

## Кейс 2. Антиматерия

Необходимо написать рецензию на фильм, снятый по книге Д. Брауна «Ангелы и демоны», в которой говорится об украденных из ЦЕРН 1/4 грамма антивещества, взорвавшихся в небе над Ватиканом. Для этого необходимо ответить ряд вопросов: действительно ли

1) возможно в начале XXI века создать четверть грамма антиматерии и сколько это будет стоить,

2) «ловушку» для четверти грамма антиматерии можно переносить в руках,

3) взрыв четверти грамма антиматерии над Ватиканом не принесет серьезных разрушений?

Рассмотрим, что такое антивещество.

Таблица 1 - Перевод единиц измерения

1 МэВ	$4,45 \cdot 10^{-20}$ кВт·ч	$3,5 \cdot 10^{-26}$ килотонн тринитротолуола	$1,6 \cdot 10^{-13}$ Дж
-------	-----------------------------	---	-------------------------

1. После открытия Д. Томсоном электрона, английский физик А.Шустер в 1898 г. выдвинул гипотезу, что если в природе торжествует симметрия, то существование отрицательно заряженного электрона предполагает и существование положительно заряженного антиэлектрона.

А) Продолжая гипотезу Шустера, для частиц, вещества и материи, состоящих из частиц, необходимо предположить существование **античастиц, антивещества, антиматерии**

Б) А. Шустер предположил, что при встрече электрона и антиэлектрона они должны **аннигилировать** и назвал этот процесс термином **аннигиляция(annihilare)**, который произвел от латинского nihil – ничто.

В 1928 г. Поль Дирак при решении волнового уравнения Шрёдингера получил для энергии электрона такое уравнение:  $E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2$ , где  $m_0 c^2$  – масса покоя частицы,  $pc$  – импульс частицы. В квантовой теории положительные энергетические уровни заняты электронами, которые при получении или выделении энергии переходят на более высокие или низкие уровни рис 2.1. По принципу Паули в одном состоянии не может находиться два или более электронов.

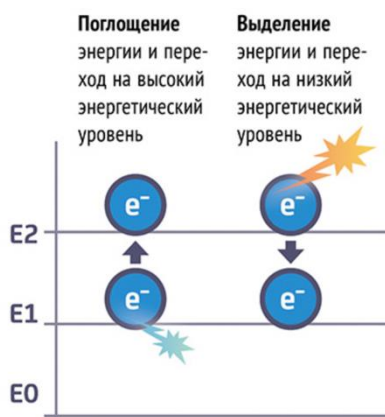


Рис. 2.1. Классические представления

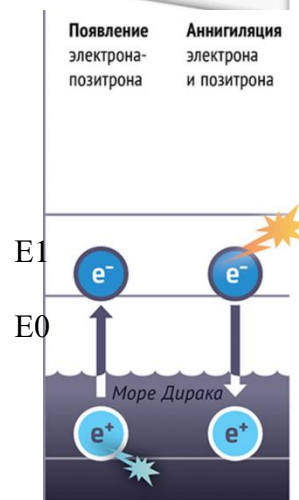


Рис. 2.2. Гипотеза Дирака

В) Оцените, какие значения энергии могут существовать и как можно интерпретировать эти значения учетом гипотезы Дирака (рис. 2.2).

Уравнение Дирака описывает энергию электрона с учетом его массы покоя и импульса. Энергетические уровни электрона могут иметь различные значения, и переходы между ними соответствуют излучению или поглощению энергии в виде фотонов. По модели Дирака электрон и позитрон могут существовать только парами, в то время как при их аннигиляции выделяется энергия в виде фотонов, так как в этом процессе электрон и позитрон превращаются в энергию.

Г) Объясните по рис 2.2. (модель Дирака), почему электрон и позитрон появляются парами, а при их аннигиляции выделяется энергия.

*Антиэлектрон был обнаружен через 4 года в космических лучах и получила название «позитрон».*

По модели Дирака, электрон и позитрон могут существовать только парами, так как каждая частица имеет свой античастицу. Это объясняется тем, что при образовании электрона из энергии должен образоваться и его античастица - позитрон. Аналогично, при образовании позитрона из энергии должен образоваться его античастица - электрон. При встрече электрона и позитрона они аннигилируют, то есть превращаются в энергию, и при этом выделяется энергия в виде фотонов.

Д) Выскажите предположение, почему идею А. Шустера современные ему физики не приняли, а Дирак за свое предсказание получил Нобелевскую премию?

Идея А. Шустера о возможности превращения вещества в энергию была предложена в 1913 году и была не доказана экспериментально. В то время квантовая механика была только в начальной стадии развития, и научное сообщество было не готово принять подобные гипотезы без экспериментальных доказательств. В отличие от этого, уравнение Дирака было доказано экспериментально через обнаружение позитрона в космических лучах, что подтвердило предсказания уравнения. Это привело к тому, что идея Дирака стала более принятой научной концепцией, чем идея Шустера.

Е) о чем свидетельствует обнаружение антипротонов с энергией 2–5 ГэВ в галактических космических лучах в конце 70-х годов ученым Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе?

*Дирак был убежден, что античастицы должны быть у всех частиц, за исключением истинно нейтральных.*

Обнаружение антипротонов в галактических космических лучах свидетельствует о том, что антиматерия существует в нашей Вселенной. Это подтверждает модель Дирака.

Ж) С помощью таблицы 2 среди указанных частиц определите истинно нейтральные, т.е. частицы, не имеющие античастиц (античастица является самой частицей).

Таблица 2 - Характеристики некоторых частиц и античастиц

Характеристика	Электрон, $e^-$	Позитрон, $e^+$	Протон, $p$	Антипротон, $\bar{p}$	Фотон, $\gamma$	Антифотон, $\gamma$	Нейтрон, $n$	Антинейтрон, $\bar{n}$	Нейтринно, $\nu$	Антинейтрино, $\bar{\nu}$
Масса $m_0$ , кг	$9,109 \cdot 10^{-31}$		$1,673 \cdot 10^{-27}$		зависит от частоты		$1,675 \cdot 10^{-27}$		ненулевая	
Масса (энергия покоя) $m_0 c^2$ , МэВ	0,511		938,27		0		939,565		<0,28	
Спин, $\hbar$	$\frac{1}{2}$		$\frac{1}{2}$		1		$\frac{1}{2}$		$\frac{1}{2}$	
Электрический заряд	$-e$	$+e$	$+e$	$-e$	0	0	0	0	0	0
Барионное число	0	0	+1	-1	0	0	+1	-1	0	0
Лептонное число	+1	-1	0	0	0	0	0	0	+1	-1
Изоспин	0		$\frac{1}{2}$		0		$\frac{1}{2}$		$\frac{1}{2}$	
Проекция изоспина			$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$			$-\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$
Магнитный момент, $\mu_N$	-1	+1	+2,79	-2,79	0	0	-1,91	+1,91	< $10^{-10}$	
Время жизни, с	$\infty$		$\infty$		стабилен		885,7 $\pm$ 0,8		стабилен	

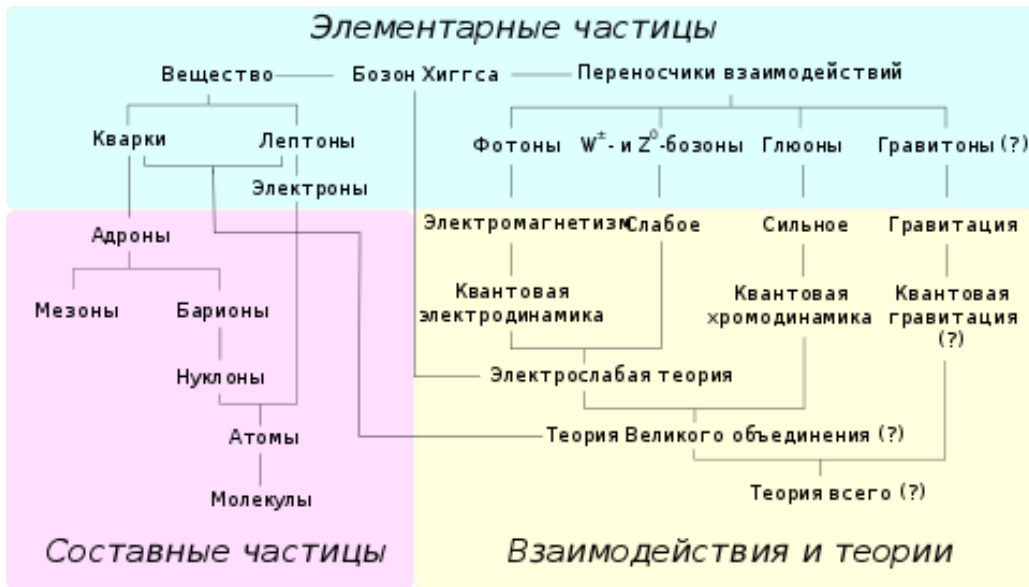
К истинно нейтральным также относятся бозон Хиггса, нейтральные мезоны, состоящие из кварков и антикварков одинакового сорта (майорановские частицы).

\* Барионное число определяется как  $B = \frac{N_q - N_{\bar{q}}}{3}$ , где  $N_q$  – число кварков,  $N_{\bar{q}}$  – число антикварков.

Лептонное число — разность числа лептонов (лептонное число  $L = +1$ ) и антилептонов (лептонное число  $L = -1$ ) в данной системе.

Изоспин — одна из внутренних характеристик (квантовое число), определяющая число зарядовых состояний адронов.

*Магнитный момент — физическая величина, характеризующая магнитные свойства вещества, то есть способность создавать и воспринимать магнитное поле.*



### Фотон и нейтрино

## 2. Объясните по таблице и рисунку

А) за счет чего может возникать магнитный момент и о чем свидетельствует его наличие у нейтрона;

Магнитный момент может возникать за счет движения заряженных частиц, например, электронов или протонов. Наличие магнитного момента у нейтрона свидетельствует о возможности его взаимодействия с внешним магнитным полем.

Б) в каких ситуациях барионное число может быть нулевым;

Барионное число может быть нулевым, если в системе частиц равное количество барионов и антибарионов.

В) в каких ситуациях лептонное число может быть нулевым;

Лептонное число может быть нулевым, если в системе частиц равное количество лептонов и антилептонов, либо если нет лептонов и антилептонов в системе.

Г) у каких частиц есть изоспин и его проекция.

Главная героиня книги Виттория Ветро говорит: «Антиматерия полностью идентична нашей, за исключением того, что все частицы в ней имеют противоположный заряд».

Изоспин и его проекция имеют у фермионов, т.е. частиц с полуцелым спином, например, нейтрона, протона и электрона.

Относительно антивещества в высказывании Виттории Ветро верно, что античастицы имеют противоположный заряд по сравнению с соответствующими частицами, а также обладают противоположной квантовой численной характеристикой, называемой киральностью или хиральностью.

3. Опираясь на данные таблицы 2 оцените

А) корректность высказывания Виттории Ветро;

Высказывание Виттории Ветро о корреляции между антивеществом и хаосом некорректно, так как антивещество имеет те же самые характеристики, что и соответствующая ей частица.

Б) параметры, которые должны быть одинаковы у частицы и ее античастицы;

Параметры, которые должны быть одинаковы у частицы и ее античастицы, это масса, спин, барионное число и лептонное число.

В) параметры, которые могут быть неодинаковы у частицы и ее античастицы;

Параметры, которые могут быть неодинаковы у частицы и ее античастицы, это электрический заряд, проекция изоспина и магнитный момент.

Г) реакцию антивещества на гравитацию;

Антивещество, как и обычное вещество, подчиняется гравитационному притяжению.

Д) возможность различить по излучению вещество и антивещество;

Невозможно различить вещество и антивещество по излучению, так как они проявляются одинаково.

Е) идентичность /не идентичность структуры вещества и антивещества на основе сравнения сил, определяющих структуру материи (сильное взаимодействие, образующее ядра, и электромагнитное взаимодействие, образующее атомы и молекулы).

Структура вещества и антивещества идентична, так как обе подчиняются сильному и электромагнитному взаимодействию и имеют одинаковую структуру на уровне атомов и молекул. Отличия возникают только на уровне зарядовых свойств, которые могут быть инвертированы.

*ПРИМЕЧАНИЕ 1. Утверждение, что античастицы имеют ту же массу, что и частицы, следует из CPT-теоремы. А эксперимент BASE*

(ЦЕРН) обнаружил, что (инертная) масса антипротона совпадает с массой протона с очень высокой точностью и действие гравитации на антипротоны совпадает с действием на протоны с точностью до одной миллионной.

**ПРИМЕЧАНИЕ 2.** В 2016 году учёным коллаборации ALPHA впервые удалось измерить оптический спектр атома антиматерии, отличий в спектре антиводорода от спектра водорода не обнаружено.

**ПРИМЕЧАНИЕ 3.** В 2015 году международная группа физиков на американском коллайдере RHIC экспериментально доказала идентичность структуры вещества и антивещества путём точного измерения сил взаимодействия между антипротонами, оказавшимися в этом плане неотличимыми от обычных протонов.

4. Опишите словами ситуации, записанные в форме уравнений:

$$1) e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma \text{ (рис. 2.1)}$$

Массы частиц превращаются в энергию фотона.

$$2) \gamma \rightarrow e^- + e^+$$

В этом процессе энергия фотона превращается в массу частиц электрона и позитрона, которые затем могут двигаться независимо друг от друга.

$$3) n + \bar{n} \rightarrow 2\gamma$$

Это уравнение описывает аннигиляцию нейтрона и антинейтрона, при которой образуется два фотона.

$$4) p + \bar{p} \rightarrow n + \bar{n}, n + \bar{n} \rightarrow \text{пионы}$$

Первое уравнение описывает процесс образования пары нейтрон-антинейтрон при взаимодействии позитрона и электрона. В этом процессе позитрон и электрон аннигилируют, то есть превращают свою массу в энергию, которая затем превращается в две частицы - нейтрон и антинейтрон.

Второе уравнение описывает процесс, при котором нейтрон и антинейтрон аннигилируют и образуют пару пионов. Пионы - это частицы, которые могут обладать разными зарядами и спинами, и они могут взаимодействовать с другими частицами в разных процессах.

$$5) e^- + e^+ \rightarrow \nu\bar{\nu} \text{ (маловероятный процесс, но является значимым при потере энергии звездой в ходе её эволюции)}$$

Это уравнение описывает процесс аннигиляции, при котором электрон и позитрон взаимодействуют и превращаются в бозон, называемый W-бозоном.

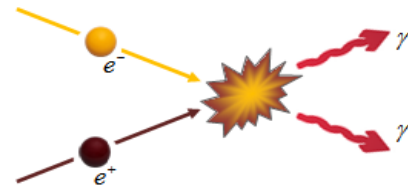


Рис. 2.1. Аннигиляция пары электрон-позитрон

*ПРИМЕЧАНИЕ 4. Реакция аннигиляции уравнения 1 может дать и три фотона, в зависимости от ориентации спинов электрона и позитрона. При энергиях порядка нескольких МэВ становится возможной и многофотонная аннигиляция электрон-позитронной пары. При энергиях порядка сотен МэВ в процессе аннигиляции электрон-позитронной пары рождаются в основном адроны.*

*ПРИМЕЧАНИЕ 5. Законом сохранения импульса запрещено рождение одним фотоном в вакууме реальной электрон-позитронной пары, поскольку единственный фотон в любой системе отсчёта несёт конечный импульс, а электрон-позитронная пара в своей системе центра масс обладает нулевым импульсом. Чтобы происходило рождение пар, необходимо, чтобы фотон находился в поле ядра или массивной заряженной частицы.*

## 5. Поясните

А) почему математические уравнения процессов можно считать моделями процессов?

Математические уравнения процессов позволяют описать процессы в форме абстрактных математических объектов. Они могут быть использованы для создания модели процесса, которая позволяет описать реальные явления и предсказать их поведение в различных условиях.

Б) на примере задания 5 различные виды моделей (описательные, математические, наглядные)

Описательные модели – это модели, которые описывают процессы словесно или с помощью графиков.

Математические модели – это модели, которые используют математические уравнения для описания процессов.

Наглядные модели – это модели, которые используются для представления процессов в виде физических объектов или конструкций.

В) общий критерий использования модели «корпускула» (др),

Критерий использования модели "корпускула" заключается в том, что она должна быть достаточно простой и однородной, чтобы ее поведение можно было описать с помощью математических уравнений, а также быть достаточно близкой по своим свойствам к изучаемому объекту.

Г) различия между моделью «свободная корпускула» и «несвободная корпускула» (др),



"Свободная корпукула" - это корпукула, которая не подвергается внешним силам и движется с постоянной скоростью. "Несвободная корпукула" - это корпукула, которая подвергается внешним силам и ее движение зависит от этих сил.

Д) какие свойства корпукулы характеризуются такими характеристиками, как масса, импульс и энергия (др),

Масса отражает количество вещества в корпукуле, импульс характеризует движение корпукулы, а энергия отражает способность корпукулы выполнять работу.

Е) почему именно масса, импульс и энергия оказываются наиболее информативными фундаментальными характеристиками корпукулы (др)?

Масса, импульс и энергия являются основными характеристиками движения корпукулы, которые могут быть измерены экспериментально и использованы для описания ее поведения. Благодаря им можно установить взаимосвязь между различными свойствами и поведением корпукулы и определить, как она будет вести себя в различных условиях.

*А. Эйнштейн переносчика электромагнитного взаимодействия назвал «световым квантом». Но прижилось название «фотон» от греческого слова φῶς («свет»), которое было введено в 1926 году химиком Гилбертом Н. Льюисом, считавшего фотоны «несоздаваемыми и неуничтожимыми».*

6. Объясните,

А) Подтвердилась ли теория Льюиса о «несоздаваемости и неуничтожимости» фотонов экспериментальными данными?

Научное сообщество согласно с квантовой механикой считает, что фотоны – это элементарные частицы, которые не могут быть созданы или уничтожены. Они могут быть только изменены, например, путем поглощения или высвобождения энергии. Этот факт был подтвержден экспериментальными данными и, следовательно, подтвердил теорию Льюиса.

Б) Почему состав космических лучей (они состоят из протонов, электронов, атомных ядер (протоны и нейтроны)) являются важным аргументом в пользу преобладания материи над антиматерией в ближайшем окружении Земли.

Космические лучи, которые состоят из протонов, электронов и атомных ядер, являются важным доказательством преобладания материи над антиматерией в ближайшем окружении Земли. По теории космических лучей, обла-



сти космоса, близлежащие к Земле, не должны содержать большое количество антиматерии, потому что если бы это было так, то мы бы наблюдали большое количество гамма-излучения, которое возникает при взаимодействии материи с антиматерией. Однако, существуют также экспериментальные данные, которые подтверждают существование антиматерии в космических лучах в качестве одного из ионизирующих компонентов лучистого фона. Этот вопрос требует дальнейших исследований и изучения.

*Планк определил, что энергия фотона равна:*

$$E_{\gamma} = h \nu,$$

где  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с - постоянная Планка,  $\nu$  - частота излучения.

*Энергия каждой из частиц складывается из ее энергии покоя  $m_0 c^2$  ( $c = 3 \cdot 10^8$  м/с - скорость света в вакууме) и ее кинетической энергии  $W_i$ :*

$$E = m_0 c^2 + W_i.$$

#### 7. Определите для первых двух процессов задания 4

А) закон сохранения энергии (то есть запишите уравнение, где в левой части - величина суммарной энергии системы в начальный момент времени, а в правой - суммарная энергия системы в конечный момент времени).

Закон сохранения энергии для первого процесса: энергия покоя электрона и позитрона равна энергии двух образовавшихся фотонов:

$2mc^2 = 2E_{\gamma}$ , где  $m$  - масса электрона (и позитрона),  $c$  - скорость света,  $E_{\gamma}$  - энергия фотонов.

Для второго процесса закон сохранения энергии также выполняется, так как энергия фотонов равна энергии рассматриваемых электрона и позитрона.

Б) энергию (в МэВ) образовавшихся фотонов, если начальная кинетическая энергия частиц ничтожно мала.

Каждый фотон будет иметь энергию  $E_{\gamma} = mc^2 = 0.511$  МэВ. Так как начальная кинетическая энергия частиц ничтожно мала, вся масса частиц будет превращена в энергию фотонов.

**ПРИМЕЧАНИЕ 5.** При аннигиляции электрона и позитрона вся энергия покоя превращается в энергию микровзрыва. Это самое эффективное превращение массы в тепловую энергию, в сотни раз превосходящее по эффективности ядерный взрыв. Однако при аннигиляции пары нуклон-антинуклон порядка 50 % энергии выделяется в форме нейтрино, которые практически не взаимодействуют с веществом.

В) частоту фотона, излучаемого в процессе аннигиляции медленной пары электрон-позитрон, и частоту фотона, принимающего участие в рождении пары электрон-позитрон

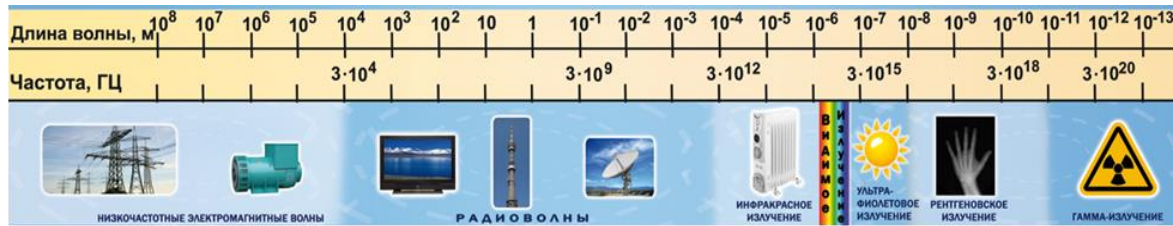


Рис. 2.3. Шкала электромагнитных волн

Г) к какой области электромагнитных волн относятся такие фотоны (рис. 2.3) и можно ли их увидеть невооруженным глазом?

Образовавшиеся фотоны относятся к гамма-лучам, которые имеют очень высокую частоту и короткую длину волны, находящуюся в диапазоне от  $10^{-11}$  до  $10^{-13}$  метров. Они не видимы невооруженным глазом, так как человеческий глаз не может воспринимать электромагнитные волны такой высокой частоты.

Д) что можно сказать о проникающей способности полученных фотонов, и от чего она зависит?

Фотоны гамма-лучей обладают высокой проникающей способностью, так как они имеют очень высокую энергию и могут проникать через многие материалы, включая толстые слои свинца и бетона. Проникающая способность зависит от энергии фотона и от плотности препятствий, через которые фотон должен пройти. Чем более плотный материал, тем меньше вероятность прохождения фотонов через него.

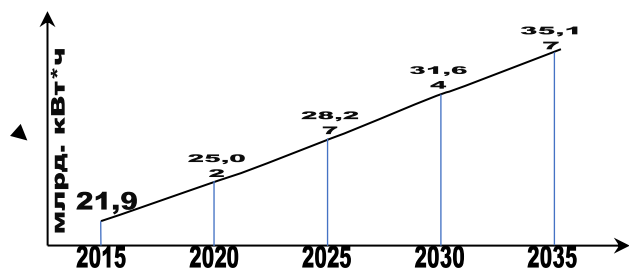


Рис. 2.4. Потребление электричества в мире (прогноз компании Asea Brown Boveri Ltd.)

## 8. Заполните таблицу

Величина	Единицы измерения	Решение	Ответ
Энергию, выделившуюся при аннигиляции почти неподвижных 1 электрона и 1 позитрона	МэВ	$E = 2mc^2 = 1,02349$	

Количество античастиц в грамме	штук	Зависит от вещества	
Энергию, выделившуюся при аннигиляции почти неподвижных 1 грамма электронов и 1 грамма позитронов	МэВ	$E = 2mc^2 =$	$1.125 \times 10^{36}$ МэВ
	кВт·час		$5,007 \times 10^{16}$ кВт·ч
Прогнозируемое потребление энергии, обеспечивающей все потребности человечества в 2030 году (рис. 2.4)	кВт·час	в 2030 году 31.6	
Количество грамм позитронов, которые должны аннигилировать для получения энергии, обеспечивающей все потребности человечества в 2030 году	г		
Стоимость для потребителя энергии, полученная путем аннигиляции антиматерии, если по оценкам НАСА 2006 года, производство 1 грамма позитронов стоило примерно 25 миллиардов долларов США	Долларов за 1 кВт*ч		
Актуальная стоимость для потребителя электроэнергии на сегодняшний день в вашем городе (посмотреть в Интернете)	Долларов (или рублей) за 1 кВт*ч	Актуальная стоимость 2,62 руб	
Самое мощное ядерное устройство из когда-либо взрывавшихся на планете, «Царь-бомба» (масса 26,5 т), при взрыве высвободило энергию, эквивалентную ~57—58,6 мегатоннам. Сколько примерно нужно антивещества для аналогичного взрыва	мегатонн тротила	Около 20кг антивещества	

Долгое время инструментом для наблюдения ядерных излучений и космических лучей служила камера Вильсона (названа по имени изобретателя - шотландского физика Ч. Вильсона).

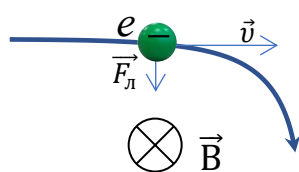


Рис. 2.5. Изменение траектории движения заряженной частицы под действием магнитного поля

Внутри камеры находятся перенасыщенные пары воды, спирта или эфира. Заряженная частица, проходя сквозь камеру,

оставляет на своём пути цепочку ионов. Пар конденсируется на ионах, делая видимым след (трек) частицы. В 1927 г. советские физики П. Л. Капица и Д. В. Скобельцын предложили помещать камеру в сильное магнитное поле. Под действием поля траектория движения заряженной частицы изменяется (рис. 2.5).

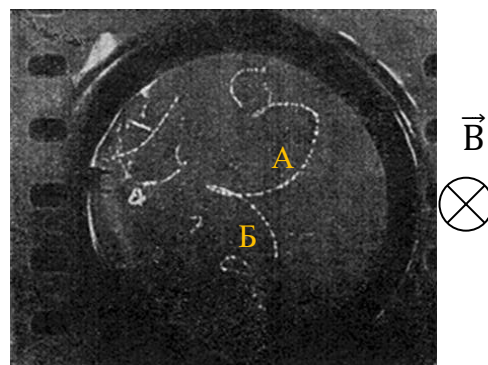


Рис. 2.6. Рождение частиц в камере Вильсона

9. Если в камеру Вильсона поместить свинцовую пластинку и облучать её  $\gamma$ -квантами, то можно наблюдать две частицы (рис. 2.6), рождающиеся в одной точке, которые магнитным полем  $\vec{B}$  отклоняются в противоположные стороны.

А) Напишите уравнение процесса рождения частиц (см. пункт 6).

Процесс рождения частиц – это процесс превращения энергии из фотона в массу двух частиц. Уравнение этого процесса:  $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$ , где  $\gamma$  - фотон,  $e^+$  - позитрон,  $e^-$  - электрон.

Б) Какой из треков на фотографии принадлежит электрону, а какой – позитрону?

На фотографии левый трек принадлежит электрону, а правый трек – позитрону.

В) Какой минимальной энергией должен обладать фотон, пролетающий через вещество, чтобы было возможным процесс рождения пары «частица – античастица»?

Минимальная энергия фотона, необходимая для рождения пары, вычисляется по формуле  $E = 2mc^2$ , где  $m$  - масса электрона (или позитрона),  $c$  - скорость света. Таким образом, минимальная энергия фотона, необходимая для рождения пары, составляет приблизительно 1,02 МэВ.

Г) Если фотон обладал энергией, равной 2МэВ, то какую суммарную кинетическую энергию получили электрон и позитрон?

Применяя законы сохранения энергии и импульса, можем вычислить суммарную кинетическую энергию электрона и позитрона. Если фотон обладал энергией 2 МэВ, то каждая из частиц получила по 1 МэВ кинетической энергии.

Д) опишите процессы, происходящие в пузырьковой камере, находящейся в магнитном трекполе

В пузырьковой камере находится среда, насыщенная жидким водородом или гелием. При прохождении заряженной частицы через жидкость происходит ионизация молекул, в результате которой образуются пузырьки газа. Эти пузырьки можно наблюдать и сфотографировать. В магнитном поле движение заряженных частиц отклоняется, что позволяет определить их заряд и импульс. Кроме того, в камере можно использовать различные фильтры и перегородки для изучения взаимодействия частиц с веществом.

## 10. Прокомментируйте утверждения В. Ветро, что

А) для разделения частицы и античастицы было использовано «сильное магнитное поле, где частицы вещества ушли по дуге вправо, а антивещества – влево». Можно ли определить на основании этой фразы, какие античастицы были получены в эксперименте?

Утверждение, что для разделения частицы и античастицы было использовано сильное магнитное поле, является верным. Однако, на основании этой фразы нельзя определить, какие античастицы были получены в эксперименте. Для этого нужно иметь дополнительную информацию.

Б) «антивещество невозможно хранить в сосудах из нашей обычной материи: вещество и антивещество мгновенно вступят в реакцию».

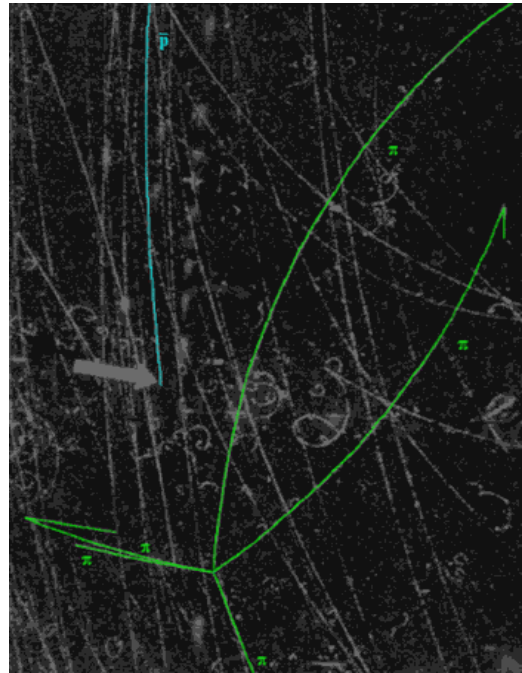


Рис. 2.6. Образование и аннигиляция антинейтрона

Утверждение, что антивещество невозможно хранить в сосудах из нашей обычной материи и вещество и антивещество мгновенно вступят в реакцию, также является верным. Это связано с тем, что при взаимодействии вещества и антивещества происходит аннигиляция, при которой вся масса превращается в энергию. Поэтому, для хранения антивещества исследователи используют специальные установки с магнитными ловушками, в которых заряженные частицы антивещества не вступают в реакцию с обычной материей.

В) антивещество намного легче обнаружить, чем изучить.

Утверждение о том, что антивещество намного легче обнаружить, чем изучить, не совсем точно. Обнаружение антивещества может быть довольно сложным процессом, который требует специализированных детекторов и экспериментальных установок. Однако изучение антивещества также представляет собой сложную задачу, которая требует высокоточных измерений и тщательного анализа данных.

**11\*. Виртуальный эксперимент.** На сайте [oscteam.com/index.php](http://oscteam.com/index.php) слева под рубрикой «Забавы» найдите игру «Коллайдер». Если запустить ее не получается, то прочитайте в ТУИС инструкцию по временной установке про-

#### Набор кейсов

Набор кейсов

Инструкция, как включить Flash Player для выполнения виртуального эксперимента к кейсу "Антиматерия"

граммы, позволяющей запустить игру

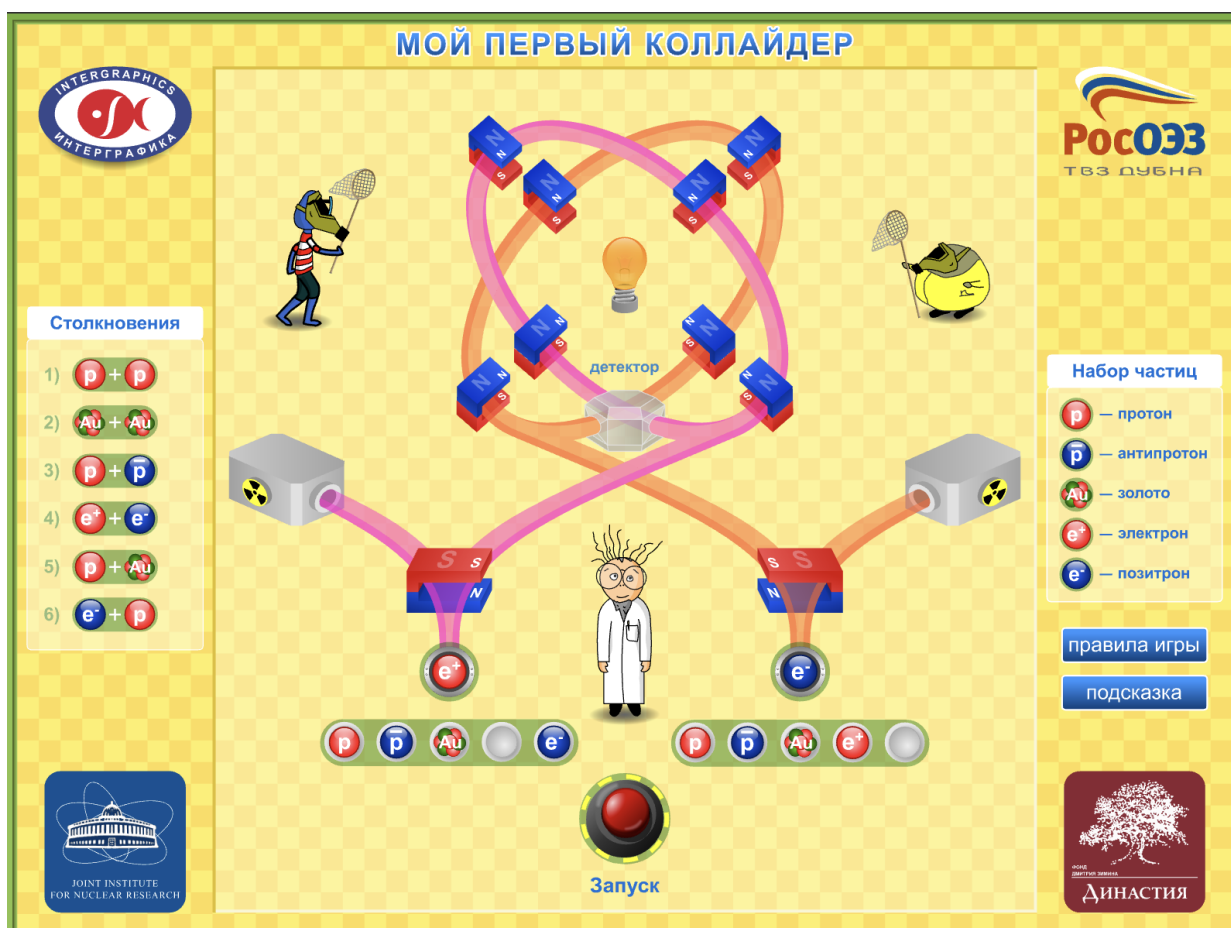
, либо пропустите это задание. Если виртулаб запускается, то выберите все возможные пары частица-античастица, настройте магниты так, чтобы частица и античастицы двигались по своим круговым траекториям и столкнулись. Зарисуйте или вставьте скриншот схемы столкновений и запишите название получившихся частиц и научных центров, в которых впервые были реализованы данные столкновения. Запишите вывод.

*В романе, написанном в 2000 г. и экранизированном в 2009 г. показана «ловушка антивещества» (рис. 2.7), в которой антивещество находится «в точке пересечения двух магнитных полей». В реальности впервые «поймать» 38 атомов антиводорода в ловушку Пеннинга на 173 миллисекунд удалось только в 2010 году. К 2019 году отдельные антипротоны могут храниться более года.*



Рис. 2.7. Контейнер с антивеществом. Кадр из фильма «Ангелы и демоны»





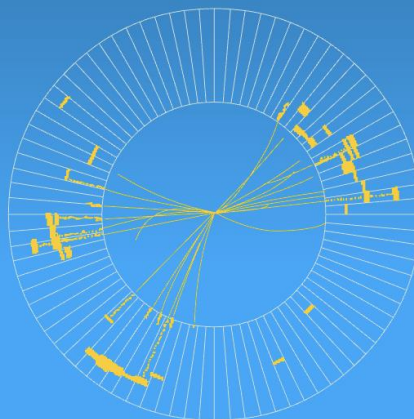
### ПОЗДРАВЛЯЕМ!!!

Молодцы! Вы открыли частицу глюон, которая является переносчиком сильного взаимодействия. Впервые это было сделано на коллайдере немецкого электронного синхротрона DESY, расположенном в Гамбурге (Германия).



Немецкий электронный синхротрон DESY в Гамбурге (Германия)

Электрон-позитронное столкновение:



### 12. Для «ловушки антивещества»

А) объясните в общих чертах ее принцип действия,



Принцип действия "ловушки антивещества" основан на использовании электрического и магнитного полей для удержания заряженных античастиц в вакууме. В "ловушке Пеннинга" используются два электрода, расположенные параллельно друг другу, и магнитное поле, направленное перпендикулярно плоскости электродов. Это создает устойчивое поле, в котором заряженные античастицы могут быть удержаны.

Б) выскажите предположение, может ли магнитное поле Земли выступать в качестве ловушек антивещества и связано ли с этим обнаружение антипротонов в радиационных поясах Ван Аллена,

Магнитное поле Земли не может выступать в качестве "ловушки антивещества", поскольку оно не обладает достаточной силой и не является устойчивым. Обнаружение антипротонов в радиационных поясах Ван Аллена связано с тем, что они образуются в результате взаимодействия космических лучей с атмосферой Земли и затем попадают в радиационные пояса, где могут быть обнаружены.

*Для эксперимента PUMA требуется перенести облако из примерно  $10^9$  антипротонов от установки, где их синтезируют, к другой установке, где добывают очень недолговечные редкие радиоактивные атомные ядра. Потеря при переносе  $10^7$  антипротонов сделает эксперимент бессмысленным. Перенос можно осуществить в ловушке Пеннинга. Изначально предлагалось два вида усовершенствованных ловушек Пеннинга. В первом случае размеры ловушки приближались к размерам грузовика, что требовало перестройки помещений лабораторий (около 1 млрд. долларов). Геометрия второго типа усовершенствованной ловушки позволяла втрое уменьшить ее размеры (перестройка помещений не требовалась), но из-за нарушения цилиндрической симметрии электрического и магнитного полей античастицы могли диффундировать к стенкам ловушки и вероятность соприкосновения каждой из античастиц со стенками ловушки за расчетное время транспортировки составляла 0,0001%.*

В\*) исходя из теории принятия решений и наличия ошибочных решений первого рода (упущенный выигрыш) и второго рода (реализованный проигрыш), оцените последствия выбора каждого типа ловушек и обоснуйте расчетами выбор ловушки для эксперимента PUMA.

Для выбора типа ловушки следует оценить вероятность потери антипротонов при переносе из установки синтеза в установку для исследования редких радиоактивных ядер. Расчет вероятности потери антипротонов в ловушке Пеннинга первого типа показывает, что она составляет около 0,1%, тогда как вероятность потери в ловушке Пеннинга второго типа составляет 0,0001%. Таким образом, второй тип ловушки предпочтительнее, поскольку вероятность потери антипротонов значительно меньше, а размеры ловушки меньше, что экономит деньги на перестройке помещений.

Г) оцените возможные размеры ловушки для удержания четверти грамма антивещества, ориентируясь на размеры ловушки в эксперименте *PUMA* и сравните с ловушкой, показанной на рис. 2.7.

Для удержания четверти грамма антивещества требуется очень большая ловушка, значительно превышающая размеры ловушки в эксперименте *PUMA* и ловушки, показанной на рис. 2.7. Точный размер ловушки зависит от конкретных условий эксперимента, но, вероятно, он составляет несколько кубических метров. Организация такого эксперимента потребует значительных финансовых и технических ресурсов, так как требуется не только создать и поддерживать такую большую ловушку, но и производить достаточное количество антивещества для эксперимента. Кроме того, необходимо учитывать потери антивещества при его транспортировке и хранении, а также проблемы, связанные с взаимодействием антивещества с обычным веществом.

**13.** Посмотрите фрагмент фильма о создании четверти грамма антивещества в *CERN*

А) Произведите расчет времени создания такого количества антивещества в лаборатории Ферми – до 2011 года самого мощного производителя антивещества (антипротонов) в мире.

Для расчета времени создания четверти грамма антивещества в лаборатории Ферми нужно узнать, какое количество антипротонов требуется для создания данного количества антивещества. Для этого можно использовать соотношение масс электрона и протона, так как античастицы имеют противоположный знак заряда, но такую же массу. Масса электрона составляет приблизительно  $9.11 \times 10^{-31}$  кг, а масса протона –  $1.67 \times 10^{-27}$  кг. Следовательно, масса антипротона также равна  $1.67 \times 10^{-27}$  кг. Четверть грамма антивещества составляет 0.25 грамма или  $0.25 \times 10^{-3}$  кг.

Чтобы создать  $0.25 \times 10^{-3}$  кг антивещества, нужно создать такое же количество антипротонов, так как массы антипротона и протона равны. Один антипротон имеет массу  $1.67 \times 10^{-27}$  кг, следовательно, для создания  $0.25 \times 10^{-3}$  кг антивещества требуется:

$$(0.25 \times 10^{-3} \text{ кг}) / (1.67 \times 10^{-27} \text{ кг}) = 1.50 \times 10^{21} \text{ антипротонов.}$$

Для накопления такого количества антипротонов в лаборатории Ферми потребовалось бы значительно больше времени, чем 16 часов.

*В лаборатории Ферми полученные антипротоны хранились, вращаясь по круговой орбите в магнитном поле, и за 16 часов накапливалось в количестве примерно  $10^{12}$  штук, после чего накопленные антипротоны сбрасывали в другой ускоритель, где с ними проводились эксперименты.*

Б) Оцените, насколько достоверно показано создание антивещества.

Фрагмент фильма о создании четверти грамма антивещества в CERN представляет собой реальный эксперимент, который был проведен в 2010 году. Создание антивещества было подтверждено наблюдением аннигиляции античастиц и частиц при столкновении между собой. Таким образом, показанное в фильме создание антивещества является достоверным.

В) Оцените, насколько Ваши расчеты могут быть сильным доказательством достоверности или недостоверности показанного в фильме.

Наши расчеты не могут быть сильным доказательством достоверности или недостоверности показанного в фильме, поскольку фрагмент фильма представляет собой реальный эксперимент, который был проведен на практике. Однако, наши расчеты могут помочь лучше понять сложность и масштабность создания антивещества.

Г) В фильме «Ангелы и демоны» говорится, что 1/4 грамма антивещества в тротиловом эквиваленте содержат энергию около 5 килотонн. Правильный ли расчет сделали сценаристы, если антивещество состояло из позитронов? Если неправильно, то в чем, предположительно, ни ошиблись <sup>7,27</sup>

**14\*. Виртуальный эксперимент.** Зайдите на сайт [nuclearsecrecy.com/nuketap/](http://nuclearsecrecy.com/nuketap/), установите маркер на карте над Ватиканом и проведите 4 эксперимента. Сначала укажите энергию 5 килотонн – как указано в фильме, выберите сначала наземный взрыв, а потом «воздушный взрыв». Высоту (в дополнительных параметрах) определите исходя из того, что вертолет поднимался 2 мин с вертикальной скоростью 2,5 м/сек. Запишите количество погибших и глубину воронки и сравните с разрушениями, показанными в фильме. Оцените, насколько правильным было решение подняться в воздух, чтобы уменьшить негативные последствия взрыва. Потом мощность бомбы установите из ваших расчетов и повторите наземный и воздушный взрывы. Сравните результаты всех 4 взрывов.

Главный герой книги «Ангелы и демоны» Лэнгдон упоминает, что «антивещество служит главным топливом для двигателей звездного крейсера «Энтерпрайз» из сериала «Звездный путь», который благодаря этому может достигать скоростей, близких к скорости света.

**15\*. Запишите**

А) возможные уравнения происходящих в двигателях звездолета управляемых встреч вещества с антивеществом,

Б) ваше мнение, какие основные проблемы необходимо решить инженерам и ученым, чтобы создание аннигиляционного фотонного двигателя стало реальным?

*Антиматерия сейчас является самой дорогой в производстве субстанции на Земле. Поэтому ведется его поиск во Вселенной.*

*Предполагается, что после Большого взрыва антиматерия возникла одновременно с материей: в первые три минуты существования Вселенной образовались водород, его изотопы дейтерий и тритий, гелий (рис. 2.7), а так же их античастицы. Считается, что на ранней стадии развития Вселенной при температурах порядка  $10^{13}$  К количество частиц и античастиц почти совпадало. Ученые фактически повторили последовательность «создания Вселенной», когда научились получать именно эти античастицы.*

**16. Определите, из каких античастиц синтезированы (рис. 2.8):**

А) ядро антиводорода (1955 г., ускоритель Беватрон, США, Нобелевская премия 1959 г.)

Ядро антиводорода синтезировано путем соединения антипротона и антиэлектрона (позитрона).

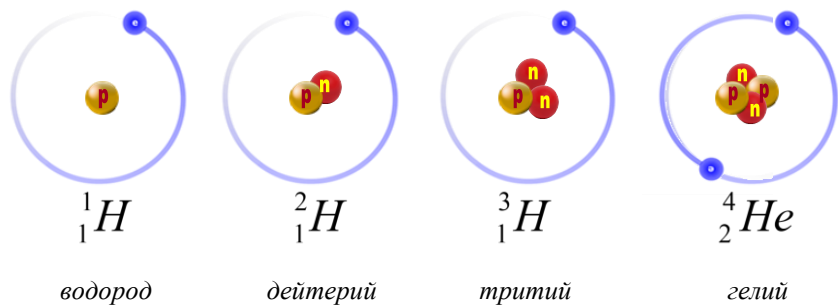


Рис. 2.8. Модели элементов первичного звездного вещества

Б) антиводород (в 1995 г. в ЦЕРНе)

Антиводород

можно получить путем соединения антипротона и позитрона.

В) ядра антидейтерия (в 1965 г. в США)

Ядра антидейтерия могут быть синтезированы путем соединения антипротона и антинейтрона.

Г) ядра антитрития (в 1970 г. в Серпухове, СССР)

Ядра антитрития могут быть синтезированы путем соединения антипротона и антинейтрона.

Д) ядра антигелия (в 2010 г. в США),

Ядра антигелия синтезируются путем соединения антипротона и антидейтерия.

Е) прокомментируйте высказывание Виттории Ветро, что ей с коллегами в ЦЕРНе удалось невероятное - создать антиматерию.

Это действительно невероятное достижение, поскольку создание антиматерии является крайне сложным и технически проблемным процессом.

Важно отметить, что антиматерия имеет огромный потенциал в различных областях, таких как медицина, энергетика и космические исследования. Однако, технология производства антиматерии остается очень дорогостоящей и трудоемкой, поэтому не является практически применимой в настоящее время. Тем не менее, создание антиматерии является одним из фундаментальных достижений науки, и его дальнейшее изучение может привести к новым открытиям и развитию научных технологий в будущем.

Ж) объясните на примере водорода, почему следует различать природный объект (химический элемент) и его модель? Приведите примеры типов моделей водорода (наглядный, описательный, аналоговый).

Природный объект - это реальный материал или субстанция, которая существует в окружающей среде, например, водород. Модель - это упрощенное представление объекта, созданное для научных целей. Модели помогают науке понять свойства объектов или процессов и предсказать результаты экспериментов. Типы моделей водорода включают наглядные модели, такие как модель Мельдрума, описательные модели, такие как квантовая механическая модель атома, и аналоговые модели, такие как модель Резерфорда-Бора.

## 17. Приведите аргументы в пользу

А) наличия Барионной асимметрии видимой части Вселенной;

Наличие Барионной асимметрии видимой части Вселенной объясняет неравенство между числом барионов и антибарионов в нашей Вселенной, что приводит к возможности существования макромасштабных структур, включая звезды и планеты.

Б) преобладания частиц или античастиц начиная с первых долей секунды после Большого Взрыва (идея 1979 году Floyd Stecker о спонтанной асимметрии вещества и антивещества и их «разлете»);

Если с самого начала было бы равное количество частиц и античастиц, то они бы взаимно аннигилировали друг с другом, приводя к полному отсутствию барионов и любых других обычных веществ. Преобладание частиц над античастицами в начальный момент времени, вероятно, является причиной существования нашей Вселенной.

В) гипотезы о «разлете» вещества и антивещества в первые секунды после большого взрыва о расположении материи и антиматерии во Вселенной из этого следует?

Гипотеза о разлете вещества и антивещества в первые секунды после Большого Взрыва дает возможность объяснить, почему Вселенная почти полностью состоит из вещества, а не из антивещества.

Г) составе видимой Вселенной при Барионной симметрии;

При Барионной симметрии все барионы и их антибарионы должны были быть аннигилированы друг с другом, что привело бы к равному количеству вещества и антиматерии в нашей Вселенной.

Д) изначального отношения частиц и античастиц во Вселенной, если отношение современной плотности протонов во Вселенной к плотности реликтовых фотонов равно  $10^{-9}$ ;

Из соотношения современной плотности протонов к плотности реликтовых фотонов мы можем сделать вывод, что в начальный момент времени отношение частиц и античастиц должно было быть порядка  $10^9$ .

Е) важности использования радиотелескопов для изучения реликтового излучения.

Радиотелескопы играют важную роль в изучении реликтового излучения, которое является одним из основных доказательств Большого Взрыва.

Ж) гипотезы о возможности или невозможности увидеть в современные телескопы антиГалактики и отличить их от Галактик, а также найти границы областей материи и антиматерии.

Гипотезы о возможности или невозможности увидеть в современные телескопы антиГалактики и отличить их от Галактик важны для понимания расположения и существования областей материи и антиматерии в нашей Вселенной.

З) современные гамма-телескопы «просматривают» Вселенную на 65 миллионов световых лет. Какой вывод можно сделать о наличии областей антиматерии в нашей галактике и в нашем скоплении галактик, включающей в себя кроме Млечного пути еще 50 других галактик?

Из отсутствия обнаружения областей антиматерии на 65 миллионов световых лет можно сделать вывод, что вокруг нашей галактики и в нашем скоплении галактик нет областей антиматерии. Однако это не означает, что такие области не могут существовать в других частях Вселенной.







D0%BF%D0%B0%D0%B4%D0%B0 несколько подходящих элементов и обоснуйте выбор;

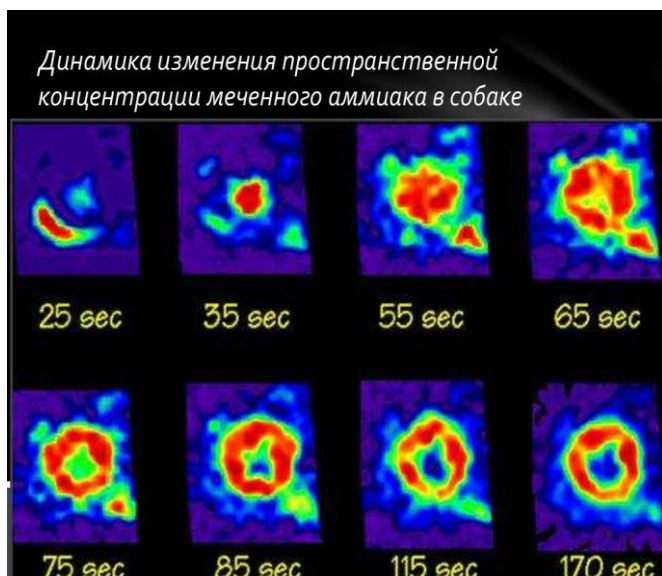


Рис. 2.11. Динамика изменения распределения активности  $^{13}\text{N}$ - аммиака в сердце и легких собаки как результат регистрации в течение 10 с. (взято с <http://oplib.ru/random/view/1250994>)

Вводимые в состав РФП радиоактивные вещества должны обладать характеристиками, позволяющими обнаруживать их в организме. Например, они должны иметь короткий период полураспада, что означает быстрое распадение вещества до неопасного уровня радиоактивности. Также вещества должны иметь высокую чувствительность к детекторам, чтобы обеспечить точность обнаружения и измерения радиоактивного излучения. В таблице периода полураспада

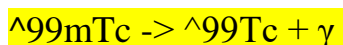
среди подходящих элементов можно выбрать  $^{123}\text{I}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{67}\text{Ga}$ .

Б) как провести исследование активности разных участков мозга / быстрорастущей опухоли желудка и распространение метастазов (алгоритм исследования);

Для исследования активности разных участков мозга/ желудка и распространения метастазов можно использовать позитронно-эмиссионную томографию (ПЭТ). Исследование проводится путём введения в организм радиоактивных маркированных препаратов, которые должны сконцентрироваться в изучаемых участках. Затем пациент помещается в специальный аппарат, который регистрирует излучение препарата и создает изображение активности мозга/ желудка и присутствие метастазов.

В) какие уравнения описывают процессы, происходящие в организме после приема РФП;

Уравнения, описывающие процессы, происходящие в организме после приема РФП, зависят от способности вещества скапливаться в тканях или органах тела и его периода полураспада. В общем случае, они описывают процессы радиоактивного распада вещества и перераспределение его частиц в теле. Например, уравнение распада  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  выглядит следующим образом:



Г) для чего нужен кольцо детекторов (рис. 2.10), что он регистрирует;

Кольцо детекторов регистрирует излучение радиоактивных частиц, которые испускаются во время распада вещества, введенного в организм пациента. Детекторы измеряют количество и направление излучения, что позволяет определять точное расположение и площадь разрешения изображения.

Д) как формируется изображение, подобное рис. 2.11, если фотоны видимого света не проходят сквозь ткани и кожу человека;

Для создания изображения, подобного рис. 2.11, используется технология компьютерной томографии (КТ), которая позволяет получить томограммы слоев тканей и органов. Во время исследования пациент находится внутри специального аппарата, который вращается вокруг тела, излучая рентгеновские лучи на одной стороне и регистрируя их на другой стороне. Компьютер объединяет полученные данные в трехмерное изображение.

Е) для чего иногда совмещают позитронно-эмиссионную томографию, МРТ или КТ;

Сочетание ПЭТ, МРТ или КТ необходимо для получения более полной информации об изучаемой области тела. Например, МРТ и КТ позволяют получить детальные структурные данные, связанные с анатомией тканей и органов, ПЭТ – информацию о функциональной активности тканей и желез.

Ж) к каким методам относится позиционно-эмиссионная томография (общелогическим, общенаучным, частнонаучным)?

Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) относится к частнонаучным методам, так как она используется для конкретного медицинского исследования, связанного с выявлением опухолей, метастазов и других заболеваний. Однако, ПЭТ является частью более общей научной области – ядерной медицины, в которой изучаются взаимодействия радиоактивных веществ с живыми организмами.

*В ЦЕРНе проводится эксперимент АСЕ, который изучает воздействие антипротонного пучка на живые клетки. Его цель — изучить перспективы использования антипротонов для терапии раковых опухолей. Тяжелые заряженные частицы на своем пути сквозь вещество выделяют основную долю энергии на последних сантиметрах перед остановкой. Настраивая энергию частиц, можно варьировать глубину, на которой останавливаются частицы.*

**19.** Радиотерапия протонным пучком используется во многих хорошо оснащенных клиниках мира. Выскажите предположение о преимуществах использования антипротонного пучка

А) хирургами относительно рентгеновских лучей и лазера.

Использование антипротонного пучка в хирургии не является основной его целью и не имеет преимуществ по сравнению с рентгеновскими лучами или лазерами.

Б) антипротонного пучка относительно протонного (эксперимент АСЕ).

Преимущества использования антипротонного пучка по отношению к протонному могут заключаться в более точном и эффективном доставлении лучевой дозы в опухоль. Это связано с тем, что антипротоны могут выделять больше энергии в конечном участке своего пути, что может быть более эффективно для лечения раковых опухолей в труднодоступных местах. Однако для подтверждения этой гипотезы требуются дальнейшие исследования

*Позитроны появляются в космических лучах, возникают в грозových разрядах, в распадах ряда распространенных на Земле элементов.*

**20\*.** Изотоп калия  $K_{19}^{40}$ , который присутствует в живых организмах, воде, продуктах питания, испускает 1 позитрон примерно раз в 75 минут. Средний банан содержит около 0,42 грамма калия. Содержание изотопа  $K_{19}^{40}$  в природном калии равно в среднем 0,01%,  $N = \frac{m}{M} * N_A$ , где Число Авогадро  $N_A = 6,02 * 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>.

А) Оцените, сколько примерно позитронов за 16 часов «производит» банан.

Рассчитаем, сколько граммов калия-40 содержится в одном банане:

$$0.01\% * 0.42 \text{ г} = 0.000042 \text{ г}$$

Это количество калия-40 содержит  $N = m/M * N(A)$  позитронов, где  $m$  - масса калия-40 в граммах,  $M$  - молярная масса калия-40,  $N(A)$  - число Авогадро. Рассчитаем  $N$ :

$$N = 0.000042 / 39.96 * 6.02 * 10^{23} = 1.26 * 10^{16} \text{ позитронов}$$

За 16 часов (960 минут) количество позитронов, испущенных одним бананом, составляет:

$$960 / 75 * 1.26 * 10^{16} = 1.62 * 10^{18} \text{ позитронов}$$

Ответ: примерно  $1.62 * 10^{18}$  позитронов.

Б) Сравните «производительность банана» с производительностью лаборатории Ферми до 2011 года (см. текст перед заданием 14).

Ранее было указано, что лаборатория Ферми накапливала примерно  $10^{12}$  антипротонов за 16 часов. Таким образом, производительность лаборатории Ферми была на 6 порядков выше, чем производительность одного банана.

*Банановый эквивалент — понятие, характеризующее активность радиоактивного источника путём сравнения с активностью калия-40 в банане.*

Весь имеющийся на Земле  $K_{19}^{40}$  образовался до возникновения Солнечной системы и с тех пор постепенно распадался в соответствии с одним из трех вариантов:



## 21. Определите

А) какие вещества образуются в организме человека в результате данной реакции (т.е. с помощью таблицы Менделеева определите вещества X, Y, Z),

По данным реакциям можно определить вещества X, Y, Z:

- X - это аргон (Ar) с массовым числом 40, т.е. Ar-40

- Y - это кальций (Ca) с массовым числом 40, т.е. Ca-40

- Z - это кальций (Ca) с массовым числом 40 и позитрон ( $e^+$ ), т.е. Ca-40 +  $e^+$

Б) испускает ли организм фотоны как следствие данных процессов

В результате данных процессов организм человека испускает фотоны. В реакции  $X \rightarrow X + e$  происходит испускание электронного антинейтрино, который может взаимодействовать с электроном, образовавшимся в результате реакции, и привести к испусканию фотона. Также фотоны могут образовываться в результате любых процессов с рождением и разрушением частиц.

В) выделяется ли еще в данных реакциях какие-либо частицы или античастицы.

В данных реакциях кроме фотонов выделяются электроны, позитроны и электронные антинейтрино.

Г\*) если в организме человека весом 70 кг каждую секунду происходит около 4000 радиоактивных распадов  $K_{19}^{40}$ , то сколько позитронов испускается в организме человека за 10 минут.

За 10 минут (600 секунд) в организме человека происходит около 2 400 000 радиоактивных распадов ( $4000 \cdot 600$ ). При распаде ядра образуется один позитрон, поэтому в организме за 10 минут будет испущено такое же количество позитронов, т.е. 2 400 000.

С 1990-х годов космические обсерватории наблюдали всплески  $\gamma$ -излучения, приходящие со стороны Земли. Например, в декабре 2009 г. космический телескоп "Ферми" во время грозы над Замбией зафиксировал  $\gamma$ -кванты с энергией в 511 кэВ. 6 февраля 2017 г. в Японии обнаружили, что двойная молния вызвала всплеск  $\gamma$ -лучей энергией 10 МэВ длительностью в 1 миллисекунду. За ним в течение приблизительно секунды следовало небольшое послесвечение, которое заканчивалось почти минутным  $\gamma$ -сигналом с энергией квантов в 511 кэВ.

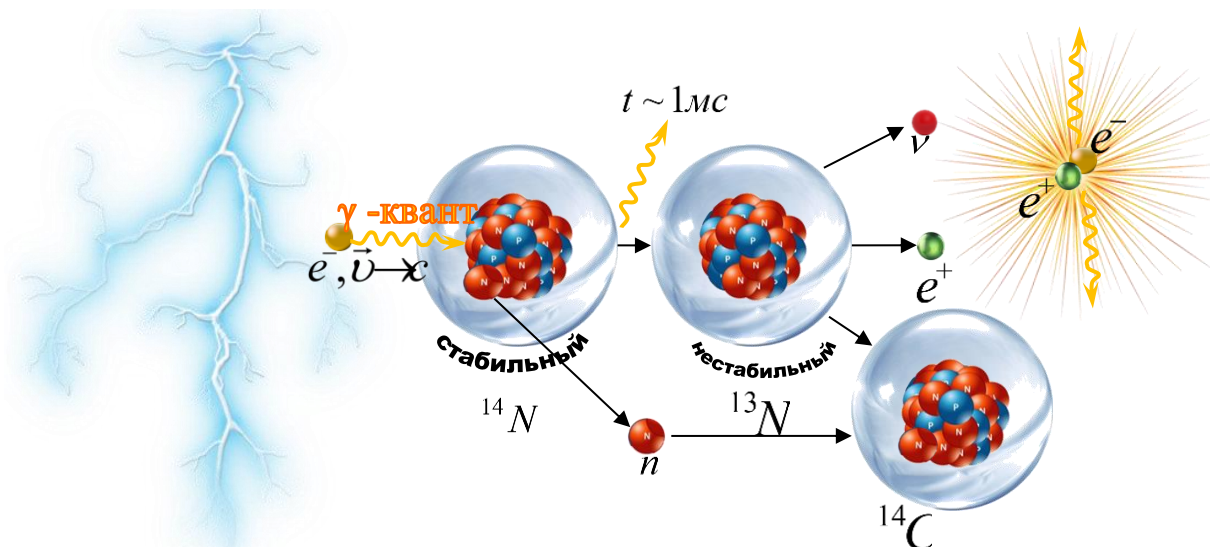


Рис. 2.110. Схема образования радиоактивного изотопа углерода-14 в атмосфере

22. На что указывал  $\gamma$ -сигнал с энергией квантов в 511 кэВ?

А) Опишите с помощью рисунка 2.11 процесс, объясняющий наблюдаемые свечения.

Гамма-сигнал с энергией квантов в 511 кэВ указывает на наличие античастицы - позитрона, который обычно образуется в результатах взаимодействия энергичных астрофизических частиц с веществом в космосе или на Земле.

Б) Почему при поиске антиматерии во Вселенной не ищут позитроны, а ищут ядра антигелия или более тяжелые ядра?

Позитроны имеют практически такую же массу и заряд, как и электроны. Поэтому они могут смешиваться со случайным образом с обычными электронами и взаимодействовать с ними, что сильно затрудняет отслеживание позитронов и поиск антиматерии на базе только позитронов. Однако, ядра антигелия или другие тяжелые античастицы могут образовываться при столкновении более энергичных астрофизических частиц, и поэтому они являются лучшим кандидатом для поиска антиматерии.

В) Виттория Ветро говорит: «Ученым еще с 1918 года известно, что Большой взрыв породил два вида вещества. Один – тот, который мы имеем здесь, на Земле. Из него состоят скалы, деревья, люди. Другой вид вещества находится где-то в иных частях Вселенной» и на Земле его нет. Прокомментируйте корректность высказывания.

Высказывание Виттории Ветро не совсем точно. Большой Взрыв породил в каждой точке Вселенной одинаковый состав элементов. Это значит, что везде (включая Землю) присутствуют такие же элементы, как и во всем остальном мире. Однако, конкретный материал может варьироваться в зависимости от происхождения (например, камни из разных метеоритов могут содержать разный набор изотопов), и некоторые части элементов могут находиться в более редких формах, которые не присутствуют на Земле, но в целом состав элементов везде остается одинаковым.

*Мощная молния может произвести до 100 триллионов позитронов. Проблема обнаружения антиматерии во Вселенной далека от решения. Активный поиск антиматерии предусмотрен в программах космических телескопов Ферми и др.*

**23.** Напишите краткую рецензию по пунктам, указанным в начале кейса.

Фильм «Ангелы и демоны» - это увлекательный триллер, основанный на книге Дэна Брауна. В фильме описывается украденная из ЦЕРН 1/4 грамма антивещества, которая используется в качестве оружия против католической церкви.

Однако, как физик, я не могу не заметить несколько физических неточностей в сценарии. Во-первых, производство антивещества - сложный и до-



рогостоящий процесс, который на данный момент неэффективен и не используется в коммерческих целях. Стоимость производства антивещества на порядок выше стоимости золота, поэтому украсть 1/4 грамма антивещества, как показано в фильме, было бы крайне невыгодно.

Во-вторых, «ловушку» для антивещества, как показано в фильме, невозможно переносить в руках. Антивещество должно храниться в закрытом и защищенном от взаимодействия с обычным веществом месте, например, в вакууме или в магнитном поле. Кроме того, любой контакт антивещества с обычным веществом может привести к его аннигиляции, т.е. превращению антивещества в энергию.

Наконец, взрыв четверти грамма антивещества над Ватиканом, как показано в фильме, мог бы привести к серьезным последствиям. При аннигиляции антивещества с обычным веществом выделяется огромное количество энергии, которая может привести к разрушению окружающих объектов. Кроме того, антивещество также является опасным из-за своей высокой энергетической плотности.

Тем не менее, фильм «Ангелы и демоны» является захватывающим триллером, который привлекает зрителей своим загадочным сюжетом и драматическими событиями. Несмотря на физические неточности в сценарии, фильм остается интересным для просмотра и вызывает множество вопросов о возможностях.