

АСТРОНОМИЯ, АСТРОФИЗИКА И КОСМОЛОГИЯ

Нейтронная астрономия: возможное новое направлениеД. М. Подорожный, А. Н. Турундаевский^а*Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобелевца (НИИЯФ МГУ).
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.**E-mail: ^а ant@eas.sinp.msu.ru*

Статья поступила 24.05.2011, подписана в печать 06.07.2011

Предлагается новый способ изучения диффузного вещества в космическом пространстве, основанный на регистрации нейтронов высоких энергий. В основе предлагаемого подхода лежит то обстоятельство, что пробег нейтронов высоких (сотни ГэВ) энергий сопоставим с расстоянием до пояса Койпера. При этом фон нейтронов из-за пределов Солнечной системы (при данных энергиях) исключен благодаря распаду. Показано, что при использовании данных о плотности газопылевой компоненты, полученных при анализе траекторий АМС, ожидаемый поток высокоэнергичных нейтронов может быть зарегистрирован с помощью перспективной аппаратуры.

Ключевые слова: космические лучи, нейтроны, астрономия, диффузная материя.

УДК: 543.591. PACS: 95.55.Vj.

Введение

Основные прорывы в астрономических исследованиях были связаны с освоением новых диапазонов волн и новых методов измерений. Поэтому от использования еще одного вида излучения в качестве источника информации также можно ожидать существенного продвижения.

Для оценки возможностей нового подхода необходимо ответить на ряд принципиальных вопросов. Во-первых, какие области пространства могут изучаться с помощью регистрации нейтронных потоков (с учетом времени жизни нейтрона)? Во-вторых, какое количество нейтронов может быть зарегистрировано за приемлемое время экспозиции? В-третьих, каковы фоновые события и необходимый уровень режекции? В-четвертых, какая аппаратура может быть использована для таких измерений?

В течение XX в. был значительно расширен набор инструментов для астрономических исследований. К традиционному изучению астрономических объектов в оптическом диапазоне добавилась радиоастрономия, а также рентгеновская и гамма-астрономия. Последняя тесно смыкается с физикой космических лучей. Однако заряженные компоненты в космических лучах распространяются под действием галактических магнитных полей, и направление прихода частицы слабо связано с направлением на источник. В лучшем случае можно искать некоторую анизотропию распределения.

1. Свойства нейтронов высоких энергий

Новый прорыв в астрономии может быть связан с возможностью наблюдения нейтронов высоких энергий в космосе. Как известно, это частицы нестабильные, но достаточно долгоживущие (среднее время жизни 896 с). На рис. 1 показана зависимость среднего пробега нейтрона от кинетической энергии. При энергиях в десятки ГэВ средний пробег составляет

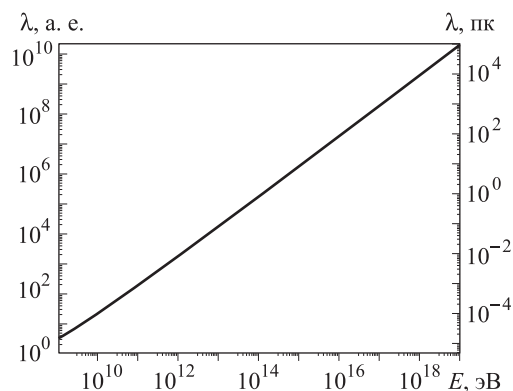


Рис. 1. Зависимость распадного пробега нейтрона от энергии

десятки астрономических единиц, при энергиях выше 10¹⁴–10¹⁵ эВ это уже парсеки.

Соответственно можно указать возможное расположение объектов, пригодных для исследований с помощью нейтронной астрономии. Сравнительно низкоэнергичные (десятки и сотни ГэВ) нейтроны несут информацию о веществе на периферии Солнечной системы, а высокоэнергичные (более 10¹⁴ эВ) могут преодолевать межзвездные расстояния.

Естественно, нейтроны не могут ускоряться на ударных волнах подобно заряженным компонентам космических лучей, но они могут образовываться при взаимодействии космических лучей высоких энергий с веществом. Можно выделить два основных канала образования нейтронов высоких энергий. Во-первых, это неупругие адронные взаимодействия. Во-вторых, фрагментация тяжелых ядер. Оба канала имеют свои особенности. В первом случае сечение процесса невелико, а энергия рождающихся нейтронов меньше энергии налетающей частицы (на нуклон). Однако сечение растет с энергией, а вклад в этот канал дают все ядерноактивные компоненты космических лучей, включая протоны. Во втором случае основной вклад

дают тяжелые ядра, а энергия нейтрона соответствует энергии исходного ядра на нуклон. При этом процесс аналогичен образованию вторичных ядер (Li, Be, B и др.).

Однако механизм распространения нейтронов принципиально отличается от распространения ядерной компоненты. Прямолинейное распространение, в отличие от диффузионного, требует меньшего времени.

Это определяет круг задач, для решения которых нейтронная астрономия может быть полезна. Направление траектории нейтрона должно указывать на скопление диффузного вещества, где происходит взаимодействие космических лучей. При этом расстояние до данного скопления не должно значительно превышать пробега при соответствующей энергии. Таким образом, в отличие от гамма-астрономии, нейтронная астрономия позволяет изучать сравнительно близкие скопления диффузной материи.

2. Ожидаемые потоки нейтронов

Возникает вопрос оценки возможных потоков нейтронов высоких энергий. Эти потоки должны зависеть как от спектров космических лучей, так и от плотности диффузного вещества. В силу ограниченности расстояний разумно в расчетах использовать данные о спектрах космических лучей вблизи Земли (с учетом отсутствия солнечной модуляции на больших расстояниях от Солнца). Что касается плотности диффузного вещества, следует отметить данные, полученные в ходе наблюдения за автоматическими межпланетными станциями «Пионер-10, 11» [1]. Основная проблема — траектория отличается от расчетной баллистической, наблюдается аномальное торможение станций [1]. Существуют различные гипотезы, объясняющие данный феномен. Наиболее простым является предположение о наличии тормозящей среды, состоящей из пыли или газа [2, 3]. Это соответствует данным наблюдений в инфракрасном диапазоне [4], отражающим наличие газопылевой компоненты в поясе Койпера. Оценки плотности [3] были использованы в дальнейших расчетах.

При расчетах предполагалось, что газопылевая компонента равномерно распределена за орбитой Юпитера (5.2 а.е.), а нейтроны образуются при взаимодей-

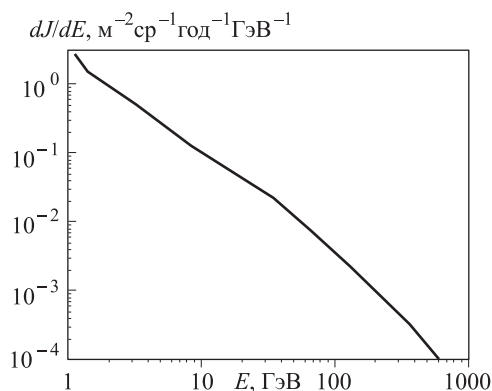


Рис. 2. Дифференциальный спектр нейтронов из пояса Койпера

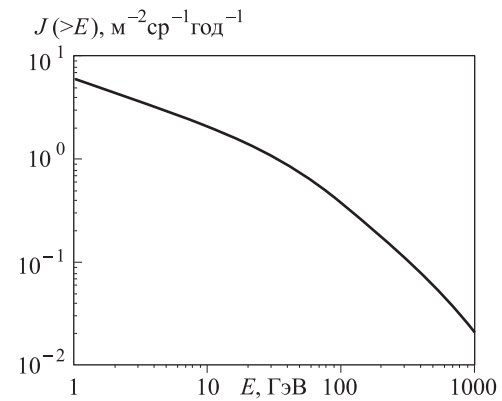


Рис. 3. Интегральный спектр нейтронов из пояса Койпера

ствии космических лучей с этой компонентой. Спектры космических лучей рассчитывались в соответствии с [5] без учета солнечной модуляции. Выход нейтронов в единичном акте неупругого взаимодействия рассчитывался при помощи пакета FLUKA [6]. При расчете проводилось интегрирование с учетом распадов нейтронов. Полученный дифференциальный спектр нейтронов представлен на рис. 2, интегральный — на рис. 3. Из-за роста сечения с энергией спектры заметно отличаются от исходных спектров космических лучей. Наклон дифференциального спектра составляет 1.3–1.5 (растет с энергией).

Заключение

Расчетные потоки нейтронов малы, но при дальнейшем наращивании геометрического фактора аппаратуры вполне могут быть зарегистрированы в будущих космических экспериментах.

Для расчета потоков нейтронов сверхвысоких энергий ($>10^{15}$ эВ) от возможных источников космических лучей на межзвездных расстояниях требуется уточнить модели источников.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-02-00929-а.

Список литературы

1. Anderson J.D., Laing P.A., Lau E.L. et al. // Phys. Rev. 2002. **D65**. 082004.
2. Landgraf M., Liou J.-C., Zook H.A., Grun E. // Astron. J. 2002. **123**, N 5. P. 2857.
3. Marmet P. // Proc. Intern. Scientific Meetings. PIRT 2003, Physical Interpretations of Relativity. Moscow, 30 June — 03 July, 2003. P. 334.
4. Teplitz V.L., Stern S.A., Anderson J.D. et al. // Astrophys. J. 1999. **516**, N 1. P. 425.
5. Horandel J.R. // Astropart. Phys. 2003. **19**, N 2. P. 193.
6. Fasso A., Ferrari A., Ranft J., Sala P.R. // FLUKA: a multiparticle transport code. CERN-2005-10. 2005. INFN/TC_05/11, SLAC-R-773.

The neutron astronomy: a new possible way of investigations**D. M. Podorozhnyi, A. N. Turundaevskiy^a***D. V. Skobel'syn Research Institute of Nuclear Physics, M. V. Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia.**E-mail: ^a ant@eas.sinp.msu.ru.*

A new approach to investigate diffuse matter in space is proposed. It is based on registration of high energy neutrons. The high energy (hundreds of GeV) neutrons decay length is comparable to distance to the Cuiper belt. The neutrons decay destructs the interstellar background. It is shown that the expected high energy neutrons flux can be registered by the perspective devices (we used data on gas and dust density obtained by an analysis of space apparatus trajectories).

Keywords: cosmic rays, neutrons, astronomy, diffuse matter.

PACS: 95.55.Vj.

Received 24 May 2011.

English version: *Moscow University Physics Bulletin* 6(2011).

Сведения об авторах

1. Подорожный Дмитрий Михайлович — канд. физ.-мат. наук, зав. лабораторией; тел.: (495) 939-14-71, e-mail: dmp@eas.sinp.msu.ru.
2. Турундаевский Андрей Николаевич — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; тел.: (495) 939-14-71, e-mail: ant@eas.sinp.msu.ru.