



ЛЕВ ВАСИЛЬЕВИЧ
ШУБНИКОВ
(1901—1945)

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКPERSONALIA

92:530

ЛЕВ ВАСИЛЬЕВИЧ ШУБНИКОВ

Среди ученых, сделавших серьезный вклад в развитие отечественной физики, мы не должны забывать о профессоре Харьковского государственного университета Лье Васильевиче Шубникове. Л. В. Шубников родился 29 сентября 1901 г. В 1926 г. он окончил Ленинградский политехнический институт и получил звание инженера-физика. По окончании института Л. В. Шубников был послан Наркомпротом в заграничную командировку в Голландию. Там он работал в Лейденской криогенной лаборатории им. Камерлинга Оннеса в отделении профессора де-Гааза. После возвращения из Лейдена на родину в 1930 г. Л. В. Шубников по предложению А. Ф. Иоффе перешел работать в Украинский физико-технический институт, где по инициативе И. В. Обреимова, директора этого института, организовывалась криогенная лаборатория. В 1931 г. Л. В. Шубников стал научным руководителем этой лаборатории. Под его руководством была освоена криогенная техника, установлены водородные и гелиевые машины, построена машина системы Капицы для сжижения гелия, непосредственно обучены им и, таким образом, созданы впервые в институте и в СССР технические криогенные кадры.

Лев Васильевич Шубников был блестящим организатором научных исследований, талантливым ученым, вел большую педагогическую работу в 1934—1937 гг., он был профессором Харьковского государственного университета, заведовал кафедрой общей физики.

В августе 1937 г. Л. В. Шубников был незаконно арестован и осужден на 10 лет. Он умер в 1945 г., в апреле 1957 г. Л. В. Шубников был посмертно реабилитирован Военной коллегией Верховного суда.

Начало научной деятельности Льва Васильевича Шубникова, относящееся еще к студенческому периоду его жизни (1924—1926 гг.), охватывает работы в области физики кристаллов.

Первая работа Л. В. Шубникова посвящена разработке одного из методов искусственного получения монокристаллов из расплавленного металла. Она была выполнена под руководством и при участии И. В. Обреимова. Разработанный ими метод, известный в литературе под названием «метода Обреимова — Шубникова», заключается в следующем. Расплавленный металл наливается в пробирку с тонко оттянутым, в виде капилляра, концом и помещается в вертикальную печь, где температура немного выше температуры плавления металла. При охлаждении конца капилляра холодной струей воздуха в нем образуется «зерно», которое при дальнейшем охлаждении постепенно заполняет всю пробирку. Так как все тепло уходит исключительно через охлаждаемый конец, температура расположенного над ним металла все время выше точки плавления, и поэтому центры кристаллизации не могут в нем возникнуть. Из одного возникшего в нижнем конце пробирки центра — «зерна» вырастал монокристалл металла — образец для испытания. Описанным методом удалось получить монокристаллы Sn, Bi, Cd, Sb, Hl, Mg и Cu. Метод Обреимова — Шубникова с успехом применялся и позднее.

Второй работой Л. В. Шубникова, когда он был студентом, была дипломная работа на тему «Оптический метод изучения упругих и остаточных деформаций в кристаллах». Этот метод вместе с И. В. Обреимовым в 1926 г. он применил к исследованию пластических деформаций в каменной соли.

До этого А. Ф. Иоффе совместно с М. В. Киричевой (1925 г.), а впоследствии совместно с М. А. Левитской (1926 г.) применил метод дифракции рентгеновских лучей в кристаллах, открытый Лауэ еще в 1912 г. Пропуская узкий пучок рентгеновских лучей через кристалл каменной соли, подвергнутый сжатию или растяжению, и наблюдая на флуоресцирующем экране рентгенограмму Лауэ, А. Ф. Иоффе, М. В. Киричева и М. А. Левитская заметили, что при определенном напряжении,

превосходящем предел упругости, и данной температуре происходит существенное изменение картины Лауэ — расплывание отдельных пятен по направлению радиусов от центрального пятна.

На основании этого было установлено, что механизм пластической или остаточной деформации каменной соли при сжатии или растяжении заключается в сдвигах отдельных участков кристаллов, поворачивающихся на различные углы. Остаточный деформированный кристалл каменной соли как бы распадается на связанные между собой отдельные мелкие кристаллики или кристаллические блоки. Изучение распада кристаллов на блоки под действием постоянной нагрузки показало, что это явление носит скачкообразный характер и что скачки сопровождаются звуками, подобными тиканью часов (М. В. Классен-Неклюдова). Оно привело к важному открытию того явления, что внутренняя разориентация кристалла обуславливает его значительное упрочнение.

Применяя оптический метод к исследованию пластических деформаций кристалла каменной соли (кристалл помещался между скрещенными николями и наблюдался в поляризованном свете, падающем нормально к его грани), И. В. Обреимов и Л. В. Шубников установили, что сдвиги, происходящие в кристалле в результате деформации (сжатия или растяжения), вызывают остаточные напряжения и в поляризационном микроскопе становятся видимыми, так как просветляют темное поле.

Вращая кристалл, авторы обнаружили также, что, когда главные сечения николей становятся параллельными граням куба (100), пластически деформированный кристалл оказывается пересеченным светлыми и темными полосками по направлению (110), а когда оси николей совпадают с направлением плоскостей скольжения, полосы исчезают. Это указывает на то, что главные напряжения в кристалле направлены параллельно (110). Величину этих напряжений И. В. Обреимов и Л. В. Шубников определили при помощи кварцевого клина. Она оказалась равной 230 кг/см^2 . Столь большое значение показывает, что в кристалле под действием пластической деформации происходит большое упрочнение. Обычно каменная соль при комнатной температуре разрывается при напряжении 45 кг/см^2 , а ее предел упругости, по А. Ф. Иоффе, равен 90 кг/см^2 . Обреимову и Шубникову удалось наблюдать самое большое внутреннее напряжение, равное 1000 кг/см^2 . Своими исследованиями они показали скачкообразный ход распада монокристалла на отдельные кристаллические блоки. В поляризационном микроскопе наблюдалось прорезывание кристалла полосами, следовавшими друг за другом и через разные промежутки времени при непрерывной растягивающей нагрузке 78 Г/мм^2 , причем полосы появлялись не сразу, а через некоторое время. Весьма характерно для всех полос то, что с одной стороны полосы была тень, а с другой — свет с очень резкой границей между тенью и светом. После снятия нагрузки напряжения не исчезли и оказались направленными по ребрам куба.

Опыты показали еще одну характерную особенность пластически деформированного кристалла: при постоянной нагрузке промежутки времени между появлениями двух последовательных скольжений постепенно возрастают до тех пор, пока не наступает полное прекращение новых сдвигов. Это указывает на постепенный характер упрочнения кристалла. Для появления новых скольжений требовалось повышение нагрузки. Следующий этап научной деятельности Л. В. Шубникова относится к заграничному периоду его жизни (1926—1930 гг.).

В Лейденской криогенной лаборатории им. Камерлингга Оннеса перед ним была поставлена профессором де-Гаазом первоочередная задача — получение совершенных монокристаллов висмута для проведения точных исследований электропроводности при низких температурах и во внешнем магнитном поле.

Исследования этого вопроса в то время проводились исключительно на кристаллических висмутовых образцах, полученных из большого кристалла путем механической обработки. Все они давали различные и неповторимые результаты по той причине, что образцы обычно повреждались при их механической обработке. Предполагалось, что на искусственно выращенных кристаллах можно было бы получить хорошо повторяемые результаты.

Существенно изменив и усовершенствовав применявшийся ранее метод П. Л. Капицы для выращивания монокристаллов висмута из расплава, Л. В. Шубников и де-Гааз получили в Лейдене уникальные по тому времени по чистоте и совершенству кристаллы висмута. Их метод позволял вырастить кристаллы заранее заданной геометрической формы и заранее заданного положения кристаллографических осей.

Получив своим оригинальным методом совершенные монокристаллы висмута, Л. В. Шубников с де-Гаазом тут же приступили к исследованиям его электрических свойств в магнитном поле при низких температурах. Эти исследования привели к открытию нового, ранее неизвестного явления — периодического изменения сопротивления висмута в зависимости от магнитного поля, подучившего название эффекта Шубникова — де-Гааза.

Третий и последний период научной деятельности Л. В. Шубникова относится к его жизни в Харькове (1930—1937 гг.), где он с 1930 г. работал в только что созданной криогенной лаборатории Укр. ФТИ.

Первый вопрос, который привлек его внимание, был вопрос о магнитных свойствах сверхпроводников. До 1933 г. господствовало мнение, что сверхпроводник обладает магнитными свойствами идеального проводника, у которого электропроводность $\sigma = \infty$. При применении к сверхпроводнику уравнения электродинамики получается, что магнитная индукция $B = \text{const}$. Однако простые рассуждения показывают неправоту такого положения. Так, если цилиндр из сверхпроводника охладить до $T < T_K$, а затем включить магнитное поле, то из-за того, что $B = \text{const}$, поле в сверхпроводнике не должно изменяться, т. е. если в нем до включения было $B = 0$, это будет иметь место и после включения. Если же цилиндр поместить во внешнее магнитное поле (H_0), а потом охладить его опять до $T < T_K$, то в цилиндре как в нормальном состоянии, так и после его перехода в магнитном поле в сверхпроводящее состояние $B = H_0$, т. е. магнитная индукция не меняется.

Таким образом, получается, что в зависимости от последовательности операций при одинаковых конечных условиях результаты разные: в одном случае $B = 0$, а в другом $B = H_0$.

Здесь может быть два мнения: или сверхпроводящее состояние не является термодинамически равновесным, ибо такое состояние должно однозначно определяться внешними условиями и не должно зависеть от процесса перевода образца в это состояние, или выражение $B = \text{const}$ неверно. Первое мнение исключается, так как еще в 1932 г. лейденские физики Рутгерс, Гортер и Казимир, развивая термодинамику сверхпроводников, показали равновероятность сверхпроводящего состояния и это вскоре подтвердилось экспериментально. Оставалось верным второе мнение, но оно требовало проверки. Такая проверка впервые была проведена в 1933 г. Мейснером и Оксенфельдом в Берлине, а затем, несколько позднее и независимо от них, Ю. Н. Рябининим и Л. В. Шубниковым в Харькове.

Немецкие физики произвели измерение распределения внешнего магнитного поля вокруг сверхпроводящего оловянного или свинцового цилиндрического образца, ось которого была расположена перпендикулярно полю, и получили неожиданный результат: при переходе образца из нормального состояния в сверхпроводящее при охлаждении его в постоянном магнитном поле магнитный поток полностью вытеснялся из него, т. е. магнитная индукция оказалась равной нулю. Это явление получило название «эффекта Мейснера».

Советские физики Л. В. Шубников и Ю. Н. Рябинин измеряли (баллистическим способом) величину $\Delta B / \Delta H$, т. е. изменение индукции, вызванное внезапным изменением внешнего поля на небольшую величину, и получили непрерывную кривую зависимости B от H_0 в интервале полей от 0 до H_K и обратно до $-H_K$ (весь цикл намагничивания), где H_K — критическое поле.

В результате измерений было установлено, что в полях, близких к H_K , происходит резкое изменение B как в возрастающем, так и в убывающем поле. Сам факт скачка индукции B при $H_0 = H_K$ авторы приписывают образованию новой сверхпроводящей фазы с $B = 0$. Таким образом, опыты советских ученых полностью подтвердили существование эффекта Мейснера. Но из их результатов вытекало также, что на эффект Мейснера накладывается более сложное, гистерезисное явление, связанное с неоднородностью или «несовершенством» сверхпроводника.

Л. В. Шубников и сотрудники исследовали также магнитные свойства сверхпроводящих сплавов (1937 г.) и установили наличие у них двух критических полей: нижнего H_{K1} и верхнего H_{K2} . При $H < H_{K1}$ поле не проникает в толщу сверхпроводящего образца до $H = H_{K1}$, т. е. в области полей $0 - H_{K1}$, $B = 0$ и сверхпроводящий сплав ведет себя, как чистый металл. Затем оно начинает постепенно проникать внутрь образца — B возрастает с H , а сопротивление продолжает оставаться равным нулю вплоть до H_{K2} , т. е. до поля, при котором разрушается сверхпроводимость сплава (оно может быть значительно выше, чем у чистых сверхпроводящих металлов и достигать 100 000 э), после чего сверхпроводник переходит в нормальное состояние. Как видно, в интервале полей $H_{K1} - H_{K2}$ эффект Мейснера отсутствует, т. е. сверхпроводимость в сплаве имеется, а магнитное поле частично проникает в него. Этот интервал у всех сплавов увеличивается с увеличением примеси в сверхпроводящем металле. Результаты экспериментов получили теоретическое объяснение в работе А. А. Абрикосова «О магнитных свойствах сверхпроводников второй группы» (1957 г.).

В 1936 г. Л. В. Шубников и В. И. Хаткевич детально изучили явление разрушения сверхпроводимости олова при одновременном действии магнитного поля и тока на кольцо, в котором можно возбудить столь сильный ток, что магнитное поле на его поверхности достигает критической величины. Этот метод был исключительно простым для определения критического тока, критического поля и критических величин при одновременном действии поля и тока.

Результаты их экспериментов со сверхпроводящим кольцом в настоящее время приобретают практическое значение в связи с созданием сверхпроводящих соленоидов.

Тематика научных исследований Харьковской лаборатории не ограничилась тогда лишь проблемой сверхпроводимости. В 1934—1937 гг. Л. В. Шубников с другой группой молодых ученых его лаборатории: О. И. Трапезниковой, Г. А. Милютиним и др. — посвятили ряд работ изучению температурного хода теплоемкостей группы хлоридов переходных элементов FeCl_2 , CoCl_2 , CrCl_3 , NiCl_2 при низких температурах.

Было известно, что магнитная восприимчивость этих безводных солей следует закону Кюри — Вейсса: $\chi (T - \theta) = C$, т. е. тому же закону, которому следует парамагнитная восприимчивость ферромагнитных веществ. При температуре ниже точки Кюри у них наблюдается сильная зависимость магнитной восприимчивости от внешнего поля, и в этом отношении они сходны с ферромагнетиками, но не становятся ими.

Для выяснения этих аномалий, связи их с существованием молекулярного поля в этих слоях требовались измерения теплоемкости, что и было сделано харьковскими физиками в температурном интервале 13—130° К. При этих измерениях они воспользовались вакуумным калориметром. В результате измерений были получены кривые для каждой соли с острыми максимумами, появление которых было связано только с возникновением спонтанного намагничивания (фазового перехода второго рода).

Результаты исследований Л. В. Шубникова и его сотрудников указывали в то время на существование магнитных переходов в парамагнитных солях — хлоридах переходных элементов, т. е. на существование перехода вещества из парамагнитного состояния в новое, так называемое антиферромагнитное состояние, предсказанное ранее Л. Д. Ландау (1933 г.).

Таким образом, советские ученые положили начало развитию целого научного направления в физике — антиферромагнетизму. В настоящее время известны сотни антиферромагнетиков.

Как видно из вышеизложенного, Л. В. Шубников за короткое время своей деятельности (1924—1937 гг.) внес заметный вклад в науку. С его именем связано создание первой криогенной лаборатории и начало низкотемпературных исследований в СССР, создание оригинальных методов выращивания монокристаллов различных металлов, эффект Шубникова — де-Гааза, замечательные исследования магнитных свойств сверхпроводников и сплавов, экспериментальное открытие антиферромагнетизма, организация опытной станции глубокого охлаждения в Харькове.

Этот неполный перечень научных заслуг говорит о большом таланте и неисчерпаемой энергии ученого, жизнь которого оборвалась так преждевременно.

В заключение считаю своим приятным долгом выразить признательность О. И. Трапезниковой за представление ценных материалов, использованных в настоящей статье.

О. И. Балабекян

СПИСОК НАУЧНЫХ ТРУДОВ Л. В. ШУБНИКОВА

1. Eine Methode zur Herstellung einkristalliger Metalle.— Zs. Phys. 25, 31 (1924).
2. Über eine optische Methode der Untersuchung von plastischen Deformation in Steinsalz.— Zs. Phys. 41, 907 (1927).
3. Magnetische Widerstandsvergrößerung in Einkristallen von Wismut bei tiefen Temperaturen.— Leiden Comm., Nr. 207a (1930); Proc. Koninkl. Akad. von Wetensch. te Amsterdam 33 (1930).
4. Über die Herstellung von Wismuteinkristallen.— Leiden Comm., Nr. 207b (1930); Proc. Koninkl. Akad. von Wetensch. te Amsterdam 33, Nr. 3 (1930).
5. Die Abhängigkeit des elektrischen Widerstandes Wismuteinkristalle von der Reinheit des Metalls.— Leiden Comm., Nr. 207c (1930); Proc. Koninkl. Akad. von Wetensch. te Amsterdam 33, Nr. 4 (1930).
6. Neue Erscheinungen bei der Widerstandsänderung von Wismuteinkristallen im Magnetfeld bei der Temperatur von flüssigen Wasserstoff. I.— Leiden Comm., Nr. 207d (1930); Proc. Koninkl. Akad. von Wetensch. te Amsterdam 33, Nr. 4 (1930).
7. Neue Erscheinungen bei der Widerstandsänderung von Wismuteinkristallen im Magnetfeld bei der Temperatur von flüssigen Wasserstoff. II.— Leiden Comm., Nr. 210a (1930); Proc. Koninkl. Akad. von Wetensch. te Amsterdam 33, Nr. 5 (1930).
8. Die Widerstandsänderung von Wismuteinkristalle im Magnetfeld bei der Temperatur vom flüssigen Stickstoff.— Leiden Comm., Nr. 210b (1930).
9. A new phenomenon in the change of resistance in a magnetic field of single crystals of bismuth.— Nature, October 1930.
10. Исследование условий равновесия газообразной и жидкой фазы смеси кислорода и азота.— ЖТФ 4, 949 (1934).
11. Dependence of magnetic induction of the magnetic field in supraconduction Lead.— Nature 256 (1934).

12. Anomali in the specific heat of ferrous chlorid at the Curie point.— Nature **134**, 378 (1934).
13. Verhalten eines Supraleiters im magnetischen Feld.— Phys. Sowjetunion **5**, 641 (1934).
14. Die Viskosität von flüssigen Stickstoff, Kohlenoxyd, Argon und Sauerstoff in Abhängigkeit von der Temperatur.— Phys. Sowjetunion **6**, 470 (1934).
15. Вязкость и зависимость ее от температуры для жидкого азота, окиси углерода, аргона, кислорода.— ЖЭТФ **4**, 1049 (1934).
16. Spezifische Wärme von supraleitenden Legierungen.— Phys. Sowjetunion **6**, 605 (1934).
17. Über die Abhängigkeit der magnetischen Induktion des supraleitenden Blei von Feld.— Phys. Sowjetunion **6**, 557 (1934).
18. Зависимость магнитной индукции сверхпроводящего свинца от поля.— ЖЭТФ **5**, 140 (1935).
19. Magnetic induction in a supraconducting lead crystal.— Nature **135**, 109 (1935).
20. Über die Anomalie der spezifischen Wärme von wasserfreiem Eisenchlorid.— Phys. Sowjetunion **7**, 66 (1935).
21. Аномалия теплоемкости безводного хлористого железа.— ЖЭТФ **5**, 281 (1935).
22. Magnetic properties and critical currents of supraconducting alloys.— Phys. Sowjetunion **7**, 122 (1935).
23. Über die Anomalie der spezifischen Wärme von wasserfreiem CrCl_3 .— Phys. Sowjetunion **7**, 255 (1935).
24. Über die Widerstandsänderung von Wismuteinkristallen im Magnetfeld bei tiefen Temperaturen.— Physica **11**, 9 (1935).
25. Über die Anomalie der spezifischen Wärme von wasserfreien CrCl_3 , CoCl_2 , NiCl_2 .— Phys. Sowjetunion **9**, 237 (1936).
26. Аномалия теплоемкости безводных CrCl_3 , CoCl_2 , NiCl_2 .— ЖЭТФ **6**, 421 (1935).
27. Viskosität des flüssigen Methans und Athylens in Abhängigkeit von der Temperatur.— Phys. Sowjetunion **8**, 179 (1935).
28. Вязкость жидкого метана и этилена в зависимости от температуры.— ЖЭТФ **5**, 826 (1935).
29. Optische Untersuchungen am flüssigem Helium II.— Phys. Sowjetunion **10**, 119 (1936).
30. Anomale spezifische Wärmen der wasserfreien Salze FeCl_2 , CrCl_3 , CoCl_2 , NiCl_2 .— Berichte des VII^{en} Intern. Kältekongresses (1936).
31. Kritische Werte des Feldes und des Stromes für die Supraleitfähigkeit des Zinns.— Phys. Sowjetunion **10**, 231 (1936).
32. Критические значения поля тока для сверхпроводящего олова.— ЖТФ **6**, 1937 (1936).
33. Über das magnetische Moment des Protons.— Phys. Sowjetunion **10**, 117 (1936).
34. Die magnetische Suszeptibilität von metallischem Cerium.— Phys. Sowjetunion, Sondernummer, Juni, 105 (1936).
35. Magnetische Eigenschaften Metalle und Legierungen.— Phys. Sowjetunion **10**, 165 (1936).
36. Magnetische Eigenschaften supraleitenden Metalle und Legierungen.— Phys. Sowjetunion, Sondernummer, Juni, 39 (1936).
37. Destruction of supraconductivity by an electric current and magnetic field, Nature **138**, 545 (1936).
38. Transition cure for the destruction of supraconductivity by an electric current.— Nature **138**, 804 (1936).
39. Optical experiments of liquid Helium II.— Nature **138** (1936).
40. Electrical conductivity of a supraconducting sphere in the intermediate state.— Nature (1936).
41. Über die magnetische Suszeptibilität des metallischen Cerium und Proseodym.— Phys. Sowjetunion **10**, 618 (1936).
42. Slowing down neutrons in liquid hydrogen.— Phys. Sowjetunion **9**, 696 (1936).
43. Über die Absorption thermischen Neutronen in Silber bei niedrigen Temperaturen.— Phys. Sowjetunion **10**, 103 (1936).
44. Das Kältelaboratorium.— Phys. Sowjetunion, Sondernummer, Juni, 1 (1936).
45. Ferromagnetische Eigenschaften einiger paramagnetischen Salze.— Phys. Sowjetunion **11**, 566 (1937).
46. Das magnetische Moment des Protons.— Phys. Sowjetunion **11**, 445 (1937).
47. Кривая перехода при разрушении сверхпроводимости электрическим током.— ЖЭТФ **6**, 1200 (1937).
48. Электропроводность сверхпроводящего шара в промежуточном состоянии.— ЖЭТФ **7**, 566 (1937).

