

Ко всем нижеперечисленным задачам прошу относиться как к задачам научно-исследовательским. Наша цель не столько получить правильный ответ (и вообще его получить – не уверен, что в каждой задаче мы сможем дойти до победного конца), сколько сам процесс. Все эти задачи уже решены и решения можно загуглить, выписать на листочек и принести показать – **суть не в этом**.

Задач этих бояться не надо – да, они могут показаться очень сложными и «долгими». Повторюсь ещё раз, смысл не в том, чтобы получить правильный ответ – нужно постараться как можно подробнее разобраться в деталях – кто откуда почему как когда зачем и для чего берется.

Призываю также анализировать каждый ваш шаг и рассуждать более общо, чем вы привыкли. Приведу пример:

Встречается вам дифференциальное уравнение, в которое входит буква p и которое у вас не получается никак решить аналитически теми методами, которые вы проходили. Что тут можно сделать?

- 1) Попробовать решить его для случая очень-очень маленького (большого) значения буквы p – может, в таком приближении оно решится точно;
- 2) Попробовать решить его численно для разных численных значений буквы p , проследить, как зависит вид решения и его поведения от численного значения буквы p .

Проявляйте творчество, вас сейчас никто не ограничивает – мы считаем, что единственного правильного подхода нет, но есть подходы «неудачные» или «тупиковые» (и в этот момент я буду подсказывать, что вы делаете что-то не то и почему вы делаете это неправильно).

Вы можете и, более того, вам придется пользоваться интернетом и гуглить, как делается то, другое, третье – это нормально, вы не на олимпиаде, не на контрольной, не на зачете. Вы – исследователь. Тем не менее, чем больше вы сможете сделать сами (или с моими наводящими подсказками/вопросами), тем лучше – лучше лишний раз подумать и поболтать с вашими коллегами по задаче или с вашими одноклассниками, либо со мной.

С каждой подгруппой, когда они сформируются, я проговорю все технические детали и уточню, что и как конкретно нужно делать.

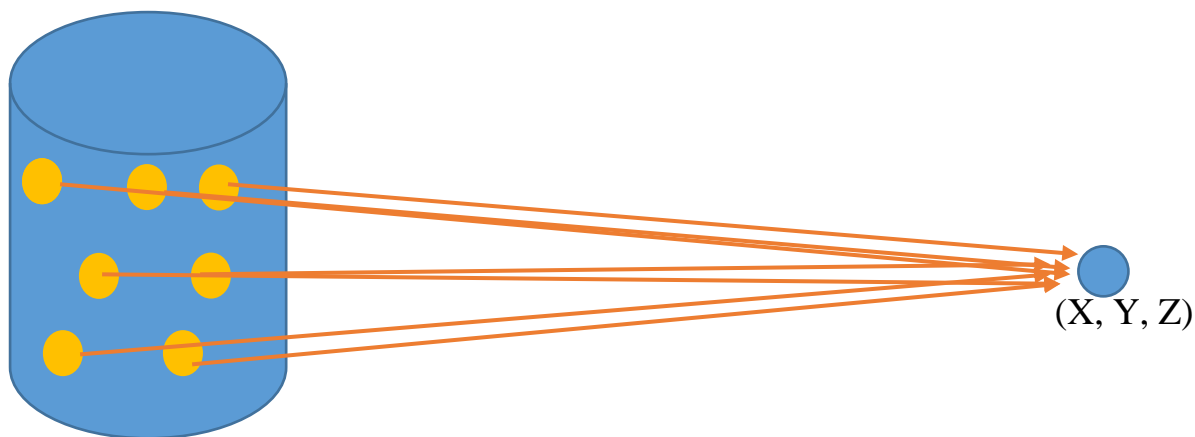
**И НЕ СТЕСНЯЙТЕСЬ ЗАДАВАТЬ МНЕ ВОПРОСЫ В ЛЮБОЕ
ВРЕМЯ ДНЯ И НОЧИ!!!!!!!!!!!!**

1. Расчет потока антинейтрино реактора и скорости счета нейтринного детектора

Принцип работы ядерного реактора основан на самоподдерживающейся цепной реакции деления изотопов урана (235, 238) и плутония (239, 241). При делении образуется нейтроноизбыточный изотоп, стремящийся вернуться в долину стабильности (N-Z диаграмма). Возвращается изотоп на полосу стабильности путем серии бета-распадов, в результате которых образуются электронные антинейтрино.

Представим ядерный реактор набором «таблеток» - топливных элементов. Даны спектры антинейтрино продуктов деления урана (235, 238) и плутония (239, 241). Координаты (x, y, z) всех таблеток мы задаем сами – они должны уместиться в цилиндр 1.5 x 1.5 метра (высота x радиус).

Требуется рассчитать поток антинейтрино в точке (X,Y,Z), где расположен детектор, а также оценить скорость счета детектора (массу рабочего вещества мы задаем сами) в сутки.



«Реактор» - набор точечных источников нейтринного излучения

Эта задача для «теоретиков-прогеров» - расчетная. Здесь нет аналитики, расчет на ROOT и, если вдруг и встретятся интегралы, их можно брать численно методами ROOTа.

Наилучше всего её реализовать методами ООП – написать свои классы. Задача идейно простая, но реализация требует навыка программирования и с этой точки зрения сложная.

2. Расчет вероятности осциллирующий нейтрино

В 2015 году была присуждена Нобелевская премия за открытие нейтринных осцилляций, свидетельствующих, что у нейтрино есть масса.

Пусть в точке $(0,0,0)$ (в начале координат) и в момент времени $= 0$ (начало отсчета времени) образовалось электронное нейтрино, т.е. вектор состояния нейтрино имеет вид $|\psi(0)\rangle = |\nu_e\rangle$. Требуется получить вероятность «выживания» нейтрино (вероятности того, что нейтрино *не* проосциллирует), т.е. явное выражение для величины

$$P_{ee}(E_\nu, L) = |\langle \nu_e | \psi(t) \rangle|^2$$

где $|\psi(t)\rangle$ – вектор состояния нейтрино в момент времени t (нейтрино за время t пролетело расстояние $L = ct$). Рассмотрим случай только двух поколений.

Для начала рекомендую почитать про «флейворные состояния» и «массовые состояния» нейтрино, что такое смешивание, что такое диагонализация массовой матрицы и т.п. Как выразить флейворное состояние через массовое в случае двух поколений? Что такое угол смешивания? В чем «фишка» массовых состояний?



Эта задача, в отличие от предыдущей, очень сложная идейно и очень проста в реализации и предназначена для хардových теоретиков – фанатов линейной алгебры, понимающих, чего такое диагонализация матрицы, собственные векторы, унитарные преобразования и т.п. Решение – чисто аналитическое, никакого ROOT здесь не нужно – решается ручкой по бумаге. В ходе интерпретации решения будет много квантов – принцип суперпозиции и т.п.

3. Уравнения Фридмана

Оказывается, наша Вселенная расширяется, причем расширяется в очень специфическом смысле – «метры плодятся». От вас требуется разобраться, что такое уравнения Фридмана, откуда они берутся (задача с пятью звездочками – вывести их из уравнения Эйнштейна).

Когда вы разберетесь и сможете сформулировать, что такое уравнения Фридмана, откуда они берутся и как интерпретируется, попробуйте их решить для каких-либо частных случаев:

А) Аналитически

Б) Численно

Для численного решения изучите метод Рунге-Кутты 4-ого порядка (разбираться в деталях, откуда он берется, не нужно – нас интересует сам алгоритм, а почему он работает – пофигу...)



Задача для теоретиков-космологов, кто хотел бы заняться астрофизикой и космологией. Первая (обзорная) часть познакомит вас с понятием «метрика» и «интервал», при этом вы, возможно, поймете, как работает уравнение Эйнштейна. Вторая часть предназначена для обучения вас численному счету. И вот здесь, в этой задаче, все численные алгоритмы вы должны написать в программном коде самостоятельно – встроенными штучками пользоваться не нужно.

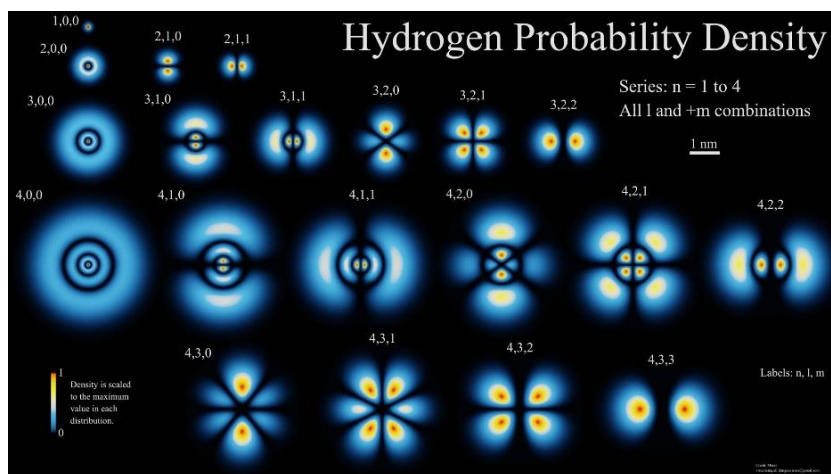
4. Квантовая механика

1. Исследуйте как сам процесс, так и результат решения стационарного уравнения Шредингера для атома водорода – получите представление об энергетическом спектре и «формулах», описывающих эту картинку. При решении этой задачи воспользуйтесь методом Фурье решения уравнений в частных производных.

Уравнение Шредингера для атома водорода имеет вид:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \Psi - \frac{e^2}{r} \Psi = E \Psi$$

где Δ – оператор Лапласа в сферической системе координат.



И / ИЛИ

- 2) Исследуйте один прикольный метод решения уравнения Шредингера – метод квазиклассического приближения. Если поймете его физическую составляющую – будет супер. Этот метод описан в Ландавшице. Можете прежде всего отнестись к нему как к математическому финту, а потом докрутить физический смысл.

Решите квазиклассическим методом стационарное уравнение Шредингера для потенциала $U(x) = \frac{kx^2}{2}$ (потенциал осциллятора) и сравните с точным аналитическим ответом.

Это задача для теоретиков, которые хотят заниматься квантовой механикой и теорией ядерных сил или чего-то в таком духе. Атом водорода решается «точно» (с оговорками, что в какой-то момент вводятся специальные функции – полиномы Лаггера и Лежандра. Тем не менее, это всего лишь полиномы и ничего в них страшного нет).

5. Калибровка сцинтилляционного детектора

1. Посмотреть все лекции по ROOT; в одной из них теоретическое введение про то, как работает сцинтилляционный спектрометр
2. Провести в Э-102 калибровку сцинтилляционного спектрометра (измерим различными источниками органический и неорганический сцинтиллятор).

Набор мест ограничен. Если будет очень много желающих (больше 4-5 человек), придется разбиваться на группы и/или проводить измерения в субботу/воскресенье.

Задача для тех, кто хотел бы заниматься экспериментальной ядерной физикой, сборкой детекторов и анализом данных в ROOT.