

Часть 1. Проверка фундаментальных знаний

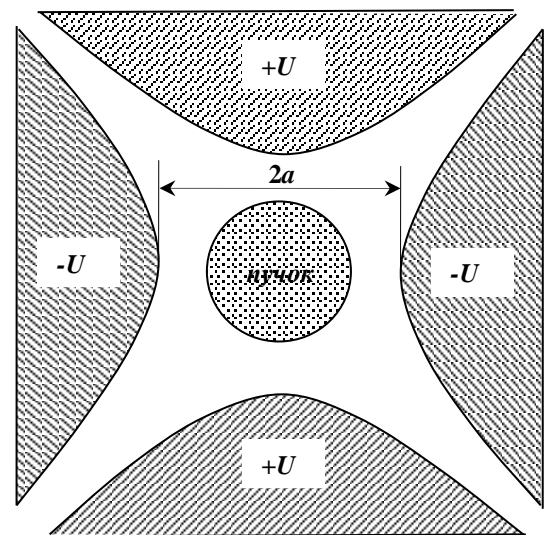
1Б (20 баллов). В узкий канал, проходящий в экваториальной плоскости по диаметру Земли, опускают тело с нулевой начальной скоростью. В первом опыте стенки канала гладкие, во втором — есть трение, коэффициент трения скольжения $\mu = 0,1$. Найдите относительное изменение времени движения тела до центра планеты. Ускорение свободного падения у поверхности Земли $g = 10 \text{ м/с}^2$, радиус Земли $R = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$. Землю считайте вращающимся однородным шаром

2Б (20 баллов). Форма электродов длинного (вдоль оси z) электрического квадрупольного поля может быть подобрана таким образом, что напряжённость электрического поля между ними линейно зависит от координат: $E_x = (2U/a^2)x$, $E_y = -(2U/a^2)y$ (здесь U — потенциал электродов, a — апертюра, т.е. минимальное расстояние от оси z до электродов). Если при этом менять потенциалы электродов по гармоническому закону $U(t) = U_0 \cos \omega t$ с достаточно большой частотой ω , то такое поле может удерживать пучок заряженных частиц, движущийся вдоль оси z системы, препятствуя его разлёту под действием собственного кулоновского поля. Такой способ удержания пучка применяется в линейных ускорителях ионов типа RFQ (Radio-Frequency Quadrupole linac, ускоритель с высокочастотной квадрупольной фокусировкой).

Разберитесь в механизме этого удержания и оцените максимальный ток пучка протонов, движущихся вдоль z с энергией $T_p = 5 \text{ МэВ}$, который может быть пропущен по оси такого квадрупольного поля с апертурой $a = 1 \text{ см}$, если амплитуда колебаний потенциалов электродов $U_0 = 100 \text{ В}$, а линейная частота колебаний $\nu = 100 \text{ МГц}$. Энергия покоя протона $\mathcal{E}_{0p} = 1 \text{ ГэВ}$.

Для получения численного ответа в СИ можно использовать значения энергии покоя электрона $m_e c^2 = 500 \text{ кэВ}$ и т.н. Альфвеновского тока $m_e c^3 / e = 17 \text{ кА}$.

3Б (20 баллов). В камере, заполненной равновесным тепловым излучением с температурой $T = 1000 \text{ К}$ имеется маленькое отверстие. Известно, что среднее время жизни первого возбужденного состояния некоторой молекулы в $n = 1,1$ раз дольше, если молекула находится в плоскости отверстия, по сравнению с тем случаем, когда молекула находится в глубине камеры. Считая, что снаружи камеры фоновое излучение пренебрежимо мало, найдите разницу энергии ΔE между возбужденным и основным уровнем.



Часть 2. Проверка практических знаний

4Б (20 баллов). Болومتر – это неселективный приемник электромагнитного излучения во всем диапазоне длин волн. Излучение изменяет его электрическое сопротивление.

Два одинаковых болометра включают в мостик Уитстона, при этом каждый болومتر находится в фокусе идеально отражающего параболического зеркала диаметром $D = 0,1$ м. Прибор регистрирует минимальную разность мощностей $P_{MIN} = 1$ мВт.

Оцените, на каком расстоянии r это устройство сможет зафиксировать человека с температурой $t = 37^\circ\text{C}$ на термодинамически равновесном однородном фоне с температурой $T = 300$ К. Площадь силуэта человека $S = 0,5$ м. Постоянная Стефана-Больцмана $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴).

5Б (20 баллов). Шприц без поршня с иглой в виде капилляра длиной $\ell = 35$ мм и внутренним диаметром $d = 0,35$ мм опущен в вертикальном положении в широкий открытый сосуд с водой так, как показано на рисунке. Верхнее основание цилиндра шприца, соответствующее отметке «0» шкалы, совпадает с уровнем воды в сосуде. По мере заполнения шприца водой снимается зависимость $t(h)$ времени t заполнения цилиндра от нижней метки h_0 (25 мл) до уровня h . Результаты измерений представлены в Таблице (h – определяется по делениям шкалы шприца, началу отсчёта времени соответствует уровень h_0 (25 мл)).

Таблица

h , дел (мл)	25	20	15	10	8	6	4
t , с	0	13,4	26,5	48,3	59,1	75,1	96,0

Предполагая, что скорость заполнения шприца водой обусловлена пропускной способностью капилляра иглы при вязком (ламинарном) течении воздуха через капилляр:

- 1) получите явную зависимость $t(h)$;
- 2) постройте линеаризованный график для зависимости $t(h)$;
- 3) используя экспериментальные данные, определите коэффициент вязкости воздуха η ;
- 4) оцените наибольшее значение числа Рейнольдса в проведённом эксперименте;
- 5) сделайте вывод об обоснованности предположения о ламинарном течении воздуха в капилляре.

Опыт проводится при комнатной температуре $t = 22^\circ\text{C}$ и нормальном давлении $P_0 = 10^5$ Па, молярная масса воздуха $\mu = 29$ г/моль. Площадь внутреннего поперечного сечения цилиндра шприца $S_0 = 2,94$ см². Капиллярные явления не учитывать. Изменением уровня воды в сосуде по мере заполнения шприца водой пренебречь. Считайте также известным, что в гладких трубах круглого сечения переход от ламинарного течения к турбулентному происходит при значениях числа Рейнольдса $Re_{кр} \sim 1000$.

