

СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

53(048)

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

(18—19 января 1984 г.)

18 и 19 января 1984 г. в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР состоялась совместная научная сессия Отделения общей физики и астрономии и Отделения ядерной физики АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

18 января

1. А. И. Ахизер, В. Г. Барьяхтар, К. Б. Власов, С. В. Пелетминский. Вращательная инвариантность, связанные магнитоупругие волны и магнитоакустический резонанс.

2. А. С. Боровик-Романов, Е. Г. Рудашевский, Е. А. Туров, В. Г. Шауров. Магнитоупругие эффекты спонтанно нарушенной симметрии и мягкие моды при магнитных фазовых переходах.

3. В. И. Ожогин, М. А. Савченко. Обменно усиленные линейные и нелинейные магнитоакустические эффекты в антиферромагнетиках.

19 января

4. И. Д. Новиков. Электродинамика черных дыр и ее астрофизические приложения.

5. В. П. Фролов. Квантовые эффекты в черных дырах.

Краткое содержание четырех докладов приводится ниже.

537.61 (048)

А. И. Ахизер, В. Г. Барьяхтар, К. Б. Власов, С. В. Пелетминский. Вращательная инвариантность, связанные магнитоупругие волны и магнитоакустический резонанс. Как известно, благодаря зависимости обменного и релятивистских взаимодействий от расстояния между атомами возникает взаимодействие между деформациями кристалла и его магнитной подсистемой — магнитоупругое взаимодействие (МУВ). В статике оно приводит к хорошо исследованному явлению — магнотстрикции, а в динамике — к процессам взаимного рассеяния и превращения магнонов в фононы^{1,2}.

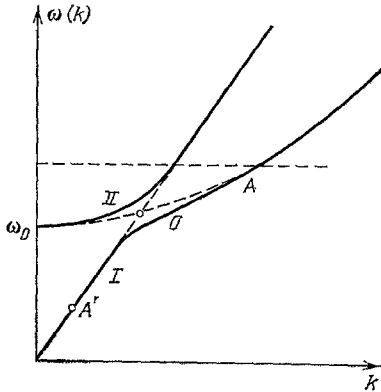
Роль этих процессов в установлении равновесия между решеткой и намагничением была исследована в работе¹, где был предложен общий метод рассмотрения релаксационных процессов в магнитоупорядоченных кристаллах. Взаимодействие между магнитной подсистемой и решеткой характеризуется безразмерной константой $\zeta = \lambda M_0^2 / \rho s^2$, где M_0 — намагничение (момент магнитной подрешетки), ρ — плотность вещества, s — скорость звука, λ — безразмерная константа магнотстрикции. Обычно $\lambda \approx 1$ и $\zeta \ll 1$, поэтому магноны и фононы принято считать не взаимодействующими между собой квазичастицами. Однако, когда частоты и волновые векторы магнона и фонона близки друг к другу, взаимодействие между ними становится сильным, несмотря на то, что $\zeta \ll 1$. В этом случае магноны и фононы теряют свою индивидуальность и вместо упругих волн и магнонов нормальными волнами становятся гибридные магнон-фононные возбуждения²⁻⁵.

На рисунке схематически представлены зависимости частот гибридных волн, тонкими линиями изображены законы дисперсии исходных магнонов и фононов: $\omega_m = \omega_0 + \omega_E (ak)^2$, $\omega_p = \omega_R ak$, где $\omega_0 = \gamma H_0$ — частота однородной прецессии намагничения во внешнем поле H_0 , ω_R и ω_E — соответственно дебаевская и обменная частоты, a — межатомное расстояние. Окрестность точки O — область магнитоакустического резонанса. В этой окрестности возбуждение колебаний намагничения Δm сопровождается возбуждением колебаний смещения Δu и наоборот, что дает возможность резонансной

генерации звука переменным СВЧ полем, а спиновых волн — переменными напряжениями.

Вдали от точки O МУВ практически отсутствует, так что в верхней части (точка A) кривая I представляет чисто спиновые колебания, а в нижней части (точка A') — чисто упругие. В зависимости от величины внешнего магнитного поля H_0 точка O может находиться как ниже, так и выше частоты ω введенной в кристалл волны. Поэтому волну данной частоты ω можно непрерывным образом превратить из спиновой в упругую и обратно, изменяя соответствующим образом H . Это явление применяется в СВЧ электронике для создания линий задержки, управляемых магнитным полем.

МУВ проявляется не только в изменении спектра квазичастиц, но и в характере поляризации упругих волн⁸. Спонтанное намагничение среды обуславливает возникновение дополнительных антисимметричных компонент тензора динамического модуля упругости типа $c_{yzxz} = -c_{xzyz}$ (ось z выбрана вдоль направления намагничения). Эти компоненты ответственны за акустические гироманнитные явления: вращение плоскости поляризации и появление эллиптичности первоначально плоскополяризованной поперечной упругой волны при ее распространении вдоль намагничения. Оба эффекта резко (резонансным образом) возрастают при приближении к области магнитоакустического резонанса, что обнаружено экспериментально.



Исследование магнитоакустических явлений привело к пересмотру основных понятий механики сплошных сред. Как известно, уравнения механики сплошных сред строятся на основе законов сохранения импульса, энергии и момента импульса. С законом сохранения момента импульса связано то обстоятельство, что в свободную энергию упругой среды и в уравнения движения входит симметричный тензор деформаций. Так как в магнетиках ни орбитальный, ни спиновый моменты в отдельности не сохраняются, то для описания магнитоупругого состояния вещества необходимо ввести (наряду с симметричной частью) также антисимметричную часть тензора деформаций. В соответствии с этим тензор напряжений в намагниченных средах имеет антисимметричную часть, в отличие от обычных сред, где она равна нулю. В работе⁷ показано, что антисимметричная часть тензора напряжений определяет дополнительный момент сил, возникающий при локальном повороте кристаллографических осей и связанных с ними осей магнитной анизотропии относительно намагничения. Эти представления привели к открытию новых эффектов. Так, например, экспериментально наблюдался эффект невзаимности, состоящий в том, что скорости двух поперечных звуковых волн, у которых взаимно изменены направления волновых векторов и поляризации, оказываются различными.

ЛИТЕРАТУРА

1. А х и е з е р А. И.— J. Phys. USSR, 1946, No. 10, p. 217.
2. А х и е з е р А. И.— In: Conference on Physics of Magnetic Phenomena. Acad. Sci. USSR.— Moscow, May 1956.
3. Т у р о в Е. А., И р х и н Ю. П.— ФММ, 1956, т. 3, с. 15.
4. Т у р о в Е. А.— Цит. в² сб.
5. А х и е з е р А. И., Б а р ь я х т а р В. Г., П е л е т м и н с к и й С. В — ЖЭТФ, 1958, т. 35, с. 228; Спиновые волны.— М.: Наука, 1967.— С. 136—169.
6. В л а с о в К. Б.— ФММ, 1957, т. 4, с. 542.
7. В л а с о в К. Б.— ЖЭТФ, 1962, т. 43, с. 2128.

537.61 (048)

А. С. Боровик-Романов, Е. Г. Рудашевский, Е. А. Туров, В. Г. Шавров. Магнитоупругие эффекты спонтанно нарушенной симметрии и мягкие моды при магнитных фазовых переходах. Эффекты, о которых пойдет речь в докладе, были обнаружены и началось их исследование около 20 лет назад в¹⁻⁴. В^{1,3} почти одновременно и независимо был открыт эффект, который в советской и западной литературе получил соответственно названия эффекта «магнитоупругой щели»^{2,4} или «застывшей решетки» (см., например, ⁵). Было экспериментально обнаружено, что в антиферромагнетике с анизотропией типа «легкая плоскость» α - Fe_2O_3 низкочастотная резонансная ветвь ω_0 не может быть описана известными к тому времени вкладками магнитной анизотропии и магнитного поля H (обозначим оба эти вклада через ω_M). Оказалось, что

$$\omega_0^2 = \omega_M^2 + \omega_{\text{МУ}}^2, \quad (1)$$

где второе слагаемое не зависело от направления \mathbf{H} в легкой плоскости и таким образом не могло быть связано с анизотропией. Было доказано, что это слагаемое обусловлено спонтанными магнитоупругими (МУ) деформациями в основном состоянии магнетика. Важно, что эти деформации являются как бы «застывшими» и не следуют за однородными осцилляциями магнитных моментов, соответствующими квазимагнной ветви МУ волн (при $k \rightarrow 0$). Тем самым они создают эффективное внутреннее магнитное поле

$$H_{МУ} = \zeta M, \tag{2}$$

изотропное в легкой плоскости, которое и дает дополнительный член $\omega_{МУ}^2$ в (1); здесь ζ (B^2/C^2) — параметр МУ связи, M — намагниченность магнетика (или его магнитной подрешетки), а C и B — соответственно константы упругости и магнитоупругости.

В работе ⁴ была также предсказана очень большая (порядка 10 К) МУ щель в редкоземельных ферромагнетиках Dy и Tb, найденная впоследствии экспериментально методом неупругого рассеяния нейтронов ⁶.

Указанные исследования и их дальнейшее развитие в работах ⁷⁻⁹ привели к выводу, что МУ щель есть общий для всех магнитоупорядоченных веществ эффект — эффект спонтанно нарушенной симметрии (СНС) в системе двух взаимодействующих полей (в нашем случае — намагниченности и деформаций). В этом состоит общезначимое значение открытия МУ щели, так как аналогичные эффекты могут иметь место в других областях

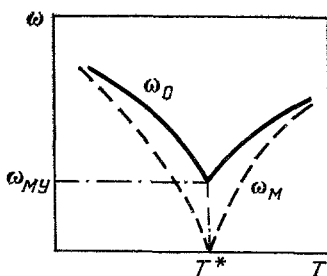


Рис. 1.

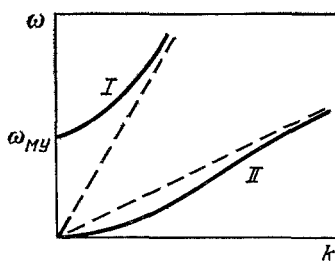


Рис. 2.

(в теории сверхпроводимости — эффект Мейсснера, в теории связанных колебаний электронных и ядерных спинов — динамический сдвиг частоты).

Подход с точки зрения СНС ^{8,9} наиболее полно отражает физику явления. Согласно ей отдельные слагаемые в (1) необходимо трактовать следующим образом. Первый член (ω_M^2) соответствует равновесной связи между колебаниями магнитных моментов (ΔM) и деформацией (Δu_{ij}), при которой учет магнитоупругости сводится к простой перенормировке констант магнитной анизотропии без изменения общего вида энергии анизотропии, определяемого ненарушенной симметрией парамагнитного кристалла. Второй член ($\omega_{МУ}^2$) есть МУ вклад в щель магнной ветви, не укладывающийся в рамки указанной перенормировки и тем самым целиком обусловленный нарушением симметрии основного состояния магнетика относительно симметрии парамагнитного кристалла. Важно подчеркнуть, что этот эффект в общем случае определяется не самими спонтанными деформациями основного состояния, а их отличием от тех стрикционных деформаций, которые соответствуют равновесной связи между ΔM и Δu .

В силу указанного определения, член ω_M^2 в (1) характерен тем, что именно он обращается в нуль при магнитных ориентационных фазовых переходах (ФП). В точках ФП второго рода и в точках неустойчивости при ФП первого рода квазимагнная щель имеет минимальное значение, давая в чистом виде эффект СНС — МУ щель, как это показано на рис. 1, где представлена зависимость ω_0 и ω_M от температуры вблизи точки ФП $T = T^*$.

МУ щель обусловлена влиянием упругой подсистемы на магнитную. Имеется, конечно, и другая сторона явления — обратное влияние колебаний спинов на взаимодействующую с ними ветвь акустических колебаний (фононов). Обе эти связанные моды колебаний (квазимагнная — I и квазиакустическая — II) представлены схематически на рис. 2 для антиферромагнетика в простейшем «чистом» случае, когда в (1) $\omega_M = 0$, так что квазимагнная щель целиком сводится к $\omega_{МУ}$ (точка минимума на рис. 1). В этом случае взаимодействие мод оказывается наиболее сильным. Штриховой линией изображены спектры без взаимодействия, а сплошными линиями — с учетом МУ взаимодействия. Наряду с появлением щели $\omega_{МУ}$ для $\omega_I(k)$, возникает сильная деформация акустической ветви — $\omega_{II}(k)$, и в пределе достаточно малых k закон дисперсии для этой ветви может измениться с линейного на квадратичный⁷. Это соответствует обращению в нуль эффективного модуля упругости (или скорости звука при $k \rightarrow 0$) для данной квазиакусти-

ческой моды. Указанный эффект экспериментально проявляется как значительное уменьшение скорости звука при уменьшении ω_M вблизи точек ФП^{7,10}. В настоящее время в литературе имеются данные о наблюдении уменьшения скорости звука за счет эффекта СНС более чем в два раза¹¹. Теоретически эффект может быть намного больше. Заметим, что в антиферромагнетиках имеет место обменное усиление акустических эффектов, обусловленное тем, что для возбуждения динамической намагниченности в них нужно преодолеть обменное взаимодействие, определяющее антиферромагнетизм. МУ эффекты СНС открывают еще одну область практического применения магнитоакустики, связанную с гигантским влиянием на скорость ультразвука магнитного поля и других внешних воздействий.

Более полный список литературы дан в обзоре⁹.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боровик-Романов А. С.— In: Physics and Techniques of Low Temperatures: Proc. of 3rd Regional Conference.— Prague, 1963.— P. 86.
2. Боровик-Романов А. С., Рудащевский Е. Г.— ЖЭТФ, 1964, т. 47, с. 2095.
3. Tasaki A., Iida S.— J. Phys. Soc. Japan, 1963, v. 18, p. 1148.
4. Туров Е. А., Шавров В. Г.— ФТТ, 1965, т. 7, с. 217.
5. Cooper B. R.— Phys. Rev., 1968, v. 169, p. 281.
6. Nielsen M., Bierum Moller H., Lindgard P. A., Maskintosh A. R.— Phys. Rev. Lett., 1970, v. 25, p. 1451.
7. Дикштейн И. Е., Тарасенко В. В., Шавров В. Г.— ФТТ, 1974, т. 16, с. 2192; ЖЭТФ, 1974, т. 67, с. 816.
8. Туров Е. А.— В кн. Электронная структура и свойства твердых тел.— Свердловск: УНЦ АН СССР, 1982.— С. 49.
9. Туров Е. А., Шавров В. Г.— УФН, 1983, т. 140, с. 429.
10. Максименков П. П., Ожогин В. И.— ЖЭТФ, 1973, т. 65, с. 657.
11. Андрушак Е. А., Евтихийев Н. Н., Погожев С. А., Преображенский В. Л., Экономов Н. А.— Акуст. ж., 1981, т. 27, с. 170.

537.611.45 (048)

В. И. Ожогин, М. А. Савченко. Обменно усиленные линейные и нелинейные магнитоакустические эффекты в антиферромагнетиках. Динамика магнитной (спиновой) подсистемы антиферромагнетика (АФ) имеет много общего с динамикой ферромагнетика (ФМ) — за одним важным исключением. Именно, для ФМ в отсутствие внешнего магнитного поля H частота однородного резонанса $\omega_0 = \gamma H_A$ определяется полем анизотропии H_A , а обменное поле H_E , являющееся причиной ФМ упорядочения, в формулу не входит, тогда как для АФ еще из расчета Киттеля¹ следовало $\omega_0 = \gamma \sqrt{2H_E H_A}$, где H_E — эффективное обменное поле, с которым одна магнитная подрешетка АФ действует на другую. Последующие экспериментальные и теоретические работы показали, что под H_A можно понимать не только поле анизотропии, но и H_S — эффективное «поле деформаций решетки на электроны», или H_N — эффективное «поле ядра на электроны». Первое возникает как следствие спонтанной деформации решетки из-за магнитоупругого взаимодействия^{2,3}, а второе — в результате среднестатистической намагниченности подсистемы ядерных спинов из-за сверхтонкого взаимодействия⁴.

Одновременно оказалось, что учет сверхтонкого или магнитоупругого взаимодействий приводит к перенормировке динамики соответственно подсистемы ядерных спинов⁴ или упругого континуума⁵, причем и в этом случае ферромагнитное обменное взаимодействие в игре почти не участвует (для волн с $a_0 k \ll 1$, где a_0 — постоянная решетки), а для АФ, особенно слабоанизотропных, H_E существенно усиливает перенормировку, или, говоря точнее, растягивает диапазон внешних полей, для которых перенормировка значительна. В частности, в АФ с высокой температурой Нееля T_N — таких, как гематит ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$; в нем $H_E \approx 10^7$ Э), это приводит к очень сильной зависимости скорости звука v_s от магнитного поля^{6,7} и от направленного сжатия σ ⁷. Величина последнего эффекта, а именно $v^{-1} dv_s/d\sigma$, легко рассчитывается⁸ и также благодаря обменному усилению оказывается в 100—1000 раз больше, чем соответствующая величина для простых твердых тел из-за ангармонизма их кристаллической решетки.

Но под σ можно понимать не только внешние механические напряжения, но и те, которые связаны с деформациями в самой звуковой волне. Это наводит на мысль о том, что в рассматриваемых веществах скорость звука, представляющего собой волну деформаций, должна сильно зависеть от амплитуды этих деформаций, т. е. должен быть очень велик ангармонизм упругой подсистемы (точнее — эффективный ангармонизм, поскольку он порожден нелинейностями как самой магнитной подсистемы, так и магнитоупругой связи с модулем B). Последующие расчеты показали, что буквально все нелинейные динамические эффекты с участием гиперзвука^{9,7} и ультразвука¹⁰ в слабоанизотропных АФ имеют гигантскую (а для ультразвука даже можно сказать — чудовищную) величину.

Так, для TmFeO_3 вблизи спиновой переориентации¹¹, когда магнитная подсистема делается «мягкой», и для $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ в малых полях¹² эффективные модули нелинейности $S_3^{\text{эфф}} \approx H_E^2 B^3 / M_0^3 (\omega_0 / \gamma)^4$ для ультразвукового диапазона частот 10...100 МГц могут достигать величины 10^{17} эрг/см³, в 10^4 раз превышая обычные для простых твердых тел значения. То же, и даже в большей степени, относится к $S_4^{\text{эфф}}$ — эффективным модулям нелинейности следующего порядка¹³. В результате становятся практически достижимыми многие ультразвуковые аналоги известных явлений нелинейной оптики: удвоение частоты, вынужденное комбинационное рассеяние (иными словами — параметрическое возбуждение звука звуком), нелинейное самовоздействие звуковых волн, самофокусировка и т. п. Высокотемпературные (т. е. с большим H_E) антиферромагнетики с «мягкой» магнитной модой (т. е. с малой частотой АФ резонанса $\omega_0 = f(H, \sigma, T)$) представляют собой исключительно удобные объекты для реализации и других нелинейных ультразвуковых эффектов (в том числе сильно нелинейных).

ЛИТЕРАТУРА

1. Kittel C. — Phys. Rev., 1951, v. 82, p. 565.
2. Боровик-Романов А. С., Рудашевский Е. Г. — ЖЭТФ, 1964, т. 47, с. 2095.
3. Туров Е. А., Шавров В. Г. — ФТТ, 1965, т. 7, с. 217.
4. De Gennes P. G., Pincus P. A., Hartmann-Boutron F., Winter J. M. — Phys. Rev., 1963, v. 129, p. 1105.
5. Савченко М. А. — ФТТ, 1964, т. 6, с. 864.
6. Seavey M. H. — Sol. State Comm., 1972, v. 10, p. 219.
7. Ozhogin V. I., Maksimenkov P. P. — IEEE Trans. Magn., 1972, v. Mag-8, p. 130.
8. Максименков П. П., Ожогин В. И. — ЖЭТФ, 1973, т. 65, с. 657.
9. Ozhogin V. I. — IEEE Trans. Magn., 1976, v. Mag-12, p. 19.
10. Ожогин В. И., Преображенский В. Л. — ЖЭТФ, 1977, т. 73, с. 988.
11. Lebedev A. Yu., Ozhogin V. I., Yakubovskii A. Yu. — IEEE Trans. Magn., 1981, v. MAG-17, p. 2727.
12. Бережнов В. В., Евтихийев Н. Н., Преображенский В. Л., Экономов Н. А. — ФТТ, 1982, т. 24, с. 1870.
13. Преображенский В. Л., Савченко М. А., Экономов Н. А. — Письма ЖЭТФ, 1978, т. 28, с. 83.

524.38(048)

И. Д. Новиков. Электродинамика черных дыр и ее астрофизические приложения. Наличие черных дыр в двойных звездных системах можно считать фактом, установленным астрофизическими наблюдениями. Многочисленные данные наблюдений указывают на вероятное присутствие сверхмассивных черных дыр в ядрах галактик и квазарах. Эти сверхмассивные черные дыры должны являться причиной выделения огромной энергии, наблюдаемого в квазарах и ядрах галактик. Одним из возможных механизмов выделения энергии могут быть электродинамические процессы, протекающие в окрестности черных дыр, подвергающихся аккреции замагниченного газа. В последнее время в СССР и за рубежом развивается теория электродинамики черных дыр. Если вращающуюся черную дыру поместить во внешнее магнитное поле, то в ее окрестности возникает индукционное электрическое поле, вызываемое наличием релятивистского гравимагнитного поля, связанного с вращением черной дыры. Если теперь в окрестности имеется разреженная плазма, то в ней возникают электрические токи. Эти токи могут служить конкретным механизмом, перекачивающим энергию вращения черной дыры в энергию ультрарелятивистских частиц, жестких квантов и т. д. В работе Н. С. Кардашева, И. Д. Новикова, А. Г. Поднарева, Б. Е. Штерна построена модель, объясняющая проявление активности центра нашей Галактики, как результат возникновения мощного пучка жестких γ -квантов с полной энергией $\sim 10^{40}$ эрг/с. Пучок γ -квантов возникает в результате взаимодействия заряженных частиц, разгоняемых индукционным электрическим полем вокруг черной дыры с тепловым излучением газа, падающего на черную дыру. Возможно, подобный механизм может работать и в ядрах других галактик, и в квазарах.

ЛИТЕРАТУРА

- Кардашев Н. С., Новиков И. Д., Поднарев А. Г., Штерн Б. Е. — Астрон. ж., 1983, т. 60, с. 209.

53(048)

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

(22—23 февраля 1984 г.)

22 и 23 февраля 1984 г. в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР состоялась совместная научная сессия Отделения общей физики и астрономии и Отделения ядерной физики АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

22 февраля

1. Б. Б. Кадо́мцев. Физика токамаков.
2. Л. М. Коврижных. Стеллараторы.
3. Д. Д. Рютов. Открытые ловушки.

23 февраля

4. А. А. Боровой, Ю. Л. Добрынин, С. Н. Кетов, В. И. Копейкин, Л. А. Микаэлян, М. Д. Скорохватов, А. Н. Херувимов. Нейтринные эксперименты на реакторе Ровенской атомной электростанции.
5. В. М. Лобашев, П. Е. Спивак. К вопросу об измерении массы электронного антинейтрино.

Краткое содержание одного доклада приводится ниже.

533.9.07 (048)

Л. М. Коврижных. Стеллараторы. В докладе излагаются современное состояние и программа исследований на тороидальных магнитных ловушках стеллараторного типа. Эта программа является частью общей программы исследований по управляемому термоядерному синтезу.

Отличие стелларатора от токамака заключается в методе создания стабилизирующего магнитного поля. В токамаке оно создается током, протекающим по плазме, а в стеллараторе — системой специальных проводников с током (винтовых обмоток). Основным преимуществом стелларатора по сравнению с токамаком является возможность работы его в стационарном режиме, что для токамака представляется пока проблематичным. Основной недостаток его — относительно высокие потери тепла и частиц, связанные с существованием так называемых локально запертых частиц. По своему развитию (точнее, по размерам установок) стеллараторная программа отстает от программы токамак на 5—10 лет, что было вызвано, в частности, пессимистическим отношением большинства специалистов к стеллараторным системам, возникшим после неудачных экспериментов на американском стеллараторе С.

Однако значительные и весьма обнадеживающие результаты (как в теории, так и в эксперименте), полученные в последние 3—4 года, показали, что стеллараторные системы весьма перспективны и, по-видимому, вполне могут рассматриваться как одна из альтернативных систем для будущего термоядерного реактора.

В настоящее время в мире насчитывается около двадцати действующих установок стеллараторного типа, проектируются и в ближайшие годы вступят в строй (в СССР, ФРГ, Японии, США) еще несколько установок больших масштабов.

На существующих стеллараторах получена плазма в бестоковом режиме с плотностью $\sim 10^{14}$ см⁻³, температурой > 1 кэВ и энергетическим временем жизни порядка десятков микросекунд. Эти данные сравнимы, а по некоторым параметрам даже превосходят полученные на токамаках аналогичных размеров. Имеющиеся результаты, так же как и теоретические расчеты, в которых тоже произошел значительный прогресс, позволяют надеяться, что в установках следующего поколения будет получена плазма с еще более высокими параметрами.

Более того, проведенные оценки (хотя, правда, еще не очень надежные) показали, что в системах с реакторными масштабами возможно получение плазмы с достаточно высоким давлением $\beta = 8\pi r/B^2$ и параметрами, удовлетворяющими критерию Лоусона.

Однако для окончательного решения вопроса о возможности использования стеллараторных систем для термоядерного реактора необходимо решить еще ряд чисто физических проблем, ответ на которые может иметь решающее значение. Из них прежде всего следует отметить: а) экспериментальную проверку возможности достижения предсказываемых теорией максимальных значений β (необходимых для экономически оправданного термоядерного реактора), б) исследование характера потерь энергии в режиме редких столкновений, сравнение данных экспериментов с предсказаниями теории и получение достаточно достоверных скейлингов, позволяющих оценивать энергетическое время жизни плазмы в системах с реакторными параметрами.

Решение этих проблем требует создания новых установок больших масштабов, сравнимых по своим размерам с вновь созданными токамаками (TFTR, JET, TEXTOR, JT-60).

Эксперименты на таких установках смогут дать окончательный ответ на вопрос о возможности использования стеллараторных систем в качестве термоядерного реактора.

Материалы доклада опубликованы в следующих публикациях:

1. Труды IX Международной конференции МАГАТЭ по физике плазмы и контролируемому синтезу. Балтимор, США, сентябрь 1982 г.
2. Труды XI Европейской конференции по физике плазмы и контролируемому синтезу. Аахен, ФРГ, сентябрь 1983 г.
3. Plasma Phys. and Contr. Fusion, January 1984, v. 26, No. 1A.
4. Stellarator Status and Future Direction: Joint US-Euratom report IPP-2/254.—1984.

539.12.01(063)

Х ВСЕСОЮЗНАЯ ШКОЛА ПО НЕУПРУГИМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯМ ПРИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ

(Бакуриани, Груз. ССР, 15—26 января 1984 г.)

С 15 по 26 января 1984 г. в Бакуриани проходила очередная X Всесоюзная школа по неупругим взаимодействиям при высоких энергиях. Школа была организована Институтом физики АН Груз.ССР на Бакурианской базе Высокогорной космической станции Цхра-Цкаро. Уникальной особенностью Школы является одновременное участие в работе Школы специалистов в области физики космических лучей, экспериментальной физики частиц высоких энергий и теоретической физики. Это и определило широкое представительство всех основных научных центров страны: Института физики АН Груз.ССР, ИФВЭ ТГУ, ТГУ, ФИАН СССР, ИФВЭ, ИТЭФ, ОИЯИ, ЛИЯФ АН СССР, ИЯФ СО АН СССР, НИИЯФ МГУ, ИКИ, ИЯИ, МИФИ, МФТИ, ИТФ. Всего в работе школы принимало участие 94 ученых из 15 институтов Советского Союза. Было прочитано 34 лекции и проведено 11 экспериментальных и 10 теоретических семинаров. Специфика школы определила центральное место проблемам физики космических лучей и неупругим взаимодействиям адронов при сверхвысоких энергиях. Сближение максимальных ускорительных энергий (SPS-коллайдера) с типичными энергиями, при которых выполняются эксперименты в космических лучах, позволило провести совместное рассмотрение данных при энергиях $E \sim 10^3$ ТэВ.

Характерной особенностью взаимодействия адронов при столь высоких энергиях является струйный характер событий. В докладе В. Г. Гришина были подробнейшим образом рассмотрены характеристики струй адронов в мягких и жестких соударениях. Известные характеристики спектров адронов в струях, регистрируемых в жестких и мягких процессах, по всей видимости, близки друг к другу и можно говорить об их совпадении. На то же самое указывают данные космических экспериментов. Анализ ливней (ШАЛ), зарегистрированных на установке «ковер» Баксанской нейтринной обсерватории (доклад В. А. Тизенгаузена), и подробное исследование этих ливней убеждают в том, что при энергиях $\sqrt{s} > 500$ ГэВ рождаются в основном глюонные струи. При сопоставлении данных с результатами измерений на встречных кольцах SPS найдено хорошее согласие. Г. Б. Жданов, представивший в своем докладе данные сотрудничества «Памир», продемонстрировал струйный характер множественного рождения на примере γ -семейств, наблюдаемых в рентгено-эмульсионных камерах. Сопоставление данных, полученных в космических лучах на разных установках, указывает на рост неупругого сечения с ростом энергии и нарушение масштабной инвариантности в центральной и фрагментационных областях. Анализ этого нарушения, выполненный А. Д. Ерлыкиным, указывает на то, что оно имеет место и при энергиях выше 10^{14} эВ. Анализ А-зависимости спектров при энергиях ~ 10 ТэВ, проведенный на высокогорной станции Цхра-Цкаро им. Г. Е. Чиковани (представлено Д. М. Котляревским), подтверждает вывод о нарушении масштабной инвариантности. Данные этой группы указывают на заметное отличие от предсказаний аддитивной кварковой модели. Представленные на школу экспериментальные данные при сверхвысоких энергиях были подвергнуты всестороннему анализу с точки зрения современных моделей множественного рождения адронов.

В этой части школы И. М. Дреминым был дан обзор современных данных по полным, упругим и неупругим сечениям взаимодействия адронов. В докладе К. А. Тер-Мартirosяна была представлена кварк-глюонная модель множественного рождения частиц при высоких энергиях, основывающаяся на дуально-топологическом разложении и теории надкритического поперона. Рассмотрение процессов двойной дифракционной диссоциации (И. И. Ройзен) показало, что они могут давать значительный вклад в полное сечение при $\sqrt{s} > 500$ ГэВ.

Широко были представлены на школе обзоры кварк-партоных моделей множественного рождения. П. Э. Волковидский рассказал о модели адронизации, разрабатываемой в Лундском университете. Л. В. Фильков представил расчеты, выполненные в рамках КХД применительно к кварк-глюонной плазме, и указал на возможные ее проявления в процессах соударения тяжелых ионов и в космических лучах. Взаимодействия релятивистских ядер рассмотрел Ю. Н. Шабельский. И. Л. Розенталь и Ю. А. Тарасов пред-

ставили анализ данных при высоких энергиях в рамках гидродинамической модели. Следствия гипотезы невылетаия кварков применительно к адрон-ядерным взаимодействиям были изложены в докладе Б. Э. Копелиовича.

Специфический характер взаимодействия с ядрами в глубоконеупругих взаимодействиях был подчеркнут в обзорном докладе Н. Н. Николаева. В нем были изложены современные модели, объясняющие наблюдаемое в эксперименте отклонение от простой A -зависимости сечения глубоконеупругих процессов. Одну из точек зрения на эту проблему изложил М. Г. Рыскин, рассмотревший роль процессов перерассеяния партонов в ядре. А. А. Тяпкин обсуждал спектроскопию бозонных систем из легких кварков. Представленные результаты парциально-волнового анализа данных, полученных в совместном эксперименте ГКИАЭ — ЦЕРН (сотрудничество Дубна — Милан), указывают на существование новых бозонных резонансов.

В разделе, относящемся к процессам образования «новых» частиц, на школе были заслушаны доклады Э. П. Кистенева, Л. Г. Ткачева, В. Г. Картвелишвили. В докладе Э. П. Кистенева была изложена современная экспериментальная ситуация, относящаяся к рождению и определению времен жизни очарованных частиц. Данные об образовании W - и Z^0 -бозонов и времени жизни нуклона (по материалам Европейской конференции в Брайтоне) представил Л. Г. Ткачев. Оценки возможностей наблюдения уровней боттомония, образующихся в адронных соударениях (в моде $\psi\psi$), приведены в обзоре В. Г. Картвелишвили. О возможности наблюдения эффектов, связанных с рождением очарованных частиц при взаимодействии космических лучей (длиннопробежные лавины), рассказал И. М. Дремин.

На школе были широко представлены доклады по проблемам теоретической физики. Э. В. Шуряк представил обзор различных направлений теории сильных взаимодействий, посвященных исследованию вакуума КХД: квазиклассического подхода (теории инстантонов); решеточного приближения и метода правил сумм. Был рассмотрен также макроскопический подход, связанный с возможностью существования кварк-глюонной плазмы. Д. Л. Чкареули изложил современное состояние моделей составных кварков и лептонов. Показана роль условия сохранения киральной симметрии для преонов и составных фермионов в выборе группы симметрии для единой схемы, объединяющей слабые, электромагнитные и сильные взаимодействия. М. И. Высоцкий обсудил перспективы обнаружения новых частиц, существование которых предсказывается в моделях, основывающихся на низкоэнергетической суперсимметрии. Введение в суперсимметричную теорию поля сделал в своем докладе М. А. Шифман. Были обсуждены важные и интересные следствия суперсимметрии: зануления энергии вакуума, точные соотношения для некоторых корреляционных функций.

Вопросы нейтринной физики нашли свое отражение в докладах В. А. Царева и Р. С. Шувалова. В. А. Царев обсуждал интересные прикладные задачи, решаемые методами нейтринной физики. Рассмотрена возможность применения нейтрино высоких энергий для целей глобальной геодезии, тектоники, нейтринной томографии Земли, поисков нефти, газа, тяжелых минералов. Оценивались возможные способы детектирования нейтринных пучков по регистрации равновесного потока мюонов, термодинамического сигнала и черенковского свечения. Вопросы создания пучков нейтрино были рассмотрены в обзорном докладе Р. С. Шувалова о программе «меченых нейтрино» на ускорителе ИФВЭ. Обсуждались преимущества метода «меченых нейтрино» при решении физических задач.

Традиционным для школы было обсуждение вопросов космологии. С обзором по фундаментальным космологическим проблемам выступил А. Д. Долгов. Обсуждались возможные способы решения проблем горизонта, однородности и изотропии Вселенной, близости плотности к критической и возникновения Вселенной.

На параллельных семинарах был заслушан целый ряд интересных экспериментальных и теоретических сообщений по физике частиц.

Несомненной заслугой оргкомитета явилась прекрасная организация и продуманность научной программы школы. На школе царил непринужденная дружеская атмосфера, позволяющая до конца выяснить все спорные вопросы и способствующая глубокому и быстрому пониманию такой бурно развивающейся науки, как физика частиц высоких энергий.

А. К. Лиходед