

Часть 1. Проверка фундаментальных знаний

1М (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 $\mu = 0,2$.

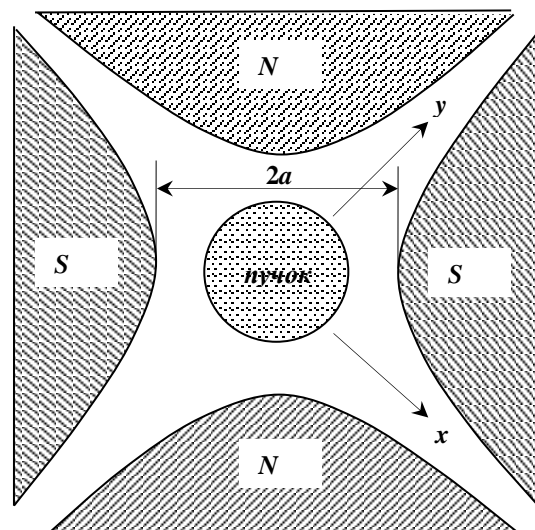
На сколько во втором опыте по сравнению с первым уменьшится с учетом трения скорость тела в центре планеты при первом прохождении? Ускорение свободного падения у поверхности Земли $g = 10 \text{ м/с}^2$, радиус Земли $R = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$. Землю считайте вращающимся однородным шаром.

2М (20 баллов). Форма сердечников магнитного квадрупольного поля может быть подобрана таким образом, что магнитное поле в плоскости $z = \text{const}$, проходящей через центр квадрупольного поля, будет линейно зависеть от x и y : $B_{0x} = \alpha y$, $B_{0y} = \alpha x$, где α — некоторая константа. Если такие квадрупольные поля противоположно направленными полями расположить один за другим вдоль оси z , то по z поля B_x и B_y будут меняться (приближённо) по гармоническому закону: $B_x(z) = B_{0x} \cos(2\pi z/z_0)$, $B_y(z) = B_{0y} \cos(2\pi z/z_0)$. Такое поле может удерживать пучок заряженных частиц, проходящий вдоль z по оси системы, препятствуя его разлёту под действием собственного кулоновского поля. Подобное удержание частиц, называемое «жёсткой фокусировкой», применяется практически во всех современных ускорителях частиц.

Разберитесь в механизме этого удержания и оцените максимальный ток пучка протонов с энергией $T_p = 5 \text{ МэВ}$, который может быть пропущен по оси z вдоль длинной цепочки таких квадрупольных полей с апертурой (минимальным расстоянием от оси до сердечников магнитов) $a = 1 \text{ см}$, если период цепочки $z_0 = 30 \text{ см}$, а коэффициент $\alpha = 6,66 \text{ Гс/см}$. 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 $m_e c^3/e = 17 \text{ кА}$.

3М (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

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

Два одинаковых болметра включают в мостик Уитстона, при этом каждый болметр находится в фокусе идеально отражающего параболического зеркала диаметром $D = 0,15$ м. Прибор регистрирует человека в летней одежде на максимальном расстоянии $r_{MAX} = 470$ м.

Оцените минимальную разность мощностей P_{MIN} измеряемую прибором.

Считайте, что человек с температурой $t = 37^{\circ}\text{C}$ находится на термодинамически равновесном однородном фоне с температурой $T_{\phi} = 300$ К.

Площадь силуэта человека $S = 0,6$ м. Постоянная Стефана-Больцмана $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴).

5М (20 баллов). Предварительно заполненный гелием 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 вытеснения гелия снимается зависимость $t(h)$ времени t заполнения цилиндра водой 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	15,0	29,7	54,1	66,9	84,1	107,5

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

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

Опыт проводится при комнатной температуре $t = 22^{\circ}\text{C}$ и нормальном давлении $P_0 = 10^5$ Па, молярная масса гелия $\mu = 4$ 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 $Re_{кр} \sim 1000$.

