

ядер и к диапазону энергий возбуждения 3—8 МэВ.

2. Протонно-активный изомер  $^{58m}\text{Co}$  (пока единственный), полученный в реакции  $^{56}\text{Fe}(p, 2n)$ , с периодом полураспада  $T_{1/2} = 247$  мс испускает протон с  $\epsilon_p = 1.59$  МэВ ( $W_p = 1.5\%$ ). Время жизни относительно испускания протона  $\tau_p = (P_I \gamma_p^2)^{-1}$ , где  $P_I$  — прозрачность барьера для протона с орбитальным моментом  $l$ ,  $\gamma_p$  — приведённая ширина. При  $p$ -распаде  $^{58m}\text{Co}$  происходит изменение волновой функции ядра, что приводит к уменьшению вероятности распада изомера, т. е. к увеличению времени его жизни.

3. Протонный распад из основного состояния возможен для более нейтронно-дефицитных ядер, чем эмиссия ЗП. Из-за эффекта спаривания протонов он оказывается возможным сначала у нечётных ядер. Для регистрации  $p$  необходимо условие  $\epsilon_{\text{мин}} < \epsilon_p < \epsilon_{\text{макс}}$ , где  $\epsilon_{\text{мин}}$  задаётся конкуренцией со стороны  $\beta$ -распада ( $\tau_p^{\text{макс}} \approx 0.1-1$  с), а  $\epsilon_{\text{макс}}$  — быстродействием измерит. методики. Интервал  $\epsilon_p$  растёт с  $Z$ , что делает предпочтительным поиск П.  $p$  в области  $Z > 50$ .

Впервые слабая протонная активность с  $\epsilon_p = 0.83 \pm 0.05$  МэВ и  $T_{1/2} = (1.4 \pm 0.8)$  с наблюдалась при облучении  $^{86}\text{Ru}$  пучком  $^{32}\text{S}$  (ОИЯИ, 1972). Она была объяснена распадом  $^{121}\text{Pr}$  из основного состояния [реакция  $^{90}\text{Ru}(^{32}\text{S}, p, 6n)^{121}\text{Pr}$ ]. В 1981 С. Хофманн (S. Hofmann) и др. (ФРГ) в реакции  $^{86}\text{Ru}(^{58}\text{Ni}, p, 2n)$  получили ядра  $^{121}\text{Lu}$ ,  $k$ -рые с периодом  $T_{1/2} = (85 \pm 10)$  мс испускают протоны с  $\epsilon_p = 1.23$  МэВ. Сечение этой реакции в 700 раз больше, т. к. из-за использования пучка  $^{58}\text{Ni}$  необходимый нейтронный дефицит достигается за счёт испарения только трёх нуклонов. В дальнейшем с помощью пучков  $^{58}\text{Ni}$  открыто ещё 5 нуклидов, испытывающих распад из основного состояния (рис. 4). Время жизни определяется туннелированием протонов сквозь кулоновский и центробежный барьеры. Длина туннелирования для  $\epsilon_p \approx 1$  МэВ составляет примерно 80 Фм.

4. При ещё более значительном нейтронном дефиците для чётных по  $Z$  ядер за счёт спаривания протонов теоретически возможен вылет протонной пары (при устойчивости ядра к испусканию одного протона). Пока это явление не обнаружено, однако открыта т. н. бета-вадержанная двухпротонная радиоактивность трёх излучателей на пучке  $^3\text{He}$ :  $^{22}\text{Al}$  (0,07 с),  $^{26}\text{P}$  (0,02 с),  $^{56}\text{Ca}$  (0,05 с). Эти ядра испытывают т. н. сверхразрешённый  $\beta$ -распад, после чего происходит последовательное испускание двух протонов.

Лит.: Карнауков В. А., Петров Л. А., Ядра, удаленные от линии бета-стабильности, М., 1981; Particle emission from nuclei, ed. by M.S. Ivascu, D. N. Poenaru, v. 1—3, CRC Press, 1988.

**ПРОТОННЫЙ ЛИНЕЙНЫЙ УСКОРИТЕЛЬ** — линейный ускоритель, предназначенный для ускорения тяжёлых нерелятивистских частиц (протонов, ионов). Отличается от линейного ускорителя лёгких частиц (электронов, позитронов) частотой эл.-магн. колебаний ускоряющего ВЧ-поля (метровый диапазон вместо дециметрового), устройством ускоряющих структур и существенно большими габаритами. См. *Линейные ускорители*.

Л. Л. Гольдин.

**ПРОТОННЫЙ СИНХРОТРОН** — см. *Синхротрон протонный*.

**ПРОТОН-ПРОТОННАЯ ЦЕПОЧКА** — см. *Водородный цикл*.

**ПРОТУБЕРАНЦЫ** (от лат. protuberans — вздуваюсь) — холодные ( $T \lesssim 10^4\text{K}$ ) плотные образования внутри горячей ( $T \gtrsim 10^6\text{K}$ ) разреженной короны Солнца. Они сильно различаются между собой по форме, структуре и времени жизни. Над солнечным лимбом П. наблюдаются в виде похожих на гигантские языки пламени потоков газа, чаще — в виде светящихся аркад,  $k$ -рые состоят из множества отд. нитей и движущихся сгустков газа. В проекции на солнечный диск П. видны как тёмные изогнутые ленты сложной структуры, называе-

мые волокнами, соединённые между собой яркими образованиями — каналами волокон. Последние на лимбе проявляются в виде системы струй, соединяющих два или неск. П. Часто встречаются П., представляющие собой сложное переплетение волокон и протоков газа или каналов волокон.

Существует неск. классификаций П. по их топологии и степени динамич. активности. Основным является деление на два класса: спокойные и активные П. К классу спокойных (рис. 1) относятся долгоживущие (время жизни от 1 сут до неск. месяцев), медленно

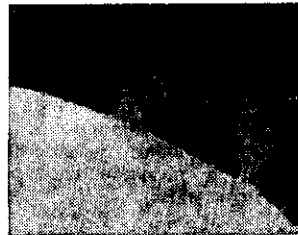


Рис. 1. Типичный спокойный протуберанец (снимок в линии  $\text{H}_\alpha$ ).

изменяющиеся, наблюдаемые вне активных областей П. Более короткоживущие, быстро изменяющиеся, связанные с активными областями и с солнечными пятнами П. относятся к классу активных (рис. 2). Спокойные П. делятся на два типа: расположенные ниже гелиографич. широты  $40-45^\circ$  и расположенные выше этой



Рис. 2. Типичный активный протуберанец (снимок в линии  $\text{H}_\alpha$ ).

широты (т. н. полярные П.). К классу активных П. относятся, в частности: П., связанные с солнечными вспышками (петельные П.), П., связанные с солнечными пятнами, эруптивные П.

П. связаны с магн. полями на Солнце. Это используется для изучения солнечных магн. полей, особенно крупномасштабных. Их изменение в ходе цикла *солнечной активности* можно проследить по положениям спокойных П. Как правило, волокна располагаются над фотосферной нейтральной линией — границей раздела полярности вертикальной составляющей фотосферного магн. поля (см. *Вспышка на Солнце*). Магн. поля связывают П. практически со всеми проявлениями солнечной активности, включая вспышки, корональные транзиты (см. *Солнечная корона*), выбросы солнечной плазмы в *межпланетную среду*.

В спектрах П. наблюдаются линии излучения водорода, гелия, ионизов. кальция и др. металлов. Это позволяет оценить характерные значения параметров плазмы в П.: темп-ру и концентрацию, степень ионизации и возбуждения атомов, скорости гидродинамич. течений (направленных и хаотических), число атомов на луче зрения и многое другое. Кроме эмиссионных линий наблюдается излучение П. в непрерывном спектре. Оно обусловлено в основном рекомбинац. процессами и томоновским рассеянием фотосферного излучения на свободных электронах, что позволяет оценить полное число таких электронов на луче зрения.

Плазма в П. сильно неоднородна по темп-ре и плотности (концентрация частиц  $10^{10}-10^{13}$  см $^{-3}$ ). По-видимому, имеется тенденция к выравниванию газового давления в горячих и холодных компонентах внутри П. Однако остаются небольшие градиенты давления, о чём свидетельствуют значительные хаотич. скорости даже в спокойных П. В П. часто происходят нестационарные явления типа «микровспышек». Из анализа спектраль-