**Гамма-излучение солнечных вспышек и характеристики ускоренных частиц**

тема диссертации и автореферата по ВАК , кандидат физико-математических наук Ковальцов, Геннадий Анатольевич

http://www.dissercat.com/content/gamma-izluchenie-solnechnykh-vspyshek-i-kharakteristiki-uskorennykh-chastits

индекс цитируемости в признанных в научном мире журналах:

По Web of Science - 2600 с чем то. Индекс Хирша – 31.

http://adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-abs\_connect?db\_key=AST&db\_key=PRE&qform=AST&arxiv\_sel=astro-ph&arxiv\_sel=cond-mat&arxiv\_sel=cs&arxiv\_sel=gr-qc&arxiv\_sel=hep-ex&arxiv\_sel=hep-lat&arxiv\_sel=hep-ph&arxiv\_sel=hep-th&arxiv\_sel=math&arxiv\_sel=math-ph&arxiv\_sel=nlin&arxiv\_sel=nucl-ex&arxiv\_sel=nucl-th&arxiv\_sel=physics&arxiv\_sel=quant-ph&arxiv\_sel=q-bio&sim\_query=YES&ned\_query=YES&adsobj\_query=YES&aut\_logic=OR&obj\_logic=OR&author=kovaltsov%2C+g&object=&start\_mon=&start\_year=&end\_mon=&end\_year=&ttl\_logic=OR&title=&txt\_logic=OR&text=&nr\_to\_return=200&start\_nr=1&jou\_pick=NO&ref\_stems=&data\_and=ALL&group\_and=ALL&start\_entry\_day=&start\_entry\_mon=&start\_entry\_year=&end\_entry\_day=&end\_entry\_mon=&end\_entry\_year=&min\_score=&sort=SCORE&data\_type=SHORT&aut\_syn=YES&ttl\_syn=YES&txt\_syn=YES&aut\_wt=1.0&obj\_wt=1.0&ttl\_wt=0.3&txt\_wt=3.0&aut\_wgt=YES&obj\_wgt=YES&ttl\_wgt=YES&txt\_wgt=YES&ttl\_sco=YES&txt\_sco=YES&version=1

Год:

1984

Автор научной работы:

Ковальцов, Геннадий Анатольевич

Ученая cтепень:

кандидат физико-математических наук

Место защиты диссертации:

Ленинград

Количество cтраниц:

143

## Оглавление диссертации

## кандидат физико-математических наук Ковальцов, Геннадий Анатольевич

ВВЕДЕНИЕ. к

ГЛАВА I - ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИЙ В АТМОСФЕРЕ СОЛНЦА И ГЕНЕРАЦИЯ ¿¡'-ИЗЛУЧЕНИЯ.

§ 1.1 - История вопроса. {к

§ 1.2 - Состав солнечной атмосферы. Энергетический спектр и состав СКЛ.

§ 1.3 - Генерация ¿(-излучения в солнечник вспышках . . \

ГЛАВА 2 - ВРЕМЕННОЙ ХОД ¿С -ИЗЛУЧЕНИЯ И ТОРМОЖЕНИЕ ЧАСТИЦ

В СОЛНЕЧНОЙ АТМОСФЕРЕ

§ 2.1 — Сравнение источников жёсткого излучения вспышек.

§ 2.2 - Расчёт временного хода жёсткого излучения вспышки при торможении ускоренных частиц в солнечной атмосфере.

§ 2.3 « Временной ход ¿'-излучения и связь между ускорением электронов и ядер во вспышке.

ГЛАВА 3 - ХАРАКТЕРИСТИКИ УСКОРЕННЫХ ЧАСТИЦ В СОЛНЕЧНОЙ АТМОСФЕРЕ• УСКОРЕНИЕ ЧАСТИЦ ВО ВСПЫШКАХ И СОЛНЕЧНЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ ЛУЧИ.

§ 3.1 - Определение спектров ускоренных протонов в источнике ¿Г -излучения.

§ 3.2 - Связь спектров ускоренных протонов и релятивистских электронов в атмосфере Солнца.

§ 3.3 - Гамма-излучение солнечных вспышек и потоки солнечных космических лучей в межпланетном пространстве

§ 3.4 - Генерация нейтрино в солнечных вспышках.

ГЛАВА 4 - ГЕНЕРАЦИЯ ВТОРИЧНЫХ ИЗОТОПОВ ВО ВСПЫШКАХ И

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ АТМОСФЕРЫ СОЛНЦА.

§ 4.1 - Содержание радиоизотопов в солнечном ветре и поток 8-излучения в линиях от спокойного Солнца.

§ 4.2 - Генерация лёгких элементов во вспышках.

## Введение диссертации (часть автореферата) На тему "Гамма-излучение солнечных вспышек и характеристики ускоренных частиц"

Одной из важнейших задач современной астрофизики является исследование наиболее ярких проявлений солнечной активности -- солнечных вспышек. Энергетика вспышек определяется быстрой оо о о трансформацией части энергии магнитного поля (10—10 эрг) в тепловую и механическую энергию плазмы, а также в энергию ускоренных частиц. Вспышка является совокупностью большого числа физических процессов, генетически связанных между собой, что обуславливает сложность картины явления в целом и трудность его : изучения. Солнечная вспышка наблюдается как всплеск электромагнитного излучения в широком диапазоне длин волн (от декамет-ровых радиоволн до ¿'-излучения), генерированного горячей плазмой и ускоренными частицами. Энергичные частицы, выходящие в межпланетное пространство из солнечной атмосферы, образуют потоки солнечных космических лучей (СКЛ).

Наблюдения электромагнитного излучения вспышек и СМ позволяют изучать процессы, происходящие в солнечной атмосфере во время вспышек. В результате многолетних исследований доотигнут значительный прогресс в понимании природы вспышечного явления. Однако целый ряд важных вопросов не решён. Не установлен конкретный механизм превращения магнитной энергии в тепловую и механическую энергию плазмы, энергию ускоренных частиц. Неизвестны локализация и размер области ускорения частиц, механизм ускорения. Не решена проблема формирования энергетического спектра и состава СКЛ. Решение этих вопросов принципиально важно не только для физики Солнца, но и в целом для аотрофизики, так как процессы конвероии магнитной энергии и ускорения чаотиц характерны для многих космичеоких объектов. С другой стороны многообразное влияние солнечной активности на земные явления и необходимость прогнозирования радиационной обстановки в космосе определяет прикладной аспект исследований солнечных вспышек.

Гамма-излучение солнечных вспышек несёт наиболее прямую информацию о процессах ускорения и распространения энергичных частиц в солнечной атмосфере. Достигнутый в последние годы значительный прогресо в экспериментах по регистрации ^-излучения вспышек требует дальнейшей разработки теории генерации вспы-шечного ^-излучения и совершенствования методов интерпретации результатов наблюдений. Увеличение числа вспышек с зарегистрированным ¿'-излучением позволяет искать закономерности процессов ускорения частиц во вспышках и связи этих процессов с другими проявлениями солнечной активности.

Кратко сформулируем основные характеристики настоящей работы.

Целью работы является исследование энергетических спектров ускоренных частиц в солнечной атмосфере, временной и энергетической связи между процессами ускорения во вспышках протонов и электронов. Для достижения поставленной цели потребовалась разработка некоторых вопросов генерации 2-излучения и вторичных ядер при взаимодействии ускоренных частиц с веществом солнечной атмосферы и комплексный анализ экспериментальных данных по регистрации Ц -излучения вспышек.

Новизна работы.ЬВпервые проведены расчёты временного хода ^-излучения в линиях возбуждения ядер в различных моделях торможения ускоренных частиц и выявлены закономерности временного хода #-излучения вспышек.

2. Показано, что временной ход вспышечного У-излучения можно объяснить в рамках предположения об одновременном ускорении протонов и электронов на импульсной фазе вспышки.

3. Установлено, что энергетический спектр ускоренных протонов в области 10-100 МэВ практически не меняется от вспышки к вспышке и может быть представлен степенным законом с показателем дифференциального спектра & 3.

4. Показано, что результаты наблюдений вспышек с мощными потоками Ц-излучения свидетельствуют в пользу того, что существует тесная связь между спектрами релятивистских электронов и протонов с энергиями десятки МэВ.

5. Впервые показано, что существуют две группы вспышек с зарегистрированным #-излучением, которые можно сопоставить с двумя группами событий СКЛ.

6. Впервые рассмотрены возможности получения информации об ускорении частиц во вспышках из измерений содержания вторичных изотопов в солнечном ветре и наблюдений #-излучения в Г линиях от спокойного Солнца.

Научное и практическое значение работы. Полученные результаты имеют важное значение для решения проблемы ускорения частиц во вспышках и связи вспышек с потоками СКЛ в межпланетном пространстве. Результаты работы могут быть использованы при планировании экспериментов по наблюдению солнечного У -излуче ния, интерпретации экспериментальных данных и в работах по прогнозированию потоков СКЛ на орбите Земли.

Основные положения диссертационной работы, которые выносятся на защиту.

I. Результаты вычислений временного хода интенсивности ¡С-излучения в линиях возбуждения ядер в диапазоне 4-8 МэВ, тормозного излучения энергичных электронов и вывод о возможности интерпретации временного хода ¿Г-излучения от вспышки

4 августа 1972 г. в рамках предположения об одновременном ускорении протонов и электронов.

2. Вывод о том, что спектр протонов в источнике излучения в интервале 10-100 МэВ практически не меняется от вспышки к вспышке.

3. Результаты анализа совокупности данных по ^-излучению вспышек и потокам СКЛ, позволяющие разделить вспышки на две группы, отличающиеся: отношением числа протонов в источнике

Ц-излучения к числу протонов, вылетевших в межпланетное пространство; концентрацией среды в области торможения частиц в солнечной атмосфере и длительностью ¿Г-излучения.

4. Результаты вычислений спектров нейтрино от солнечных вспышек.

Апробация материалов, вошедших в диссертацию. Результаты работы докладывались и обсуждались на сессии ОЯФ АН СССР в Москве ( 1982 г. ), на ХШ Ленинградском семинаре по космофизи-ке ( 1982 г, ), на ХУШ Международной конференции по космическим лучам в Бангалоре, Индия ( 1983 г, ), на семинарах ФТИ им.А.Ф.Иоффе АН СССР.

Основной материал диссертации опубликован в 7 научных работах.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав и заключения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ лратко сформулируем основные результаты работы:

I. Показано, что основной вклад в X-излучение вспышек вносят энергичные частицы, тормозящиеся в атмосфере Солнца после выхода их из области ускорения. Рассчитан временной ход интенсивности ¿Г-излучения в линиях возбуждения ядер в диапазоне 4-8 МэВ и тормозного излучения ускоренных электронов в диапазоне 0,02-1 МэВ при мгновенной инжекции ускоренных частиц в режим торможения. Рассмотрены следующие модели торможения частиц в солнечной атмосфере: торможение в однородной среде с постоянной плотностью; торможение в однородной среде с растущей плотностью; торможение в области с высокой плотностью после пролёта частицами высокой корональной арки. Показано, что при реализации этих моделей следует ожидать затягивания фронтов и запаздывания максимума импульса ^-излучения в линиях возбуждения ядер по сравнению с импульсом тормозного излучения электронов. Такое явление неоднократно наблюдалось при регистрации жёсткого излучения солнечных вспышек. Показано, что минимальная длительность импульса ¿'-излучения в линиях возбуждения ядер составляет ^50 мс, что накладывает естественное ограничение на требования, предъявляемые к временному разрешению регистрирующей аппаратуры. Показано, что вследствие конечности времени торможения ускоренных ядер в атмосфере Солнца, на спаде импульса ^-излучения должно наблюдаться изменение отношения интенсивноетей разных -линий и отношения интенсивности "узких" X-линий к интенсивности квазиконтинуума уширенных линий. Для наблюдения этого эффекта требуется улучшение чувствительности регистрирующей аппаратуры на порядок.

2. Для вспышки 4 августа 1972 г. - первой вспышки с зарегистрированным ¿'-излучением в линиях - рассчитан временной ход ядерного ¿Г-излучения в диапазоне 4-8 МэВ. Показано, что наблюдавшийся временной ход X-излучения можно объяснить в рамках предположения об одновременном ускорении ядер и электронов на импульсной фазе вспышки и торможении энергичных ядер в области

9 тп с концентрацией водорода 5.10 -10см . Это является сильным аргументом против господствовавшего ранее представления об отсутствии ускорения ядер на импульсной фазе вспышки. Результаты наблюдений ^-излучения вспышек последних лет свидетельствуют в пользу того, что тяжелые частицы и электроны всех энергий ускоряются на импульсной фазе вспышки одновременно (с точностью до временного разрешения аппаратуры ~2с), что согласуется с выводами, сделанными нами при анализе временного хода ^-излучения вспышки 4 августа 1972 г.

3. С целью определения спектров ускоренных протонов непосредственно в атмосфере Солнца рассчитана зависимость отношения интенсивности -излучения в линии 2,2 МэВ к интенсивности ядерного излучения в диапазоне 4-7 МэВ от показателя спектра протонов. Получены спектры протонов с энергиями десятки МэВ для 6 вспышек на диске Солнца. Показано, что показатель спектра протонов практически не меняется от вспышки к вспышке, что, по-видимому, говорит о действии одного механизма ускорения и одинаковых условиях в области ускорения в этих вспышках. Показатель дифференциального спектра протонов составляет ,5р = 2,5-^3,5

Предложен новый способ определения спектров ускоренных протонов в атмосфере Солнца - использование отношения интенсивности тр X излучения в линии 4,4 МэВ (х С ) к интенсивности излучения в комплексе линий 5,2 МэВ ("^Д/\*, ). Этот способ лишен ряда недостатков, присущих применённому нами способу, но требует повышения чувствительности регистрирующей аппаратуры на порядок.

4. Анализ данных об интенсивности ядерного У-излучения в диапазоне 4-7 МэВ и тормозного X-континуума в диапазоне 0,3-1 МэВ для 8 вспышек показал, что, по-видимому, существует тесная связь между спектром ускоренных протонов с энергиями десятки МэВ и спектров релятивистских электронов, а именно выполняется соотношение Л£(> 0,75 МэВ)//^ (> 25 МэВ) — 6. о. Показано, что вспышки с зарегистрированным Г-излучением в линиях можно разделить на две группы. Для первой группы вспышек характерны слабые потоки солнечных космических лучей Д,(>10 МэВ) ^ I (см^с стер)""1 и число энергичных протонов, г. тормозящихся в солнечной атмосфере, значительно превышают число энергичных протонов, вышедших в межпланетное пространство

Ар/У^ > 100. Вторую группу вспышек составляют вспышки с сильными потоками солнечных космических лучей (> 10 МэВ)> > 10 (см2 с стер)"^ и ^ ТО.

Длительность ^-излучения вспышек первой группы, как правило, невелика (~60 с), и излучение носит ярко выраженный импульсный характер. Концентрации в области торможения частиц для этих вспышек Л > 5«10^ см"3. Длительность /-излучения вспышек второй группы значительно больше (до 600 с), а концентрации в области торможения меньше <п « 10^\*10^ см"3.

Показано, что двум группам вспышек с зарегистрированным ^-излучением в линиях можно сопоставить две группы событий солнечных космических лучей, отличающихся интенсивностями потоков протонов, отношением потоков протонов к потокам электронов и содержанием Ы, -частиц. Для группы слабых событий СКЛ: >10 МэВ)/ 37е (> 45 кэВ) < Ю"3 и оК/р < 0,3; для группы сильных событий СКЛ: (> 10 МэВ)/ 45 кэВ) > Ю~\*3 и

0,02» В распределении событий СКЛ на плоскости "интенсивность потока протонов в максимуме события - показатель спектра протонов" между двумя группами событий СКЛ имеется разрыв. Двум группам событий СКЛ, выделенных нами, соответствуют две группы Не-богатых событий.

Вспышки с сильными потоками СКЛ, для которых У-излучение зарегистрировано не было, можно объяснить тем, что концентрация среды в области торможения частиц была низкой и, следовательно, амплитуда импульса ¿'-излучения была мала.

6. Рассчитана скорость генерации в солнечной атмосфере во время вспышек стабильных изотопов Ь/ , Ве и В и ряда долгожи-вущих радиоизотопов. Рассчитаны содержания этих вторичных изотопов в солнечном ветре и поток <Г-излучения в линиях от спокойного Солнца в зависимости от глубины перемешивания изотопов в солнечной атмосфере. Показано, что измерение содержания вторичных изотопов в солнечном ветре и наблюдения X-излучения в линиях от спокойного Солнца могут дать интересную информацию о процессах ускорения частиц во вспышках. В частности, можно определить величину усредненного за большой промежуток времени потока ускоренных ядер в солнечной атмосфере, что поможет решить проблему ускорения частиц в слабых вспышках.

6.

Показано, что ы , генерированный в солнечных вспышках, может составлять значительную часть от полного количества\*^" в конвективной зоне Солнца. Вклад вторичного в содержание б, . д в конвективной зоне зависит с одной стороны от среднего потока ускоренных ядер в солнечной атмосфере, а с другой стороны от условий на дне конвективной зоны. Поэтому, определив независимым методом средний поток ускоренных ядер в солнечной атмосфере, можно, исходя из фотосферного содержания , уточнить строение конвективной зоны.

7, Рассчитаны спектры нейтрино, образующихся в солнечной атмосфере под действием протонов высоких энергий во время солнечных вспышек. Показано, что нейтрино от солнечных вспышек не

О О <) 1 могут являться причинои вариации нейтринного потока, наблюдавшихся в эксперименте Дэвиса.

В заключение автор считает своим долгом выразить благодарность научному руководителю доктору физ.-мат.наук, профессору Г.Е.Кочарову за постоянное внимание к работе и полезные обсуждения в ходе её выполнения, а также сотрудникам лаборатории Ядерной космической физики ФТИ им.А.Ф.Иоффе АН СССР за проявленный интерес.

1. Biermati L., Haxel 0., Schulter А., Neutrale Ultrastrahlung un der Sonne. - Naturforsch, 1951, v.6a, N 1, p.47-48.

2. Северный А.Б., Ядерные процессы в хромосферных вспышках.-~ Астроном.журн., 1957, т.34, № 2, с.323-331.

3. Lingenfelter R.E., Flam E.J., Canfield E.H., Kellman S., High energy aolar neutrons.- J.Geophys.Res., 1965, v.70, N 18, 4077-4091.

4. Lingenfelter R.E., Ramaty R., High energy nuclear reactions in solar flares.- In High energy nuclear reactions in astrophysics, ed. Shen W., N.Y., Benjamin, 1967, p.99-148.

5. Lingenfelter R.E., Solar flares optical, neutron and gamma-ray emission.- Solar Phys., 1969, v.8, N 2, p.341-347.

6. Wang H.T., Ramaty R., Neutron propagation and 2,2 MeV gammaray line production in the solar atmosphere.- Solar Phys., 1974, v.36, H 1, p.129-137.

7. Кочаров Г.Е., Некоторые вопросы ядерной астрофизики Солнца.-~ Тр.УТ Международн.Ленинградского семинара по космофизике, I., 1974, с.17-20.

8. Baisakalova A.B., Bogdanova O.A., Kolomeets E.V., Calculation of solar neutron and gamma-ray fluxes durimg the flares and the quiet periods.- Proc.XIV Int.Cosmic Ray Conf., München, 1975, v.5, p.1638-1641.

9. Кочаров Г.Е., Об изотопах водорода и гелия в солнечных корпускулярных потоках. Изв.АН СССР, сер.физ., 1973, т.37, №6, с.1228-1232.

10. Ибрагимов И.А., Кочаров Г.Е., К вопросу об изотопах водорода и гелия в солнечных корпускулярных потоках вспышечного происхождения. Препринт ФТИ АН СССР, № 456, Л., 1974, 16 с.

11. Ибрагимов И.А., Кочаров Г.Е., Генерация изотопов водорода и гелия и К -излучения в солнечных вспышках. Изв.АН СССР, сер.физ., 1975, т.39, В 2, с.287-303.

12. Блох Г.М., Кужевскии Б.М., Ядерные реакции в атмосфере Солнца и солнечные космические лучи. Исследования космических лучей, М., Наука, 1975, с.I14-132.

13. Hultqvist L., On the possibility of detecting abundance inhomogeneities resulting from spallation reactions in the solar photosphere.- Solar Phys., 1974, v.34, П 1, p.25-32.

14. Hultqvist L., The production of lithium in the solar chromosphere and photosphere during white light flares. -Solar Phys., 1977, v.52, И 1, p.101-109.

15. Morrison P., Gamma-ray lines production in solar flares. -Huovo Cimento, 1958, v.7, N 5, p.858-865.

16. Гордон И.М., Природа Jf-излучения солнечных вспышек и образование космических частиц в активных областях Солнца.- Астроном.журн., I960, т.37, №5, с.934-936.

17. Кужевскии Б.М., Ядерные реакции и линейчатый спектр гамма-излучения солнечных вспышек. Астроном.журн., 1968, т.45, № 4, с.747-751.

18. Cheng С.С., Theoretical studies of the flux and energy spectrum of gamma radiation from the Sun. Space Sci.Rev., 1972, v.13, N 1, p.3-123.

19. Рамати P., Лингенфельтер P.E., Гамма-излучение в линиях от солнечных вспышек. Тр.УТ Межд.Ленинградского семинара по космофизике, Л., 1974, с.25-57.

20. Ibragimov I.A., Kocharov G.E., On the nuclear reactions during solar flares. Proc.XIV Inter.Cosmic Ray Conf., Munchen, 1975, v.5, p.1620-1623.

21. Crannell C.J., Joyce G., Ramaty R., Werntz C., Formation of the 0.511 MeV line in solar flares. Astrophys.J., 1976, v.210, N 2, p.582-592.

22. Ramaty R., Kozlovsky B., Suri A.N., The solar gamma-ray spectrum between 4 and 8 MeV. Astrophys.J., 1977» v.214, N 2, p.617-631.

23. Ибрагимов И.А., Кочаров Г.Е., Об особенности в энергетическом спектре if-излучения во время вспышки 4 августа 1972.- Письма в A.S., 1977, т.З, № 9, с.412-414; Препринт ФТИ АН СССР, № 548, Л., 1977, 16 с.

24. Айтбаев Ф.Б., Ерхов В.И., Байсакалова А.Б., Коломеец Е.В., Шмонин В.Л., Поток ^-квантов от распада 7Г%лезонов, генерированных в солнечных вспышках. Тр.Х Ленинградского семинара по космофизике, Л., 1978, с.116-124.

25. Peterson L.E., Winder J.R., Gamma-ray burst from a solar flare. J.Geophys.Res., 1959, v.64, N 7, p.697-702.

26. Krouschaar W.L., Clark G.W., Nuclear reactions in solar flares and observations of gamma-rays. Phys.Rev.Lett., 1962, v.8, N 2, p.106-109.

27. Peterson L.E., Schwartz D.A., Pelling R.M., McKenzie D., The upper limit solar gamma-ray spectrum to 10 MeV. -J.Geophys.Res., 1966, v.71, N 20, p.5778-5784.

28. Chupp E.L., Lavakare P.D., Sarkady A.A., Upper limit of continuous flux of solar 2,2 MeV if-rays produced in capture neutrons by protons. PhysRev., 1968, v.166, N 5, p.1299--1301.

29. Chupp E.L., Forrest D.L., Sarkady A.A., Lavakare P.J., Low energy gamma radiation in the atmosphere during active and quiet periods on the sun. Planet Space Sci., 1970, v.18, N 10, p.939-945.

30. Womack E.A., Overbeck J.W., High resolution search for solar gamma-ray lines. J.Geophys.Res., 1970, v.75, N 10, p.1811-1816.44« Ling J.C., Mahoney W.A., Willet J.B., Jacobson A.S.,

31. Measurement of 0,511 MeV gamma-rays with a balloon-borne Ge (Li) spectrometer. J.Geophys.Res., 1977, v.82, N 10, p.1463-1473.

32. Chupp E.L., Forrest D.J., Higbie P.R., Suri A.N., Tsai C., Dunphy P.P., Solar gamma-ray lines observed during the solar activity of August 2 to August 11, 1972. Nature, 1973, v.241, N 5388, p.333-337.

33. Suri A.N., Chupp E.L., Forrest D.J., Reppin C., Observations of solar gamma-ray continuum between 36O keV and 7 MeV onaugust 4, 1972. Solar Phys., 1975, v.43» N 2, p.415-429.

34. Chupp E.L., Forrest D.J., Sure A.N. , High energy gamma-ray radiation above $00 keV associated with solar activity. -Proc.IAU/COSPAR Symp., N 68, Solar if-, X- and EUV-radia-tion, ed.Kane S.R., Boston, 1975, p.341-353\*

35. Верден S., Ликин О.Б., Мелиоранский А.С., Писаренко Н.Ф., Савенко И.А., Талон Р., Шамолин В.М., Всплески ¿Г-излучения, наблюдавшиеся во время вспышек 4 и 7.УШ.1972 г.на спутнике "Прогноз-2". Изв.АН СССР, сер.физ., 1975, т.39, të 2,с.272-280.

36. Вальничек Б.И., Ликин О.Б., Морозова Е.И., Писаренко Н.Ф., Фарник Ф., Эстулин И.В., Рентгеновское излучение и заряженные частицы в солнечном событии 22 ноября 1977 г. Геомагн.и аэрономия, 1980, т.20, № 5, с.777-784.

37. Chambon G., Harley К., Niel М., Talon R., Vedrenne G.,

38. Estuline I.V., Likin O.B., The november 22, 1977 solar flare: evidence for 2.23 and 4.43 MeV line emission from the signe 2 MP experiment. Solar Phys., 1981, v.69, N 1, p.147-159.

39. Hudson H.S., Bai Т., Gruber D.E., Matteson J.L., Nolan P.L., HEA01 observations of gamma-ray lines from a solar flares.

40. Astrophys.J.Lett., 1980, v.236, N 2, p.L91-L96.

41. Evenson P., Meyer P., Yanagita S., Unusual properties of particle events associated with solar flare gamma-ray events. Proc.XVII Inter.Cosmic Ray Conf., Paris, 1981, v.3, p.32-35.

42. Rao K.R., Martin I.M., Jordam J.O.D., Jayanthi U.B., 2,2 MeV gamma-ray line observed during two SIT solar flares. Solar Phys., 1982, v. 79, IT 1, p.121-127.

43. Гордон И.М., Гамма-излучение солнечных вспышек и генерация космических лучей. Изв.АН СССР, сер.физ., 1974, т.38,9, с.1855-1860.

44. Cameron A.G.W., Elementary and nuclidic abundances in the solar system. Center for Astrophysics, Preprint N 1357, Harvard, Massachusetts, 1981, 23 p.

45. ЛенгК., Астрофизические формулы, т.I, М., Мир, 448 с.

46. Meyer J.P., Reeves Н., Realistic uncertainties on galactic abundances and significance of the cosmic ray source composition. Proc.XV Inter.Cosmic Ray Conf., Plovdiv, 1977, v.2, p.137-140.

47. Engvold 0., The solar chemical composition. Phys.scr., 1977, v.16, IT 1, p.48-51.

48. Van Hollebeke M.A.I., Ma Sung L.S., McDonald P.В., The variation of solar proton energy spectra and size distribution with heliolongitude. Solar Phys., 1975, v.41, IT 1,p.189-223.

49. Praier P.S., Webber W.R., Exponential rigidity spectrums for solar flare cosmic rays. - J.Geophys.Res., 1963, v.68,1. 11, p.1605-1617.

50. McGuire R.E., von Rosenvinge T.T., McDonald P.B., A survey of solar proton and alpha differential spectra between 1 and 400 MeV/n.- Proc.XVII Int.Cosmic Ray Conf., Paris,1981, v. 3> p.65-68.

51. Корчак А.А., 0 возможных механизмах генерации жёсткого рентгеновского излучения при солнечных вспышках. Астроном.журн., 1967, т.44, № 2, с.328-335.

52. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П., Квантовая электродинамика, М., Наука, 1980, 704 с.

53. Bai Т., Ramaty R., Gamma-ray and microwave evidence for two phases of acceleration in solar flares. Solar Phys., 1976, v.49, N 2, p.343-358.

54. Lin R.P., Hudson H.S., Non-thermal processes in large solar flares. Solar Phys., 1976, v.50, N 1, p.153-179.

55. Kane S.R., Fenimore E.E., Klebesadel R.W., Laros J.G., Spatial structure of 100 keV X-ray sources in solar flares. Astrophys.J.Lett., 1982, v.254, N2, p.L53-L57.

56. Orwig L.E., Frost K.J,, Dennis B.R., Observations of solar flares on 1980 April 30 and June 7 with the hard X-ray burst spectrometer. Astrophys.J.Lett., 1981, v.244, N 2, P.L163-L166.

57. Семухин П.Е., Романшк А.Ф., 0 нетепловой интерпретации спектров жёсткого рентгеновского излучения солнечных вспышек. Препринт ФТИ АН СССР, В 814, Л., 1983, 32 с.

58. Гинзбург В.Л., Теоретическая физика и астрофизика, М., Наука, 198I, 504 с.

59. Gould R.J., Energy loss of fast electrons and positrons in a plasma. Physica, 1972, v.60, N 1, p.145-154.

60. Дорман Л.И., Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей,- М., Наука, 1975. 462 с.

61. Brown J.С., Temporal fine structure of X-ray from trapped . electrons in solar flares. Solar Phys., 1973, v.32, N 1, p.227-241.

62. Kelner S.R., Kotov Yu.D., Roshal' A.S., Russkikh V.N., Computer simulation of the time dependence of the proton energy spectra produced in proton and electron bremsstrahlung. Proc.XVII Inter.Cosmic Ray Conf., Paris, 1981, v.3, p.41-44.

63. Simnett G.M., Fast solar hard X-ray bursts and large- scale coronal structures. Astrophys.J., 1982, v.255, N 2, p.721-729.

64. Аллен К.У., Астрофизические величины, М.,Мир, 1977, 446 с.

65. Svestka Z., The phaze of particle acceleration in the flare development. Solar Phys., 1970, v.13, N 2, p.471-489.

66. Svestka Z., Fritzova-Svestkova L., Type II radio burstsand particle acceleration. Solar Phys., 1974, v.36, N 2, p.417-431»

67. Hoyng P., Brown J.C., van Веек H.P., High time resolution analysis of solar hard X-ray flares observed on board the ESR0TD-1A satellite. Solar Phys., 1976, .-, v.48, IT 2, p.197-254.

68. Семухин П.Е., Ковальцов Г.А., Особенности жёсткого рентгеновского излучения и ускорение электронов в солнечной вспышке 4 августа 1972 г. Тр.ХШ Ленинградского семинара по кос-мофизике, Л., 1983, с.45-54.

69. Bai Т., Ramaty R., Hard X-ray time profiles and acceleration processes in large solar flares. Astrophys.J.,1979, v.227, IT 2, p.1072-1081.

70. Kocharov G.E., Proc.VT European Regional Meeting in Astronomy, Dubrovnik, 1981, In Sunand planetary system, Ed. Fricke W., Teleki G., 1982, p.47;

71. Кочаров Г.E., Новые данные о генерации ядерных частиц и излучений во время солнечных вспышек. УФН, 1982, вып.137, № 3, с.532-534.

72. Bai Т., Second-phase acceleration versus second-step acceleration in solar flare. In Gamma-ray transients and related astrophysical phenomena, ed.Lingenfelter R.E., Hudson H.S., Worrall D.M., IT.Y., 1981, p.409-417.

73. Brown J.C., The deduction of energy spectra of non-thermal electrons in flares from the observed dynamic spectra of hard X-ray bursts. Solar Phys., 1971, v.18, N 3, p.489-503.

74. Кочаров Г.Е., Солнечные ¿f-кванты и нейтроны. Изв.АН СССР, сер.физ., 1983, т.47, В 9, е. 1716-1737.

75. Chupp E.L., High energy particle acceleration in solar flares. observational evidence. - Solar Phys., 1983, v.86, IT 1, p.383-393.

76. Lin R.P., Mewaldt R.A., van Hollebeke M.A.I., The energy spectrum of 20 keV 20 MeV electrons accelerated in large solar flares. - Astrophys.J., 1982, v.253, N 2, p.949-962.

77. Pesses M.E., Klecker В., Gloeckler G., Hovestadt D., Observations of interplanetary energetic charged particles from gamma-ray line solar flares. Proc.XVII Inter.Cosmic Ray Conf., Paris, 1981, v.3, p.36-39.

78. Solar Geophys. Data, 1981, N 441-1.юз. Переяслова Н.К., Назарова М.Н., Петренко И.Е., Проявление солнечной активности на ветви роста 21-го цикла в космических лучах по данным ИСЗ "Метеор", Геомагн.и аэрономия, 1980, т.20, № 6, с.977-981.

79. Yoshimori M., Okudaira K., Hirasima Y., Kondo I., Solar gamma-ray observations by the Hinotori sotellite. Proc. XVIII Inter.Cosmic Ray Conf., Bangalore, 1983, v.4,p.85-88.

80. Sakurai K., Behavior of high-energy particles associated with a solar flare on April 27, 1981. Proc.XVIII Inter. Cosmic Ray Conf., BANGALORE, 1983, v.4, p.93-96.

81. Croom D.L., Solar microwave bursts as indicators of the accurrence of solar proton emission. Solar Phys., 1971, v. 19, N 1, p.152-171.

82. McDonald P.B., Van Hollebeke M.A.I., Solar cosmic ray micro-events. in High energy phenomena on the Sun, ed. Ramaty R., Stone R.G., NASA, 1973, p.404-417.

83. Курт В.Г., Логачёв Ю.И., Писаренко Н.Ф., Рюмин С.П., Стол-повский В.Г., Ускорение частиц в малых вспышках. Тр.IX Ленинградского семинара по космофизике, Л., 1978, с.128-137.

84. Kurt V.G.,, Logachev Yu.I., Stolpovsky V.G., Daibog E.I., Energetic solar particle spectra according to Venera-11, 12 and Prognoz-5, 6. Proc. XVII Inter.Cosmic Ray Conf., Paris, 1981, v.3, p.69-72.

85. Simnett G.M., Relativistic electron events in interplanetary space. Space Sci.Rev., 1974, v.16, N 1/2,p.257-323.

86. Van Hollebeke M.A.I., Relative abundance of proton to helium nuclei in solar cosmic ray events. Proc.XIV Inter. Cosmic Ray Conf., Munchen, 1975, v.5, p.1563-1567.

87. Ramaty R., Colgate S.A., Dulk G.A., Hoyng P., Knight J.W., Lin R.P., Melrose D.B., Paizis C., Orrall P., Shapiro P.R., Smith D.F., Proc.Second Skylab Workshop Solar Flares, chapter 4, Boulder, Colorado, 1978.

88. Фиск Л.А., Богатые гелием-3 вспышки и связанные с этим вопросы о составе солнечных космических лучей.- Тр.Х Ленинградского семинара по космофизике,Л., 1979, с.21-36.

89. Кочаров Л.Г., Исследование природы аномального обогащения солнечных космических лучей гелием-3. Канд.диссертация, ЛПИ им.М.И.Калинина, Л., 1981.

90. Kahler S.W., Radio burst characteristics of solar proton flares. Astrophys.J., 1982, v.261, N 2, p.710-719.

91. Forman M.A., Ramaty R., Zweibel E.G., The acceleration and propagation of solar flare energetic particles. HASA

92. TM 83989, Goddard Space Flight Center, 1982.

93. Понтекорво Б.М.,'Тр.У1 Ленинградского международного семинара по космофизике, Л., 1974, с.109-110.

94. Коломеец Е.В., Мурзин B.C., Эксперимент по исследованию осцилляции и стабильности нейтрино (эксперимент "БАТИСС").- Изв.АН СССР, сер.физ., 1981, т.45, № 7, с.1346-1348.

95. Г.А.Базилевская, Ю.И.Стожков, Т.Н.Чарахчьян, Космические лучи, солнечная активность и поток нейтрино из Солнца.- Письма в ЖЭТФ, т.35, & 6. с.273-275.

96. Subramanian А., Current.Sci., 1979, v.48, N3, p.705-707. 123\* Ramaty R., Lingenfelter R.E., Galactic cosmic-rayelectrons. J.Geophys.Res., 1966, v.71, N 15, p.3687-3705.

97. Хаякава С., Физика космических лучей, т.1, М., Мир, 1973, 704 с.

98. Зацепин Г.Т., Кузьмин В.А., Генерация нейтрино в атмосфере.- ЖЭТФ, 196I, т.41, № 6, с.1818.

99. Choi M.C., Young Е.С.М., A Study of the cosmic ray muon neutrino intensities. Proс.XIV Inter.Cosmic Ray Conf., Munchen, 1975, v.6, p.2134-2137.

100. Домогацкий Г.В., Эрамжян P.A., Оценка скорости образования 37Аъ нейтрино космических лучей в эксперименте по регис трации нейтрино от Солнца. Изв.АН СССР, сер.физ.,1977,т.41, & 9, с.1969-197I.

101. Курочка Л.Н., Физические условия и особенности субтелескопической структуры вспышек. Тр.ХП Ленинградского семинара по космофизике, Л., 1982, с.160-175.

102. Хундхаузен А., Расширение короны и солнечный ветер, М., Мир, 1976, 304 с.

103. Лаврухина А.К., Ревина Л.Д., Малышев В.В., Сатарова Л.М., Су Хунгуй, Каличева И.С., Фирсова Л.Д., Дальнейшее исследование продуктов расщепления железа протонами с энергией 660 МэВ. Радиохимия, 1963, т.5, № 6, с.1152-1169.

104. Лаврухина А.К., Ревина Л.Д., Малышев В.В., Сатарова Л.М., Реакции глубокого расщепления ядер F& протонами с энергией 150 МеВ.- ЖЭТФ, 1963, т.44, № 5, с.1429-1436.

105. Brodzinski R.L., Roncitelli L.A., Cooper J.A., Wogman N.A.,

106. High-energy proton spallation of iron. PhysRev., 1971, v.C4, N 4, p.1257-1265.

107. Furukawa M., Shizuri K., Komura K., Sakamoto K., Tanaka S.,о f, pp

108. Production of A1 and Na from proton bombardment of Si, A1 and Mg. Nucl.Phys., 1971, V.A174, N 3, p.539-544.

109. Heydegger H.R., Turkevich A.L., Ginneken A.V.,

110. Walpole P.H., Production of 7Be, 22Ha and 28Mg from Mg, A1 and Si02 by protons between 82 and 800 MeV. Phys.Rev., 1976, V.C14, N 4, p.1506-1514.

111. Honda M., Lai D., Spallation cross sections for long-lived radionucleides in iron and light nuclei. Nucl.Phys., 1964, v.51, N 2, p.363-375.

112. Humes R.M., (p, n) cross sections at 6,75 MeV. Phys.Rev., 1963, V.130, N 4, p.1522-1524.

113. Gusakow M., Albouy G., Poffe N., Riehl C., Contribution a 1'etude des reactions (p, pn) a moyenne energie. J.Phys. Radium, 1961, v.22, N 3, p.636-645.

114. Jenking I.L., Wain A.G., Excitation function for radioactive isotopes produced by proton bombardment of Fe in energy range 5-39 MeV. J.Inorg.Nucl.Chem., 1970, v.32, N 11, p.1419-1428.

115. Korteling R.G., Garetto A.A., Jr., Energy dependence of

116. Na and production cross sections with 100- to

117. MeV protons. Phys.Rev., 1970, v.C1, N 6, p.1960--1971.

118. Michel R., Brinkmann G., Weigel H., Herr W., Measurement and hybrid-model analysis of proton-induced reactions with V, Fe and Co. Nucl.Phys., 1979, V.A322, N 1, p.40-60.

119. Michel R., Weigel H., Herr W., Proton-induced reactions on nickel with energies between 12 and 45 MeV. Z.Phys., 1978, N 3, p.393-402.7

120. Raisbeck G.M., Yiou F., Production cross sections for 'Be22and Na in targets of Si, Mg, Fe and Ni orradiated by 1, 2, 3 and 23 GeV protons. Phys.Rev., 1975, V.C12, N 3, p.915-920.

121. Raisbek G.M., Menninga C., Brodzinski R., Wogman W., Cross26section for the production of A1 from target of Si, A1 and Fe irradiated by protons of 600 MeV. Proc.XV Inter. Cosmic Ray Conf., Plovdiv, 1977, v.2, p.116-120.

122. Regnier S., Lagarde M., Simonoff G.N., Yokoyama Y.,26

123. Production de A1 dans Fe et Si par protons de 0,6 et

124. Gev. Earth Plan.Sci.Lett., 1973, v.18, N 1, p.9-12.

125. Remsberg L.P., Miller J.M., Study of (p, pn) reactions in medium weight nuclei at 370 MeV. Phys.Rev., 1963, v.130, N 5, p.2069-2076.

126. Shoen N.C., Orlov G., McDonald R.J., Excitation function for radioactive isotopes produced by proton bombardment of Fe, Co and W in the energy range from 10 to 60 MeV.- Phys.Rev., 1979, V.C20, N 1, p.88-92.

127. Sheffey D.W., Williams I.R., Fulmer C.B., Excitation functions for radioactive isotopes produced by proton-induced reactions in silicon. Phys.Rev., 1968, v.172, H 4, p.1094-1098.

128. Tanaka S., Furukawa M., Excitation functions for (p, n)--reactions with titanium, vanadium, chromium, iron and nickel up to 14 MeV. J.Phys.Soc.Japan, 1959, v.14, N 10, p.1269-1275.

129. Tanaka S., Furukawa M., Chiba M., Nuclear reactions of nickel with protons up to 56 MeV. J.Inorg.Nucl.Chem., 1972, v.34, N 11, p.2419-2428.

130. Epherre M., Seide S., Excitation function of 7Be and 11C produced in nitrogen by low-energy protons. Phys.Rev., 1971, v.C3, N 6, p.2167-2171.

131. Fontes P., Perron C., Lestrinquez J., Yiou F., Bernas R.,

132. Production cross sections of Li and Be isotopes in 1 ?

133. C by high-energy protons and OC -particles. Nucl. Phys., 1971, V.A165, H 2, p.405-412.

134. Glagola B.G., Viela V.E., Breuer H., Chant N.S., Hadasen A.,r

135. Roos P.G., Austin S.M., Mathews G. J., Production of He,c 7 71., 'Li and 'Be in the oL + reactions between 60-160 MeV. Phys.Rev., 1982, V.C25, N 1, p.34-45.

136. Jacobs W.W., Production of Li and B in proton and14.alpha-particle reactions on TT at low energies. Phys. Rev., 1974, v.C9, №6, p.2I34-2I43.

137. King C.H., Rossner H.H., Austin S.M., Chien W.S., ci+oi7reaction and the origin of 'Li. Phys.Rev. Lett., 1975, v.35, N 15, p.988-991.

138. Laumer H., Austin S.A., Panggabean L.M., Production ofthe light elements Li, Be and B by proton-induced1 ftspallation of 0. Phys.Rev., 1974, v.CIO, IT 9, p.1045-1049.

139. Mit1er H.E., Cosmic-ray production of deuterium, ^He, lithium, beryllium and boron in the galaxy. Astrophys. Space Sci., 1972, v.17, N 2, p.186-203.

140. Raisbeck G.M., Yiou P., Cross sections for the spallation production of I0Be in target N, Mg and Si. Phys.Rev., 1974, v.C9, IT 4, p.1385-1395.

141. Reyss J.L., Yokoyama Y., Guichard P., Production crossof. op 7 rn 7sections of Al, Na, Be from argon and of Be, Be26from nitrogen: implications for production rates of Al and "^Be in the atmosphere. Earth Plan.Sci.Lett., 1981, v.53, N 2, p.203-210.

142. Yiou P., Seide C., Bernas R., POrmation cross sections of lithium, beryllium and boron isotopes produced by the spallation of oxygen by high-energy protons. J.Geophys. Res., 1969, v.74, H 9, p.2447-2448.

143. Audouze J., Epherre M., Reeves H., Survey of experimental cross sections for proton-induceed spallation reactions m and 0. In High-energy nuclear reactions in astrophysics, ed. W.Shen, N.Y., Benjamin, 1967, p.255-273.

144. Лаврухина А.К., Ядерные реакции в космических телах, М., Наука, 1972, 256 с.

145. Кужевский Б.М., Радиоактивные ядра и фон гамма-излучения Спокойного Солнца.- Письма в Астрон.ж.,1977,т.З,$ I,с.26-28.

146. Назарова М.Н., Переяслова Н.К., Петренко И.Е., Проявление солнечной активности в минимуме 20-го цикла. Изв.АН СССР, сер.физ., 1977, т.41, №9, с. 1757-1764.

147. Fireman E.L., Solar-wind tritium limit and the mixing rate of the solar atmosphere. Astrophys.J., 1976, v.205, N I, p.268-272.3

148. Foreman E.L., De Felice J., D'Amico J., Solar wind ^H and "^C abundances and solar surface processes. Center for Astrophysics, Preprint N 509» Harvard, Massachusetts,1977, 16 p.

149. Muller E.A., Peytremann E., de la Reza R., The solar lithium abundance. Solar Phys., 1975, v.41, H I, p.53-65.

150. Davids C.N., Laumer H.W., Austin S.M., Production of the ligh elements lithium, beryllium and boron by protons spallation of I2C.- Phys.Rev., 1970, v.CI, U I. p.270-275.

151. Fontes P. , I0B and IIB production cposs sections in I2C spallation by protons and alpha particles: Application to cosmic ray propagation. Phys.Rev., 1977, V.CI5, N 6, p.2159-2168.

152. Moyle R.A., Glagola B.G., Mathews G.J., Viola V.F., nucleosynthesis of Li, Be and B: contributions from the p + I60 reaction at 50-90 MeV. Phys.Rev., 1978, v.CI9, H 3, p.631-640.

153. Raisbeck G.M., Lestringuez J., Yiou F., Gross sections for ^Li and ^Li production from the bombardment of I2C by 150- and 600 MeV protons and 880 MeV oi particles. -- Phys.Rev., 1972, v.C6, N 3, p.685-690.

154. Christensen-Dalsgaard J., On solar models and their periods of oscillation. Mon.lïot .R.Astr.Soc., 1982, v.I99, N 4, p.735-761.

155. Gabriel M., Scuflaire R., Noels A., The solar structure and the low five-minute oscillation. Astron.Astrophys., 1982, v.IIO, F I, p.50-53.

156. Fovfler W.A., Caughlan G.R., Zimmerman B.A., Thermonuclear reaction rates. Ann.Rev. Astron.Astrophys., 1975» v.13, N I, p.69-106.

157. Bernas R., Gradsztajn E., Reevs H., Schatzman E., On the nucleosynthesis of lithium, beryllium and boron. Ann. Physics, 1967, v.44, N 2, p.426-479.