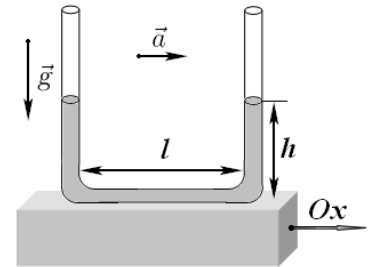


-1. Акселерометр

Условие

Задача 10-1. Акселерометр

Для измерения модуля ускорения бруска, движущегося по горизонтальной поверхности вдоль оси Ox , используется простейший акселерометр, представляющий собой тонкую U – образную трубку (рис. 1), закреплённую на бруске и заполненную водой (слабовязкой несжимаемой жидкостью). Расстояние l между вертикальными достаточно высокими коленами трубки значительно больше её диаметра, оба её конца открыты в атмосферу. В состоянии покоя уровни воды в коленях трубки находятся на одинаковой высоте h от поверхности бруска (см. рис. 1).



Принцип работы прибора прост: при движении бруска в положительном направлении оси Ox уровни воды в коленях акселерометра изменяются: в одном из них вода поднимается на определенную высоту Δh , а в другом – опускается на такую же величину.

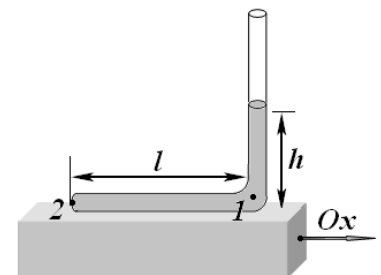
1. «Равномерное движение» Брусок движется достаточно большое время в положительном направлении оси Ox с постоянной скоростью V . Нарисуйте схематически положение уровней воды в каждом из колен акселерометра при таком движении и найдите, на какую величину Δh_1 изменится уровень воды в каждом из них по отношению к состоянию покоя.

2. «Равноускоренное движение» Брусок движется достаточно большое время в положительном направлении оси Ox с постоянным ускорением a . Нарисуйте схематически положение уровней воды в каждом из колен акселерометра при таком движении и найдите, на какую величину Δh_2 изменится уровень воды в левом вертикальном колене по отношению к состоянию покоя. Постройте схематический график зависимости Δh_2 от ускорения a .

Ускорения могут настолько большими, что одно из колен может оказаться пустым.

3. «Плохой стеклодув» Неопытный мастер изготовил «бракованный» акселерометр, у которого одно вертикальное колено исчезло, а горизонтальное колено длины l оказалось запаянным с одного конца (рис. 2).

3.1 Найдите давление p_1 воды в месте изгиба трубки (точка 1, см. рис. 2) и давление p_2 у её запаянного конца (точка 2) при движении «бракованного» акселерометра в положительном направлении оси Ox с ускорением a ? Атмосферное давление p_0 .



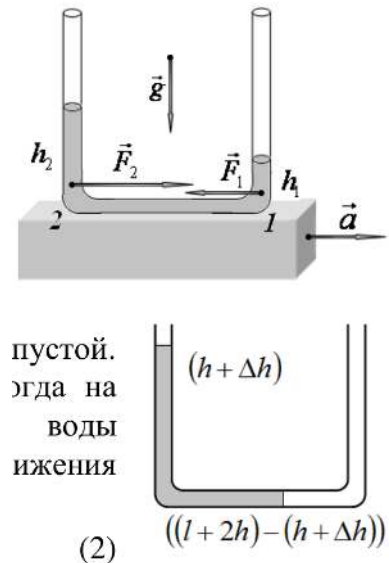
3.2 Чему будут равны эти давления, если ускорение направлено в противоположную сторону.

3.3 Пусть $l = 1,0$ м, $h = 0,50$ м. Оцените при каком ускорении a^* (укажите и направление этого ускорения) вода сможет вылететь из трубки. Атмосферное давление нормальное, температура – комнатная.

Решение

Задача 10-1. Акселерометр

1. «Равномерное движение». Из принципа относительности Галилея следует, что в этом случае уровни воды в трубках не изменяться $\Delta h = 0$.



2. «Равноускоренное движение» Разность сил давления в трубках должна обеспечивать ускорение воды в горизонтальном колене

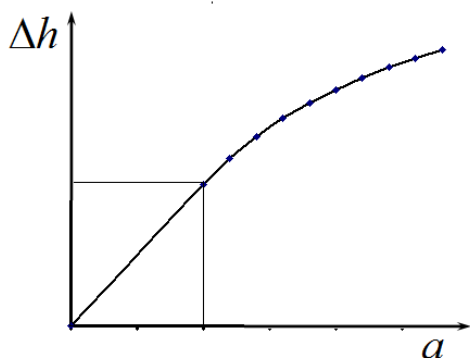
$$2\rho g \Delta h S = \rho l S a \Rightarrow \Delta h = \frac{a}{2g} l. \quad (1)$$

Это будет справедливо, пока $\Delta h < h$, Т.е. при $a < 2g \frac{h}{l}$. При большем ускорении правая вертикальная трубка окажется пустой. Пусть высота столба в вертикальном колене равна $h + \Delta h$, тогда на горизонтальном участке находится столб воды $((l + 2h) - (h + \Delta h)) = (l + h) - \Delta h$. Уравнение его ускоренного движения имеет вид

$$\rho S (l + h - \Delta h) a = \rho S (h + \Delta h) g \quad (2)$$

Откуда следует

$$\Delta h = \frac{(l + h)a - hg}{a + g}. \quad (3)$$



Схематический график показан на рисунке: сначала прямая линия, потом начинает загибаться и стремиться к предельному значению $(h + l)$

Другой способ решения задачи заключается в переходе в систему отсчета, связанную с самой трубкой. В этой системе отсчета эффективное ускорение равно $\vec{g}^* = \vec{g} - \vec{a}$. Свободная поверхность жидкости перпендикулярна этому вектору.

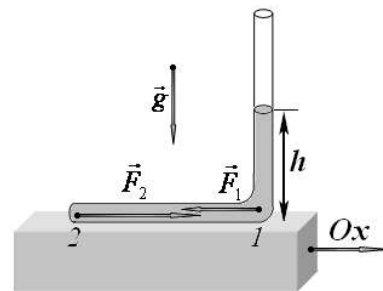
3. «Плохой стеклодув»

Основная идея решения остается прежней: разность сил давления создает необходимое ускорение воды. Поэтому в данном случае:

$$P_1 = P_0 + \rho gh \quad (4)$$

В точке 2

$$P_2 = P_0 + \rho gh + \rho al \quad (5)$$



3.2 При изменении направления ускорения достаточно поменять знак в формуле (5)

$$P_2 = P_0 + \rho gh - \rho al \quad (6)$$

3.3 При отрицательном направлении ускорения столб воды может разорваться. Это значит, что вода закипит. Так как при комнатной температуре давление насыщенных паров значительно меньше атмосферного, то можно считать, что столб воды разорвется, если в его крайней точке давление станет равным нулю. Тогда из уравнения (6) следует (для оценки можно пренебречь и гидростатическим давлением) $\rho al \approx P_0 \Rightarrow a \approx 10g$.

Возможны и такие оценочные рассуждения: в поле тяжести земли разрывается под действием собственного веса столб воды высотой в 10 м, чтобы разорвался столб воды высотой в 1 м ускорение должно быть в 10 раз больше ускорения свободного падения.

² Слово абберация означает искажение.