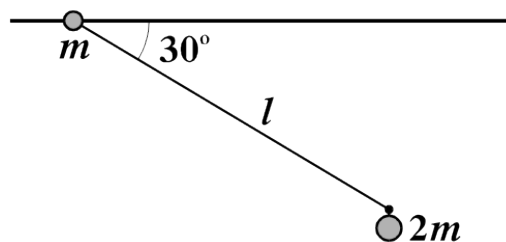


Задача 1. Бусинка массы m может без трения перемещаться по горизонтальной спице. Нерастяжимой нитью длины l она связана с бусинкой массы $2m$. Нить перекинута через гвоздь, закрепленный под спицей. Вторая бусинка при этом находится у самого гвоздя, а нить образует со спицей угол 30° . Систему отпускают без начальной скорости. Найдите:

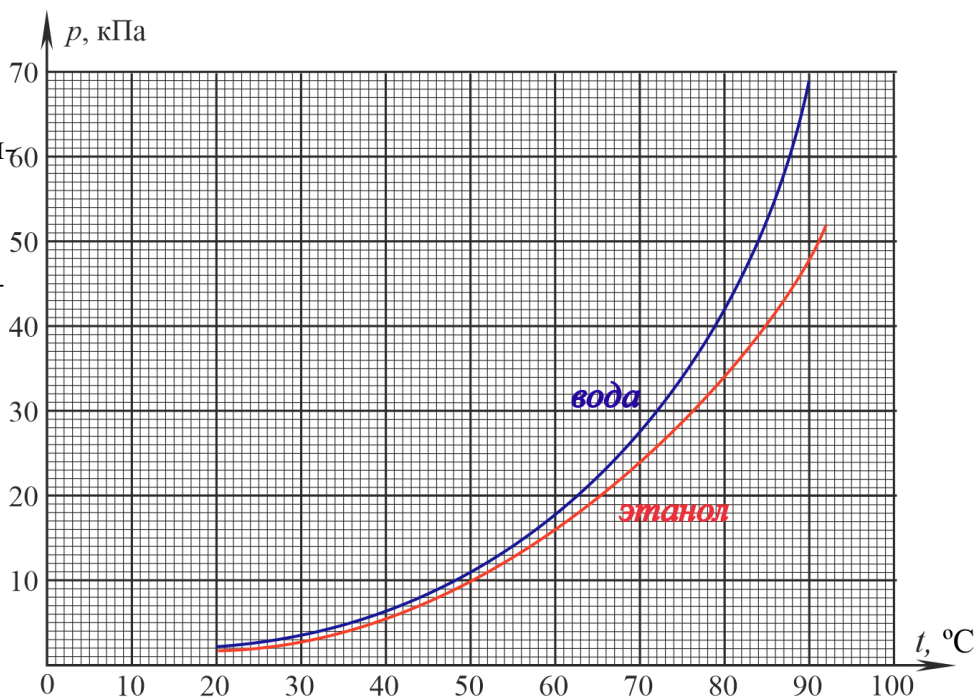


- силу натяжения нити сразу после того, как она перестанет касаться гвоздя;
- максимальную скорость, которую будет приобретать нижняя бусинка после этого момента;
- максимальную высоту, на которую она будет подниматься от наинизшего положения.

Массой нити и трением о гвоздь можно пренебречь.

Задача 2. Как известно, вода и этиловый спирт (этанол, C_2H_6O) при смешивании растворяются друг в друге в любой пропорции. В этом случае, как выясняется, давление насыщенных паров такого раствора *не равно* сумме давлений насыщенных паров его компонентов при той же температуре. Парциальное давление каждого компонента в парах раствора оказывается меньше давления его насыщенных паров и зависит от концентрации этого компонента в растворе.

На рисунке показаны графики зависимости от температуры парциальных давлений воды (верхняя кривая) и этанола (нижняя кривая) в насыщенных парах такого раствора, содержание спирта в котором равно 20% (по массе).



- Какова температура кипения этого раствора при нормальном атмосферном давлении?
- Если собрать пары, образующиеся при кипении этого раствора и скон-

денсировать их – какова будет массовая доля этанола в получившейся жидкости?

в) Какая доля исходного раствора должна выкипеть, чтобы содержание этанола в оставшейся жидкости понизилось до 19%?

Нормальное атмосферное давление считайте равным 101 кПа. Атомная масса водорода равна 1 а.е.м., углерода – 12 а.е.м., кислорода – 16 а.е.м..

Задача 3. Выключение тока в цепи, содержащей большую индуктивность, как известно, может привести к электрическому разряду (искровому или даже дуговому) – возникающая при уменьшении тока ЭДС самоиндукции может оказаться настолько большой, что произойдет пробой воздушного промежутка выключателя.

Представим себе, что цепь состоит из последовательно соединенных источника напряжения, нагрузки (обычного резистора), катушки индуктивности и выключателя. Катушка имеет индуктивность порядка $L \sim 1 \text{ Гн}$, линейные размеры контактных пластин выключателя $l \sim 1 \text{ см}$, в выключенном состоянии зазор между ними $d \sim 1 \text{ мм}$. Допустим, его переводят в выключенное положение настолько быстро, что за время выключения ток в цепи не успевает заметно измениться.

а) Оцените максимальную силу тока в цепи, выключение которого еще не приведет к электрическому разряду.

б) Насколько малым должно быть время выключения τ , чтобы предложенное допущение о неизменности силы тока было справедливым? (По сравнению с какой величиной это время должно быть мало?) Насколько реалистично это допущение?

Электрическая прочность сухого воздуха (напряженность электрического поля, при которой в нем возникает пробой) $E_{кр} \sim 10 \text{ кВ/см}$, электрическая постоянная $\epsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$. Напряжениями на источнике и на нагрузке можно пренебречь по сравнению с ЭДС самоиндукции, возникающей при выключении.

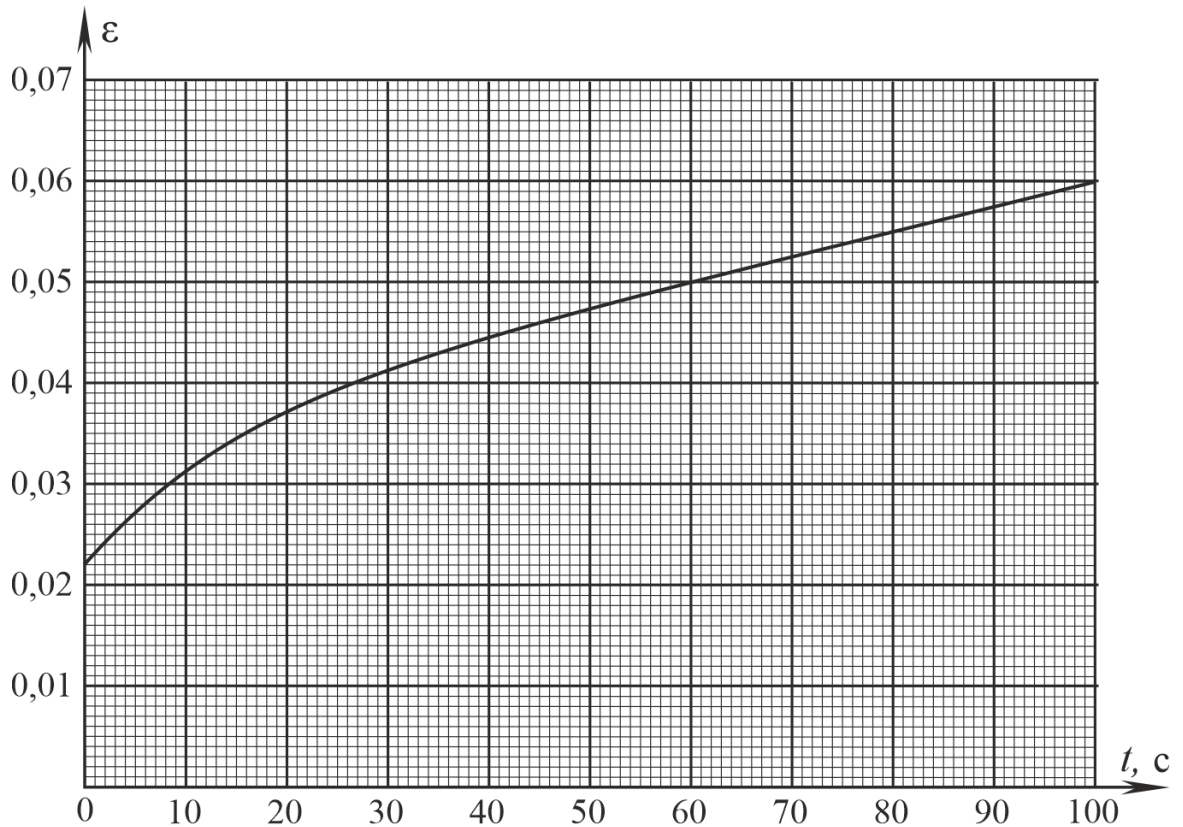
Задача 4. Прочитайте выданный вам текст «Вязкоупругие среды». Выполните задания:

а) К образцу вязкоупругого вещества в момент времени $t = 0$ прикладывают сдвиговую силу, которая после этого остается постоянной. Нарисуйте (качественно) график зависимости его деформации от времени. Объясните, почему эта зависимость именно такая. Вещество хорошо описывается моделью Максвелла.

б) То же задание, если вещество описывается моделью Кельвина-Фойгта.

в) В образце вязкоупругого вещества в момент времени $t = 0$ создают сдвиговое напряжение $\sigma = 200 \text{ Н/м}^2$, которое после этого остается постоянным.

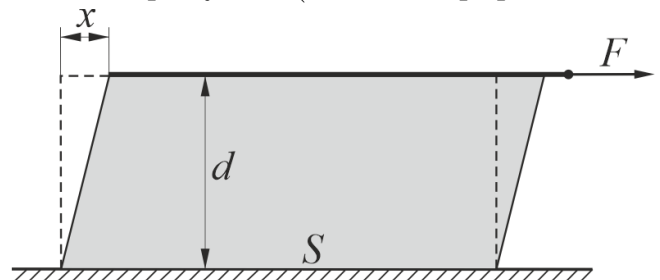
ным. График зависимости относительной деформации образца от времени приведен на рисунке. В модели Бюргерса найдите с помощью этого графика значения модулей сдвига G_1 и G_2 , а также коэффициентов вязкости η_1 и η_2 .



ВЯЗКОУПРУГИЕ СРЕДЫ

Чем твердое тело отличается от жидкости? С точки зрения механических свойств они различаются поведением при деформации сдвига. Если из твердого вещества изготовить образец в виде прямоугольного параллелепипеда с площадью основания S и высотой d , приклеить его нижней гранью к горизонтальной поверхности и приложить к верхней грани силу F , параллельную этой грани (например, потянув за приклеенную к этой грани пластинку), то образец деформируется так, как показано на рисунке (такая деформация и называется деформацией сдвига).

При этом, если сила F постоянна, то и деформация x не будет зависеть от времени. Если силу убрать, образец вернется к своей первоначальной форме. Такая деформация и называется упругой. Кроме того, если деформация достаточно мала, она оказывается прямо пропорциональной приложенной силе (закон Гука). В теории упругости этот факт записывают в виде следующего соотношения:



$$\sigma = G\varepsilon \quad (1)$$

Здесь $\sigma = F/S$ – механическое напряжение, $\varepsilon = x/d$ – относительная деформация, G – коэффициент, который называется модулем сдвига данного вещества.

Если же такой эксперимент провести с жидкостью, никакой упругой деформации не возникнет – жидкость просто начнет течь. При этом, поскольку между ее слоями возникают силы вязкого трения, скорость увеличения деформации оказывается прямо пропорциональной приложенной силе:

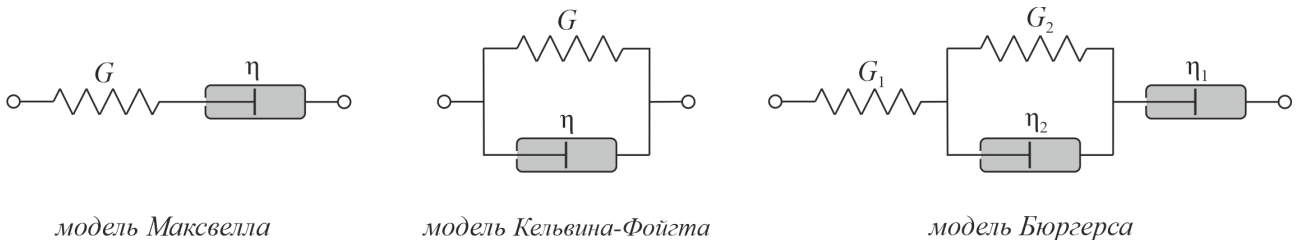
$$\sigma = \eta \frac{d\varepsilon}{dt} * \quad (2)$$

Величина η называется коэффициентом вязкости данной жидкости.

Так ведут себя обычные твердые тела и обычные (ньютоновские) жидкости. Однако некоторые вещества, как оказалось, удивительным образом проявляют и свойства жидкости (вязкость) и свойства твердых тел (сдвиговую упругость). Такие вещества называют вязкоупругими средами или неньютоновскими жидкостями. К ним относится, например, большинство искусственных полимеров и их растворов в различных растворителях. Из более знакомых вам субстанций свойства вязкоупругости проявляют некоторые пищевые продукты – кетчуп, кондитерский крем и... густая манная каша!

Для описания свойств таких веществ наука *реология* использует механические модели, состоящие из пружин (подчиняются закону Гука (1)) и цилиндров, в которых движение поршня вызывает перетекание вязкой жидкости (подчиняются закону вязкого трения (2)). По-разному соединяя эти элементы, можно получить системы, достаточно точно описывающие механические свойства вязкоупругой среды.

На рисунке показаны основные модели, применяемые этой наукой – модель Максвелла, Кельвина-Фойгта и Бюргера. Иногда для более точного описания данного вещества используют и более сложные модели, состоящие из большего числа элементов и обладающие большим числом параметров.



* $\frac{df}{dt}$ – обозначение производной функции $f(t)$ по времени.