

### Задача 11-3. Выпад против Эйнштейна?

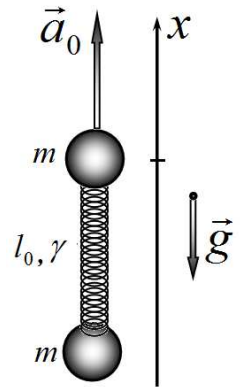
Если Вы находитесь в закрытой кабине лифта, то согласно принципу относительности Г.Галилей, никакими способами не сможете определить, покоится лифт или движется равномерно. Если же лифт движется с ускорением, то это ускорение достаточно легко обнаружить, находясь внутри кабины. Однако, если лифт движется с постоянным ускорением, то согласно принципу эквивалентности А.Эйнштейна, вы никакими способами не сможете отличить ускоренное движение от изменения сил гравитационного взаимодействия. Иными словами, находясь в кабине лифта, вы не в состоянии однозначно сказать: движется лифт с ускорением, или изменилась сила тяжести!

Или, все-таки, сможете?

#### Часть 1. Два шарика.

Два одинаковых шарика (масса каждого равна  $m$ ) соединены легкой пружиной (ее жесткость -  $\gamma$ , длина в недеформированном состоянии -  $l_0$ , и значительно больше диаметра шариков). Один из шариков прикрепили к потолку покоящегося лифта, второй свободно свисает на пружине.

В некоторый момент времени  $t = 0$  лифт начинает подниматься постоянным ускорением  $\vec{a}_0$ .



1.1 Найдите закон движения подвешенного шарика  $x_2(t)$  в системе отсчета, связанной с потолком лифта.

1.2 Найдите максимальное удлинение пружинки в процессе движения.

После некоторого промежутка времени колебания пружинки затухнут.

1.3 Чему будет равно относительное удлинение пружинки, после того, как ее длина перестала изменяться?

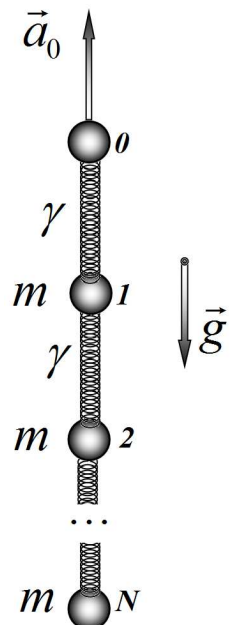
1.4 Чему будет равно относительное изменение силы натяжения пружинки, после прекращения колебаний?

#### Часть 2. Цепочка.

Цепочка состоит из  $N$  звеньев:  $N$  легких пружинок жесткостью  $\gamma$  и длиной  $l_0$  в недеформированном состоянии и  $N + 1$  шариков массы  $m$ , размерами которых можно пренебречь.

2.1 Цепочку подвешивают вертикально за крайний шарик к потоку покоящегося лифта. Найдите относительное (по сравнению с ее длиной  $L_0$  в недеформированном состоянии) удлинение всей цепочки  $\frac{\Delta L}{L_0}$

вследствие действия силы тяжести.



Лифт начинает подниматься постоянным ускорением  $\vec{a}_0$ . В течение некоторого промежутка времени по цепочке будут пробегать упругие волны, которые быстро затухнут.

2.2 Найдите относительное (по сравнению с ее длиной  $L_0$  в недеформированном состоянии) удлинение цепочки после прекращения колебаний всех шариков.

2.3 Чему будет равно относительное изменение сил натяжения пружинок  $\frac{\Delta F_k}{F_{k0}}$  (где  $F_{k0}$  - сила упругости  $k$ -ой пружинки в неподвижном лифте,  $\Delta F_k$  - изменение этой силы при ускорении лифта).

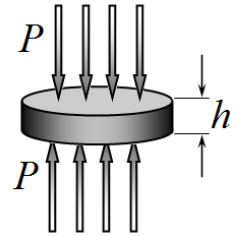
### Часть 3 Сжатие воды.

Если слой жидкости толщиной  $h_0$  поместить под давление  $P$ , то его толщина уменьшится и станет равной

$$h = h_0(1 - \beta P),$$

Величина  $\beta$  называется сжимаемостью жидкости. Обычно эта величина мала, поэтому часто жидкости считают несжимаемыми. Однако в некоторых физических явлениях она играет определяющую роль. Для воды сжимаемость равна  $\beta = 0,44 \cdot 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$ . Плотность

воды  $\rho = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Ускорение свободного падения считайте равным  $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

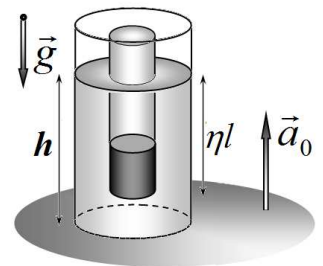


3.1 Определите величину сжатия воды  $\Delta h$  для слоя глубиной  $h$  под действием собственного веса. Рассчитайте величину этого сжатия для глубины  $h = 10 \text{ км}$ .

### Часть 4. Смещение поплавка.

На полу кабины лифта стоит бочка с водой, высота уровня которой равна  $h = 1,0 \text{ м}$ .

В бочке плавает вертикально цилиндрическая пробирка высоты  $l = 0,50 \text{ см}$ . При этом глубина погружения равна  $\eta l$  (где  $\eta = 0,80$ ).



Лифт начинает подниматься с постоянным ускорением  $a_0 = g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ . Сразу после начала движения в воде возникнут упругие волны, которые быстро затухают.

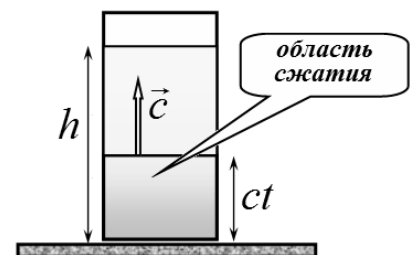
4.1 Рассчитайте, на сколько понизится уровень воды в бочке  $\Delta h$  после установления равновесия.

4.2 На сколько процентов изменится плотность воды в бочке при ее ускоренном движении?

4.3 Во сколько раз увеличится давление воды на дно бочки при ее ускоренном движении?

4.4 Чему будет равна глубина погружения пробирки после того, как она перестанет колебаться?

Для описания распространения упругих волн примем следующую упрощенную модель. Будем считать, что граница области дополнительного сжатия распространяется со скоростью звука  $c$  (относительно воды). Ниже этой границы вся вода уже движется с постоянным ускорением  $a_0$ , а выше нее еще покоится.



Когда граница области сжатия достигает верхнего уровня жидкости, все волновые процессы затухают.

4.5 Данная модель приводит к правильному значению величины сжатия жидкости. Используя ранее найденное значение сжатия, получите формулу для скорости звука в воде, рассчитайте численное значение этой скорости.

4.6 Постройте график зависимости давления внутри воды от глубины в некоторый момент времени, когда волна сжатия еще не достигла верхнего уровня жидкости.

4.7 Рассчитайте максимальное значение скорости пробирки относительно уровня воды в бочке.