

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ВЫСОКО ЭНЕРГИЧНЫХ ЗВЁЗД, НАБЛЮДАЮЩИХСЯ В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

Энергичные звёзды, появляющиеся в фотопластинках, экспонированных в космических лучах, получили название «струй» потому, что они состоят главным образом из релятивистских частиц, сконцентрированных в конусе с очень малым углом при вершине. Если предположить, что такая звезда произошла в результате нуклон-нуклонного соударения, то по среднему углу разлёта частиц $\bar{\Phi}$ можно определить энергию первичной частицы (E) согласно формуле $E = \frac{2Mc^2}{\bar{\Phi}^2}$ (M —масса нуклона). Однако

данных о взаимодействии энергичных нуклонов ($E > 10^{11}$ эв) с водородом почти нет; в большинстве экспериментальных работ наблюдались столкновения с тяжёлыми ядрами: Ag, Вг или Си^{1,2}. Интерпретация получающихся звёзд в этом случае существенно зависит от того, какой путь проходит частица в ядре, т. е. от параметра удара нуклона по ядру. В случае скользящего удара с параметром, близким к радиусу ядра, можно интерпретировать звезду как нуклон-нуклонное соударение и определять энергию её по среднему углу разлёта (в общем же случае эта оценка энергии справедлива лишь по порядку величины). Критерием того, что имеет место периферическое соударение, долгое время считалось почти полное отсутствие следов тяжёлых частиц в звезде. Однако к настоящему времени накопился уже опытный материал, свидетельствующий об ограниченности такого критерия. Такова, например, «звезда» Тейхера³. В этой звезде тяжёлых частиц не обнаружено, но интерпретация её как нуклон-нуклонного соударения приводит к ряду трудностей, которые отпадут, если считать, что эта звезда произошла в результате столкновения нуклона с ядром. Возникает вопрос, когда же такая интерпретация возможна? Поэтому работа Гайтлера⁴, посвящённая вопросу о том, сколько тяжёлых частиц может образоваться при столкновении нуклона весьма высокой энергии ($E > 10^{11}$ эв) с тяжёлым ядром, очень актуальна.

В качестве одного из исходных положений в работе принимается, что налетающий нуклон реагирует не со всем ядром, а только с теми частями ядра, которые находятся на его пути, т. е. нуклон вырезает в ядре трубку. Это положение кажется довольно естественным и уже развивалось как в отечественной (см. обзор⁵), так и иностранной⁶ литературе. Оно основано на том, что при достаточно высокой энергии первичная частица и все вторичные частицы после соударения движутся внутри конуса, угловой растрор которого в системе покоя ядра очень мал. В случае, когда первичная частица обладает очень высокой энергией, вырезаемую трубку можно считать цилиндрической. В общем случае при входе в ядро поперечное сечение трубки равно πr^2 (где r — среднее расстояние между нуклонами в ядре), а при выходе из ядра — несколько больше, так что вся трубка имеет форму раструба. Критерий применимости модели трубки заключается в том, чтобы угловое расхождение отдельных частиц при выходе из ядра, даже при центральном ударе, было бы меньше r (другими словами, форма трубки должна мало отличаться от цилиндрической). Это даёт $\bar{\Phi}^2 \ll \left(\frac{r}{d}\right)^2$, где d — диаметр ядра.

Для таких ядер, как Ag или Си, $\left(\frac{r}{d}\right)^2 \approx 3 \cdot 10^2$. Если оценивать энергию по формуле $E \sim \frac{2Mc^2}{\bar{\Phi}^2}$, то энергетический критерий применимости модели трубки будет

$$E \gg 2 \frac{Mc^2 d^2}{r^2}.$$

Таким образом, в интересующей нас области энергий эта модель применима.

Все частицы, как вновь родившиеся, так и нуклоны отдачи, составляющие трубку, после взаимодействия приобретают крайне релятивистские энергии. Таким образом, медленные частицы (дающие серые и чёрные следы) могут вылетать лишь из оставшегося ядра (т. е. не могут являться непосредственными участниками столкновения). Передача энергии остатку ядра может происходить двумя путями:

1) Каждый из нуклонов, непосредственно примыкающих к трубке (число таких нуклонов $\sim 4 \frac{d}{r}$), благодаря тому, что его сосед внезапно исчезает, получает импульс порядка $\frac{V}{c}$, где V — средняя энергия взаимодействия нуклонов в ядре, равная 30 Мэв. Полная энергия, переходящая к ядру, благодаря такого рода «трению» будет порядка $U_1 \approx 4 \frac{d}{r} \frac{V^2}{2Mc^2} \sim 14$ Мэв, т. е. ничтожно мала.

2) Ядро, в середине которого вырезан туннель, обладает избыточной поверхностной энергией по сравнению со сферическим ядром, имеющим то же число нуклонов. Эта поверхностная энергия даёт основной вклад в энергию возбуждения, она равна в случае центрального соударения с ядром серебра $U_2 = 105$ Мэв. Полную энергию можно считать равной по порядку величины $U \sim 80 \div 150$ Мэв. При увеличении параметра удара эта величина уменьшается. Число заряженных частиц, «испаряющихся» из ядра при таком возбуждении, согласно (7) равно

$$N_h = 2,5 \cdot 10^{-2} (U_{\text{Мэв}} - 0,7) \sim 2 \div 3 \text{ частицы.}$$

Естественно ожидать, что при таком малом среднем числе испаряющихся частиц флуктуации могут быть весьма значительны.

Основной причиной, вызывающей флуктуации, по оценкам авторов, являются колебания в распределении заряда между испаряющимися и остающимися в ядре частицами. Полное среднее квадратичное отклонение N_h от значения 3 составляет $\Delta N_h \approx 1,7$.

Таким образом, малое число следов тяжёлых частиц отнюдь не свидетельствует о том, что произошло скользкое соударение. Поэтому для определения параметра удара нуклона по ядру необходимо привлечь другие опытные и теоретические данные (например, как это проделано в⁵).

Кроме того, в работе Гайтлера имеются расчёты числа ливневых частиц на основе концепции многократного и многократно-множественного рождения. Расчёты носят иллюстративный характер, так как автор не задаётся какой-либо конкретной теорией, а использует весьма общую схему с произвольными коэффициентами. Получить определённые указания о преимуществе той или иной теории на основании этих расчётов нельзя.

Д. Ч.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Daniel, Davis, Mulwey and Rerkins, *Phyl. Mag.* **43**, 753 (1953).
2. Kaplon and Ritson, *Phys. Rev.* **85**, 900 (1952); **88**, 386 (1952).
3. Teucher, *Naturwiss.* **39**, 68 (1952).
4. Heitler and Terraux, *Proc. Phys. Soc. A* **66**, 929 (1953).
5. И. А. Розенталь и Д. С. Чернавский, *УФН* **52**, 185 (1954).
6. Roesler and McCusker, *Nuovo Cim.* **10**, 127 (1953).
7. Le Conteur, *Proc. Phys. Soc. A* **63**, 259 (1950); **A 65**, 718 (1952).