

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКСОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

53(048)

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ
АКАДЕМИИ НАУК СССР**

(Ленинград, 3—6 апреля 1974 г.)

3—6 апреля 1974 г. состоялась выездная научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР в Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе АН СССР (Ленинград). На сессии были заслушаны следующие доклады:

1. Вступительное слово А. М. Прохорова.
2. В. М. Тучкович. Академии наук СССР — 250 лет.
3. Ж. И. Алферов. Гетеропереходы в интегральной оптике.
4. В. Л. Гинзбург. Происхождение космических лучей (современные проблемы).
5. Б. П. Захарченя. Проблема оптической ориентации электронных спинов в полупроводниках.
6. М. П. Петров, Г. А. Смоленский, В. Ф. Пашин, А. П. Паугурт. Двойной магнот-ядерный резонанс.
7. В. А. Крат. Перспективы развития физики Солнца в ГАО АН СССР.
8. М. С. Зверев. Перспективы развития фундаментальной астрономии.
9. Г. А. Чеботарев. Динамика малых тел Солнечной системы.

Ниже публикуется краткое содержание некоторых докладов.

523.165(048)

В. Л. Гинзбург. Происхождение космических лучей (современное состояние проблемы). Вопрос о происхождении космических лучей (к. л.) возник, по-существу, одновременно с самим обнаружением этих лучей около шестидесяти лет назад. Выяснение природы (состава) первичных к. л. у Земли затянулось, однако, на долгие годы — достаточно сказать, что существование ядерной компоненты к. л. было доказано и она начала изучаться только в 1948 г., а первичные электроны в к. л. были надежно обнаружены лишь в 1961 г. Не менее важен тот факт, что сведения о к. л. вдали от Земли длительное время полностью отсутствовали, и их удалось получить только с развитием радиоастрономии и установлением (в 1950—1952 гг.) синхротронной (магнитотормозной) природы основной части нетеплового космического радиоизлучения. В результате, если не считать нескольких важных пионерских работ (см., например, ^{1, 2}), анализ проблемы происхождения к. л. на основе данных наблюдений различного типа был начат немногим более двадцати лет назад. Но и такой срок представляется весьма значительным, и за это время было опубликовано много сотен статей, а продвижение вперед отмечено как яркими успехами, так и иногда некоторыми разочарованиями.

Основной успех — это установление того факта, что космические лучи (заряженные частицы с высокой энергией) являются универсальным и важным космическим феноменом: к. л. эффективно генерируются на звездах (в частности, на Солнце), при вспышках сверхновых звезд, вблизи пульсаров, в ядрах галактик и в квазарах. При этом энергия и давление к. л. в ряде случаев столь велики, что в значительной мере определяют энергетику и динамику некоторых областей, таких, как оболочки сверхновых звезд и радиоизлучающие «облака» в радиогалактиках. В результате можно сказать, что родилась специальная ветвь астрономии — астрофизика космических лучей или астрофизика высоких энергий (последнее определение шире, так как помимо космических лучей сюда относятся рентгеновская и гамма-астрономия, а также и исследование космических нейтрино с достаточно высокими энергиями). С другой стороны,

если сравнить состояние проблемы происхождения к. л., наблюдаемых у Земли, 20 лет назад ³, 10 лет назад ⁴ и в настоящее время ⁵, ⁶, то бросается в глаза отсутствие существенного прогресса в целом ряде важных вопросов. Во всяком случае, все еще остается спорным даже сам выбор между галактическими и метagalacticкими моделями происхождения к. л. В рамках же галактических моделей остается неясным вопрос о существовании и роли гало космических лучей, а в этой связи сохраняется неопределенность при выборе характерного возраста $T_{\text{сг}}$ космических лучей в Галактике (в моделях с гало $T_{\text{сг,h}} \sim (1-3) \cdot 10^8$ лет, в дисковых моделях $T_{\text{сг,d}} \sim (3-10) \cdot 10^8$ лет). Открытие пульсаров (1968 г.) укрепило уверенность в том, что именно вспышки сверхновых звезд (и, в частности, остающиеся после вспышек пульсары) являются эффективными источниками к. л., но доказать доминирующее значение этих источников все еще не удалось. Немало неясностей имеется и в отношении спектра электрон-позитронной компоненты к. л., механизма диффузии и изотропизации к. л., процессов их ускорения и т. д.

Таким образом, развитие астрофизики высоких энергий происходит неравномерно, и плодотворные «прорывы» в отдельных направлениях сочетаются с появлением трудностей и препятствий на пути решения целого ряда задач. Вместе с тем такая тенденция характерна вообще для всего развития науки, а в данном случае лишь ярко выражена в связи с исключительной трудностью исследования некоторых астрофизических проблем. Тем самым упомянутые «разочарования», возникающие в области изучения проблемы происхождения к. л., не являются отражением каких-то принципиальных просчетов в оценке значения и конкретных результатов астрофизики высоких энергий, а обусловлены необоснованным ожиданием быстрых успехов одновременно во всех направлениях. Так или иначе, можно констатировать, что разнообразие исследований, связанные с проблемой происхождения к. л., проводятся во все возрастающем масштабе. Об этом свидетельствуют, в частности, как последняя международная конференция по физике космических лучей ⁵, так и дискуссия о происхождении к. л. ⁶, проводившаяся 20—21 февраля 1974 г. в Лондонском Королевском обществе. К сожалению, автор настоящего доклада не имел возможности участвовать на этих конференциях, но на вторую из них направил доклад, подготовка которого дала повод подвести известные итоги и сформулировать задачи дальнейших исследований. Соответствующий материал используется и в настоящем докладе, основное содержание которого отражено ниже лишь весьма фрагментарно.

При всей плодотворности радиоастрономического метода изучения к. л. вдали от Земли нужно помнить, что этот метод непосредственно относится лишь к электронной компоненте, причем и в этом случае связан с дополнительными предположениями, касающимися напряженности магнитного поля. Переход же от данных об электронной компоненте к. л. к основной, протонно-ядерной, их компоненте возможен, только если считать, например, отношение интенсивностей упомянутых компонент вдали от Земли таким же, как по данным измерений у Земли. Между тем использование методов гамма-астрономии открывает в принципе возможность непосредственно изучать протонно-ядерную компоненту к. л. вдали от Земли ⁷⁻⁹. Когда такой способ приведет к достаточно надежным и разнообразным результатам (можно надеяться, что это произойдет в ближайших пять лет), вся астрофизика высоких энергий поднимается на новую ступень.

Лишь в 1973 г. удалось ¹⁰ разделить в к. л. изотопы бериллия, что позволило (хотя и с дополнительными предположениями ¹¹), по содержанию радиоактивного изотопа ¹⁰Be, измерить возраст к. л. $T_{\text{сг}}$. К сожалению, неточность первых данных о количестве ¹⁰Be еще велика и не дает возможности надежно оценить время выхода к. л. из Галактики. Однако значение $T_{\text{сг}} \gtrsim 10^8$ лет, отвечающее выраженному гало, еще ни в какой мере не исключено ¹¹. Все другие известные данные также не противоречат представлению о том, что «область захвата» к. л. в Галактике представляет собой уплощенное или даже квазисферическое гало с характерной полутолщиной (радиусом) $R_{\text{min}} \sim 2-10$ кпс (в плоскости диска эффективный радиус «области захвата» $R_{\text{max}} \sim 10-15$ кпс).

Рождение гамма-астрономии и совершенствование установок для анализа химического и изотопного состава к. л. — это лишь два примера, происходящего во всех направлениях улучшения технических средств и методов исследования различных компонент к. л. на баллонах *) и спутниках, на земной поверхности (при изучении широких ливней) и под Землей (при изучении анизотропии к. л. высокой энергии и т. д.). Результаты соответствующих экспериментов и наблюдений, а также теоретических исследований (упомянем, например, об учете пламенных эффектов при диффузии и изотропизации к. л. ¹⁴) позволят, вероятно уже в пределах текущего десятилетия, выяснить немало неясных сейчас вопросов в области астрофизики высоких энергий.

*) Фактически использование баллонов до сих пор остается наиболее плодотворным. На баллонах были проведены как упомянутая работа по разделению изотопов ¹⁰, так и исследования, приведшие к обнаружению в к. л. сверхтяжелых ядер вплоть до урана ¹². Упомянем также о ряде новых результатов, свидетельствующих о различии в энергетических спектрах равных ядер (при этом, в частности, отношение потоков вторичных ядер к первичным уменьшается с энергией) ¹³.

Что же касается современного состояния конкретной проблемы происхождения к.л., наблюдаемых у Земли, то докладчик, с учетом всех известных ему новых данных, продолжает считать наиболее вероятной модель, обсуждавшуюся ранее^{3,4}. В этой модели основная часть к.л. у Земли, по крайней мере при энергиях $E \lesssim 10^{18} - 10^{19}$ эв, имеет галактическое происхождение. Галактические к.л. заполняют область квазисферической или уплощенной формы, но значительно большую, чем размеры галактического газового и даже радиодиска (речь, таким образом, идет о галл космических лучей). Основными источниками к.л. в Галактике являются вспышки сверхновых звезд, включая сюда и ускорение к.л. вблизи пульсаров, остающихся в результате вспышек. Отметим, что в случае электронной компоненты к.л. ее галактическое происхождение уже строго доказано (это произошло после открытия в 1965 г. реликтового теплового радиоизлучения с температурой 2,7 °К; комптоновские потери, происходящие при движении электронов в поле такого излучения, не позволяют достигать Галактики частицам электронной компоненты к.л. из других галактик). Хотя в случае протонно-ядерной компоненты аналогичное доказательство еще отсутствует, метагалактические модели происхождения этой компоненты по-прежнему представляются нам весьма мало вероятными; можно думать, что окончательную ясность в этом отношении внесет гамма-астрономический метод.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. M. Hillas, Cosmic Rays, N. Y.—L. Pergamon Press, 1972.
2. S. Rosen, Selected Papers on Cosmic Ray Origin Theories, Ed. S. Rosen, N. Y., Dover Publ., 1969.
3. В. Л. Гинзбург, УФН 51, 343 (1953); Fortschr. Phys. 1, 659 (1954).
4. V. L. Ginzburg, S. I. Syrovatskii, Origin of Cosmic Rays, N. Y., Pergamon Press, 1964.
5. 13th Intern. Cosmic Ray Conference. Conference Papers, Denver, USA, 1973.
6. The Origin of the Cosmic Radiation. Discussion in Royal Society (20—21 February 1974), Proc. Roy. Soc. (в печати).
7. В. Л. Гинзбург, УФН 108, 273 (1972).
8. D. A. Kniffen, R. C. Hartman, D. J. Thompson, C. E. Fichtel, Astrophys. J. (Lett.) 186, L105 (1973).
9. А. М. Гальпер, В. Г. Кириллов-Угрюмов, Б. И. Лучков, УФН 112, 481 (1974).
10. W. R. Webber, J. A. Lezniak, J. Kish, S. V. Dample, Astrophys. and Space Sci. 24, 17 (1973).
11. V. L. Prishchep, V. S. Ptuskin, Astrophys. and Space Sci. (1974) (в печати).
12. E. K. Shirk, P. B. Price, E. J. Kobetich, W. Z. Osborne, L. S. Pinsky, R. D. Eandi, R. B. Rushing, Phys. Rev. D7, 3220 (1973).
13. W. R. Webber, Reporter Paper on 13th Intern. Conference on Cosmic Rays, Denver, USA, August 17—30, 1973.
14. V. L. Ginzburg, V. S. Ptuskin, V. N. Tsytovich, Astrophys. and Space Sci. 21, 13 (1973) (краткое изложение: Изв. АН СССР, сер. физ. 37, 1150 (1973)).

539.183.4(048)

Б. П. Захарченя. Проблема оптической ориентации электронных спинов в полупроводниках. Если среда поглощает циркулярно поляризованный свет, то вследствие спин-орбитального взаимодействия магнитные моменты атомов ориентируются. Этот общий принцип намагничивания вещества светом был с успехом применен в конце 40-х годов Кастлером для оптической ориентации в газах. В настоящее время это весьма развитое направление физики называют обычно «оптической накачкой в газах».

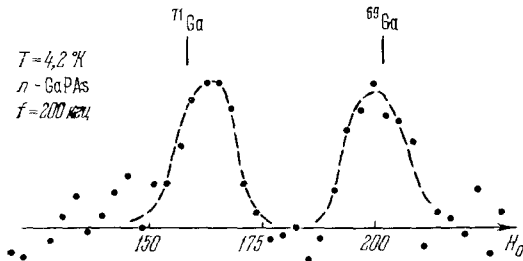
В течение ряда лет делались многочисленные попытки осуществить оптическую накачку в твердом теле. Для этой цели было поставлено несколько успешных экспериментов для кристаллов, легированных парамагнитными ионами элементов группы железа и редких земель. Однако, в силу ряда причин, эти исследования широкого размаха не получили.

Наиболее перспективными для развития идей оптического намагничивания явились полупроводники¹. Экспериментальные и теоретические исследования по оптической ориентации спинов в полупроводниках начали быстро развиваться в течение последних четырех лет.

Степень оптической ориентации P_0 спинов неравновесных электронов, «заброшенных» светом в зону проводимости, составляет 50% для кубических полупроводников, имеющих двукратно вырожденную зону проводимости S -типа и четырехкратно вырожденную верхнюю валентную зону. Мерой степени спиновой поляризации электронов

является степень циркулярной поляризации рекомбинационного излучения ориентированных носителей ρ . При этом ρ_0 (степень поляризации в момент рождения поляризованного электрона) составляет $\rho_0/2$. Наведенный магнитный момент релаксирует со временем $T = \tau\tau_s/(\tau_s + \tau)$, где τ_s — время спиновой релаксации, а τ — время жизни электрона. В результате имеем $\rho = \rho_0\tau_s/(\tau_s + \tau)$. Наиболее просто детектировать возникновение ориентации по степени поляризации рекомбинационного излучения в полупроводниках p -типа, где нет сильного фона неполяризованного излучения, создаваемого основными неориентированными носителями².

Опыты по получению ориентированных носителей и их оптическому детектированию, интенсивно развиваемые в ФТИ им. Ф. А. Иоффе АН СССР, позволили наблюдать ряд важных физических закономерностей в полупроводниках. Наблюдалась зависимость степени ориентации от энергии возбуждающего фотона, подтверждающая теорию, развитую Перелем и Дьяконовым (см.³). В достаточно чистых кристаллах удалось наблюдать своеобразный эффект перемагничивания (изменение направления среднего спина ориентированных электронов) при создании ориентированных носителей фотонами с энергией, отвечающей переходам из нижней валентной зоны, отщепленной спин-орбитальным взаимодействием⁴. Было обнаружено влияние поверхности на эффект оптической ориентации, изучена температурная зависимость эффекта оптической ориентации для ряда полупроводников⁴, исследовано влияние деформаций в полупроводнике на оптическую ориентацию⁵.



Пики ядерной намагниченности изотопов Ga в кристалле GaPAs, обнаруженные в условиях ядерного резонанса на частоте модуляции света по поляризации.

Напряженность внешнего магнитного поля H_0 дана в эрстедах.

Вследствие прецессии спинов носителей в достаточно слабых полях происходит деполаризация рекомбинационного излучения за время одного или нескольких ларморовских циклов. На основе этого эффекта (аналог эффекта Ханле в газах) может быть произведено сравнение скорости релаксации магнитного момента T^{-1} со скоростью ларморовской прецессии. Таким методом были определены времена τ и τ порядка $10^{-10} - 10^{-11}$ сек. Была изучена зависимость времени релаксации и времени жизни от температуры и степени легирования образца.

Использование в опытах по оптической ориентации кристаллов твердых растворов GaAlAs и GaPAs, в которых подбором состава можно регулировать ширину запрещенной зоны, позволило использовать в качестве источника накачки гелий-неоновый лазер и гетеролазеры, что увеличило эффективность накачки. В этих условиях можно было поставить вопрос о непосредственном измерении магнитного момента, созданного поляризованным светом в кристалле.

Намагниченность кристалла возникает вследствие двух причин: в результате ориентации неравновесных носителей (электронный магнитный момент) и вследствие динамической ориентации ядер (ядерный магнитный момент). Можно показать, что при освещении кристаллов указанных выше твердых растворов гелий-неоновым лазером в освещенном участке возникает всего 10^{11} ориентированных ядер. Магнитное поле, создаваемое таким магнитным лепестком, не превышает 10^{-7} эс. Такое небольшое поле было измерено Флейшером и Компаном в условиях ядерного резонанса, наблюдавшегося на частоте модуляции света по поляризации. Как и во всяком параметрическом резонансе, соответствующие пики узки (см. рисунок).

Были произведены также непосредственные измерения намагниченности образца вследствие ориентирования светом электронных спинов.

Поскольку S -электроны могут проникать в атом, отличной от нуля оказывается вероятность нахождения электрона на ядре $|\psi(0)|^2$. При динамической поляризации ядер вследствие сверхтонкого контактного взаимодействия возникает регулярное магнитное поле, действующее со стороны ядра на спин электрона.

Воздействие таких магнитных полей, достигающих величин в несколько килоэрстед, на процессы спиновой релаксации ориентированных электронов в полупроводниках было обнаружено Екимовым и Сафаровым. Используя такую связь ядерной и электронной спиновых систем, они осуществили оптическое детектирование ЯМР в полупроводниках по наблюдению изменения степени циркулярно поляризованного рекомбинационного излучения носителей в условиях ядерного резонанса⁶.

Оптическая ориентация электронных, ядерных и экситонных магнитных моментов в полупроводниках является тонким и чувствительным методом изучения физи-

ческих процессов в полупроводниках. Большие возможности имеет этот метод и для полупроводникового материаловедения.

Можно думать, исходя из аналогии с оптической накачкой в газах, что дальнейшие исследования по оптической ориентации приведут к созданию полупроводниковых квантовых магнитометров и ядерных гироскопов. Представляется также возможность получения потоков поляризованных фотоэлектронов значительной интенсивности при фотоэффекте под действием циркулярно поляризованного света. При определенных условиях имеется возможность осуществления адиабатического размагничивания и охлаждения вещества светом.

Поставленные эксперименты и особенно опыты по непосредственному измерению намагниченности кристаллов светом показывают, что воздействие циркулярно поляризованного света на вещество в определенных условиях аналогично воздействию внешнего магнитного поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. Lampré, Phys. Rev. Lett. 20, 491 (1968).
2. R. Parsons, *ibid.* 23, 1152 (1969); А. И. Екимов, В. И. Сафаров, Письма ЖЭТФ 12, 236 (1970); П. Б. Захарченя, В. Г. Флейшер, Р. И. Джиноев, *ibid.* 13, 4 (1971).
3. М. И. Дьяконов, В. И. Перель, ЖЭТФ 60, 1954 (1971).
4. В. Р. Захарченя, Proc. of the Intern. Conference on Physics of Semiconductors, v. 2, Warszawa, 1972, p. 1315.
5. В. Л. Векуа, Р. И. Джиноев, Б. П. Захарченя, Е. Л. Ивченко, В. Г. Флейшер, ЖЭТФ 66, 1790 (1974).
6. В. Л. Берковиц, А. И. Екимов, В. И. Сафаров, ЖЭТФ 65, 346 (1973); М. И. Дьяконов, В. И. Перель, *ibid.*, стр. 362.

538.114(048)

М. П. Петров, Г. А. Смоленский, В. Ф. Пашин, А. П. Паугурт. Двойной магно-ядерный резонанс. Впервые экспериментально и теоретически исследовано взаимодействие ядерных моментов с параметрическими спиновыми волнами в ферритах. Исследования проводились на поля- и монокристаллах хорошо известного ферромагнетика $Y_3Fe_5O_{12}$ с использованием установки, блок-схема которой приводится на рис. 1. Установка представляет собой сочетание импульсного спектрометра для наблюдения ядерного спинового эха и аппаратуры для импульсного возбуждения в образце параметрических спиновых волн.

Эксперименты показали, что возбуждение в образце с помощью СВЧ импульса параметрических спиновых волн приводит к уменьшению интенсивности сигнала ядерного эха-ядер ^{57}Fe с характерной временной зависимостью, показанной на рис. 2. Подробные исследования зависимости интенсивности обычного и стимулированного эха от времени приложения СВЧ импульса и его длительности показали, что влияние параметрических спиновых волн определяется ускорением поперечной ядерной релаксации. При этом степень изменения скорости релаксации может достигать 1000 и более раз.

Теоретический анализ процессов ядерной релаксации под действием параметрических спиновых волн показал, что обнаруженное взаимодействие описывается про-

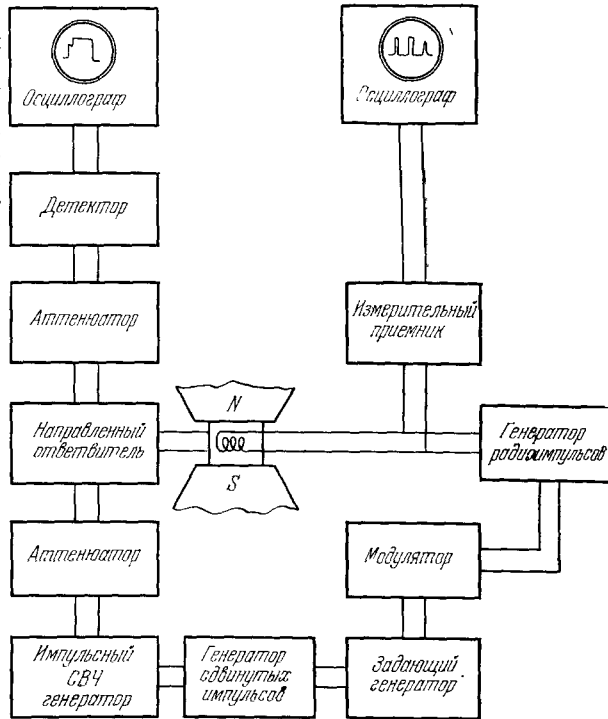


Рис. 1. Блок-схема установки для наблюдения двойного магно-ядерного резонанса.

цессами двухмагнонного рассеяния спиновых волн на ядерных моментах. Благодаря большой плотности состояний параметрических магнонов их рассеяние вызывает значительные флуктуации локального магнитного поля на ядрах, приводящие к ускорению поперечной ядерной релаксации. Согласно этой модели получено следующее выражение для скорости поперечной ядерной релаксации $1/T_{2ПВ}$, обусловленной рассеянием параметрических спиновых волн на ядерных моментах:

$$\frac{1}{T_{2ПВ}} = \frac{\omega_0^2}{s^2} \left(\frac{n}{N} \right)^2 \frac{1}{C \Delta \omega_k}$$

где ω_0 — частота ЯМР, s — электронный спин, n — число возбужденных в образце спиновых волн, N — нормировочная константа, характеризующая максимально возможное в образце число спиновых волн, $\Delta \omega_k$ — затухание (ширина спектра) спиновых волн, $C = 2 \div 4$ — некоторая константа, зависящая от пространственного распределения волновых векторов спиновых волн. Рассчитанные с его помощью времена релаксации находятся в качественном согласии с полученными экспериментально.

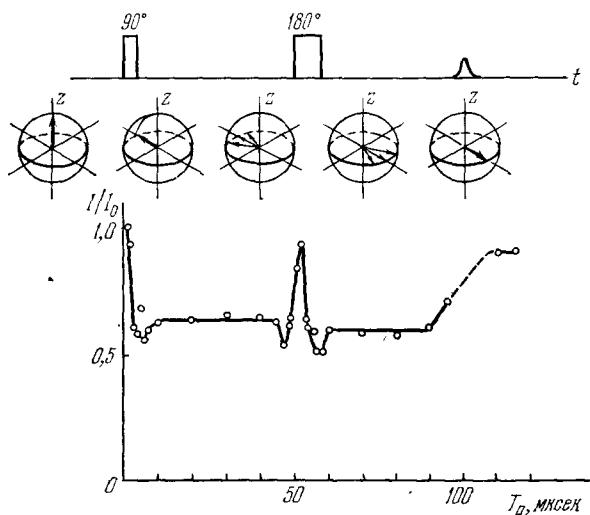


Рис. 2. Зависимость интенсивности сигнала ядерного спинного эха ^{57}Fe в $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, полученного с помощью 90- и 180-градусных радиочастотных импульсов, от времени задержки (T_d) импульса СВЧ, возбуждающего спиновые волны, относительно начала первого радиочастотного импульса.

Превышение мощности над порогом возбуждения спиновых волн — 12 дБ, $H_0 = 1050$ э.

Обнаруженное явление взаимодействия ядерных моментов с параметрическими спиновыми волнами — двойной магнон-ядерный резонанс (ДМЯР) — благодаря своей чувствительности к свойствам возбужденной электронной спиновой системы, а также к пространственному положению ядерной намагниченности может представлять интерес для физики магнитных явлений и других областей физики твердого тела.

Явление ДМЯР может найти также важное практическое использование. Известно, например, что в настоящее время проявляется большой интерес к использованию ядерного спинного эха в магнитных материалах для создания систем запоминания и обработки информации в радиочастотном диапазоне (управляемые дисперсионные линии задержки, оптимальные фильтры, устройства для сжатия частотно-модулированных сигналов и т. д.). Для того чтобы обработать длинные импульсы и иметь большее время задержки, материалы, используемые для создания указанных устройств, должны иметь максимально длинные времена релаксации. С другой стороны, наличие длинных времен релаксации ограничивает быстродействие таких систем и может значительно усложнить расшифровку обрабатываемых сигналов. Применение явления ДМЯР в указанных устройствах даст возможность оперативного управления параметрами этих устройств, что позволит повысить быстродействие и исключить появление паразитных сигналов.

Материалы исследований опубликованы в работах: М. П. Петров, В. Ф. Пашин, А. П. Паугурт, Письма ЖЭТФ 12, 359 (1970); М. П. Петров, Г. А. Смоленский, В. Ф. Пашин, А. П. Паугурт, ФТТ 13, 2374 (1971); ЖЭТФ 62, 301 (1974); Авторское свидетельство на изобретение № 378939, Открытия изобретения..., № 19 (18.V.1973 г.).

523.745(048)

В. А. Крат. Перспективы развития физики Солнца в ГАО АН СССР. Основными задачами физики Солнца в настоящее время являются:

1. Исследование закономерностей движения и развития плазменных конфигураций на Солнце в наблюдательном и теоретическом аспекте, рассматриваемые как часть работ по физике плазмы.

2. Исследование солнечной активности и ее прогноз.

3. Изучение солнечно-земных связей.

Полнота исследования, необходимая для решения задач физики Солнца, может быть достигнута при проведении комплексных наблюдений во всех участках спектра от рентгеновских лучей до радиоизлучения. В этом случае может быть получена полная картина явлений во всех солнечных образованиях на уровнях от фотосферы до короны. При этом необходимо стремиться к возможно большему оптическому разрешению. Относительное разрешение ближе к теоретическому в настоящее время дают только наблюдения из стратосферы. Чрезвычайно важно, чтобы и для наземных телескопов разрешение было наибольшим и было бы в наилучших случаях не хуже чем в два раза по сравнению со стратосферными установками современных телескопов оригинальной конструкции в Советском Союзе в таких местах, как Памирское плато, где по нашим данным астроклимат является наилучшим не только в нашей стране, но и во всем мире, что является сейчас настоятельной потребностью науки. Следует учесть также, что благодаря исключительно высокой сухости воздуха Памир является у нас наилучшим местом наблюдений Солнца и других космических объектов в инфракрасном диапазоне спектра.

Для службы Солнца совершенно необходимо обеспечить астрономические станции от Уссурийска до Кубы стандартным и первоклассным современным оборудованием, что является весьма срочным, так как ранее изготовленные ЛОМО хромосферно-фотосферные телескопы уже повсеместно вышли из строя.

Успешные полеты большой советской стратосферной солнечной станции 1970 и 1973 гг. позволили получить большой научный материал, обработка которого дала возможность судить не только о движениях малых элементов в фотосфере и хромосфере Солнца, но и о тонкой структуре фотосферных магнитных полей. В результате произошли серьезные изменения в фундаментальных представлениях о структуре и физике солнечной плазмы. Для продолжения и расширения стратосферных исследований необходимо в ближайшие годы изготовить еще две специальные высотные станции для наблюдений в далеком ультрафиолетовом конце спектра (около 2000 Å) и в инфракрасном и субмиллиметровом диапазоне. Совершенно необходимо использовать опыт стратосферных исследований для создания солнечных и других телескопов для наблюдений в условиях космоса и поверхности Луны. На очереди создание большой солнечной космической обсерватории по типу солнечной стратосферной обсерватории.

Данные о стратосферной обсерватории опубликованы в книге В. А. Крата и Л. М. Котляра «Баллонная астрономия» (Л., «Наука», ЛО, 1972).

523.51.6(048)

Г. А. Чеботарев. Динамика малых тел Солнечной системы.

1. Под малыми телами в Солнечной системе мы понимаем астероиды (малые планеты), кометы и метеоры. Астероиды образуют кольцо, расположенное между орбитами Марса и Юпитера. Общее количество астероидов, доступных наблюдениям на современных инструментах (т. е. ярче 19-й звездной величины), превышает по некоторым подсчетам сто тысяч.

Кометы являются единственным источником информации о недоступной для наших телескопов внешней области Солнечной системы за пределами орбиты Плутона. Общее количество комет оценивается сотнями миллионов.

Метеоры можно рассматривать как продукт взаимных столкновений астероидов и распада кометных ядер.

Изучение динамики малых тел Солнечной системы позволяет решить сложные вопросы, связанные с их происхождением, и тем самым помогает глубже понять общую картину происхождения и эволюции Солнечной системы в целом.

В связи с активным освоением человеком околоземного космического пространства значительно увеличился интерес к малым планетам. Специалисты в США отмечают важность организации поисков малых планет, приближающихся к Земле на близкое расстояние. Среди них можно найти тела, удобные для мягкой посадки. Малые планеты такого типа открывают возможность для научных экспериментов, которые неосуществимы на Луне, Марсе, Венере и на искусственных спутниках Земли.

2. Кольцо малых планет является уникальным образованием в Солнечной системе, однако его существование не является случайным, а тесно связано с общим процессом эволюции системы. Об этом говорит граничное положение кольца астероидов между двумя резко отличными по своим физическим характеристикам группами

внутренних планет (Меркурий, Венера, Земля, Марс) и внешних планет-гигантов (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун), а также соответствие центральной зоны кольца известному закону планетных расстояний Боде — Тициуса.

Основным источником информации для решения вопроса о происхождении и эволюции кольца астероидов является современное распределение орбит планет в пространстве и распределение малых планет по их массам. Дополнительные сведения могут быть получены при изучении физических характеристик астероидов — в первую очередь в результате изучения их формы и вращения.

Международное издание Института теоретической астрономии «Эфемериды малых планет» содержит обширную и исключительно ценную информацию об элементах орбит почти двух тысяч астероидов. Эта информация использована в теоретических работах автора, которые были начаты несколько лет назад.

В этих работах раскрыта тонкая структура кольца малых планет и впервые намечены основные этапы его эволюции.

3. Новые возможности для теоретических исследований открылись после опубликования в 1970 г. Паломар—Лейденского обзора слабых астероидов.

На Паломарской обсерватории (США) были получены 130 снимков эклиптикальной зоны, на которых открыто более 200 слабых астероидов и для них затем вычислены орбитальные элементы, достаточно точные для статистических исследований.

Систематическое изучение эволюции орбит астероидов Паломар—Лейденского обзора методом численного интегрирования на ЭВМ на длительных интервалах времени позволило открыть астероиды с необычным характером движения. В конце 1973 г. были обнаружены четыре астероида, проникающих в сферу действия Юпитера и испытывающих «катастрофические» изменения орбит. Существование таких необычных астероидов было предсказано в работе, опубликованной автором в «Астрономическом журнале» в 1972 г. Кроме того, в 1973 г. были открыты новые типы движения планет так называемой «тройной» группы.

ЛИТЕРАТУРА

Г. А. Чеботарев, М. Я. Шамова, *Астрон. ж.* 49, 1107 (1972); Г. А. Чеботарев, *ibid.* 50, 1071 (1973); 51(1974); *Вестн. АН СССР*, № 12, 62 (1973); сборник «Малые планеты», М., «Наука», 1973, стр. 255; Эфемериды малых планет на 1974 г. Отв. редактор Г. А. Чеботарев, Л., «Наука», ЛО, 1973.