

Н. Е. АЛЕКСЕЕВСКИЙ

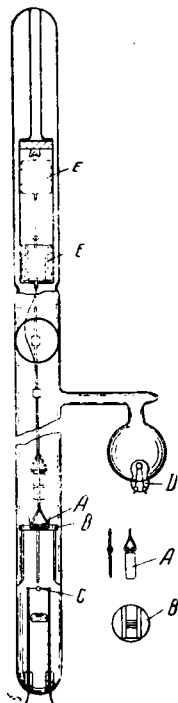
**МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОК**

*(Представлено академиком П. Л. Капицей 19 IV 1939)*

Проведившиеся ранее работы с тонкими сверхпроводящими пленками <sup>(1)</sup> показали, что у этих пленок сопротивление появляется при больших внешних полях, чем у массивного металла. Наряду с этим сверхпроводимость этих пленок разрушается очень слабым током, поле которого значительно меньше, чем критическое поле массивного металла. Кроме того Майзнер, исследовавший проникновение поля в цилиндр, ограниченный тонкой пленкой <sup>(2)</sup>, обнаружил, что значение внешнего поля, при котором происходит проникновение поля внутрь цилиндра, также меньше, чем критическое поле для массивного сверхпроводника. Таким образом пленки имели три критических значения магнитного поля и вследствие этого весьма походили на сверхпроводящие сплавы. Поэтому вполне естественно появлялось желание объяснить аномалии тонких сверхпроводящих пленок тем, что они были недостаточно чисты, т. е. фактически являлись сплавами (все упомянутые пленки получались электролитическим покрытием или лужением). Предположение о загрязненности пленок, получавшихся этим методом, подтверждалось также наличием в упомянутых работах некоторой критической толщины пленки (т. е. у пленок меньшей толщины сверхпроводимость не появлялась). С другой стороны, эксперименты А. И. Шальникова <sup>(3)</sup>, получавшего тонкие пленки испарением металла в вакууме, в приборе, находившемся при температуре жидкого гелия, показали, что пленки остаются сверхпроводящими до толщин  $\approx 10^{-7}$  см. Так как в этом случае сверхпроводимость определялась только как исчезновение сопротивления, то все же нельзя было с достаточной уверенностью говорить о влиянии размеров сверхпроводника на величину критического поля. В виду того, что наиболее характерным свойством сплавов является отсутствие резкого скачкообразного изменения индукции при разрушении сверхпроводимости полем <sup>(4)</sup>, являлось интересным получить зависимость индукции или магнитного момента от внешнего поля для тонких пленок. В этом случае если бы изменение магнитного момента началось при полях меньших, чем критическое поле для чистого металла, было бы естественным предположить, что аномалии пленок обязаны загрязнениям, которые возможны из-за большого отношения поверхности к объему. Наоборот, если бы изменение магнитного момента происходило при полях больших, чем критическое поле для чистого металла, близких к тем, при которых появляется сопротивление, следовало бы искать объяснения аномалий в малых толщинах пленок. Для выяснения этого обстоятельства и была поставлена настоящая работа.

В данной работе определялось значение внешнего поля, при котором происходило изменение магнитного момента оловянной пленки, соответствующее переходу ее из сверхпроводящего в нормальное состояние. Пленки получались испарением олова в вакууме, причем прибор находился при температуре жидкого гелия. Это давало возможность получать достаточно чистые пленки, весьма мало загрязненные газом, так как упругость паров воздуха при температуре жидкого гелия ничтожна\*.

Определение толщины пленки можно было произвести, зная вес испаренного металла и радиус сферы, на которой находилась подкладка. Подкладкой обычно служила стеклянная или кварцевая пластинка, снабженная соответственно стеклянным или кварцевым шарниром. Для измерений употреблялся прибор, который предварительно откачивался до высокого вакуума. Устройство прибора схематически представлено на фиг. 1.



Фиг. 1.

Эксперимент велся следующим образом. При опущенной подвесной системе, когда подкладка *A* лежит на диафрагме *B*, дьюар наполнялся гелием. Затем производилось испарение металла с испускателя *C*, и прибор помещался между полюсами магнита. С помощью катушки, одеваемой на головку прибора, поднимались железный якорь *E* и прикрепленная к нему подвесная система, а затем напускался гелий из баллончика *D*, необходимый для создания теплового контакта между жидким гелием в дьюаре и подкладкой. Магнит устанавливался таким образом, чтобы плоскость пластинки образовывала малый угол с полем. При включении тока в магнит пластинка становится по полю (для этого необходим достаточно тонкий подвес). При дальнейшем увеличении магнитного поля в некоторый момент пластинка вновь возвращается в первоначальное положение. Это значение поля и будет критическим. Кривая зависимости отклонений от внешнего поля представлена на фиг. 2.

Из кривой видно, что пленка дает весьма значительный гистерезис. Для того, чтобы избавиться от больших остаточных моментов, получавшихся вследствие гистерезиса, перед каждым понижением температуры сверхпроводимость пленки разрушалась. Для этой цели через щель дьюара на пленку фокусировался пучок света от вольтовой дуги, что давало возможность нагреть пленку выше критической температуры.

Все пленки, измерившиеся в данной работе, разрушались продольным магнитным полем, значительно превышавшим критические поля массивного олова. Кривые зависимости критического поля от температуры, полученные на пленке толщиной  $7.24 \cdot 10^{-6}$  см, приведены на фиг. 3.

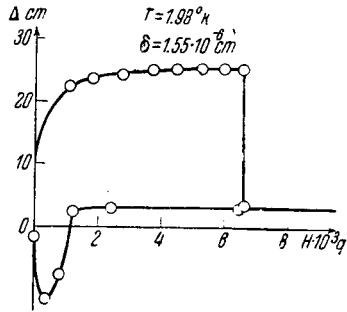
Кривая *1* относится к свежесажженной пленке, а кривая *2* — к пленке, нагревавшейся до комнатной температуры и измеренной вновь\*\*. Здесь так же, как и в упоминавшейся уже работе А. И. Шальникова, свежесажженные пленки имеют более высокие критические поля, чем пленки, нагревавшиеся до комнатной температуры. К сожалению наблюдавшееся А. И. Шальниковым<sup>(3)</sup> повышение критической температуры ( $T_k$ ) у свежесажженных пленок не вызывало уже изменений критических значений поля.

\* Испарение в приборе, находившемся при температуре жидкого гелия, впервые было применено А. И. Шальниковым<sup>(3)</sup>.

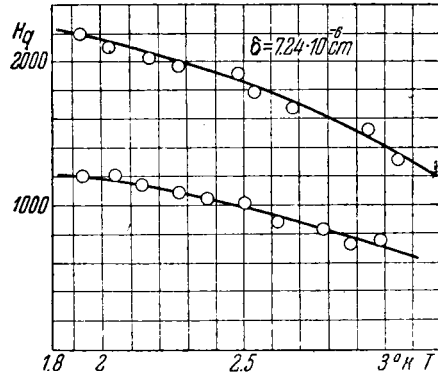
\*\* Необходимо отметить, что повторные нагревания до комнатной температуры не вызывали уже изменений критических значений поля.

осажденных пленок обнаружить не удалось, так как точность измерений резко падала при приближении к  $T_k$ .\*

Уменьшение точности измерений с повышением температуры, возможно, является следствием возрастания глубины проникновения поля и следовательно уменьшения магнитного момента единицы объема пленки. Такое изменение глубины проникновения поля недавно наблюдали Appleyard, Bristow, London<sup>(5)</sup> на ртутных пленках и Shoenberg<sup>(6)</sup> на коллоидах ртути.



Фиг. 2.

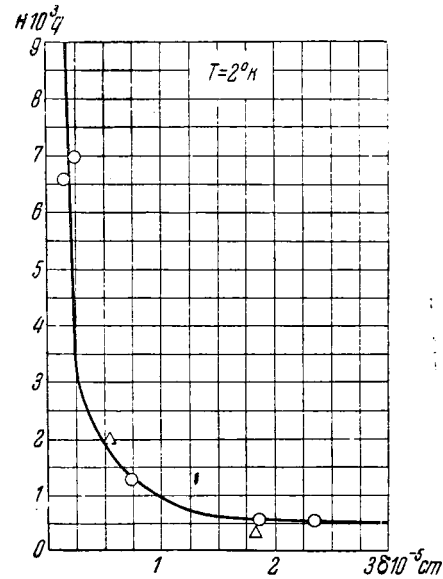


Фиг. 3.

Если взять критическое значение поля для пленок разной толщины при достаточно низкой температуре, то можно получить представление о характере зависимости критического поля от толщины пленки\*\*.

На фиг. 4 представлена кривая зависимости критического поля от толщины пленки для  $2^\circ$ . Приведенная кривая относится к пленкам, нагретым до комнатной температуры. Две точки, обозначенные  $\Delta$ , соответствуют полям, при которых появляется сопротивление. Эти данные были мне любезно сообщены А. И. Шальниковым, за что выражаю ему благодарность. Сравнительно хорошее совпадение этих точек с кривой указывает на чистоту получавшихся пленок и нарушает существовавшую ранее аналогию свойств тонких пленок и сплавов.

Высокие значения поля, при которых происходит изменение магнитного момента пленки, делает более убедительным представление сплава,



Фиг. 4.

\* Следует указать, что условия осаждения пленок в данной работе не были вполне эквивалентны условиям осаждения в работе А. И. Шальникова, так как в данном случае подкладка не имела непосредственного контакта с жидким гелием и поэтому могла несколько нагреваться.

\*\* Наличие гистерезиса может быть истолковано, как следствие неоднородности толщины пленки. Поэтому для получения точной кривой зависимости критического поля от толщины надо было бы промерить значительное количество пленок разных толщин.

как системы тонких сверхпроводящих путей, образующихся вследствие локальной неоднородности концентрации сплава (7).

Из кривой видно, что до толщин  $\approx 10^{-5}$  см критическое поле возрастает довольно медленно, увеличиваясь примерно в 2—3 раза по сравнению с критическим полем массивного олова. При толщинах меньших, чем  $10^{-5}$  см, начинается резкое увеличение критического поля, причем у пленок, толщина которых примерно равна  $10^{-6}$  см, критическое поле примерно в 30 раз превышает критическое поле массивного олова.

На основании этого можно заключить, что даже самые тонкие пленки обладают аномальным магнитным моментом, а следовательно глубина проникновения поля у этих пленок меньше их толщины. В виду того, что в упоминавшейся уже работе (5) была обнаружена независимость глубины проникновения от толщины для пленок  $\approx 10^{-5}$  см, можно предположить, что глубина проникновения поля начинает зависеть от толщины лишь с толщин меньших, чем  $10^{-5}$  см. Для того, чтобы подтвердить эти предположения, необходимо произвести количественные измерения магнитного момента единицы объема пленки, как функцию ее толщины. Такие измерения явятся продолжением данной работы.

Настоящая работа выполнена в Институте физических проблем Академии Наук СССР.

Украинский физико-технический  
институт.

Поступило  
21 IV 1939.

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Misener a. Wilhelm, Trans. Roy. Soc. of Canada (1935); Misener, Graysen, Smith a. Wilhelm, Trans. Roy. Soc. of Canada (1935). <sup>2</sup> Misener, Canadian Journ. of Research, **14**, A, 25 (1936). <sup>3</sup> Шальников, Nature, **142**, № 3584 (1938). <sup>4</sup> Sow. Phys. Sondernummer, S. 39 (1936); ЖЭТФ, **7**, вып. 2 (1937). <sup>5</sup> Appleyard, Bristow, London, Nature, **143**, № 3619 (1939). <sup>6</sup> Schoenberg, Nature, **143**, 3619 (1939). <sup>7</sup> Алексеевский, ЖЭТФ, VIII, вып. 10—11 (1938).