

Схема эксперимента. Пучок поляризов. мюонов μ^+ проходит через *цинтилляционные детекторы* D_1, D_2 и D_3 (рис. 1), тормозится и останавливается в исследуемом образце — мишени M . Деполяризации пучка мюонов на стадии торможения практически не происходит (время торможения $< 10^{-10}$ с). Позитроны распада регистрируются детекторами D_3 и D_4 . Момент останова мюона t_μ определяется совпадением сигналов с детекторов D_1 и D_2 при условии отсутствия сигнала с детектора D_3 (1, 2, 3). Время вылета позитрона t_e определяется по схеме совпадений сигналов с D_3, D_4 при отсут-

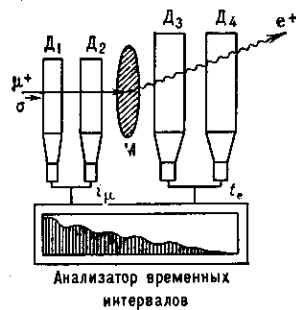


Рис. 1. Схема МСР-эксперимента.

ствии сигнала с D_2 (3, 4, 2). Интервалы $t_e - t_\mu$, представляющие собой индивидуальные времена взаимодействия отд. мюонов со средой, кодируются и записываются в многоканальное запоминающее устройство (см. Памяти устройства). Составленная т. о. гистограмма временных интервалов описывается выражением:

$$N(t) = N_0[1 + aP(t)]\exp(-t/\tau_\mu). \quad (1)$$

Здесь τ_μ — ср. время жизни мюона, a — экспериментально определяемый коэф. асимметрии, величина $P(t)$ определяется временной зависимостью ср. значения распределения проекций мюонных спинов σ_μ на ось детектора позитронов. Выражение (1) является следствием $V - A$ теории слабого взаимодействия, определяющей энергетич. и угл. распределения позитронов $\mu \rightarrow e$ -распада. Среднее по энергии позитронов значение коэф. асимметрии a в соответствии с $V - A$ теорией равняется $1/3$. Однако в действительности знак и величина a определяются особенностями формирования пучков мюонов, энергетич. порогом регистрации позитронов и геометрией позитронного телескопа (детекторы D_3, D_4).

Временная зависимость $P(t)$, измеряемая в разл. условиях (темп-ра образца T , внеш. магн. поле, давление), служит в методе МСР осн. источником эксперим. информации. Диапазон характерных времён, исследуемых непосредственно по МСР-гистограмме, определяется величиной τ_μ , временным разрешением регистрирующей аппаратуры и её стабильностью. Практич. диапазон составляет $10^{-5} - 5 \cdot 10^{-9}$ с. С помощью модельных представлений изучаются эффекты с характерными временами $t \geq 10^{-12}$ с. Напр., на зависимости $P(t)$ заметно отражаются осцилляции магн. моментов электронов в парамагнетиках.

По способу приложения внеш. пост. магн. поля исследования принято разделять на 3 группы: эксперименты в поле, перпендикулярном нач. поляризации мюонов ($H \perp \sigma_\mu$); в нулевом поле ($H = 0$); в поле, продольном по отношению к поляризации ($H \parallel \sigma_\mu$).

Эксперименты в поле $H \perp \sigma_\mu$. Если к кристаллич. образцу, в междоузлиях к-рого локализируются мюоны, приложено пост. поле $H \perp \sigma_\mu$, то при отсутствии внутр. магн. полей в образце (см. Внутрикристаллические поле) $P(t)$ определяется соотношением

$$P(t) \sim \cos(\omega t).$$

Здесь $\omega = eH/mc$ — частота ларморовской прецессии спина мюона. Внутр. магн. поля изменяют характер зависимости $P(t)$. Если эти поля направлены случайным образом, слабо меняются за время жизни мюона t_μ и малы по сравнению с H , то:

$$P(t) \sim \exp(-\delta^2 t^2) \cos(\omega t).$$

Величина δ^2 характеризует деполяризацию (релаксацию) σ_μ и связана с распределением локальных магн.

полей на мюонах. Процесс деполяризации имеет гауссовский вид и объясняется нарушением фазовой когерентности в прецессии спинов отд. мюонов. Если локальные магн. поля, действующие на отд. мюоны, становятся переменными во времени, то процесс деполяризации замедляется, и при достаточно быстром изменении полей релаксация приобретает экспоненциальный вид

$$P(t) = \exp(-2\delta^2 t) \cos(\omega t).$$

Величина τ^{-1} характеризует частоту изменения локального магн. поля на мюонах. Изменение локальных полей возникает как за счёт флуктуаций внутр. магн. полей, так и за счёт диффузии мюонов. В МСР-экспериментах часто используется понятие скорости релаксации — величины Λ , обратной времени, за к-рое поляризация мюонов уменьшается в e раз.

На рис. 2 представлены данные, полученные при изучении диффузии мюонов в поликристаллич. образце меди. Анализ зависимости скорости релаксации Λ от T позволил обнаружить эффект подбарьерного туннелирования мюонов (см. Туннельный эффект). При диффузии мюоны перемещаются по междоузлиям решётки и вклады локальных полей в поворот спинов отд. мюонов усредняются. Эффект усреднения тем сильнее, чем чаще смена полей на мюонах. Поэтому при ускорении диф-

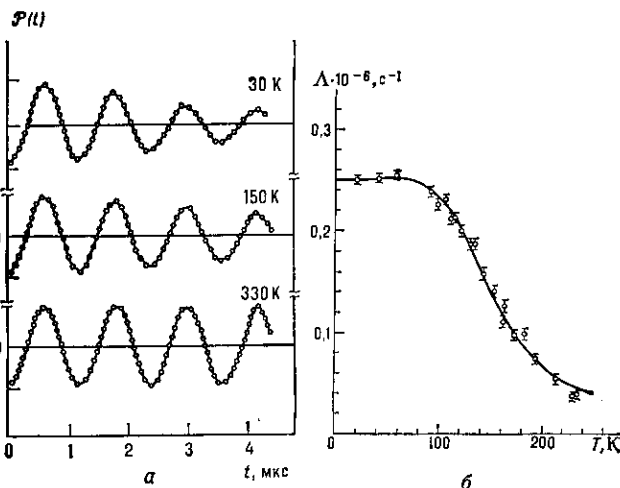


Рис. 2. Изучение диффузии μ^+ в меди: а — временные зависимости МСР-сигнала $P(t)$; б — зависимость скорости релаксации Λ от T .

фузии с ростом темп-ры T величина Λ уменьшается, а при замедлении — увеличивается. В области плато мюоны можно считать локализованными. В ходе диффузии происходит подбарьерное туннелирование мюонов. При $T \sim 100 - 200$ К ср. время τ пребывания частицы в междоузлии хорошо описывается зависимостью:

$$\tau^{-1} = f \exp(-\theta/T) = v_0 Z \exp(-\epsilon \sqrt{um\delta^2/\hbar^2}) \exp(-\theta/T),$$

где v_0 — частота нулевых колебаний частицы в междоузлии ($\sim 10^{13}$ с $^{-1}$), Z — число ближайших междоузлий; экспоненциальный множитель, не зависящий от T , определяет вероятность туннелирования под барьером высотой u и шириной δ , ϵ — коэф. (~ 1), определяемый формой потенц. барьера, m — масса мюона, θ — энергия, необходимая для переноса локальной деформации решётки при переходе мюона из одного междоузлия в другое (см. Полярон), $\theta \ll u$. Для меди $f = (7,61 \pm 0,04)$ с $^{-1}$, $\theta = (562 \pm 17)$ К. Величина u для мюона составляет 4000 К.

Скорость релаксации Λ зависит от симметрии мест локализации мюонов в решётке, расположения кристал-