

Активные процессы на Солнце и проблема солнечных нейтрино

В работе VIII Ленинградского Международного семинара (сентябрь 1976 г.) участвовало около 200 ученых, в том числе гости из Венгрии, Польши, Чехословакии, США, ФРГ.

На первом заседании выступил Г. Е. Кочаров с докладом о нерешенных проблемах ядерной астрофизики Солнца. Анализ 39 циклов эксперимента по регистрации солнечных нейтрино показывает, что поток высокоэнергетичных нейтрино значительно ниже предсказаний стандартной теории. Из многочисленных попыток интерпретации результатов нейтринных экспериментов выделено четыре: гипотеза о скачкообразных перемешиваниях в недрах Солнца; возможное отклонение распределения пар частиц от максвелловского; возможность горения ${}^3\text{He}$ в недрах Солнца; гипотеза о несоответствии химического состава поверхности Солнца в настоящее время и состава солнечного вещества в момент образования Солнечной системы. Во второй части доклада были рассмотрены новейшие результаты об обогащении корпускулярных потоков Солнца ${}^3\text{He}$. По мнению докладчика, наиболее привлекательной следует считать гипотезу об обогащении активной области ${}^3\text{He}$ за счет его притока из-под фотосферных областей с последующим ускорением частиц механизмом, эффективность которого пропорциональна Z^n/A , где Z — заряд частицы; A — массовое число; $n \geq 2$.

Всего на первом заседании было заслушано и обсуждено шесть докладов по нейтринной астрофизике.

В докладе С. С. Васильева предложена и количественно рассмотрена новая привлекательная возможность устранения расхождения между теорией и экспериментом по регистрации солнечных нейтрино. Обсуждено влияние плазменной турбулентности на функцию распределения частиц. Отмечено, что при наличии турбулентности за счет поднятия «хвоста» распределения увеличиваются эффективные сечения реакций, ответственных за энерговыделение, а это в конечном итоге обеспечивает низкие потоки высокоэнергетичных солнечных нейтрино.

С большим интересом был заслушан доклад В. А. Крага об уникальных экспериментальных данных, полученных во время полетов большой советской солнечной стратосферной обсерватории. На фотографиях видны гранулы, имеющие размеры 100—200 км. Анализ данных позволил выявить динамические особенности градиентов температуры, магнитного поля и механических движений в различных образованиях на Солнце.

Детальный анализ экспериментальных данных по мягкому рентгеновскому излучению солнечных вспышек освещался в докладе Дж. Ворпал (США). В нем отмечалось, что вспышка, как правило, имеет место во всей последовательности петель, а не в одиночной петле.

Важнейшая ключевая проблема солнечных вспышек — ускорение заряженных частиц — рассматривалась в докладе А. А. Корчака. Автором было проведено строгое различие между механизмом ускорения и его моделью. Решение проблемы формирования спектра ускоренных частиц сводится именно к построению модели ускорения. При детальном рассмотрении модели Ферми оказалось, что она не может быть применена к вспышечным явлениям без ее существенной модификации.

В докладе Б. В. Сомова обсуждалось нестационарное газодинамическое течение плазмы, возникающее в атмосфере при импульсном нагреве мощным пучком ускоренных во вспышке электронов.

Новейшие данные, полученные в экспериментах с космическими аппаратами «Пионер-10 и -11», приводились в докладе Дж. Симпсона (США). Эти эксперименты позволили изучить новые явления в межпланетном пространстве, происходящие при взаимодействии магнитных полей, выносимых солнечным ветром, с окружающими потоками заряженных частиц на радиальных расстояниях более 10 а. е. Прежде всего существование повторяющихся возрастных интенсивности протонов с энергией 1—10 МэВ. Речь идет о том, где ускоряются частицы — на Солнце или в межпланетном пространстве? Одновременные измерения потоков протонов и α -частиц в интервале 0,5—2 МэВ/нукл. на ИМП-8 (~1 а. е.) и аппаратах «Пионер-10 и -11» (~2,5 а. е.) дали возможность сделать вывод о локальном ускорении частиц, возможно, вблизи границ «совместно вращающихся областей взаимодействия» (СОВ), где наблюдаются ударные волны. Во второй части доклада обсуждалось происхождение вариаций интенсивности релятивистских электронов Юпитера, впервые обнаруженных в 1973 г. при приближении «Пионера-10» к планете. Основываясь на экспериментальных данных зависимости интенсивности электронов от времени в интервале от 1 до 10 а. е., можно сделать вывод о том, что основные кратковременные вариации интенсивности (прежде всего 25-дневные) потока электронов обусловлены модуляционными эффектами, возникающими от повторяющихся СОВ в межпланетном пространстве, а не прямой вариацией скорости утечки электронов из магнитосферы Юпитера и не механизмом ускорения электронов, связанным с СОВ.

Часть докладов, посвященная изучению Солнца по распространенности космогенных изотопов в природе и солнечно-земных связей, была прочитана на заключительном заседании.

С большим интересом заслушали доклад В. А. Дергачева об определении интенсивности космического излучения в прошлом по радиоуглеродным данным. Наблюдаемые вариации активности ${}^{14}\text{C}$ по годичным кольцам вплоть до 8000 лет от современности могут быть обусловлены различными астрофизическими и геофизическими явлениями в прошлом: 1) изменениями в глобальной интенсивности космического излучения вне Солнечной системы; 2) вариациями галактического космического излучения вследствие солнечных явлений; 3) изменениями геомагнитного поля от времени; 4) вариациями параметров перемешивания углерода в обменном резервуаре вследствие климатических изменений.

В. А. Дергачев отметил, что спектры данных по радиоуглероду и числу солнечных пятен сходны: имеются два основных пика, соответствующих периодам около 11 и 80 лет. Однако амплитуды гармоник для сопоставляемых значений разнятся. Так, основными гармониками для обогащенного ряда радиоуглеродных данных являются 80-летние, для ряда солнечных пятен — 11-летние цикличности. В результате анализа радиоуглеродных и палеомагнитных данных установлено четыре цикла: 600 и 360 лет обусловлены вариацией во времени геомагнитного поля; 80-летний цикл вызван

солнечной активностью; 36-летний — климатическими изменениями.

В докладе П. Повинца (ЧССР) рассмотрены возможности изучения солнечной активности в прошлом на основании измерения концентрации космогенных изотопов в лунных образцах. Лунные образцы (как скальные, так и песчаные) могут быть использованы для оценки вариации космического излучения и солнечной активности в прошлом. Анализ данных позволил автору предположить вариации солнечной активности в прошлом.

Большой интерес и оживленную дискуссию вызвал доклад Б. М. Владимирского о связи между явлениями на Солнце и в биосфере. Анализ результатов много-

численных экспериментов показал, что естественное электромагнитное поле Земли в диапазоне низких и особенно сверхнизких частот является важным экологическим фактором, и поэтому оно должно учитываться в современной биометеорологии и климатической медицине. В связи с тем, что возмущения электромагнитного поля Земли протекают квазипериодически, важную роль в реализации связи биологических показателей с солнечной активностью играют явления типа принудительной синхронизации би ритмов.

На закрытии семинара выступили С. Пинтер (ЧССР), Е. Багге (ФРГ) и Г. Е. Кочаров (СССР).

КОЧАРОВ Г. Е.

Научно-технические связи

Исследования по управляемому термоядерному синтезу

и физике плазмы в Англии

В соответствии с долгосрочной программой научно-технического сотрудничества с 20 по 31 октября 1976 г. в Великобритании находилась делегация ГКАЭ СССР, изучавшая состояние исследований по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу (УТС). В ходе визита она посетила Калэмскую лабораторию УАЭ Великобритании, лаборатории физики плазмы Оксфордского университета и Лондонского имперского колледжа, лаборатории высоковольтной техники и газового разряда Ливерпульского университета, отдел технической сверхпроводимости лаборатории им. Резерфорда и электротехническую фирму «Брентфорд электрик».

Основное внимание было уделено знакомству с состоянием и перспективами работ по УТС в Калэмской лаборатории, где сосредоточены практически все крупные программы по УТС и физике плазмы (за исключением работ по лазерному термоядерному синтезу). Ее штат насчитывает 825 человек, из них 260 научных сотрудников и дипломированных инженеров. Бюджет лаборатории в 1976 г. составлял 8,2 млн. ф. ст.

В Калэме делегация получила подробную информацию о ходе исследований на основных экспериментальных установках (табл. 1), о теоретических исследованиях, о работах по инженерным проблемам УТС, о со-

Характеристики основных термоядерных установок Калэмской лаборатории

Таблица 1

Название и тип установки	Основные размеры, см *	Магнитное поле, кГс	Плотность плазмы, см ⁻³	Температура, эВ		Время удержания плазмы, с	β **
				электронная	ионная		
CLEO, стелларатор	12; 90	< 20	2,5 · 10 ¹³	350	150	2 · 10 ⁻³	3 · 10 ⁻³
DITE, токамак	27; 117	28	3 · 10 ¹³	1000	350	5 · 10 ⁻³	~ 10 ⁻²
NBTX I пинч с реверсным полем	6; 100	10	1 · 10 ¹⁶	< 100	< 100	4 · 10 ⁻⁵	0,3—0,5
LEVITRON, мультиполь	10; 30	7	1 · 10 ¹²	~ 10	~ 10	2,5	< 10 ⁻⁴
TORSO, стелларатор	6,5; 40	20	< 10 ¹³	200	50	3 · 10 ⁻⁴	~ 10 ⁻³
TOSCA, токамак	10; 30	14	> 5 · 10 ¹³	300	100	3 · 10 ⁻⁴	~ 10 ⁻²
PF, плазменный фокус	0,1 · 1	2000	2 · 10 ¹⁹	2000	1000	2 · 10 ⁻⁸	0,7

* Малый и большой радиусы тороидальной плазменной камеры соответственно.

** β — отношение давления плазмы к давлению удерживающего магнитного поля.