Задача №32 (7719), майский вариант №2 (4815876), «Решу ЕГЭ»

Для исследования рентгеновских лучей с длинами волн меньше 10 нм изготовить обычную дифракционную решётку с подходящим периодом не представляется возможным, однако есть способ обойти эту трудность. Возьмём обычную решётку с периодом $d = 30$ мкм и осветим её параллельным пучком рентгеновского излучения с длиной волны $\lambda = 4{,}5$ нм с углом падения на решётку $\alpha = 89{,}5°$ (скользящее падение лучей). Под каким углом γ к первоначальному пучку будет фиксироваться дифракционный максимум первого порядка? Считайте этот угол малым: $\gamma \ll 1$. Ответ выразите в градусах и округлите до целого числа.

Решение.

При скользящем падении лучей на дифракционную решётку с периодом d разность хода соседних лучей возникает как до их падения (-d•sinα) так и после их выхода из решётки (d•sinφ, где φ - угол дифракции, то есть угол между перпендикуляром к плоскости решётки и лучом). Таким образом, условие первого главного максимума для дифракции на решётке в данном случае имеет вид: $d \cdot \sin\varphi - d \cdot \sin\alpha = k \cdot \lambda$, $k=1$ по условию. Или, согласно тригонометрической формуле:

$$d \cdot 2\sin\left(\frac{\varphi-\alpha}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\varphi+\alpha}{2}\right) = \lambda$$

По условию угол отклонения луча решёткой $\gamma = \varphi - \alpha \ll 1$, поэтому $\varphi \approx \alpha$ и $\cos\left(\frac{\varphi+\alpha}{2}\right) \approx \cos(\alpha)$. Значит, $2\sin\left(\frac{\varphi-\alpha}{2}\right) \approx \varphi - \alpha = \gamma$.

И условие главного дифракционного максимума первого порядка приобретает вид: $d \cdot \cos(\alpha) \cdot \gamma \approx \lambda$. то есть эффективный период решётки уменьшается до $d \cdot \cos(\alpha)$ и при угле α близком к 90°, может быть намного меньше d. Теперь можно найти угол γ.

$$\gamma \approx \frac{\lambda}{d \cdot \cos\alpha} \approx (4{,}5 \cdot 10^{-9})/(30 \cdot 10^{-6} \cdot \cos 89.5°) \approx 0.984° \approx 1°.$$

Ответ: 1°.

Задача №28 (10726), апрельский вариант №3 (4706405), «Решу ЕГЭ»
Бабочки летают, быстро хлопая крыльями. Объясните с точки зрения физических законов и закономерностей, за счёт чего им удаётся удерживаться в воздухе. Оцените, с какой частотой ν бабочке-монарху надо махать крыльями в воздухе плотностью ρ = 1,25 кг/м^3, чтобы не упасть, если масса бабочки m = 0,5 г, площадь крыльев S = 8 см^2, максимальная вертикальная скорость концов крыльев в полёте u = 1 м/с. Считайте, что бабочка опускает крылья вниз плашмя, а поднимает их вверх ребром.

Решение.

После каждого взмаха при опускании крыльев бабочка отбрасывает вниз порцию воздуха. Поскольку отбрасываемый воздух имеет массу, то он уносит импульс. В соответствии с законом сохранения импульса точно такой же импульс передаётся от отбрасываемого воздуха бабочке. В результате возникает подъёмная **сила** – она **численно равна импульсу, который получает бабочка в единицу времени.** Если эта сила уравновешивает силу тяжести, действующую на бабочку, то она удерживается в воздухе.

2. Пусть при одном опускании крыльев за время Δt бабочка отбрасывает вниз некоторую массу Δm воздуха плотностью ρ в пределах своей площади крыльев S со средней скоростью V. При этом воздуху сообщается импульс

$$\Delta p = \Delta m V = \rho S V \Delta t \cdot V = \rho S V^2 \Delta t.$$

В единицу времени при частоте взмахов ν весь переданный воздуху импульс будет равен

$$\Delta P/\Delta t = \nu \Delta p/\Delta t = \nu \rho S V^2.$$

Бабочка при этом получает в единицу времени такой же по модулю импульс, но уже направленный вверх.

3. Согласно второму закону Ньютона, $\Delta P/\Delta t = \nu\rho S V^2 = mg$, откуда $\nu = mg/(\rho S V^2)$.

4. Для оценки скорости V, входящей в эту формулу, будем считать, что она составляет половину максимальной скорости концов крыльев: $V = u/2$.

Таким образом, $\nu \approx 4\text{mg}/(\rho S u^2)$ = 20 Гц.

Ответ: 20 Гц.