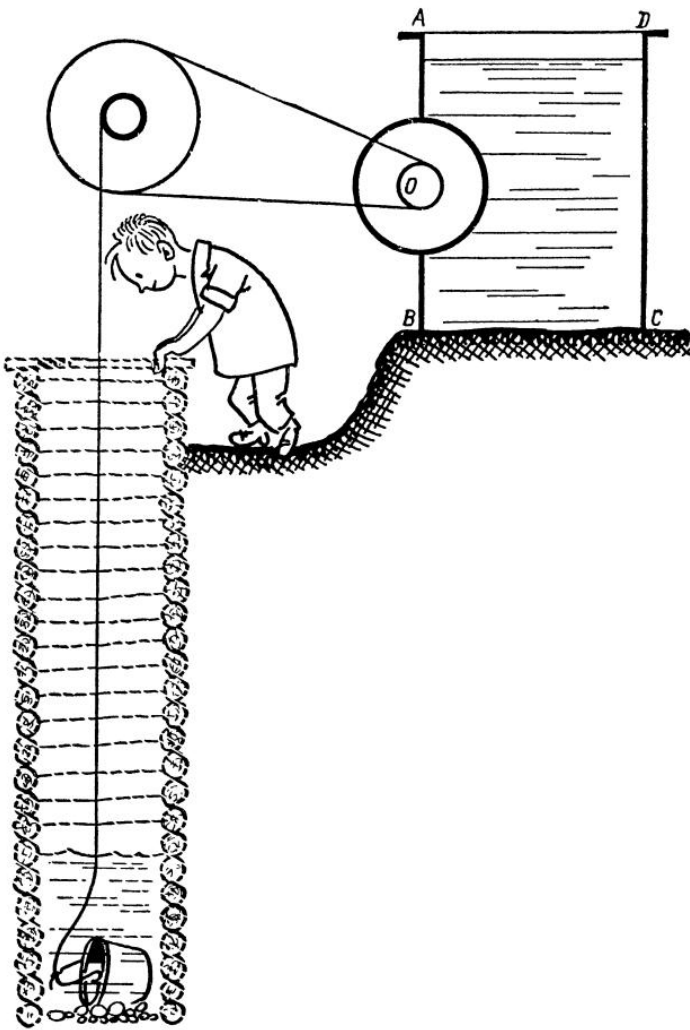


Рис. 49.

76. Вечный двигатель Леонарда.

Швейцарец Г. Леонард в 1865 г. Предложил следующий проект вечного двигателя. Бесконечная цепь из жестяных поплавков проходит правой половиной сквозь сосуд B с водой (рис. 50). По мысли автора, поплавки, стремясь всплыть, будут вращать колесо C , через которое эта цепь переброшена, против движения часовой стрелки. В чём ошибка проекта?

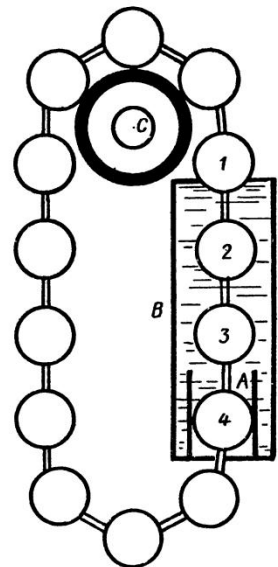


Рис 50.

77. Вечный двигатель времён Леонардо да Винчи.

В XV в. был предложен проект вечного двигателя, основанный на законе Архимеда¹. В проекте этого вечного двигателя имеется колесо с семью откидывающимися на шарнирах грузами (рис. 51). Изобретатель погрузил одну треть колеса в воду, обоснованно предполагая, что вес этой части колеса и грузов уменьшится по известному закону Архимеда и колесо придет во вращение. В чём ошибка

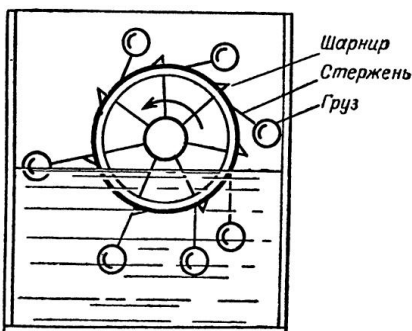


Рис. 51.

проекта?

¹ – Чертеж проекта был обнаружен в записях и набросках знаменитого итальянского художника и учёного Леонардо да Винчи. Достоверно известно, что он не занимался изобретательством вечного двигателя. По-видимому, этот чертеж попал к нему на заключение от какого-либо итальянского изобретателя.

78. Вечный двигатель В. Конгрева.

Английский артиллерист и инженер Вильям Конгрев сконструировал вечный двигатель, состоящий из трехгранной призмы с роликами *K*, *M*, *H* на углах и губками, натянутыми вокруг призмы (рис. 52). Всё это частично погружено в воду. Изобретатель полагал, что вес губки *A* увеличится за счёт впитавшейся воды. Вследствие этого нарушится равновесие, и лента с губками передвинется. Затем впитает воду губка *B*, ставшая на место губки *A*, лента снова повернется, и так бесконечно. Чтобы увеличить разницу между весом губок, вышедшей из воды над роликом *K* и погружающейся в воду у ролика *M* (т. е. более надёжно обеспечить движение), автор предусмотрел выжимание воды из губок над роликом *K* посредством грузов *P*, прикрепленных к губкам. Но... двигатель не работал. В чём ошибка проекта?

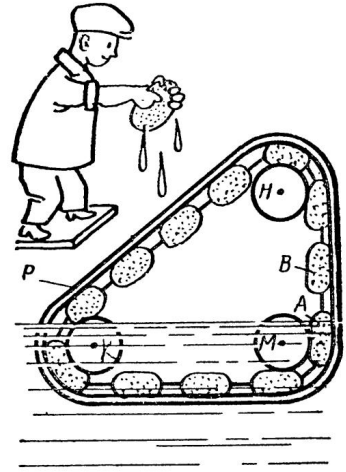


Рис. 52.

Ответы с пояснениями

47. Дальность полёта зависит не только от высоты но и, в большей степени, от начальной скорости бросания. Начальная скорость струй, вытекающих из нижнего отверстия, больше, чем из верхнего, так как давление жидкости на уровне нижнего отверстия больше, чем на уровне верхнего. Более строго это доказывается следующим расчетом. Пусть на высоте *H* от дна цилиндрического сосуда и на глубине *h* от верхнего уровня жидкости имеется отверстие в стенке сосуда (рис. 147). Пусть частицы жидкости вылетают из него со скоростью *V*. Тогда дальность полета струи *S* определится из совместного решения уравнений:

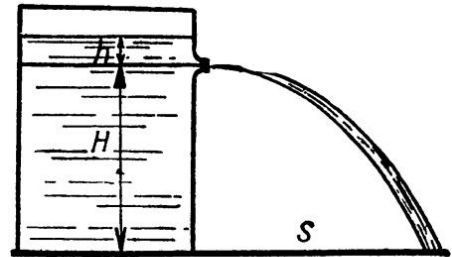


Рис. 147.

$$H = gt^2/2 \text{ и } S = Vt, \text{ т.е. } S = V \cdot t.$$

Скорость вылета частиц из отверстия выражается формулой Торричелли:

$$V = \sqrt{2g(h-H)}.$$

Подставляя правую часть её в выражение для дальности, получим:

$$S = 2 \cdot \sqrt{H(h-H)}.$$

Таким образом, наибольшая дальность полета струи имеет место тогда, когда

$$H = h,$$

т. е. когда отверстие сделано посредине высоты сосуда, а жидкость всё время заполняет сосуд. Во всех других случаях расположения отверстия вверх и вниз от середины дальность полёта будет меньше. В случае, указанном в условии задачи, чем выше отверстие, тем меньше дальность.

48. Когда столб воды в трубке, имеющий небольшой вес, давит на воду в бочке, это давление, по закону Паскаля, передаётся без изменения по всем направлениям. Возникающая при этом сила давления на стенки пропорциональна площади стенок. Таким образом, хотя давление и невелико, сила давления огромна.

49. Если б тело, на которое производится давление столбов жидкости в трубках, было твердым, то ошибочность заключения была бы очевидна: при удвоении силы и удвоении площади, на которую действует сила, давление должно остаться неизменным.

Согласно закону Паскаля давление, производимое столбом жидкости в трубке *A* на воду в бочке, передаётся по всем направлениям одинаково. При достаточной крепости бочки сила давления воды на бочку уравнивается жёсткостью её стенок. В основании трубки *B* будет то же давление, что и в основании трубки *A*. Поэтому уравновесить силу давления воды изнутри бочки на основание трубки *B* может вес столба воды в трубке *B* высотой, равной высоте столба воды в трубке *A*. Столб воды в трубке *B* является своеобразной «пробкой», запирающей бочку и позволяющей столбу воды в трубке *A* производить давление. Столб воды в трубке *B* с таким же успехом может быть заменён деревянной пробкой. Итак, если вместо одной трубки с водой взять две, давление на стенки бочки не изменится.

50. Хотя вода в объёме *ABCD* весит 24,5Н, сила давления этой воды на дно *CD* больше, чем 24,5Н. Сила давления воды на дно *CD* равна весу цилиндрического столба воды с основанием, равным площади дна *CD*, и высотой, равной разности уровней площадок *AB* и *CD*. Так как сосуд *ABCD* суживается кверху, то его объём меньше указанного объёма цилиндра. Поэтому дно *CD* отрывает сила не 24,5Н, а большая сила, и если на дно *CD* поставить груз весом 24,5Н, то дно не отпадает.

51. Рассмотрим механизм передачи давления жидкостью в соответствии с законом Паскаля. Когда на поверхность жидкости в каком-либо месте производится давление, то определенный слой её в этом месте уплотняется. Это создает силу упругости, препятствующую дальнейшему уплотнению жидкости, с одной стороны, и вызывает давление на соседний слой, с другой стороны. Так, переходя от слоя к слою, давление передаётся по всей жидкости, уравниваясь на любой площадке, помещённой в любом месте жидкости. Поэтому давление, производимое на жидкость внешней силой, например, на площадку *C* (рис. 30), будет передано ею одинаково и на площадку *A*, и на площадку *B*.

Точно так же и гидростатическое давление вышележащих слоёв жидкости на нижележащие, созданное весом жидкости, приводит к уплотнению жидкости в соответствующем месте и уравниванию на любой глубине. В отличие от вышерассмотренного случая гидростатическое давление по мере погружения в жидкость растёт, так как увеличивается высота столба весомой жидкости. Это вызывает увеличение уравнивающей силы упругости нижележащего слоя жидкости.

Противоречие, сформулированное в условии задачи, разрешается тем, что разность гидростатических давлений на площадку *B* и площадку *A* не может быть передана жидкостью потому, что этому препятствует вес вышележащих слоёв жидкости. В условиях невесомости «противоречие» исчезает – давления на площадки *A* и *B* одинаковы во всех случаях.

52. Сила давления направлена перпендикулярно к поверхности, на которую жидкость давит. Разложив эту силу на горизонтальную и вертикальную составляющие (рис. 148) и рассмотрев подобные треугольники *ABC* и *OF_BF₂*, убеждаемся, что силы *F₁* и *F₂* равны. А так как они противоположно направлены друг к другу, то поршень будет находиться в равновесии.

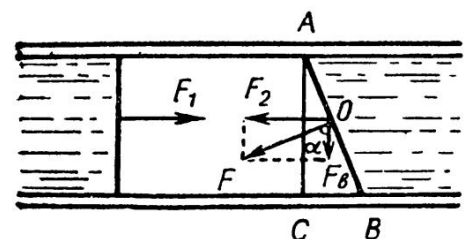


Рис. 148.

53. Рассмотрим давление у дна сосуда B . До нагревания оно было равно $p = \rho gh$, а после нагревания стало $p_1 = \rho_1 gh_1$, где ρ и h – плотность и высота холодной воды, а ρ_1 и h_1 – горячей воды.

Тогда $p_1/p = \rho_1 gh_1/\rho gh$.

Но вес воды при нагревании не изменяется. Поэтому $p_1/p = V/V_1$, где V – объём воды до нагревания, а V_1 – после нагревания. Следовательно, $p_1/p = Vh_1/V_1h$. Объём усеченного конуса равен: $V = 1/3 h (s + S +)$ и $V_1 = 1/3 h (s + S_1 +)$, где s – площадь дна, а S и S_1 – площадь поверхности воды до и после нагревания. Окончательно получаем:

$$p_1/p = (s + S_+)/(s + S_1+).$$

Так как $S < S_1$, то $p_1 < p$, т. е. нагревание воды приводит к уменьшению давления. Отсюда следует, что вода будет переливаться из сосуда A в сосуд B .

54. Устройство представляет собой сообщающиеся сосуды. Если в точке B вливаемой воде сообщить скорость, достаточную для того, чтобы она описала полную окружность в направлении BA и вылилась из отверстия A , то вследствие трения скорость в точке B станет меньше начальной. После ряда циклов скорость воды уменьшится настолько, что она не сможет пройти верхнюю точку окружности и возвратиться обратно, двигаясь по часовой стрелке. При этом часть воды выльется из отверстия B . Остаток воды, совершив некоторое число колебаний, расположится в нижней части трубы, и всё движение воды прекратится.

55. В первом случае на воду в стакане действовали сила тяжести и сила давления атмосферы. (Давлением насыщающего пара в пузырьках, содержащихся в воде при температуре 20°C , пренебрегаем.) Так как вторая значительно больше первой, то вода из стакана целиком вся сразу, как поршень из цилиндра (рис. 149), выйти не может. Если немного отогнуть лист от стакана так, чтобы образовалась щель, то часть воды будет выливаться, а вместо неё будет входить воздух. И это будет продолжаться до тех пор, пока вся вода не вытечет. Если без листа бумаги перевернуть стакан, то вода получит возможность произвольным образом изменить свою форму. Например, она сможет выливаться, проходя через положения $I-III$ (рис. 150).

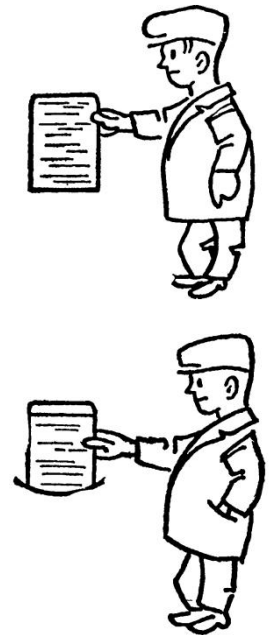


Рис. 149.

56. На трубку действует притяжение Земли и сила атмосферного давления (а не вес ртути), равная произведению атмосферного давления на площадь поперечного сечения трубки. Сила атмосферного давления равна

$$F = p_{am}S = \rho_{pm}gHS = \rho_{pm}gV_{pm},$$

т. е. равна весу ртутного столба в трубке.

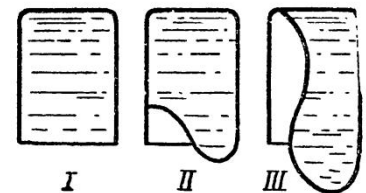


Рис. 150.

57. Если открыть кран A , то, приняв давление воздуха на воду на уровне крана A и на уровне реки одинаковыми, придём к выводу, что уровень воды в баке выше, чем в реке. Поэтому, как в обычном сифоне, вода потечёт из бака по трубе B в реку. Если всё же учитывать разность атмосферного давления на высоте крана A и на уровне реки, то оно мало по сравнению с гидростатическим давлением воды и существенного влияния на работу установки оказать не может.

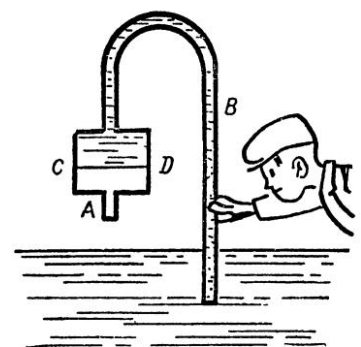


Рис. 151.

58. Сначала прибор действует как сифон, т. е. жидкость перетекает из сосуда *C* по трубке *B* в основной резервуар. Затем образовавшаяся неустойчивая поверхность *CD* в широком сосуде (рис. 151) пропускает пузырёк воздуха в узкую часть трубки. Вследствие этого столб воды в верхнем колене делится на две части, и вода после этого будет выливаться как из трубы *B*, так и из отверстия *A*.

59. В процессе заполнения первого витка шланга внутри него образуется воздушная ловушка (пробка). Этот-то воздух и не даёт воде протечь сквозь весь первый виток.

61. По трубке *1* из сосуда *C* вода выливается в сосуд *B* и создаёт сжатие воздуха в сосуде *B* и через трубку *2* в сосуде *A*. Сжатый воздух заставляет воду через трубку *3* бить фонтаном. Фонтан действует, пока вся вода из сосуда *A* не перетечёт в сосуд *B*. Таким образом, вечного круговорота воды не будет. Нет и нарушения закона сохранения энергии. Свою кинетическую энергию частицы струи *4* получают за счёт потенциальной энергии воды, наполняющей сосуд *A*.

63. В решении предполагается, что давление на дно во всех точках одинаково и тогда, когда камень плавал, находясь в стакане, и тогда, когда он находился на дне сосуда. А ведь во втором случае в местах, где камень соприкасался с дном, давление на дно было большим, чем в местах, где вода покрывала дно.

64. В первом решении допущены две ошибки, на которые указывается во втором решении: неправильно определена выталкивающая сила, действующая на нижнюю часть цилиндра, и ошибочно допущено, что на верхнюю его часть также действует выталкивающая сила. Однако эти ошибки компенсируют друг друга, так что в итоге получается правильный результат.

Расчёт, о котором говорится во втором решении, выглядит так: на основании *AB* производится давление, равное

$$p_{AB} = (\rho_1 g h + CK) + \rho_2 g BK,$$

где *h* – толщина слоя воды над верхним основанием, ρ_1 – плотность воды, ρ_2 – плотность ртути, *g* – ускорение силы тяжести. На верхнее основание производится давление $p_{MC} = \rho_1 g h$. Если *S* – площадь основания цилиндра, то выталкивающая цилиндр сила равна:

$$F = (p_{AB} - p_{MC})S = CK \times S \rho_1 g + BK \times S \rho_2 g.$$

Таким образом, выталкивающая сила равна весу воды в объёме *EKCM* плюс вес ртути в объёме *ABKE*. Более строгим является второе решение.

65. В решении не учтено, что вода также давит на ртуть, а ртуть передаёт это давление на брусок в направлении снизу вверх. Так как высота водяного столба, действующего на ртуть, больше, чем высота водяного столба, действующего на брусок, то сила давления воды на брусок снизу вверх больше, чем сверху вниз. И брусок немного всплывает по отношению к уровню ртути.

66. Противоречие разрешается тем, что под понятием «равновесие тела» следует понимать равновесие системы вода – льдина, а не равновесие части системы – самой льдины. В случае *б* центр тяжести системы действительно находится ниже, чем в случае *а*.

67. Когда кусок дерева всплывал, некоторое количество воды опустилось, заняв объём, принадлежавший раньше куску дерева. Следовательно, имел место переход части потенциальной энергии системы вода – дерево в кинетическую энергию куска дерева.

68. Противоречия с законом сохранения энергии здесь нет. На погружение сосуда A в воду на некоторую глубину была затрачена определенная энергия.

Несмотря на то, что керосин, всплывая, увеличивает свою потенциальную энергию по отношению к Земле, потенциальная энергия системы вода – керосин уменьшается. Это объясняется тем, что вместо поднятого вверх «легкого» керосина теперь в сосуде A находится «более тяжёлая» вода, занимающая тот же объём, который занимал керосин. Изменение потенциальной энергии системы в данном случае, как и во всяком сифоне, превращается сначала в кинетическую энергию струи керосина, а затем во внутреннюю энергию всей системы.

69. Шкала ареометра, градуированная на Земле, пригодна на любой планете.

70. Коробка с гирей весит столько же, сколько и вытесненная ею вода. Поэтому перемещение коробки с гирей не нарушает равновесие кюветы. Если же в левой части кюветы вынуть гирю и поставить на дно кюветы, то коробочка всплывает, освободившаяся полость заполняется водой, левая часть становится тяжелее и равновесие нарушается.

71. В решении не учтено, что в соответствии с третьим законом Ньютона, если вода действует с некоторой силой на тело вверх, то оно в свою очередь действует на воду с такой же силой вниз. Следовательно, груз P толкает сосуд с водой вниз с силой $0,98N$. Обе силы создают моменты, вращающие коромысло весов против движения часовой стрелки. Поэтому, чтобы восстановить равновесие, на правую чашку весов необходимо поместить груз, масса которого $200g$.

72. В решении не учтено уменьшение веса правой и левой частей сосуда вследствие того, что оба куса металла вытесняют некоторый объём воды, равный объёму погруженного тела. Так как объём куска алюминия равен $0,5kg / 2700kg/m^3 = 1,85 \times 10^{-4}m^3$, а куска свинца $0,4kg / 11400 kg/m^3 = 0,35 \times 10^{-4}m^3$, то уменьшение веса воды в правой части сосуда будет большим. Таким образом, погружая тела, увеличивают массу левой части сосуда на $0,4kg - 0,035kg = 0,365kg$, а правой – на $0,5kg - 0,185kg = 0,315kg$. Следовательно, левая часть сосуда перетянет.

73. Вес часов здесь не является определяющим фактором. Когда песок находится в верхнем отделении, то часы, из-за того что центр тяжести расположен высоко, а верх и низ часов сделаны выпуклыми, отклоняются и их стенки упираются в стенки цилиндра. Возникающая при этом сила трения удерживает песочные часы на дне цилиндра. После того как часть песка перетечёт в нижнее отделение, часы выпрямляются и без помех всплывают. Если часы слегка тяжелее вытесняемого ими объёма воды, эффект получается обратный. Иначе говоря, в нормальном положении часы покоятся на дне цилиндра. Если цилиндр перевернуть, то часы будут оставаться некоторое время наверху и спустятся лишь после того, как часть песка перетечёт в нижнее отделение. Объяснение этого эффекта в принципе такое же, как и в первом случае.

74. Невесомость погруженного в воду человека заключается в том, что он находится в ней в состоянии безразличного равновесия, т. е. не давит на подставку и не растягивает «нить» подвеса. Но сам человек подвергается силе гидростатического давления, зависящего от глубины погружения.

Если камера с водой, в которой находится космонавт, движется ускоренно, то вода испытывает большое давление со стороны одной из её стен. Это давление вода передаёт по всем направлениям, в том числе и на все точки тела человека. Таким образом, не удастся освободить космонавта от действия перегрузки. Различие состоит лишь в том, что

увеличенное давление воды распределяется равномерно по всему телу. Перегрузки, действующие на внутренние органы человека, остаются прежними.

75. Вал вообще вращаться не будет, так как жидкость давит на его боковую поверхность во всех точках нормально (по направлению радиуса вала). Поскольку направления этих сил проходят через ось вала, они не могут вызвать его вращения. Более того, равнодействующая всех этих сил направлена наружу, поэтому вал будет выталкиваться из бака, а не вращаться.

76. Те же самые силы, которые действуют на поплавок 1, 2, 3 вверх, будут препятствовать движению поплавка 4. То обстоятельство, что из воды выталкиваются три поплавок, а в воду вталкивается один, дела не меняет. По третьему закону Ньютона, с какой силой вода выталкивает три поплавок, с такой же силой поплавок действуют на воду в противоположном направлении. Эта дополнительная к весу сила давления передаётся на четвертый поплавок, когда он входит в трубу А. Поэтому система работать не будет.

77. Уменьшение веса колеса, погруженного в жидкость, одинаково как справа от вертикальной линии, проведенной через ось колеса, так и слева, т. е. суммарный момент выталкивающих сил равен нулю. Значит, колесо, получив толчок, в конце концов, остановится. «Ни одно тело не может при помощи своего движения падения вернуться на первоначальную высоту; движение его имеет конец», – писал Леонардо да Винчи.

78. Парадокс разъясняется известным условием равновесия сил на наклонной плоскости, сформулированным С. Стевином: «Тело на наклонной плоскости удерживается в равновесии силой, которая действует в направлении наклонной плоскости и во столько раз меньше, во сколько раз длина наклонной плоскости больше высоты её», т. е. $F/P = h/l$.