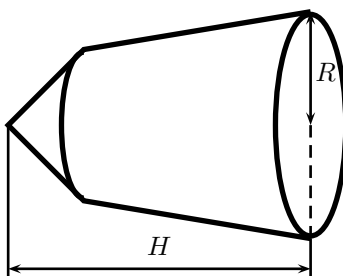


ТРАДИЦИОННАЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ ОЛИМПИАДА МФТИ ПО ФИЗИКЕ

24 марта 2013 г.

1. *Обезьяна и орех.* Обезьянка стреляет камешком из хлопущки в висящий на пальме банан, который от звука выстрела начинает свободно падать. Обезьянка знает как ей надо целиться, чтобы камешек попал в банан, если падение банана начинается в момент выстрела, и действительно попадает в банан! (как же надо целиться?) А когда обезьянка точно также стреляет в еле висящий на дереве орешек (грецкий) — она промахивается! Подскажите обезьянке: как надо целиться с учётом конечности скорости звука. (В.С. Булыгин)
2. Одна из многочисленных трудностей осуществления полёта на Марс связана со значительным запаздыванием сигналов на планетарных расстояниях, что исключает возможность оперативно вмешиваться в ход экспедиции со стороны наземных служб (в результате американский марсоход Curiosity, движущийся сейчас к Марсу, пришлось оснащать собственной «интеллектуальной» системой для распознавания и объезда препятствий, а наземным службам при этом остаётся только нервничать по поводу того, куда может завести аппарат его искусственная любознательность). Оцените минимальное и максимальное время задержки сигнала от экспедиции, уже высадившейся на Марсе и собирающейся возвратиться на Землю, при условии, что все перелёты, как это и принято, происходят с требованием минимального расхода ракетного топлива (точнее, минимального стартового веса). Орбиты планет для упрощения считать круговыми, собственными же их полями тяготения, а также наклоном плоскости орбиты Марса к эклиптике допустимо пренебречь. Продолжительность года на Марсе определить в 687 земных суток. (М.Г. Кремлёв)
3. Как можно видеть на выставках ракетной техники, головные обтекатели космических ракет являются сочетанием двух конусов (см. рис.)

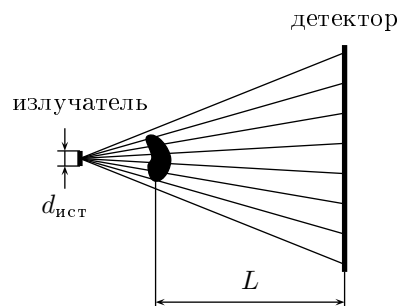


Предложите конфигурацию такого обтекателя (при заданных R и H), обеспечивающую минимальное сопротивление при его движении через рой мелких твёрдых частиц, которые можно считать неподвижными. (В.С. Булыгин)

4. При всех своих известных достижениях Л.Д. Ландау не мог похвастаться спортивными успехами, что его совершенно не обескураживало: известно его шутовское выражение, что у него — не телосложение, а теловычитание. Мало того, он был не прочь иной раз подшутить над людьми, уделяющими много времени занятиям спортом. Так, на своих лекциях, читавшихся на физфаке МГУ в 1958 году, он утверждал, что люди занимаются спортом в надежде: 1) похудеть и 2) прожить подольше, после чего оценивал лоренцево сокращение и изменение собственного времени бегуна-спортсмена, бегущего с максимально достижимой скоростью, показывая, что получаемый выигрыш слишком мал, чтобы всерьёз надеяться на успех. Эта шутка, которая может с успехом применяться разве в качестве мнемонического правила для определения знаков обсуждаемых релятивистских эффектов, может дать повод оценить выигрыш в «продолжительности жизни» людей, которые по роду занятий значительное время движутся с высокими скоростями, причём не только за счёт своих мускульных усилий. Предлагаем повторить оценки Ландау для бегуна, учитывая, что с той поры мировой рекорд в беге на 100 м был улучшен не более как на 0.5%, а также оценить максимально достижимый выигрыш (или проигрыш?) в продолжительности жизни космонавта и пилота самолёта гражданской авиации, задаваясь разумными оценками высоты, скорости полёта и часового «налёта» пилота, и отвлекаясь, разумеется от влияния других возможных факторов, помимо известных вам чисто релятивистских эффектов. Так, следует отвлечься от безусловно вредоносного воздействия повышенного уровня облучения космическими лучами, характерного для полётов на большой высоте, а также и от влияния «стрессовых» факторов (здесь стоит заметить, что с точки зрения психического здоровья профессия лётчика гражданской авиации считается достаточно авантажной, так у командиров воздушных судов отмечается самый низкий уровень самоубийств). (М.Г. Кремлёв)
5. *Внутренняя баллистика.* Рассчитать скорость вылета артиллерийского снаряда из ствола орудия и максимальное давление пороховых газов в стволе. Длина ствола l , площадь его поперечного сечения — S_{\perp} , V_0 — свободный объём части ствола, где перед выстрелом размещается снаряд и пороховой заряд. Масса

порохового заряда m , скорость горения пороха $\frac{dm}{dt} = -\alpha P^n$ (можно принять $n = 1$), где P — давление пороховых газов, температура горения и молярная масса пороховых газов равны T_0 и μ соответственно. Силу сопротивления движению снаряда в стволе профессиональные баллистики учитывают, принимая расчётное значение массы снаряда M большим, чем у реального снаряда. (В.С. Булыгин)

6. Один из возможных принципов работы пузырьковой камеры — гипотеза о локальном разогреве жидкости по пути следования частицы ионизирующего излучения: а) передача энергии от электрона, который имеет энергию $\varepsilon = 100$ эВ, молекулам водорода, приводящая к локальному разогреву жидкости; б) образование зародыша паровой фазы. Давление в пузыре можно считать равным давлению в камере — порядка атмосферного. Оценить радиус образовавшегося пузыря. (Э.В. Прут)
7. В каждом из сосудов I и II изначально содержится по 1 л пива (безалкогольного!) с температурами T_1 и $T_2 < T_1$, соответственно. Экспериментатор совершает последовательность процедур, состоящих каждая из двух этапов: а) из сосуда II в I переливается некоторый объём пива, б) после установления теплового равновесия объём пива в сосуде I снова доводится до 1 л (например, выпиванием избытка). Определите минимальную температуру, которую можно таким путём получить в сосуде I. (Е.З. Мейлихов)
8. При низких температурах все атомы находятся в узлах кристаллической решётки. При высоких температурах атом может выйти из любого узла решётки и, перемещаясь, занять новое положение либо в узле, либо в междоузлии. Пусть n атомов случайным образом переместятся из узлов решётки в междоузлия. Число узлов в кристалле равно N , а число междоузлий — $N_1 = ZN$, где Z — число междоузлий, окружающих узел. Определить максимальное значение изменения энтропии ΔS в зависимости от n . (Э.В. Прут)
9. Два одинаковых шара из сверхпроводника I рода внесены в постоянное однородное магнитное поле индукцией \vec{B}_0 . Найдите величину и направление силы взаимодействия шаров, если поле \vec{B}_0 ещё не разрушает сверхпроводимость в шарах. Радиусы шаров равны a , их центры лежат на одной линии поля \vec{B}_0 . Расстояние между центрами шаров равно r , причём $r \gg a$. (В.И. Плис)
10. Какая постоянная сила необходима для того, чтобы в безграничной идеальной жидкости разогнать с постоянным ускорением \vec{a} до скорости \vec{v} первоначально покоящийся шар массой m ? Объём шара и плотность жидкости равны V и ρ соответственно. (В.И. Плис)
11. Для получения контрастных объёмных изображений биологических объектов с линейными размерами порядка $l \simeq 1$ мкм в эксперименте используется рентгеновская голография в осевой схеме Габора (см. рис.), где роль опорного пучка играет излучение, прошедшее через исследуемый объект.



Источником некогерентного излучения длины волны $\lambda = 3$ нм служит лазерная плазма, излучающую поверхность которой можно моделировать круглым диском диаметра $d_{\text{ист}} = 100$ мкм, изотропно излучающим в переднее полупространство. Оценить: 1) долю излучения источника, пригодного для формирования изображения; 2) необходимую степень монохроматичности излучения; 3) поток (когерентного) излучения I_k [фотон/(сек· $\Delta\lambda/\lambda$)], необходимый для записи голограммы в такой схеме с разрешением $\delta \simeq 0,1$ мкм (в поле объекта). За условие достоверного воспроизведения голограммой объекта принять регистрацию каждого разрешаемого элемента с отношением сигнал/шум $\sim 5 : 1$. Расстояние объект–фотоплёнка $L = 300$ мкм, квантовая эффективность детектора (вероятность регистрации фотона при попадании его на детектор) $Q = 0,2$. (К.М. Крымский)

12. Атомы водорода в основном состоянии находятся в резонаторе в постоянном магнитном поле с индукцией $B = 4,5$ Тл, к которому через тонкую непроницаемую для атомов диэлектрическую плёнку подсоединён прямоугольный медный волновод сечением $a \times b$ ($a = 0,8$ мм, $b = 1,6$ мм) и длиной $l = 2$ м, так что в волноводе атомов нет. В момент времени $t = 0$ для наблюдения ЭПР в водороде на другой конец волновода поступает короткий импульс СВЧ мощности на частоте ларморовской прецессии атомов в поле B . Через какое время атомы в резонаторе «почувствуют» этот импульс? Гиромагнитное отношение (отношение магнитного момента к механическому) для атома водорода в СГС принять равным $\gamma = \frac{e}{mc}$, где e — элементарный заряд, m — масса электрона, c — скорость света. (А.И. Сафонов)