

## КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЯМ ЭФФЕКТА МЁССБАУЭРА (Тихань, Венгрия, 17— 21 июня 1969 г.)

В июне 1969 г. в Тихани (Венгрия) состоялась Конференция по применениям эффекта Мёссбауэра, организованная Венгерской Академией наук и Физическим обществом им. Лораида Этвеша при поддержке Центрального института физических исследований.

Как отметил в своем вступительном слове председатель Оргкомитета, член-корреспондент Венгерской Академии наук проф. Л е н а р д П а л, хотя формально Конференция являлась национальной, поскольку в ее организации принимали участие в основном венгерские научные учреждения, по существу эта Конференция имела глубоко международный характер. Она явилась продолжением встреч специалистов европейских социалистических стран по эффекту Мёссбауэра, состоявшихся в Дубне (СССР) в 1962 г. и близ Варны (Болгария) в 1967 г. На Тиханьской конференции были представлены также ученые США, Англии, ФРГ, Голландии, Дании, Франции — всего в работе Конференции приняло участие свыше ста ученых из более чем двадцати стран.

Труды Конференции будут опубликованы в виде книги к середине 1970 г. издательством «Akademiai Kiadó» (в основном на английском, часть докладов — на русском языке). Краткие тезисы были опубликованы в специальном сборнике, врученном участникам перед началом Конференции.

На Тиханьской конференции обсуждался следующий круг проблем:

1. Эффект Гольданского — Карягина.
2. Релаксационные эффекты.
3. Исследование замороженных растворов.
4. Поверхностные явления.
5. Применение ядерного  $\gamma$ -резонанса (ЯГР) в биологии.
6. Применение ЯГР в химии твердого тела.
7. Магнитные и немагнитные окиси и соединения.
8. Металлы и сплавы.

### 1. ЭФФЕКТ ГОЛЬДАНСКОГО — КАРЯГИНА

Одной из самых актуальных тем современной мёссбауэровской спектроскопии является открытый в 1962 г. эффект Гольданского — Карягина — асимметрия (различные площади) пиков квадрупольных дублетов  $\gamma$ -резонансных (ГР) спектров. Такая асимметрия позволяет изучать анизотропию фонового спектра кристаллов и амплитуд тепловых колебаний атомов в монокристаллах в опытах с поликристаллическими порошками.

Хотя теория эффекта проста, здесь имеется ряд проблем, еще не получивших удовлетворительного объяснения. Для количественной проверки выводов теории надо проводить измерения как на монокристаллических, так и на поликристаллических образцах. Последние, однако, бывают обычно текстурированы и не являются по этому идеально изотропными порошками. Кроме того, истинное значение эффекта может маскироваться поляризацией  $\gamma$ -квантов и релаксационными явлениями. Поэтому любой эксперимент требует очень тщательной подготовки и анализа данных.

Весьма ярко эффект Гольданского — Карягина проявляется в органических соединениях олова, причем свойства асимметрии дублетов могут зависеть здесь и от взаимодействия оловосодержащих молекул с растворителем.

С большим интересом обсуждался эффект Гольданского — Карягина в сидерите  $\text{FeSO}_3$ . В. И. Гольданский и др. (СССР) применили следующую интересную методику. Поляризованные монокристаллом сидерита, ось градиента электрического поля (ГЭП) которого была расположена перпендикулярно пучку ( $\theta = 90^\circ$ ),  $\gamma$ -кванты пропускались затем через второй монокристалл сидерита (также при  $\theta = 90^\circ$ ), который играл роль анализатора. Вращая второй монокристалл в плоскости, перпендикулярной пучку  $\gamma$ -квантов и меняя тем самым азимутальный угол ( $\alpha$ ) между осями ГЭП двух монокристаллов, авторы наблюдали зависимость асимметрии квадрупольных дублетов от угла поворота анализатора. Такая методика позволяет как получить абсолютные величины фактора Дебая — Валлера  $f'$ , так и установить характер анизотропии эффекта Мёссбауэра, т. е. зависимость  $f'(\theta)$ .

Другие авторы исследовали поликристаллические образцы. Наблюдавшаяся асимметрия квадрупольных дублетов оказалась, однако, зависящей от угла поворота образца относительно направления пучка  $\gamma$ -квантов. Поэтому был сделан вывод о том, что лишь часть асимметрии обусловлена в этих случаях эффектом Гольданского — Карягина, наряду с которым существенную роль играет определенная текстурованность образцов.

## 2. РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ

Эффект Мёссбауэра является достаточно тонким и гибким инструментом для изучения релаксационных явлений. Доклады, представленные на конференции, показали, что возможности теоретической и экспериментальной работы в этой области далеко не исчерпаны и что здесь возникают все новые и новые задачи.

В обзорном докладе Ф. В а н - д е р - В у д е (Голландия) рассматривал теорию релаксационных процессов в магнитных веществах. В приближении стохастической модели, в котором вместо матрицы плотности используется представление о случайном взаимодействии системы ядра и кристаллического окружения, докладчик привел математические выражения для описания влияния релаксации на параметры ГР спектров (т. е. зависимости ширины и положения пиков от времени релаксации). Результаты сравнивались с экспериментальными данными, и в двух предельных случаях (очень быстрые и очень медленные флуктуации) получалось удовлетворительное согласие. Подробно обсуждались свойства ГР спектров вблизи точки Кюри. Характер спектров хорошо объясняется флуктуациями намагниченности.

К релаксационным относится и явление суперпарамагнетизма. Особый интерес вызывает исследование суперпарамагнетизма ультрамалых частиц антиферромагнетиков. Изучая свойства частиц  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и  $\alpha$ -FeOOH, можно прийти к выводу о существовании критического объема ультрамалых частиц, ниже которого частица находится в парамагнитном, а выше — в антиферромагнитном состоянии. Показано, что критический объем зависит от температуры. Не менее интересен вопрос о природе суперпарамагнитных ферромагнитных частиц. Теория показывает, что для кристаллов с кубической симметрией существует критический размер, ниже которого время релаксации падает до нуля, а выше — возрастает. Безусловным удобством для экспериментаторов, изучающих релаксационные явления, является возможность детального сравнения своих результатов с теорией. Так обстоит дело с эффектом Блюма (влияние парамагнитной релаксации на форму квадрупольных дублетов), изученным в FeCO<sub>3</sub>, или релаксацией в сплаве Fe<sub>0,63</sub>Ni<sub>0,37</sub>.

Однако интереснее всего был доклад А. М. А ф а н а с ь е в а (СССР) о недавно предсказанном Ю. М. К а г а н о м и им теоретически и вскоре затем экспериментально открытом явлении стабилизации сверхтонкой структуры (СТС) ГР спектров в слабых магнитных полях. Этот эффект похож на аномальный эффект Зеемана в оптике. Дело в том, что СТС чувствительна не только ко времени релаксации электронного спина парамагнитного иона, но в ряде случаев и к очень слабым внешним магнитным полям. Дело в том, что в таких полях состояния, между которыми осуществляется ядерный переход в парамагнитном ионе, являются уже не чисто ядерными, а смешанными, ядерно-электронными. Когда ион находится в магнитном поле, уровни, между которыми происходит переход, сдвигаются. Поэтому достаточно совсем небольших полей (для Fe<sup>3+</sup> — порядка нескольких эрстед), чтобы заметно изменить, а в случае хаотически распределенных полей полностью размыть СТС.

С другой стороны, когда внешнее магнитное поле не слишком мало, мёссбауэровские переходы снова становятся чисто ядерными. Поэтому наложение именно слабых магнитных полей обеспечивает наилучшее разрешение СТС и оптимальные условия соответствующих экспериментов.

## 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАМОРОЖЕННЫХ РАСТВОРОВ

Проведенные методом ЯГР исследования замороженных растворов позволили высветить структуру и непосредственно наблюдать структурные изменения замороженных растворов в зависимости от температуры. Однако ввиду сложности явлений многие вопросы остались пока открытыми. К ним относятся выяснение связи между структурами твердой и жидкой фаз, влияния присутствия ионов разных элементов и их концентрации на структуру твердых растворителей, сопоставление данных, полученных с помощью разных методов. Среди конкретных примеров отметим исследования замороженных водных растворов ионов Eu<sup>2+</sup> и Eu<sup>3+</sup>, которые показали, что для этих систем скорость низкотемпературного фазового превращения льда меньше, чем для растворов Fe. С помощью метода возмущенных угловых корреляций было подтверждено, что в замороженных водных растворах вблизи — 90° С ионы Ta<sup>181</sup> испытывают динамические возмущения, обнаруженные с помощью метода ЯГР путем регистрации в озрастания скорости движения ионов в этой области температур. С помощью диффе-

ренциального термоанализа было показано, что переход при  $-90^{\circ}\text{C}$  при охлаждении льда сопровождается выделением тепла.

Существенный интерес представляет вопрос о том, влияет ли на параметры спектров ЯГР вид анионов, если скорость охлаждения растворов очень велика ( $\sim 700$  град/сек). Эксперименты показали, что анионы не влияют на вид спектра даже при добавлении к замораживаемому раствору 50 % глицерина, т. е. при резком увеличении вязкости растворов. Отсюда следует, с одной стороны, что анионы расположены достаточно далеко от катионов, а с другой стороны — что диффузионные процессы, затрудненные глицерином, не играют существенной роли в образовании замороженной фазы.

#### 4. ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Теоретические работы, посвященные поверхностным явлениям, охватывают весьма широкий круг вопросов, например колебания атомов, расположенных на поверхности, их поверхностную диффузию, энергетическое состояние и магнитные свойства, исследования адсорбции и гетерогенного катализа. Интересны также вопросы влияния границы раздела на динамические и химические свойства объемных атомов, расположенных вдали от границ твердого тела. Сюда относятся, например, такие явления, как изменения фононного спектра и магнитных свойств высокодисперсных частиц, суперпарамагнетизм и топохимические реакции.

К числу работ по поверхностным явлениям можно отнести и исследования свойств тонких пленок, приготовленных с помощью напыления в вакууме. Выяснилось, например, что в случае железа температура магнитного упорядочения меньше  $20^{\circ}\text{C}$ , если толщина слоя меньше  $15 \text{ \AA}$ . В случае же тонких слоев олова была обнаружена асимметрия ГР спектров, что было приписано возникновению новой модификации олова.

#### 5. ПРИМЕНЕНИЕ ЯГР В БИОЛОГИИ

Эффект Мёссбауэра нашел широкое применение в биологии. Методом ЯГР изучались и движение насекомых, и колебания барабанной перепонки, и химические свойства бактерий и биологически активных материалов.

Д. Л а н г (Англия) в обзорном докладе подвел итоги результатов исследования структурных свойств веществ, представляющих биологический интерес. С помощью синтеза данных, полученных посредством отчасти эффекта Мёссбауэра, отчасти — других методов, удается установить распределение электронов по разным молекулярным орбитам, характер этих орбит, спиновое состояние молекул биологических соединений. Хорошим примером является изучение химических связей железа в протеинах, которые оказались в значительной степени ковалентными. Поэтому метод ЯГР здесь особенно эффективен.

Перспективными представляются также исследования парамагнитных железосерных протеинов (ферредоксин, ксантиноксидаза), а также изучение мезогемов и протогемов миоглобинов и их фторных комплексов. Исследование столь сложных систем, как протеинов, особенно ярко демонстрирует необходимость сопоставления мёссбауэровских данных с данными, полученными с помощью различных химических и биологических методов, а также важность совместной работы специалистов разного профиля в области биофизики.

#### 6. ПРИМЕНЕНИЕ ЯГР В ХИМИИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Структурные исследования являются особенно полезными в том случае, когда измерения проводятся для многих представителей данной группы соединений (объединяемой идентичностью или сходством тех или иных атомов, лигандов, координационного числа, характера симметрии иона). Из величины химического сдвига можно сделать выводы о координационном числе, а квадрупольное расщепление характеризует степень симметрии окружения. Знак квадрупольного расщепления, например, определяется характером отклонения распределения зарядов от сферической симметрии (сплюснутость или вытянутость). Подобная информация содержится и в дипольной части сверхтонкого магнитного поля, которое определяется отклонением спинового окружения от кубической симметрии.

К. Д ж о н с о н (Англия) в своем обзорном докладе продемонстрировал широкие возможности метода ЯГР. Многие из конкретных примеров были взяты им из собственной практики (например, исследование высокоспинового состояния  $\text{Fe}^{2+}$  в октаэдрическом и тетраэдрическом окружениях, определение знака градиента электрического поля во фталоцианинах и т. п.).

Не вполне еще развита теория количественной взаимосвязи между химическим сдвигом и плотностью  $s$ -электронов, экранируемых к тому же другими электронами. В связи с этим интересно отметить, что рассчитанные с помощью формулы Ферми —

—Сегре—Гаудсмита плотности электронов  $1s$ ,  $2s$ ,  $3s$  с применением слэтеровских эффективных квантовых чисел и зарядов согласуются с результатами расчета Фримена и Ватсона, полученными методом Хартри — Фока. Важно найти достаточно общие соотношения изомерного сдвига и квадрупольного расщепления в соединениях атомов с валентными  $5s5p$ -электронами. Оказывается, что, систематизируя экспериментальные значения изомерных сдвигов и квадрупольных расщеплений, можно делать выводы об электронной конфигурации в соединениях олова, сурьмы, теллура, пода и ксенона.

В качестве примера иных применений ЯГР в химии можно отметить еще исследование электронных состояний  $Fe^{57}$ , образованных после захвата орбитального электрона ядрами  $Co^{57}$  в  $K_3CoF_6$  и  $CoF_2$ . В соединениях  $K_3CoF_6$  обнаружено присутствие четырехвалентных ионов железа и далее проведено рассмотрение обратных донорных процессов в переходе  $t_{2g}^4 e_g^2 \rightarrow t_{2g}^3 e_g^3$ , в котором решающим фактором оказались  $\pi$ -акцепторные способности лиганда. Помимо «обычных» мёссбауэровских изотопов, на конференции была представлена еще работа на изотопах  $J^{127}$  и  $J^{129}$ . Исследовались соль  $CsJ_3$  и комплексы типа бензамид- $J_3$ . Измерения показали, что в ионе  $J_3$  три атома пода не являются эквивалентными.

В этой же секции болгарские исследователи рассказали о возможностях применения эффекта Мёссбауэра в резиновой промышленности. С помощью метода ЯГР они продемонстрировали возможность заменить обладающий сильным коррозионным действием катализатор вулканизационных процессов  $SnCl_2 \cdot 2H_2O$  на безводное хлористое олово, которое свободно от вышеуказанного недостатка. Ряд докладов польских, советских и румынских ученых был посвящен изучению свойств разных комплексных соединений.

## 7. МАГНИТНЫЕ И НЕМАГНИТНЫЕ ОКИСИ И СОЕДИНЕНИЯ

В данной области исследований эффект Мёссбауэра особенно ярко проявляет свои разносторонние возможности. Как известно, метод ЯГР может дать сведения относительно:

а) величины магнитного момента ядер и характера магнитных взаимодействий в атомах и молекулах;

б) симметрии локальных искажений кристаллической решетки;

в) типа химической связи, валентности, координационного числа.

Поэтому с помощью ГР спектроскопии можно различить идентичные атомы, проявляющие в кристалле неэквивалентность в магнитном, кристаллографическом или химическом отношениях.

С этой точки зрения в значительном числе представленных на конференции докладов рассматривался эффект Мёссбауэра в гранатах. Большой интерес к ним связан, по-видимому, с тем обстоятельством, что применение вычислительной техники к анализу сложных ГР спектров позволило глубже понять влияние примесей на свойства атомов железа в замещенных гранатах.

Особливо обсуждался механизм возникновения сверхтонких магнитных полей на ядрах диамагнитных атомов, занимающих различные кристаллические узлы в структуре граната, в которых, по-видимому, поля создаются или прямым подмешиванием заполненных оболочек ионов  $Sn^{4+}$ , или  $Sb^{5+}$  к  $3d$ -электронам железа, или же через механизм косвенного обмена с участием  $2p$ -электронов кислорода. Следует отметить, что в области химии гранатов возможность установления распределения катионов в различных подрешетках является весьма существенным шагом вперед по сравнению с обычным химическим анализом данных соединений.

Расширение температурного интервала ЯГР-исследований гранатов привело к демонстрации целого ряда неожиданных новых возможностей применения эффекта Мёссбауэра для определения различных констант магнитных материалов. Следует отметить, например, определение «критической экспоненты» ( $\beta$ ) для атомов железа, расположенных в разных кристаллических подрешетках ориентированного монокристалла иттриевого граната. Аппроксимация наблюдавшихся температурных изменений сверхтонкого магнитного поля законом  $H(T)/H(0) = D(1 - T/T_C)^\beta$  приводит к интересному результату, что значение  $\beta$  зависит от типа подрешетки, а также от температурного интервала исследования, т. е. от степени близости температуры  $T$  к точке Кюри  $T_C$ .

Известный факт, что мёссбауэровские спектры замещенных гранатов, как правило, являются очень сложными, получил общепринятое объяснение, заключающееся в том, что такие спектры возникают за счет суперпозиции зеemanовских секстетов, принадлежащих атомам железа, которые различаются составом уже первой координационной сферы. Исследование температурной зависимости сверхтонкого магнитного поля каждой компоненты позволяет определить отношение энергий обменных взаимодействий  $Me(A) - Fe(B)$  и  $Fe(A) - Fe(B)$ , где  $Me$  обозначает  $3d$ -металл, а  $A$  и  $B$  характеризуют разные кристаллические узлы.

Применение внешних магнитных полей и распространение исследований на монокристаллические образцы еще более расширяет круг вопросов, входящих в компетенцию специалистов по эффекту Мёссбауэра. Возникает, в частности, возможность определить магнитные константы антиферромагнитных материалов. Как известно, в антиферромагнитных материалах направление намагниченности подрешеток зависит от энергии анизотропии и от напряженности внешнего магнитного поля  $H_{\text{внеш}}$ . Легко показать, что соотношение интенсивности пиков спектра ЯГР зависит от  $H_{\text{внеш}}/2A_{AB}K_0$ , где  $A_{AB}$  пропорционально обменному интегралу,  $K_0$  — коэффициент анизотропии. Таким образом, из интенсивности пиков можно определить произведение  $A_{AB}K_0$ . Нередко наблюдаются такие сложные спектры, в которых расположения и интенсивности отдельных компонент нельзя описать в простой аналитической форме. Такая ситуация возникает в тех случаях, когда величина магнитного сверхтонкого расщепления сравнима с величиной расщепления, вызванного градиентом электрического поля. В подобной ситуации метод наименьших квадратов приходится комбинировать с численным решением задачи определения собственных значений векторов.

Комплексные соединения железа не менее важны, чем ионные. Выяснение возникновения сверхтонкого магнитного поля на ядрах Fe, а также способа осуществления магнитных взаимодействий между ионами железа и другими магнитными компонентами системы позволяет описать роль лигандов в формировании той или иной электронной структуры комплексных соединений. Изучение температурной зависимости квадратурного расщепления не только дополняет информацию об электронной структуре, но и позволяет определить вклад кристаллической решетки в тензор градиента электрического поля.

В ряде докладов рассматривались свойства веществ, содержащих изотопы, применяемые в ЯГР реже, чем Fe или Sn (например, Gd, Te, Ge, Sb). Наблюдение  $\gamma$ -резонанса на перечисленных изотопах сильно затруднено или низкими значениями вероятности эффекта Мёссбауэра, или высокими значениями спинов основного и возбужденного уровней (последнее часто является причиной резкого уширения резонансной области энергий с соответствующим уменьшением сечений резонанса и перекрытием линий СТС).

Однако достижения экспериментальной техники, по-видимому, уже в ближайшем будущем позволят преодолеть отмеченные трудности, что значительно расширит возможности применения эффекта Мёссбауэра и круг исследуемых с его помощью вопросов.

В заключение этого раздела необходимо отметить важную роль эффекта Мёссбауэра в изучении минералов и материалов внеземного происхождения. Так, например, при исследовании метеоритов или лунных пород особенно интересно знать не только общее количество тех или иных ионов, но и их расположение и химическое состояние в исследуемых образцах.

## 8. МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Среди проблем, возникающих при изучении свойств металлов и сплавов, интереснейшим является вопрос о механизме поляризации электронов проводимости локализованными моментами в магнитных материалах. При этом важнейшим является вопрос о знаке  $s-d$ -обменного взаимодействия в железе. Идея соответствующего опыта такова. Если осуществить тесный контакт ферромагнитного и диамагнитного металлов, то электроны проводимости в ферромагнетике поляризуются в результате обменного взаимодействия с  $3d$ -электронами и посредством диффузии переносят поляризацию в диамагнитный металл, создавая на ядрах диамагнитного металла контактное магнитное поле. При этом в мёссбауэровском спектре ядра диамагнетика должна наблюдаться сверхтонкая структура. Поместив образец во внешнее магнитное поле, можно определить знак  $s-d$ -обменного взаимодействия в ферромагнетике по расширению (сужению) линий СТС мёссбауэровского спектра. Для проведения эксперимента были приготовлены образцы в виде сэндвичей из Fe и Sn, с толщиной отдельных слоев  $\sim 100 \text{ \AA}$ . Измерения проводились на ядрах  $\text{Sn}^{119}$  без магнитного поля и с магнитным полем  $H_C = 20 \text{ кэ}$ , направленным в плоскости образца. Основываясь на уширении линии, авторы эксперимента — И. Н. Николов и др. (СССР) — считают знак  $s-d$ -обмена положительным. Поскольку, однако, вопрос весьма важен, а эксперимент очень delicate, авторы его сами не считают свой вывод окончательным и предполагают провести дальнейшую проверку и уточнение данного результата.

Не меньший интерес представляет проблема влияния примесных соседей на величины магнитного момента атома железа. В качестве примера можно упомянуть здесь о сплавах системы Fe — Sn, которая дает возможность наблюдать ЯГР на обеих составляющих сплава, что позволяет делать ряд интересных выводов о структуре целого ряда сплавов и интерметаллических соединений ( $\text{Fe}_3\text{Sn}$ ,  $\text{Fe}_5\text{Sn}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{Sn}_2$ ,  $\text{FeSn}$  и  $\text{FeSn}_2$ ). Обнаружено влияние ближайших соседей Sn на магнитные моменты Fe. Установлено, что магнитное поле на ядре Fe пропорционально числу ближайших Fe соседей и обратно пропорционально корню квадратному из полного числа ближайших соседей.

Наблюдение зеemanовского расщепления на ядрах  $\text{Sn}^{119}$  позволило определить с хорошей точностью магнитный момент первого возбужденного состояния ядра  $\text{Sn}^{119}$ . Подобные вопросы возникают при исследовании сплавов железа и с другими диамагнитными разбавителями (например, Ga, Al). Исследования находятся пока только в начальной фазе, и, по-видимому, «прорыва фронта» в данном направлении можно ожидать лишь после накопления большого объема информации и разработки необходимого теоретического обоснования вопросов.

Ситуация станет еще более сложной, но тем самым и более интересной, если примеси к железу будут также из 3d-семейства. Так как моменты атомов железа, а также внутреннее магнитное поле в области ядра сильно зависят от состава непосредственной окружения данного атома, можно записать систему уравнений, описывающую температурное поведение моментов железа в зависимости от состава первой координационной сферы. В этом случае, определяя из эксперимента температурную зависимость локального внутриатомного магнитного поля на ядрах железа, можно решить обратную задачу и дать оценку магнитного момента примеси. Такая оценка, конечно, сильно зависит от принятых численных значений ряда коэффициентов, которые обычно берутся из работы Стирнс.

При изучении фазовых переходов в металлах и сплавах часто возникают вопросы, ответ на которые легче всего получить с помощью эффекта Мёссбауэра. Так, в последнее время стало возможным устанавливать вид распределения примесных атомов в разных узлах решетки в зависимости от концентрации примеси и от температуры. Мощные  $\gamma$ -резонансные источники позволяют следить за кинетикой фазового превращения. Если фазовый переход имеет диффузионный характер, то временная зависимость параметров ЯГР спектров характеризует диффузионное движение отдельных атомов. С другой стороны, если фазовый переход является мартенситным (бездиффузионным), то возникает возможность следить за образованием новой фазы (гомогенное или гетерогенное зарождение центров). Большой интерес представляет собой изучение и магнитных превращений сплавов. В некоторых случаях магнитные превращения чередуются со структурными, зачастую они могут возникать вследствие появления дефектов или дислокаций в кристаллах или же проникновения кислорода в решетку сплава. Изучение последнего процесса является очень важным с практической точки зрения.

Изучение металлов и сплавов с помощью иных, чем  $\text{Fe}^{57}$  и  $\text{Sn}^{119}$ , мёссбауэровских изотопов находится еще в зачаточном состоянии вследствие экспериментальных и технологических трудностей.

На наш взгляд, изучение свойств металлов и сплавов с помощью эффекта Мёссбауэра является одним из самых перспективных направлений. Интересно отметить, что достигнутые результаты основываются на той довольно простой идее, что влияние примесных атомов имеет локальный характер, причем их действие просто суммируется.

Нельзя не упомянуть здесь и о роли вычислительной техники при обработке мёссбауэровских спектров разбавленных сплавов. В самом деле, как правило, диамагнитный атом, находящийся в первой координационной сфере, изменяет сверхтонкое магнитное поле в месте ядра центрального атома железа примерно на 20 кэ (а магнитный примесный атом — и того меньше). Между тем разрешающая способность определения магнитных полей на ядрах  $\text{Fe}^{57}$  методом ЯГР — около 5 кэ. Таким образом, в большинстве случаев отдельные компоненты спектра не разрешены, и только тщательный анализ профиля линий может привести к желательному результату. Ясно, однако, что такая процедура без электронных вычислительных машин просто неосуществима.

С заключительным словом на конференции выступил член-корреспондент АН СССР В. И. Г о л ь д а н с к и й, который, подводя итоги конференции, отметил новые достижения в области экспериментальной техники ЯГР, перечислил и кратко охарактеризовал важнейшие результаты, которые обсуждались на конференции и наиболее желательные пути дальнейших исследований. Он обратил внимание слушателей на опасность  $\gamma$ -резонансного «изоляциизма», т. е. ограничения методики исследования тех или иных проблем лишь эффектом Мёссбауэра, без широкого сопоставления получаемых данных с результатами других путей методического и теоретического подхода к изучаемым вопросам. Тем не менее, предстоящие встречи ГР спектроскопистов могут оказаться весьма полезными, особенно в том случае, если их тематика будет тщательно выбрана и посвящена как можно более детальному обсуждению сравнительно небольшого круга наиболее актуальных проблем.

*М. Дежи, Д. Надь, Л. Чер*