

Прибор для прямой проверки II закона Ньютона

В статье описан разработанный автором регулируемый источник постоянной механической силы для прямой проверки II закона Ньютона. Прибор обеспечивает получение постоянной силы натяжения нити, которая не зависит от массы, скорости и ускорения прикрепленного к нити тела. Во время движения модуль силы легко регулируется и измеряется с помощью указателя, не связанного с перемещающимся телом.

Прибор позволяет провести прямое экспериментальное исследование зависимости ускорения от силы и массы. Необходимость такого прибора определяется тем, что в настоящее время не разработаны способы прямой проверки II закона Ньютона для случая поступательного движения: $a \sim F$ при $m = \text{const}$ и $a \sim 1/m$ при $F = \text{const}$.

В основу действия прибора (его общий вид представлен на рис. 1) положено свойство силы сухого трения — независимость ее от скорости движения тел.

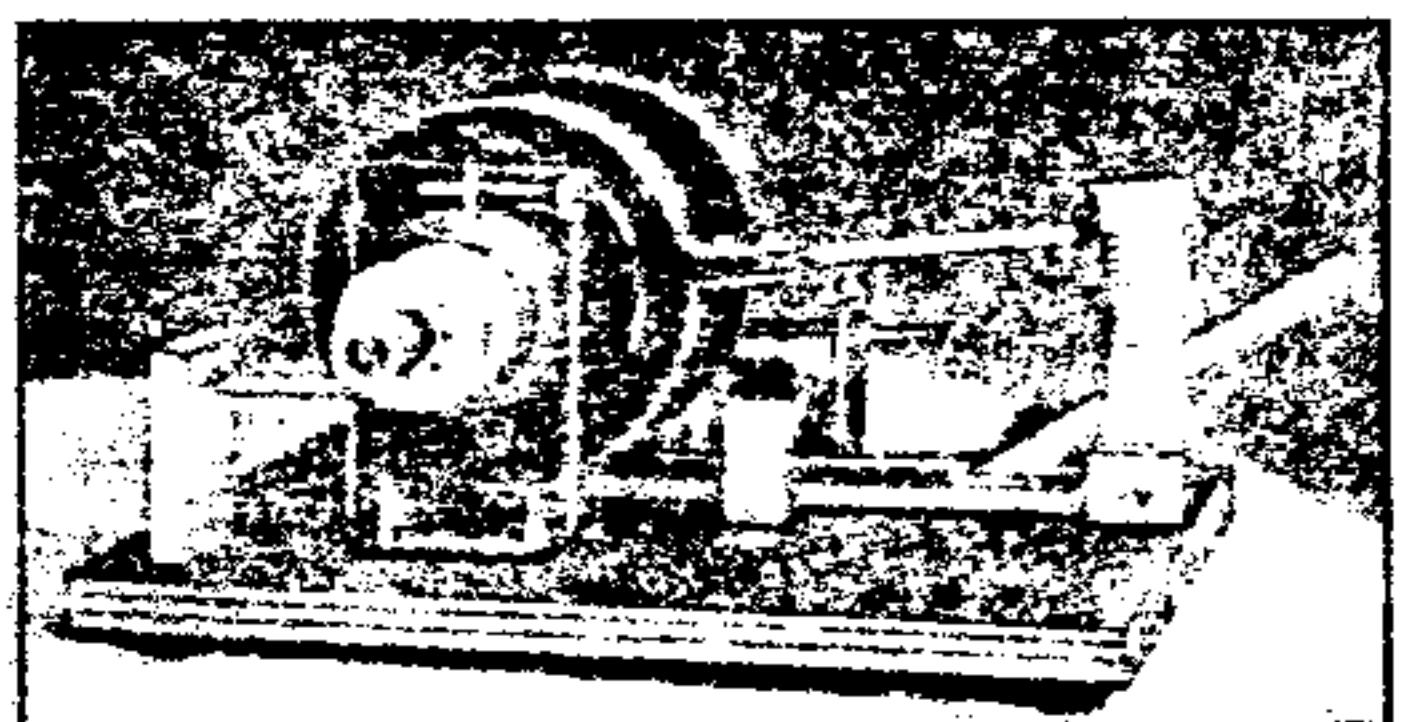


Рис. 1.

Устроен прибор следующим образом. На вал электромотора 1 (рис. 2) надет легко скользящий на валу барабан 2. Торец последнего прижимается с некоторой силой (регулируемой с помощью пружины 3) к упору 4 через фетровую шайбу-прокладку 5. На барабан намотана тонкая капроновая нить 6.

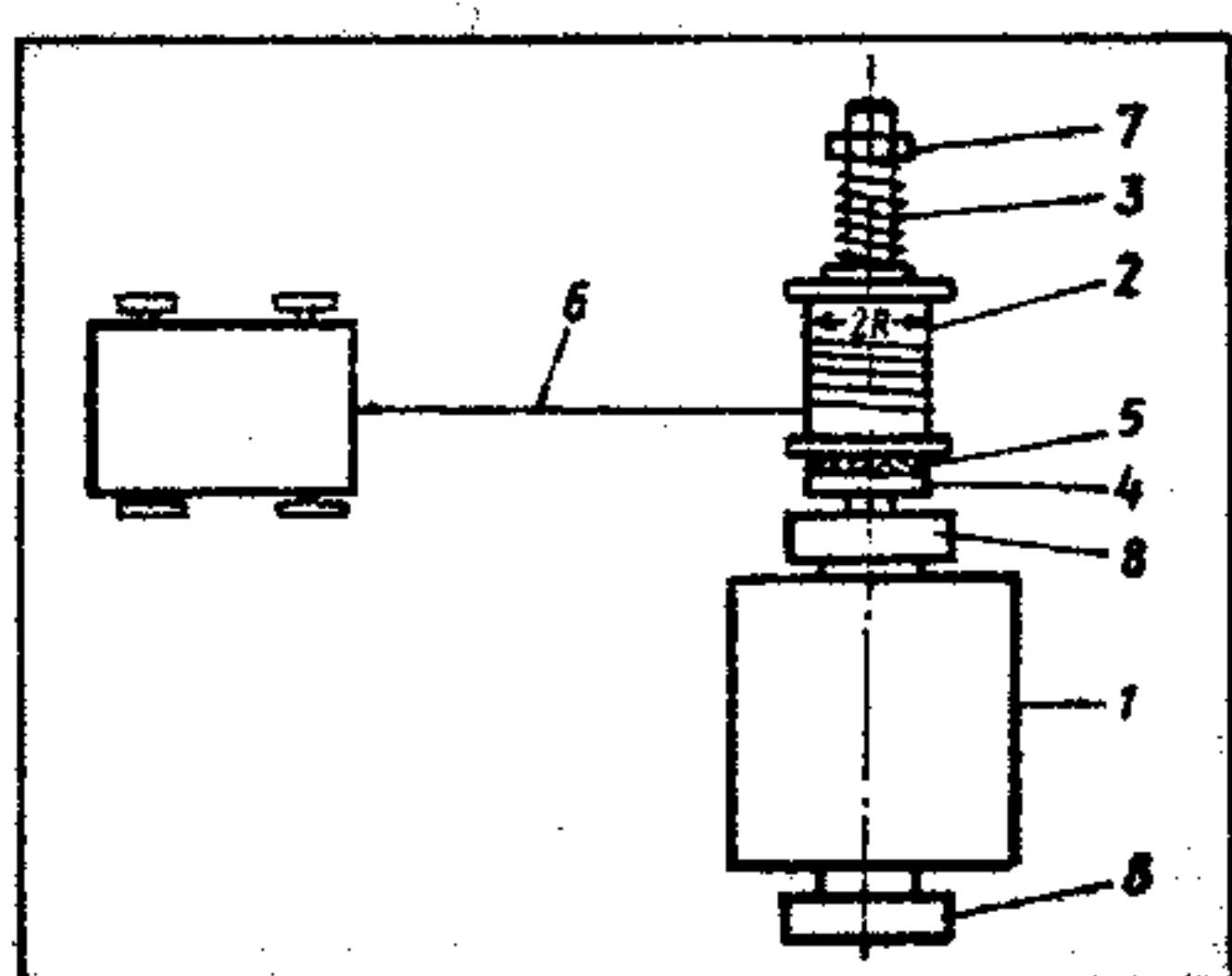


Рис. 2.

Если вал двигателя вращается с некоторой угловой скоростью, а конец нити 6 прикреплен к неподвижному предмету (и, следовательно,

но, барабан также неподвижен), то за счет сил трения на барабан 2 будет действовать крутящий момент, а нить окажется натянутой. Величина крутящего момента и сила натяжения нити не изменятся, если конец нити (прикрепленный, например, к тележке) будет произвольно перемещаться. При этом, разумеется, коэффициент скольжения барабана¹ будет изменяться, однако это не приведет к изменению силы трения.

Эти рассуждения справедливы, когда $v_t < v_{\max}$, где v_t — скорость движения тележки, а v_{\max} — максимальная линейная скорость рабочей поверхности барабана, причем $v_{\max} = \omega R$ и соответствует коэффициенту скольжения, равному нулю (R — радиус цилиндра, на который наматывается нить). Практически нужно обеспечить такое условие:

$$v_t < (0,8 - 0,9)\omega R.$$

Силу тяги можно измерить, прикрепив конец нити к динамометру. Разумеется, измерение проводится с неподвижным динамометром, но, как показал опыт, сила тяги остается практически неизменной и при движении нити.

Силу тяги можно регулировать, меняя силу прижатия торца барабана 2 к упору 4 с помощью пружины 3 и гайки 7. (В опытном образце прибора силу тяги можно менять в пределах 0,05–0,5 Н.)

Чтобы обеспечить измерение силы тяги в процессе движения тележки, двигатель закреплен на опорах 8 с помощью шарикоподшипников 9 (рис. 3) таким образом, что он может поворачиваться вокруг своей оси. Так как крутящий момент, действующий на вал при включенном двигателе, одновременно действует в обратном направлении на его статор, то корпус двигателя стремится повернуться. Этому препятствует пружина 10. Угол поворота корпуса (указываемый стрелкой 11 на шкале 12) пропорционален крутящему моменту и позволяет определить величину крутящего момента, а следовательно, силу тяги.

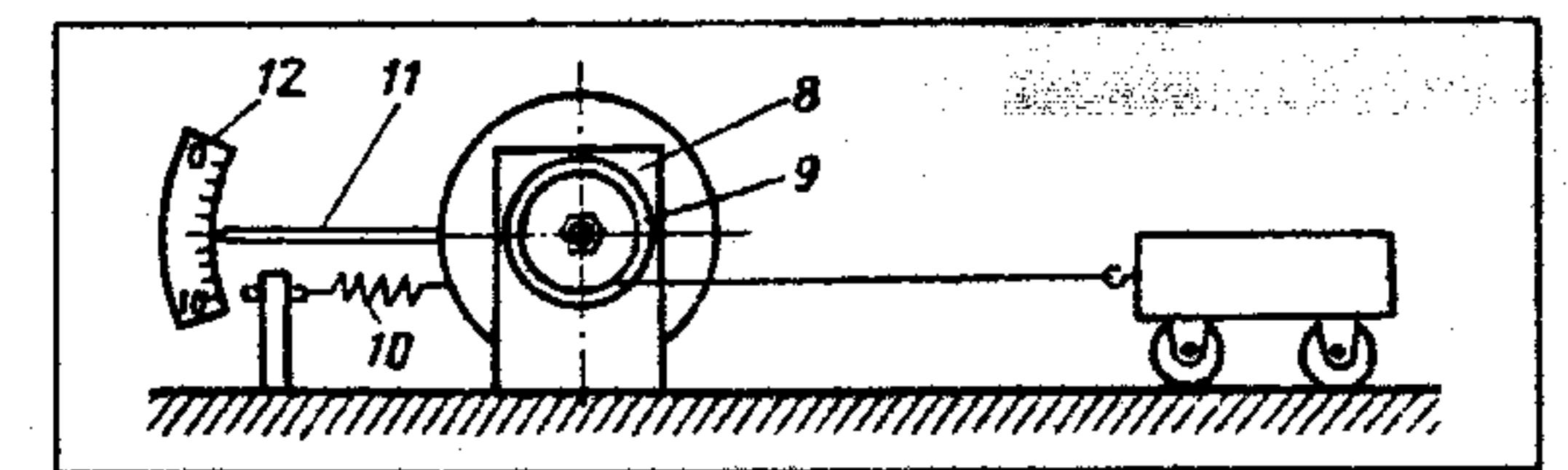


Рис. 3.

¹ Коэффициентом скольжения называем отношение $(\omega - \omega_0)/\omega$, где ω — угловая скорость вращения вала, ω_0 — угловая скорость барабана.

В опытном образце прибора частота вращения вала электродвигателя составляет 3600 об/мин (60 об/с). Диаметр рабочей части барабана — 200 мм, поэтому линейная скорость $\omega R \approx 4$ м/с. Можно считать, что максимально допустимая скорость тележки составляет ~ 3.5 м/с.

Необходимую мощность электродвигателя нетрудно определить следующим образом. Поскольку вал двигателя вращается с угловой скоростью ω и он создает крутящий момент FR (где F — сила тяги), мощность на валу будет $P = \omega FR$. Если принять $F = 0,5$ Н, $\omega = 2\pi \cdot 60$ с⁻¹ м, $R = 0,01$ м, то получим $P \approx 2$ Вт. Разумеется, потребляемая электрическая мощность двигателя будет значительно больше (КПД маломощных электродвигателей может составлять 10–30%).

Относительно конструкции барабана нужно отметить следующее. Нить, наматываясь на барабан, может ложиться несколькими слоями. Это может привести к тому, что эффективный диаметр барабана будет увеличиваться по мере намотки нити, что означает изменение и силы тяги (крутящий момент остается постоянным, а R меняется). Чтобы уменьшить данный эффект, барабан надо делать достаточно

длинным. Тогда витки нити будут распределены по большей площади. Ясно также, что чем больше диаметр барабана, тем в меньшей степени проявляется указанный эффект.

Наличие момента инерции барабана, вообще говоря, оказывает некоторое влияние на движение тележки. Это влияние можно учесть, приняв массу тележки равной не M , а $M + J/R^2$, где J — момент инерции барабана. Такая поправка будет не столь существенна, если изготавливать барабан из легкого материала или делать его пустотелым.

Торец барабана, прилегающий к фетровой шайбе-прокладке, должен иметь достаточно чисто обработанную поверхность. Смазку применять нельзя. Смазать необходимо только цилиндрическую часть вала, на которую посанжен барабан. Масло должно быть малой вязкости (например, часовое масло).

Описанная выше конструкция представляет собой демонстрационный вариант прибора. Лабораторный вариант существенно упрощается, поскольку нет необходимости в повороте двигателя: ученик просто измеряет силу динамометром.

Механические модели электрических величин

Физические величины, характеризующие механические движения или свойства вещественных макрообъектов, как правило, наиболее понятны учащимся. Величины, характеризующие электромагнитные явления, обычно более загадочны и трудны для их понимания. Цель этой статьи — дать описание механических аналогов заряженных тел и конденсаторов в виде сосудов различной формы и проиллюстрировать возможности таких моделей. Предлагаемые модели успешно применялись на уроках физики в средних школах и в спецкурсах лицеев.

Сосуды с жидкостью и электропроводностью. Опыт пользования бытовыми сосудами (чашкой, банкой, ведром и пр.) формирует у человека устойчивые представления об их возможности вмещать определенное количество жидкости, т.е. представления о емкости сосуда. Подобные образы создаются у школьников и основу представления об электропроводности как о характеристика способности тела вместить определенный заряд. Но такое представление неверно. Ведь, во-первых, электропроводность (по определению) равна отноше-

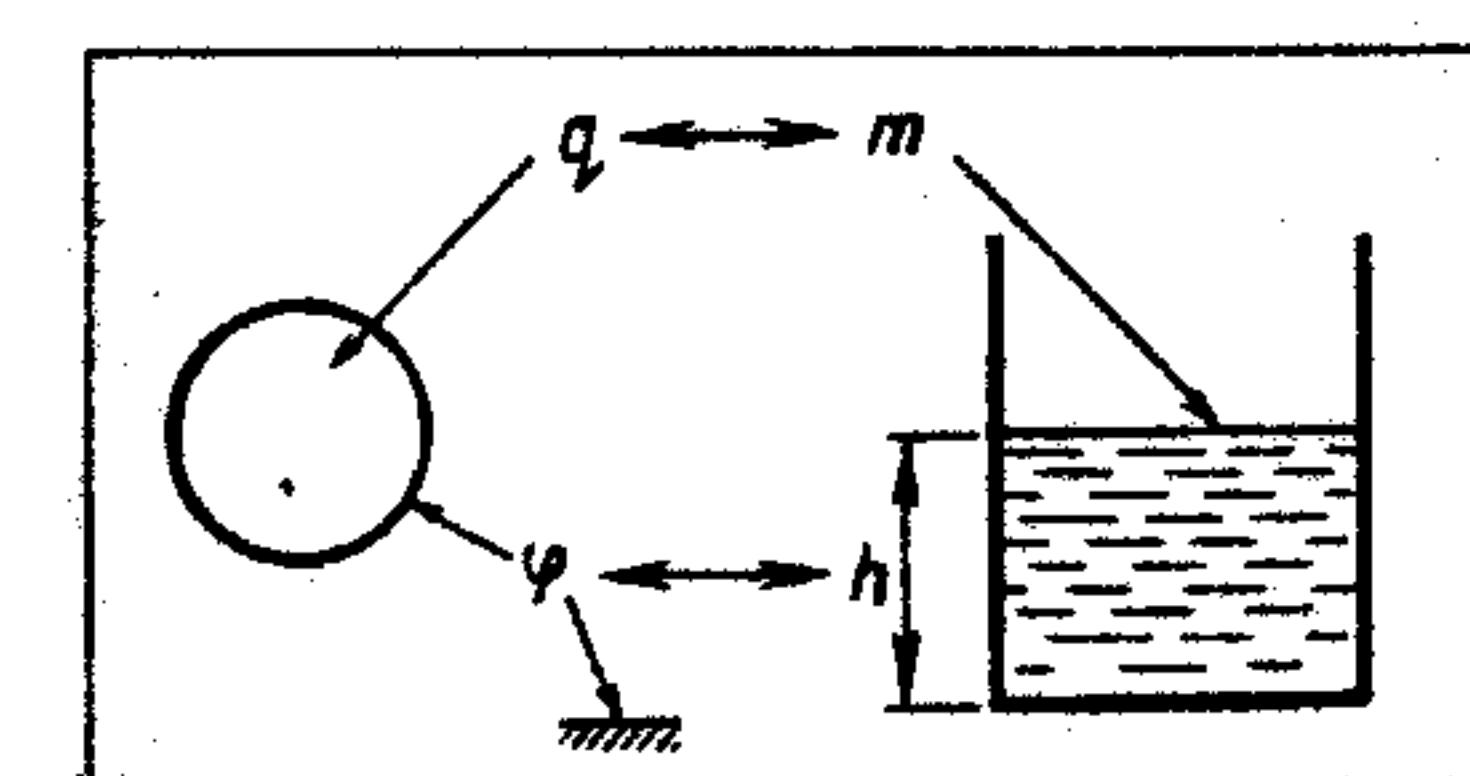


Рис. 1.

Когда сосуд цилиндрический (с вертикальными стенками), то C_m зависит только от площади его поперечного сечения S и плотности жидкости ρ :

$$C_m = \frac{m}{h} = \frac{mS}{hS} = \rho S. \quad (1)$$

Здесь ρ играет роль, аналогичную той, которую выполняет диэлектрическая проницаемость ϵ , если заряженное тело окружено бесконечным диэлектриком. Равенство $\rho = 1$ соответствует электроемкости в вакууме ($\epsilon = 1$). В этом случае «емкость» C_m определяется только шириной сосуда (т.е., как и электроемкость, зависит лишь от геометрии тела). Подчеркнем, что для сосудов одинакового объема V величина C_m больше у более широкого (рис. 2).

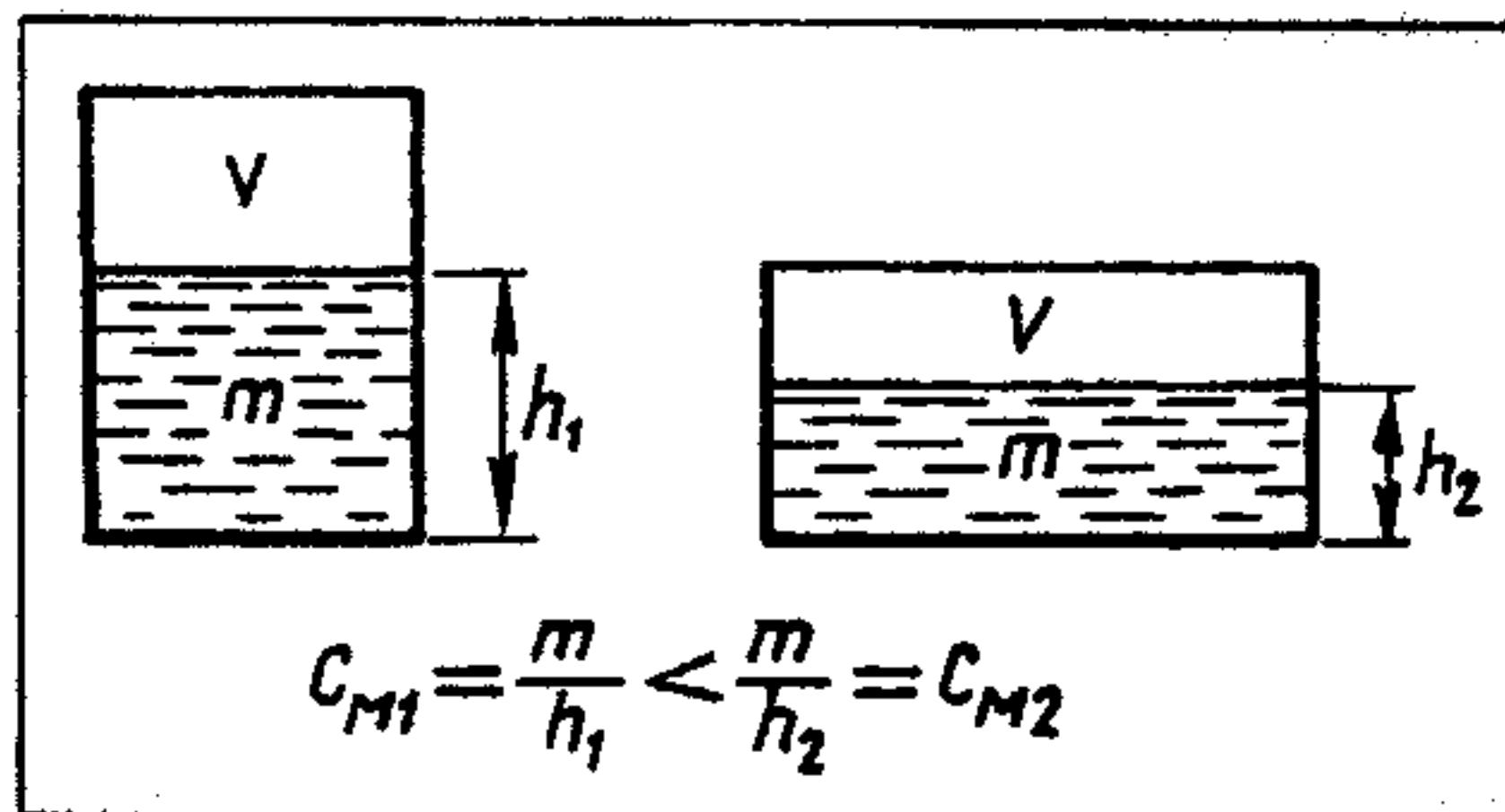


Рис. 2.

Менее наглядным, но во многих случаях более удобным эквивалентом электроемкости является модельная величина

$$C_m = \frac{m}{gh} = \frac{\rho}{g} S. \quad (2)$$

Здесь аналогом ϕ служит произведение gh (g — ускорение свободного падения). Такое введение аналога электроемкости C_m удобно тем, что формулы, выражающие запасенную в электрическом поле энергию W_e и потенциальную энергию W_p жидкости в поле силы тяжести, полностью идентичны:

$$W_e = \frac{g\phi}{2} = \frac{C\phi^2}{2} = \frac{q^2}{2C}, \quad (3)$$

$$W_p = \frac{m(gh)}{2} = \frac{C_m(gh)^2}{2} = \frac{m^2}{2C_m}. \quad (4)$$

Таким же образом можно ввести и механическую модель электроемкости конденсатора. Как известно, конденсатор — это система из двух проводников, имеющих равный по величине, но противоположный по знаку электрический заряд. Модель конденсатора можно представить системой из двух одинаковых сосудов, уровни жидкости в которых в «незаряженном» состоянии совпадают. «Заряженая» такой «конденсатор», будем переливать жидкость из одного сосуда в другой, аналогично тому, как перемещают заряды с обкладки на обкладку в конденсаторе (рис. 3).

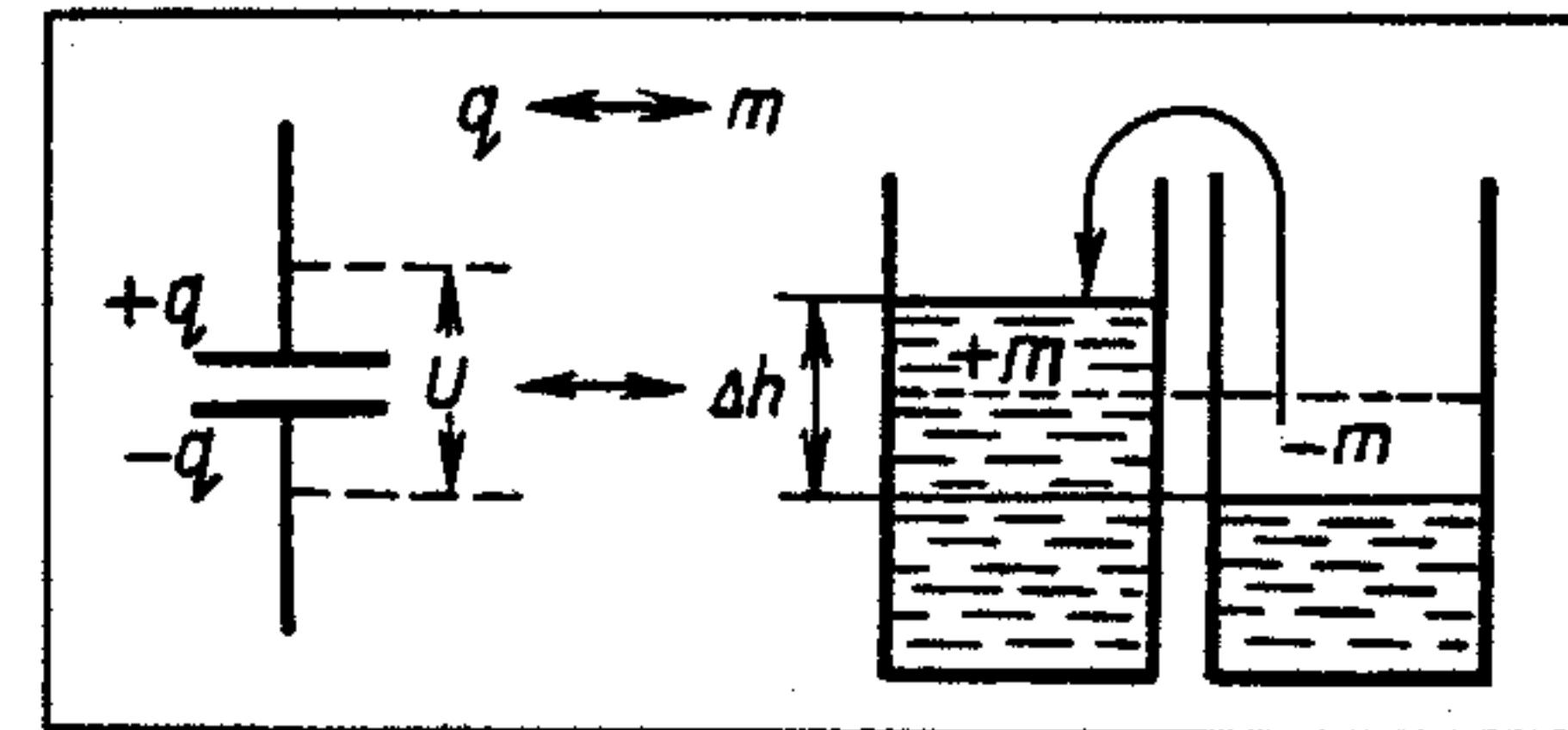


Рис. 3.

Электроемкость конденсатора $C = q/U$, где q — заряд на обкладке, U — напряжение между обкладками. «Механическую емкость» модели конденсатора можно представить так:

$$C_m = m/\Delta h \text{ или } C_m = m/(g\Delta h).$$

Здесь m — масса перелитой жидкости, выполняющая роль аналога g , а Δh — разность уровней жидкости в сосудах (или величина $g\Delta h$) — роль аналога U .

Если в выражение для энергии, запасенной в электрическом поле конденсатора, $W_e = CU^2/2$ вместо C и U подставить соответственно значения C_m и $g\Delta h$, то получится формула для вычисления работы, которую надо совершить, переливая воду из одного сосуда в другой, чтобы создать разность уровней Δh . Эта величина равна потенциальной энергии в системе сосудов с жидкостью в поле силы тяжести $W_p = m(g\Delta h)/2$ (если при равенстве уровней значение W_p принять равным нулю). Величина C_m пропорциональна площади поперечного сечения сосудов, аналогично тому, как электроемкость конденсатора пропорциональна площади его обкладок.

Механический аналог коэффициента самоиндукции. При изучении электрического тока широко используется аналогия с течением жидкости по трубе. Пренебрежем вязкостью жидкости и будем считать, что все ее частицы движутся вдоль трубы с одинаковой скоростью v . Тогда в качестве аналога силы тока I , равной отношению заряда Δq , прошедшего через поперечное сечение проводника за время Δt , к величине Δt (при $\Delta t > 0$), можно использовать величину $\rho v S = \Delta m/\Delta t$, где Δm — масса жидкости, протекшей через поперечное сечение S трубы за время Δt (при $\Delta t \rightarrow 0$).

Для получения аналога коэффициента самоиндукции L используем энергетический подход, сопоставив энергию магнитного поля движущихся зарядов и кинетическую энергию движущейся жидкости. Запишем формулу энергии магнитного поля проводника с током:

$$W_m = \frac{LI^2}{2}. \quad (5)$$

Кинетическую энергию жидкости, текущей по трубе длиной l , можно выразить так:

$$W_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{(\rho LS)v^2}{2} = \frac{l \cdot (\rho v S)^2}{2} = \frac{L_m (\rho v S)^2}{2}. \quad (6)$$

Сравнив формулы (5) и (6), проводим следующие аналогии между входящими в них электрическими и механическими величинами:

$$I \leftrightarrow \rho v S, L_m \leftrightarrow = l/\rho S. \quad (7)$$

В формуле для механического аналога индуктивности L_m величина ρ играет роль коэффициента, учитывающего магнитную проницаемость сердечника и форму катушки. При $\rho = 1$ величина L_m (как и L) зависит лишь от геометрии проводящего участка.

Сообщающиеся сосуды и колебательный контур. Сообщающиеся сосуды в виде U -образной трубы с жидкостью рассматриваются в факультативном курсе физики и спецкурсах¹ как пример системы, совершающей около положения равновесия собственные колебания с периодом $T_0 = 2\pi\sqrt{l/(2g)}$ (где l — общая длина столба жидкости). Однако такую трубку удобно использовать и как механический аналог электрического колебательного контура, состоящего из конденсатора с электроемкостью C и катушки с коэффициентом самоиндукции L (рис. 4).

В этом случае два вертикальных колена трубы моделируют конденсатор и, как было по-

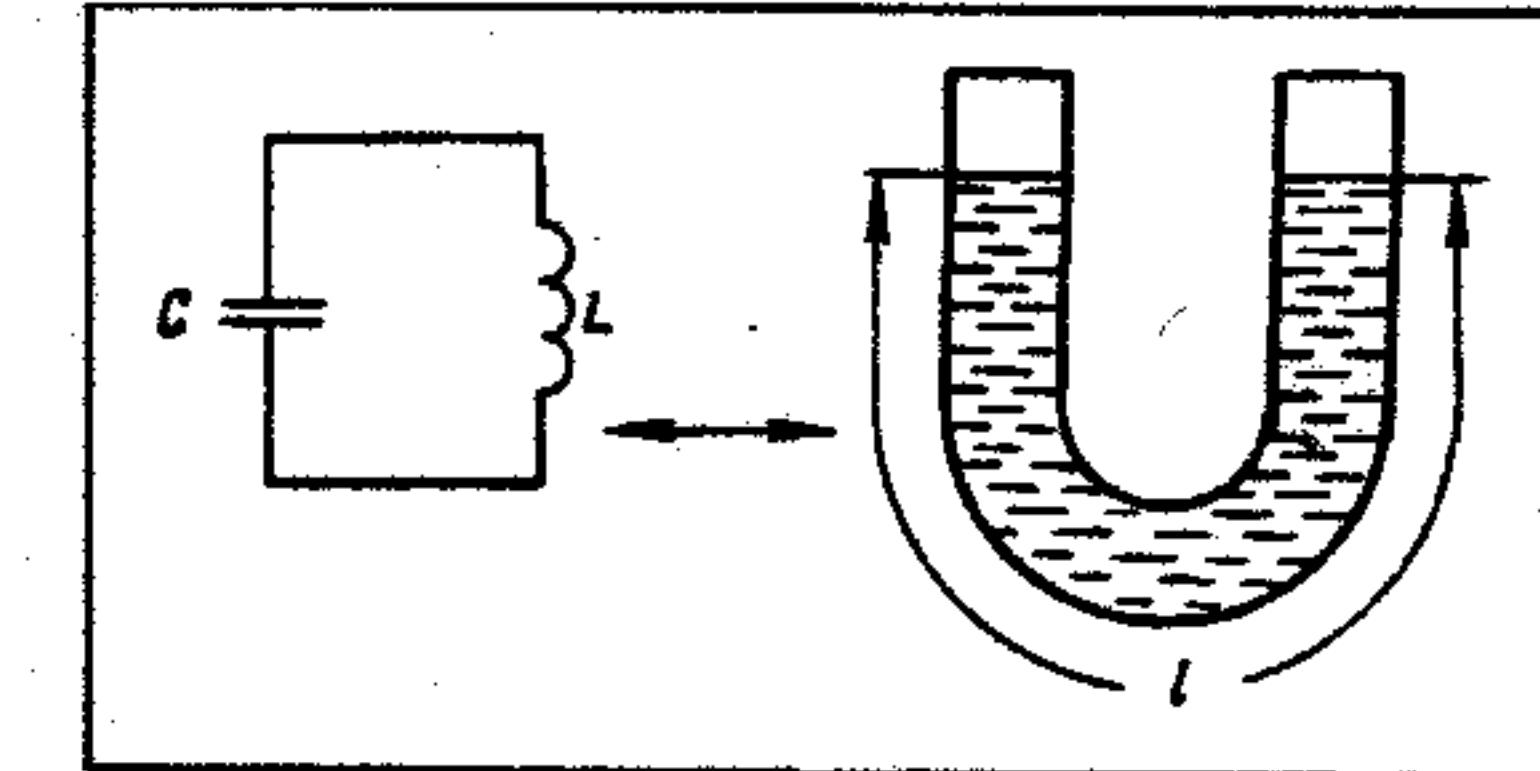


Рис. 4.

казано выше, характеризуются «емкостью» C_m (2), а весь участок трубы, заполненный жидкостью, моделирует катушку с эквивалентной «индуктивностью» L_m (7). (Причем формула для периода собственных колебаний жидкости в трубке T_0 получается из аналогичной формулы для колебательного контура $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$ заменой C на C_m и L на L_m .)

Проводя аналогии величин I и $\rho v S$, можно наглядно сопоставить колебания в электрической и механической системах, поставив при этом эксперимент, в котором используется колебательный контур и трубка с жидкостью (см. табл.). В таком случае кинетическая энергия текущей жидкости будет соответствовать энергии магнитного поля катушки индуктивности, а потенциальная энергия, связанная с различием уровней жидкости в коленах трубы, — энергии электрического поля в конденсаторе.

Колебательный контур	Трубка с жидкостью
1. Конденсатор заряжают, присоединив его к источнику тока, при этом одна пластина заряжается положительно, а другая — отрицательно (рис. 5, а)	1. Разность уровней в трубке создается избыточным давлением в одном из колен, например, уровень в левом колене будет больше, если в правое колено ввести поршень (рис. 5, а)
2. Заряженный конденсатор обладает энергией W_e (чем больше заряд, тем больше энергия электрического поля)	2. Поднятая вода обладает потенциальной энергией (чем больше разность уровней жидкости в коленах, тем больше потенциальная энергия)
3. Конденсатор, отключенный от источника и подключенный к катушке, начнет разряжаться, и в цепи потечет электрический ток	3. Если убрать поршень, то жидкость придет в движение (текущая жидкость — аналог электрического тока)
4. По мере того как конденсатор разряжается, энергия электрического поля переходит в энергию магнитного поля	4. Уровни жидкости выравниваются, при этом ее потенциальная энергия переходит в кинетическую энергию
5. Когда конденсатор разрядится, заряд и напряжение на нем будут равными нулю, но ток продолжает течь из-за самоиндукции. В результате конденсатор перезарядится (рис. 5, б). Постепенно заряд на обкладках вновь станет максимальным, но полярность изменится (рис. 5, в). Это произойдет через половину периода ($T_0/2$) с момента начала колебаний	5. Когда уровни жидкости в коленах окажутся равными, ее движение продолжится по инерции (рис. 5, б), после чего уровни жидкости в коленах вновь станут различными. Постепенно разность уровней достигнет первоначального значения, но выше будет уровень в правом колене (рис. 5, в). Это произойдет через половину периода ($T_0/2$) с момента начала колебаний
6. Конденсатор начнет разряжаться, в цепи возникнет ток, но его направление изменится на противоположное	6. Вода начнет перемещаться из одного колена в другое, направление ее движения изменится на противоположное

¹ Кабардин О.Ф., Орлов В.А., Шефер Н.И. Факультативный курс физики: 10 кл. М.: Просвещение, 1989.

² Трубецков Д.И. Колебания, волны, электроны. Саратов: Колледж, 1994.

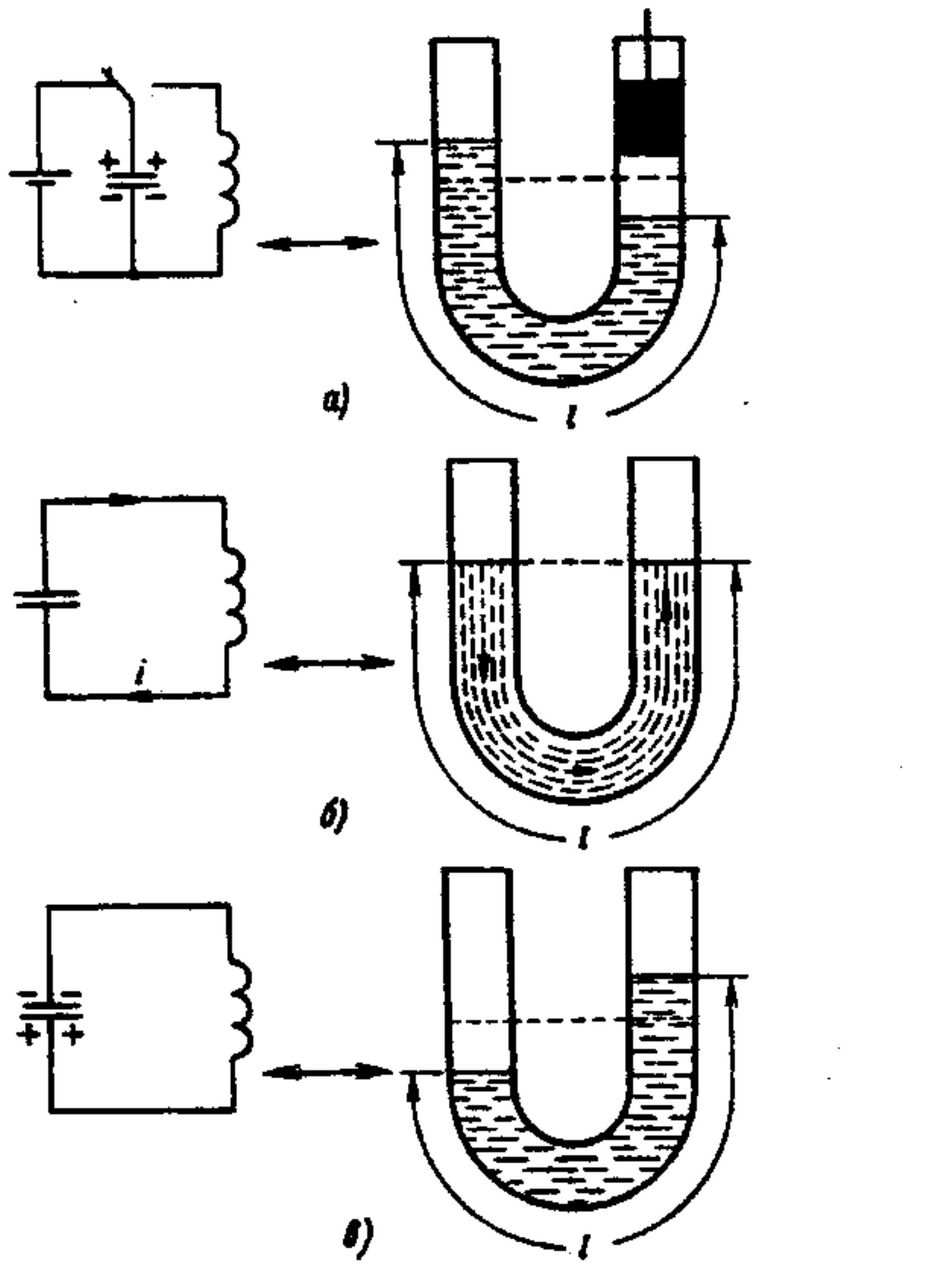


Рис. 5.

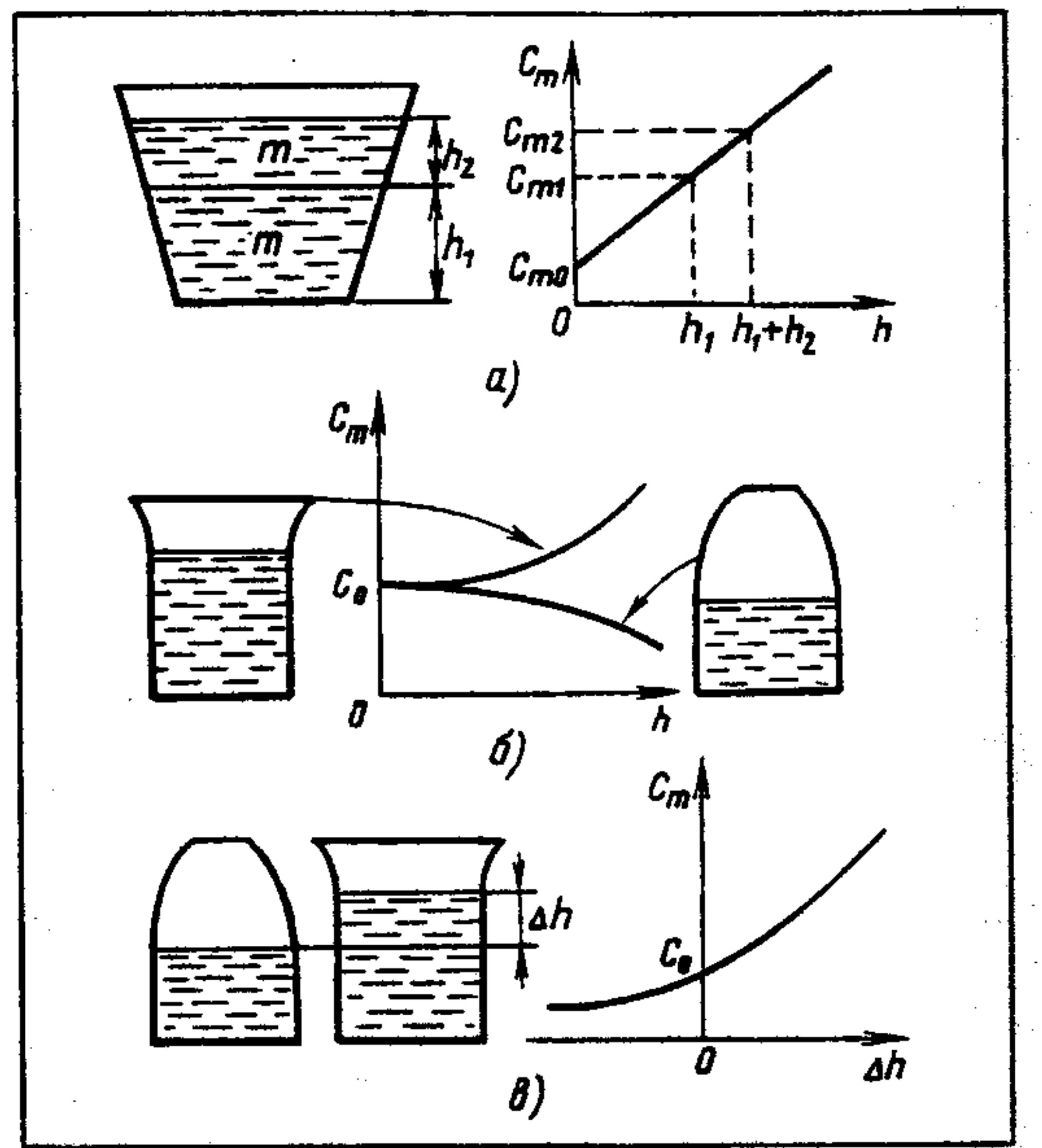


Рис. 6.

При выполнении эксперимента с «жидкостным маятником» можно останавливать процесс, плотно закрывая пальцем или пробкой колено трубы с более высоким уровнем жидкости в моменты максимального подъема.

От линейной емкости к нелинейной. Если форма сосуда отличается от цилиндрической, то величина C_m зависит от количества накопленной жидкости (от m или h). Например, на рис. 6, а показано, что у расширяющегося кверху ведра, имеющего прямоугольное основание, каждая последующая добавка равной порции воды дает меньшую добавку ее уровня. Получается, что C_m — это возрастающая функция h . Меняя форму сосуда, можно получить различные виды зависимости $C_m(h)$ (рис. 6, б). При произвольной форме сосудов такая зависимость появляется и у модели конденсатора (рис. 6, в). Аналогичная зависимость электроемкости от величины накопленного заряда или напряжения имеет место во многих реальных электрических системах.

Именно зависимость емкости «полупроводникового конденсатора» от напряжения используется в современных телевизорах при переключении каналов прикосыванием к кнопке с нужным номером (с помощью пульта это можно делать, даже находясь в другом конце комнаты). Каждому номеру соответствует определенное постоянное напряжение (рис. 7, а), которое подается на диод от специального источника⁴. Меняется напряжение U_1 , а значит, меняются емкости и резонансные частоты

костными свойствами в той или иной степени обладают не только вариакторы, но и другие диоды с $p-n$ -переходами. Эти свойства проявляются в характерном сдвиге фазы между переменным напряжением на диоде и протекающим током (в некотором интервале частот). Емкость таких «конденсаторов» зависит не только от геометрических размеров, но и от приложенного к ним напряжения. Для моделирования таких «полупроводниковых конденсаторов» необходимы сосуды, форма которых и зависимость «механической емкости» от Δh представлены на рис. 6, в³.

Два цилиндрических сосуда могут служить моделью конденсатора с постоянной емкостью, состоящего из двух металлических электродов. В современной радиотехнике, основанной на полупроводниковых технологиях, широко используются «полупроводниковые конденсаторы» — вариакторные диоды (вариакторы). Конструктивно они представляют собой полупроводниковые диоды с $p-n$ -переходами (такие диоды изучаются по школьной программе), только примеси в области перехода распределены в вариакторе специальным образом. Ем-

³ Для более точной характеристики диода, строго говоря, надо пользоваться дифференциальной емкостью, но в школе для качественного описания явлений достаточно данной степени точности.

⁴ Чтобы катушка не «закорачивала» источник, в цепь вводится конденсатор с большой емкостью C_1 . При последовательном соединении C_1 и C суммарная емкость, если $C_1 \gg C$, приблизительно равна C .

колебательных контуров, которые в телевизионном приемнике выделяют нужный сигнал из всех существующих в эфире. Аналогом подачи дополнительного постоянного напряжения U_1 на полупроводниковый диод служит создание дополнительного давления в одном из колен трубы с жидкостью, например, с помощью резиновой груши (рис. 7, б). При этом столб жидкости смещается на Δh , и, если его толкнуть, совершает колебания относительно нового положения равновесия.

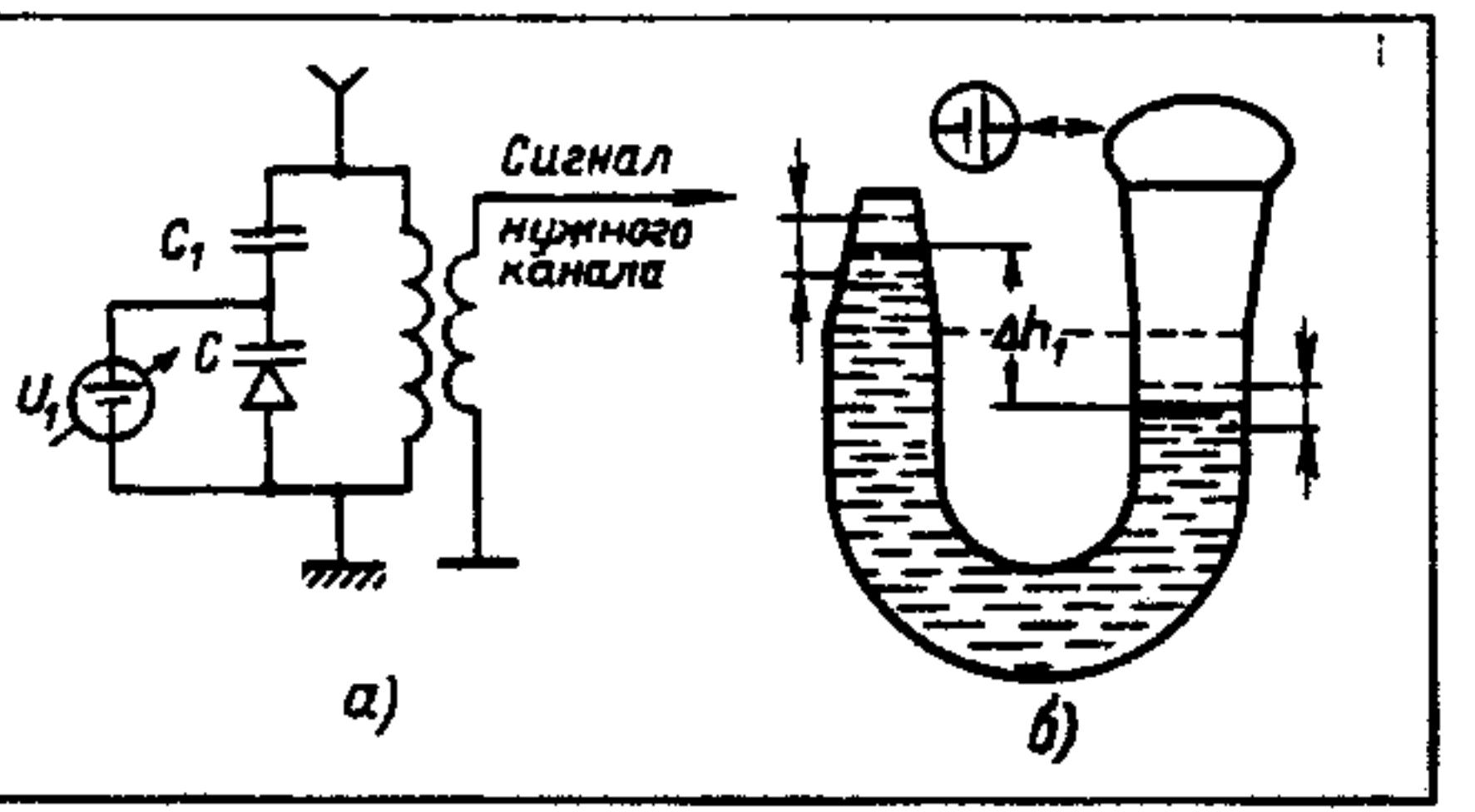


Рис. 7.

Пусть колебания имеют малую амплитуду, так что сечение трубы, а следовательно, и C_m в пределах изменения уровня жидкости почти не меняются (например, $C_m = C_{ml}$). Тогда период собственных колебаний около этого положения равновесия равен $2\pi\sqrt{L_m C_{ml}}$. Меняя величину Δh , поршнем или грушей, можно изменять собственную частоту колебаний жидкости, а если жидкость раскачивать внешней периодической силой, то и резонансную частоту.

Уравнения, описывающие процессы в цепях, параметры которых не зависят от значений силы тока и напряжения, линейны, в противоположном случае — нелинейны. Поэтому конденсаторы и их модели с неизменными C и C_m называют линейными, а в случае зависимости $C(U)$ или $C_m(\Delta h)$ — нелинейными. В колебательном контуре или в трубке (а также в математическом маятнике и большинстве других колебательных систем) нелинейность проявляется при достаточно большой амплитуде колебаний. При маленькой амплитуде колебаний (малом отклонении от положения равновесия) значение C или C_m можно считать постоянным и равным значению в положении равновесия.

Вынужденные колебания в контуре с нелинейной емкостью. В связи с современным переходом науки и общественного сознания к нелинейной картине устройства мира уже практикуется в школьных факультативах и спецкурсах изучение нелинейных феноменов. Рассмотрим, к чему приводит нелинейность колебательной системы, когда существенно возрастает амплитуда колебаний.

Колебательный контур с «полупроводниковым конденсатором» столь популярен среди исследователей нелинейных колебательных явлений, что говорят даже о необходимости иметь этот электрический маятник в «каждом доме на подоконнике»⁵. Оставим подоконники для цветов, но чем же заслужила такого внимания электрическая цепь, состоящая из катушки и диода с $p-n$ -переходом, которая подключена к источнику гармонической ЭДС (рис. 8, а)? С ее помощью продемонстрировали ряд важнейших нелинейных феноменов, присущих колебательным системам различной природы (впервые это сделал американец П.Линсей). Это вполне доступно повторить в школе (см. приложение).

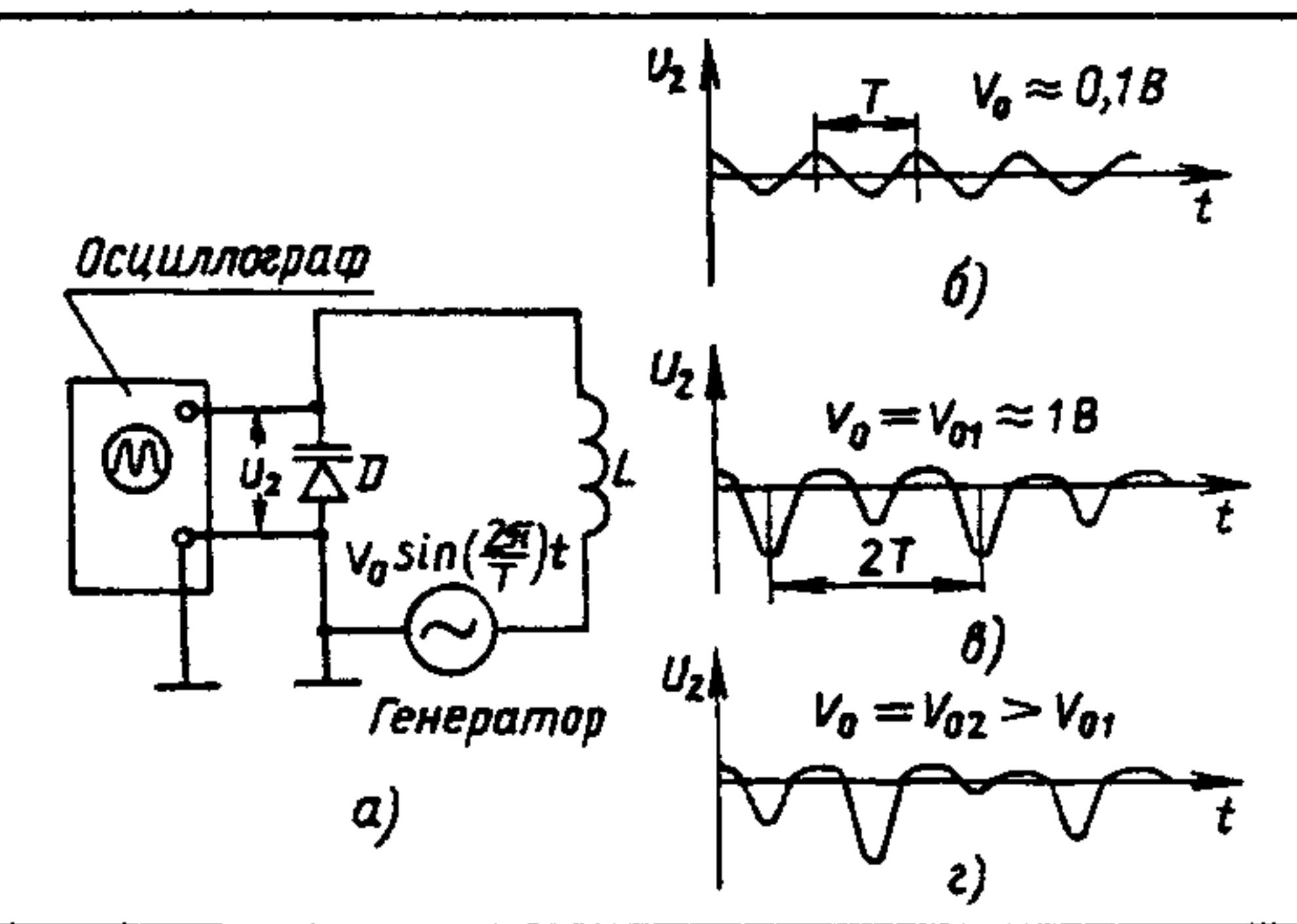


Рис. 8.

При малых амплитудах гармонического воздействия (десятые доли вольта) вынужденные колебания тоже являются гармоническими, имеют период воздействия T (рис. 8, б), а при $T = T_0$ (где T_0 — период малых собственных колебаний) наблюдается единственный резонанс. При больших амплитудах колебаний, в нелинейном режиме, картина качественно меняется, а именно:

1. Несмотря на синусоидальную зависимость ЭДС от времени, колебания напряжения на диоде U_2 приобретают более сложную форму (рис. 8, в).

2. Появляется множество отличающихся по форме видов вынужденных колебаний и резонансов: с увеличением амплитуды колебания напряжения U_2 могут увеличивать свой период в 2, 4, 8, ... раз по сравнению с периодом воздействия и даже стать непериодическими (рис. 8, г).

В этом состоит проявление наиболее яркого нелинейного феномена — динамического хаоса. Под хаосом понимают неупорядоченное

⁵ См., например: С м и т Д. Генерирование хаоса в домашних условиях // В мире науки. 1992. № 3. С. 80–83.

(неповторяющееся) движение, непредсказуемое при конечной точности задания начальных условий. Обнаружение хаотизации движений в простых динамических системах считается одним из основных достижений фундаментальной науки XX в.

Подобное сложное поведение демонстрирует и механическая модель при периодическом воздействии на жидкость. (Моделирование процессов на ЭВМ подтверждает это.) Но при постановке экспериментов с жидкостью неизбежны трудности принципиального и технического характера, поэтому для демонстрации на учебных занятиях целесообразно использовать электрическую цепь и учсть некоторые рекомендации.

Приложение

Экспериментальная демонстрация нелинейных эффектов и хаоса

Желающим поставить демонстрацию нелинейных колебаний и хаоса можно порекомендовать следующий набор элементов и приборов для реализации схемы, показанной на рис. 8, а.

D — диод (типа Д-210, Д-215, Д-242, Д-245, Д-247, КД-103, КД-105, КД-202, возможны и некоторые другие) или переходы эмиттер-база, коллектор-база желательно мощных, не высоковольтных транзисторов (например, КТ-908, П-213, П-217).

L — катушка, 100–200 витков (провод диаметром 0,1–0,3 мм, лучше в шелковой изоляции) в броневом сердечнике с магнитной проницаемостью ~ 2000 (нужна большая индуктивность), например НМ2000.

(Рекомендуемая резонансная частота f_0 колебательного контура при малой амплитуде колебаний — в интервале 20–100 кГц.)

Генератор синусоидальных или импульсных сигналов в диапазоне частот $f = (0,5–2)f_0$, с малым выходным сопротивлением (желательно меньше 10 Ом). Подойдет, например, ГЗ-56, ГЗ-112.

Оциллограф — любой с малой входной емкостью и большим входным сопротивлением (например, С1-91, С1-92, С1-103, С1-122). Можно ввести звуковую индикацию. Тогда в режиме хаоса контур «зашипит».

В заключение отметим, что степень использования рассмотренных в данной статье моделей может быть различной в зависимости от подготовленности учащихся и задач обучения.

Предложения и советы

НАКЛОННЫЕ ПЛОСКОСТИ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЗАКОНОВ ДВИЖЕНИЯ. Предлагается простое устройство, состоящее из двух наклонных плоскостей (угол наклона не должен быть слишком большим; в данном варианте он равен 20°), соединенных между собой горизонтальным участком (см. рис.). На наклонных частях находится по одному небольшому электромагниту 1 (например, от реле постоянного тока), высота расположения которых может меняться в зависимости от замысла экспериментатора. Управление электромагнитами осуществляется кнопкой 2, имеющей нормально замкнутые контакты.

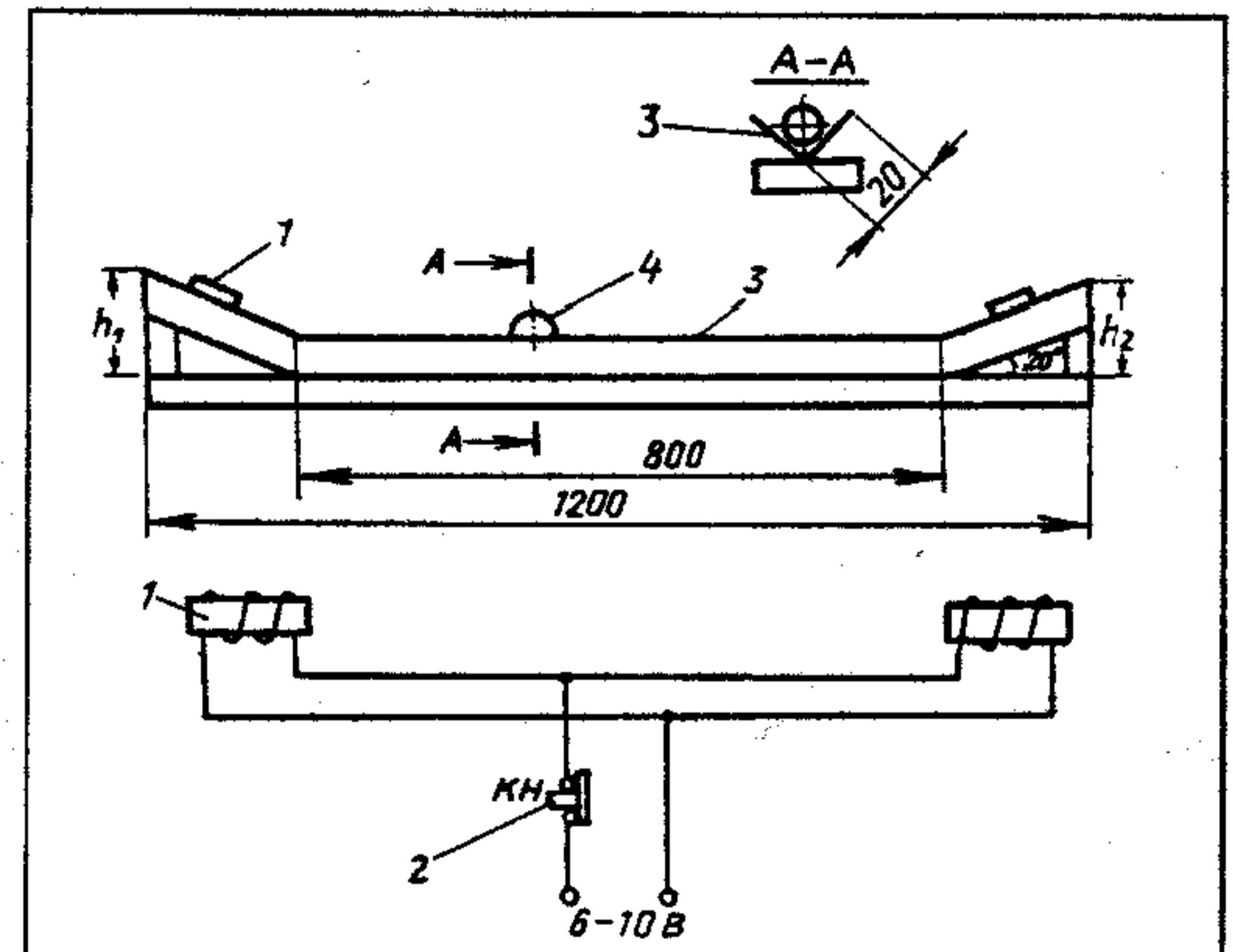
Само устройство изготовлено из алюминиевого уголка 3. Рабочими телами служат стальные шарики 4.

При изучении законов механического движения методически удобно из трех взаимосвязанных величин m, f, F одну иметь фиксированной. В предлагаемом устройстве такой величиной служит ускорение.

Устройство позволяет

1) демонстрировать постоянство ускорения при движении тела в поле силы тяжести (при $h_1 = h_2$ стальные шарики разной массы сталкиваются строго посередине устройства, т.е. реализуется вариант опыта Галилея);

2) вводить понятие массы как меры инерции по способности тела сохранять скорость (при движении с любой фиксированной высоты наклонной плос-



кости стальные шарики любой массы в любой момент времени имеют одинаковую мгновенную скорость);

3) устанавливать соотношения $a_1/a_2 = m_2/m_1$ по длине пробега шариков после столкновения;

4) демонстрировать закон сохранения импульса.

Возможны и другие эксперименты. Таким образом, предлагаемое устройство является многофункциональным, и специалисту нетрудно оценить его возможности.

А.И.КСЕНОФОНТОВ
(Тверская обл., с. Выдропужск)

АСТРОНОМИЯ

Т.Ю.КУЗЬМИЧЕВА
(г. Дзержинск
Нижегородской обл.)

Иоганн Кеплер и его идеи

390 лет назад Иоганн Кеплер впервые сформулировал положения, которые мы теперь называем I и II законами Кеплера. Через 10 лет появился и III закон Кеплера.

приоткрыть тайны проблем гравитации, строения вещества и некоторые другие. Об этом свидетельствуют, например, мысли, высказанные им в его литературных произведениях.

В фантастическом произведении «Сон или лунная астрономия» Кеплер так рассказывает о старте человека с Земли: «...Всякий раз от правление (на Луну) действует на человека подобно сильнейшему удару, поскольку он ощущает такой толчок, будто им выстрелили из пушки» (с. 76)!

Он так описывает ощущения от ускоренного движения и явления инерции (хотя еще четко не разделяет явление инерции и свойство тела — инертность): «Для перемещения тел необходима не только воля, но и сила. Каждое тело обладает некоей инерцией, пропорциональной содержащейся в теле материи, и сопротивляется движению...» (с. 108).

Интересно и следующее его высказывание в упомянутом произведении: «Затем возникает новая трудность: сильный холод» (с. 76). Конечно, Кеплер не знал, что в космическом вакууме $t_{\min} \approx -273,15^{\circ}\text{C}$, но о существовании очень низких температур догадывался.

А вот еще несколько цитат.

«На Луне день длится 14 наших дней... Становится невыносимо жарко... в 15 раз более сильно, чем в нашей Африке». «Ночь — ...холод, более нестерпимый, чем в Кливере (север...)» (с. 81). (Как мы видим, температурная смена дня и ночи на Луне показана очень точно.)

«...Чтобы сильнейший удар о Луну не причинил им вреда...» (с. 77). (Интуиция Кеплера приближается к представлению о факте тяготения.)

За 14 лет до рождения И.Ньютона Кеплер пишет: «Я определяю "тяжесть" как силу взаимного притяжения, аналогичную притяжению магнитов. Но когда тела находятся на малом удалении друг от друга, то сила их взаимного притяжения больше, чем когда они находятся далеко друг от друга. Следовательно, когда тела расположены вплотную друг к другу, то они сильнее сопротивляются попытке разделить их»

¹ Здесь и далее цитируется по книге: Кеплер И. О шестиугольных снежинках. М.: Наука, 1982.