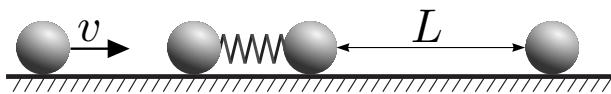


1. Гантель (6 баллов)

Два абсолютно упругих одинаковых шара массой m соединены пружиной жёсткости k так, что образуется похожая на гантель система. Гантель находится в покое на гладком горизонтальном столе (всеми силами трения пренебречь). Третий шар (идентичный тем, которые образуют гантель) приближается слева к гантели вдоль её оси со скоростью v (см. рисунок). Четвёртый такой же шар расположен на оси гантели справа от неё.

i) Найдите скорость центра масс гантели после удара приближающимся слева шаром.

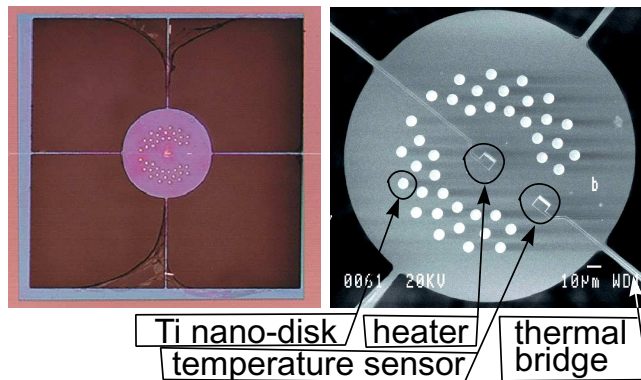
ii) При каких расстояниях L между гантелью и самым правым шаром конечная скорость последнего будет точно такой же, как начальная скорость v самого левого шара?



2. Микрокалориметр (9 баллов)

Микрокалориметр — это тонкая круглая мембрана из нитрида кремния, термически изолированная от окружающей среды за исключением того, что она термически соединена с оболочкой четырьмя тонкими и узкими термическими мостиками (см. рисунок). Микрокалориметр снабжён маленьким радиатором в центре мембраны и похожей структурой по направлению к краю, работающей как термометр.

Такой микрокалориметр используют для изучения тепловых свойств титановых дисков нано-размеров (светлые крошечные точки на рисунке). Тепловая мощность радиатора зависит синусоидально от времени, $P = P_0 \cos(\omega t)$ (отрицательная мощность выражается в оттоке теплоты). Круговая частота ω достаточно низкая, так что в любой момент времени t температура микрокалориметра $T(t)$ может считаться одинаковой на всей поверхности, а температурный профиль вдоль термических мостиков может считаться линейным. Оболочка, к которой мостики прикреплены, достаточно большая и толстая, чтобы её температура T_0 могла считаться постоянной во времени. Каждый из четырёх мостиков имеет длину L и площадь поперечного сечения S ; тепловая проводимость каждого мостика составляет κ . Тепловая проводимость — это поток теплоты (измеряемый в ваттах) на единицу площади, при условии, что падение температуры составляет 1°C на 1 м . Теплоёмкость микрокалориметра (вместе с титановыми дисками) равна C .



i) Найдите тепловое сопротивление R между микрокалориметром и оболочкой (т.е. отношение разницы температур к тепловому потоку).

В вопросах (ii) и (iii) используйте величину R , не подставляя при этом результат вопроса (i).

ii) Запишите уравнение теплового равновесия для микрокалориметра и найдите температуру микрокалориметра $T(t)$ как функцию от времени [можете искать её в форме $T(t) = T_0 + \Delta T \sin(\omega t + \phi)$].

iii) Для изучения тепловых свойств титановых нанодисков, амплитуда синусоидальных колебаний $T(t)$ должна изменяться как можно на большую величину в ответ на маленькое изменение теплоёмкости C (вызванное нанодисками). Найдите оптимальную круговую частоту ω_0 .

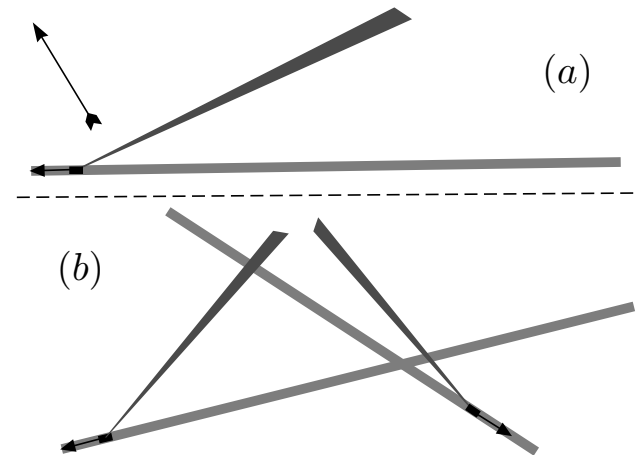
iv) Мы предполагали, что температурный профиль вдоль мостиков линейный, т.е. пренебрегали их теплоёмкостью. При высоких частотах $\omega \gtrsim \omega_c$ это не выполняется. Оцените критическую частоту ω_c через κ , L , удельную теплоёмкость c и плотность ρ материала мостиков.

3. Трактор (6 баллов)

Приведённые рисунки (a) и (b) сделаны на основе фотографий спутника с соблюдением пропорций. На них представлены тракторы вместе с исходящим от них дымом. Тракторы двигаются по дорогам в направлении, показанном стрелками. Скорость всех тракторов составляла $v_0 = 30\text{ км/ч}$. На рисунке (a) другой стрелкой показано направление ветра.

i) Используя приведённый рисунок, найдите скорость ветра для случая (a).

ii) Используя приведённый рисунок, найдите скорость ветра для случая (b).



4. Магнитное поле (6 баллов)

Магнитное поле, индукция B которого параллельна оси z , заполняет область $x^2 + y^2 < R^2$. Рассмотрим электрон, движущийся со скоростью $v = RBe/m$ (где e и m — соответственно его заряд и масса).

i) Изобразите схематично траекторию частицы, если изначально она движется вдоль прямой $y = 0$ по направлению к области, заполненной магнитным полем.

ii) Сколько времени электрон проведёт внутри магнитного поля?

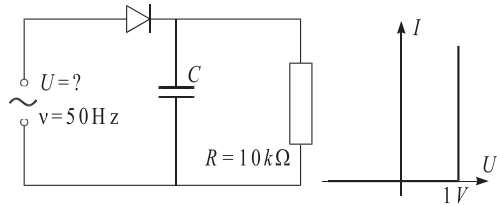
iii) Теперь рассмотрим ситуацию, когда изначально электрон движется вдоль прямой $y = a$ ($a < R$). Найдите угол α , на который электрон отклонится после прохождения через магнитное поле.

5. Шар (9 баллов)

Оборудование: линейка, стеклянный шар, листок бумаги, маркер. Найдите коэффициент трения между стеклянным шаром и линейкой. Оцените погрешность результата.

6. Выпрямитель (8 баллов)

Приведённую на рисунке схему используют для питания нагрузки $R = 10 \text{ кОм}$ постоянным током $I = 2 \text{ мА}$. Вольт-амперную характеристику диода смоделируем приведённым на рисунке графиком. Необходимо, чтобы относительные колебания силы тока удовлетворяли условию $\Delta I/I < 1\%$.



- Чему равна средняя мощность, выделяемая на диоде, в рабочем режиме такой схемы?
- Какое переменное напряжение (т.е. с какой амплитудой) нужно приложить к клеммам схемы?
- Какой должна быть ёмкость конденсатора?
- Чему равна средняя мощность диода в течение первого периода колебаний после приложения напряжения к клеммам схемы?

7. Огонь (6 баллов)

В костре на земле горят влажные дрова. На высоте семь метров над землёй температура дыма составляет $t_7 = 40^\circ\text{C}$. Не учитывайте теплообмен дыма с окружающим воздухом и предполагайте, (a) что атмосферное давление возле земли постоянно во времени и равно $p_0 = 1000 \text{ гПа}$; (b) температура воздуха $t_0 = 20^\circ\text{C}$ не зависит от высоты. Дым можно считать идеальным газом с молярной массой $\mu = 29 \text{ г/моль}$ (т.е. такой же, как и молярная масса воздуха) и молярной теплоёмкостью при постоянном объёме $C_V = 1,45R$. На какую высоту поднимется столб дыма?

8. Электрон (5 баллов)

Электрон находится в покое в начале координат. В момент времени $t = 0$ включают электрическое поле: его абсолютное значение постоянно и равно E_0 , но его направление вращается в плоскости $x - y$ с постоянной угловой скоростью ω . В момент времени $t = 0$ оно параллельно оси x .

- Найдите среднюю скорость электрона для продолжительного отрезка времени, когда $t > 0$.
- Изобразите траекторию электрона и вычислите её геометрические характеристики.

9. Астероид (7 баллов)

Считается, что столкновения Земли с астероидами играли важную роль в истории планеты. В данной задаче рассмотрим такое столкновение. В качестве примера возьмём ор-

битальные данные астероида Аполлон. Его перигелий равен $0,65 \text{ АЕ}$, т.е. его минимальное расстояние до Солнца равно $r_1 = \beta R$, где $\beta = 0,65$, а R обозначает радиус орбиты Земли; его афелий равен $2,3 \text{ АЕ}$, т.е. его максимальное расстояние до Солнца равно $r_2 = \alpha R$, где $\alpha = 2,3$. В своих вычислениях можете использовать орбитальную скорость Земли $v_0 = 30 \text{ км/ч}$, радиус Земли $R_0 = 6400 \text{ км}$ и ускорение свободного падения на поверхности Земли $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. Вы также можете использовать формулу $E = -GmM/2a$, выражающую полную энергию тела массой m , движущегося по эллиптической орбите с большой полуосью a в гравитационном поле намного более тяжёлого тела (массой M). Можете также считать, что орбиты Земли и астероида лежат в одной плоскости и что они вращаются вокруг Солнца в одном направлении.

- Найдите скорость v астероида вблизи Земли, используя систему отсчёта Солнца и игнорируя влияние силы притяжения Земли.
- Найдите радиальную и тангенциальную компоненту v_r и v_t этой скорости (т.е. компоненты, которые соответственно параллельны и перпендикулярны вектору, проведённому из центра Солнца к рассматриваемому местоположению астероида).
- Найдите соответствующие компоненты u_r и u_t в системе отсчёта, связанной с Землёй.
- Найдите скорость астероида w непосредственно перед входением в атмосферу Земли (на высоте $h = 100 \text{ км}$ от поверхности Земли).

10. Стеклопластина (10 баллов)

Оборудование: лазер (длина волны $\lambda = 650 \text{ нм}$), тонкая стеклянная пластина, линза, линейка. NB! Стеклянная пластина приерплена к подставке; избегайте прикасания к стеклу (так как оно острое и может легко сломаться).

Найдите толщину стеклянной пластины и оцените погрешность. Нарисуйте схему своего опыта.