

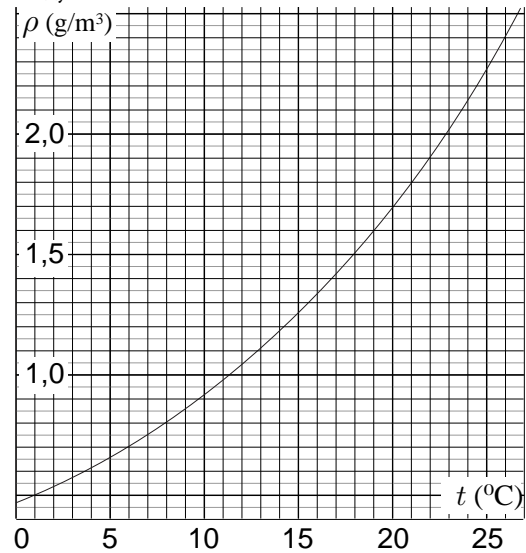
1 Сушка (12 баллов)

Согласно распространенному мнению, во время сушки белья окно следует держать открытым даже тогда, когда снаружи на улице относительная влажность воздуха 100%, так как температура попавшего в комнату уличного воздуха повышется, и относительная влажность падает. Рассмотрим, выполняется ли это рассуждение также тогда, когда отопление в комнате выключено.

Предположим, что в комнате перемешиваются $V_1 = 20 \text{ м}^3$ комнатного воздуха при температуре $t_1 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ с $V_2 = 10 \text{ м}^3$ уличного воздуха при температуре $t_2 = 1 \text{ }^\circ\text{C}$. Удельную теплоемкость воздуха (при постоянном давлении) $c_p = 1005 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$ считать в данном температурном промежутке постоянной, тепловым обменом с внешней средой пренебречь. Сперва игнорировать возможность, что часть водяного пара может конденсировать. Считать, что все последующие процессы происходят при нормальном давлении p_0 .

1) Докажите, что при смешивании воздуха суммарный объем не изменится, т.е. объем смеси холодного и теплого воздуха равен $V = V_1 + V_2$.

2) Чему равна температура T смешанного воздуха?



3) На графике приведена зависимость

плотности насыщенного пара от температуры. Перед смешиванием относительная влажность как комнатного, так и уличного воздуха составляла 100%. Чему равна относительная влажность смешанного воздуха r (если она должна увеличиться, то предположим, что сперва образуется перенасыщенный пар, т.е. $r > 100\%$)?

4) Если получили результат $r > 100\%$, то перенасыщенный пар быстро разлагается и образуется туман. Чему в этом случае равна масса m сконденсировавшейся в туман воды? Можете взять плотность воздуха $\rho_0 = 1,189 \text{ кг/м}^3$; теплота парообразования воды $q = 2500 \text{ кДж/кг}$.

2 Фотографирование (7 баллов)

Используя находящуюся на отдельном листке фотографию, найдите диаметр объектива, использовавшегося при фотографировании. Объектив --- это линза при помощи которой создают изображение на пленку или на фотосенсор; можете его рассматривать как идеальную тонкую линзу.

3 Втягивание (7 баллов)

В большом сосуде находится несжимаемая диэлектрическая жидкость ($\epsilon \approx 1$), плотность которой ρ_m и которая несет в себе однородный пространственный заряд. В дальнейшем будет измерять все высоты как расстояния до поверхности жидкости в ее исходном состоянии. Объемная плотность заряда (заряд на единицу объема) ρ_e все же настолько мала, что созданное им электрическое поле E_0 можно не учитывать: $E_0\rho_e \ll g\rho_m$, где g --- ускорение свободного падения. Также можно не учитывать поверхностное натяжение. К жидкости приближают заряд противоположного знака $-q$ до высоты H , в результате этого на поверхности жидкости образуется бугорок.

1) Найдите высоту бугорка a .

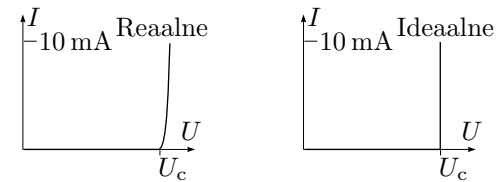
2) Заряд приближают еще, при какой высоте заряда h жидкость начнет течь к точечному заряду?

4 Электрический эксперимент (12 баллов)

Найти емкость неизвестного конденсатора и оценить погрешность. Оборудование: красный световой диод, три резистора, сопротивление

одного из которых $R_1 = 1.5 \text{ кОм}$, другого $R_2 = 2.6 \text{ кОм}$, а сопротивление еще одного неизвестно, источник постоянного напряжения с неизвестным эдс (внутреннее сопротивление менее 500 Ом), соединительные провода, секундомер, конденсатор неизвестной емкости.

Примечания: На графике приведена типичная вольт-амперная характеристика светового диода; при планировании данного опыта можете считать световой диод идеальным, см. график. Значение порогового напряжения U_c диода неизвестно. Диод светится тогда, когда через него идет ток.



Если конденсатор емкостью C , резистор R и электродвижущая сила E соединены последовательно в замкнутый контур, то приближение напряжения конденсатора к равновесному значению происходит экспоненциально: $U = E \pm U_0 e^{-t/RC}$.

5 Пустой мешок (12 баллов)

Из свободно деформирующегося нерастяжимого воздухо непроницаемого материала поверхностной плотностью σ изготовлен мешок, периметр L которого на много меньше его длины l . Таким образом надутый мешок напоминает цилиндрическую колбасу. Мешок расстилают на гладкий (коэффициент трения $\mu = 0$) пол, и надувают воздухом до тех пор, пока разность между внутренним и внешним давлением не станет равна p . Ускорение свободного падения g . Плотность воздуха считать пренебрежимо малой.

1) Найдите ширину c контактной поверхности пола и мешка.

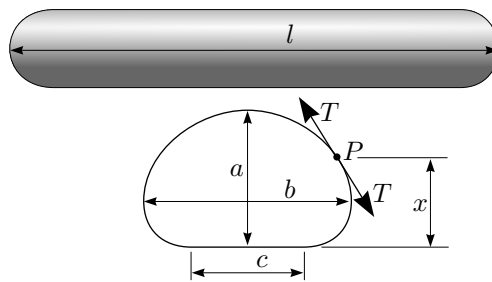
2) Докажите, что натяжение в материале мешка выражается в виде $T = \alpha x + \beta$, где x --- высота над полом рассматриваемой точки P материала мешка, и найдите константу α . *Замечание:* натяжение в материале, говоря коротко, сила на единицу длины. Если более подробно, то это несколько более сложное понятие, чем натяжение в нити, поскольку вектор силы, лежащий в плоскости материала, характеризует и направление. В данном случае материал натягивают в направлении оси "колбасы" так слабо, что это можно не учитывать. Поэтому в данном случае можем натяжение охарактеризовать одним единственным числом --- силой T , с которой в случае мысленного горизонтального разреза единичной длины часть материала, находящаяся с одной стороны разреза, тянет часть материала, находящуюся с другой стороны разреза.

Совет: Можете рассмотреть равновесие сил, действующих на маленький кусочек материала (в вертикальном сечении на рисунке).

3) Пусть высота наивысшей точки мешка над полом a . Чему равно натяжение T_1 материала мешка в наивысшей точке? Ответ дайте при помощи величин a , σ и p (или α , если вы не решили предыдущий пункт).

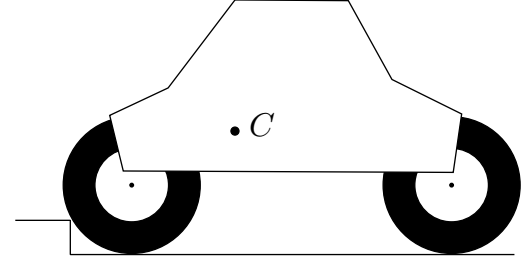
Совет: Можете рассмотреть равновесие сил, действующих на одну мысленную половину мешка.

4) Если $p \gg \sigma g$, то чему равна степень "сплюснутости" мешка $\varepsilon = \frac{b-a}{b+a}$, где b --- ширина мешка?



6 Автомобиль (7 баллов)

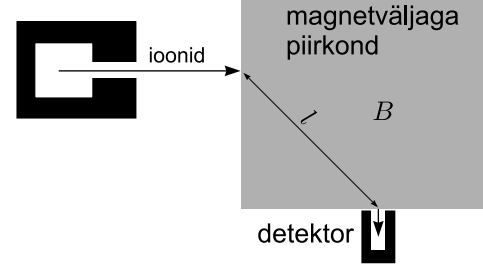
Машиной хотят переехать через бордюр, с места без разгона (см. рисунок). Диаметр колеса машины $d = 1$ м, коэффициент трения между колёсами и поверхностью $\mu = 1$. На рисунке машина изображена в фиксированном масштабе и C обозначает место нахождения её центра масс; для высоты бордюра масштаб не действителен. Найти, при какой высоте бордюра машина сможет через него переехать, если в неведущей оси трение отсутствует (колёса вращаются свободно), а ведущей осью является



7 Масс-спектрометр (9 баллов)

На рисунке приведена принципиальная схема масс-спектрометра, который позволяет определить массы молекул, содержащихся в исследуемом веществе. Молекулы исследуемого вещества ионизируют однократно при помощи нити накаливания (доводят при этом до определенной температуры T), и ускоряют образовавшиеся ионы при помощи напряжения U . Сперва будем считать температуру пренебрежимо малой ($eU \gg kT$, где e --- элементарный заряд, а k --- константа Больцманна). Узкий параллельный пучок ускоренных ионов входит в область магнитного

поля, которую будем для простоты считать прямоугольной, а магнитное поле внутри этого прямоугольника однородным. В зависимости от массы иона и ускоряющего напряжения, отклоненные магнитным полем ионы могут попасть в детектор. Будем считать, что попадающие в центр детектора ионы входят в область магнитного поля и выходят из неё перпендикулярно границе этой области, а расстояние между точками входа и выхода l (см. рисунок).



1) Выразите массу M попадающих в центр детектора ионов через величины B , l , U и e .

2) Если r --- радиус входного отверстия детектора, то в каком промежутке масс от $M - \Delta M$ до $M + \Delta M$ ионы ещё попадают в детектор (найти ΔM)?

3) Чему равна ширина $\Delta\varphi$ интервала углов вылета из магнитного поля ионов, рассмотренных в предыдущем пункте?

4) Будем теперь считать радиус входного отверстия детектора пренебрежимо малым, но учтём отличие температуры ионов от нуля (можете всё же использовать приближённый расчёт, полагая, что $eU \gg kT$). Из за различий в энергии ионов, в детектор попадают ионы несколько различной массы (от $M - \delta M$ до $M + \delta M$). Оценить точность δM масс-спектрометра.

8 Оптический эксперимент (10 баллов)

Оборудование: Наполненная водой бутылка, измерительная лента.

1) Перед вами бутылка, которая наполнена водой и на которую наклеена бумага с миллиметровой шкалой так, что сторона бумаги с надписями прикреплена к поверхности бутылки. Определите, какой длины отрезок шкалы можно увидеть, если смотреть на неё через наполненную водой бутылку из какой-то фиксированной точки, которая находится в той же перпендикулярной оси бутылки плоскости,

что и шкала, а расстояние этой точки от бутылки намного больше радиуса бутылки.

2) При помощи результатов измерений предыдущего пункта определить угловой радиус дуги (угол между лучами, проведенными от наблюдателя к центру дуги и к дуге дуги).

Примечание: Радуга образуется благодаря тем световым лучам, которые входят в шарообразную каплю воды, отражаются однократно на её внутренней поверхности и выходят из капли после второго преломления (при этом на внутренней поверхности имеет место не полное внутреннее отражение, а лишь частичное: часть света преломляется наружу, часть отражается обратно внутрь), см. рисунок. У угла выхода α , как функции от прицельного параметра входящего луча b , максимум. При этом угле и видна радуга [свет с интенсивностью I_0 падает на каплю при всех возможных значениях $b < r$; световая энергия, приходящаяся на промежуток значений Δb , равна $2I_0\pi b\Delta b$, и, следовательно, световая энергия, приходящаяся на промежуток угла выхода $\Delta\alpha$, равна $\Delta I/\Delta\alpha = 2I_0\pi b\Delta b/\Delta\alpha = 2I_0\pi b(d\alpha/db)^{-1}$; это значение становится большим в точке, которая отвечает максимуму функции $\alpha(b)$.]

