**Длина пробега альфа-частицы в воздухе**

Альфа-частицы (α-частицы) испускаются веществами в результате радиоактивного распада. Характерные значения скорости α-частиц в этом случае составляют десятки тысяч километров в секунду. Скорость α-частиц уменьшается при прохождении через вещество. Если поместить на пути однородного пучка α-частиц экран из какого-нибудь материала, то скорость α-частиц уменьшится вследствие затрат кинетической энергии на ионизацию атомов и молекул приблизительно одинаково. В воздухе движение α-частиц практически прямолинейно. Расстояние, на котором скорость α-частиц в воздухе падает настолько, что они неспособны ни ионизировать его, ни вызывать сцинтилляцию[1], ни засвечивать фотографическую пластинку, называют максимальной длиной пробега α-частиц в воздухе.

Чтобы исследовать постепенное поглощение α-лучей в воздухе, У. Брегг использовал очень тонкий слой радиоактивного вещества — радия, выделяя с помощью диафрагмы тонкий пучок α-частиц, перпендикулярный излучающей поверхности. Бреггом была впервые получена кривая ионизации. Для радиоактивного висмута $\left(^{214}\mathrm{Bi}\right)$ она резко обрывалась на расстоянии около 7 см от источника (см. рис. 1).

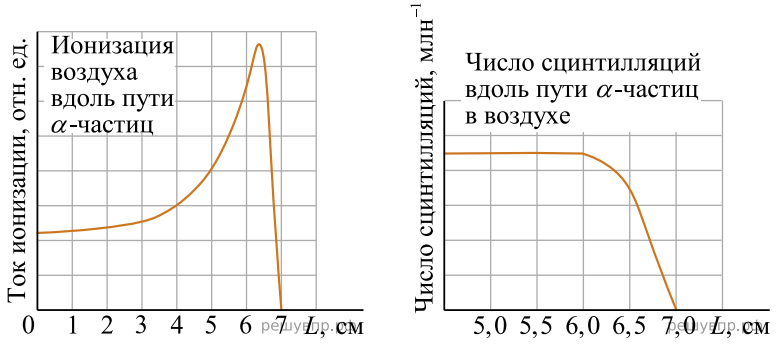



Рисунок 1. Определение длины пробега α-частицы, испущенных $^{214}$Bi

В опытах было установлено, что длина пробега ($R_{\text{проб}}$) обратно пропорциональна плотности воздуха ($\rho$), при этом плотность воздуха, как известно, зависит от его давления и температуры $\left(p \sim \frac{p}{T}\right)$. В таблицах приводят значения, соответствующие давлению 760 мм рт. ст. и температуре 15 ºС. Так, α-частицы, испущенные $\left(^{214}\mathrm{Bi}\right)$, обладают длиной пробега в воздухе 7 см. Если на пути таких частиц поставить преграду, например алюминиевую фольгу, то длина пробега в воздухе уменьшится с 7 до 5 см. В этом случае говорят, что тормозящая способность этого листка алюминия эквивалентна 2 см воздуха. Разные радиоактивные материалы испускают α-частицы с разной скоростью, но все частицы, испущенные одним и тем же веществом, имеют примерно одинаковую скорость.

Установлено, что при прочих равных условиях $R_{\text{проб}} \sim v^3$. Экспериментальное измерение максимального пробега α-частиц в воздухе — один из методов определения скорости этих частиц, а значит, и их кинетической энергии.

[1]Сцинтилляция — кратковременная вспышка света, возникающая при попадании α-частицы на экран, покрытый сульфидом цинка ZnS.

**1.** Вставьте в предложение пропущенные слова (сочетания слов), используя информацию из текста.

Количество ежесекундных сцинтилляций, вызываемых _____, испускаемыми ядрами висмута, при удалении от источника, расположенного в воздухе, _____ вплоть до расстояний в 5,75 см от источника излучений.

*В ответ запишите слова (сочетания слов) по порядку, без дополнительных символов.*

**2.** Вставьте в предложение пропущенные слова (сочетания слов), используя информацию из текста.

Все α-частицы, испускаемые одни и тем же веществом, имеют _____ скорость. Длина их пробега в воздухе зависит от _____ воздуха.

*В ответ запишите слова (сочетания слов) по порядку, без дополнительных символов.*

**Фотолюминесценция**

Световая волна, падающая на тело, частично отражается от него, частично проходит насквозь, частично поглощается. Часто энергия поглощённой световой волны целиком переходит во внутреннюю энергию вещества, что проявляется в нагревании тела. Однако известная часть этой поглощённой энергии может вызвать и другие явления: фотоэлектрический эффект, фотохимические превращения, фотолюминесценцию.

Так, некоторые тела при освещении не только отражают часть падающего на них света, но и сами начинают светиться. Такое свечение, или фотолюминесценция, отличается важной особенностью: свет люминесценции имеет иной спектральный состав, чем свет, вызвавший свечение (см. рис.). Наблюдения показывают, что свет люминесценции характеризуется бóльшей длиной волны, чем возбуждающий свет. Это правило носит название правила Стокса в честь английского физика Георга Стокса (1819—1903). Вещества, обладающие ярко выраженной способностью люминесцировать, называются люминофоры.

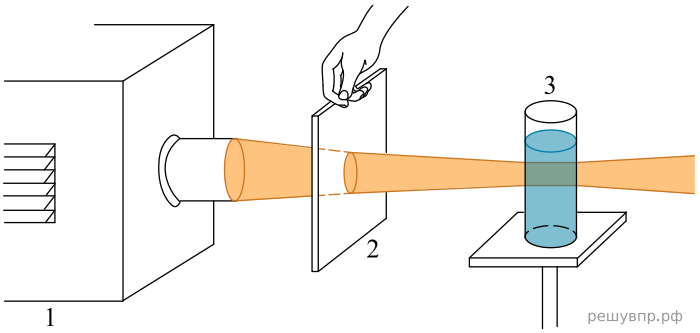



Рисунок 1. Опыты по фотолюминесценции: *1*: – источник света (фонарь); *2* – светофильтр; *3* – сосуд с веществом (Пропустим, например, свет от фонаря через фиолетовое стекло, задерживающее практически все голубые и более длинные волны. Если пучок фиолетового света направить на колбочку, в которой содержится раствор флюоресцеина, то освещённая жидкость начинает ярко люминесцировать зелёно-жёлтым светом)

Свечение вещества (люминесценция) связано с переходами атомов и молекул с высших энергетических уровней на низшие уровни. Люминесценции должно предшествовать возбуждение атомов и молекул вещества. При фотолюминесценции возбуждение происходит под действием видимого или ультрафиолетового излучения.

Некоторые тела сохраняют способность светиться некоторое время после того, как освещение их прекратилось. Такое послесвечение может иметь различную длительность. В некоторых объектах оно продолжается очень малое время (десятитысячные доли секунды и меньше), и для его наблюдения требуются особые приспособления. В других оно тянется много секунд и даже минут (часов), так что его наблюдение не представляет никаких трудностей. Принято называть свечение, прекращающееся вместе с освещением, флюоресценцией, а свечение, имеющее заметную длительность, — фосфоресценцией.

Люминесценция нашла применение при изготовлении ламп дневного света. Возникающий в лампе, заполненной парами ртути, газовый разряд вызывает электролюминесценцию паров ртути. В спектре излучения ртути имеется ультрафиолетовое излучение с длиной волны 0,257 мкм, которое, в свою очередь, возбуждает фотолюминесценцию люминофора, нанесённого на внутреннюю сторону стенок лампы и дающего видимый свет. Изменяя состав люминофора, можно изготавливать лампы с требуемым спектром фотолюминесценции. При смещении максимума излучения в длинноволновую область видимого спектра получают тёпло-белый (желтоватый) свет, в коротковолновую — холодно-белый (голубоватый) свет.

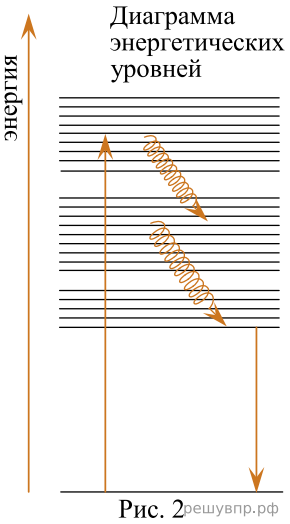



Рис. 2 решувпр.рф

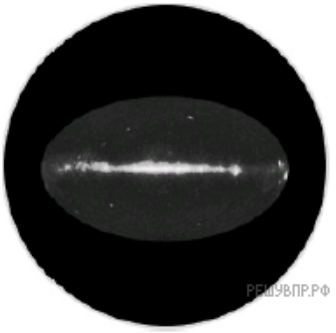
**3.** Вставьте в предложение пропущенные слова (сочетания слов), используя информацию из текста.

Фиолетовое стекло пропускает лучи только _____ цвета. Если пучок такого света направить на раствор флюоресцеина, то освещённая жидкость начинает светиться _____ светом.

*В ответ запишите слова (сочетания слов) по порядку, без дополнительных символов.*

**Гамма-излучение**

Гамма-излучение было открыто в начале XX в. при изучении радиоактивного излучения радия. Гамма-излучение – широкий диапазон электромагнитного спектра, поскольку он не ограничен со стороны высоких энергий. Мягкое гамма-излучение с энергией от 100 кэВ образуется при энергетических переходах внутри атомных ядер. Более жёсткое, с энергией от 10 МэВ, — при ядерных реакциях. Существуют космические гамма-лучи, которые почти полностью задерживаются атмосферой Земли, поэтому наблюдать их можно только из космоса.



На рисунке — фотография неба в гамма-лучах с энергией 100 МэВ. Обзор в диапазоне жёсткого гамма-излучения выполнен космической гамма-обсерваторией «Комптон», которая была запущена по программе NASA «Великие обсерватории» и с 1991 по 2000 г. вела наблюдения в диапазоне от жёсткого рентгена до жёсткого гамма-излучения. На фотографии отчётливо видна плоскость Галактики, где излучение формируется в основном остатками сверхновых. Яркие источники вдали от плоскости Галактики имеют в основном внегалактическое происхождение.

Гамма-кванты сверхвысоких энергий (от 100 ГэВ) рождаются при столкновении заряженных частиц, разогнанных мощными электромагнитными полями космических объектов или земных ускорителей элементарных частиц. В атмосфере они разрушают ядра атомов, порождая каскады частиц, летящих с околосветовой скоростью. При торможении эти частицы испускают свет, который наблюдают с помощью специальных телескопов на Земле.

Где и как образуются гамма-лучи ультравысоких энергий (от 100 ТэВ[1]), пока не вполне ясно. Земным технологиям такие энергии недоступны. Самые энергичные наблюдаемые кванты ($10^{20}$–$10^{21}$ эВ), приходят из космоса крайне редко — примерно один квант в 100 лет на квадратный километр.



Гамма-кванты негативно воздействуют на организм человека и являются мутагенным фактором. Обладая высокой проникающей способностью, они ионизуют и разрушают молекулы, которые, в свою очередь, начинают ионизировать следующую порцию молекул. Происходит трансформация клеток и появление мутированных клеток, которые не способны исполнять возложенные на них функции.

Несмотря на опасность таких лучей, их используют в различных областях, соблюдая необходимые меры защиты, например для стерилизации продуктов, обработки медицинского инструментария и техники, контроля над внутренним состоянием ряда изделий, а также для культивирования растений. В последнем случае мутации сельскохозяйственных культур позволяют использовать их для выращивания на территории стран, изначально к этому не приспособленных. Применяются гамма-лучи и при лечении различных онкологических заболеваний. Метод получил название лучевой терапии.

---

[1] 1 ТэВ = $10^{12}$ эВ; 1 эВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж

**4.** Вставьте в предложение пропущенные слова (сочетания слов), используя информацию из текста.

Земные организмы защищены от воздействия космических гамма-квантов, так как они задерживаются _____. Для наблюдения этого гамма-излучения используют гамма-телескопы, расположенные _____.

*В ответ запишите слова (сочетания слов) по порядку, без дополнительных символов.*

**Гамма-излучение**

Гамма-излучение было открыто в начале XX в. при изучении радиоактивного излучения радия. Гамма-излучение – широкий диапазон электромагнитного спектра, поскольку он не ограничен со стороны высоких энергий. Мягкое гамма-излучение с энергией от 100 кэВ образуется при энергетических переходах внутри атомных ядер. Более жёсткое, с энергией от 10 МэВ, — при ядерных реакциях. Существуют космические гамма-лучи, которые почти полностью задерживаются атмосферой Земли, поэтому наблюдать их можно только из космоса.

Гамма-кванты сверхвысоких энергий (от 100 ГэВ) рождаются при столкновении заряженных частиц, разогнанных мощными электромагнитными полями космических объектов или земных ускорителей элементарных частиц. В атмосфере они разрушают ядра атомов, порождая каскады частиц, летящих с околосветовой скоростью. При торможении эти частицы испускают свет, который наблюдают с помощью специальных телескопов на Земле.

Где и как образуются гамма-лучи ультравысоких энергий (от 100 ТэВ[1]), пока не вполне ясно. Земным технологиям такие энергии недоступны. Самые энергичные наблюдаемые кванты ($10^{20}$–$10^{21}$ эВ), приходят из космоса крайне редко — примерно один квант в 100 лет на квадратный километр.



Гамма-кванты негативно воздействуют на организм человека и являются мутагенным фактором. Обладая высокой проникающей способностью, они ионизуют и разрушают молекулы, которые, в свою очередь, начинают ионизировать следующую порцию молекул. Происходит трансформация клеток и появление мутированных клеток, которые не способны исполнять возложенные на них функции.

Несмотря на опасность таких лучей, их используют в различных областях, соблюдая необходимые меры защиты, например для стерилизации продуктов, обработки медицинского инструментария и техники, контроля над внутренним состоянием ряда изделий, а также для культивирования растений. В последнем случае мутации сельскохозяйственных культур позволяют использовать их для выращивания на территории стран, изначально к этому не приспособленных. Применяются гамма-лучи и при лечении различных онкологических заболеваний. Метод получил название лучевой терапии.

---

[1] 1 ТэВ = $10^{12}$ эВ; 1 эВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж

**5.** Вставьте в предложение пропущенные слова (сочетания слов), используя информацию из текста.

Мягкое гамма-излучение образуется в процессе энергетических переходов _____, а гамма-кванты с энергией более 100 гигаэлектронвольт возникают при взаимодействии _____ в ускорителях элементарных частиц.

*В ответ запишите слова (сочетания слов) по порядку, без дополнительных символов.*

**Прочитайте текст и выполните задания 16, 17 и 18.**

**Прохождение бета-излучения сквозь вещество**

Через несколько лет после открытия А. Беккерелем радиоактивности был установлен сложный состав радиоактивного излучения, одна из компонент которого получила название «β-лучи». Исторически под β-лучами понимали потоки электронов, появляющиеся в результате радиоактивного распада ядер атомов, причём скорости их могут составлять до 99% от скорости света. Они обладают и относительно большой кинетической энергией.




Рис. 1. Рассеяние β-лучей, по Г. Хевеши

Первые исследования показали, что, взаимодействуя с веществом, β-лучи поглощаются им, рассеиваются, нагревают и ионизируют вещество, воздействуют на фотопластинку. Рассеяние узкого потока β-лучей наблюдается уже на тонких Al фольгах. В вакууме при отсутствии преграды на фотопластинке появлялось тёмное пятно с чёткими ровными краями, если на пути β-лучей помещали фольги разной толщины, то края пятна размывались, а изображение тускнело, при этом поглощение лучей было не велико, а весь поток рассеивался по всё большему телесному углу, всё более равномерно засвечивая фотопластинку, пока при фольге, толщиной 50 мкм, его действие не сравнивалось с действием сопутствующего γ-излучения.

Поглощение излучения в веществе характеризуют толщиной слоя половинного поглощения $d$. Например, Al фольга, $d$ = 0,16 мм, снижает β-излучение вдвое, а слой Al в 0,32$d$мм — вчетверо и т. д. Радиоактивные вещества при распаде выделяют разную энергию, испускают β-лучи разной интенсивности. При этом коэффициент поглощения μ для одного и того же вещества будет разным, см. таблицу 1. Для одного и того же излучения коэффициент μ для воздуха и Al различается в тысячу раз. Одна из видимых причин — различие в плотности, см. таблица 2.

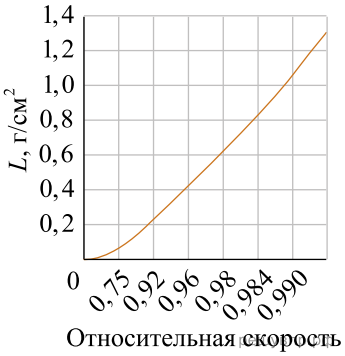
**Таблица 1. Коэффициент поглощения β-лучей и энергия радиоактивного распада**

| Изотоп | μ, $см^{-1}$ | | *W*, Мэв |
|---|---|---|---|
| | Al | Воздух, $t = 22\ °C$, $p = 760$ мм рт. ст. | |
| торий | 510 | — | 0,273 |
| протактиний | 14 | — | 2,197 |
| висмут | 43 | 0,0152 | 1,426 |
| свинец | — | 0,090 | 0,570 |
| свинец | 5500 | 0,64 | 0,064 |

**Таблица 2. Коэффициент поглощения β-лучей $^{234}_{91}Pa$ и плотность материала**

| Материал | ρ, $г/см^3$ | $\frac{\mu}{\rho}$, $см^2/г$ |
|---|---|---|
| Уголь | 1,8 | 4,4 |
| Сера | 2,0 | 6,6 |
| Бор | 2,4 | 4,65 |
| Алюминий | 2,7 | 5,26 |
| Барий | 3,8 | 8,8 |
| Йод | 4,9 | 10,8 |
| Олово | 7,3 | 9,46 |
| Медь | 8,9 | 6,8 |
| Свинец | 11,3 | 10,5 |
| Золото | 19,8 | 9,5 |

Было отмечено, что α-частицы, испускаемые Po, перестают засвечивать фотопластинку в воздухе на расстоянии $R = 3{,}83$ см, они не ионизуют воздух на больших расстояниях. Расстояние $R$ получило название длины свободного пробега. Этой же величиной можно характеризовать расстояние воздействия не только α-, но и β-лучей. Длина свободного пробега β-лучей обычно определяется в материалах более плотных, чем воздух. Опыт показал, что величина $L = R \times \rho$ практически не зависит от ρ и приблизительно одинакова для веществ с не слишком разными атомными номерами. Для Al, по данным Г. Хевеши, зависимость $L$ от скорости электронов, отнесённой к скорости света, представлена на рис. 2. При движении по веществу скорость β-лучей падает, так, Al пластина (2 мм) снижает скорость примерно на 30%. При этом, если для β-лучей, имеющих скорость $0{,}95c$, слой половинного поглощения есть $d$, то для $0{,}67c$ — только $0{,}1d$.




**6.** Вставьте в предложение пропущенные слова, используя информацию из текста.

О рассеянии β-лучей при прохождении через вещество можно судить по _____ отпечатка на фотопластинке. О безопасном расстоянии, на котором α-частицы перестают ионизировать воздух, можно судить по _____.

**Фотолюминесценция**

Световая волна, падающая на тело, частично отражается от него, частично проходит насквозь, частично поглощается. Часто энергия поглощённой световой волны целиком переходит во внутреннюю энергию вещества, что проявляется в нагревании тела. Однако известная часть этой поглощённой энергии может вызвать и другие явления: фотоэлектрический эффект, фотохимические превращения, фотолюминесценцию.

Так, некоторые тела при освещении не только отражают часть падающего на них света, но и сами начинают светиться. Такое свечение, или фотолюминесценция, отличается важной особенностью: свет люминесценции имеет иной спектральный состав, чем свет, вызвавший свечение (см. рис.). Наблюдения показывают, что свет люминесценции характеризуется бóльшей длиной волны, чем возбуждающий свет. Это правило носит название правила Стокса в честь английского физика Георга Стокса (1819—1903). Вещества, обладающие ярко выраженной способностью люминесцировать, называются люминофоры.

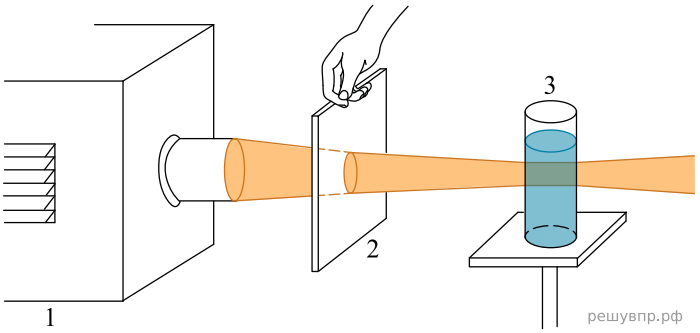



Рисунок 1. Опыты по фотолюминесценции: *1*: – источник света (фонарь); *2* – светофильтр; *3* – сосуд с веществом (Пропустим, например, свет от фонаря через фиолетовое стекло, задерживающее практически все голубые и более длинные волны. Если пучок фиолетового света направить на колбочку, в которой содержится раствор флюоресцеина, то освещённая жидкость начинает ярко люминесцировать зелёно-жёлтым светом)

Свечение вещества (люминесценция) связано с переходами атомов и молекул с высших энергетических уровней на низшие уровни. Люминесценции должно предшествовать возбуждение атомов и молекул вещества. При фотолюминесценции возбуждение происходит под действием видимого или ультрафиолетового излучения.

Некоторые тела сохраняют способность светиться некоторое время после того, как освещение их прекратилось. Такое послесвечение может иметь различную длительность. В некоторых объектах оно продолжается очень малое время (десятитысячные доли секунды и меньше), и для его наблюдения требуются особые приспособления. В других оно тянется много секунд и даже минут (часов), так что его наблюдение не представляет никаких трудностей. Принято называть свечение, прекращающееся вместе с освещением, флюоресценцией, а свечение, имеющее заметную длительность, — фосфоресценцией.

Люминесценция нашла применение при изготовлении ламп дневного света. Возникающий в лампе, заполненной парами ртути, газовый разряд вызывает электролюминесценцию паров ртути. В спектре излучения ртути имеется ультрафиолетовое излучение с длиной волны 0,257 мкм, которое, в свою очередь, возбуждает фотолюминесценцию люминофора, нанесённого на внутреннюю сторону стенок лампы и дающего видимый свет. Изменяя состав люминофора, можно изготавливать лампы с требуемым спектром фотолюминесценции. При смещении максимума излучения в длинноволновую область видимого спектра получают тёпло-белый (желтоватый) свет, в коротковолновую — холодно-белый (голубоватый) свет.

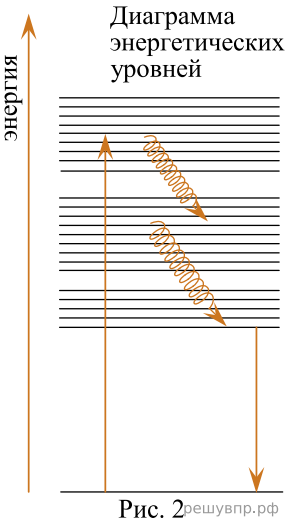



Рис. 2 решувпр.рф

**7.** Вставьте в предложение пропущенные слова, используя информацию из текста.

В лампах дневного света фотолюминесценцию _____, дающего дневной свет, вызывает излучение паров ртути _____ диапазона.

**Прочитайте текст и выполните задания 16, 17 и 18.**

### Радиоактивные минеральные воды

Радиоактивность минеральных вод была обнаружена в начале XX века, среди первооткрывателей был Дж. Дж. Томсон. Радиоактивность вод обусловлена, в основном, наличием в них радия (Ra) и растворённого газа — радона (Rn). За единицу активности (A), названной в честь А. Беккереля, принят один беккерель (1 Бк), характеризующий активность вещества, в котором за одну секунду происходит в среднем один радиоактивный распад. В случае источников вод используют единицы 1 Бк/дм3 = 1 Бк/л.

Наиболее радиоактивные воды выходят из гранитных пород, содержащих заметное количество Ra. Для медицины значение имеют радоновые воды, в которых растворён радиоактивный Rn (период полураспада 3,82 сут.). Эти воды принято характеризовать по активности радона, см. таблицу 1.

**Таблица 1. Радоновые источники**

| **Тип** | ***A*, Бк/л** |
|---|---|
| Очень слаборадоновый | 185–740 |
| Слаборадоновый | 740–1480 |
| Слаборадоновый | 1480–7400 |
| Сильнорадоновый | > 7400 |

В начале XX века определение активности было основано на ионизации воздуха под воздействием радиоактивного излучения и измерении скорости разрядки электрически заряженного тела вследствие проводимости воздуха. Для этого в замкнутый заземлённый металлический контейнер (сосуд) помещали заряженное тело, соединённое с электрометром, и впускали, например, Rn. При этом показания электрометра в течение первых 3–4 ч возрастали, а затем падали. Возрастание показаний связывали с радиоактивным налётом, образованным твёрдыми продуктами распада Rn:

$$\text{радон } (^{222}\text{Rn}) \rightarrow \text{полоний } (^{218}\text{Po}) \rightarrow \text{свинец } (^{214}\text{Pb}) \rightarrow \text{висмут } (^{214}\text{Bi}) \rightarrow \ldots.$$

Первые два шага цепочки сопровождаются испусканием $\alpha$-частицы, радоновые воды $\alpha$-радиоактивны. Ослабление активности налёта представлено в таблице 2. За активность радоновых вод принимают величину, измеряемую прибором через 3–4 ч после введения Rn.

**Таблица 2. Изменение активности налёта, по М. Кюри**

| **t, мин.** | **0** | **15** | **30** | **45** | **60** | **75** | **90** | **105** | **120** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *A*, % | 100 | 92,3 | 78,0 | 62,7 | 48,7 | 36,9 | 27,5 | 20,3 | 14,8 |

Для определения радиоактивности минерального источника либо через известный объём воды продували воздух, либо взбалтывали его с воздухом. При этом бóльшая часть Rn переходила в воздух, который исследовался в приборе. При определении окончательного значения, характеризующего активность источника, вводились поправки, связанные с тем, что не весь Rn переходит в воздух и не все $\alpha$-частицы, испущенные при распаде Rn, ионизуют воздух. 10

Rn может содержаться не только в природной воде, но и в воздухе, поступая в жилые помещения как с водопроводной водой, так и с бытовым газом. При этом предельно допустимые концентрации Rn в воздухе для жилой комнаты 0,2 кБк/м$^3$, для кухни — 3 кБк/м$^3$, для ванной комнаты — 8,5 кБк/м$^3$.

Изучение активности многих сотен источников минеральных вод по всему миру в начале XX века, в том числе и в России (см. таблицу 3) было связано с тем, что, откликнувшись на новое явление, врачи полагали, что многие хронические болезни можно излечить, принимая радоновые ванны. Сегодня назначают 10–15-минутные радоновые ванны с активностью воды 1,4–4,5 кБк/л.

**Таблица 3. Активность источников, по Л. Бертенсону**

| **Источник** | **Местность** | ***A*, Бк/л** |
|---|---|---|
| Молоковский | Забайкалье | 4730 |
| Ямкунский | Забайкалье | 3750 |
| Нерчинский | Забайкалье | 1435 |
| Ларгинский | Забайкалье | 315 |
| Теплосерный № 1 | Пятигорск | 845 |
| Теплосерный № 2 | Пятигорск | 950 |
| Теплосерный № 3 | Пятигорск | 660 |
| У-ба Бражникова | Пятигорск | 40 |

**8.** Вставьте в предложение пропущенные слова, используя информацию из текста.

Для определения _____ минерального источника нужно, взяв определённый объём воды, продуть его воздухом, а затем заполнить этим воздухом металлический контейнер, содержащий заряженное тело, по _____ которого можно судить об активности источника.

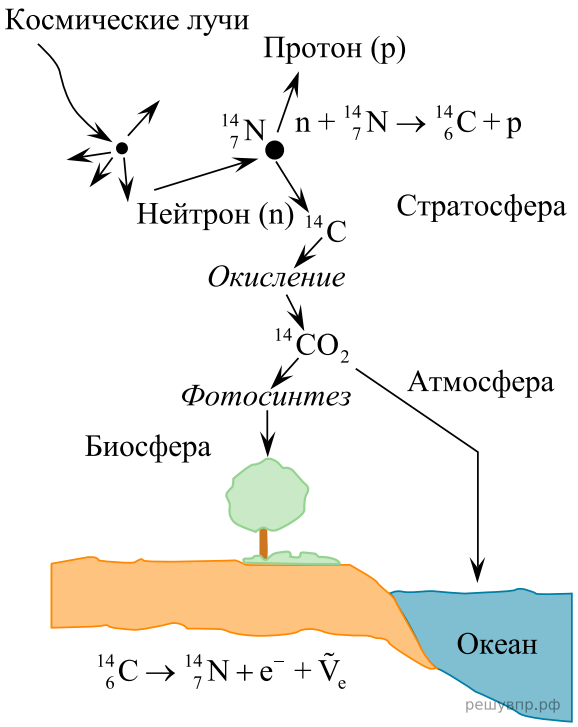
**Прочитайте текст и выполните задания 16, 17 и 18.**

**Применение радиоактивного углерода в археологии**

Интересное применение для определения возраста древних предметов органического происхождения (дерева, древесного угля, тканей и т. д.) получил метод радиоактивного углерода.

В растениях всегда имеется бета-радиоактивный изотоп углерода $^{14}C$ с периодом полураспада $T = 5700$ лет. Изотоп $^{14}C$ постоянно образуется в стратосфере Земли в результате бомбардировки атомов азота нейтронами (см. рис.). В свою очередь, нейтроны возникают за счёт ядерных реакций, вызванных быстрыми частицами, которые поступают в атмосферу из космоса (космическими лучами). Соединяясь с кислородом, углерод $^{14}C$ образует углекислый газ, поглощаемый растениями, а через них и животными. Один грамм углерода из образцов молодого леса испускает около 15 бета-частиц в секунду.

Пока организм находится в состоянии обмена веществ с окружающей его средой (например, дерево получает углерод в виде углекислого газа из атмосферы в результате фотосинтеза), содержание $^{14}C$ в нём остаётся постоянным и находится в равновесии с концентрацией данного изотопа в атмосфере. Когда организм отмирает, обмен углеродом с внешней средой прекращается; содержание радиоактивного изотопа начинает уменьшаться, так как уже нет притока «свежего» $^{14}C$ извне.




Определяя процентное содержание радиоактивного углерода в органических остатках, можно определить их возраст, если он лежит в пределах от 1000 до 50 000 и даже до 100 000 лет.

Радиоуглеродный метод позволяет определить возраст целого ряда объектов, которые можно условно разделить на следующие группы: геологические — карбонатные осадки океанов и пресноводных водоёмов; биологические — древесина, семена, останки животных и человека; антропогенные — керамика, пригоревшие остатки пищи, ткани, папирус, пергамент и бумага.

**9.** Изотоп какого элемента получается в результате бета-распада углерода-14?