

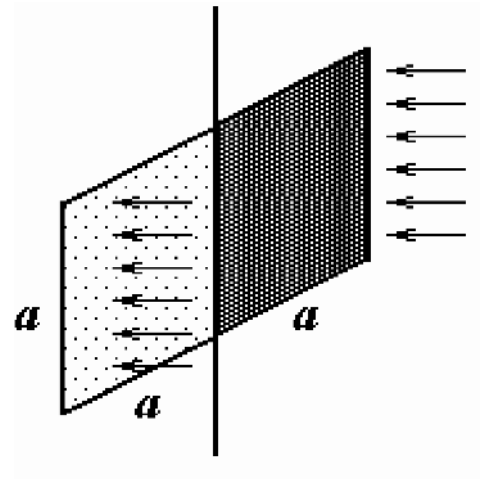
вертушка

Условие

Задача 9.

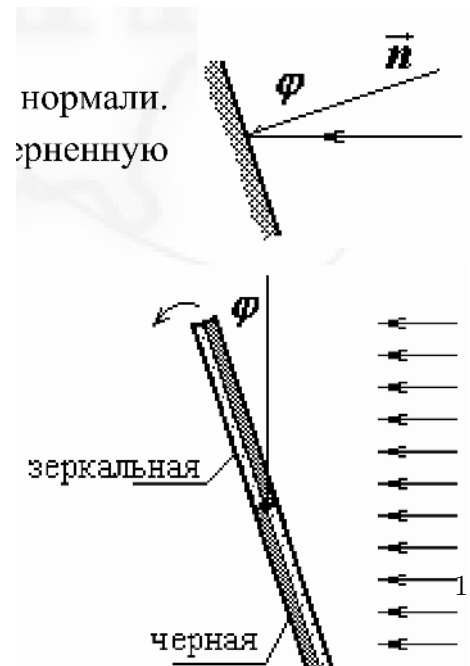
Для демонстрации существования давления света используется простой прибор - радиометр. Внутри стеклянной колбы, из которой откачан воздух, расположена легкая «вертушка», состоящая из нескольких лепестков, способная вращаться с очень малым трением вокруг вертикальной оси. Лепестки изготовлены из металлической фольги, одна сторона которой зеркальна, а вторая зачернена. Хорошо известно, что при нормальном падении давление света на зеркальную поверхность больше, чем на зачерненную, поэтому вертушка должна вращаться зачерненной стороной вперед.

Однако опыт показывает, что часто вертушка вращается в противоположном направлении. Ваша задача (с нашей помощью) - объяснить движение вертушки, при освещении ее светом. Рассмотрим упрощенную модель такого прибора: вертушка содержит только два алюминиевых лепестка, изготовленные в форме квадрата со стороной $a = 1,0$ см, одна из сторон лепестка прикреплена непосредственно к оси вращения. Толщина фольги $h = 1,0$ мм. Считайте, что одна сторона лепестков идеально зеркальная, а вторая абсолютно черная. Прибор освещается горизонтальным параллельным пучком света. Энергетическая интенсивность падающего света равна $I_0 = 1,2 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$. Скорость света принять равной $c = 3,0 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Во всех пунктах, где это возможно, приведите также ответы в численном виде.



1. Чему равны силы давления света при нормальном падении на зеркальную и зачерненную стороны лепестка?
2. Пусть свет падает на поверхность под углом φ к нормали. Найдите силы, действующие на зеркальную и зачерненную стороны лепестка. 3. Будем называть начальным положение лепестков, при котором они расположены перпендикулярно падающему свету. Постройте график зависимости суммарного момента сил светового давления на вертушку от угла поворота вертушки. Положительным, считайте направление вращения против часовой стрелки (как показано на рисунке). Постройте график зависимости момента сил светового давления от угла поворота. Найдите среднее значение момента сил, усредненное по полному обороту вертушки. В какую сторону должна вращаться вертушка?

Основная причина вращения в «неправильном» направлении - наличие остаточного газа в колбе, давление которого



на пластинку зависит от температуры.

В колбе находится гелий при низком давлении $p = 50$ Па. Температуру газа в колбе считайте постоянной и равной $T_0 = 290$ К. Молярная масса гелия $\mu = 4,0 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$.

Будем считать, что вертушка вращается достаточно быстро, поэтому при расчете теплофизических характеристик можно проводить усреднение по полному обороту вертушки.

4. Найдите среднюю по одному обороту вертушки плотность потока теплоты, поглощаемого зачерненной стороной одного лепестка.

Плотность потока теплоты это количество передаваемой теплоты в единицу времени, на единицу площади $q = \frac{Q}{\Delta t \Delta S}$.

5. Если температура поверхности превышает температуру газа, то поверхность отдает теплоту окружающему газу. Плотность потока теплоты, отдаваемой газу пропорциональна разности температур поверхности $q = \beta(T - T_0)$, где β - коэффициент теплоотдачи. Считайте, что молекулы отраженные от нагретой поверхности имеют распределение скоростей, соответствующее температуре поверхности.

Вычислите коэффициент теплоотдачи, для газа, находящегося в рассматриваемой колбе.

6. Найдите среднюю температуру лепестка пластинки и разность температур зачерненной и зеркальной поверхностей.

Плотность потока теплоты через пластинку определяется законом $q = \gamma \frac{\Delta T}{h}$, где ΔT - разность температур различных сторон пластинки, γ - коэффициент теплопроводности, который для алюминия равен $\gamma = 205 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

7. Учитывая, что разные стороны лепестка имеют разность температур ΔT , оцените разность давлений газа на разные стороны лепестка. Оцените момент сил давления газа на вертушку.

8. Получите окончательную формулу для оценки отношения моментов сил давления света и газа. До какого давления следует откачать газ в колбе, чтобы «увидеть» давление света?