

ТРАДИЦИОННАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ ОЛИМПИАДА МФТИ ПО ФИЗИКЕ

24 марта 2019 г.

1. На покатой деревянной крыше лежит однородный стальной лист, длина которого вдоль склона $L = 1$ м. Средний перепад дневной и ночной температур составляет $\Delta T = 50^\circ\text{C}$. Определите расстояние, на которое лист сползет вниз за сто дней. Коэффициент трения листа о крышу $\mu = 0.6$, угол наклона крыши к горизонту $\theta = 30^\circ$, коэффициент теплового расширения стали $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$, коэффициентом теплового расширения дерева пренебречь.

Указание: Считать, что при расширении/сжатии листа существуют точки листа неподвижные относительно крыши. (Савров М. А.)

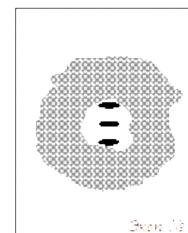
2. Теория образования изображения в оптическом микроскопе была разработана Э. Аббе в 1873 г. Согласно его теории, предел разрешения изображения двух точечных источников лимитируется дифракцией и составляет, $\lambda/2n$, где λ – длина световой волны в вакууме, а n – показатель преломления среды в которой находится исследуемый микробиологический объект. В литературе это утверждение чаще известно как критерий Рэлея, характеризующий предел разрешения изображений двух точечных источников. Между тем, в связи с бурным развитием нанотехнологий, в начале 2000-х годов на рынке оптического приборостроения появились приборы, в том числе микроскопы, в которых указанный критерий Рэлея представляется преодоленным. Так, например, в паспорте на модель интерференционно-модуляционного микроскопа МИМ-2 выпускаемого одной из российских инновационных компаний с 2004 года и пользующимся значительным спросом у отечественных и зарубежных потребителей, заявлены следующие характеристики прибора:

- возможность получения объемного 3D рельефа исследуемых объектов;
- горизонтальное разрешение $(X, Y) = 15 - 30$ нм (зависит от типа исследуемого объекта);
- вертикальное разрешение $(Z) = 0,5$ нм.

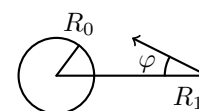
В последующих (более современных модификациях) эти характеристики существенно улучшены. Представленные характеристики находятся в противоречии с известным критерием разрешения Рэлея в оптике, согласно которому, разрешение оптической системы не может быть лучше, чем половина длины волны света. Спрашивается, как это может иметь место? (Жотиков В. Г.)

3. В воздухе, заключенном в широкой теплоизолированной трубе с абсолютно твердыми стенками, возбуждена осевая звуковая стоячая волна частотой $\nu = 10$ кГц. Определить добротность таких колебаний, обусловленную конечной теплопроводностью воздуха, равной $\kappa = 25$ мВт/м·К. Оценить максимальную частоту звука ν_{max} , способного распространяться в воздухе. Давление считать равным атмосферному. (Дьячков Н. В.)

4. Аспирант проводил эксперимент Штерна-Герлаха с пучком атомов X расщепляющимся на несколько компонент после прохождения зазора магнита. Регистрирующая фотопластинка с пятнами от компонент случайно засветилась в некоторой кольцевой области, и различимыми остались три пятна (см. рис.) отстоящих друг от друга на $h_x = 2$ мм. Из размеров засвеченной области следовало, что до засветки на пластинке могло быть не более семи пятен. В первом эксперименте, который аспирант выполнял на той же установке с атомами водорода имеющими ту же кинетическую энергию, что и атомы X , на пластинке получались два пятна отстоящие на $h_H = 6$ мм. Запишите состояние атомов X (в обозначении $2S+1L_J$). Сколько было пятен? (Аникин Ю. А.)



5. Лазерный луч распространяется в сферически симметричной среде с показателем преломления $n(R) = n_0 R/R_0$, здесь $n_0 = 1.0$, $R_0 = 0.3$ м. Траектория луча лежит в плоскости, проходящей через центр симметрии системы. Известно, что на расстоянии $R_1 = 0.8$ м лазерный луч образует с радиусом-вектором, проведенным в точку траектории из центра, угол $\varphi = \pi/6$ (см. рис.). На каком минимальном расстоянии от центра симметрии проходит траектория лазерного луча? (Плис В. И.)

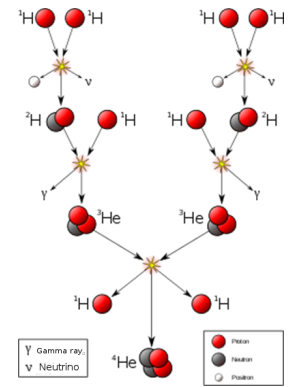


6. Вдали от полей тяготения, в безвоздушном пространстве, два тонких металлических колечка были помещены в однородное магнитное поле таким образом, что их ориентации к вектору индукции поля были одинаковы. Все размеры одного кольца вдвое больше, чем второго, материал большого колечка плотнее материала малого колечка в полтора раза. Из-за естественного остывания колечки перешли в сверхпроводящее состояние. После этого магнитное поле выключили и колечки начали вращаться. Известно, что за довольно большое время T после выключения поля скорость вращения маленького колечка уменьшилась вдвое. За какое время вдвое упала скорость вращения большого

колечка? Считать, что поле выключалось так быстро, что ориентация колечек при этом не успела измениться. Расстояние между колечками велико и их влиянием друг на друга можно пренебречь. На момент начала выключения поля колечки покоились. (Аникин Ю. А.)

7. Над горизонтальной ровной асфальтовой дорогой в очень жаркий солнечный день возникает «мираж» в виде отражения неба. Оценить расстояние до миража, если асфальт разогревается до $100\text{ }^\circ\text{C}$, в то время как температура окружающего воздуха $20\text{ }^\circ\text{C}$. Отклонение коэффициента преломления воздуха от единицы при нормальных условиях считать равным $\Delta n = 3 \cdot 10^{-4}$. Считать, что глаза наблюдателя находятся на высоте $h = 170\text{ см}$. (Фёдоров Г. Е.)

8. Источником солнечной энергии является серия реакций ядерного синтеза, проиллюстрированная на диаграмме. Обще энергосодержание в одной такой цепочке реакций составляет около $E_0 = 20\text{ МэВ}$. Оценить поток солнечных нейтрино на поверхности Земли.

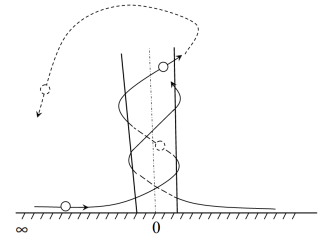


Указание: равновесную температуру земной поверхности принять равной 300 К . (Фёдоров Г. Е.)

9. С некоторым количеством идеального газа, из определённого начального состояния, первоначально проводится процесс при $G = \text{const}$ (G — термодинамический потенциал Гиббса), и повторно, из того же начального состояния, при $F = \text{const}$ (F — свободная энергия Гельмгольца). Найти разность теплоёмкостей $C_G - C_F$. (Булдыгин В. С.)

10. Стержень квадратного сечения, горизонтальные грани которого гладкие, а вертикальные — характеризуются коэффициентом трения скольжения $1/\sqrt{5}$, может вращаться вокруг вертикальной оси, проходящей через его конец. На стержень надета небольшая шайба, прикрепленная к оси с помощью пружины. Определите логарифмический декремент затухания колебаний шайбы, которые возбуждаются на вращающемся стержне, если угловая скорость вращения в $\sqrt{2}$ раз меньше собственной циклической частоты колебаний шайбы на неподвижном стержне. (Верёвочкин Ю. Г.)

11. Пылевые вихри (по-английски, dust devils) возникают над хорошо прогретыми участками поверхности в результате конвективной неустойчивости. Существует модель, представляющая пылевой вихрь как тепловую машину, в качестве рабочего тела в которой можно рассмотреть материальную частицу, т.е. элементарный объем, содержащий определенное количество газа. Этот газ получает тепло при движении вдоль поверхности, поднимается к вершине вихря, отдает тепло при смешивании с окружающим холодным воздухом, в результате опускается и снова вовлекается в движение. Считая, что КПД цикла равен η , а движение в вихре стационарно, оценить давление P_0 на оси вихря около поверхности и характерную скорость вращения вихря v . Газ считать идеальным с удельной теплоемкостью при постоянном давлении C_p , температура поверхности на удалении от ядра вихря T_∞ , температура поверхности на оси вихря $T_0 > T_\infty$, средняя температура поверхности $T_a \simeq T_\infty$, давление газа на удалении от оси вихря P_∞ . Считать, что потери на трение происходят только в приповерхностном турбулентном слое, конденсацией и испарением воды пренебречь. (Извекова Ю.)



12. Достаточно большой подковообразный постоянный магнит создаёт в некотором объёме между полюсами однородное магнитное поле. К верхнему полюсу прикреплена электрическая сеть с вольтметром и кольцевым электродом, образующим скользящий контакт с медным диском. Диск неподвижно закреплён на вертикальной стойке, проходящей сквозь отверстие в нижнем полюсе магнита, не касаясь его. Магнит приведён во вращение с постоянной угловой скоростью ω . Что будет показывать вольтметр и почему? (Жотиков В. Г.)

