

Задача Капицы о падении метеорита

И. И. Кравченко, 1 октября, 2024.

Давайте посмотрим на вот такую задачу П. Л. Капицы по механике.

Тунгусский метеорит столкнулся с Землей на широте 60° , и вся его энергия обратилась в тепло, так что он испарился. Принимая, что вес метеорита был 10 000 т и его скорость составляла 50 км/сек, подсчитать, какое предельное влияние этот удар мог оказать на период обращения Земли вокруг ее оси. Можно ли обнаружить это изменение вращения современными часами?

Можно показать, что от падения метеорита вклад в изменение периода вращения Земли будет максимальным, если при столкновении метеорита его скорость будет лежать на одной прямой с линейной скоростью точки Земли в месте падения. Примем, что это условие соблюдается.

Используем закон сохранения момента импульса системы «метеорит-Земля» (о моменте импульса и его сохранении см. в пособии [1]). В проекции на ось вращения Земли:

$$L_3 \pm L_m = L'_3, \quad (1)$$

где L_3 и L_m — моменты импульса Земли и метеорита до столкновения, L'_3 — момент импульса Земли после столкновения. Знак «+» отвечает ситуации, когда скорость метеорита сонаправлена со скоростью точки Земли в месте падения, знак «−» отвечает противоположной ситуации. (В этом уравнении учитывается испарение метеорита — правая часть равенства не содержит информации о метеорите.)

С учетом определений распишем величины в формуле (1):

$$I_3 \omega_3 \pm mvr = I_3 \omega'_3, \quad (2)$$

где I_3 — момент инерции Земли относительно оси вращения Земли, ω_3 и ω'_3 — угловые скорости вращения Земли до и после столкновения, m и v — масса и скорость метеорита, r — расстояние от метеорита до оси вращения Земли в момент столкновения.

Будем Землю считать однородным шаром; ее момент инерции равен:

$$I_3 = \frac{2}{5}MR^2, \quad (3)$$

где M и R — масса и радиус Земли ($M \approx 6 \cdot 10^{24}$ кг, $R \approx 6,4 \cdot 10^6$ м).

Угловые скорости вращения Земли находятся так:

$$\omega_3 = \frac{2\pi}{T}, \quad (4)$$

$$\omega'_3 = \frac{2\pi}{T'}, \quad (5)$$

где T и T' — периоды вращения Земли до и после столкновения ($T \approx 86164$ с).

Расстояние от метеорита до оси вращения Земли при столкновении равно:

$$r = R \cos \varphi, \quad (6)$$

где φ — широта, на которой происходит столкновение.

Совместно решив уравнения (2)–(6), получаем такую формулу для вычисления изменения периода ΔT обращения Земли вокруг ее оси вследствие удара метеорита:

$$\Delta T \approx \pm \frac{5mv \cos \varphi T^2}{4\pi MR}.$$

Вычисления приводят к такому результату:

$$\Delta T \approx \pm 2 \cdot 10^{-11} \text{ с.}$$

Вопрос об обнаружении такого изменения времени оставляем читателю.

Литература

[1] Д. В. Сивухин. *Общий курс физики. Том I. Механика.* Наука, 1979.