

СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

53(048)

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

(26—27 февраля 1975 г.)

26 и 27 февраля 1975 г. в конференц-зале Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР состоялась научная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

1. Г. И. Петров. О природе Тунгусского метеорита.
  2. Г. Е. Кочаров. Ядерные реакции на Солнце.
  3. Л. Ф. Верещагин, Е. Н. Яковлев, Ю. А. Тимофеев. Возможность перехода водорода в проводящее состояние.
  4. А. В. Гуревич. Искусственное ионосферное зеркало.
- Ниже публикуется краткое содержание прочитанных докладов.

552.6(048)

**Г. И. Петров.** О природе Тунгусского метеорита. Рассмотрено событие, происшедшее 30 июня 1908 г., известное как «Тунгусский метеорит». Необычность и масштабы этого явления заслуженно привлекли большое внимание. Существует обширная литература, посвященная изучению этого явления.

Основной его особенностью явилось то, что при вторжении в атмосферу Земли большого тела до поверхности дошла только ударная волна. Эта волна произвела вывал леса на площади около 2000 кв. км., вызвала пожар в тайге. Оценки энергии, выделившейся в атмосфере, дают значения порядка  $10^{23}$  —  $10^{24}$  эрг.

Рассмотрение этого явления проведено с позиций законов механики и газовой динамики.

Все особенности явления находят рациональное объяснение, если движение большого тела проходило существенно нестационарно и ударная волна могла удалиться от тела на расстояния, существенно превышающие характерный размер тела. Это возможно, если число Струхала  $Sh = v/l\tau > 0,1$ , где  $v$  — скорость движения,  $l$  — характерный размер тела,  $\tau$  — характерное время изменения скорости. Для торможения тел в газе  $Sh = k\rho_T/\rho_T$ , где  $k$  — коэффициент, определяемый геометрией тела. Следовательно, тело, вторгшееся в атмосферу Земли, имело плотность существенно ниже  $0,1$  г/см<sup>3</sup>.

Рассмотрено разрушение движущегося тела с большой скоростью в атмосфере, даны оценки тепловых потоков.

Показано, что при очень больших скоростях испарения скорость потери массы всего тела меньше, чем скорость потери массы твердой фазы тела, что необходимо учитывать при расчете движения тела.

Приведены оценки потерь кинетической энергии тела при достижении телом поверхности планеты.

Показано, что большие тела с начальной кинетической энергией больше  $10^{24}$  эрг при плотности больше  $0,1$  г/см сохраняют у поверхности планет большую часть начальной кинетической энергии даже у планет с атмосферой, подобной атмосфере Венеры, следовательно, обнаруженные на поверхности Венеры крутые углубления диаметром 50—100 км могут быть ударными кратерами (необходимая энергия их образования больше  $10^{30}$  эрг).

В заключение показана несостоятельность объяснений явлений, связанных с Тунгусским метеоритом, гипотезами дробления, теплового взрыва, аннигиляционного или термоядерного взрыва.

## ЛИТЕРАТУРА

- Е. Л. Кринов, Тунгусский метеорит, М.—Л., Изд-во АН СССР, 1949.  
 М. А. Цикликин, Метеоритика, вып. 20, М., Изд-во АН СССР, 1961, стр. 87.  
 Е. М. Колесников, А. К. Лаврухина, А. В. Фисенко, Геохимия, № 8 (1973).  
 В. П. Стулов, Докт. диссертация (МГУ, 1974).

523.76(048)

**Г. Е. Кочаров.** Ядерные реакции на Солнце. 1. Многочисленные попытки объяснения результатов экспериментов по солнечным нейтрино могут быть разделены на три группы:

а) Вводятся предположения, приводящие к снижению температуры в недрах Солнца и соответственно потоков высокоэнергичных нейтрино.

б) Предпринимаются попытки уменьшения скорости счета в нейтринном эксперименте путем уменьшения интенсивности генерации высокоэнергичных нейтрино в недрах Солнца либо потери «нужных» нейтрино в пути от Солнца до Земли.

в) Предполагается изменение температуры в центральной части Солнца во времени и считается, что в современную эпоху температура ниже среднего.

Все предложенные гипотезы имеют свои трудности, связанные с необходимостью изменения установленных представлений.

В настоящее время эксперимент дает для скорости реакции Понтекорво значение  $\xi \leq 1 \text{ сен} = 10^{-36}$  актов реакции в 1 сек с 1 атомом  $\text{Cl}^{37}$ . Анализ источников фона показывает, что  $\xi = (0,3 \pm 0,6) \text{ сен}$ . Если при дальнейшем уменьшении фона выяснится, что  $\xi \leq 0,3 \text{ сен}$ , то из многочисленных предложенных к настоящему времени гипотез останутся только 5. Из группы а) останется только гипотеза Г. Е. Кочарова и Ю. Н. Старбунова о возможном горении гелия-3 в недрах Солнца. Согласно этой гипотезе наличие в центральной области Солнца гелия-3 с весовым содержанием 0,1% приводит к значению скорости реакции Понтекорво 0,1 сен. Из второй группы остаются: гипотеза Б. М. Понтекорво о нейтринных осцилляциях; гипотеза Н. Бакалла, Н. Каббьо и А. Яхила о радиоактивности нейтрино и гипотеза Г. Е. Кочарова и Д. Клейтона об отличии распределения ионов по скоростям от максвелловского в области высокоэнергичного хвоста. В третьей группе имеется в настоящее время и останется при  $\xi \leq 0,3 \text{ сен}$  гипотеза В. Фаулера о скачкообразном перемешивании недр Солнца. В любом случае возникает острая необходимость в экспериментах по регистрации солнечных нейтрино малых энергий. Наряду с развитием новых методов нейтринной астрофизики чрезвычайно важно изучение различных следствий, вытекающих из обсуждаемых гипотез для физики и астрофизики Солнца и касающихся внешних проявлений Солнца, которые могут быть исследованы независимо. Так, например, из гипотезы Фаулера следует изменение светимости Солнца во времени. Несколько миллионов лет назад светимость Солнца должна была быть ниже современной на 5%, что могло быть причиной известного в геологии глобального оледенения. Естественно также в рамках этой гипотезы ожидать, что в прошлом модулирующее действие солнечного ветра на интенсивность космических лучей было меньше, что должно было найти отражение в скорости генерации космогенных изотопов в атмосфере Земли, метеоритах и лунном грунте. Имеющиеся экспериментальные данные по  $\text{Al}^{26}$  ( $T_{1/2} = 0,74 \cdot 10^6$  лет),  $\text{Mn}^{53}$  ( $37 \cdot 10^6$  лет),  $\text{Be}^{10}$  ( $2,5 \cdot 10^6$  лет) свидетельствуют в пользу гипотезы Фаулера, однако точность еще недостаточна для окончательных выводов. Важным следствием гипотез о гелии-3 и о распределении частиц по скоростям может быть обогащение корпускулярных потоков Солнца гелием-3. Анализ экспериментальных данных по изотопному составу солнечных космических лучей показывает наличие в областях вспышек относительно большого количества гелия-3 (вплоть до нескольких процентов при его содержании в солнечном ветре 0,01%). Однако и в этом случае имеются неопределенности, требующие специальных исследований.

2. Во второй части доклада рассматриваются результаты изучения солнечных нейтронов и  $\gamma$ -квантов, изотопов гелия и водорода вспышечной природы. Имеются вспышки, когда потоки гелия-3 значительно превышают величину, получаемую путем расчетов с использованием измеренных на опыте потоков трития и дейтерия в рамках общепринятых представлений об особенностях соответствующих ядерных реакций. Для объяснения аномально больших потоков гелия-3 в настоящее время развиваются два подхода. В одном из них априори считается, что в солнечном веществе нет практически гелия-3, во втором же допускается наличие гелия-3, и его содержание находится на основании измеренных на опыте потоков  ${}^3\text{He}$ . Первый подход разрабатывается Р. Рамати и Р. Лингенфельтером в США, а второй — Г. Е. Кочаровым и И. А. Ибрагимовым в СССР.

Толща вещества, проходимого энергичными солнечными частицами, в первом случае увеличивается путем предположений:

а) Угловое распределение дейтронов по сравнению с распределением гелия-3 более вытянуто в сторону Солнца и соответственно летящие от Солнца ядра гелия-3 обогащены по сравнению с дейтронами. Что же касается обогащения гелия-3 относительно трития, то оно объясняется как результат более сильного поглощения трития в солнечном веществе.

б) После генерации вторичные частицы подвергаются дальнейшему ускорению. Оба предположения требуют детального теоретического рассмотрения и экспериментальной проверки как в лабораторных условиях путем изучения кинематики соответствующих ядерных реакций, так и в космических экспериментах. Существенно отметить, что даже при столь необычных предположениях не удастся объяснить все имеющиеся случаи по повышенным потокам гелия-3. Остаются неясным также вопрос, почему энергетические спектры  ${}^1\text{H}$ ,  ${}^3\text{He}$  и  ${}^4\text{He}$  подобны, если  ${}^3\text{He}$  вторичен, а  ${}^1\text{H}$  и  ${}^4\text{He}$  первичны?

Нам представляется более естественным объяснить экспериментальные данные наличием  ${}^3\text{He}$  в области вспышки. В этом случае объяснение находит также динамический характер концентрации  ${}^3\text{He}$ : для вспышки 14.X 1969 концентрация гелия-3 составляет  $\sim 3\%$ , для вспышки 3.XI 1969 г. —  $0,2\%$ , а для вспышки 6.XI 1969 г. —  $0,2\%$ . Поскольку все вспышки имели место в одной и той же активной области, выброс  ${}^3\text{He}$  из глубинных слоев в область вспышки мог иметь место в период, близкий к 14.X 1969. В предположении отсутствия  ${}^3\text{He}$  отрицательные результаты по детектированию солнечных нейтронов и гамма-квантов и единственный положительный результат по солнечным гамма-квантам (август 1972 г.) интерпретируется как результат сильной асимметрии вылета солнечных космических лучей — в сторону Солнца летят менее 1% частиц. Такой вывод трудно объяснить как с точки зрения характера асимметрии, так и имея в виду установленное мнение о том, что энергия вспышки в белом свете является результатом удельных потерь солнечных космических лучей в веществе Солнца.

Если же исходить из гипотезы о гелии-3, то представляется возможность объяснения данных, поскольку  ${}^3\text{He}$  является сильнейшим поглотителем нейтронов по реакции  ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$ . Сечение этой реакции в 18000 больше сечения реакции  ${}^1\text{H}(n, \gamma){}^2\text{H}$ . При концентрации гелия-3  $0,01\%$  (как в солнечном ветре) вероятности указанных реакций одинаковы. Если же  $X_3 = 0,1\%$ , то вероятность реакции  ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$  в 10 раз больше вероятности  ${}^1\text{H}(n, \gamma){}^2\text{H}$ . Это означает, что при фиксированном значении потока гамма-линий дейтронов учет гелия-3 приводит к увеличению потока СКЛ в сторону Солнца. Что же касается линий 0,5; 4,4 и 6,1 Мэв, то Рамати и Лингенфельтер проводят анализ в предположении, что энергетический спектр протонов в области их генерации — экспоненциальный вплоть до самых низких энергий. Измеренный же на опыте спектр протонов во время вспышки 4.VIII 1972 г. в области 20—30 Мэв, там где максимально сечение генерации указанных гамма-линий, показывает значительно низкую интенсивность по сравнению с электрополяционным значением. На самом деле расхождение может быть еще больше, если в области малых энергий имеет место ускорение частиц в межпланетном пространстве. В результате с учетом роли гелия-3 и энергетического спектра частиц в области их генерации удастся объяснить всю совокупность результатов по  $\gamma$ -квантам при одновременном уменьшении асимметрии в вылете СКЛ.

Дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования комплекса явлений помогут разобраться в совокупности процессов в недрах и на поверхности Солнца.

Доклад основан на результатах, изложенных в статьях:

- Г. Е. Кочаров, Изв. АН СССР, сер. физ. 37, 1228 (1973); 39, 244 (1975); в кн. Труды международного семинара «Солнечные космические лучи и их проникновение в магнитосферу Земли», Л., Изд. ЛИЯФ АН СССР, 1973, стр. 7; Препринт ФТИ АН СССР № 457, Ленинград, 1973; in: Proc. of 13th Intern. Conference on Cosmic Rays, Denver, USA, 1973, p. 1602.
- Г. Е. Кочаров, Ю. Н. Старбунцов, Письма ЖЭТФ 11, 132 (1970); in: Proc. of 12th Intern. Conference on Cosmic Rays, v. 7, Australia, 1971.
- И. А. Ибрагимов, Г. Е. Кочаров, Препринт ФТИ АН СССР № 456, Ленинград, 1974; Изв. АН СССР, сер. физ. 39, 287 (1975).
- Р. Рамати, Р. Лингенфельтер, в кн. Труды международного семинара «Ускорение частиц и ядерные реакции в космосе», Л., Изд. ЛИЯФ АН СССР, 1974, стр. 25.
- Р. Рамати, Б. Козловский, *ibid.*, стр. 58.

546.11:537.311.33(048)

Л. Ф. Верещагин, Е. Н. Яковлев, Ю. А. Тимофеев. Возможность перехода водорода в проводящее состояние. Разработка метода синтеза поликристаллических алмазов типа карбонадо, осуществленная в Институте физики высоких давлений АН СССР, открыла новые возможности для достижения высоких давлений.

В ранее выполненных исследованиях (совместно с Г. Н. Степановым, Б. В. Виноградовым, К. Х. Бибаевым, Т. И. Алаевой) было показано, что алмазы типа карбонадо способны выдерживать контактные давления до 3 Мбар. Эти давления в несколько раз превосходят давления, получаемые в настоящее время с помощью твердых сплавов (0,5 Мбар).

Алмазы типа карбонадо были использованы при создании миниатюрных камер для исследования переходов диэлектрик — металл. Камера высокого давления представляет собой две наковальни (плоскую и конусообразную с затупленной вершиной), между которыми помещается слой диэлектрика.

Если исследуемое вещество — газ, то наковальни охлаждаются до соответствующей температуры, а исследуемое вещество конденсируется на поверхностях наковален. При исследовании водорода наковальни охлаждались до 4,2 °К.

Из твердых диэлектриков были исследованы (совместно с В. П. Сакуном) переходы в алмазе, кремнеземе, корунде и ряде других веществ.

Появление проводящей фазы определяется по скачку электросопротивления.

Скачки сопротивления, вызванные электрическим пробоем, туннелированием носителей тока через слой диэлектрика и просто касанием отделялись от скачков, обусловленных фазовым переходом, путем применения специального теста. В основу теста положено явление метастабильности, всегда сопровождающее фазовые переходы первого рода в твердых телах под давлением.

Метастабильные состояния проявляются в виде гистерезиса, уменьшающегося при повышении температуры. Разработанный тест состоит в том, что при усилиях, близких к прямому и обратному переходам, вещество нагревается.

Если при этом нагревание в диэлектрическом состоянии приводит к скачкообразному уменьшению сопротивления (обычно в  $10^6$ — $10^8$  раз), а нагревание в проводящем состоянии — к увеличению (в  $10^6$ — $10^8$  раз), то это соответствует «размораживанию» метастабильных диэлектрического и проводящего состояний. Наблюдение явления «размораживания» принимается нами в качестве доказательства фазового перехода.

Кроме описанного выше теста существует еще ряд признаков, позволяющих подтвердить фазовый переход. Например, наблюдение двух скачков электросопротивления в смеси порошков двух диэлектриков и т. д.

При исследовании электросопротивления водорода обнаружено, что сопротивление уменьшается под давлением не менее, чем в  $10^6$  раз. Отогревание предполагаемой метастабильной проводящей фазы привело к увеличению сопротивления до исходной величины (в  $10^6$  раз).

Эта совокупность явлений, аналогичная ранее наблюдаемой в других диэлектриках, позволила сделать заключение о возможности перехода водорода в проводящую фазу. Давление перехода в данных экспериментах оценивается лишь по порядку величины  $P \sim 1$  Мбар.

551.510.535(048)

**А. В. Гуревич.** Искусственное ионосферное зеркало. Исследованию явлений, возникающих при искусственной модификации верхней ионосферы под действием мощных радиоволн, уделяется значительное внимание<sup>1, 2</sup>. В последнее время обнаружено крупномасштабное расслоение возмущенной области ионосферы<sup>3</sup>, осцилляции отраженного от ионосферы мощного импульсного сигнала<sup>4</sup>, интенсивное возбуждение плазменных и ионно-звуковых колебаний<sup>5</sup>.

Недавно в Булдере (США) открыто интересное новое явление — образование искусственного ионосферного зеркала, отражающего радиоволны в широком диапазоне частот — до 100 Мгц и выше<sup>6</sup>. Причина появления отражений — в мелкомасштабном расслоении ионосферы. Оказалось, что под действием мощной волны возникают сильно вытянутые вдоль магнитного поля Земли  $\mathbf{H}$  неоднородности с флуктуациями концентрации плазмы  $\delta v = \delta N/N \sim 10^{-2}$ . Их поперечный размер — порядка 1 м, продольный — порядка 1 км или больше. Неоднородности образуются при возмущении ионосферы обыкновенной волной, в области ее отражения. Эффективный размер сильно возмущенной зоны: по высоте  $10 \div 20$  км, в ширину 100—150 км. Необыкновенная волна, по-видимому, не вызывает подобных возмущений.

Радиоволны различных частот могут рассеиваться на указанных неоднородностях. Это рассеяние носит резко анизотропный характер из-за того, что неоднородности сильно вытянуты вдоль  $\mathbf{H}$ . Максимум рассеяния лежит на конусе, ось которого направлена вдоль  $\mathbf{H}$ , а образующая составляет тот же угол с нормалью к  $\mathbf{H}$ , что и падающий луч. Происходит как бы отражение волн от тонких зеркальных стержней, направленных вдоль  $\mathbf{H}$ .

На рис. 1 показаны кривые, образованные пересечением конуса рассеяния с Землей. Предполагается, что рассеивающий объем находится в  $H$  (Платтевилле) на высоте 230 км. Кривая  $0^\circ$  образована пересечением с Землей плоскости, нормальной к  $\mathbf{H}$ .

Лучи, исходящие из кривых  $\pm K^\circ$  образуют угол  $\pm K^\circ$  с нормалью. Поэтому, если например, передатчик находится на кривой « $+K^\circ$ », то после отражения от «зеркала»  $\Pi$  его лучи будут попадать на кривую « $-K^\circ$ » и наоборот. Видно, что охватываемая таким искусственным отражателем область имеет протяженность 2—4 тыс. км. Эксперименты Барри<sup>6</sup> показали возможность установления надежной радио- и телетайпной связи с использованием отражений от искусственного зеркала. Отметим, что тот же отражатель может быть использован и для возбуждения ионосферных волновых каналов<sup>7</sup>, что важно для сверхдальнего распространения радиоволн.

Сечение рассеяния  $\sigma$  максимально в вечерние часы при условии, что возмущающая волна отражается несколько ниже максимума  $F$ -слоя ионосферы. В дневные часы  $\sigma$  значительно меньше в 10—100 раз. Из рис. 2, а видно, что сечение почти постоянно до частот порядка 80 Мгц; в оптимальных условиях оно исключительно велико  $\sim 10^8 \text{ м}^2$ . Из рис. 2, б видно, что сечение довольно медленно убывает с уменьшением мощности возмущающей станции.

Интенсивное отражение начинается через одну-две минуты после включения возмущающей станции, а плотностью эффект развивается за 8—10 минут. Интересно, что в условиях уже установившегося процесса сечение рассеяния гораздо быстрее изменяется с изменением мощности: за 1—5 сек. Имеет, следовательно, место эффект некоторого «приготовления» ионосферы из начального невозмущенного состояния (Файлер<sup>6</sup>). Отметим также, что в тех случаях, когда частота возмущающей станции близка к критической частоте  $F$ -слоя, рассеивающая область постепенно принимает

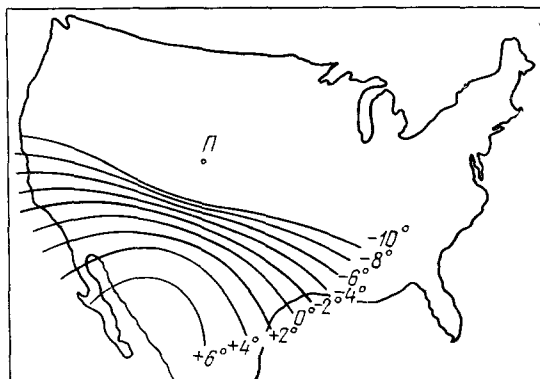


Рис. 1. Структура отражений от искусственного зеркала, расположенного в Платтевилле ( $\Pi$ ) ( $40,18^\circ$  с. ш.,  $104,73^\circ$  з. д.).

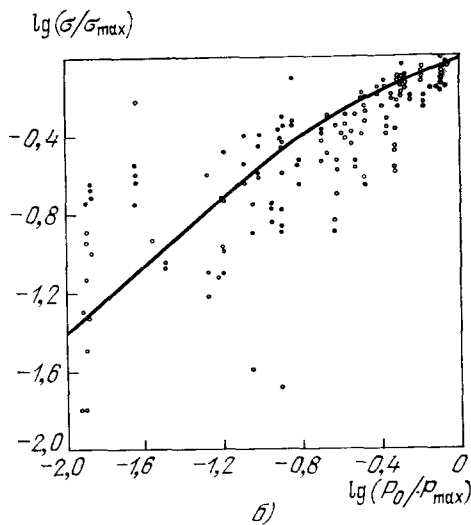
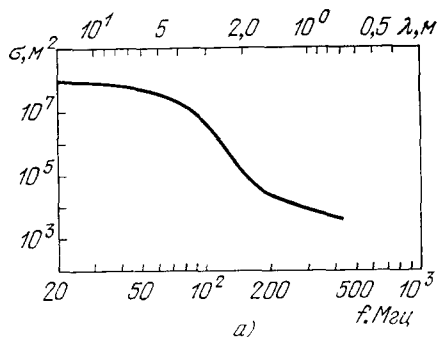


Рис. 2. Сечение рассеяния ионосферного зеркала в зависимости от частоты волн  $f$  (а) и мощности возмущающего передатчика  $P_0$  (б).

Максимальная мощность передатчика в Боулдере  $P_{\text{max}} = 1,9 \text{ Мвт}$  при коэффициенте направленного действия антенны  $\sim 50$ . Сплошная кривая на рис. б) — расчет по формуле (4).

форму кольца: в центре концентрация плазмы под действием поля мощной волны уменьшается и она без отражения проходит в образовавшуюся «дыру» (см. <sup>1</sup>).

Исследование частотного спектра отраженного от неоднородностей сигнала показало, что частота его сдвинута на величину порядка 10—30 гц, а уширение линии порядка 1—5 гц. И сдвиг и уширение, по-видимому, обусловлены дрейфом неоднородностей в ионосфере. Помимо основной линии, видны и две линии спутников, сдвинутые от основной на частоту возмущающей станции<sup>6</sup>. Сдвиг частоты и уширение линий

спутников такого же порядка, что и у основной линии. Относительная интенсивность линий спутников  $I_s$  при невысоких частотах  $f \lesssim 100$  Мгц, по-видимому, очень мала (они не наблюдались). С ростом частоты сигнала  $f$  она резко возрастает: так при  $f = 155$  Мгц отношение  $I_s/I_0 \sim 0,1$ , а при  $f = 435$  Мгц уже  $I_s/I_0 \sim 10$  ( $I_0$  — интенсивность основной линии). Рассеяние в линиях спутников не обладает резкой анизотропией, подобной рассеянию на основной линии.

Какова природа рассматриваемого явления? Образование сильно вытянутых вдоль магнитного поля Земли неоднородностей, по-видимому, вызвано выталкиванием плазмы вследствие ее локального нагрева.

В работе<sup>8</sup> рассмотрен следующий механизм этого эффекта. Обыкновенная волна в области отражения диссипирует на вытянутых вдоль магнитного поля неоднородностях. Диссипация связана с линейной трансформацией обыкновенной волны в плазменные волны. Структура области отражения показана на рис. 3. Необыкновенная волна отражается на уровне  $v = 1 - u^2/2$ , ниже области существования плазменных волн; поэтому, она их практически, не возбуждает. Обыкновенная волна отражается на уровне  $v = 1$ . При наличии неоднородности она возбуждает плазменные волны в области  $1 - u \leq u \leq 1$ , причем наиболее эффективно вблизи верхнего гибридного резонанса  $v = 1 - u$ . Плазменные волны затухают из-за соударений или поглощения в резонансе ( $v = v_r$ ). Полная мощность, диссипируемая в неоднородности,

$$P = C (\lambda \mu)^{-1} (\delta v)^2 S P_0, \quad (1)$$

где  $\mu = N^{-1} |dN/dz|$  — градиент концентрации электронов с слое,  $\lambda$  — длина и  $P_0$  — мощность падающей волны,  $\delta v = \delta N/N$  — возмущение концентрации в неоднородности,  $S$  — ее поперечное сечение,  $C$  — численный фактор  $\sim 10$ .

Благодаря поглощению энергии электроны нагреваются, что ведет к выталкиванию плазмы, т. е. к усилению неоднородностей с  $\delta N < 0$ . Это

в свою очередь приводит к увеличению диссипации, что снова вызывает рост неоднородностей и т. д. Возникающая таким образом неустойчивость, названная в<sup>8</sup> резонансной, должна привести к резкому усилению неоднородной структуры плазмы, к разрушению плавного плазменного слоя в области отражения обыкновенной волны. Неустойчивость развивается, если начальное возмущение концентрации в неоднородности отрицательно  $\delta v_0 < 0$  и по абсолютной величине превосходит  $\delta v_{II}$ , где

$$\delta v_{II} = \left| \frac{\delta N_{II}}{N} \right| = C_1 \frac{\nu_e}{\omega} \mu L \left( \frac{E_p}{E_0} \right)^2; \quad (2)$$

здесь  $\nu_e$  — частота соударений электрона,  $L$  — характерная длина, определяемая теплопроводностью и диффузией<sup>9</sup>,  $E_0$  — амплитуда поля возмущающей волны,  $E_p$  — характерное плазменное поле<sup>1, 9</sup>,  $C_1$  — численный фактор  $\sim 1$ . В ионосфере при  $(E_0/E_p)^2 \sim 1$  величина  $\delta v_{II} \sim 10^{-4} - 10^{-5}$ .

Резонансная неустойчивость приводит к резкому усилению вытянутых вдоль магнитного поля неоднородностей. При этом, однако, увеличивается и поглощение энергии падающей волны. Полная поглощаемая мощность

$$P = P_0 \left[ 1 - \exp \left( - \frac{\delta v^2}{\delta v_h^2} \right) \right], \quad \delta v_h^2 = C_2 \mu \lambda, \quad C_2 \sim 0,1. \quad (3)$$

Отсюда видно, что когда  $\delta v^2$  сравнивается с  $\delta v_h^2$  поглощаемая мощность  $P$  приближается к  $P_0$ . Рост неоднородностей при этом прекращается, неустойчивость стабилизируется. В условиях ионосферы  $\delta v_h \sim 10^{-2}$ . Такие возмущения плотности плазмы обеспечивают наблюдаемое рассеяние; они также должны приводить к эффективному поглощению как волны, вызвавшей возмущение, так и других обыкновенных волн, отражающихся в возмущенной зоне. Для коэффициента отражения волн от ионосферы  $R$  и для полного сечения рассеяния высокочастотных радиоволн  $\sigma$  при определенных предположениях из (3) получается простая зависимость от мощности возмущающей волны  $P_0$ :

$$\frac{R}{R_0} = (1 + \alpha P_0)^{-2}, \quad \frac{\sigma}{\sigma_0} = \ln (1 + \alpha P_0). \quad (4)$$

Оба эти соотношения согласуются с результатами наблюдений (см. рис. 2, б и статью Гетманцева и др.<sup>10</sup>). Отметим, что на начальной стадии развития неоднородностей при  $\delta v \ll \delta v_H$  могут оказаться существенными и другие неустойчивости: диссипативная параметрическая<sup>11</sup> и дрейфовая.

Искусственное ионосферное зеркало может найти применение в практике радиосвязи. Возможно даже создание в определенных районах искусственной ионосферы. Действительно, одно зеркало, как видно из рис. 1, охватывает площадь 3—5 млн. км<sup>2</sup>. Система из 10—20 зеркал могла бы составить искусственную ионосферу, обеспечивающую радио, а возможно и телевизионную связь для района масштаба Европы. На создание такой системы, как видно из рис. 2, б, требуется общая мощность порядка 10 Мвт. При этом отражение от зеркал должно обеспечить во всем районе прием передатчиков мощностью 1—10 кВт в широком диапазоне частот до 100 Мгц. Те же отражатели могли бы быть, кроме того, использованы для генерации сверхдальнего и кругосветного распространения коротких радиоволн в ионосферных волновых каналах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. Л. Гинзбург, А. В. Гуревич, УФН **70**, 201, 393 (1960).  
D. T. Farley, J. Geophys. Res. **68**, 401 (1963).  
А. В. Гуревич, Геомагн. и аэронав. **5**, 70 (1965); **7**, 291 (1967).
2. У. Ютло, Р. Коэн, УФН **109**, 371 (1973).
3. C. L. Rufenach, J. Geophys. Res. **78**, 5611 (1973).  
J. W. Wright, *ibid.*, p. 5622.  
В. В. Беликович и др., УФН, **113**, 732 (1974).  
F. W. Perkins, E. J. Valeo, Phys. Rev. Lett. **32**, 1234 (1974).  
G. D. Thome, F. W. Perkins, *ibid.*, p. 1238.  
В. В. Васильков, А. В. Гуревич, Письма ЖЭТФ **20**, 529 (1974); Изв. вузов, сер. «Радиофизика» **18** (9) (1975).  
Л. М. Ерухимович и др., *ibid.*, № 9.
4. И. С. Шлюгер, Письма ЖЭТФ **19**, 274 (1974).  
В. В. Васильков, Г. Г. Гетманцев и др., Изв. вузов, сер. «Радиофизика» **18** (9) (1975).
5. H. C. Carlson, W. E. Gordon, R. L. Showen, J. Geophys. Res. **77**, 1243 (1972). I. J. Kantor, *ibid.* **79**, 199 (1974).
6. P. A. Fialer, Radio Sci. **9**, 923 (1974).  
J. Minkoff, P. Kugelman, I. Weissman, M. Laviola, S. Abrams D. Porter, *ibid.*, p. 957.  
G. B. Carpenter, *ibid.*, p. 965.  
G. D. Thome, P. V. Rao, *ibid.*, p. 987.  
J. Minkoff, *ibid.*, p. 997.  
G. H. Barry, *ibid.*, p. 1025.  
W. F. Utlaute, E. J. Violette, L. L. Melanson, *ibid.*, p. 1033.
7. А. В. Гуревич, Е. Е. Цедлина, УФН **116**, 540 (1975); Геомагн. и аэронав. **15** (6) (1975).
8. В. В. Васильков, А. В. Гуревич, ЖЭТФ **69**, 176 (1975).
9. А. В. Гуревич, А. Б. Шварцбург, Нелинейная теория распространения радиоволн в ионосфере. М., «Наука», 1973.
10. Г. Г. Гетманцев, Г. П. Комраков, Ю. С. Коробков, Л. Ф. Мироненко, Н. А. Митяков, В. О. Рапопорт, В. Ю. Трахтенгерц, В. Л. Фролов, В. А. Череповицкий, Письма ЖЭТФ **18**, 621 (1973).
11. F. W. Perkins, Radio Sci. **9**, 1065 (1974).  
С. М. Грач, В. Ю. Трахтенгерц, Изв. вузов, сер. «Радиофизика» **18** (9) (1975).