

нумерация семинаров идёт по неделям лекционного курса

К семинару №2

Задача 1

В опытах по изучению фотоэффекта Робертом Милликенем были получены следующие результаты для величины запирающего напряжения в зависимости от длины волны света, падающего на фотокатод из натрия: $\lambda_1=253.5$ нм, $V_1=+0.58$ В; $\lambda_2=365$ нм, $V_2=-0.92$ В; $\lambda_3=546.1$ нм, $V_3=-2.05$ В. Пользуясь этими данными определить величину постоянной Планка.

Задача 2

Нейтринный детектор Super-Kamiokande, расположенный в шахте на глубине 1 км, представляет собой огромный резервуар с водой емкостью 50 тыс. тонн. Космические нейтрино с некоторой вероятностью рассеиваются на электронах молекул воды в резервуаре. В результате электрон выбивается из молекулы. Если его скорость после рассеяния превышает скорость распространения света в воде, он начинает излучать фотоны (Черенковское излучение). Это излучение регистрируется с помощью 11146 высокочувствительных электронных фотоумножителей, способных зафиксировать единичные фотоны.

1. Определить наибольшую и наименьшую энергии электрона после рассеяния на нем нейтрино с энергией 10 МэВ
2. Пороговая энергия регистрации нейтрино в этом эксперименте 5.5 МэВ. Какая максимальная скорость будет у электронов после рассеяния такого нейтрино?
3. Оценить величину тока в анодной цепи фотоумножителя при попадании одного фотона в секунду на фотокатод. При этом считать, что между фотокатодом и анодом находится 10 промежуточных динодов. Падение напряжения между каждым из динодов 100 В, между фотокатодом и первым динодом 250 В. Работа выхода в материале динодов 4 эВ. На каждом из динодов только 30% энергии падающих электронов тратится на вторичную эмиссию. Квантовый выход равен единице.

Задача 3

Исследовательский зонд массой $m=1000$ кг движется при помощи «солнечного паруса» площадью $S=10^4$ м² (100×100 м²). Какую скорость наберёт за 24 часа зонд, стартующий с орбиты Земли? Какую скорость наберёт за 24 часа зонд, стартующий с орбиты Меркурия? Мощность солнечной радиации на орбите Земли $w=1400$ Вт/м², радиус орбиты Меркурия принять равным 0.4 радиуса земной орбиты. «Солнечный парус» считать идеальным зеркалом, падение света на него — нормальным.

К семинару №3

Задача 1

С одной стороны, человек всегда нагревает сам себя, за счёт внутреннего тепловыделения, которое составляет от 70 до 650 Вт в зависимости от состояния здоровья человека и физической нагрузки. С другой, человек всегда охлаждает сам себя, за счёт теплообмена с окружающей средой. Пусть здоровый космонавт работает в открытом космосе на земной орбите в тени космической станции. Считая единственным способом теплообмена с окружающей средой излучение с поверхности скафандра, оцените установившуюся температуру космонавта. Альбедо скафандра принять таким, чтобы мощность, приходящая от Солнца, составляла не более 10% от собственной мощности человека.

Задача 2

Красный карлик из звёздной системы Альфа Центавра имеет максимум мощности излучения при длине волны в 950 нм и годичный параллакс в 769 угловых миллисекунд. Зная, что на орбите Земли мощность светового излучения этого карлика составляет $3 \cdot 10^{-11}$ Вт/м², найдите размер этого карлика.

Задача 3

Вычислить амплитуды квантовых колебаний классических пружинного и математического маятников. Жесткость пружины $k=1$ Н/см, массы грузов $m=10$ г, длина подвеса математического маятника $l=1$ м.

Задача 4

В основе принципа действия пирометров (бесконтактных термометров) спектрального отношения лежит сравнение принимаемой мощности излучения от предмета в двух различных спектральных диапазонах. Зачастую, в таких приборах используется один фотодетектор с двумя попеременно меняющимися оптическими фильтрами излучения. С помощью подобного пирометра измеряется температура вольфрамовой нити, при этом сигнал фотодетектора для первого фильтра в 20 раз больше чем для второго. Определить температуру нити, считая что сигнал фотодетектора пропорционален измеряемой мощности. Длина волны пропускания первого фильтра 750 нм, второго 550 нм, полосы пропускания у обоих фильтров одинаковы и равны 10 нм. Температура плавления вольфрама 3695 К.

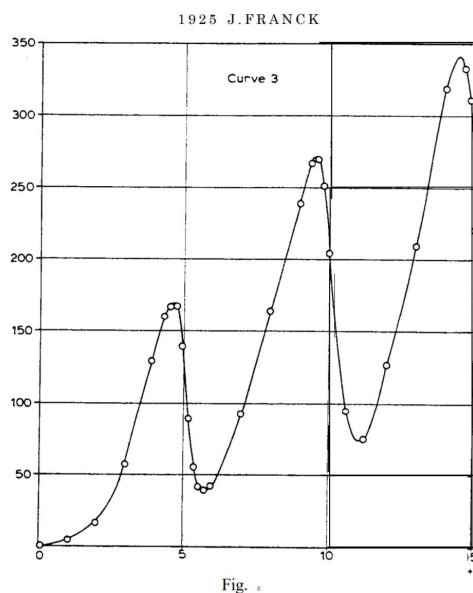
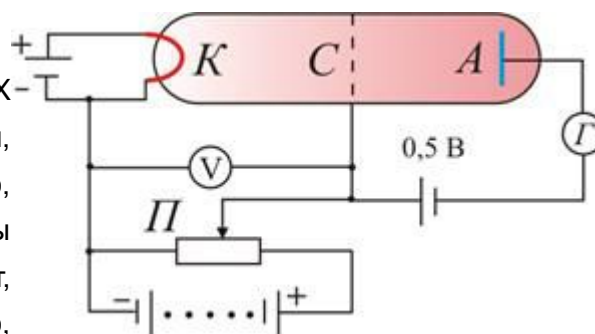
К семинару №4

Задача 1

Оценить исходя из классических представлений время существования атома водорода, описываемого моделью Резерфорда. Считать известными оценку радиуса атома $a = 10^{-10}$ м, массу электрона $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31}$ кг и его заряд $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Задача 2

В опыте Франка и Герца исследовалась ВАХ вакуумной лампы, заполненной парами ртути, схема которой приведена на рисунке. Известно, что при достаточно большом напряжении, пары ртути начинали испускать ультрафиолетовый свет, с длиной волны 250 нм. Исходя из этого, определите разницу энергий основного и возбужденного уровней ртути, а также опишите качественно причину резких изменений вольт-амперной характеристики такой лампы.



Задача 3

Имеется три внешне похожих диадемы на витрине ломбарда. Утверждается, что все они из золота высшей пробы. Однако дотошный клиент решил проверить, правда ли это, так как цена показалась ему подозрительной. С этой целью он отнес все три диадемы на рентгенографическое исследование. Однако результаты пришли без расшифровки. Определите материалы, из которых изготовлены короны, если известно что они имеют линии характеристического излучения на 22 кэВ, 66 кэВ и 8.8 кэВ соответственно.

Задача 4

Найти смещение положений линий спектра испускания дейтерия относительно водорода.

ВШЭ, 2018-2019 уч. год

Задачи семинаров курса-майнора «Введение в квантовую физику»

К семинару №5

Задача 1

Измерить расстояние между дорожками CD диска с помощью лазерной указки.

Задача 2

Определите напряжение, разгоняющее электроны в Сканирующем Электронном Микроскопе(СЭМ), необходимое для получения разрешающей способности, сопоставимой с лучшими оптическими микроскопами. Так же оцените предельную разрешающую способность такого микроскопа.

Задача 3

Определить размеры частицы металла, в которой тепловая энергия электрона при комнатной температуре становится больше разности энергий между основным и первым возбужденным уровнями.

К семинару № 6

Задача 1

В опыте подбрасываются 6 монет. Проследите как меняется распределение числа выпавших орлов, в зависимости от количества проведенных опытов. Как отличается полученное распределение от ожидаемого?

Задача 2

Оцените минимально достижимый диаметр пятна d , который можно создать на детекторе пучком атомов серебра, испускаемых печью с температурой $t=1200^{\circ}$ С. Расстояние от выходной щели печи до детектора $L=1$ м. Расчёт произвести:

1. исходя из волновой природы частиц
2. исходя из соотношения неопределенностей

Задача 3

Действие силы на свободно движущуюся частицу массой m можно обнаружить, наблюдая изменение её координаты во времени. Оцените в соответствии с квантомеханическими законами, какую минимальную силу, действующую по направлению движения частицы, можно обнаружить таким способом за время наблюдения t .

Альтернативное условие.

Оценить минимальное время, необходимое для того, чтобы заметить движение атома углерода-12 в поле тяжести Земли.

К семинару №8

Задача 1

В сканирующем туннельном микроскопе исследуется поверхность графита. Туннельный ток через иглу в одном месте составил 0.2 нА. Затем, не меняя положения иглы по вертикали, ее начали двигать в сторону. В некий момент под иглой оказалась «ступенька» из еще одного слоя графита. Туннельный ток при этом увеличился до 0.65 нА. Чему равно измеренное в эксперименте расстояние между слоями графита? Работу выхода считать равной 4.6 эВ, ее отличием для иглы и графита пренебречь.

Задача 2

Железный цилиндр длиной 1 см и массой 1 г подвешен в магнитном поле. С какой угловой скоростью начнет вращаться цилиндр, если изменить направление магнитного поля на противоположное. Считать что в обоих случаях цилиндр намагничивается до насыщения. Предположить, что момент импульса каждого атома равен моменту импульса электрона на первой боровской орбите, плотность железа 7900 кг/м³.

Задача 3

Оценить расстояние между двумя полупроводниковыми элементами в процессоре, при котором вероятность туннелирования электронов между элементами составит 1%. Эффективную высоту барьера оценить как 1 эВ.

К семинару №9

Задача 1

В одномерную потенциальную яму шириной a помещено 6 ферми-частиц. Какую минимальную порцию энергии надо сообщить для перевода системы в возбужденное состояние?

Задача 2

Пучок атомов серебра, находящихся в основном состоянии, вылетает из печи при температуре $T=1300$ К. Пучок расщепляется в поперечном неоднородном магнитном поле с градиентом 50 Тл/м на пути $l=3$ см. Экран удален от магнита на $L=10$ метров. Найти расстояние между пятнами на экране.

Задача 3

В классе находится N студентов. Найти

1. вероятность того что для отдельно взятого студента из класса найдется другой студент с днем рождения в тот-же день, что и у первого;
2. вероятность того, что в классе найдется два студента с днем рождения в один день.

Задача 4

Найти рабочую частоту протонного ЯМР томографа, магнитное поле в котором равно 3 Тл.

К семинару №10

Задача 1

Молекулярный водород встречается в двух модификациях: ортоводород и параводород. Они отличаются друг от друга разным взаимным расположением спинов протонов (в ортоводороде полный ядерный спин равен 1, а в параводороде 0). Свойства этих модификаций немного отличаются, одна модификация может переходить в другую, переориентацией ядерных спинов, однако такой процесс в отсутствие катализаторов происходит медленно. Известно, что равновесные концентрации этих модификаций равны друг другу при температуре 80 К, а при более низких температурах параводорода становится больше. Найдите разницу энергий ортоводорода и параводорода в расчёте на одну молекулу, а также их относительное содержание при температурах 20 К и 1000 К.

Задача 2

Результаты, полученные при рассмотрении атома водорода справедливы для любых двух частиц, с противоположными зарядами, а не только для протона и электрона. Пусть был сделан атом из протона и отрицательно заряженного мюона (его масса в 200 раз больше массы электрона). Оцените размер такого атома и энергию связи этих частиц (энергию ионизации).

Подобные атомы могут образовать молекулярный ион, состоящую из двух протонов и соединяющего их мюона. Оцените размер такой "молекулы", и энергию взаимодействия протонов в ней.

Задача 3

Взаимодействие магнитных моментов протона и электрона в атоме водорода приводит к расщеплению энергетических уровней и возникновению сверхтонкой структуры. Излучение межзвездного атомарного водорода, находящегося в основном состоянии, вызвано переориентацией электронного спина, т.е. переходами между компонентами сверхтонкой структуры. Оцените длину волны λ этого излучения.

К семинару №11

Задача 1

Результатом эволюции некоторых звёзд является формирование сверхплотной нейтронной звезды. В такой звезде уже не идут термоядерные реакции, а гравитационному сжатию противостоит квантовый эффект: давление вырожденного ферми-газа нейтронов. Оцените размер нейтронной звезды, масса которой равна двум массам Солнца ($M_C = 2 \cdot 10^{30}$ кг), а температура не превышает 10^9 К.

Задача 2

Над сверхпроводящей плоскостью на изолирующей подложке высотой $h = 3$ мм лежит проволочное кольцо из тонкой проволоки радиусом $r = 10$ см. Масса кольца $m = 1$ г. При какой величине постоянного тока I , текущего по кольцу, кольцо будет левитировать над сверхпроводником?

Задача 3

Цилиндр из сверхпроводника I рода массой $M = 80$ г, высотой $h = 20$ см, радиусом $R = 0.5$ см при температуре ниже точки перехода подвешен без трения вертикально в магнитном поле, меньше критического и направленном вдоль оси цилиндра. При постоянной температуре величину поля начинают постепенно повышать, и при поле $H = 80$ А/м сверхпроводимость исчезает. Одновременно с этим цилиндр начинает вращаться. Найти угловую скорость этого вращения.

Задача 4

Как известно, в современной технике для получения сильных магнитных полей используются катушки из сверхпроводящих материалов. Благодаря им, получение магнитного поля порядка 5 Тл не представляет особых технических сложностей. А что было бы без сверхпроводников? Оцените тепловую мощность, выделяющуюся в катушке из меди, создающую магнитное поле в 5Тл.

Параметры катушки: длина 1 м, диаметр 0,5 м, 5000 витков. Катушка намотана из медной проволоки диаметром 1мм, удельное сопротивление $0,018 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

К семинару №12

Задача 1

Электрон над поверхностью жидкого гелия притягивается к ней силами электростатического изображения, потенциальная энергия которых равна:

$$U(z) = \frac{e^2}{4z} \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 1}$$

где z - расстояние от электрона до поверхности гелия, $\varepsilon = 1.053$ - диэлектрическая проницаемость жидкого гелия. С другой стороны, для того, чтобы попасть внутрь жидкого гелия электрон должен иметь энергию выше 1 эВ. Поэтому вблизи с поверхностью жидкого гелия он находится в потенциальной яме.

Найти энергию основного состояния электрона в этой яме и установившееся среднее расстояние от электрона до жидкого гелия.

Задача 2

Оцените изменение частоты света, при его неупругом рассеянии на кристалле под углом 90 градусов. Скорость звука в кристалле 3000 м/с.

Задача 3

Найти фермиевскую энергию в двумерном электронном газе при нулевой температуре.

Концентрация электронов на единицу поверхности $n_s \approx 10^{13} \text{ см}^{-2}$

К семинару №13

Задача 1

В 1942 г. американский физик Аллен измерил максимальную энергию E_0 атомов ${}^7\text{Li}$, образующихся в результате К-захвата в ядре ${}^7\text{Be}$, и она оказалась равной 50эВ. Определить на основе этих данных разность масс атомов ${}^7\text{Be}$ и ${}^7\text{Li}$.

Задача 2

В работающем ядерном реакторе в числе многих элементов из урана всё время образуются изотопы иода ${}^{135}\text{I}$, претерпевающие следующую последовательность бета-распадов(периоды полураспада указаны): ${}^{135}\text{I} \xrightarrow{6,7\text{yac}} {}^{135}\text{Xe} \xrightarrow{9,2\text{yac}} {}^{135}\text{Cs} \dots$

Так как ядра ${}^{135}\text{Xe}$ обладают очень большим сечением поглощения нейтронов, в работающем реакторе накопление этого изотопа не происходит. Однако при остановке реактора ксенон начинает накапливаться, тем самым уменьшается коэффициент размножения нейтронов и сразу же повторный запуск реактора затрудняется(образуется так называемая иодная яма). Через какое время после остановки реактора количество ядер ${}^{135}\text{Xe}$ будет максимальным? Считать, что в момент остановки реактора ядер ксенона в нем нет.

Задача 3

Оценить запас термоядерной энергии в 1 литре морской воды, если использовать 10% находящегося в ней дейтерия для осуществления реакции синтеза D+D. Число атомов дейтерия в природной смеси изотопов равно 0,015%. Сравнить полученный результат с энергией, выделяющейся из одного литра бензина - 46,8 МДж.

Задача 4

Согласно современным расчетам плотность потока высокоэнергетичных солнечных нейтрино на Земле должна быть равной $j=5.6 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. Нейтрино регистрируются детектором, содержащим $M=615$ тонн перхлорэтилена C_2Cl_4 . В естественной смеси изотопов хлора содержится 25% по массе изотопа ${}^{37}\text{Cl}$, на ядрах которого происходит реакция, обратная К-захвату. Среднее значение сечения захвата ядрами ${}^{37}\text{Cl}$ таких нейтрино составляет $\sigma=1.06 \cdot 10^{-42} \text{ см}^2$.

Период полураспада образующегося при этом ${}^{37}\text{Ar}$ равен 35 суток. Какое максимальное количество атомов аргона можно выделить из вещества детектора после экспозиции в течении времени, равному периоду полураспада?

К семинару №14

Задача 1

Под действием первичного космического излучения в атмосфере Земли могут рождаться мюоны. Время жизни мюона в собственной системе равно $\tau = 2.2 \cdot 10^{-6}$ с, а масса $mc^2 = 105$ МэВ.

Какой минимальной энергией должны обладать мюоны, чтобы успевать долететь до поверхности Земли, если считать, что они образуются на высоте 40 км.

Задача 2

В ходе экспериментов по обнаружению бозона Хиггса на LHC был зарегистрирован распад неизвестной массивной частицы на два фотона с энергиями $E_1 = 70$ ГэВ и $E_2 = 92$ ГэВ, которые разлетелись под углом $\alpha = 103^\circ$. Определите массу распавшейся частицы.

Задача 3

Найти пороговую энергию, необходимую для образования J/ψ -мезона (3.097 ГэВ) в реакции $p + \bar{p}$, если

- антипротон налетает на покоящийся протон в мишени;
- протон и антипротон сталкиваются двигаясь с одинаковой скоростью в противоположных направлениях.

Задача 4

Монохроматический пучок заряженных пионов (π^+ , $\tau = 2.6 \cdot 10^{-8}$ с, $mc^2 = 140$ МэВ), энергия которых $E = 10$ ГэВ, вследствие распада постепенно превращается в пучки мюонов и нейтрино. На каком расстоянии L от области формирования пучка число образовавшихся мюонов в три раза превышает число пионов?