

Ю.П. Степановский

Институт теоретической физики,
ННЦ "Харьковский Физико-Технический Институт",
Akademicheskaya Str. 1, Kharkov, 61108, Ukraine,
e-mail: yustep@kipt.kharkov.ua

Макроскопические квантовые явления: феноменологические теории сверхпроводимости и сверхтекучести (Нобелевская премия по физике 2003)

Содержание

1. Нобелевские лауреаты по физике 2003	101
2. Жизнь на зависть Дираку	102
3. "Нет российской или американской физики..."	104
4. Теория Гинзбурга-Ландау и вихри Абрикосова	105
5. О "Солнечном веществе" и о М.П. Бронштейне	108
6. О П.Л. Капице и об открытии сверхтекучести	109
7. И.Я. Померанчук и термодинамика гелия-3	111
8. Э.Дж. Легgett и сверхтекучий гелий-3	113

Abstract

The origin of phenomenological theory of superconductivity, especially the theory of type-II superconductors, and the theory of anisotropic superfluid He-3 are briefly reviewed. The contributions to mentioned theories of Nobel laureates in physics for 2003 are discussed.

1. Нобелевские лауреаты по физике 2003

В 2003 году Шведская Королевская Академия Наук присудила нобелевскую премию по физике [1] **Абрикосову Алексею Алексеевичу** (1928 г. рожд., Аргонская Национальная Лаборатория, Аргон, Иллинойс, США),

Гинзбургу Виталию Лазаревичу (1916 г. рожд., Физический Институт им. П. Н. Лебедева Российской Академии Наук, Москва, Россия),

Энтони Джону Леггетту

(1938 г. рожд., Университет Иллинойса, Урбана, Иллинойс, США)

за пионерский вклад в теорию сверхпроводников и сверхтекучих жидкостей.

В сообщении Нобелевского комитета рассказывается, что сверхпроводники бывают I рода и II рода, что первые полностью выталкивают из себя магнитное поле, а вторые допускают наличие сверхпроводимости и сильного магнитного поля одновременно. Говорится также о том, что теория сверхпроводников I рода, развитая в 50-ые



Рис. 1. Нобелевские лауреаты по физике 2003 А.А. Абрикосов, В.Л. Гинзбург, Э.Дж. Леггетт.

В.Л. Гинзбургом и Л.Д. Ландау, вскоре была распространена А.А. Абрикосовым на случай сверхпроводников II рода и что эта теория актуальна и в наше время, поскольку сегодня создаются сверхпроводники, сохраняющие свои свойства при все более высоких температурах и магнитных полях. Далее говорится, что редкий изотоп гелия, гелий-3, может находиться в сверхтекучем состоянии и что в 70-е годы Э.Дж. Леггетт сформулировал и обосновал теорию, которая объяснила, как атомы гелия-3 взаимодействуют и распределяются в сверхтекучем состоянии.

Решение Нобелевского комитета 2003 года — новое за последние годы (после присуждения Нобелевской премии Ж.И. Алферову в 2000 году) признание вклада российских ученых в мировую науку. Прежде чем обсуждать научную сторону работ нобелевских лауреатов 2003 года, поговорим немного о том далеком времени, когда были сделаны работы российских (тогда еще советских) лауреатов и о некоторых подробностях их биографий. Начнем с В.Л. Гинзбурга, впервые построившего, вместе с Л.Д. Ландау, феноменологическую теорию сверхпроводимости как макроскопического квантового явления. Работы А.А. Абрикосова и Э.Дж. Леггетта представляют собой логическое развитие работы Гинзбурга и Ландау.

2. Жизнь на зависть Дираку

П.Л.¹, не видевший Дирака много лет, с жаром рассказывал превратности своей жизни за прошедшие годы (о борьбе за вызволение из лап КГБ Ландау и Фока, о попытке административной деятельности в государственном масштабе, о столкновениях с Берией, об отставке, о работе в хате-лаборатории на даче). Дирак внимательно слушал, а заключил сказанное словами: - Какую интересную жизнь ты прожил! В них звучала зависть.

М.И. Каганов [2].

Виталий Лазаревич Гинзбург тоже прожил интересную жизнь. Интересная жизнь была и у его жены Нины Ивановны Гинзбург, арестованной в 1944 году за участие в вымышленном террористическом заговоре. Интересную жизнь прожили и учителя В.Л. Гинзбурга Игорь Евгеньевич Тамм и Лев Давидович Ландау, чудом уцелевшие в годы советской власти. Интересной была жизнь и близкого коллеги В.Л., Андрея Дмитриевича Сахарова, создателя самого смертоносного оружия, которое знал мир, и знаменитого правозащитника. В.Л. Гинзбург жил и живет в стране, в которой государство всегда заботилось и продолжает заботиться о том, чтобы жизнь его граждан была "интересной".

20 октября 1935 года П. Л. Капица, за которым уже захлопнулся "железный занавес", писал Э. Резерфорду [3]: "Жизнь — непостижимая штука... Она представляет собой такую запутанную комбинацию всякого рода явлений, что лучше не задаваться вопросом о ее логической согласованности. Мы все, в конечном счете, лишь крошечные частицы, плывущие в потоке, который мы зовем судьбой". В.Л. Гинзбург — убежденный атеист, активный борец с мракобесием, лженаукой, суевериями, но его собственная жизнь — пример того, как провидение может вмешиваться в судьбу человека и помогать ему реализоваться как личности, как ученому. Как говорит сам В.Л. Гинзбург, он — человек "со счастливой судьбой".

Летом 1920 года, когда В.Л. Гинзбургу не было еще и четырех лет, его будущий учитель И.Е. Тамм (1895–1971), пробиравшийся из врангелевского Крыма к жене в Елизаветград, был арестован красными и избит как важный белогвардейский шпион. Основанием послужило то, что красный командир выяснил, что И.Е. Тамм знает не только, что такое ряд Тейлора, но даже и что такое остаточный член ряда Тейлора [4]. И.Е. Тамм был отправлен с конвоиром в Харьков, в ЧК, где его участь была predetermined. В Харькове, на вокзале, И.Е. Тамм успел заметить, что выходящую в Харькове газету редактирует бывший редактор елизаветградской газеты "Голос Юга" Гайсинский, приятель отца Тамма. Тамму удалось связаться с Гайсинским, Гайсинский отправил телеграмму отцу Тамма, отец Тамма отправил телеграмму родственнице, работавшей у Крупской. Крупская обратилась к Дзержинскому, Дзержинский телеграфировал в Харьков, чтобы Тамма отпустили, "если за ним ничего нет-[5]. Так, благодаря тому, что провидение позаботилось о том, чтобы редактор елизаветградской газеты "Голос Юга" Гайсинский летом 1920 года оказался в Харькове, уцелел И.Е. Тамм, будущий нобелевский лауреат, один из создателей советской водородной бом-

¹П.Л. Капица

бы, учитель В.Л. Гинзбурга и А.Д. Сахарова.

Для того, чтобы вырвать из лап НКВД другого учителя В.Л. Гинзбурга и соавтора по нобелевской работе, Л.Д. Ландау, провидению пришлось пойти на более тонкие уловки. Л.Д. Ландау был арестован ночью 28 апреля 1938 года. В тот же день П.Л. Капица написал письмо Сталину, в котором объяснял, что утрата Ландау, как ученого, это невосполнимая потеря для советской и мировой науки. В феврале 1937 года после письма Капицы Сталину был освобожден из тюрьмы арестованный В.А. Фок, однако в случае с Ландау письмо Сталину не имело никаких последствий. 6 апреля 1939 года П.Л. Капица написал письмо Молотову, в котором сообщал, что открыл "ряд новых явлений, которые, возможно, прояснят одну из наиболее загадочных областей современной физики-[3] (Капица имел ввиду посланное ему провидением для спасения Ландау в конце 1937 года открытие сверхтекучести гелия-4). Капица писал, что ему крайне необходим для работы Ландау, который в полном совершенстве владеет той областью теории, которая Капице нужна. 28 апреля 1939 года Л.Д. Ландау был освобожден "на поруки академика П.Л. Капицы".

В 1934 году при поступлении на второй курс московского университета, во время медицинского осмотра, врач обнаружил у В.Л. Гинзбурга увеличение щитовидной железы ("струму") и зачислил его не в военную группу, а в гражданскую. "Струма" не проявилась до сих пор, но, благодаря ей, В.Л. Гинзбург остался жив, а не погиб на войне, как большинство зачисленных в военные группы [6]. Во время войны в Казани, в эвакуации, В.Л. Гинзбург записался добровольцем в десантные части, но в десантники его не взяли: по ошибке заподозрили туберкулез и поставили на учет [6]. В.Л. Гинзбургу удалось уцелеть и после того, как в его день рождения, 4 октября 1947 года, в "Литературной газете" его заклеямили как "космополита" и "низкопоклонника перед Западом". В этот раз В.Л. Гинзбургу помогло участие в разработке водородной бомбы (им была высказана важная идея о том, что в качестве ядерного горючего нужно использовать дейтерид лития-6). Инициатором травли был автор протон-нейтронной модели атомных ядер Д.Д. Иваненко, который постарался также, чтобы в тот же день пленум ВАК не утвердил В.Л. Гинзбурга в звании профессора [6].

В 1945 году В.Л. Гинзбург по совместительству стал заведовать кафедрой в горьковском университете. В Горьком он познакомился с Ниной Ивановой Ермаковой, на которой женился в 1946 году. Н.И. Ермакова была арестована в июле 1944 года и обвинена в участии в террористической организации, готовившей покушение на Сталина. Уже после ее ареста выяснилось, что окна ее квартиры на Арбате, из которых якобы предполагалось стре-

лять в Сталина, выходят во двор. Только двоим из арестованных, Н.И. Ермаковой и М.Л. Левину² дали по три года. Это объяснялось тем, что за них хлопотал личный консультант Сталина по экономическим вопросам академик Е.С. Варга. Остальные получили по пять — десять лет [8]. В связи с окончанием войны Н.И. Ермакова, как имеющая трехлетний срок заключения, была амнистирована и сослана в село Бор, которое находилось недалеко от Горького. В Горьком Н.И. Ермакова не имела права жить, но могла в Горький приезжать, так как училась в Политехническом институте [6]. Но далеко нетривиальным было то, что академик Е.С. Варга, хлопотавший за подругу своей дочери, был еще жив в 1944 году. Е.С. Варга был в прошлом венгерским коммунистом, занимавшим высокие государственные посты в Венгерской Советской Республике, просуществовавшей несколько месяцев в 1919 году. В 1943 году, когда уже уничтожили практически всех иностранных коммунистов, пришли и за Е.С. Варгой [9]. Е.С. Варга успел схватить телефонную трубку и позвонить Сталину. "Передайте трубку старшему по званию", — сказал Сталин. "Как же так, товарищ Сталин, — сказал старший по званию, — ведь Лаврентий Павлович приказал! Передайте трубку младшему по званию", — приказал Сталин. "Будет выполнено, товарищ Сталин! — сказал младший по званию, вытащил пистолет, застрелил старшего по званию, и со словами "Извините нас, товарищ Варга!" вытащил старшего по званию за ноги и удалился. Больше Е.С. Варгу не трогали. Проявленное Сталиным великодушие и привело к знакомству В.Л. Гинзбурга и Н.И. Ермаковой.

В.Л. Гинзбург родился в Москве 4 октября 1916 года. Его отцу, Лазарю Ефимовичу Гинзбургу, инженеру, специалисту по очистке вод, было в это время 53 года. Мать, Августа Вениаминовна, которой было 30 лет, была врачом и в 1920 году умерла от тифа. В четырех комнатную квартиру отца поселили еще две семьи, квартира стала коммунальной. Отец и младшая сестра матери, опасаясь, что в советское время школа стала совсем плохой, отдали мальчика в школу только 11 лет, в 4-й класс. Тем временем советская власть решила, что больше семи лет учиться в школе и не нужно, и, закончив четыре класса, В.Л. должен был либо поступить в фабрично-заводское училище, чтобы стать квалифицированным рабочим, либо на рабфак, окончание которого давало право поступать в высшее учебное заведение. Однако В.Л. удалось в 1931 году устроиться лаборантом в технический ВУЗ, а в 1933 году стало возможным поступить в МГУ по открытому конкурсу, минуя рабфак. Для поступления В.Л. пришлось месяца за три овладеть полным школьным курсом. Экзамены он сдал не блестяще,

²О М.Л. Левине, ученом и человеке, однокурснике и близком друге А.Д. Сахарова, см. книгу [7].

и его смогли зачислить только на заочное отделение физического факультета. Только в 1934 году В.Л. Гинзбург смог перевестись на очное отделение физфака и стать обычным студентом. Обо всем этом В.Л. подробно рассказывает в своих воспоминаниях, подчеркивая большие пробелы в своем образовании [6], что, как он считает, нередко мешало ему в работе.

В 1938 году В.Л. Гинзбург стал аспирантом Г.С. Ландсберга по экспериментальной оптике, в 1940 году защитил кандидатскую, в 1942 году докторскую диссертации. В 1953 году был избран членом-корреспондентом, в 1966 году — действительным членом АН СССР. Тематика работ В.Л. Гинзбурга чрезвычайно разнообразна. Это и квантовая электродинамика и теория элементарных частиц, теория сверхпроводимости и сверхтекучести, оптика конденсированных сред, физика плазмы и распространение электромагнитных волн в плазме и ионосфере, происхождение космических лучей, общая теория относительности и астрофизика. С 1940 года до настоящего времени В.Л. Гинзбург работает в Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН.

3. "Нет российской или американской физики..."

Будучи еще порядочным человеком, я получал уж полицейские выговоры и мне говорили: *Vous avez trompé*³ и тому подобное... черт догадал меня родиться в России с душою и с талантом!

А.С. Пушкин, из письма к жене
18 мая 1836 г.

Мечтой А.С. Пушкина было "удрать в Париж и никогда в проклятую Русь не возвращаться-[10]. Но А.С. Пушкин был "невъездным"и, хотя он хорошо понимал героя стихов И. Дмитриева, восклицавшего [11]

"Друзья! Сестрицы! я в Париже!
Я начал жить, а не дышать!",

но побывать в Париже ему самому так и не удалось. А вот А.А. Абрикосову удалось побывать в Париже еще в те годы, когда подавляющее большинство физиков были невыездными⁴. Но *il a trompé*,

³Вы не оправдали.

⁴В начале 70-х в Харькове сотрудники подарили И.М. Лифшицу ко дню рождения альбом с дружескими шаржами на него. На первой странице был изображен И.М. , а под изображением был помещен следующий диалог: "Я опять хочу в Париж!— "А разве Вы уже там были?— "Нет! Но я уже хотел!"

не оправдал, влюбился в Париже во французенку [12], или, как тогда говорили, "потерял моральный облик". Этому ему простить не смогли и 18 лет его не пускали за границу⁵. И, можно думать, это была одна из причин, по которой прошло целых 23 года, пока А.А. Абрикосова в 1987 году выбрали действительным членом АН СССР. (Членом-корреспондентом он был избран в 1964 году, еще до злополучной поездки в Париж.) Когда в 1972 году А.А. Абрикосову присудили премию им. Фрица Лондона за его знаменитую (теперь нобелевскую) работу, его не пустили за границу на конференцию по физике низких температур, на которой вручалась премия. В 1960 году получать такую же премию не пустили Л.Д. Ландау (Ландау и Абрикосов — единственные советские физики, получившие премию им. Фрица Лондона). То, что А.А. Абрикосов 18 лет был невыездным ("по дурацкой причине", как он выражается) — лишь одна из его обид на Россию. Были и другие. А.А. Абрикосов не принял приглашения В.В. Путина, который пригласил его как нобелевского лауреата. А.А. Абрикосовым сказано немало обидных и справедливых слов о России и российской науке. Стоит вспомнить, что он уехал из России в США в 1991 году, когда вполне реальной была угроза, что границы опять закроются и надолго. Экономика рушилась. Привыкшие к более-менее нормальной жизни люди оказались в унижительном и невыносимом состоянии безысходности и безнадежности. Более двух миллионов специалистов и среди них сотни тысяч ученых покинули Россию. Из России уехало 80 % математиков, 60 % биологов, 40 % физиков-теоретиков [14]! Хотя в последнее время положение в России с наукой несколько улучшилось, тем не менее в настоящее время на одного ученого в России выделяется 2–3 тысячи долларов в год, а в Западной Европе и США — 100–200 тысяч [15]! Недавно один молодой ученый вернулся в Россию из Японии и стал обладателем президентского гранта. По этому престижному гранту он ежемесячно получает сумму, которую зарабатывал в Японии за три-четыре часа [16]! В пересчете на душу населения затраты России на науку в 2003 году были в 18 раз меньше, чем затраты Чехии в 2000 году, в 41 раз меньше, чем Кореи, в 81 раз меньше, чем Японии, в 86 раз меньше, чем Швеции, в 94 раза меньше, чем США (данные по странам за 2000 год взяты из [17]). И в 2 раза больше, чем затраты Украины на науку в том же 2003 году!

⁵И.С. Шкловский тоже был 18 лет "невъездным", как он полагал, за следующую провинность. Находясь в Аргентине, он узнал, что слово "куда" на португальском языке означает что-то чрезвычайно неприличное. Помня об этом, И.С. Шкловский уговорил одного члена советской делегации спеть аргентинским сеньорам и сеньоритам арию Ленского "Куда, куда, куда вы удалились ... ". Успех был ошеломляющим. Сеньорит как ветром сдуло. Но певец был представителем органов, и И.С. Шкловский стал "невъездным-[13].

Увы, люди из России за границей часто подвергаются дискриминации. В.И. Арнольд писал: "Недавно возник новый вид работорговли. Мои друзья — биологи, химики, физики — рассказывали мне, что американские и европейские университеты приглашают российских исследователей, платят им гроши (превосходящие, однако, российские профессорские зарплаты ... при почти одинаковых ценах на продовольствие в Москве и, например, в Париже). Эти русские рабы трудятся изо всех сил, но публикации подписывают не они, а сотрудники приглашающей лаборатории-[18]. А вот рассказ В.И. Арнольда, математика с мировым именем, о том, как он оформлял американскую визу в Париже. "... мне предложили прийти через три недели. Причина — мои документы должны были проверить в Вашингтоне, потому что я "осёл". Я потребовал объяснений. Мне ответили: "Каждый вид преступлений получает у нас свое имя: собака, кошка, тигр, верблюд и т.д.". Мне показали список — под именем "осёл" фигурировали российские ученые-[19].

Во всех сообщениях о присуждении Нобелевской премии за 2003 год после фамилии Абрикосова указываются две страны — Россия и США. На вопрос корреспондента "Российской газеты" согласен ли он с тем, что его нобелевская работа принадлежит сразу двум этим странам, А.А. Абрикосов ответил [20]: "Она не принадлежит ни России, ни Америке. Она принадлежит физике. А это — наука чрезвычайно интернациональная. Нет российской или американской физики. Даже когда я жил в бывшем Советском Союзе, то всегда говорил именно так: патриотизм, который призван разъединять людей по странам, к науке не применим. Наука наоборот объединяет людей".

А.А. Абрикосову нравится жить и работать в США, вдали от абсурдов и нелепостей российской жизни, но он родился, вырос и стал известным ученым в России, где и прожил большую, и, наверное, не худшую, часть своей жизни.

А.А. Абрикосов родился 25 июня 1928 года в Москве. Его отец, Алексей Иванович Абрикосов, был известным патологоанатомом, академиком АН СССР (1939) и АМН (1944). Когда А.А. Абрикосов родился, его отцу, как и отцу В.Л. Гинзбурга, было 53 года. А.И. Абрикосову доверили ответственнейшее дело: сразу же после смерти В.И. Ленина сделать вскрытие и произвести предварительное балъзамирование тела Ленина. Именем А.И. Абрикосова в Москве назван переулок, где находится кафедра патологической анатомии Первого Медицинского института, перед зданием кафедры установлен бюст А.И. Абрикосова [21].

Важнейшее событие в жизни А.А. Абрикосова произошло в 1942–1943 году в Казани, куда были эвакуированы члены и ведущие сотрудники Академии Наук: в школе, в которой учился А.А. Абри-

косов, была объявлена лекция "Жидкий воздух". Пришел лектор — "высокий, худой и чубатый" и его ассистент — "маленький, лысый и остроносый-[22]. Лектор прочитал скучную лекцию, а ассистент опускал резинку в дьюар и разбивал ее молотком. Это были Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц. Так Л.Д. Ландау вошел в жизнь А.А. Абрикосова. "Мог ли я ожидать, — писал много лет спустя А.А. Абрикосов [22], — что этот "халтурщик" (как мы все тогда решили) станет моим любимым учителем и, более того, самым значительным человеком, определившим всю мою жизнь?"

В 1947 году А.А. Абрикосов сдал знаменитый теорминимум Ландау, в 1951 году закончил аспирантуру у Ландау и защитил кандидатскую диссертацию, в 1955 году защитил докторскую. В 1951 году Л.Д. Ландау захотел оставить А.А. Абрикосова у себя в отделе в Институте Физических Проблем. Но тут возникли серьезные и непреодолимые препятствия [23]. С 17 августа 1946 года по 28 января 1955 года директором Института Физических Проблем был А.П. Александров, назначенный на место изгнанного с поста директора П.Л. Капицы⁶. Однако "подбором научных кадров" в институте занимался не А.П. Александров, а ставленник Л.П. Берии генерал-лейтенант А.Н. Бабкин. И вот генерал-лейтенант Бабкин нашел в анкетных данных А.А. Абрикосова два серьезных дефекта: во-первых, он обнаружил, что мать А.А. Абрикосова зовут Фаня Давидовна, во-вторых, он объявил, что из совпадения ее отчества с отчеством Л.Д. Ландау следует, что А.А. Абрикосов — племянник Ландау и не может работать у него в отделе. Положение было безнадежным, и А.А. Абрикосов стал устраиваться на работу в Институт физики Земли. Но вдруг, в 1952 году, неожиданно умер вождь и тиран монгольского народа маршал Х. Чойбалсан. В "Правде" был опубликован некролог и протокол о вскрытии тела покойного. Среди подписей, стоявших под протоколом, была и

⁶Бросивший вызов Л.П. Берии, П.Л. Капица был снят со всех занимаемых должностей постановлением Совета Министров СССР, подписанным лично Сталиным. Рассказ И.С. Шкловского [13], по-видимому, является преувеличением, но хорошо передает психологическое состояние П.Л. Капицы: "Один знающий человек рассказал мне такую версию этой удивительной истории. На ответственнейшем заседании, которое проводил Берия, обсуждался советский проект по организации сложнейшего производства разделения изотопов урана. Работа была выполнена весьма успешно, но для организации производства в заводском масштабе необходимы были еще некоторые дополнительные эксперименты, на что требовалось полгода. Взбешенный Берия грубо прервал докладчиков и обрушил на них поток грязнейшей ругани — это было у него в обычае. Тогда поднялся Капица и стал честить ошалевшего обер-палача совершенно в тех же выражениях, сказав в заключение: "Когда разговариваешь с физиками, мать твою перемать, ты должен стоять по стойке "смирно!" Налившийся кровью Берия не мог слова вымолвить. На следующий день приказом Сталина Капица был отстранен от всех своих постов, после чего вплоть до 1953 года фактически находился под домашним арестом".

подпись Ф.Д. Абрикосовой, работавшей патолого-анатомом в Кремлевской больнице. Это произвело на генерал-лейтенанта Бабкина такое впечатление, что он тотчас же дал согласие оставить А.А. Абрикосова в отделе Ландау. "Так смерть маршала Чойбалсана по существу определила всю судьбу будущего академика...-[23].

4. Теория Гинзбурга-Ландау и вихри Абрикосова

...скучно стало в физике без Ландау.

Э.Л. Андроникашвили [24].

В.Л. Гинзбург не собирался быть физиком-теоретиком [6]. Но экспериментальная работа в аспирантуре тоже его не очень увлекала. В сентябре 1938 года он был призван в армию, ожидал повестки "явиться с вещами", было не до работы. Но в этот раз ему опять повезло. В последний раз МГУ выхлопотал отсрочку от армии для своих аспирантов. Но — еще один счастливый случай — вдруг у В.Л. возникла, как вскоре оказалось, ошибочная, теоретическая идея. Со своей идеей В.Л. пришел к И.Е. Тамму. И.Е. Тамм зажегся этой идеей, касавшейся механизма излучения возбужденного атома при столкновении с заряженной частицей. "Если бы я пошел к Ландау (часто думал об этом), результат скорее всего был бы совсем иным, — пишет В.Л. Гинзбург [6]. — Моя "идея" ведь была совершенно неверной. Или Дау бы сразу это заметил и облил меня холодным душем. Либо, в любом случае, он не зажегся бы. А мне это было так важно!" А И.Е. Тамм говорил с молодым аспирантом, как с коллегой, говорил, что "это очень интересно", или что-то подобное. "Я был окрылен, буквально начал новую жизнь". "... из одного из уважаемых профессоров Игорь Евгеньевич превратился для меня в близкого и дорогого человека-[25]. В 1937 году И.Е. Тамм и И.М. Франк в рамках электродинамики Максвелла построили теорию излучения электрона (излучения Вавилова-Черенкова), движущегося в среде со скоростью, превышающей фазовую скорость света в этой среде. В 1958 году И.Е. Тамм, И.М. Франк и П.А. Черенков (С.И. Вавилов умер в 1951 году) получили Нобелевскую премию по физике за экспериментальное открытие и теоретическое объяснение излучения Вавилова-Черенкова. Естественно, что первые научные работы В.Л. Гинзбурга были связаны с эффектом Вавилова-Черенкова. В.Л. Гинзбург проквантовал электромагнитное поле в среде и решил квантово-механическую задачу об излучении Вавилова-Черенкова в однородной среде и в кристалле. За один год В.Л. Гинзбург написал 7–8 статей, на основе которых защитил кандидатскую диссертацию, а, главное, он

понял, что может работать. С 1940 года В.Л. Гинзбург — сотрудник теоретического отдела ФИАна, которым И.Е. Тамм заведовал с 1934 года. После смерти И.Е. Тамма с 1971 по 1988 год Отделом теоретической физики им. И.Е. Тамма заведовал В.Л. Гинзбург. Научное знакомство В.Л. Гинзбурга с Л.Д. Ландау произошло в 1939–1940 годах на одном из совместных семинаров теоретиков ФИАна и ИФП. И.Е. Тамм начал рассказывать о квантовой теории излучения Вавилова-Черенкова, развитой В.Л. Гинзбургом, на что Ландау сказал, "что это не интересно, ибо эффект является классическим и ни к чему рассматривать его квантово-[6]. Ландау оказался совершенно равнодушен к этому кругу вопросов, которым В.Л. Гинзбург любит заниматься уже более 60 лет. А спасший Ландау П.Л. Капица, в письме Э. Резерфорду от 26 февраля — 2 марта 1936 года дал работам С.И. Вавилова следующую язвительную и несправедливую оценку [26]: "Наконец мы подходим к физику Вавилову. Он молод, ему всего 45 лет. Сомневаюсь, что его имя Вам известно, работы его относятся к флуоресценции жидкостей. Знаете, такого сорта есть работы, когда вы пропускаете пучок света через сосуд, наполненный жидкостью, и наблюдаете свет по перпендикулярному направлению. Стоит один раз сделать аппаратуру, и вы можете играть всю жизнь, меняя жидкости, число которых огромно, можете также менять спектры первичного пучка. Комбинаций, таким образом, будет столько, что научный сотрудник всю свою жизнь будет при деле, испытывая при этом чувство удовлетворения от сознания того, что он занят научной работой...".

Докторская диссертация В.Л. Гинзбурга тоже отражала круг интересов И.Е. Тамма (теория частиц с высшими спинами), и только в 1943 году, в эвакуации в Казани, в голодное и холодное время, интересы В.Л. Гинзбурга обращаются к теории сверхпроводимости и сверхтекучести. К 1950 году, когда вышла знаменитая статья Гинзбурга и Ландау [27], В.Л. Гинзбург был уже автором нескольких статей в этой области и написанной в 1944, но вышедшей в 1946, году книги "Сверхпроводимость-[28]. В конце 1949 года В.Л. Гинзбург пришел к Л.Д. Ландау, автору теории фазовых переходов (1937) и сверхтекучести (1941), с которым он был в хороших отношениях, посещал его семинары и часто советовался по различным вопросам. В.Л. Гинзбург пришел к Ландау с идеей обобщить теорию фазовых переходов на теорию сверхпроводимости. Идея заключалась в том, чтобы ввести комплексный параметр порядка $\Psi(x)$, представляющий собой "эффективную волновую функцию сверхпроводящих электронов" и подчиняющийся некоторым нелинейным дифференциальным уравнениям в частных производных. Ландау идею одобрил. Уравнения, напи-

санные Гинзбургом и Ландау, имеют вид:

$$\frac{1}{2m^*} \left(-i\hbar\nabla - \frac{e^*}{c} \mathbf{A} \right)^2 \Psi + \alpha\Psi + \beta|\Psi|^2\Psi = 0,$$

$$\Delta\mathbf{A} = -\frac{4\pi}{c} \mathbf{j}_s,$$

$$\mathbf{j}_s = -\frac{ie^*\hbar}{2m^*} (\Psi^*\nabla\Psi - \Psi\nabla\Psi^*) - \frac{(e^*)^2}{mc} |\Psi|^2 \mathbf{A}.$$

В уравнениях Гинзбурга-Ландау \mathbf{A} – векторный потенциал, \mathbf{j}_s – плотность тока сверхпроводящих электронов, α, β, m^* и e^* – некоторые константы. $\Psi(x)$ нормируется так $|\Psi(x)|^2 = n_s(x)$, где $n_s(x)$ – плотность сверхпроводящих электронов. Гинзбург и Ландау написали в статье, что e^* – "заряд, который нет оснований считать отличным от заряда электрона". На этом настоял Ландау, который считал, что теория должна быть калибровочно-инвариантной, и поэтому заряд должен равняться универсальной постоянной. Но впоследствии оказалось, что величина e^* равна заряду куперовской пары, то есть $e^* = 2e$. Гинзбург и Ландау проанализировали как соответствующий опыту случай, когда величина

$$\kappa^2 = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{mc}{e^*\hbar} \right)^2 \beta < \frac{1}{2},$$

опыт показывал, что эта величина много меньше единицы. Случай $\kappa^2 > 1/2$, как не представляющий физического интереса, Гинзбург и Ландау не рассматривали. Теория Гинзбурга и Ландау хорошо описывала те свойства сверхпроводников, которые не могла описать теория Ф. Лондона и Х. Лондона, сформулированная ими в 1935 году.

В книге [24] Э.Л. Андроникашвили приводит портрет В.Л. Гинзбурга тех лет:

"Еду в метро. Вдруг — Гинзбург.
— Здравствуйте, Элевтер Луарсабович!
— Здравствуйте, Виталий Лазаревич! — я произношу эти слова обычного приветствия с особой сердечностью. Мне очень импонирует Гинзбург. Он талантлив, разносторонен, эмоционален до крайности. Мне кажется, он не подвержен влияниям и очень самостоятелен в занимаемых им позициях. И внешне он тоже привлекателен: высокий, красивый, с открытым взглядом. Его интересует куча вещей. И во всех областях он работает очень продуктивно".

Следующий важнейший шаг был сделан А.А. Абрикосовым в работе [29], опубликованной в 1957 году. А.А. Абрикосов рассмотрел случай $\kappa^2 > 1/2$, оказавшийся очень важным и физически интересным случаем сверхпроводников II рода. Абрикосов реабилитировал теорию братьев Лондонов: выяснилось, что уравнения Лондонов

описывают предельный случай сверхпроводников II рода, когда $\kappa^2 \gg 1$ и плотность сверхпроводящих электронов $n_s(x) = |\Psi(x)|^2$ не зависит от координат. Несоответствие теории Лондонов с опытом объяснялось тем, что до начала 60-ых годов эксперименты проводились, в основном, со сверхпроводниками I рода. Согласно расчетам Абрикосова, магнитному полю выгодно проникать в массивный сверхпроводник II рода в виде тонких нитей с квантованным магнитным потоком, нарушающих сверхпроводимость пронизываемых ими областей. Впервые сверхпроводники II рода наблюдали в харьковском УФТИ в 1936 году Л.В. Шубников, В.И. Хоткевич, Ю.Д. Шепелев и Ю.Н. Рябинин [30]. В этих экспериментах было обнаружено существование сверхпроводников, выталкивающих внешнее магнитное поле, если оно меньше некоторого критического значения H_1 , позволяющих магнитному потоку проникать внутрь сверхпроводника без нарушения сверхпроводимости, если $H_1 < H < H_2$, и теряющих свойство сверхпроводимости, если H достигает критического значения H_2 .

25 июля 1937 года один из крупнейших физиков, работавших то в время в области физики низких температур, Лев Васильевич Шубников был расстрелян, как шпион и диверсант. (О трагических судьбах Л.В. Шубникова и других ученых харьковского УФТИ см. книгу [31].)

В 1959 году Л.П. Горьков [32] получил значения коэффициентов α и β из микроскопической теории Бардина-Купера-Шиффера. (Дж. Бардин, Л. Купер, Дж. Р. Шриффер, Нобелевская премия по физике, 1972.) Функция $\Psi(x)$ оказалась связанной с волновой функцией куперовских пар. Величина $e^* = 2e$ оказалась равной заряду куперовской пары. Теория Гинзбурга-Ландау, развитая Абрикосовым и Горьковым, более 40 лет широко известна как теория Гинзбурга-Ландау-Абрикосова-Горькова (теория ГЛАГ).

А.А. Абрикосов подробно проанализировал структуру вихревых нитей ("вихрей Абрикосова"), пронизывающих сверхпроводник. На опыте чаще всего наблюдаются вихри, образующие треугольную решетку (см. рис. 2, взятый из нобелевской лекции А.А. Абрикосова)

Работа А.А. Абрикосова была сделана им в 1953 году, но опубликована только в 1957 году. Вот что рассказывал об этом Дж. Бардин в 1973 году [33]: "На каждой международной конференции по физике низких температур присуждается награда имени Ф. Лондона выдающемуся физика в этой области. В прошлом году был награжден А.А. Абрикосов, бывший ученик Ландау, который построил теорию сверхпроводников II рода и опубликовал ее в 1957 году... Хотя Абрикосов не смог приехать, чтобы лично получить награду, он прислал текст своего выступления. Прочитанное от его имени, это

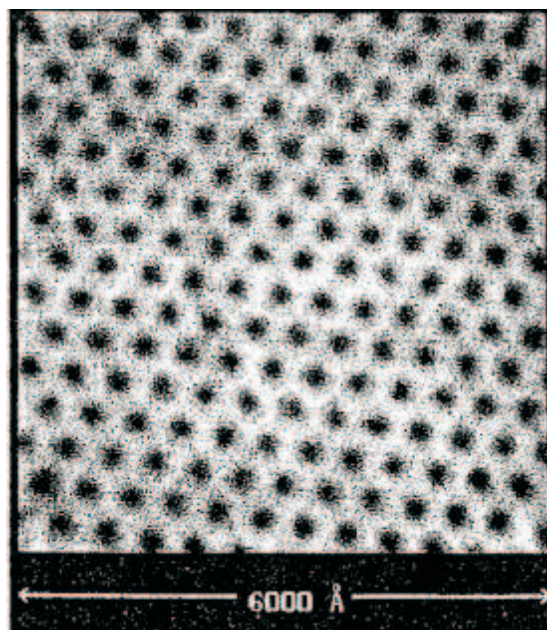


Рис. 2. Вихри Абрикосова в NbSe_2 .

выступление было одним из самых интересных на конференции. Абрикосов рассказал, что построил свою теорию еще в 1953 году, но его работа была настолько абстрактной и математической, что Ландау не понял физики, которая в ней скрывалась. Абрикосов спрятал свою работу в ящик стола и не опубликовал ее. Работа лежала до тех пор, пока через несколько лет Фейнман не заговорил о существовании квантованных вихрей в жидком гелии. Ландау сумел увидеть аналогию и позволил Абрикосову опубликовать его теорию".

А вот что рассказывает А.А. Абрикосов [22], вспоминая о другом, более удачном случае "пробивания статьи" через Ландау: "Когда мы с Горьковым придумали "крестовую технику" для сплавов, то я от души надеялся, что Горьков вынесет ее на суд Великого учителя. Объяснялось это тем, что, как Дау неоднократно говорил, он "боится" Горькова... Но увы, Горьков куда-то убыл и мне пришлось "пробивать работу" через Дау самому. Это был месяц с одинаковой ежедневной программой. Утром приходил Дау. Я начинал рассказывать. Он быстро возбуждался и в конце концов с криком: "Если Вы и дальше будете нести такую чушь, то я с Вами о науке никогда разговаривать не буду!" — удалялся, хлопнув дверью. Целый день после этого его не было. Наутро как ни в чем не бывало он заходил и спрашивал: "Так на чем мы остановились?" Дальше все шло так же, как и накануне. Общий итог всех этих бесед был таким: "Конечно, можно и проще, только мне пока не приходит в голову, а потому так и быть, печатайте"... В то же время Дау считал, что писать статьи — это искусство, которому надо учить. И он это де-

лал, не жалея времени. Помню, что мою первую маленькую заметку для "Писем в ЖЭТФ" он заворачивал шесть раз, а в конце сказал: "Все равно плохо, но мне надоело".

5. О "Солнечном веществе" и о М.П. Бронштейне

...люди, подобные М.П. Бронштейну, рождаются, чтобы украсить род человеческий и осветить какую-то часть мироздания.

Г.Е. Горелик, В.Я. Френкель [34].

Когда замечательный ленинградский физик-теоретик Матвей Петрович Бронштейн (1906–1938) заканчивал писать свою первую детскую книгу "Солнечное вещество", ему и в голову не могло прийти, что дни его жизни уже сочтены, что не пройдет и двух лет, как он сам и его друг Л.Д. Ландау станут "врагами народа". Книга М.П. Бронштейна "Солнечное вещество" выйдет из печати в 1936 году, 18 февраля 1938 года М.П. Бронштейн будет расстрелян, а в 1957 году реабилитирован, Л.Д. Ландау будет реабилитирован только в 1990 году. В 1959 году вдове М.П. Бронштейна Лидии Корнеевне Чуковской удастся переиздать "Солнечное вещество", а Л.Д. Ландау в предисловии к новому изданию напишет: "Эта книга написана с такой простотой и увлекательностью, что читать ее, пожалуй, равно интересно любому читателю — от школьника до физика-профессионала. Раз начав, трудно остановиться и не дочитать до конца". К сожалению, М.П. Бронштейну так и не суждено было узнать, какие еще удивительные свойства будут обнаружены у "солнечного вещества"⁷ — гелия. В книге М.П. Бронштейна рассказывается о том, как 26 октября 1868 года в Парижской академии наук были зачитаны два письма, пришедшие в один день, одно — от французского астронома Жюль Жансена (отправленное из Индии 19 августа) и второе от английского астронома Нормана Локьера (отправленное из Англии 20 октября). В обоих письмах речь шла об одном и том же — открытии в спектрах излучения солнечных протуберанцев новых линий, свидетельствующих об открытии нового, неизвестного на Земле вещества, названного Локьером именем самого Солнца — "гелием". Французы не стали заниматься проблемами приоритета и выбили в честь открытия золотую медаль

⁷ Недавно издательство "ТЕРРА-Книжный клуб" переиздало книгу "Солнечное вещество" и две другие детские книги М.П. Бронштейна [35]. При этом ни слова не сказано ни о М.П. Бронштейне, ни о его трагической судьбе, ни о дальнейшем развитии представлений о гелии. Неужели издатели хотели скрыть, что книга написана не в 2002 году, а более 60 лет тому назад?

с изображениями обоих астрономов — Жансена и Локьера.

Через 25 лет английский физик Джон Уильям Рэлей обнаружил, что один литр азота, полученного из аммиака, весит 1.2507 грамма, а один литр азота, полученного из воздуха, весит 1.2565 грамма, на целых 5.8 миллиграммов больше! Приятель Рэлея, английский химик Уильям Рамзай предположил, что в воздухе находится какой-то неизвестный газ, более тяжелый, чем азот, который примешивается к азоту. Рэлею и Рамзаю удалось выделить этот газ, который они назвали "аргоном". Тем временем геологи установили, что минерал клеветит выделяет какой-то неизвестный негорючий газ, похожий на аргон. Рамзай раздобыл клеветит, извлек из него несколько кубических сантиметров газа и стал изучать его спектр. Это был не аргон. Спектр был похож на спектр гелия. Рамзай послал трубочку с новым газом, который он назвал "криптоном", лондонскому физику Уильяму Круксу, лучшему спектроскописту того времени. Вскоре Рамзай получил телеграмму: "Криптон — это гелий. Приезжайте — увидите. Крукс". Так гелий был открыт на Земле. В 1898 году Рамзай установил, что гелий, наряду с аргоном, есть и в воздухе, а в дальнейшем выяснилось, что гелий содержится также и в различных целебных минеральных источниках. Прошло еще несколько лет, и физик Эрнст Резерфорд и химик Фредерик Содди, работавшие тогда в Монреале, в Канаде, выяснили, что гелий в земных условиях выделяется как продукт распада радиоактивных элементов: урана, тория, радия, радона и других. В 1899 году Э. Резерфорд назвал наименее проникающую компоненту радиоактивного излучения альфа-частицами. В 1903 году Резерфорд и Содди решились предположить, что альфа-частицы, вылетающие из радиоактивных ядер, — это частицы, точнее, ионы гелия (еще точнее, ядра гелия, но представление об атомных ядрах будет введено Резерфордом только в 1911 году). Рэлей, Рамзай, Резерфорд, Содди — лауреаты Нобелевской премии. Рэлей — по физике, 1904 год, Рамзай, Резерфорд, Содди — по химии, 1904, 1908, 1921 годы соответственно.

Об истории открытия гелия, очень бегло нами затронутой, подробно и увлекательно рассказывается в книге "Солнечное вещество".

У Л.Д. Ландау, кроме М.П. Бронштейна было еще два друга, которые внесли важный вклад в понимание свойств гелия, точнее, в понимание свойств ядер гелия. Так, в 1928 году друг Ландау Георгий Антонович Гамов (1904–1968) разработал теорию альфа-распада радиоактивных ядер как явления квантово-механического туннелирования (независимо от Р.В. Гёрни и Э. Кондона), прославив молодую советскую науку. В 1932 году Г.А. Гамов был избран членом-корреспондентом АН СССР, в 1933 году сбежал из Советского Сою-

за и стал "невозвращенцем", то есть лицом, "перебежавшим в лагерь врагов рабочего класса и крестьянства и отказывающимся вернуться в СССР". Это преступление приравнялось к государственной измене и каралось расстрелом. Из списков членов-корреспондентов АН СССР Гамов был исключен в 1938 году, восстановлен в 1990.

С другим своим другом Дмитрием Дмитриевичем Иваненко (1904–1994) Ландау окончательно и бесповоротно поссорился еще в 1928 году. В 1929–1931 годах Д.Д. Иваненко заведовал теоретическим отделом харьковского УФТИ. После Иваненко, с 1932 года по конец 1936 года теоретическим отделом харьковского УФТИ заведовал Л.Д. Ландау. В 1935 году Д.Д. Иваненко был арестован, но благодаря заступничеству Я.И. Френкеля, А.Ф. Иоффе, С.И. Вавилова и других ученых, уцелел и был сослан в Томск. Из четырех друзей, "Дау", "Джонни", "Димуса" и "Аббата" (Ландау, Гамова, Иваненко и Бронштейна) не был затронут сталинскими репрессиями только вовремя сбежавший "Джонни", ставший Джорджем Гамовым.

В феврале 1932 года Джеймс Чадвик (1891–1974) открыл нейтрон (Нобелевская премия по физике, 1935). В мае 1932 года Д.Д. Иваненко предложил считать атомные ядра состоящими из протонов и нейтронов. В июне 1932 года Вернер Гейзенберг, в статье "О строении атомных ядер", развивая протонно-нейтронную модель строения атомных ядер, как на предшественника, сослался на Иваненко. В наше время мысль о том, что атомные ядра состоят из протонов и нейтронов, представляется совершенно тривиальной. Свидетельством того, что в 1932 году эта мысль не была тривиальной, является книга Г.А. Гамова по теории атомного ядра, вышедшая в 1932 году [36]. В этой книге Гамов подробно обсуждает противоречивость протон-электронной модели строения ядер, в частности трудности, связанные с "азотной катастрофой": считая, что ядро ^{14}N состоит из 14 протонов и 7 электронов, получим в итоге, что спин ядра азота — полуцелый, опыт же говорил о том, что спин ядра азота — целый. (Аналогичным образом, мы должны были бы считать, что ядро гелия-3 состоит из 3 протонов и 1 электрона, то есть, что спин у этого ядра — целый, в то время, как спин гелия-3 — полуцелый, а это и является причиной разительных отличий свойств гелия-3 и гелия-4.) Книга Гамова, бесспорно, одного из крупнейших физиков XX века, заканчивается разделом "Нейтроны". Гамову и в голову не приходит, что нейтроны могут входить в состав ядер. Гамов заканчивает книгу словами: "Большой интерес представляет собой также понимание строения самого нейтрона, представляющего собой, очевидно, самое простое составное ядро из одного протона и одного электрона".

6. О П.Л. Капице и об открытии сверхтекучести

Товарищ Сталин,
С наукой у нас неблагополучно. Все обычные заверения, которые делаются публично, что у нас в Союзе науке лучше, чем где бы то ни было, - неправда. Эти заверения не только плохи, как всякая ложь. Но еще хуже тем, что мешают наладить научную жизнь у нас в стране.

Из письма П.Л. Капицы И.В. Сталину от 10 июля 1937 г. [26].

Потерявший зимой 1919/1920 г. во время эпидемии гриппа ("испанки") отца, сына, жену и новорожденную дочь, Петр Леонидович Капица (1894–1984) был безутешен. Желая помочь ему, А.Ф. Иоффе рекомендовал П.Л. Капицу в состав группы ученых, командированных за границу. Благодаря помощи А.М. Горького, П.Л. Капица получил разрешение правительства поехать в Англию. В июле 1921 года, сопровождая А.Ф. Иоффе, П.Л. Капица приезжает в Кембридж и начинает работать стажером в знаменитой Кавендишской лаборатории у Э. Резерфорда (1871–1937). Успехи П.Л. Капицы в науке произвели такое впечатление на англичан, что в 1929 году он избирается действительным членом Лондонского королевского общества⁸, а в 1930 назначается директором Мондовской лаборатории, которую Совет Лондонского Королевского общества решает построить специально для П.Л. Капицы. В феврале 1933 года состоялось торжественное открытие Мондовской лаборатории. В сентябре 1934 года П.Л. Капица уехал в СССР для чтения лекций и консультаций в Ленинграде, Москве и в Харькове. Но назад его уже не пустили. 20 сентября 1934 года занимавшиеся вопросом о задержании П.Л. Капицы В.В. Куйбышев и Л.М. Каганович по секретной связи запрашивают у Сталина, отдохавшего в Сочи, его мнение по этому поводу. Сталин разрешает задержать Капицу и пишет [37]: *"Кагановичу, Куйбышеву... Капицу можно не арестовывать формально, но нужно обязательно задержать его в СССР и не выпускать в Англию на основании известного закона о невозвращенцах. Это будет нечто вроде домашнего ареста. Потом увидим. Сталин"*. П.Л. Капица был в шоке. Лишенный возможности работать в области физики, он уже собирался заниматься физиологией у И.П. Павлова. 4 ноября 1934 года В.И. Межлаук жаловался Сталину [37]:

⁸В этом же году П.Л. Капица избирается членом-корреспондентом АН СССР и назначается консультантом УФТИ в Харькове. В 1930 году П.Л. Капица приезжал в Харьков и в течение двух недель давал консультации и читал лекции в недавно образованном УФТИ.

"Правительство может заставить Капицу остаться в СССР, но не может заставить его заниматься тем делом, которое он делал для англичан. Поэтому он, Капица, займется теперь сугубо творческим вопросом "механизма мышечной работы" у проф. Павлова, который любезно соглашается дать ему возможность работать в его лаборатории. Капица хочет, по моему мнению:

1. просаботировать решение правительства, оставившего его для работы по физике, а не биологии,
2. самое главное, сохранить верность англичанам, щедро ему платавшим, и лучше забросить работы, которые он вел в Англии, чем делать их у нас и для нас".

Дело кончилось тем, что 21 декабря 1934 года Политбюро рассмотрело специальный вопрос "О Капице". Политбюро постановило организовать в составе Академии Наук Институт физических проблем. Его директором назначался профессор Капица. Сталин дал санкцию начать переговоры с Кембриджским университетом о покупке Мондовской лаборатории для Капицы. Здание Института физических проблем начали строить уже в мае 1935 года, в декабре того же года оно уже было принято Правительственной комиссией, и тогда же в Советский Союз начали прибывать первые ящики с оборудованием Мондовской лаборатории.

П.Л. Капица постепенно начинал приходить в себя, хотя и был еще сильно раздражен. В январе 1936 года в Москву приезжает Анна Алексеевна Капица с сыновьями. 26 февраля — 2 марта 1936 года П.Л. Капица пишет Э. Резерфорду [26]: *"Я чувствую себя здесь очень несчастным, не таким несчастным, как в прошлом году, но и не таким счастливым, как в Кембридже"*. Капица жалуется Резерфорду: *"Видите ли, мой институт прикреплен к Академии наук, и, хотя я не являюсь членом Академии⁹, они мной руководят... но что за Президиум в этом удивительном учреждении! Президиуму Карпинскому 90 лет!... Во время заседаний Президиума он спит с доброй и счастливой улыбкой на своем довольно приятном лице, и видятся ему во сне, наверное, дни его молодости. Это добрый, безобидный человек и прекрасный президент, который никому не мешает. Оба вице-президента люди для нашей Академии молодые, поскольку им всего 65 лет. Первый, Комаров, ботаник¹⁰. Он знает, что такое растение, и может отличить маргаритку от мака, и знает, наверное, больше названий растений, чем кто-либо еще в России, за что и попал в Академию..."* Дальше лучше не продолжать. Хорошо, что академики не могли прочитать это письмо!

⁹Действительным членом АН СССР П.Л. Капицу избрали в январе 1939 года.

¹⁰В этом же, 1936 году, В.Л. Комаров станет президентом АН СССР.

Жидкий гелий появился в институте Капицы только в феврале 1937 года, после чего П.Л. Капица возобновляет свои работы, задуманные в Кембридже еще в 1934 году.

Озабоченный состоянием науки в СССР, 10 июля 1937 года Капица пишет большое письмо Сталину¹¹, где предлагает меры по развитию и укреплению науки в стране. Сейчас в странах бывшего Советского Союза обсуждаемые Капицей вопросы не менее актуальны, чем в то далекое время.

К концу 1937 года П.Л. Капица сделал замечательное наблюдение — он открыл сверхтекучесть жидкого гелия-II¹². Через 40 лет, в 1978 году П.Л. Капица получил Нобелевскую премию за это открытие. 10 декабря 1937 года П.Л. Капица писал о своем открытии Нильсу Бору: "Все это время я был занят работой по вязкости гелия вблизи λ -точки... Эксперименты разворачиваются, но предварительные результаты весьма интересны. Оказывается, ниже λ -точки вязкость гелия действительно падает более чем в 1000 раз... Я проделал эксперименты около 20 раз, изменяя условия и пытаюсь обнаружить возможные ошибки, но не смог найти ни одной".

8 января 1938 года статья П.Л. Капицы об открытии сверхтекучести гелия II была опубликована на 74-ой странице 141-го тома журнала Nature. А на 75-ой странице этого же журнала была опубликована статья Дж.Ф. Аллена и А.Д. Мизенера, которые тоже открыли сверхтекучесть гелия II в Мондовской лаборатории. Статья Капицы поступила в редакцию Nature 3 декабря 1937 года, статья Аллена и Мизенера — 22 декабря. Канадский физик Дж.Ф. Аллен и его аспирант А.Д. Мизенер приехали в 1935 году в Мондовскую лабораторию специально для того, чтобы работать с П.Л. Капицей. Им и в голову не могло придти, что П.Л. Капицу не выпустят из Советского Союза.

В марте 1943 года П.Л. Капице была присуждена Сталинская премия 1-ой степени за открытие и исследования сверхтекучести жидкого гелия [3].

¹¹Всего П.Л. Капица написал Сталину около 50 писем.

¹²Гелий-4 был впервые получен в жидком виде при температуре 4,2 К и нормальном давлении в 1908 году Х. Камерлинг-Оннесом, за что он получил Нобелевскую премию в 1913 году. Фазовый переход II рода в жидком гелии-4 при температуре 2.17 К при давлении насыщенного пара был обнаружен В.Х. Кеезомом и М. Вольфке в 1928 году. Когда гелий охлаждается, то при этой температуре кипение прекращается и жидкость становится совершенно спокойной. Говорят, что происходит переход из состояния гелий I в состояние гелий II. Форма кривой теплоемкости как функции температуры напоминает букву λ , в связи с чем точку перехода при температуре 2.17 К называют λ -точкой.

7. И.Я. Померанчук и термодинамика гелия-3

Хотя историю в отличие от физики нельзя переиграть, но я убежден, что открытие Померанчуком синхротронного излучения, а также предложенный им метод получения подкельвиновых температур методом адиабатического сжатия ³He (1950 г.) (называемый теперь "охлаждение по методу Померанчука") должны были быть увенчаны Нобелевской премией, любое из них, по выбору.

И.И. Гуревич [38].

Трагическая автокатастрофа, случившаяся с Л.Д. Ландау в 1962 году, помешала Ландау узнать, насколько важной для физики гелия-3 окажется работа его любимого ученика и друга Исаака Яковлевича Померанчука (1913–1966).

Первые двадцать два года жизни замечательно-го физики-теоретика И.Я. Померанчука мало чем отличались от жизни его сверстников: Рубежанская школа-семилетка, фабрично-заводское училище, рабочий Рубежанского химического завода, студент Ивановского химико-технологического института, студент Ленинградского политехнического института. И вдруг резкий поворот в судьбе! В 1935 году И.Я. (Юзик) Померанчук, "кудлатый, нечесаный, голодный мальчик с умными блестящими глазами", явился в Ленинградский институт химической физики, на практику к 29-летнему А.И. Шальникову, который отвел Померанчука в комнату, забитую старым хламом, и "попытался объяснить мальчику, что ему среди всего этого хлама делать". "Спустя две-три недели, — рассказывал А. И. Шальников 50 лет спустя [38], — встретив Юзика в коридоре, я привел его к рабочему месту и обнаружил, что все, что только могло бы быть разрушено и уничтожено, уже разрушено и уничтожено. Я задал Юзику только один вопрос: "Юзик, а не теоретик ли Вы?" Он мне ответил: "Я, собственно, не знаю, а что?" Раздобыв денег на дорогу и кое-какой еды с помощью моей жены (было голодно), я отправил Юзика в Харьков, к Ландау".

Итак, в 1935 году И. Я. Померанчук оказался в Харькове у Ландау. Померанчук сдал теоретический минимум Ландау за два месяца (это был рекордно короткий срок), сделал дипломную работу, защитил ее в Ленинграде и вернулся к Ландау как аспирант. В 1937 году Померанчук закончил аспирантуру в УФТИ и уехал за Ландау в Москву, где стал работать ассистентом в Московском институте легкой промышленности. Затем какое-то время Померанчук работал в Ленинградском физико-техническом институте, потом опять вернулся в Москву, где продолжал общение с Ландау. В 1943

году Померанчук был привлечен к работам по атомной проблеме, в 1953 году был избран членом-корреспондентом АН СССР, в 1964 году был избран действительным членом академии. Дружба Померанчука и Ландау (Ландау называл Померанчука "Чуком"), омрачилась только один раз "отступничеством" Померанчука. А.И. Ахиезер, который был близким другом Померанчука, рассказывал, как Ландау однажды "отлучил" Померанчука от своего семинара. Вина Померанчука заключалась в том, что он опубликовал совместную статью с Иваненко. Это было большое преступление. Достаточно было кому-нибудь упомянуть Иваненко не в отрицательном смысле, как Ландау порывал всякие отношения с этим человеком. (В работе И. Я. Померанчука 1944 года с Д.Д. Иваненко был рассмотрен важный вопрос об ограничениях, накладываемых на энергию частицы, разгоняемой в бетатроне, за счет потерь энергии на синхротронное излучение, открытое Померанчуком в 1940 году.) И Померанчук, и Ландау, оба тяжело переживали разрыв. После каждого семинара А.И. Ахиезер подробно рассказывал Померанчуку о том, что было на семинаре, а Ландау регулярно спрашивал: "Ну что, Чук раскаялся?" А.И. Ахиезер во всех красках расписывал, как "раскаялся Чук", и вскоре Ландау простил Чука.

Основная область интересов И.Я. Померанчука — это квантовая теория поля и физика элементарных частиц. Однако в 1950 году И.Я. Померанчук сделал важнейшую работу, касающуюся свойств жидкого гелия-3 при очень низких температурах [39]. Жидкий гелий-3 тогда еще не был получен, так как физики могли иметь дело только с ничтожнейшими количествами гелия-3. Однако со временем у военных накопилось много трития, производимого для начинки ядерных боеголовок, а поскольку при β -распаде трития (с периодом полураспада 12 лет) образуется гелий-3, то в результате возникли и обильные запасы гелия-3. Благодаря открытию И. Я. Померанчука, в 1972 году удалось получить гелий-3 в сверхтекучем состоянии (Д.М. Ли, Д.Д. Ошеров, Р.К. Ричардсон, Нобелевская премия по физике, 1996). Нобелевская лекция Р.К. Ричардсона даже так и называлась "Эффект Померанчука-[40]. Вот рисунок из этой нобелевской лекции: В статье И.Я. Померанчука была предсказана возможность понижения температуры гелия-3 при его адиабатической кристаллизации. И.Я. Померанчук основывался на том, что у ядер гелия-3 есть спин $1/2$, и поэтому в твердом состоянии энтропия гелия-3 совпадает с энтропией слабовзаимодействующей системы атомных ядер со спином $1/2$. Если температура достаточно мала, а с другой стороны, превышает температуру магнитного упорядочивания спинов, которую в то время полагали меньше 1 мК, то молярная энтропия гелия-3 должна не зависеть от температуры и равняться

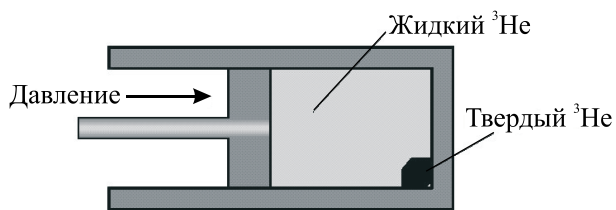


Рис. 3. Ячейка Померанчука.

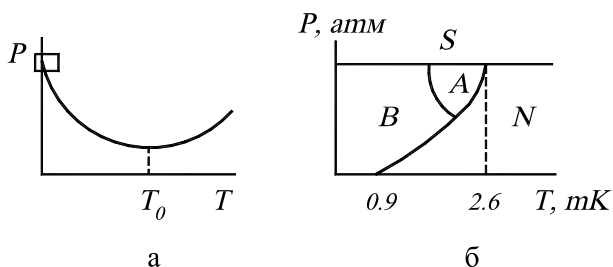


Рис. 4. Фазовые диаграммы гелия-3.

$S = R \ln 2$. С другой стороны, жидкий гелий-3 подчиняется статистике Ферми и его энтропия должна быть пропорциональна температуре, как у свободных электронов в хорошем металле. Это означает, что при температуре, меньшей некоторой критической температуры T_0 , энтропия твердой кристаллической фазы больше, чем энтропия жидкой фазы. При кристаллизации тепло должно поглощаться, а не выделяться, как обычно, то есть, температура плавления у гелия-3 отрицательна. Если смесь жидкой и твердой фазы, изображенная на рис. 3, сжимается без подвода тепла, она охлаждается по мере того, как жидкость превращается в твердое тело. В 1965 году Ю.Д. Ануфриев с помощью эффекта Померанчука достиг температур ниже 15 мК. Но оказалось, что самые интересные события разыгрываются при температурах ниже 2.6 мК (см. рис. 4а и 4б). На рис. 4а изображена фазовая диаграмма, полученная И.Я. Померанчуком. Согласно эксперименту, $T_0 = 0.32$ К. На рис. 4б изображена в увеличенном виде область, обведенная прямоугольником на рис. 4а. S — твердая фаза, N — нормальная жидкая фаза, A и B — две сверхтекучие фазы гелия-3.

И.Я. Померанчука любили все, и старые и молодые. Он так увлекался работой, что многие отмечали его полное безразличие к своему внешнему виду и то, что он не злоупотреблял бритьем. Он прожил всего лишь 53 года, как раз столько, сколько пришлось ждать Нобелевской премии В.Л. Гинзбургу. Статья Померанчука, о которой шла речь, и нобелевская статья Гинзбурга и Ландау опубликованы в одном и том же 20-ом томе ЖЭТФ'а, почти рядом. А.А. Абрикосов в своих теплых воспоминаниях об И.Я. Померанчуке [38] рассказывает

о том, как получилось, что И.Я. Померанчук достиг такого глубокого понимания термодинамики и какие почти неразрешимые проблемы возникли, когда И.Я. Померанчук защищал свою кандидатскую диссертацию. "... расскажу о работе Чука в обувном институте... Чук преподавал там физику, и в один прекрасный день ему надо было рассказывать про термодинамику. По тогдашней программе все выводилось не из статистической физики, а "по Каратеодори", т. е. весьма формально и непонятно. Чук бодро начал вывод, но в середине перестал сам понимать, что к чему. Он распустил студентов и сказал, что выведет все в следующий раз. Но на следующей лекции, дойдя до того же места, он опять застрял. На третью лекцию пришел один студент, но результат был тот же. После этого Чука вызвали в деканат.

А другой случай в том же институте был вот какой. Чук должен был защищать диссертацию. Одним из оппонентов был Капица. Диссертация была посвящена теплопроводности диэлектриков. Но перед защитой члены Ученого совета взбунтовались. Они говорили, что тема диссертации не имеет отношения к изготовлению обуви и они в ней не разбираются. Тогда встал заведующий кафедрой марксизма-ленинизма и сказал, что диссертация посвящена материалистической теории мироздания и в этих вопросах должны разбираться все. Обувщики были посрамлены. Диссертация прошла единогласно".

8. Э.Дж. Леггетт и сверхтекучий гелий-3

Фундаментальное предположение, лежащее в основе современной теории сверхтекучести в простой Бозе системе, такой, как жидкий гелий-4, заключается в том, что сверхтекучая фаза представляет собой нечто, что может быть названо "обобщенным Бозе-эйнштейновским конденсатом".

Э.Дж. Леггетт [41].

Далее Леггетт продолжает: "Под этим я имею в виду следующее: мы предполагаем, что в каждый заданный момент времени t возможно задать полную ортонормированную систему базисных одночастичных состояний (которая может зависеть от времени), такую, что *одно и только одно* из этих состояний занято определенной долей всех частиц, в то время как число частиц в любом другом одночастичном состоянии порядка 1 или меньше... Соответствующая одночастичная волновая функция $\chi_0(r, t)$ называется "волновой функцией конденсата", а N_0 частиц, занимающих выделенное состояние — "конденсатом". Необязательно число N_0

должно равняться общему числу частиц N в системе, даже при нулевой температуре, и, действительно, представляется вполне определенным, что в реальном гелии-4 при $T = 0$ доля конденсата N_0/N составляет только около 10 %".

Сформулированное Леггеттом представление о том, что сверхтекучесть и сверхпроводимость связаны с Бозе-эйнштейновской конденсацией атомов гелия-4, пар атомов гелия-3 или куперовских пар в сверхпроводнике не сразу стало общепринятым. Впервые такое представление было высказано Ф. Лондоном в 1938 году. "Великий вклад Фрица Лондона состоял в замечании, что сверхтекучесть можно рассматривать как макроскопическое квантовое явление, связанное с БЭ конденсацией— сказал в своей нобелевской лекции Д.М. Ли [43].

Даже развитие теории сверхтекучести гелия II, объекта, несравненно более простого, чем сверхтекучий гелий-3, сопровождалось болезненными столкновениями различных точек зрения. Это может служить свидетельством того, насколько сложна теория сверхтекучести в случае гелия-3. Среди многих серьезных работ по сверхтекучему гелию-3 работы Э. Дж. Леггетта выделяются особой глубиной и полнотой. А среди работ Леггетта выделяется итоговая работа 1975 года [42]. Леггетт — это, как бы, целый ГЛАГ для сверхтекучего гелия-3. К сожалению, мало что известно о самом Леггетте, как о человеке. На его домашней странице в интернете, содержащей сухой перечень званий, должностей и статей, после присуждения нобелевской премии появилась только одна новая ссылка — на нобелевский архив, где о самом Леггетте практически ничего не сказано, но есть ссылка — на домашнюю страницу Леггетта. Известно, что Энтони Джон Леггетт — гражданин Великобритании и США, что он родился в Лондоне в 1938 году, что прежде, чем стать физиком, он учился на философа, что докторскую степень он получил в Оксфорде, что в университете Иллинойса (США) работает с 1983 года. Научные интересы Леггетта не ограничиваются сверхпроводимостью и сверхтекучестью. Его давняя привязанность — основания квантовой физики. Леггетт — известный специалист по "шредингеровским котам и кошкам", а особенно по их "лабораторным сородичам". В этом качестве он давно знаком русскоязычному читателю [44]. В своей "кошкиане" Леггетт выступает, в какой-то степени, и как философ. Он подчеркивает, что осуществление в лабораторных условиях "шредингеровских котов", что стало удаваться в последние годы [45], или другими словами, демонстрация макроскопической квантовой когерентности бросает "серьезный вызов нашим наиболее непоколебимым воззрениям на структуру природы". (На русский язык были переведены также статьи Леггетта [47,48] в книге [46].)

Теория сверхтекучего гелия-3 намного сложнее

теории сверхтекучего гелия-4 по следующей очень простой арифметической причине. В случае гелия-4 параметр порядка, или волновая функция конденсата — комплексная скалярная функция, в случае же гелия-3 параметр порядка — это комплексная матрица 3×3 с 9 комплексными элементами. Это связано с тем, что атомы гелия-3 связываются в пары, обладающие спином 1 и орбитальным моментом 1, а волновые функции таких пар характеризуются матрицами 3×3 . Уравнения, обобщающие уравнения Гинзбурга-Ландау, оказываются очень сложными и громоздкими. Особенно сложным оказывается анализ этих уравнений для случая гелия-3 в магнитном поле. Важнейшие из возникающих задач были решены Леггеттом: исследованы свойства A и B фаз, объяснены особенности ядерного магнитного резонанса (ЯМР) в сверхтекучем гелии-3, изучены и другие удивительные свойства этой замечательной анизотропной жидкости.

Несколько слов о развитии представлений о сверхтекучести, открытой П.Л. Капицей и объясненной Л.Д. Ландау, получившим за свои результаты Нобелевские премии в 1978 и в 1962 годах.

В 1935 году в харьковский УФТИ приехал из фашистской Венгрии, где он не мог найти работу, венгерский коммунист Ласло Тисса. Эдвард Теллер был хорошо знаком с Ландау, и по его рекомендации Ландау взял Тиссу в свой немногочисленный теоретический отдел. Ласло Тисса был пятым в списке сдавших теоретический экзамен Ландау (четвертым был И.Я. Померанчук, третьим А.И. Ахиезер). В воспоминаниях о своей жизни в Харькове 95-летний Тисса вспоминает [49], как он и другие ученики и сотрудники Ландау восхищались и обожали Ландау, как он был очарован теорией фазовых переходов Ландау. Тисса был свидетелем разгрома харьковского УФТИ. Его коммунистические иллюзии рассеялись. (Согласно высказыванию, которое вспоминал в одном из своих интервью В.Л. Гинзбург: "У того, кто не коммунист в 20 лет, нет сердца, а у того, кто коммунист в 50 лет, нет мозгов".) В 1937 году Тисса вовремя сбежал из Харькова и оказался в Париже, где ему какое-то время удалось поработать с Ф. Лондоном. С 1941 года Тисса живет в США.

Тисса был первым, попытавшимся построить теорию сверхтекучести. Он основывался на идее Ф. Лондона о связи сверхтекучести и Бозе-конденсации, и в 1938 году в *Nature* появилась статья Тиссы, где была предложена двухжидкостная модель сверхтекучести. Сверхтекучую компоненту Тисса считал Бозе-конденсатом, за что был основательно раскритикован Ландау в его фундаментальной работе [50].

В 1946 году Н.Н. Боголюбов показал, что Бозе-газ с наличием сил отталкивания между атомами обладает сверхтекучестью. После доклада Боголю-

бова на эту тему "выступил Лев Давидович и разругал всю теорию, как не имеющую никакого отношения к делу-[24].

Э.Л. Андроникашвили рассказывает в своей книге [24], как ему со своим аспирантом И. П. Каверкиным удалось показать, что при вращении сосуда с гелием II сверхтекучая компонента тоже вовлекается во вращение. Статью об этом послали в ЖЭТФ. Через полгода пришел ответ из журнала. Статью, которая побывала в "авторитетных руках", отвергли на основании, что результат противоречит теории.

"Вскоре встретил Виталия Лазаревича Гинзбурга.

– Ну что ваш гелий продолжает вращаться со стаканом?

– Вращается.

– Черт знает как интересно. Мне начинает приходить в голову мысль, уж не исчезает ли при этих скоростях феномен сверхтекучести?

– Не исчезает.

– А вы откуда знаете?

– Измерял термомеханический эффект во вращающемся стакане. Он не изменяет своей величины, значит и ρ_n/ρ тоже неизменно.

– Черт знает, как интересно – повторил Гинзбург. А статью все не печатают-[24].

Статья [51] была напечатана только после того, как аналогичная статья была напечатана в английском журнале. Э.Л. Андроникашвили пишет [24]: "Несомненно, что моему рецензенту было известно отрицательное мнение Ландау об этой моей работе. Ведь Дау громогласно нападал на меня... Может быть, вы думаете, что я обижен на Дау за его глубоко несправедливые нападки на мои результаты? Ничуть...! Я вполне понимаю его. Свою теорию сверхтекучести он воспринимал эстетически, как нечто абсолютно завершенное. Нет! Как нечто совершенное! Попытки "пристроить" к явлению сверхтекучести что-то новое, что не могло быть объяснено в рамках его теории, воспринималось им как чудовищные извращения, от кого бы они ни исходили. Все, что не вменялось в его теорию, казалось ему уродливым".

Теория Ландау была важнейшим этапом в развитии теории сверхтекучести. Но она не учитывала возможности образования квантованных вихревых нитей, вокруг которых вращается сверхтекучая часть жидкости. При этом возникает такое результирующее движение жидкости, которое имитирует вращение сверхтекучей компоненты как целого. Теория сверхтекучести с учетом образования квантованных вихрей была развита Р. Фейнманом в 1955 году [52]. Теория Фейнмана вынудила Ландау смириться как с вихрями Абрикосова, так с экспе-

риментальными результатами Андроникашвили и Каверкина.

И в заключение, чтобы закончить эту статью на оптимистической ноте, еще один отрывок из воспоминаний А.А. Абрикосова 1988 года об И.Я. Померанчуке [38].

"Недавно в Чехословакии я встретил теоретика, специалиста в совсем другой области. Он поразила меня тем, что безвыходно сидел в своем отделе. Участвовал во всех без исключения работах, причем не в качестве фамилии в статье, а как главный исполнитель. Он знал страшно много и был готов говорить о науке без конца. По его словам, у него была жена и две дочери, но не было ни машины, ни телевизора. Когда я упомянул о нем в компании его коллег, то они сказали: "Это что! А знаете ли Вы, что он брился только для Вас? Обычно он делает это раз в две недели." Я тут же вспомнил Чука.

Значит, такие люди изредка появляются и в наши дни! И от этого на душе как-то теплее..."

Порадуемся же вместе с А.А. Абрикосовым тому, что такие люди появляются даже и в наши дни. Жаль только их жен и дочерей!

Поступила в редакцию 7 июля 2004 года

Список литературы

- [1] Press Release: The 2003 Nobel Prize in Physics – <http://www.nobel.se/physics/laureates/2003/press.html>
- [2] Каганов М.И. Школа Ландау: что я о ней думаю. – Троицк: Тривант. – 1998. – 360 с.
- [3] Петр Леонидович Капица. Воспоминания. Письма. Документы. – Москва: Наука. – 1994. – 544 с.
- [4] Вернский Л.И. В кабинете и вне его // В кн.: Воспоминания о И.Е. Тамме. – Москва: Наука. – 1986. – С. 64–107.
- [5] Капица. Тамм. Семенов. – Москва: Вагриус. – 1998. – 576 с.
- [6] Гинзбург В.Л. О науке, о себе и о других: Статьи и выступления. – Москва: Физматлит. – 2001. – 496 с.
- [7] Михаил Львович Левин: Жизнь, воспоминания, творчество. – Н. Новгород: ИПФ РАН. – 1995. – 592 с.
- [8] Фрид В. 581/2. Записки лагерного придурка. – Москва: Издательский Дом Русанова. – 1996. – 251 с.
- [9] Друскин Л. Спасенная книга. – Санкт-Петербург. – 2001. – 448 с.
- [10] Дружников Ю.И. Узник России. – Москва: Голос-Пресс. – 2003. – 656 с.
- [11] Пушкин А.С. Рецензия на "Путешествие В.Л.П."
- [12] Лесков С. Озарение под капельницей // Известия-Наука – <http://www.inauka.ru/science/article36445>
- [13] Шкловский И. Эшелон. – Москва: Новости. – 1991. – 224 с.
- [14] Время требует реформ. Дневник общего собрания РАН // Вестник РАН. – 2002. – Т 72, № 5. – С. 455–462.
- [15] Басалин О. Феномен двойственности // Поиск, 20 мая 2004 г.
- [16] Басалин О. И не спорт и не балет // Поиск, 15 февраля 2004 г.
- [17] Абдулов А.Н., Кулькин А.Н., Научное применение технологий и их роль в современной экономике // Вестник РФФИ. – 2002. – № 3 (29).
- [18] Арнольд В.И. Антинаучная революция в математике // Вестник РАН. – 1999. – Т 69, №6. – С. 553–558.
- [19] Интервью с Владимиром Арнольдом // В кн.: Владимир Игоревич Арнольд, Избранное-60. – Москва: ФАЗИС. – 1997. – С. 713–726.
- [20] Носов С. Нет науки российской или американской // Российская газета. – 11 октября 2003г.
- [21] "Москва". Энциклопедия. – Москва: Советская энциклопедия. – 1980. – 688 с.
- [22] Абрикосов А.А. О Ландау // В кн.: Воспоминания о Ландау. – Москва: Наука. – 1988. – С. 32–39.
- [23] Халатников И.М. Легенды и факты // В кн. [3] – С. 201–218.
- [24] Андроникашвили Э.Л. Воспоминания о жидком гелии. – Тбилиси: Ганатлеба. – 1980. – 316 с.
- [25] Гинзбург В.Л. Об Игоре Евгеньевиче Тамме // В кн.: Воспоминания о И.Е. Тамме. – Москва: Наука. – 1986. – С. 115–125.
- [26] Капица П.Л. Письма о науке. 1930–1980. – Москва: Московский рабочий. – 1989. – 400 с.

- [27] Гинзбург В.Л., Ландау Л.Д. К теории сверхпроводимости // ЖЭТФ. – 1950. – Т 20. – С. 1064–1082.
- [28] Гинзбург В.Л. Сверхпроводимость. – Москва, Ленинград: Издательство АН СССР. – 1946. – 204 с.
- [29] Абрикосов А.А. О магнитных свойствах сверхпроводников второй группы // ЖЭТФ. – 1957. – Том 32. – С. 1420–1452.
- [30] Шубников Л.В., Хоткевич В.И., Шепелев Ю.Д., Рябинин Ю.Н. // ЖЭТФ. – 1937. – Т 7. – С. 221–237.
- [31] Павленко Ю.В., Ранюк Ю.Н., Храмов Ю.А. "Дело"УФТИ. 1935–1938. – Киев: Феникс. – 1998.
- [32] Горьков Л.П. Микроскопический вывод уравнений Гинзбурга-Ландау в теории сверхпроводимости // ЖЭТФ. – 1959. – Т 36. – С. 1918–1923.
- [33] Bardeen J. Fizyka ciała stałego: osiągnięcia i prognozy // Postępy Fizyki. – 1974. – Т 25. – S. 537–560.
- [34] Горелик Г.Е., Френкель В.Я. Матвей Петрович Бронштейн, 1906–1938. – Москва: Наука. – 1990. – 272 с.
- [35] Бронштейн М.П. Солнечное вещество. – Москва: ТЕРРА-Книжный клуб. – 2002. – 224 с.
- [36] Гамов Г.А. Строение атомного ядра и радиоактивность. – Москва, Ленинград, – 1932. – 147 с.
- [37] Есаков В.Д., Рубинин П.Е. Капица, Кремль и наука, Том 1. Создание Института физических проблем. 1934–1938 гг. – Москва: Наука. – 2003. – 655 с.
- [38] Воспоминания о И.Я. Померанчуке. – Москва: Наука. – 1988. – 320 с.
- [39] Померанчук И.Я. К теории жидкого He^3 // ЖЭТФ. – 1950. – Том 20. – С. 919–925.
- [40] Ричардсона Р.К. Эффект Померанчука // УФН. – 1997. – Т 167, №12. – С. 1340–1347.
- [41] Leggett A.J. Superfluidity // Rev. Mod. Phys. – 1999. – Vol. 71, No 2. – P. S318–S323.
- [42] Leggett A.J. A theoretical description of the new phases of liquid 3He // Rev. Mod. Phys. – 1975. – V. 47, – P. 331–414.
- [43] Ли Д.М. Необычные фазы жидкого 3He // УФН. – 1997. – Т 167, №12. – С. 1307–1326.