

УДК 537.591

О ВОЗМОЖНОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ ВКЛАДА ИСТОЧНИКА ВЭЛА В ПОТОК ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

В. А. Царев, В. А. Чечин

Проведены расчеты вкладов нескольких ближайших и наиболее молодых источников космических лучей (остатков сверхновых) в спектр адронов в области энергий "колена" (3 ПэВ) и электронов в области энергий ≥ 1 ТэВ. Показано, что основной вклад в указанные области ожидается от источника Вэла.

Одной из важнейших задач астрофизики космических лучей (КЛ) является изучение источников частиц КЛ высоких энергий. В общем случае решение этой задачи затруднено, поскольку перемешивание космических лучей при их движении в межзвездных магнитных полях приводит к потере информации относительно вкладов отдельных источников. Были указаны, однако, два исключения, когда эту информацию можно получить из прямых измерений (а) спектра космических электронов при энергиях ≥ 1 ТэВ [1] (см. также работу [2] и приведенные в ней ссылки) и (б) спектра и состава адронов КЛ в области энергий "колена" ≈ 3 ПэВ [3].

Потери энергии на синхротронное излучение и обратное комптоновское рассеяние приводят к резкому обрезанию спектра электронов, испущенных источником возраста t , при энергии $E_{max}(t) \approx 1/bt \approx 3 \times 10^5/t$ (год ТэВ). Поэтому электроны тэвных энергий имеют возраст не более $\approx 3 \times 10^5$ лет и в процессе диффузии не могут отойти от источника на расстояние, больше чем $r \approx 2\sqrt{Dt} \approx 500$ пк, где $D(1 \text{ ТэВ}) \approx 10^{29} \text{ см}^2/\text{с}$ – коэффициент диффузии.

Для адронной компоненты КЛ было высказано предположение [3], что вклад близких источников мог бы быть существенным на фоне вкладов от всех остальных (далеких) источников при энергиях в окрестности максимальной энергии ускорения в оболочках сверхновых (ОСН) $E_{max} \approx (10^5 - 10^6)Z \text{ ГэВ}$ [4], где Z – заряд ядра КЛ. Используя

вычисленную в [4] форму спектра ОСН вблизи E_{max} и учитывая вклад легких, средних и тяжелых ядер, авторы [3] смогли феноменологически воспроизвести нерегулярность ("колени") в спектре КЛ при $E \approx 3 \text{ ПэВ}$, включая тонкую структуру, найденную ими из анализа данных по ШАЛ.

В работе [5] был проведен совместный анализ вкладов в электронную и адронную компоненты КЛ от известных наиболее близких и молодых ОСН [6]. Для вычисления спектров частиц, ускоренных в ОСН, использовался "гибридный" подход, основанный на простой "онионной" модели (ОМ) [7], на которую накладываются ограничения, следующие из более строгой кинетической теории [4]. Было показано, что из полутора десятков известных в настоящее время источников, расположенных в пределах 1 кпк от солнечной системы (при опубликованных значениях возраста и расстояния), наиболее существенный вклад в адронную и электронную компоненты КЛ в рассматриваемых областях энергии вносит наиболее молодой из рассмотренных источников – Моногем.

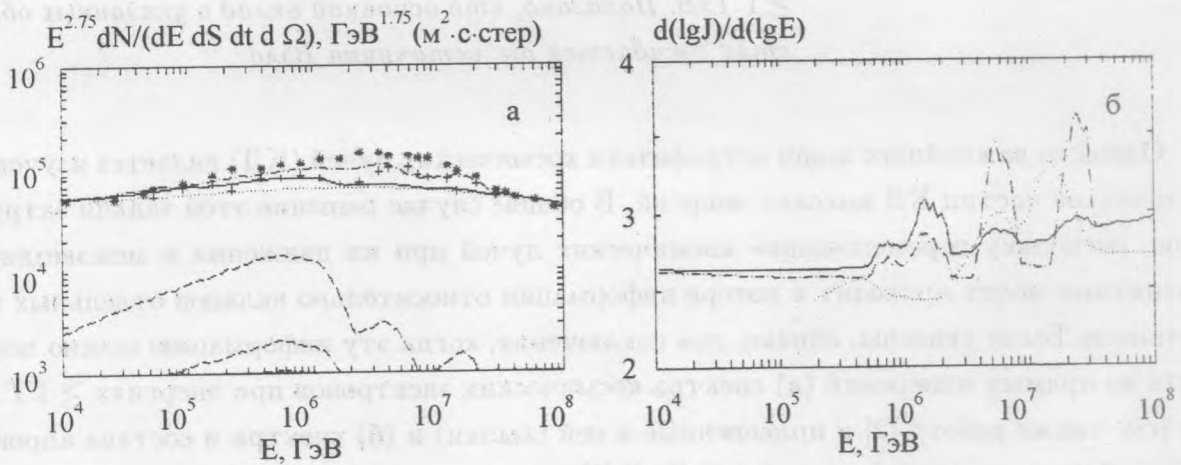


Рис. 1. а) Спектр адронов космических лучей от четырех локальных источников. б) Наклон спектра адронов $d \ln J / d \ln E$.

Существуют, однако, данные, согласно которым наиболее молодым из ближайших источников оказывается Вэла: расстояние 200 пс и возраст $0.22-0.29 \cdot 10^5$ лет [8]. Новое уточненное значение расстояния существенно меньше тех значений, которые приводились в более ранних публикациях (≈ 500 пс). Следовательно, вклад этого источника может оказаться наиболее существенным в обсуждаемой нами области энергий.

В настоящей работе, в рамках использованного нами ранее подхода [5], мы проводим оценку вкладов в спектры КЛ от источника Вэла совместно с тремя другими наиболее

существенными источниками, рассмотренными в [5]: (1) – Моногем, (2) – Петля-1 и (3) – Геминга, параметры которых – возраст ($\times 10^5$ лет) и расстояние ($\times 100$ пк), взяты из [6]: 1.1 и 3; 2 и 1.7; 3.4 и 3, соответственно. Результаты расчетов приведены на рис. 1 и 2.

На рис. 1а показаны результаты расчетов спектров адронов. Фоновый вклад далеких источников аппроксимировался двумя экспонентами (сглаженными на интервале 0.1 – 10 $PэВ$), описывающими экспериментальный спектр КЛ до и после "колена".

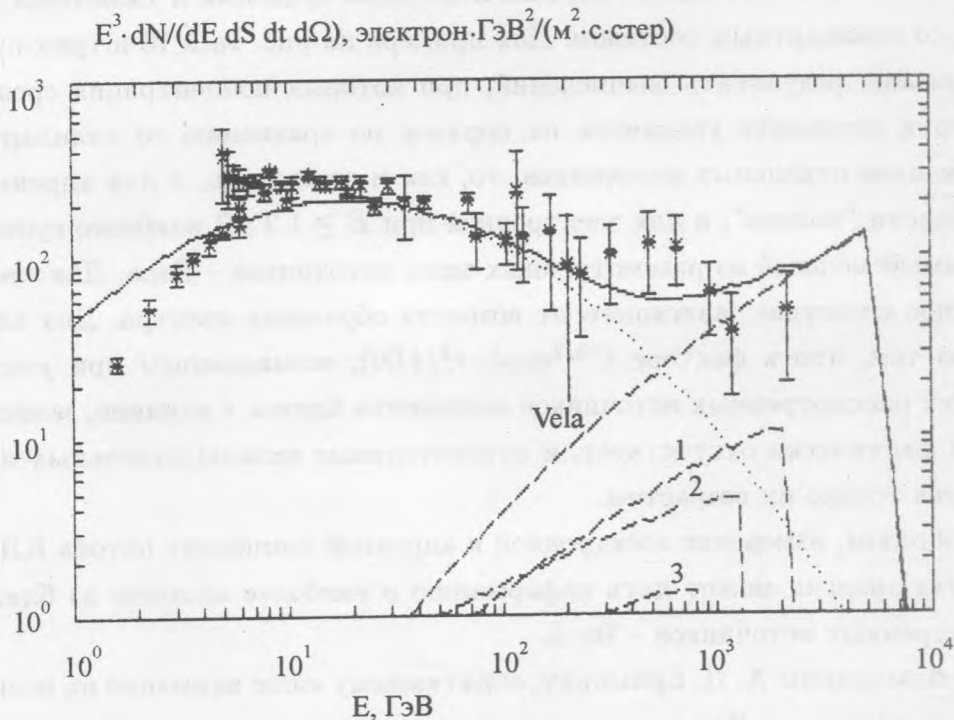


Рис. 2. Спектр космических электронов от четырех локальных источников.

На рис. 2 приведено сравнение с экспериментальными данными результатов аналогичных расчетов для электронов. При вычислениях использовались те же значения, что и для протонов для параметров D , α (темп инъекции) и энергии инъекции E_0 ($p_{inj} = \sqrt{2mE_0}$). На рисунке вклады отдельных источников показаны пунктирными кривыми, фон от далеких источников (взят из нашей предыдущей работы [2]) – точечной кривой, а суммарный спектр – сплошной кривой.

Как видно из рисунков, в указанном подходе при выборе общепринятых значений

параметров для сверхновых и межзвездной среды и одинаковых значениях энергии инжекции и распространенности для протонов и электронов удается удовлетворительно описать как спектр адронов в области "колена", так и спектр электронов при тэвнских энергиях. При этом согласующееся с экспериментом соотношение между потоками ускоренных электронов и протонов возникает, фактически, как следствие разницы в массах этих частиц при равных энергиях их инжекции: $\propto (p_{inj}^e/p_{inj}^p)^{q-3} = (m_e/m_p)^{(q-3)/2}$. Как и в [3], "тонкая структура" в области колена (рис. 1б) обусловлена вкладами отдельных ядер. Видно, что для согласия с экспериментальными значениями наклона спектра (усредненные значения показаны на рис. 1б штрихованной линией) требуется предположить существенное обогащение состава источника средними и тяжелыми ядрами по сравнению со стандартным составом. Для примера на рис. 1а и 1б штрих-пунктирной линией показаны результаты вычислений, при которых концентрация средних и тяжелых ядер в источнике увеличена на порядок по сравнению со стандартной. Что касается вкладов отдельных источников, то, как и ожидалось, и для адронной компоненты в области "колена", и для электронной при $E \geq 1 \text{ ТэВ}$ наиболее существенным является самый молодой из рассмотренных здесь источников – Вэла. Для электронов – это очевидное следствие зависящего от возраста обрезания спектра. Для адронов это обусловлено тем, что в факторе $t^{-3/2} \exp(-r^2/4Dt)$, возникающем при учете диффузии, для всех рассмотренных источников экспонента близка к единице, зависимость от расстояния фактически отсутствует, и относительные вклады отдельных источников определяются только их возрастом.

Таким образом, измерение электронной и адронной компонент потока КЛ в указанных областях энергии может дать информацию о наиболее молодом из ближайших к нам рассмотренных источников – Вэла.

Авторы благодарны А. Д. Ерлыкину, обратившему наше внимание на новые данные относительно источника Вэла.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 98-02-17157.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Shen C. S. *Astrophys. J.*, **162**, L181 (1970).
- [2] Chechin V. A. et al. to be published in Proc. Cosmion Conference, Moscow, 1997.
- [3] Erlykin A. D. and Wolfendale A. W. *Astroparticle Phys.*, **7**, 1 (1997).
- [4] Бережко Е. Г. и др. *ЖЭТФ*, **109**, вып. 1, 3 (1996).

- [5] Царев В. А., Чечин В. А. Доклад на Всероссийской конференции по космическим лучам, Москва, 1998, будет опубликован в Докладах РАН.
- [6] Nishimura J. et al. Proc. 24th ICRC, Rome, **3**, 29 (1996).
- [7] Bogdan T. J. and Volk H. J. A & A, **122**, 22 (1983).
- [8] Aschenbach B., Egger R., and Trumper J. Nature, **373**, 587 (1995).

Поступила в редакцию 6 ноября 1998 г.