

4 - Физика атомного ядра и элементарных частиц. Физика высоких энергий

Земцов Роман Александрович, магистрант 1 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, Научно-исследовательский институт физики
Широтная и высотная зависимости генерации космогенного трития в земной атмосфере
Мальшевский Вячеслав Сергеевич, д.ф.-м.н.
e-mail: zemcov@sfedu.ru стр. 98

Зубарев Иван Борисович, 2 курс
Казань, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт физики
Реализация установки гамма-гамма совпадений с использованием Na-22
Дулов Евгений Николаевич, к.ф.-м.н.
e-mail: ivan4735@yandex.ru стр. 99

Куделя Савелий Александрович, магистрант 1 года обучения
Ростов-на-Дону, Южный федеральный университет, физический факультет
Производство и перенос космогенного трития в атмосфере в модели «PARMA»
Мальшевский Вячеслав Сергеевич, д.ф.-м.н.
e-mail: kudelya@sfedu.ru стр. 100

Кутергин Даниил Дмитриевич, 2 курс
Новосибирск, Новосибирский государственный университет, физический факультет
Преимущества квазистатического подхода для моделирования лазерного кильватерного ускорения на длинных дистанциях
Лотов Константин Владимирович, д.ф.-м.н.
e-mail: d.kutergin@g.nsu.ru стр. 101

Широтная и высотная зависимости генерации космогенного трития в земной атмосфере

Земцов Роман Александрович
 Южный федеральный университет
 Малышевский Вячеслав Сергеевич, д.ф.-м.н.
zemcov@sfedu.ru

Цели работы: моделирование образования космогенного трития в Земной атмосфере. Задачи работы: моделирование ядерно-электромагнитного каскада вторичного космического излучения в аналитической модели PARMA, выявление механизмов генерации космогенного трития.

Установлено, что генерация космогенного трития происходит под воздействием нейтронов и протонов вторичного космического излучения с ядрами, в основном, кислорода и азота: ${}^8\text{O}_{16}(\text{P},\text{X}){}^1\text{H}_3$, ${}^8\text{O}_{16}(\text{N},\text{X}){}^1\text{H}_3$, ${}^7\text{N}_{14}(\text{P},\text{X}){}^1\text{H}_3$, ${}^7\text{N}_{14}(\text{N},\text{T}){}^6\text{C}-12$ [1]. Приблизительно 70% трития образуется в стратосфере, 30% в тропосфере. Моделирование высотной (по глубине атмосферы) зависимости скорости образования космогенного трития производилось для экваториальных, умеренных широт и полюсов Земли. Для всех этих зон, для всех типов реакций, приведенных выше, скорость его образования с ростом высоты атмосферы (уменьшением глубины) от 0 м до 16 км, возрастает на два порядка (рис.1). Плотность потока нейтронов вторичного космического излучения на два-три порядка превышает плотность потока протонов. Это справедливо для всех высот атмосферы и геомагнитных широт.

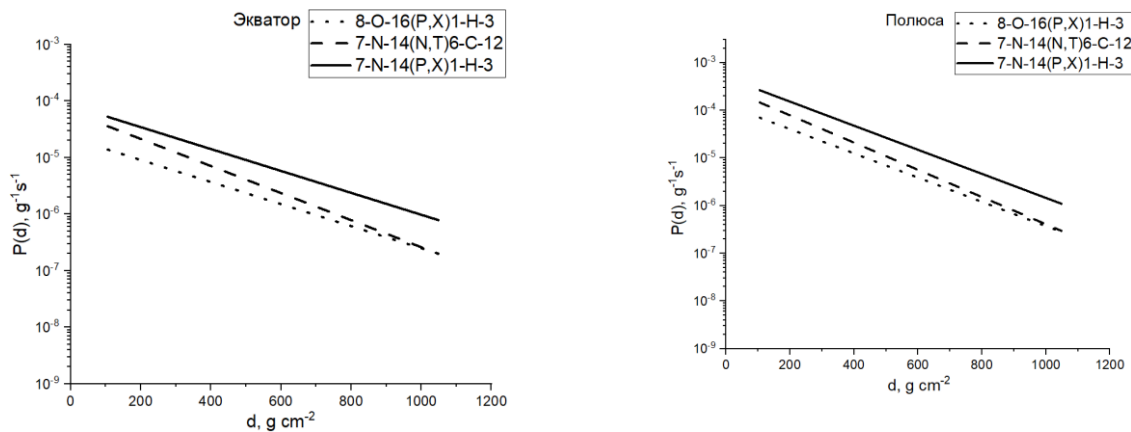


рис.1. Зависимость скорости образования космогенного трития от глубины атмосферы

Расчет широтной зависимости скорости образования космогенного трития выявил ее увеличение с ростом геомагнитной широты (рис.2). Максимум скорости достигается на полюсах $0,18 \text{ см}^2\text{с}^{-1}$, минимум на экваторе $0,1 \text{ см}^2\text{с}^{-1}$. Причем для всех видов реакций, она увеличивается в 4 раза, при движении от экватора к полюсам, что вызвано «широтным эффектом».

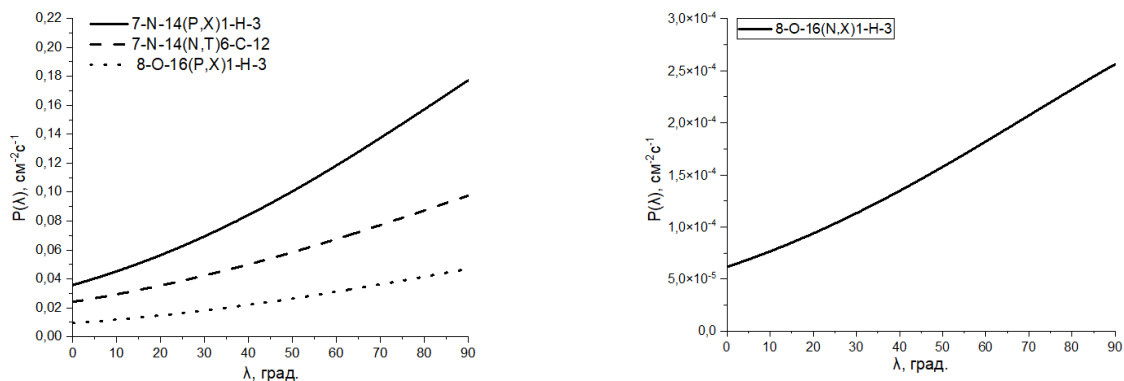


рис.2. Зависимость скорости образования космогенного трития от геомагнитной широты

Список публикаций:

[1] Ляхова О. В. Тритий как индикатор мест проведения ядерных испытаний // Конференция - конкурс НИОКР молодых ученых и специалистов Национального ядерного центра Республики Казахстан (прикладная). ДГП ИРБЭ РГП НЯЦ РК. 2011. 18 с.

Реализация установки гамма-гамма совпадений с использованием ^{22}Na

Зубарев Иван Борисович

Казанский (Приволжский) федеральный университет

Дулов Евгений Николаевич, к.ф.-м.н.

ivan4735@yandex.ru

При взаимодействии космических лучей с атмосферой Земли образуются радиоактивные изотопы, которые называются космогенными. Энергия космических лучей достигает 10^{11} ГэВ, этого достаточно для расщепления ядер на отдельные фрагменты и появления разнообразных радиоактивных изотопов. Космогенный ^{22}Na образуется в стратосфере в результате взаимодействия протонов первичной компоненты космического излучения с атомами аргона. За счёт обмена воздушными массами между стратосферой и тропосферой ^{22}Na оказывается у поверхности Земли. ^{22}Na является β^+ радиоактивным изотопом, при этом испускаемые позитроны аннигилируют с электронами, и испускаются два гамма-кванта в противоположных направлениях с энергией 511 кэВ.

Космогенный ^{22}Na используется для оценки времени нахождения воды в реках и озерах [1]. Изучение водных водоемов с помощью космогенного ^{22}Na даёт уникальную информацию, которую невозможно получить гидрологическими методами. Также соотношение долгоживущих и короткоживущих изотопов, например, ^{22}Na и ^7Be помогает определить период пребывания изотопов в атмосфере [2]. Наблюдение за движением воздушных масс производится с помощью датчиков, расположенных на Земле [3].

Методы совпадений и антисовпадений играют ключевую роль в радиометрии β^+ радиоактивных изотопов. Гамма-гамма совпадения позволяют не только эффективно и точно определять распределение радиоактивного изотопа ^{22}Na в образцах, но и обеспечивают высокую чувствительность.

Разрабатываемая в рамках настоящей работы экспериментальная установка состоит из двух сцинтилляционных детекторов, аппаратной схемы совпадений, высоковольтного источника питания и радиоактивного источника ^{22}Na . Для наблюдения угловых корреляций гамма-лучей и аннигиляции электрон-позитронной пары измеряют количества совпадений, удерживая один из сцинтилляционных детекторов неподвижным и поворачивая другой сцинтилляционный детектор по окружности, в центре которой находится радиоактивный источник ^{22}Na . Когда два гамма-кванта достигают детекторов одновременно, на выходе аппаратной схемы совпадений появляется сигнал.

Ожидаемая чувствительность разрабатываемой установки должна быть не хуже 9 мБк, и на ней можно будет измерять активность по изотопу ^{22}Na космогенного или иного происхождения. Установку можно будет применять как в исследовательских целях, так и в качестве лабораторной установки ядерно-физического практикума.

Список публикаций:

[1] Sakaguchi, A. *Cosmogenic radionuclide ^{22}Na in the Lake Biwa system (Japan): Residence time, transport and application to the hydrology* / A. Sakaguchi, Y. Ohtsuka, K. Yokota // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2005. – V. 231. – No.3. – P. 307-316.

[2] Zhang, W. *A gamma-gamma coincidence/anticoincidence spectrometer for low-level cosmogenic (^{22}Na)/(^7Be) activity ratio measurement* / W. Zhang, K. Ungar, M. Stukel, P. Mekarski // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2014. – V. 130. – No.1. – P. 1-6.

[3] Hoffman, I. *Circulation of cosmogenic ^{22}Na using the global monitoring network of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization (CTBTO)* / I. Hoffman, B. Lewis, P. Chan // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2018. – V. 187. – No.2. – P. 8-15.

Производство и перенос космогенного трития в атмосфере в модели «PARMA»

Куделя Савелий Александрович

Мальшевский Вячеслав Сергеевич, Фомин Георгий Викторович

Южный федеральный университет

Мальшевский Вячеслав Сергеевич, д.ф.-м.н.

kudelya@sfedu.ru

Тритий (Т) – является радиоактивным изотопом водорода с большим периодом полураспада (порядка 12 лет), изотоп образуется в ходе ядерных реакций происходящих в атмосфере под действием космических лучей, кроме того, вырабатывается в ходе работы предприятий ядерного цикла и, таким образом, является глобальным загрязнителем атмосферы и гидросферы [1]. Будучи химически аналогичным водороду, тритий участвует в круговороте воды, ввиду чего способен поступать во все живые организмы вместе с водой и в дальнейшем вызывать мутагенные изменения как за счёт воздействия β -излучения, так и изменения структуры молекул в результате замены водорода на нейтральный ^3He . Таким образом, концентрация трития может служить маркером для целей дозиметрического контроля, анализа атмосферных процессов и исследований космических ливней. В то же время определение естественной концентрации космогенного трития усложняется невозможностью прямых замеров, так как количество трития, выброшенное в атмосферу в ходе термоядерных испытаний в 20 веке на порядки больше, чем его естественное содержание. Таким образом, задача определения естественной концентрации становится сугубо теоретической. Именно моделирование образования и переноса трития в атмосфере Земли является целью данной работы.

В настоящей работе проанализирован вклад реакций (n,X) и (p,X) на ядрах азота и кислорода, как наиболее распространённых в атмосфере газов, в производство космогенного трития. Расчет потоков налетающих частиц в ядерно-электромагнитном каскаде производился с использованием аналитической модели «PARMA» [2]. Была решена задача переноса трития в атмосфере в результате вертикальной турбулентной диффузии и получена зависимость его концентрации от высоты (рис. 1). Для проведения вычислений использовался интегро-интерполяционный метод.

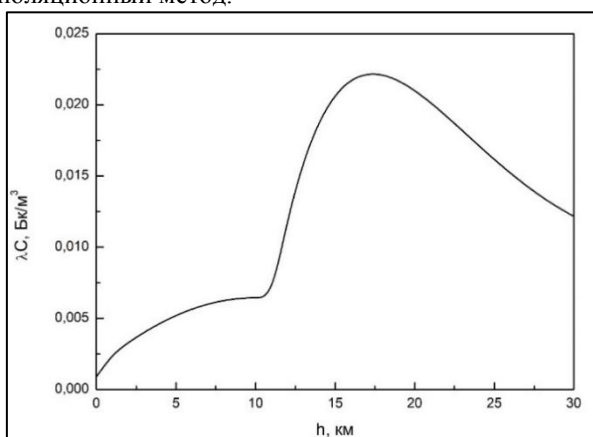


рис.1. Высотная зависимость концентрации трития в земной атмосфере.

Из полученной зависимости был оценён общий запас космогенного трития в земной атмосфере, он составил $\sim 1.9 \cdot 10^{17}$ Бк. Расчеты показали, что в атмосфере содержится не более 10% от всего космогенного трития. Полученные результаты в целом согласуются с более ранними эмпирическими и полуэмпирическими моделями [3], подтверждающими, в том числе, что техногенный тритий составляет большую часть его полного запаса.

Список публикаций:

[1] Fairlie I. Tritium hazard report: pollution and radiation risk from Canadian nuclear facilities. June 2007. Greenpeace. 92 p. Available at: https://www.researchgate.net/publication/237319950_Tritium_Hazard_Report_Pollution_and_Radiation_Risk_from_Canadian_Nuclear_Facilities.

[2] Sato T., Yasuda H., Niita K., Endo A., Sihver L. Development of PARMA: PHITS-based analytical radiation model in the atmosphere, Radiation research. 2008;170(2):244–259. <https://doi.org/10.1667/RR1094.1>

[3] Desyatov D.D., Ekidin A.A. Evaluation of tritium's entry into the environment from nuclear power plants' emissions. Biosphere compatibility: people, region, technologies. 2018;1(21):88–96. (In Russ.) Available at: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_34959688_46935708.pdf

Преимущества квазистатического подхода для моделирования лазерного кильватерного ускорения на длинных дистанциях

Кутергин Даниил Дмитриевич

Новосибирский государственный университет

Лотов К.В., д.ф.-м.н.

d.kutergin@ngsu.ru

Лазер-плазменные методы ускорения в последнее время привлекают к себе все больше внимания благодаря перспективам создания компактных высокоградиентных ускорителей. Энергия ускоренных электронов уже достигла 10 ГэВ при длине ускорения десять сантиметров. Использование преимуществ проектируемой российской установки XCELS (eXawatt Center for Extreme Light Studies) позволит получить ещё большую энергию. Отсутствие строгости в определении будущих параметров, а также их обилие существенно затрудняет прямой поиск предельных возможностей установки. Методика двухэтапного моделирования сокращает число параметров на каждом из этапов и эффективно решает поставленную задачу.

Моделирование производится с помощью программного комплекса LCODE разработанного в ИЯФ СО РАН. Расчет одного варианта занимает около 1000 часов процессорного времени. Разбить моделирование на два этапа позволяет квазистатическое приближение, заложенное в основе LCODE.

В основном (тяжелом) расчете моделируется только лазер-плазменное взаимодействие, без учета электронного пучка. Варьируется радиус, длительность лазерного импульса и параметры плазменного канала. Поскольку начальную энергию электронов считаем достаточно большой, пренебрегаем их смещением относительно окна моделирования, движущегося со скоростью света. Набранную в зависимости от продольной координаты в окне энергию оцениваем интегральной суммой продольного поля на оси. Она определяет оптимальность выбранных параметров и предполагаемое расположение витнесса.

Состояния плазмы, сохраняемые с некоторой периодичностью непосредственно перед местом предполагаемого расположения витнесса, позволяют провести дополнительные (легкие) расчёты. В них моделируется взаимодействие только электронного пучка и кильватерной волны. Серия легких расчетов позволяет учесть влияние пучка на ускоряющие его поля и оптимизировать его параметры.

Несмотря на то, что интерес к плазменным методам ускорения возник благодаря высоким градиентам полей (рекорд - 200 ГВ/м), в работе показано, что использование меньшего градиента при увеличении длины ускорения позволит получать большую итоговую энергию электронов. Кроме того, эффективное моделирование позволило хорошо согласовать пучок с волной и найти область параметров, в которой его энергоразброс составил менее 1 %.

