

## ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ НА ДИФФУЗИЮ $\mu^+$ -МЕЗОНА В АЛЮМИНИИ

*В.Г.Гребинник, И.И.Гуревич, А.Ю.Дидык*

*В.А.Жуков, А.П.Маньч, Е.В.Мельников,*

*Б.А.Никольский, В.С.Роганов, В.И.Селиванов,*

*В.А.Суетин*

Измерена скорость релаксации спина  $\mu^+$ -мезона в алюминии, легированном медью, при температуре  $7 \pm 300\text{K}$ . Показано, что уже малая (0,04%) примесь меди существенно замедляет диффузию  $\mu^+$ -мезона в алюминии.

В работе [1] было показано, что скорость релаксации  $\Lambda$  спина  $\mu^+$ -мезона в меди возрастает с понижением температуры. Наблюдаемая зависимость  $\Lambda(T)$  естественно объясняется магнитными дипольными взаимодействиями и диффузией  $\mu^+$ -мезона. При понижении температуры диффузия  $\mu^+$ -мезона замедляется и дипольные взаимодействия  $\mu^+$ -мезона с магнитными моментами окружающих ядер приводят к достаточно быстрой скорости релаксации спина  $\mu^+$ -мезона. При высокой температуре, когда скорость диффузии  $\mu^+$ -мезона велика, ядерные магнитные поля на  $\mu^+$ -мезоне становятся переменными во времени и скорость релаксации  $\Lambda$  падает. Возрастание  $\Lambda$  при понижении температуры наблюдается также и в других металлах (Be, V, Nb) [2]. Исключение представляет алюминий, в котором расчетное значение  $\Lambda \approx 0,3 \text{ мксек}^{-1}$  для не диффундирующего  $\mu^+$ -мезона не достигается даже при весьма низких температурах. В работе [2] показано, что в алюминии  $\Lambda < 0,02 \text{ мксек}^{-1}$  во всем исследованном интервале температур  $T = 15 - 300\text{K}$ . Этот результат означает, что в отличие от других металлов диффузия  $\mu^+$ -мезона в алюминии остается достаточно быстрой вплоть до  $T = 15\text{K}$ .

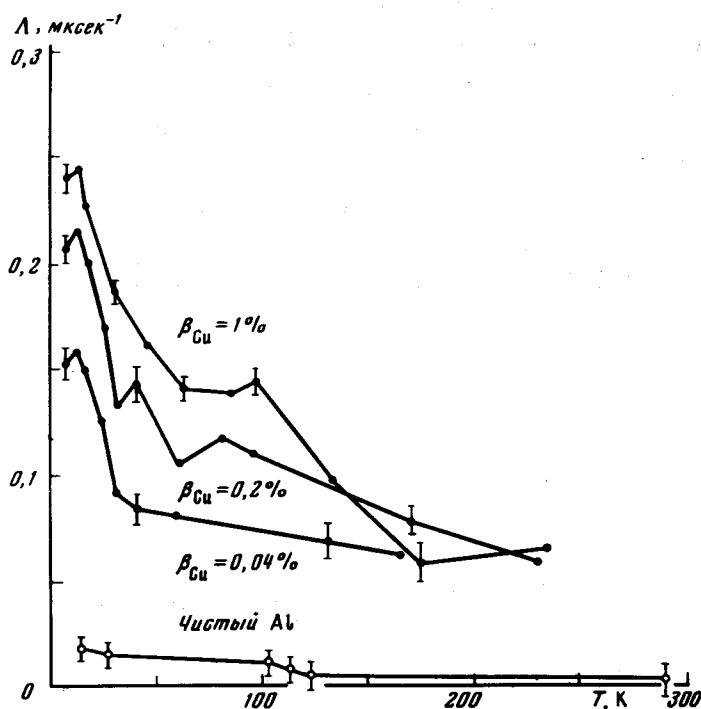


Рис. 1. Температурные зависимости скорости релаксации спина  $\mu^+$ -мезона в сплавах AlCu с различным содержанием ( $\beta_{\text{Cu}}$ ) меди. Прямые, соединяющие экспериментальные точки, проведены для наглядности

Одним из возможных объяснений быстрой диффузии  $\mu^+$ -мезона в алюминии является предположение о когерентной диффузии  $\mu^+$ -мезона в этом металле. При когерентной диффузии  $\mu^+$ -мезон движется по кристаллу как в стационарном периодическом поле, т. е. без возбуждения фононного спектра. Поэтому понижение температуры благоприятствует когерентной диффузии.

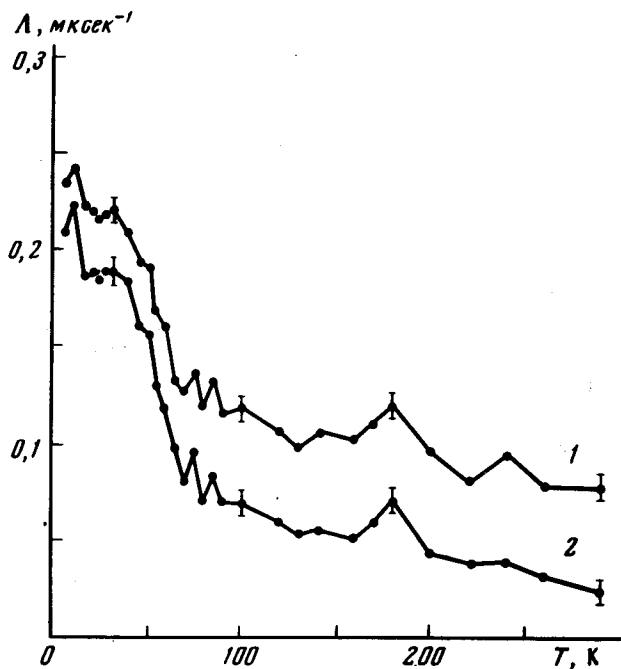


Рис. 2. Температурная зависимость скорости релаксации спина  $\mu^+$ -мезона в дюралю. Значения  $\Lambda(T)$  получены в предположении гауссовской (1) и экспоненциальной (2) зависимостей  $P(t)$ . Прямые соединяющие экспериментальные точки, проведены для наглядности

Когерентная диффузия может происходить только в достаточно совершенном кристалле, когда не нарушена периодичность его структуры. Поэтому представляет интерес выяснить, как изменится диффузия  $\mu^+$ -мезона в алюминии с деформированной кристаллической решеткой, например, путем введения примесей. В настоящей работе, выполненной на синхроциклотроне ОИЯИ, исследовалась релаксация спина  $\mu^+$ -мезона в алюминии, легированном малыми примесями меди. Результаты представлены на рис. 1 и рис. 2.

На рис. 1 приведены зависимости  $\Lambda(T)$  для сплавов AlCu с содержанием меди  $\beta_{Cu} = 1\%$ ,  $0,2\%$  и  $0,04\%$  атомных процентов. Приведенные значения  $\Lambda$  определялись методом максимального правдоподобия из экспериментальных временных зависимостей  $P(t)$  поляризации спина  $\mu^+$ -мезона в поперечном магнитном поле  $70 \text{ э}$ . При вычислении  $\Lambda$  предполагалось, что зависимость  $P(t) \sim e^{-\Lambda^2 t^2}$ , т. е. имеет гауссовский вид. Теоретически гауссовская зависимость  $P(t)$  должна наблюдаться при отсутствии диффузии  $\mu^+$ -мезона; для диффундирующего  $\mu^+$ -мезона зависимость  $P(t)$  становится экспоненциальной. Для исследованных

сплавов AlCu при  $T \lesssim 40\text{K}$  лучшее согласие с экспериментом наблюдается для гауссовской зависимости  $P(t)$  при всех значениях  $\beta_{Cu}$ . На рис. 1 приведены также величины  $\Lambda(T)$  для чистого алюминия [2], вычисленные для экспоненциальной зависимости  $P(t)$ .

На рис. 2 показана зависимость  $\Lambda(t)$  для технического сплава "дюраль", содержащего примерно 1% примесей, главным образом меди, в предположении гауссовской и экспоненциальной зависимостей  $P(t)$ . Рис. 2 иллюстрирует степень различия величин  $\Lambda$ , вычисленных при интерполяции экспериментальных зависимостей  $P(t)$  теоретическими выражениями  $P(t) \sim e^{-\Lambda^2 t^2}$  и  $P(t) \sim e^{-\Lambda t}$ .

Из рис. 1 и рис. 2 следует, что добавка малого количества примесей ( $\beta_{Cu} \gtrsim 0,04\%$ ) существенно замедляет диффузию  $\mu^+$ -мезона в алюминии, а при  $\beta_{Cu} = 1\%$  и  $T \lesssim 20\text{K}$  скорость релаксации  $\Lambda$  спина  $\mu^+$ -мезона примерно соответствует значению этой величины для не диффундирующего  $\mu^+$ -мезона. Как было сказано выше, такой результат может означать, что малая примесь меди нарушает когерентную диффузию  $\mu^+$ -мезона в меди, которая возможна только в чистом металле. Конечно, эта интерпретация полученных результатов не является однозначной. Примесные атомы меди могут быть ловушками для быстро диффундирующего  $\mu^+$ -мезона и, таким образом, замедлять диффузию  $\mu^+$ -мезона вне зависимости от механизма самой диффузии. При этом, разумеется, остается открытым вопрос о том, почему  $\mu^+$ -мезон так быстро диффундирует в чистом алюминии при низкой температуре.

Авторы приносят благодарность В.П.Джелепову за предоставление возможности выполнить эту работу на синхротронном ОИЯИ, А.И.Климову, В.Н.Майорову, А.В.Пирогову, А.Н.Пономареву за помощь в работе.

Институт атомной энергии  
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию  
22 ноября 1977 г.

### Литература

- [1] I.I.Gurevich, E.A.Meleshko, I.A.Muratova, B.A. Nikolsky, V.S.Rogantov, V.I.Selivanov, B.V.Sokolov. Phys. Lett., 40A, 143, 1972.
- [2] В.Г.Гребинник, И.И.Гуревич, Б.А.Жуков, А.И.Климов, А.П.Маныч, В.Н.Майоров, Б.А.Никольский, А.В.Пирогов, В.И.Селиванов, В.А.Суетин. Препринт ИАЭ-2635, 1976.