

Изобретение относится к способам исследования физических явлений в учебном процессе.

Известен способ определения ускорения свободного падения тел в гравитационном поле Земли, в котором измеряют время падения тела с заданной высоты (Лабораторный практикум по физике / Под ред. А.С. Ахматова. - М.: Высш. шк., 1980. - С.31).

Недостатком этого способа является то, что он не позволяет учитывать неинерционность системы отсчета, связанной с Землей, так как при этом отклонение от вертикали траектории падения тела ничтожно мало и отсутствует точка отсчета для его определения.

Наиболее близким по технической сущности является способ исследования движения тел в маловязких жидкостях, заключающийся в определении по времени падения шарика с определенной высоты коэффициента внутреннего трения этих жидкостей (Лабораторный практикум по физике / Под ред. А.С. Ахматова. - М.: Высш. шк., 1980. - С.100).

Однако этот способ не предназначен для исследования движения тел в неинерционной системе отсчета, связанной с Землей, так как отсутствует точка отсчета для определения отклонения от вертикали траектории падения тела.

Цель изобретения - обеспечение демонстрации неинерциональности системы отсчета, связанной с Землей.

Указанная цель достигается тем, что в способе исследования движений тел, включающим определение времени падения тела с определенной высоты в жидкости согласно изобретения, дополнительно осуществляют измерение отклонения тела от вертикали, причем используют маловязкую жидкость и тело с плотностью близкой к плотности жидкости.

Существенность указанных отличительных признаков подтверждается тем, что авторам неизвестны используемые аналогичные признаки, применяемые в учебном процессе и позволяющие продемонстрировать влияние неинерциальности системы отсчета, связанной с Землей.

До сих пор влияние неинерциальности системы отсчета, связанной с Землей, демонстрировалось при объяснении причин подмывания определенных берегов реками, текущими в меридиональном направлении: правый по течению - для рек Северного полушария Земли и левый - для рек Южного полушария, Маятника Фука.

На чертеже (фиг.) представлен пример реализации способа.

Устройство представляет собой стеклянный сосуд (цилиндрический или прямоугольный) 1, который располагается вертикально и заполняется жидкостью 2. Сосуд закрыт сверху крышкой с калибровочным отверстием 3 для опускания шарика 4, что должно обеспечить постоянную точку отсчета по горизонтали начального положения шарика. Возможны и другие варианты обеспечения постоянства этой точки отсчета, в частности (вместо крышки 3 с отверстием) стационарно закрепленный в верхней части сосуда электромагнит со сферической выемкой в сердечнике для центровки шарика, который в этом случае должен быть изготовлен из

ферромагнетика. Вдоль сосуда 1 вертикально расположена линейка 5 для определения высоты падения шарика, а на дне сосуда расположено отсчетное устройство 6 с компасом (на чертеже не показан).

Отсчетное устройство может быть изготовлено, например, в виде линейки, представляющей собой диэлектрическую пластинку, вдоль которой нанесена контактная полоска. К пластинке прикреплены тонкие электроды из пружинистой проволоки таким образом, что они размещены на небольшом (порядка 0,3 - 0,5мм) расстоянии над контактной полоской перпендикулярно ее длине и параллельно плоскости пластины и между собой. При падении шарика на такую линейку происходит замыкание определенного контактного электрода на контактную полоску. Каждый контактный электрод имеет отдельный вывод, соединенный с регистрирующим устройством. Расстояние между контактными электродами определяет точность отсчета. В качестве регистрирующего устройства может быть использована, например, линейка светодиодов, каждый из которых индивидуально включается при замыкании соответствующего контактного электрода отсчетного устройства.

Для заполнения сосуда жидкостью целесообразно в нижней его части сделать отросток, через который соединить данный сосуд с дополнительным сосудом гибким шлангом, и производить заполнение сосуда жидкостью по принципу сообщающихся сосудов. В качестве жидкости, наполняющей сосуд, предполагается использовать воду или слабый водный раствор глицерина. При этом плотность жидкости

$$\rho \approx 10^3 \text{ кг/м}^3,$$

$$\eta \approx 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Шарик радиусом 10 - 15мм должен быть изготовлен таким образом, чтобы его усредненная плотность ρ_0 всего на сотые доли процента превышала плотность жидкости ($\rho_0 \geq \rho$), чтобы обеспечить компенсацию подавляющей части силы тяжести шарика выталкивающей силой жидкости. Такой шарик, в случае необходимости изготовления его из ферромагнитного материала (например, стали), выполняется полым.

Так как обычно трудно подобрать усредненную плотность шарика "под жидкость", предполагается осуществлять подгонку плотности жидкости "под шарик" путем изменения концентрации раствора глицерина.

Высота сосуда составляет примерно 2м, что вполне допустимо в лабораторных условиях.

Отсчет времени падения шарика удобнее всего производить электронным хронометром, запуск которого может осуществляться сигналом перекрывания светового потока падающим шариком в оптроне, устанавливаемом в верхней части стеклянного сосуда, а остановка - сигналом касания шарика отсчетного устройства.

Способ заключается в следующем. Стеклянный сосуд 1, не заполненный жидкостью 2, устанавливают строго вертикально (например, с помощью отвеса) и по компасу ориентируют отсчетное устройство 6 по земной параллели. Затем через калибровочное отверстие верхней крышки 3 опускают шарик 4 и регистрируют по отсчетному устройству точку его падения. Затем сосуд заполняют вязкой жидкостью 2 и вновь

через отверстие в крышке 3 опускают шарик 4, измеряя по линейке 5 высоту h падения шарика, время его падения t (с помощью секундомера), а по отсчетному устройству 6 регистрируют точку падения и определяют величину отклонения s как расстояние между точкой падения шарика на отсчетном устройстве в воздухе и в жидкости.

Как известно, основной причиной неинерциональности системы отсчета, связанной с Землей, является суточное вращение Земли. Так тело, свободно падая движется не по вертикали, а слегка отклоняется к востоку. Это отклонение тем больше, чем больше высота падения h , и зависит от географической широты φ места проведения опыта.

В произвольной точке поверхности Земли на падающее тело действуют: сила тяжести $\vec{F} = m\vec{g}$ и кориолисова сила инерции

$$\vec{F}_k = -2m[\vec{\omega}, \vec{v}_r], \quad (1)$$

где m - масса тела; $\vec{\omega}$ - угловая скорость вращения Земли; \vec{v}_r - скорость падения тела.

Сила \vec{F}_k направлена перпендикулярно \vec{v}_r с запада на восток и численно равна

$$F_k = 2mg\omega t \cos \varphi. \quad (2)$$

Эта сила сообщает телу ускорение a_t , направленное по касательной к поверхности Земли с запада на восток и численно равное

$$a_t = 2\omega v_r \cos \varphi \quad (3)$$

За время падения тела с высоты h отклонение от вертикали траектории падения тела определяется выражением

$$s = 2\omega \cos \varphi \int_0^t v_r a_t dt \quad (4)$$

В лабораторных условиях эксперимента (при высоте лабораторного устройства порядка 2м) отклонение s точки свободного падения шарика от вертикали согласно (4) пренебрежимо мало (порядка 10^{-5} м) и его можно не учитывать, а точку падения шарика можно принять за точку отсчета. При падении шарика в жидкости на него кроме силы тяжести и кориолисовой силы действует выталкивающая сила \vec{F}_A и сила вязкого сопротивления жидкости \vec{F}_s , имеющая две составляющие - вертикальную \vec{F}_{st} и горизонтальную \vec{F}_{st} .

При плотности шарика ρ_0 , незначительно превышающей плотностью жидкости ($\rho_0 \approx \rho$), обеспечивается компенсация подавляющей части силы тяжести шарика выталкивающей силой. Тогда уравнение движения запишется в виде

$$\vec{F} + \vec{F}_k + \vec{F}_A + \vec{F}_s = m\vec{a}, \quad (5)$$

из которого получим

$$mg - \frac{4}{3}\pi R^3 \rho g - 6\pi\eta R v_r = ma_r \quad (6')$$

$$2m\omega v_r \cos \varphi - 6\pi\eta R v_t = ma_t \quad (6'')$$

Соответствующим подбором ρ_0 и ρ (например, $R \approx 10-15$ мм), можно добиться скоростей падения шарика порядка 10^{-2} м/с.

Решая уравнения (6'), (6''), получим выражение для отклонения тела

$$s = 2\omega \cos \varphi \left\{ \frac{h}{B} - \frac{(h - \frac{A}{B}t) \exp(-Bt)}{1 - \exp(-Bt)} - \frac{A}{B^2} [1 - \exp(-Bt)] \right\} = 2\omega K \cos \varphi. \quad (7)$$

$$A = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} g \quad \text{и} \quad B = \frac{9\eta}{2R^2 \rho_0}.$$

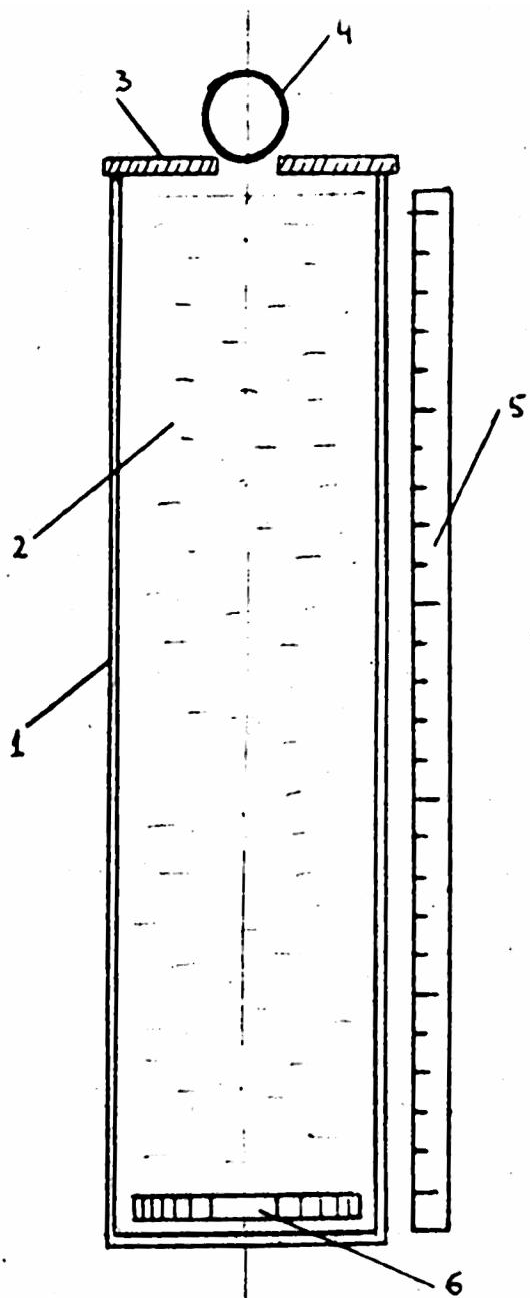
где

Отклонение s экспериментально измеряют с помощью отсчетного устройства как расстояние между точками падения шарика в воздухе и в вязкой жидкости. В предлагаемых условиях лабораторного эксперимента могут быть достигнуты отклонения в несколько мм.

Угловую скорость вращения Земли определяют из выражения

$$\omega = \frac{s}{2K \cos \varphi}. \quad (8)$$

Использование предлагаемого способа исследования движения тел в гравитационном поле Земли обеспечивает по сравнению с существующими способами экспериментальную проверку и подтверждение теоретических положений движения тел в неинерциальных системах отсчета. Это возможно благодаря определению времени падения тела с определенной высоты в маловязкой жидкости, определению отклонения тела под влиянием кориолисовой силы и на основе этих параметров вычисления скорости Земли.



Фиг.