

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКСОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

53

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

(26—27 апреля 1972 г.)

26 и 27 апреля 1972 г. в конференц-зале Физического института имени П. Н. Лебедева АН СССР состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

1. Е. П. Аксенов, Е. А. Гребеников, В. Г. Демин, Г. Н. Дубошин, М. Д. Кислик. Современные задачи и методы небесной механики.

2. В. Б. Брагинский, А. Б. Манукин, Е. И. Попов, В. Н. Руденко, А. А. Хорев. Поиски гравитационного излучения внеземного происхождения.

3. В. И. Пустовойт. Эффекты, связанные с генерацией фононов в полупроводниках.

4. Л. В. Дубовой, А. Г. Смирнов, В. Г. Смирнов, Д. И. Стаселько. Использование голографии для исследования процессов в термоядерной плазме и движущемся дуговым разряде.

Ниже публикуется краткое содержание трех докладов.

В. Б. Брагинский, А. Б. Манукин, Е. И. Попов, В. Н. Руденко, А. А. Хорев. Поиски гравитационного излучения внеземного происхождения. 1. В этой работе представлены результаты первой серии измерений на двух гравитационных антеннах с целью обнаружения на фоне броуновских колебаний одновременных откликов, вызванных гравитационным излучением от внеземных источников. Антенны, имевшие параметры, близкие к параметрам антенны Вебера¹ ($m = 1,3 \cdot 10^6$ г, $f_{\text{квадруп}} = 1640$ ц, $Q = 10^6$, время релаксации $\tau^* = 20$ сек), были помещены в вакуумные камеры ($p < 1 \cdot 10^{-4}$ тор), удаленные друг относительно друга на расстояние 20 км. Антисейсмическая изоляция антенн была такой же, как и в работах¹. В отличие от работ¹, для измерения малых квадрупольных колебаний антенны были использованы модуляционные емкостные датчики смещений; в работе¹ пьезодатчики регистрировали натяжения. Емкостный датчик преобразовывал амплитуду колебаний $4,5 \cdot 10^{-14}$ см (это соответствует $\sigma_{\text{броун}}$ — среднеквадратичной амплитуде броуновских колебаний) в радиочастотный сигнал с амплитудой $\approx 4 \cdot 10^{-7}$ в.

Подробно устройство датчика и система абсолютной пьезомоторной калибровки антенны описаны в работе². Амплитуда колебаний с осциллографа записывалась на фото пленку (скорость протяжки 0,6 мм/сек, диаметр пятна луча меньше 0,2 мм), что позволяло, без использования электронной схемы совпадений, различать на фото пленке изменение амплитуды колебаний с временем разрешения не хуже 0,3 сек. Регистрирующая аппаратура каждой из антенн была расположена рядом с антенной, в отличие от работ¹. Синхронизация записей производилась с помощью радиосигналов точного времени и хронометров, в промежутках между часовыми метками радиосигналов.

2. Обработка одновременных записей 20 суток дала следующие результаты:

а) Чувствительность датчика позволила измерять изменения амплитуды колебаний квадрупольной моды антенны за время $\hat{\tau} = 2$ сек, равное $2 \cdot 10^{-14}$ см, что соответствует среднеквадратичному флуктуационному уходу амплитуды броуновских колебаний $\delta x_0 = \sigma_{\text{броун}} \sqrt{2\hat{\tau}/\tau^*} \approx \sigma_{\text{броун}}/2$ (см. подробнее³).

Для длительных участков записей (порядка 300 τ^*) проверялась справедливость двух гипотез: I — соответствует ли измеренное абсолютное среднеквадратичное значение амплитуды колебаний вычисленному $\sigma_{\text{броун}}$; II — является ли распределение амплитуды колебаний рэлеевским с предвычисленной по известным m , T и $f_{\text{квадруп}}$

дисперсией. Не было обнаружено статистически значимого расхождения между экспериментальными результатами и предсказаниями, соответствующими этим гипотезам (применялись F -критерий и K (λ)-критерий).

б) Обнаружено появление в обеих антеннах относительно редких всплесков колебаний явно нетеплового происхождения (превышавших по частоте статистические предсказания). Статистика этих всплесков характеризуется следующими данными:

1) резкое изменение амплитуды δx_0 на величину $3\sigma_{\text{броун}}$ за время $\hat{\tau} = 2$ сек происходит в среднем 100 раз в сутки, на величину $5\sigma_{\text{броун}} - 20$ раз в сутки; 2) превышение уровня $3\sigma_{\text{броун}}$ (с длительностью фронта от 0 до 20 сек) происходит в среднем 100 раз в сутки, уровня $5\sigma_{\text{броун}} - 40$ раз в сутки; статистически ожидаемое число превышений уровня $3\sigma_{\text{броун}} - 100$ раз в сутки, а $5\sigma_{\text{броун}} - 1$ раз в 10 суток.

в) Применяя различные способы обработки фотозаписей (включая метод, использованный Вебером¹, по сравнению фотозаписей, но без применения порогового электронного устройства), нам не удалось обнаружить совпадающих всплесков с точностью 0,5 сек.

Было отмечено около 30 «подозрительных мест», соответствующих появлению всплесков ($\delta x_0 > 2\sigma$) с временным запаздыванием в пределах 0,3—10 сек, причем несколько случаев удовлетворяли «совпадению с точностью до 1 сек». Однако сильно различная структура всплесков (форма, длительность фронта) не позволяет нам рассматривать эти случаи как реакцию на воздействие одного и того же источника.

Отметим, что в работах¹ наблюдались в первых сериях 1—2 совпадения в неделю, а в последующих 1—2 в день; с точностью 0,2 сек величина всплесков была равна или превышала уровень $3\sigma_{\text{броун}}$. Если считать, что длительность ожидаемых всплесков гравитационного излучения около 2 сек, то можно было обнаружить плотность потока $1 \cdot 10^7$ эрг/сек·см²; если всплески более длительные: 5—10 сек, то обнаруживаемая плотность потока равна соответственно (5—2)·10⁶ эрг/сек·см². Нетрудно оценить, что достигнутый уровень чувствительности на 1,5 порядка хуже потенциальной чувствительности антенны с такими f , Q и m (см. подробнее³). Это вызвано, с одной стороны, относительно большим уровнем нетепловых всплесков и, кроме того, недостаточным разрешением малых смещений из-за шума электроники ($\delta x_0 = 2 \cdot 10^{-14}$ см).

Различие результатов, полученных в этой серии измерений и в работах¹, возможно, объясняется негравитационными эффектами, описанными в работах⁴.

Авторы пользуются случаем выразить свою признательность Я. Б. Зельдовичу, Г. И. Петрову, М. А. Садовскому, Б. Т. Воробьеву и В. Н. Мартынову за ценные дискуссии и помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. Weber, Phys. Rev. Lett. 22, 1320 (1969); 24, 276; 25, 180 (1970).
2. В. Б. Брагинский, В. П. Митрофанов, В. Н. Руденко, А. А. Хорев, ПТЭ, № 4, 246 (1971).
3. В. Б. Брагинский, В. Н. Руденко, УФН 100, 395 (1970); В. Б. Брагинский, Физические эксперименты с пробными телами, М., «Наука», 1970.
4. М. Е. Герценштейн, Письма ЖЭТФ 14, 611 (1971); Р. А. Адамьянц, А. Д. Алексеев, Н. И. Колосницын, Письма ЖЭТФ 15, 277 (1972); И. И. Калинин, С. М. Колесников, Астров. циркуляр, № 619 (1971).

В. И. Пустовойт. Эффекты, связанные с генерацией фононов в полупроводниках. Рассмотрены эффекты, возникающие в полупроводнике в сильном электрическом поле и связанные с генерацией фононов. Оказывается, что в однородном кристалле полупроводника в сильном электрическом поле, таком, что имеет место генерация фононов, должен возникнуть магнитный момент (электроакустимагнитный эффект¹). Физически магнитный момент обусловлен возникновением вихревой составляющей тока, вызванной дополнительной силой, действующей на электроны со стороны генерируемых фононов. Для возникновения вихревой компоненты тока необходимо, чтобы диаграмма направленности излучения фононов внутри черенковского конуса была несимметричной относительно направления вектора скорости дрейфа. Наблюдать электроакустимагнитный эффект (он пока еще не обнаружен на опыте) проще всего в пьезополупроводниковых кристаллах, в которых имеется достаточно сильное взаимодействие электронов с фононами и, кроме того, всегда можно обеспечить необходимую анизотропию диаграммы направленности излучения фононов подходящим выбором ориентации кристалла.

Для выяснения физической сущности электроакустимагнитного эффекта рассмотрим условия равновесия единицы объема электронного газа в условиях, когда возникает генерация фононов. Выпишем сумму сил, действующих на единичный объем электронного газа:

$$enE - \nabla nT - mnv\nu = 0; \quad (1)$$

здесь e — заряд, m — масса электрона, n — концентрация электронов, ν — эффективная частота соударения электронов с рассеивающими центрами, v — скорость, T — абсолютная температура в энергетических единицах и E — электрическое поле (в рассматриваемом здесь низкочастотном случае инерционные члены, естественно, не существенны). При наличии генерации фононов у концентрации электронов $n(\mathbf{r}, t)$ и электрического поля $E(\mathbf{r}, t)$ возникают флуктуации, пропорциональные амплитуде генерируемых звуковых волн, и поэтому следует считать, что

$$E(\mathbf{r}, t) = E_d + E_{\sim}(\mathbf{r}, t), \quad n(\mathbf{r}, t) = n_0 + n_{\sim}(\mathbf{r}, t), \quad (2)$$

причем n_0 и E_d здесь являются медленными функциями координат и времени. Подставляя теперь (2) в уравнение (1) и усредняя по времени и пространству, получаем условия равновесия (1) в виде

$$E_d - \frac{1}{\sigma_0} \mathbf{j} + F = 0, \quad \sigma_0 = \frac{en_0}{m\nu}, \quad (3)$$

где $\mathbf{j} = \langle en\mathbf{v} \rangle$ — среднее значение плотности тока, $en_0 F = e(n_{\sim} E_{\sim})$ — плотность так называемой акустоэлектрической силы, действующей на элемент объема электронного газа со стороны генерируемых фононов. Именно появление этой силы и меняет все свойства кристалла во внешнем электрическом поле. Электрическое поле E_d потенциально, поэтому из (3) сразу следует соотношение

$$\text{rot } \mathbf{j} = \sigma_0 \text{rot } F, \quad (4)$$

из которого видно, что при $\text{rot } F \neq 0$ в кристалле возникает вихревая составляющая тока и, как следствие этого, у образца возникает магнитный момент.

Рассмотрен аномальный эффект Холла в полупроводнике в сильном электрическом поле и показано, что измеряемая на опыте постоянная Холла R , определяемая соотношением $R = \mathcal{E}_H / JB$, где \mathcal{E}_H — э.д.с. Холла, J — ток в цепи источника, B — магнитное поле (имеется в виду холловский незамкнутый образец в виде параллелепипеда, где вектор B направлен вдоль оси z , J — вдоль оси x , а э.д.с. Холла измеряется вдоль направления y), в условиях генерации фононов резко уменьшается, меняет знак и увеличивается по абсолютной величине. Как и в случае электроакустомагнитного эффекта, такое поведение постоянной Холла обусловлено возникновением дополнительной силы, действующей на электрон со стороны генерируемых фононов¹. Такое аномальное поведение постоянной Холла обнаружено недавно в p -теллуре (см. 2).

Генерация фононов в сильном электрическом поле приводит к резкому изменению рассеяния рентгеновских, γ -лучей и медленных нейтронов³. Хаотическое движение атомов в решетке кристалла приводит к уменьшению интенсивности структурного рассеяния и, кроме того, к появлению диффузного пика в рассеянном излучении. В сильном электрическом поле, когда возникает генерация неравновесных фононов, хаотическое движение атомов и ядер резко увеличивается и интенсивность структурного пика рассеяния резко уменьшается, в то время как доля диффузного рассеяния растет. Существенно, что характерное время генерации неравновесных фононов может быть достаточно мало (это время пробега фонона по кристаллу, т. е. порядка 10^{-6} — 10^{-7} сек) и, следовательно, эффект может быть использован для высокочастотной модуляции рентгеновского и, в особенности, γ -излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. И. Пустовойт, Ю. П. Мухортов, Письма ЖЭТФ 13, 211 (1971); ФТТ 13, 3059 (1971); Ю. П. Мухортов, В. И. Пустовойт, ЖЭТФ 61, 1157 (1971).
2. A. Hojo, S. Tanaka, Proc. Intern. Conference on Physics of Semiconductors, Boston, USA, 1970, p. 241.
3. В. И. Пустовойт, ЖЭТФ 62, 746 (1972).

Л. В. Дубовой, А. Г. Смирнов, В. Г. Смирнов, Д. И. Стаселько. Использование голографии для исследования процессов в термоядерной плазме и движущемся дуговом разряде. За последние годы значительно возрос интерес к сверхбыстрым сильноточным разрядам, поскольку с помощью таких разрядов сравнительно легко получается плотная высокотемпературная плазма с термоядерными параметрами¹. Однако изучение динамики развития таких разрядов сильно осложняется отсутствием достаточно простых методов диагностики плазмы, которые обеспечивали бы информацию о пространственно-временном развитии исследуемых процессов. Необходимые данные о пространственно-временной структуре плазмы могут быть получены с помощью методов голографии².

В докладе представлены результаты работы по созданию голографической аппаратуры для диагностики плазмы, а также результаты применения аппаратуры для исследования быстропротекающих процессов в сильноточном Z -разряде и быстродви-

жущейся электрической дуге. Исследованный Z-разряд характеризовался малым (~ 1 мксек) временем нарастания разрядного тока до амплитудного значения 270 кА, что позволило реализовать устойчивый режим разогрева плазмы. Экспериментальная установка включала в себя разрядную камеру с системой формирования сильноточного сверхбыстрого разряда, импульсный одномодовый лазер на рубине, голографическую камеру и блок управления и синхронизации. Методами голографической интерферометрии был получен ряд интерферограмм, соответствующих стадиям формирования токового шнура, его максимального сжатия и разлета плазмы. По данным голографических интерферограмм определен ряд существенных характеристик плазмы: поперечный размер токового шнура в момент максимального сжатия (около 8 мм), максимальное значение концентрации электронов ($N_{e\max} = 1,2 \cdot 10^{17}$ см⁻³), а также радиальное распределение плотности плазмы, которое оказалось близким к ожидаемому для случая устойчивого разряда со слабо диффузной границей. Величина газокинетического давления, определенного из уравнения баланса давления, в условиях эксперимента составляла 10^{21} эв·см⁻³, что соответствовало температуре плазмы около 10^4 эв.

В результате голографического исследования электрической дуги, движущейся со сверхзвуковой скоростью по электродам искрового разрядника, было установлено, что процесс разряда носит одноканальный характер, а также определены скорость перемещения канала разряда (420 м/сек) и его поперечные размеры. На основании этих результатов был создан простой и надежный искровой разрядник с большой пропускной способностью по заряду, который в настоящее время широко используется для коммутации тока в установках «Токамак».

Полученные результаты показывают, что голографические методы диагностики плазмы позволяют надежно и сравнительно просто измерять трехмерные распределения плотности плазмы. Дальнейший прогресс в развитии голографических методов диагностики связан с разработкой методов и аппаратуры для скоростного киноголографирования, а также с внедрением в практику исследований методов голографической интерферометрии с использованием нескольких длин волн³.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. В. Дубовой, А. В. Коми, В. П. Федяков, ЖЭТФ 62, 13 (1972).
2. F. G. Jahoda, R. A. Jeffries, G. A. Sawyer, Appl. Opt. 6, 1407 (1967).
3. Г. В. Островская, Ю. И. Островский, ЖТФ 15, 2419 (1970).