

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

На правах рукописи

ДОБРОВОЛЬСКИЙ Николай Михайлович

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ХАЛЬКОГЕНИДОВ МО-
ЛИБДЕНА В СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ И НОРМАЛЬНОМ
СОСТОЯНИЯХ

(01.04.09 - физика низких температур)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико - математических наук

Москва - 1978 г.

12-2024

Работа выполнена в Институте физических проблем
АН СССР

Научный руководитель - член-корреспондент АН СССР,
доктор физико-математических
наук, профессор
Алексеевский Н.Е.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических
наук Крылов И.П.

кандидат физико-математичес-
ких наук Орлов В.Г.

Ведущая организация: Институт физики металлов УНЦ АН СССР

Защита состоится " _____ 1979 г. в 10 часов
на заседании Специализированного Ученого совета Д 003.04.01
при Институте физических проблем АН СССР (ПИ7334, Москва В-334,
Воробьевское шоссе, 2).

Автореферат разослан " _____ 1978 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Специализированного
совета, доктор физико-математических
наук

М.С. Хайкин

Среди большого числа сверхпроводящих соединений, исследованных в последнее время, тройные халькогениды молибдена (ТХМ) $M_x Mo_6 X_8$, где M - металлы, $x \leq 4$, а $X = S, Se$ или Te , выделяются рядом особенностей, прежде всего высокими критическими магнитными полями и относительно высокими критическими температурами [1]. Так, например, для $Pb Mo_6 X_8$ $T_c \sim 15$ К, а $H_{c2}(0) \sim 600$ кэ [2], что значительно превосходит клогстоновский предел $H_p = 18400 T_c$ и в настоящее время является абсолютным рекордом критических полей. Далее, ТХМ имеет ромбоэдрическую структуру (пространственная группа $R\bar{3}$) и являются первым примером некубических высокотемпературных сверхпроводников, причем высокая токонесущая способность некоторых ТХМ в сильных магнитных полях показывает принципиальную возможность их использования на практике [3]. Кроме того, в ТХМ с редкоземельными элементами (RE - ТХМ) содержание магнитных ионов достигает 7 ат%, что открывает новые пути для экспериментального исследования вопроса о возможности сосуществования сверхпроводимости и магнетизма [4]. Таким образом, ТХМ являются интересным объектом, как с физической, так и с прикладной точек зрения.

В настоящее время имеется большое число работ, посвященных исследованию различных свойств ТХМ, поиску новых таких систем и методов их получения. Однако, имеющиеся данные являются далеко не полными и зачастую противоречат друг другу. Поэтому всестороннее исследование ТХМ в сверхпроводящем и нормальном состояниях несомненно представляет собой весьма

актуальную задачу. Рассмотрению отдельных аспектов этой задачи и посвящена настоящая работа.

Для описания свойств сверхпроводника и оценки перспектив его практического использования необходимо знать его критическую температуру T_c , константу электронфононного взаимодействия λ , плотность состояний на поверхности Ферми $N(0)$, характеристики фононного спектра, параметр Гинзбурга-Ландау \mathcal{H} , критические магнитные поля H_c , H_{c1} и H_{c2} , критические токи j_c .

Целью настоящей работы было экспериментальное определение указанных выше параметров для ряда тройных и бинарных халькогенидов молибдена и исследование чувствительности этих параметров, в особенности T_c , H_{c2} и j_c к "внешним" воздействиям на сверхпроводник, таким как давление, примеси, условия приготовления.

Научная новизна полученных в диссертации результатов состоит в следующем:

1. Проведено систематическое экспериментальное исследование нового класса сверхпроводников - тройных халькогенидов молибдена, при этом обнаружен ряд неизвестных ранее сверхпроводящих соединений со щелочными металлами в качестве третьей компоненты.

2. Количественно исследовано влияние примесей 3-d металлов Fe, Ni и Co на сверхпроводящие характеристики ряда ТХМ. Показано, что T_c большинства ТХМ резко уменьшается при введении Fe, а величина производной $\partial t_{cx} / \partial x_{Fe}$, где $t_{cx} = T_{cx} / T_{c0}$, коррелирует со значением плотности сос-

тояний на поверхности Ферми $N(0)$.

3. Проведены измерения плотности критического тока ряда ТХМ и показано, что наблюдающиеся большие значения j_c в сильном магнитное поле, а также отрицательные производные плотности критического тока по давлению $\partial j_c / \partial p$ не согласуются с представлением о ТХМ, как о "нульмерных" сверхпроводниках.

4. Проведено исследование теплоемкости тройных и бинарных халькогенидов молибдена при низких температурах (2 + 30 К). Показано, что решеточная часть теплоемкости этих соединений в исследованном температурном интервале представляет собой сумму нескольких вкладов и не может быть описана в помощи одного дебаевского приближения. Проведен анализ возможных вкладов и определены их параметры.

5. Обнаружена аномалия теплоемкости и магнитной восприимчивости $YbMo_6S_8$ ниже температуры сверхпроводящего перехода. Отмечена возможная связь между необычным поведением теплоемкости и восприимчивости этого соединения с возникновением антиферромагнитного упорядочения в сверхпроводящем состоянии.

6. Проведены измерения магнитного момента ряда ТХМ в сверхпроводящем состоянии. Из кривых намагничивания определены зависимости $H_{c1}(T)$ и параметры Гинзбурга-Ландау \mathcal{H} .

Практическая ценность работы определяется полученным в ней новым экспериментальным материалом по свойствам тройных и бинарных халькогенидов молибдена в сверхпроводящем и нормальном состояниях. Многие результаты получены впервые

и могут быть использованы как для проверки и развития теоретических представлений о ТХМ, так и для прикладных целей. Особенно большой интерес вызывают результаты исследования критических токов. Они показывают принципиальную возможность использования в будущем ряда ТХМ в качестве сверхпроводящего материала, предназначенного для работы в сильных магнитных полях.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения, содержит 90 страниц машинописного текста, 34 рисунка, 5 таблиц и список цитированной литературы из 115 названий.

Во введении показана актуальность исследования тройных халькогенидов молибдена, определена цель работы, перечислены полученные автором новые результаты и отмечена возможность их практического использования.

В первой главе дан обзор работ по исследованию тройных и бинарных халькогенидов молибдена. Имеющийся литературный материал условно разбит на три темы. В обзоре каждой теме посвящен отдельный параграф.

Первый параграф посвящен рассмотрению кристаллической структуры ТХМ. На примере $PbMo_2S_3$ подробно анализируется расположение атомов в элементарной ячейке и обсуждаются вопросы, связанные со стабильностью кристаллической решетки этих соединений. Из анализа экспериментальных данных по составам и сверхпроводящим характеристикам ТХМ высказывается предположение, что наблюдающийся разброс значений T_c и H_{c2} обусловлен принципиальной нестехеометричностью этих соединений и высокой чувствительностью сверхпроводящих свойств к составу, условиям приготовления и чистоте исходных компонентов.

Во втором параграфе обсуждается влияние структурных особенностей ТХМ на их сверхпроводящие параметры, в особенности на T_c и H_{c2} .

В третьем параграфе рассмотрены сверхпроводящие свойства ТХМ с редкоземельными элементами в качестве третьей компоненты. Приводятся результаты измерений магнитной восприимчивости сверхпроводящих редкоземельных ТХМ из которых следует, что RE-ионы, как правило, сохраняют свой магнитный момент в соединениях и, следовательно, RE-ТХМ содержат около 7 ат% магнитных ионов. Обсуждается возможность упорядочения RE-ионов в области низких температур. Приводятся экспериментальные данные измерений теплоемкости, магнитной восприимчивости и сопротивления ряда RE-ТХМ, в которых наблюдались аномалии указанных величин, связываемые с таким упорядочением [4]. Отмечается, однако, что перечисленные аномалии могут быть также связаны с неоднородностью исследованных соединений.

Во второй главе описаны использованные в работе экспериментальные методы. Подробно рассмотрена методика приготовления образцов.

Образцы ТХМ готовились прямым синтезом в отпаянных кварцевых ампулах как непосредственно из элементов, так и с использованием сернистых соединений. После синтеза проводился гомогенизирующий отжиг в течение нескольких суток при температуре порядка $1000^\circ C$. Время и температура отжига сильно влияли на качество образцов и подбирались для каждого состава так, чтобы получающиеся образцы были однофазны, а ширина

сверхпроводящего перехода не превышала 0.1 ± 0.3 К.

Приготовление щелочных халькогенидов молибдена имело ряд особенностей. Вследствие высокой химической активности щелочных металлов ампульный синтез из элементов исключался. Поэтому для приготовления образцов использовались предварительно синтезированные в молибденовой лодочке сульфиды щелочных металлов M_2S . Следует отметить, что такие сульфиды быстро разлагаются и при хранении на воздухе в течение нескольких часов становятся совершенно непригодными для последующего синтеза ТХМ. Нестабильными на воздухе были и сами ТХМ со щелочными металлами. Так, свежеприготовленные образцы $LiMo_6S_8$, $NaMo_6S_8$ и KMo_6S_8 переходили в сверхпроводящее состояние при 4,4 К, 8,6 К и 3,7 К соответственно, их сопротивление практически не зависело от температуры, а удельное сопротивление составляло $3 + 5 \cdot 10^{-4}$ ом·см. При хранении таких образцов на воздухе при комнатной температуре в течение нескольких суток их удельное сопротивление увеличивалось на три - четыре порядка, появлялась сильная зависимость сопротивления от температуры, причем с понижением температуры сопротивление монотонно возрастало, Нестабильность ТХМ со щелочными металлами, по-видимому, объясняется тот факт, что в некоторых работах их ошибочно не причисляли к сверхпроводящим соединениям.

Для измерений плотности критического тока готовились также образцы в виде ленты. Один из способов получения такой ленты состоял в том, что халькогенидный слой синтезировался непосредственно на поверхности молибденовой основы. Большие значения T_c , H_{c2} и j_c ленточных образцов свидетельствуют

о том, что и сами ленточные ТХМ, и предложенная методика их получения являются перспективными и могут найти практическое применение в будущем.

Критическая температура определялась как по исчезновению сопротивления образца, так и бесконтактным методом по изменению индуктивности измерительной катушки с образцом.

Измерения $H_{c2}(T)$ проводились в постоянных магнитных полях до 200 кэ в соленоидах биттеровского типа, созданных в Международной лаборатории сильных магнитных полей и низких температур (г. Вроцлав, ПНР), и в импульсных полях свыше 500 кэ.

Критические токи измерялись четырехконтактным методом на халькогенидных ленточках и бесконтактным индукционным методом [5] на прессованных образцах. Бесконтактный метод позволил провести исследование зависимости плотности критического тока от давления. Для таких измерений образец помещался в бомбу из бериллиевой бронзы.

Восприимчивость халькогенидов измерялась в диапазоне температур от 2 до 300 К в магнитных полях от 500 э до 150 кэ. Измерения проводились методом Гми, т.е. измерялась сила, действующая на образец в неоднородном поле. В магнитных полях до 5 кэ измерения проводились компенсационным методом в электромагните с помощью чувствительных механических микровесов. В более сильных полях для измерений восприимчивости использовался струнный магнитометр.

Магнитные моменты образцов в сверхпроводящем состоянии измерялась на вибрационном магнитометре.

Исследования теплоемкости ТХМ проводились совместно с сотрудниками лаборатории Г. Вольфа (Горная академия АН ГДР, г.Фрайберг). Измерения проводились в интервале температур от 2 до 30 К. В ряде случаев были также проведены измерения теплоемкости в магнитных полях до 50 кэ [6].

В третьей главе приведены основные результаты исследований тройных и бинарных халькогенидов молибдена.

В работе подробно исследовался вопрос, какие элементы Периодической таблицы наиболее благоприятны для возникновения сверхпроводимости ТХМ.

Среди ТХМ с элементами первой группы исследовались тройные сульфиды молибдена с литием, натрием, калием, рубидием, цезием, медью, серебром и золотом. Сверхпроводимость систем с литием, натрием и калием обнаружена впервые.

Среди исследованных ТХМ с элементами второй группы, такими, как бериллий, магний, кальций, цинк, кадмий, барий и ртуть, сверхпроводящими выше 1.8 К оказались лишь тройные сульфиды молибдена с магнием, цинком и кадмием.

Сверхпроводящие ТХМ с элементами третьей группы образуются со скандием, иттрием, лантаном и рядом редкоземельных элементов. ТХМ с бором, алюминием, галлием, индием, таллием не сверхпроводят до 1.8 К, а галлиевый и алюминиевый сульфиды молибдена даже переходят в магнитоупорядоченное состояние при низких температурах, не исключено, однако, что они имеют другую структуру.

Из синтезированных ТХМ с элементами четвертой группы такими, как углерод, кремний, титан, германий, цирконий, олово и свинец сверхпроводящими выше 1.8 К оказались три - с оловом,

свинцом и углеродом. Рентгеноструктурные данные указывают, однако, что структура углеродного сульфида молибдена, по-видимому, не является ромбовидрической.

Элементы остальных групп или не образуют ТХМ с требуемой структурой, или же образуют несверхпроводящие соединения.

Поскольку в одной работе невозможно подробно описать свойства всех исследованных соединений, мы ограничили свой выбор на наиболее типичных сверхпроводящих системах. Отбор таких систем проводился с учетом их критических температур и положения элемента М в периодической системе элементов.

Составы, значения критических температур и ряда других параметров отобранных таким образом ТХМ приведены в таблице I. Зависимости второго критического поля от температуры для этих соединений показаны на рис. I.

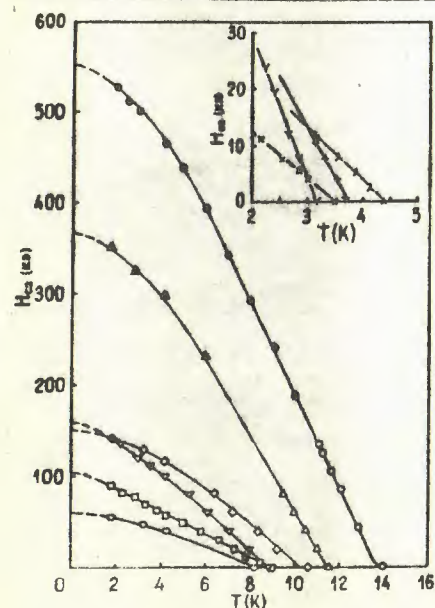


Рис. I
Зависимость второго критического поля от температуры.

^	LiMo ₆ S ₈
Y	CdMo ₆ S ₈
+	KMo ₆ S ₈
x	ZnMo ₆ S ₈
o, ●	PbMo ₆ S ₈
Δ, ▲	SnMo ₆ S ₈
◇	Cu _{1.8} Mo ₆ S ₈
▽	YbMo ₆ S ₈
□	NaMo ₆ S ₈
○	AgMo ₆ S ₈

Полученные результаты хорошо согласуются с литературными данными, однако, в ряде случаев в литературе приводятся и более низкие и более высокие значения некоторых параметров, например, для $PbMo_6S_8$ по разным источникам T_c колеблется приблизительно от 11 К до 15 К. Это связано с высокой чувствительностью сверхпроводящих параметров ТХМ к условиям приготовления и к чистоте исходных компонентов.

Особенно большое влияние на сверхпроводящие свойства ТХМ оказывают примеси железа, которые сильно понижают T_c большинства ТХМ. Мы подробно исследовали зависимости T_c от содержания железа для тройных сульфидов молибдена с оловом, свинцом, иттербием, медью и серебром. Кроме самого факта подавления сверхпроводимости ТХМ магнитной примесью, большой интерес вызывает и то обстоятельство, что величина $\frac{\partial t_{ex}}{\partial x_{Fe}}$ коррелирует со значением коэффициента γ в электронном вкладе в теплоемкость, а следовательно, и с плотностью состояний на поверхности Ферми (см. таблицу).

Сильное влияние на критические температуры ТХМ оказывает также давление. В работе исследовано влияние давления на T_c $SnMo_6S_8$, $Pb_{4.2}Mo_6Se_8$ и Mo_6Se_8 . Последние два соединения исследовались с целью проверки гипотезы о наличии оптимального для сверхпроводимости ТХМ расстояния между атомами молибдена в кристаллической решетке [1]. Согласно этой гипотезе для Mo_6Se_8 d_{Mo-Mo} близко к оптимальному значению, а для $MnMo_6Se_8$ больше его и по этой причине T_c Mo_6Se_8 выше, чем T_c тройных селенидов молибдена. Например, для Mo_6Se_8 $d_{Mo-Mo} = 3.26 \text{ \AA}$, а для $Pb_{4.2}Mo_6Se_8 = 3.49 \text{ \AA}$,

а критические температуры равны соответственно 6,3 К и 3,6 К. Если бы оптимальное расстояние существовало, то T_c $PbMo_6Se_8$ должно было бы расти с давлением, а T_c Mo_6Se_8 — падать. Наши эксперименты не подтвердили этого. Оказалось, что $\frac{\partial T_c}{\partial p} < 0$ и для $Pb_{4.2}Mo_6Se_8$, и для Mo_6Se_8 , и для $SnMo_6S_8$. В области малых давлений ($p \ll 5 \text{ кбар}$) величина производной составляет около $-2 \cdot 10^{-4} \text{ К/бар}$, что существенно превышает по абсолютной величине соответствующие значения для металлических сверхпроводников. Таким образом, эксперименты с давлением показали, что хотя межатомные расстояния и существенны для критической температуры ТХМ, они не могут однозначно определять ее величину.

Наблюдаемая у ТХМ высокая чувствительность к давлению, условиям приготовления и составу вызвана, по-видимому, лабильностью их кристаллической решетки. Это открывает новые возможности для повышения критических температур ТХМ введением небольших тщательно подобранных количеств других элементов в их кристаллическую решетку. В работе подробно исследуется влияние на T_c и H_{c2} свинцового и оловянного сульфидов молибдена таких элементов, как алюминий, галлий, вольфрам и рений. Отмечается, что легирование может быть одним из возможных способов повышения критических параметров ТХМ.

В работе различными методами измерена плотность критического тока ТХМ с оловом и свинцом. Показано, что зна-

чения j_c этих соединений достигает $2 \cdot 10^4$ А/см² в поле 80 кэ при температуре 4.2 К (см. рис. 2) и при усовершенствовании методики приготовления образцов могут быть еще увеличены.

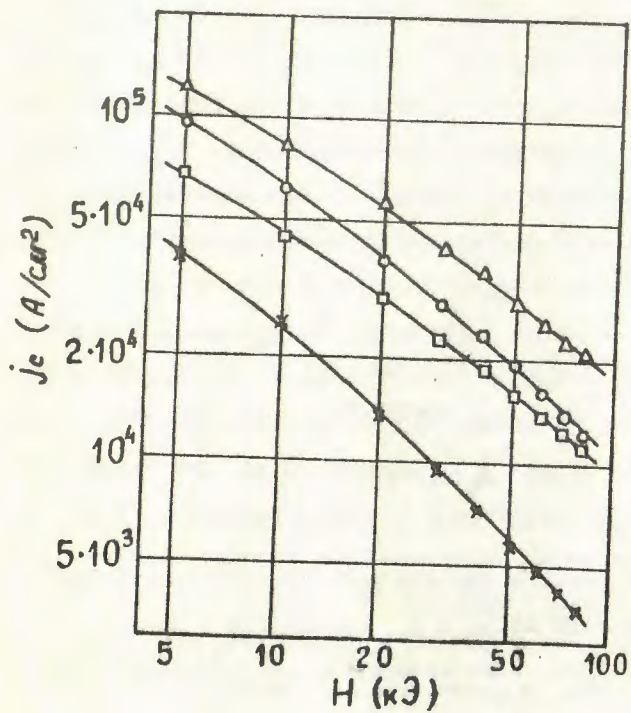


Рис. 2 Зависимость плотности критического тока от магнитного поля: x — SnMo_6S_8 ,
 \square — $\text{Pb}_{4.2}\text{Mo}_6\text{S}_8$, O — $\text{PbGa}_{0.25}\text{Mo}_6\text{S}_8$,
 Δ — $\text{SnGa}_{0.25}\text{Mo}_6\text{S}_8$.

Индукционный метод измерения j_c позволил исследовать также зависимость критического тока от давления. Ока-

залось, что при всестороннем сжатии j_c уменьшается, причем зависимость $j_c(P)$ нелинейна и зависит от приложенного магнитного поля (см. рис. 3)

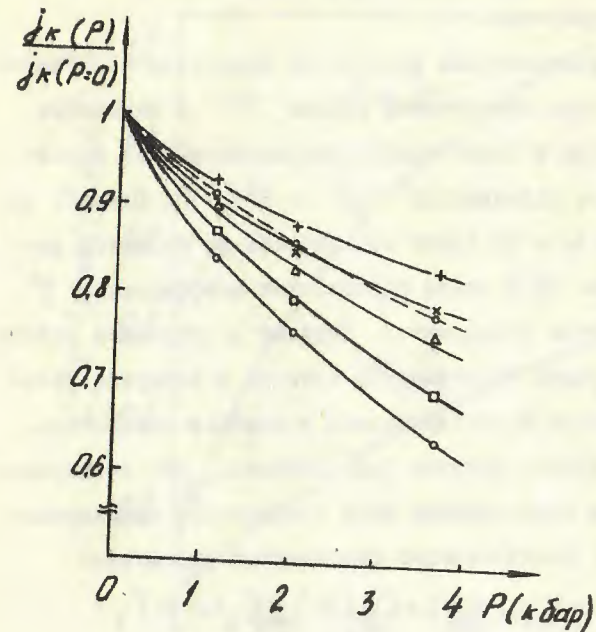


Рис. 3 Зависимость приведенной плотности критического тока SnMo_6S_8 от давления в различных магнитных полях. Пунктирная линия соответствует значению $H = 0,28 H_{c2}(P)$, (+) — $H = 10$ кЭ (x) — 20 кЭ, (Δ) — 40 кЭ, (\square) — 60 кЭ, (O) — 80 кЭ.

Высокие значения плотности критического тока тройных халькогенидов молибдена не согласуются с гипотезой Фишера о "нульмерном" характере сверхпроводимости этих соединений [1], а отрицательная производная $dI_c/d\rho$ еще больше усиливает отмеченное противоречие.

В ранее опубликованных работах по измерению теплоемкости ТХМ коэффициент при электронном вкладе γ и параметры решеточного вклада в теплоемкость определялись из линейной экстраполяции зависимости C_p/T от T^2 [7]. Однако, выше T_0 , т.е. при 10 + 15 К эта зависимость не является линейной (см. рис. 4) и такое определение коэффициента γ и температуры Дебая некорректно. Поэтому в настоящей работе результаты измерений теплоемкости тройных и бинарных халькогенидов молибдена анализировались с помощью компьютера. В результате такого анализа было показано, что экспериментальные значения теплоемкости выше температуры сверхпроводящего перехода количественно описываются выражением

$$C(T) = C_{D1}(\theta_{D1}) + C_2(\theta_2) + C_3 + \gamma T,$$

где γ - коэффициент при электронном вкладе в теплоемкость, а сумма первых трех членов дает решеточный вклад в $C(T)$.

C_{D1} представляет собой дебаевский вклад, причем для всех исследованных тройных сульфидов молибдена и Mo_6S_8 величина θ_{D1} примерно одинакова. Аналогичная закономерность имеется также для тройных селенидов и Mo_6Se_8 .

То, что температуры Дебая различных ТХМ имеют близкие значения, хорошо согласуется с рентгеноструктурными данными,

согласно которым ТХМ имеет решетку, образованную кластерами Mo_6X_8 и слабо связанными с ними атомами третьей компоненты.

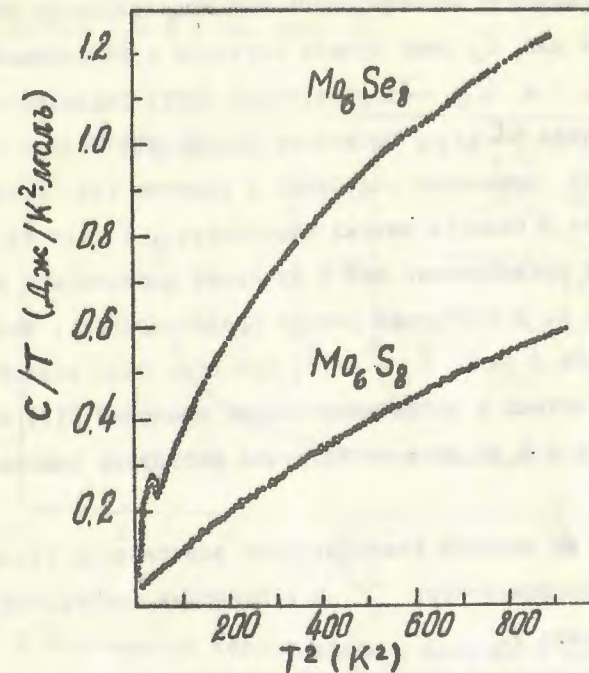


Рис. 4 Зависимость теплоемкости Mo_6S_8 и Mo_6Se_8 от температуры в координатах $(C/T-T^2)$

Акустическая часть фононного спектра такой решетки, по-видимому, определяется трансляционными колебаниями кластеров и поэтому примерно одинакова для всех халькогенидов одного типа.

Второй вклад в $C(T)$, по-видимому, обусловлен колебаниями атомов третьей компоненты в ТХМ, поскольку он наиболее ярко

выражен именно в тройных соединениях и отсутствует в Mo_6S_8 и Mo_6Se_8 . В настоящей работе в качестве $C_2(\theta_2)$ были проверены дебаевские и эйнштейновские выражения для теплоемкости. Для большинства исследованных ТХМ использование эйнштейновской функции для C_2 дает лучшее согласие с экспериментом.

Кроме C_{DM} и C_2 в решеточную часть теплоемкости включен также член C_3 , поскольку первые два вклада описывают лишь часть возможных колебаний в решетке ТХМ. Оказалось однако, что в области низких температур ($T \ll 10$ К) дополнительный вклад пренебрежимо мал и начинает сказываться лишь при $T \gtrsim 15 + 20$ К. В настоящей работе предполагалось, что C_3 можно представить в виде $C_3 = V \cdot T^3$, при этом было достигнуто совпадения расчетных и экспериментальных значений $C(T)$ с точностью до $1 + 2\%$ во всем исследуемом интервале температур от 2 до 30 К.

Полученные из анализа температурной зависимости теплоемкости значения коэффициентов γ и дебаевских температур θ_{DM} приведены в таблице I.

Измерения магнитной восприимчивости ТХМ в интервале температур от T_c до 300 К показали, что χ положительно и слабо зависит от температуры. Предполагая, что измеренные значения χ определяются в основном Паулевской восприимчивостью электронов проводимости можно также получить значение γ . В работе проводится сопоставление вычисленных таким способом значений γ с результатами, полученными из измерений теплоемкости.

При исследовании теплоемкости YbMo_6S_8 было обнаружено, что у этого соединения скачок теплоемкости при сверхпроводя-

щем переходе ($T_c \sim 9$ К) практически отсутствует, а на зависимости $C(T)$ при $T \sim 2,6$ К имеется резкий пик. Кроме того, оказалось, что магнитная восприимчивость YbMo_6S_8 ведет себя подобно восприимчивости антиферромагнетика с температурой Нееля, равной 2,6 К (см. рис. 5).

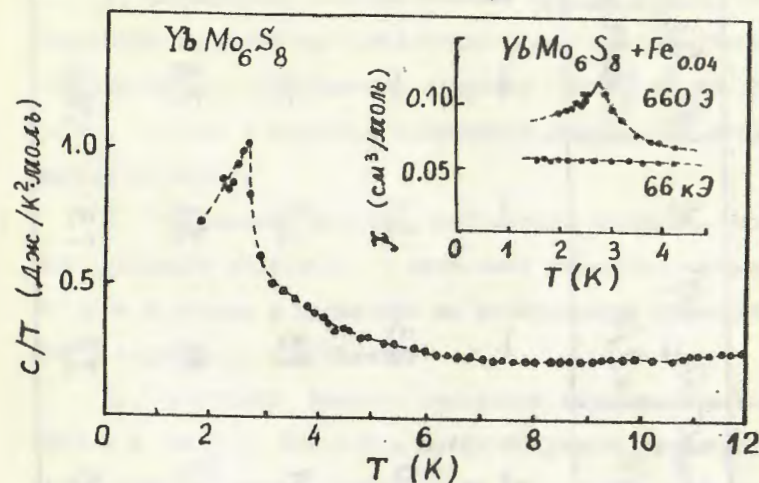


Рис. 5 Зависимости теплоемкости и магнитной восприимчивости YbMo_6S_8 от температуры.

С ростом магнитного поля аномалии на зависимостях $C(T)$ и $\chi(T)$ размываются и в полях выше 50 кэ уже не наблюдаются. Учитывая, что YbMo_6S_8 содержит ионы Yb^{+3} , обладающие магнитным моментом, а также тот факт, что подобные аномалии в других сверхпроводящих ТХМ с редкоземельными элементами связываются с возникновением магнитного упорядочения ниже температуры сверхпроводящего перехода [4], высказывается предположение, что и в соединении YbMo_6S_8 происходит такое упорядочение при $T \sim 2.6$ К.

Таблица I.

состав	T_c K	dH_{c1}/dT э/К	dH_{c2}/dT кэ/К	$\partial \ell$	$\partial T_c / \partial x_{Fe}$ K/atm% $\mu\text{Ox} / \text{K}^2$	γ	Θ_{D1} K
Mo_6S_8	<1.5	—	—	—	—	280	141
Mo_6Se_8	6.3	40	23	31	—	75	91
NaMo_6S_8	9.2	21	13	33	—	11	145
$\text{Cu}_{1.8}\text{Mo}_6\text{S}_8$	10.9	25	16	33	7.8	31	130
SnMo_6S_8	11.4	15	37	73	26.0	106	146

В работе также приводятся и обсуждаются результаты измерений магнитного момента ряда ТХМ в сверхпроводящем состоянии.

В заключении подводятся итоги исследований, проведенных в диссертации, которые состоят в следующем:

1. Исследовано влияние условий приготовления, состава и магнитных примесей на критические параметры сверхпроводящих ТХМ. Найдены режимы, позволяющие получать однофазные поликристаллические образцы с высокими значениями критических температур и магнитных полей.

2. Разработана методика получения сверхпроводящих тройных сульфидов молибдена со щелочными металлами литием, натрием и калием и проведено их исследование в сверхпроводящем и нормальном состояниях.

3. Обнаружена высокая плотность критического тока ТХМ с оловом и свинцом. Предложен метод получения сверхпроводящей халькогенидной ленты, измерены ее критические параметры и показана перспективность нового материала для конструирования сверхпроводящих магнитных систем.

4. Исследовано влияние легирования на T_c , H_{c2} и j_c ряда ТХМ. Показано, что используя в качестве легирующих элементов галлий, алюминий, вольфрам и рений критические параметры ТХМ можно повысить.

5. Проведены измерения теплоемкости ТХМ при низких температурах. Из полученных данных определены температуры Дебая и Эйнштейна, а также коэффициенты γ при электронном вкладе в теплоемкость. Проведено сопоставление полученных

результатов с данными измерений магнитной восприимчивости и магнитного момента.

6. Обнаружена аномалия теплоемкости и магнитной восприимчивости $YbMo_6S_8$ при температуре $T \sim 2.6K$. На основе анализа экспериментальных данных для $YbMo_6S_8$ и сопоставления с литературными данными для других редкоземельных ТХМ высказывается предположение, что в таких ТХМ принципиально возможно сосуществование сверхпроводимости и магнетизма.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Н.Е. Алексеевский, Н.М. Добровольский, В.И. Цебро
Письма в ЖЭТФ, 20, 59, 1974
2. Н.Е. Алексеевский, Н.М. Добровольский, В.И. Нижанковский, В.И. Цебро, ЖЭТФ, 69, 662, 1975
3. Н.Е. Алексеевский, М. Глинский, Н.М. Добровольский, В.И. Цебро, Письма в ЖЭТФ, 23, 455, 1976
4. Н.Е. Алексеевский, Н.М. Добровольский, В.И. Цебро, Письма в ЖЭТФ, 23, 694, 1976
5. Н.Е. Алексеевский, Н.М. Добровольский, Д. Эккерт, В.И. Цебро, ЖЭТФ, 72, 1145, 1977
6. Н.Е. Алексеевский, Г. Больф, Н.М. Добровольский, У. Тиле, Письма в ЖЭТФ; 25, 557, 1977
7. N.E. Alekseevskii, N.M. Dobrovolskii, D. Eckert
V.I. Tsebro, J. Low. Temp. Phys., 29, 565, 1977
8. N.E. Alekseevskii, G. Wolf, N.M. Dobrovolskii,
C. Hohfeld, Phys. Stat.Sol., a 44, K 79, 1977
9. N.E. Alekseevskii, G. Wolf, S. Krautz, N.M. Dobrovolskii, V.I. Tsebro, J. Low. Temp. Phys., 30, 535, 1978

Цитированная литература

1. G. Fisher, Proc. 14th Int. Conf. on Low. Temp. Phys.,
5, 172, 1975
2. S. Foner, E.J. McNiff, Jr. and E.J. Alexander,
Phys. Lett., 49 A, 269, 1974
3. N.E. Alekseevskii, N.M. Dobrovolskii, D. Eckert,
V.I. Tsebro, J. Low. Temp. Phys., 29, 565, 1977
4. N.R. Shelton, A.W. McCallum, H. Adrian,
Phys. Lett., 56 A, 213, 1976
5. D. Eckert, A. Handsteins
Phys. Stat. Sol., (a) 37, 171, 1976
6. K.D. Siegel, G. Wolf, K. Bohmhammel, H.G. Schmidt
Exp. Techn. Physik, 25, 299, 1977,
K. Bohmhammel, H. Madge, G. Wolf, Grynogenics, 10, 553, 1977
7. R. Visvanatan, A.C. Lowson, Science, 177, 267, 1972

T-01155 от 23/X-78г. Формат 60x84 1/16 д.л. Объем 1,5 п.л.
Заказ 17868 Тираж 150

Фабрика КМП Главного управления вычислительных работ
ЦСУ СССР