

ПРИРОДА

9 08



В НОМЕРЕ:

- 3 ФРАНК = ОПТИКА + НЕЙТРОНЫ**
К 100-летию со дня рождения И.М.Франка
- Болотовский Б.М.**
Нобелевская премия (5)
- Франк А.И.**
История одной семьи (17)
- Шарапов Э.И.**
Нейтроны и ядра (31)
- Франк А.И.**
Об одной работе И.М.Франка (41)
- Аксенов В.Л.**
Некоторые новые аспекты оптики поляризованных нейтронов (50)
- 60 Кудрявцева Н.Н.**
Агрессия: от концепции К.Лоренца к современным представлениям

Вести из экспедиций

- 64 Островский А.Н., Попов И.Ю.**
Шанс для жемчужницы? (64)

Антипин В.С., Воронин В.И., Федоров А.М.

Патомский кратер в Восточной Сибири (69)

- 76**
Ботаник-энциклопедист
Памяти А.К.Скворцова

78 Новости науки

Белые карлики нового типа. **Ашимбаева Н.Т.** (78). Фораминиферы как индикаторы холодных сипов? **Хусид Т.А., Доманов М.М.** (79). Движение полюсов на Европе (80). Спины излучают микроволны (80). Почему светит электрохимическая ячейка? (81). Новая эффективная смазка на основе фуллеренов (81). Передача микрофлоры потомству. **Белянова Л.П.** (81). Лягушка без легких (82). Хромериды — новый тип простейших. **Чернышев А.В.** (82). Радоновые воды Ленинградской области (83). Климат Москвы в конце XX века. **Померанец К.С.** (83). Бельгийцы возвращаются в Антарктиду. **Виноградов В.Н.** (84). На севере Сибири теплая каргинская трансгрессия все-таки была (85).

Рецензии

- 86 Комар А.А.**
Почувствовать красоту науки...
(на кн.: Семинар: статьи и выступления)

88 Новые книги

- 91 Голиков А.П.**
Встречи с забытым
Институт на Аптекарьском острове

CONTENTS:

- 3 FRANK = OPTICS + NEUTRONS**
 To Centenary of I.M.Frank
- Bolotovskiy B.M.**
Nobel Prize (5)
- Frank A.I.**
A History of a Family (17)
- Sharapov E.I.**
Neutrons and Nuclei (31)
- Frank A.I.**
On a Paper by I.M.Frank (41)
- Aksenov V.L.**
Some New Aspects of Polarized Neutron Optics (50)
- 60 Kudryavtseva N.N.**
Aggression: From K.Lorenz Conception to Current Ideas

News From Expeditions

- 64 Ostrovskiy A.N., Popov I.Yu.**
A Chance for Pearl-Oyster? (64)

- Antipin V.S., Voronin V.I., Fedorov A.M.**
Patomskij Crater in Eastern Siberia (69)

- 76**
Botanist of Encyclopedic Knowledge In Memoriam of A.K.Skvortsov

78 Science News

A New Type of White Dwarfs. **Ashimbaeva N.T.** (78). Foraminifers as Indicators of Cold Seeps? **Khusid T.A., Domanov M.M.** (79). Movement of Poles in Europe (80). Spins Emit Microwaves (80). Why Electrochemical Cell Gives out Light? (81). New Effective Lubricant Based on Fullerenes (81). Transfer of Microflora to Progeny. **Belyanova L.P.** (81). A Lungless Frog (81). Chromerides – a New Type of Protista. **Chernyshev A.V.** (82). Radon Springs of Leningradskaya Oblast (83). Moscow Climate at the End of 20th Century. **Pomeranets K.S.** (83). Belgians Return to Antarctic. **Vinogradov V.N.** (84). The Warm Karginskaya Transgression at Northern Siberia Took Place, Indeed (85).

Book Reviews

- 86 Komar A.A.**
To Appreciate the Beauty of Science...
 (on a book: The Seminar: papers and addresses)

88 New Books

Encounters with Forgotten

- 91 Golikov A.P.**
Institute at Aptekarskij Island

ФРАНК = ОПТИКА + НЕЙТРОНЫ!

К 100-летию со дня рождения И.М.Франка



Илья Михайлович Франк родился в Санкт-Петербурге 23 октября 1908 г. Его отец, Михаил Людвигович, был талантливым математиком, его дядя, Семен Людвигович, — одним из самых заметных философов, покинувших Россию на «философском пароходе» в 1922 г. Илья Михайлович и его старший брат Глеб Михайлович, видный биофизик, стали действительными членами Академии наук. О судьбе этих незаурядных людей можно узнать «из первых рук» в статье сына Ильи Михайловича, Александра Ильича Франка, «История одной семьи».

И.М.Франк учился на физико-математическом факультете МГУ, когда кафедрой теоретической физики там заведовал Л.И.Мандельштам. Уже на втором курсе Франк подключился к научной работе в лаборатории С.И.Вавилова. Это предопределило интерес Ильи Михайловича к оптике. Выпускник университета 1930 г., он по рекомендации Вавилова уехал работать в Ленинград, в Государственный оптический институт (ГОИ), ныне им.С.И.Вавилова, где изучал фотохимические процессы. Первая научная публикация Франка (в соавторстве с Вавиловым, которого Илья Михайлович всегда считал своим учителем) увидела свет в 1931 г., а в 1935 г. он уже получил степень доктора наук. К тому времени Илья Михайлович перешел в физическое отделение Физико-математического института, вскоре переведенное в Москву и ставшее всем известным Физическим институтом Академии наук (ФИАН) им.П.Н.Лебедева. Здесь его внимание привлекли эксперименты П.А.Черенкова по свечению жидкостей, облучавшихся γ -квантами. В 1937 г. он с И.Е.Таммом построил на основе классической электродинамики теорию излучения Вавилова–Черенкова. Эффект был связан с движением электронов со скоростью, превышающей фазовую скорость света в среде. За эти исследования Вавилов, Тамм, Черенков и Франк в 1946 г. были отмечены Государственной (Сталинской) премией, а позднее Черенков, Тамм и Франк – Нобелевской. Истории этой нобелевской награды посвящена статья Б.М.Болотовского «Нобелевская премия».

В ФИАН Илья Михайлович начал заниматься физикой ядра; в 1941 г. он возглавил отдел, а в 1947 г. – лабораторию ядерной физики (в 1971 г. она была переведена в Институт ядерных исследований АН СССР). Работы касались секретной реакторной тематики и физики ядерных реакций, но все они были сосредоточены на проблемах, связанных с нейтронами. Теоретически и экспериментально исследовались закономерности размножения нейтронов, их переноса, рассеяния ядрами. Франк предложил импульсный метод исследования тепловых нейтронов. Изучая этим методом зависимость коэффициента диффузии нейтронов от их скорости, руководимый Франком коллектив открыл новое физическое явление – диффузионное охлаждение нейтронов. Благодаря установленной связи между временем замедления быстрых нейтронов, импульсно введенных в тяжелую среду, и их энергией, был развит новый метод нейтронной спектрометрии по времени замедления нейтронов в свинце. Об этих исследованиях рассказано в статье Э.И.Шарапова «Нейтроны и ядра».

С 1940 г. Франк связан с МГУ им.М.В.Ломоносова. Сначала он был профессором кафедры Д.В.Скобельцына «Атомное ядро и радиоактивность», затем с 1946 по 1956 г. заведовал лабораторией радиоактивных излучений и с 1949 до 1957 г. был заведующим кафедрой нейтронной физики и радиоактивных излучений.

В 1957 г. директор Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ, г.Дубна) Д.И.Блохинцев предложил Франку организовать в ОИЯИ подразделение, специализирующееся на нейтронной физике. Его экспериментальной базой должен был служить создававшийся там первый в мире импульсный реактор на быстрых нейтронах. Не расставаясь со своей фиановской лабораторией, Илья Михайлович стал основателем и директором Лаборатории нейтронной физики (ЛНФ) ОИЯИ.

Когда в 1960 г. реактор ИБР был запущен, его средняя мощность составляла всего 1 кВт, но мощность в импульсе была на три порядка выше. Впоследствии этот успешно служивший науке реактор был модернизирован, а в 1984 г. в лаборатории заработал новый уникальный реактор ИБР-2 со средней мощностью 2 МВт. Под руководством Франка в ЛНФ проводились исследования на пучках нейтронов с энергиями от тепловых до нескольких кэВ. Об этих работах также идет речь в статье Шарапова.

Исследования велись по фундаментальным проблемам ядерной физики, физики твердого тела, биофизики и в прикладной плоскости, и всюду были достигнуты интересные результаты. Использовалась времяпрелетная методика, которая для ряда задач – дифракции нейтронов, малоуглового рассеяния и др. – была применена впервые. В ЛНФ впервые были получены ультрахолодные нейтроны. Илья Михайлович внес заметный вклад в оптику таких нейтронов, как видно из статьи А.И.Франка «Об одной работе И.М.Франка».

Илья Михайлович оставался на посту директора лаборатории до 1988 г. и был Почетным директором ЛНФ до своей кончины 22 июня 1990 г. В 1991 г. лаборатории было присвоено имя ее основателя, и сейчас она известна во всем мире как ЛНФ им.И.М.Франка.

Созданная Франком школа физиков продолжает плодотворно работать в современных, совсем не простых для науки условиях. Ряд последних достижений коллектива представлен в статье В.Л.Аксенова «Некоторые новые аспекты оптики поляризованных нейтронов».

Тех же читателей, которые захотят подробнее узнать о жизни и идеях нашего замечательного соотечественника, мы адресуем к сборнику «И.М.Франк. Документы и воспоминания», выпущенному издательством «Наука» в этом году.

Нобелевская премия

Б.М.Болотовский,
доктор физико-математических наук
Физический институт им.П.Н.Лебедева
Москва

Нобелевская премия по физике 1958 г. была присуждена трем советским ученым — Игорю Евгеньевичу Тамму, Илье Михайловичу Франку и Павлу Алексеевичу Черенкову. Эта премия отметила открытие и объяснение нового физического явления, получившего на Западе название «эффект Черенкова», а у нас, в Советском Союзе, название «эффект Вавилова—Черенкова». Принятое у нас название отражает решающую роль Сергея Ивановича Вавилова, наряду с П.А.Черенковым, И.Е.Таммом и И.М.Франком, в обнаружении и исследовании эффекта. Открытие было совершено за 25 лет до присуждения премии. Ко времени присуждения премии Вавилова уже не было в живых — он умер в январе 1951 г.

Напомним кратко историю открытия. В 1934 г. в журнале «Доклады Академии наук СССР» были опубликованы две работы. Первая из них, статья Черенкова, содержала сообщение об открытии и о первых исследованиях нового эффекта. Вторая статья, сразу следовавшая за первой, была написана Вавиловым, научным руководителем Черенкова, предложившим тему для исследования, которое и повело к открытию. В статье Вавилова высказывались первые соображения о возможной природе обнаруженного явления. В частности, выдвигалось предположение, что источником излучения служат электроны, вы-

битые из атомов гамма-квантами. Это предположение впоследствии подтвердилось и определило весь ход дальнейших исследований.

Полное теоретическое объяснение нового явления было дано в совместной работе Тамма и Франка, опубликованной в тех же «Докладах Академии наук СССР» тремя годами позже, в 1937 г. Было показано, что если электрон (или другая заряженная частица) движется равномерно (т.е. с постоянной скоростью) в прозрачной среде, и скорость движения превосходит скорость света в этой среде, то возникает направленное электромагнитное излучение. Сверхсветовой электрон становится источником излучения тех световых волн, у которых фазовая скорость меньше, чем скорость электрона.

Теория Франка—Тамма объясняла спектр, угловое распределение и другие свойства нового свечения. Найденное авторами выражение для интенсивности излучения получило название формулы Тамма—Франка. Последующие экспериментальные проверки полностью подтвердили теорию.

Излучение Вавилова—Черенкова нашло широкое применение в физике высоких энергий, где оказалось возможным регистрировать быстрые заряженные частицы по вспышкам излучения Вавилова—Черенкова. Но в первые годы после открытия никаких предложений по использованию излучения Вавилова—Черенкова не высказы-

валось, поскольку оно было очень слабым. Однако в годы Второй мировой войны стали разрабатываться чувствительные приемники светового излучения — фотоумножители. В 1947 г. американский физик И.А.Геттинг предложил регистрировать излучение Вавилова—Черенкова с помощью фотоумножителей. Так появились первые черенковские счетчики. Теперь они есть в каждой лаборатории, где ведется изучение частиц высокой энергии. Причем черенковские счетчики дают возможность измерять самые разные характеристики быстрых заряженных частиц — направление движения, величину заряда, скорость, энергию. Именно прогресс в физике высоких энергий, связанный с применением черенковских счетчиков, послужил основанием для присуждения в 1958 г. Нобелевской премии Тамму, Франку и Черенкову.

Молчаливо принято считать, что роли в открытии и объяснении эффекта Вавилова—Черенкова были распределены следующим образом: Вавилов и Черенков получили опытные результаты, а Тамм и Франк построили теорию явления. Это представление слишком схематично. Выше уже было сказано, что Вавилов не только определил тему исследования и методике измерений, в которых и сам принимал участие, но и высказал первые соображения о природе обнаруженного свечения, т.е. внес вклад и в теорию явления. А Франк не только вме-



Сергей Иванович Вавилов в 30-е годы. Слева — на отдыхе в Крыму. Справа — в лаборатории ГОИ с Б.Я.Свешниковым.

сте с Таммом создал теорию явления, но и помогал Черенкову в измерениях, поэтому всегда знал состояние дел.

Свечение Вавилова—Черенкова было очень слабым. Для того, чтобы его наблюдать, надо было предварительно «настроить глаза на темноту» — провести около часа в полной темноте. За это время чувствительность глаза возрастала в десятки тысяч раз, и слабое свечение становилось различимым и измеримым. Можно было приступать к измерениям. Однако для того, чтобы записать показания измерительного прибора, надо было осветить шкалу, а свет сбивал адаптацию зрения на темноту. После каждой записи потребовалось бы опять час-полтора проводить в темноте. Избежать этого неудобства можно было с помощью ассистента. Ассистент сидел в полной темноте вместе с Черенковым. Когда нужно было записать отсчет по шкале прибора, Черенков укутывал голову светонепроницаемой тканью, а помощник включал свет и записывал показания. Потом освещение выключалось, Черенков снимал «чадру» и продолжал измерения. Ассистентами в из-

мерениях Черенкова перебивали по очереди многие сотрудники лаборатории Вавилова. Нередко эту обязанность выполнял также Илья Михайлович Франк. Поэтому он состояние эксперимента знал во всех тонкостях.

К этому следует еще добавить, что Илья Михайлович прожил 20 лет в одной коммунальной квартире с Павлом Алексеевичем Черенковым. Когда ФИАН в 1934 г. был переведен из Ленинграда в Москву, молодым сотрудникам Н.А.Добротину, И.М.Франку и П.А.Черенкову сначала была предоставлена комната в общежитии, где они и проживали втроем, пока их семьи оставались в Ленинграде. Через некоторое время им была предоставлена коммунальная квартира. Каждый из них получил по комнате и мог перевезти в Москву свою семью. Научное общение, обсуждения проводимых исследований не прекращались и после возвращения с работы домой.

Опыты по исследованию нового свечения проводились сначала в Ленинграде. В 1934 г., после перевода Физического института в Москву, исследования были продолжены.

Сергей Иванович Вавилов, основатель и директор Физического института им.П.Н.Лебедева, создал там замечательную атмосферу сотрудничества и научных поисков. Впоследствии, много времени спустя, Франк вспоминал:

«В молодости мне посчастливилось в том отношении, что уже в студенческие годы я попал в среду, в которой научное влияние воспринималось особенно интенсивно и разносторонне. Я имею в виду научную школу Л.И.Мандельштама, к которой принадлежали мои непосредственные учителя и выдающиеся физики С.И.Вавилов, Г.С.Ландсберг и И.Е.Тамм — ученые, столь различные по своей индивидуальности. Была, однако, особенность, характерная для всей этой школы — это непрерывное научное общение. Вопросы теории и результаты экспериментов неизменно и постоянно обсуждались, и эти разговоры (они происходили и вне научных семинаров), частые и длительные, никто не считал потерей времени. Первое время мне казалось удивительным, что столь выдающиеся люди часы своего драгоценного времени,

в которое могли бы сделать нечто замечательное, тратят на разговоры, в которых немало внимания уделяется тому, что не получилось или оказалось ерундой. В то время я не понимал и того, что в этих беседах часто излагались новые идеи, задолго до их опубликования, и, разумеется, без опасения, что их опубликует кто-то другой. Притом никто не жалел усилий, чтобы помочь формированию нового в понимании, совершенно не думая о соавторстве. В той моральной атмосфере, которая была свойственна школе Л.И.Мандельштама, это было более чем естественно» [1].

В этом отрывке очень верно изображена замечательная творческая атмосфера, которая существовала в ФИАНе тех лет (в определенной степени она сохранилась и в последующие годы) и которая врезалась в память Ильи Михайловича.

Но, пожалуй, в приведенном отрывке все же есть одна неточность. Франк пишет, что Вавилов принадлежал к научной школе Мандельштама. Это не так. Вавилов был учеником П.П.Лазарева, одного из ближайших сотрудников П.Н.Лебедева. Когда студент Вавилов выбирал тему для научной работы, он хотел работать в лаборатории Лебедева. В то время Лебедев уже был серьезно болен, и темы для научных работ давал студентам его ближайший помощник, тогда приват-доцент, а впоследствии академик Петр Петрович Лазарев. Сергей Иванович получил от Петра Петровича тему своего первого исследования и, таким образом, вошел в научную школу Лебедева, а позднее и сам стал главой научной школы. Почему же Франк отнес Вавилова к школе Мандельштама, правда, к не менее замечательной научной школе, но все же не к той, из которой Вавилов вышел? Причина, возможно, лежит в следующем. Сергей Иванович как директор института считал своим долгом создать все условия для плодотворной научной работы сотрудников. Наука,



И.Е.Тамм, П.А.Черенков и И.М.Франк. 1958 г.

институт, сотрудники — это было для него на первом месте, а себе он сознательно отводил второе место. Молодой Франк, видя уважительное отношение Вавилова к Мандельштаму, мог причислить Сергея Ивановича к школе Мандельштама.

Впрочем, разнесение членов ученого сообщества по научным школам есть задача с неоднозначным решением, особенно в том случае, если две научные школы тесно взаимодействуют между собой. Так или иначе, Франк имел основания написать то, что он написал.

* * *

Теория излучения Вавилова—Черенкова была создана Таммом и Франком. Можно задать вопрос, что именно каждый из них внес в создание теории. Этот вопрос как-то при мне задал Илье Михайловичу один физик. Франк ответил:

— Мы с Игорем Евгеньевичем условились не делить перемные.

Когда я немного времени спустя спросил у Тамма, как возникла качественная картина, объясняющая излучение Вавилова—Черенкова, он сказал:

— Это мы вместе с Ильей Михайловичем придумали.

Ни малейшего следа какой-нибудь обиды или неприязни в отношениях между Таммом и Франком я не замечал. Они относились друг к другу любовно и бережно, Тамм — как старший коллега, Франк — как младший, считавший Тамма одним из своих учителей.

Но все же на вопрос, кто из них и какой вклад внес в теоретическое объяснение, можно попытаться ответить.

Состояние дел в исследовании нового вида свечения постоянно обсуждалось на семинаре Вавилова, а также и при встречах вне семинара. Здесь надо сказать, что не все физики, знавшие об этих исследованиях, принимали их всерьез. Некоторые сомневались в чистоте эксперимента, с недоверием относились к результатам, полученным при измерениях на пороге зрения. Но все ближайшие коллеги Сергея Ивановича не сомневались в том, что обнаружено новое свечение, и внимательно следили за ходом исследования. В частности, Игорь Евгеньевич Тамм постоянно обсуждал с Ильей Михайловичем

возможные причины этого явления.

На одном из заседаний семинара, которым руководил Вавилов, было предложено поместить стаканчик со светящейся жидкостью в магнитное поле. Электроны, выбитые из атомов жидкости, должны были изменить направление своего движения под действием магнитного поля. Поскольку предполагалось, что именно электроны являются источником свечения, то должны были измениться и свойства наблюдаемого света.

Опыты с магнитным полем были проведены, и они обнаружили новое свойство излучения Вавилова—Черенкова — излучение оказалось направленным. Электроны излучали вперед, в направлении своего движения.

Когда Франк передал это Тамму, Игорь Евгеньевич высказал важное замечание. Он сказал, что если излучение направленное, то оно излучается с достаточно большого пути, сравнимого с длиной излучаемой волны. Это замечание было основано на законах волновой оптики. Согласно этим законам, если имеется излучатель размера L , излучающий волны длиной λ , то эти излученные волны распространяются вблизи от некоторого выделенного направления, так что угловой разброс $\Delta\phi$ в направлениях распространения равен по порядку величины отношению длины волны к размерам излучающей системы: $\Delta\phi = \lambda/L$. Если размер системы L много больше, чем длина λ излучаемой волны, то разброс углов мал, излучение, как говорят, остро направлено.

Франк со всем вниманием отнесся к этому важному замечанию. К тому времени предположение Вавилова о том, что источником наблюдаемого свечения служат электроны, выбитые из атомов гамма-лучами радия («комpton-электроны»), стало уже твердо установленным фактом. Электроны двигались в исследуемой жидкости примерно в том же самом направлении,

что и выбитые их гамма-лучи. Если предположить, что электроны излучали на всем своем пути в жидкости, то длина этого пути и составляла размер излучателя. Франк решил рассмотреть, как складываются электромагнитные волны, излученные движущимся электроном из каждой точки пути. Для этого он воспользовался тем же, по существу, приемом, который применил великий голландский физик Х.Гюйгенс в своем «Трактате о свете» (1690) при рассмотрении явлений отражения и преломления света. Согласно Гюйгенсу, каждая точка, расположенная на фронте волны, служит источником излучения вторичной волны, и огибающая всех этих вторичных волн образует новый фронт, который и определяет свойства волны и, в частности направление ее распространения. В согласии с замечанием Тамма, Франк предположил, что из каждой точки пути при движении электрона в среде излучается сферическая волна, и совокупность этих волн образует результирующее поле. Такой простой подход позволил разобраться в качественной стороне явления и объяснить некоторые свойства излучения Вавилова—Черенкова, в частности, направленность излучения. Оказалось, что если скорость заряженной частицы в среде меньше, чем фазовая скорость света в той же среде, волны, излученные из разных точек траектории, не имеют общей огибающей. Если же скорость частицы превосходит фазовую скорость света, волны, излученные на всем пути, имеют общую огибающую, т.е. существует излучаемая волна, фронт которой и представляет собой огибающая. Эта огибающая составляет определенный угол с линией движения частицы, и угол этот определяет направленность излучения. Простые оценки, сделанные Франком, показали, что такая картина дает качественное согласие с наблюдениями.

Но в картине, полученной Франком, было много такого, что казалось на первый взгляд очень странным. Было хорошо известно, что равномерно движущийся заряд не излучает электромагнитных волн. В противоположность этому известному факту Франк исходил из предположения, что заряд излучает в каждой точке своего пути. Из замечания, высказанного Таммом, следовало, что и он так считал. Было также на первый взгляд непонятно, как может скорость заряженной частицы превышать скорость света. Согласно теории относительности, никакое материальное тело не может иметь скорость, превышающую скорость света.

Полученные результаты Илья Михайлович рассказал по очереди нескольким физикам, в том числе М.А.Маркову и М.А.Леонтовичу. Они выслушали рассказ Франка, но не проявили к нему большого интереса. Впоследствии Михаил Александрович Леонтович, когда заходила речь о каком-либо высказывании Франка, говорил:

— Илья — серьезный мужчина, его надо слушать внимательно. Я в свое время не послушал и упустил Нобелевскую премию.

Со своими результатами (и со своими сомнениями) Франк обратился к Тамму. Игорю Евгеньевичу все это было близко, потому что беседы с Вавиловым и Франком заставляли его задумываться над природой нового свечения. Он с неподдельным горячим интересом выслушал Франка и решил провести расчет явления с применением строгой теории — электродинамики Максвелла—Лоренца.

Спустя некоторое время Тамм позвонил Франку и попросил того немедленно приехать к нему домой. Франк писал в своих воспоминаниях:

«Я застал И.Е.Тамма за столом, увлеченного работой и уже исписавшего много листов бумаги формулами. Он сразу же стал рассказывать мне о сделанном им до моего прихода. Сей-

час я уже не могу вспомнить в точности, что было предметом совместного обсуждения в ту ночь. Думаю, что обсуждались и ход решения задачи, предложенный И.Е.Таммом, и правильность выкладок, и физические основы теории, в которых многое было еще неясно. Помню только, что просидели мы долго. Домой я возвратился под утро пешком, так как городской транспорт уже закончил (или еще не начал) свою работу. У меня было ощущение, что в моей жизни произошло немаловажное событие, вероятно, главным образом потому, что я впервые стал участником теоретической работы, и притом совместно с И.Е.Таммом».

Второго января 1937 г. совместная статья Тамма и Франка поступила в редакцию журнала «Доклады Академии наук СССР». Статья называлась «Когерентное излучение быстрого электрона в среде», и в ней содержалось теоретическое объяснение излучения Вавилова—Черенкова. К тому времени вопросы, которые вызывали сомнения, были успешно разрешены. В частности, вопрос о том, может ли равномерно движущаяся заряженная частица излучать в каждой точке своего пути и не противоречит ли это утверждению, что равномерно движущийся заряд не излучает. Оказалось, что два этих утверждения согласуются. Действительно, можно считать, что любой движущийся заряд, в том числе и равномерно движущийся, излучает в каждой точке своего пути. Но при равномерном движении, если скорость частицы меньше, чем фазовая скорость света в той среде, через которую движется частица, излученные волны взаимно гасятся. В данном случае отсутствие излучения происходит вследствие взаимного погашения всех излучаемых волн. А в случае, когда скорость частицы превышает скорость излучаемых волн, эти волны когерентно складываются, а не гасят друг друга.



Прилет в Стокгольм 7 декабря 1958 г. П.А.Черенков — под руку с супругой Марией Алексеевной.

Стало также ясно, что движущиеся частицы со скоростью, превышающей фазовую скорость света в среде, не противоречит теории относительности. Действительно, теория относительности запрещает движение материальных тел со скоростью, превышающей скорость света в пустоте. А скорость света в среде, как правило, меньше, чем скорость света в пустоте. Скажем, прозрачная пластмасса имеет показатель преломления $n = 1.5$. В такой среде скорость света равна, круглым счетом, 200 000 км/с. В то же время скорость света в пустоте равна 300 000 км/с, т.е. в полтора раза больше. Поэтому частица может обогнать световую волну в среде и в то же время иметь скорость меньше, чем скорость света в пустоте.

Теория Тамма и Франка объясняла все ранее полученные экспериментальные результаты. Но в теории также содержались предсказания, которые следовало проверить. Теория давала ко-

личественные выражения для спектра, интенсивности излучения, точно определяла поляризацию. Дополнительные эксперименты, проведенные Черенковым в 1937 г., подтвердили количественные выводы теории.

В 1946 г., в первый послевоенный год, Вавилов, Тамм, Франк и Черенков были удостоены Сталинской премии первой степени (в то время это была самая высокая научная награда в СССР). Премия была присуждена «за открытие и исследование излучения электронов при их движении в веществе со сверхсветовой скоростью». А вскоре появилось предложение по использованию свечения Вавилова—Черенкова для регистрации быстрых заряженных частиц. Соответствующие устройства получили название черенковских счетчиков. Они прочно вошли в арсенал физики высоких энергий, где служат для определения различных характеристик быстрых заряженных частиц.



Нобелевские лауреаты 1958 г.: Дж.У.Бидл, Э.Л.Тейтем, И.Е.Тамм, Ф.Сенгер, П.А.Черенков, И.М.Франк, Дж.Ледеберг.



Теперь можно подержать медаль в руках.

В 1958 г. за открытие и объяснение излучения Вавилова—Черенкова трем советским физикам — Тамму, Франку и Черенкову — была присуждена Нобелевская премия по физике. Сергей Иванович Вавилов не дожил до этого времени — он скончался восемью годами ранее.

Илья Михайлович Франк впоследствии неоднократно обращался к различным вопросам, связанным с теорией излучения Вавилова—Черенкова. В совместной его работе с Виталием Лазаревичем Гинзбургом было рассмотрено излучение Вавилова—Черенкова при движении заряженной частицы не в сплошной однородной среде, а в канале, проделанном в этой среде. По результатам работы стало возможно судить о том, какие области среды — удаленные от траектории заряда или близкие к траектории — прини-

мают участие в образовании излучения. Он также исследовал длительность вспышки излучения Вавилова—Черенкова. Этот вопрос был важен для определения эффективности работы черенковских счетчиков.

В послевоенные годы Франк много времени и сил уделял исследованиям по физике нейтронов. Эта область ядерной физики была важна и для физики атомного ядра вообще, и для физики ядерных реакторов в частности. Но классическая теория прохождения заряженной частицы через вещество продолжала его интересовать. В последние годы жизни он написал книгу, которую можно рассматривать как итог его исследований, посвященных излучению Вавилова—Черенкова [2].

* * *

У теории Франка и Тамма были исторические предшественники. В 1904 г. знаменитый немецкий математик и физик А.Зоммерфельд вычислил поле электрона, который движется в пустоте со скоростью, превышающей скорость света. Зоммерфельд показал, что в этом случае электрон излучает электромагнитные волны. Но в следующем году была окончательно сформулирована теория относительности, согласно которой сверхсветовое движение в пустоте оказалось невозможным. Работа Зоммерфельда была забыта. Тамм и Франк о ней не знали, когда создавали свою теорию. О публикации Зоммерфельда они узнали, когда уже законченные результаты своей работы обсуждали с А.Ф.Иоффе. Тот помнил о работе Зоммерфельда. Так в уже упомянутой статье Тамма и Франка «Когерентное излучение быстрого электрона в среде» появилась ссылка на забытую работу Зоммерфельда. Отгиск статьи был послан Зоммерфельду. Тот ответил благодарственным письмом, а в свой учебник «Оптика» включил параграф «Излучение Черенкова».



На торжественном обеде. Приятная беседа с принцессой Биргиттой.



Удостоены внимания мадам Эрландер, супруги премьер-министра.

Но Зоммерфельд ни в своем письме, ни в учебнике не упомянул о том, что еще в конце XIX в. английский ученый О.Хевисайд рассмотрел движение точечного электрического заряда в среде, причем он также рассмотрел случай, когда скорость заряда превосходила скорость света в среде. Он показал, что в этом случае имеет место излучение электромагнитных волн, причем излучение направленное, и определил некоторые свойства этого излучения. Рассмотр-

ние Хевисайда было не таким полным, как у Франка и Тамма, он, в частности, не учитывал дисперсии, т.е. зависимости показателя преломления от частоты световой волны. Он также полагал, что скорость электрона может быть как угодно велика. Ограничения на скорость, налагаемые теорией относительности, ему не были известны, потому что не было еще теории относительности.

Можно сказать, что Хевисайд подошел к современной теории

излучения Вавилова—Черенкова ближе, чем кто-либо другой. Но его работа не привлекла внимания и была быстро забыта. Причина этого состоит в том, что Хевисайд намного опередил свое время. В те годы сторонников атомного строения вещества можно было пересчитать по пальцам, а атом электричества — электрон — даже еще не был открыт. И трудно было себе представить в то время, что может существовать частица, скорость которой превышает скорость света в среде. Возможность получать такие частицы появилась лишь значительно позднее, в первом десятилетии XX в., после открытия радиоактивности. Не очень многие люди читали статьи и книги Хевисайда, а те, кто читал, сочли, что его рассмотрение поля сверхсветового заряда далеко от реальности. Напротив, перед Таммом и Франком стояла задача объяснить реальное, уже открытое излучение, источником которого были реальные быстрые заряженные частицы.

О работах Хевисайда вспомнили в первой половине 70-х годов XX в., примерно через 90 лет после того, как они были выполнены. Илья Михайлович Франк в это время отдыхал в академическом санатории «Узкое». Я его там навещал. По его просьбе я привез третий том книги Хевисайда «Электромагнитная теория». В этом томе Хевисайд рассматривал сверхсветовое движение точечного заряда в преломляющей среде. Илья Михайлович прочитал интересовавшую его часть книги и в следующий мой приезд, когда разговор зашел о Хевисайде, сказал:

— Это большая честь иметь такого предшественника.

* * *

В 1942 г. Франк опубликовал в журнале «Известия Академии наук» статью под заголовком «Эффект Доплера в преломляющей среде». Эта работа по сей день определяет уровень понимания

в той области, которой она была посвящена.

Пусть имеется передатчик, излучающий определенную длину волны. Роль передатчика может играть атом, излучающий световую волну, или лазер, или радиостанция. И пусть эти сигналы принимает человек, вооруженный приемным устройством. Если прием и передача происходят в пустоте и оба устройства — передатчик и приемник — покоятся друг относительно друга, то приемник надо настраивать на ту же самую частоту, на которой работает передатчик, иначе сигнал не будет принят. Если же передатчик и приемник движутся друг относительно друга, то оказывается, что частота передатчика и частота, на которой происходит прием сигнала, не совпадают. Если, например, передатчик и приемник сближаются, то частота приема смещается в сторону более высоких частот. Если же передатчик и приемник удаляются один от другого, то, наоборот, частота приема оказывается меньше, чем частота, на которой работает передатчик. Это явление на примере света, идущего от двойных звезд, впервые исследовал австрийский физик Х.Доплер в середине XIX в. Оно получило название эффекта Доплера.

Франк рассмотрел эффект Доплера не в пустоте, а в преломляющей среде, где имеет место явление дисперсии, т.е. волны различной частоты распространяются с различной скоростью. Оказалось, что эффект Доплера в преломляющей среде обладает многими интересными особенностями. В частности, может так случиться, что передатчик работает на одной определенной частоте, а прием может происходить на нескольких дискретных частотах. Сигнал расщепляется по частоте. Не менее интересные результаты были получены для случая, когда скорость излучателя превосходит скорость света в среде (скажем, атом дви-

жется сквозь среду со сверхсветовой скоростью и излучает). Эффект Доплера при сверхсветовой скорости излучателя был позднее исследован в совместной работе И.М.Франка и В.Л.Гинзбурга. Как известно, в обычных условиях атом, оказавшись в возбужденном состоянии, излучает свет и переходит в нормальное состояние. Если же атом движется со сверхсветовой скоростью, то, как показали Гинзбург и Франк, излучение может сопровождаться переходом не в нормальное, а в еще более высокое возбужденное состояние. Это явление получило название аномального эффекта Доплера.

В статье «Эффект Доплера в преломляющей среде» Франк ввел очень важную величину, определяющую процессы излучения движущихся источников. Он эту величину назвал сначала «зона Френеля» по аналогии с теорией дифракции, затем стал употреблять название «путь формирования излучения». Теперь эту величину чаще называют «когерентная длина». Она характеризует движение заряженной частицы в поле электромагнитной волны. Когерентная длина — это расстояние, которое проходит заряд в поле волны так, что при этом фаза волны в точке, где находится заряд, изменяется не больше, чем на половину длины волны. Другими словами, когерентная длина — это расстояние, на котором заряженная частица либо отстает от волны, либо опережает ее на полволны.

Существует распространенное мнение, что физические процессы при высоких энергиях характеризуются интенсивным взаимодействием на малых расстояниях, разыгрываются в малых пространственных областях и эти процессы следует описывать с помощью квантовой теории. Франк показал, что даже при высоких энергиях имеется такой класс процессов, которые протекают на большом пути, и этот путь тем боль-



М.В.Келдыш в лаборатории И.М.Франка в Дубне. Слева — инженер Николай Лузанов. 1964 г.

ше, чем выше энергия частицы. Таким процессом, в частности, является излучение Вавилова—Черенкова. Частица здесь неограниченно долго движется в фазе с излучаемой волной, и, следовательно, когерентная длина может стать сколь угодно большой.

Рассмотрение Франка позволило выделить ряд процессов излучения, которые происходят при высоких энергиях и, тем не менее, допускают классическое описание. К числу таких процессов относится и переходное излучение.

* * *

Излучение Вавилова—Черенкова имеет место при движении заряженной частицы в однородной среде. В середине 40-х годов Франк заинтересовался вопросом, как протекает излучение частицы, если она движется в неоднородной среде. Простейший пример излучения движущейся частицы в неоднородной среде был рассмотрен совместно В.Л.Гинзбургом и Франком. Их совместная работа началась еще в годы Отечественной войны, а результат ее был опубликован в «Журнале экспериментальной и теоретической физики» (ЖЭТФ) в 1946 г. под заглавием «Излучение равномерно движущегося электрона, возникающее при его переходе из одной среды в другую». Рассматривались две разные среды (с различными значениями диэлектрической проницаемости), разделенные плоской границей. Заряженная частица двигалась равномерно в одной из сред по направлению к границе, пересекала границу раздела по нормали и двигалась дальше, уже во второй среде. Оказалось, что такое пересечение границы между двумя средами сопровождается излучением электромагнитных волн. Авторы назвали это излучение переходным. В работе были определены поля по обе стороны границы и подсчитаны потери энергии на излучение

назад, в ту среду, где электрон двигался первоначально.

У переходного излучения и у излучения Вавилова—Черенкова оказались разные судьбы. Это замечание относится к первым годам развития. Уже было сказано выше, что излучение Вавилова—Черенкова после своего открытия несколько лет ожидало теоретического объяснения. В противоположность этому переходное излучение было сначала предсказано теоретически, а обнаружено на опыте двенадцать лет спустя. В дальнейшем теория переходного излучения не только способствовала развитию наших теоретических представлений относительно прохождения заряженной частицы через вещество, но также позволила осуществить важные применения в физике высоких энергий. Оказалось возможным регистрировать быстрые заряженные частицы по испускаемому ими переходному излучению. Счетчики на переходном излучении теперь применяются во всех центрах по физике высоких энергий.

Большой вклад в развитие теории и приложений переходного излучения внесли ученые Ереванского физического института (ЕрФИ). До развала Советского Союза этот институт лидировал в развитии теории рентгеновского переходного излучения, в создании счетчиков на переходном излучении. Состоялось несколько международных симпозиумов, посвященных теории и приложениям этого явления. В последние годы международные симпозиумы по взаимодействию быстрых частиц с веществом регулярно проводились по инициативе Томского политехнического института. На этих симпозиумах доклады и обсуждения, посвященные переходному излучению, занимают важное место. Исследование разных сторон переходного излучения проводится также в Московском государственном универ-

ситете, Белгородском университете, в Физическом институте РАН.

Отметим еще, что переходное излучение используется также для генерации мощного электромагнитного излучения интенсивными пучками заряженных частиц.

* * *

Выше было сказано о роли Сергея Ивановича Вавилова в открытии эффекта, который носит его имя наряду с именем Павла Алексеевича Черенкова. Роль его была велика и как участника постоянных обсуждений, которые способствовали пониманию и в конечном счете привели к созданию теории Тамма—Франка.

Не меньшую роль сыграл Вавилов и на всех этапах научной жизни Франка. Студент Московского университета, Илья Михайлович Франк выполнял дипломную работу под научным руководством Сергея Ивановича. После окончания университета Франк работал научным сотрудником Государственного оптического института (ГОИ), где Вавилов был заместителем директора по науке. Когда Вавилов был назначен директором ФИАНа, он пригласил Франка в качестве сотрудника лаборатории атомного ядра. Этот факт тоже заслуживает особого внимания.

Немногие в те годы могли оценить перспективы развития ядерной физики, которая только начинала свое бурное развитие. А Вавилов предвидел это бурное развитие. Его специальностью была физическая оптика, но он в то время предлагал своим ученикам темы, пограничные с ядерной физикой. Вот и тема исследования, которое проводил его аспирант Черенков, была «Свечение растворов ураниловых солей под действием гамма-излучения радия». И в создаваемом Вавиловым институте с самого начала была предусмотрена лаборатория атомного ядра. Его заботы по

развитию ядерной физики окупилась сторицей. В годы после Отечественной войны, когда перед страной встала задача создания ядерного оружия, созданный им ФИАН сыграл не последнюю роль в решении этой задачи.

Вавилов был человеком высокой культуры и высокой порядочности. Мандельштам как-то сказал, что очень порядочных людей не бывает: либо человек порядочный, либо нет. Но самого Мандельштама хочется назвать очень порядочным человеком. И таким же был Сергей Иванович Вавилов.

Франк ценил Вавилова и как учителя, и как заботливого руководителя, и как человека высокой культуры, в том числе и высокой культуры поведения. Он относился к Вавилову с любовью, уважением, благодарностью за науку и за чисто человеческое внимание и расположение.

Когда Сергей Иванович скончался, Франк много сил потратил на то, чтобы собрать и издать сборник воспоминаний о нем. Он стал его редактором. Сборник вышел тремя изданиями. В третье Илья Михайлович включил несколько новых, ранее не публиковавшихся статей, написанных людьми, близко знавшими Вавилова. Свою вводную статью Илья Михайлович очень сильно дополнил для третьего издания, так что объем ее удвоился. Много из того, что он добавил в свою статью, просто нельзя было написать раньше, в предыдущих изданиях (первое издание вышло в 1979 г., второе — в 1981-м).

Во время подготовки к печати третьего издания Франк тяжело болел. Он сильно опасался, что не успеет закончить редактирование книги. Когда подготовка к печати была завершена, он сказал родным:

— Теперь можно и помирать.

И спустя несколько дней умер. Книга вышла из печати вскоре после его кончины.

* * *

Илья Михайлович был очень сдержанный и вежливый человек. Сдержанность его и вежливость доходили до такой степени, что можно было удивляться.

Однажды в Москву приехал из Еревана мой друг Григорий Маркарович Гарибян, известный физик, который занимался теорией переходного излучения. Он получил новые результаты и рассказал мне. Я ему посоветовал:

— Гриша, съезди в Дубну к Илье Михайловичу Франку, расскажи ему. Это ему будет очень интересно.

Гриша отправился в Дубну и вернулся оттуда счастливый. Он рассказал, что Илья Михайлович выслушал его очень благожелательно, выразил полное согласие с его результатами. Спустя несколько недель я встретил Илью Михайловича в ФИАНе. Разговор зашел о результате, полученном Гарибяном.

— Помилуйте, что же там нового? — сказал Илья Михайлович. — Это все мне давно известно. Я ему говорю: «Как хорошо, что мы с вами думаем одинаково». А он не понимает!

* * *

Приведу еще один случай, из которого видно, какой Илья Михайлович был цивилизованный человек.

Где-то в середине 70-х годов мне прислали на отзыв заявку на открытие. Тогда существовал такой порядок, что человек, совершивший открытие, получал специальный диплом, в котором было написано: такой-то и такой-то совершил такое-то и такое-то открытие. Это было чисто бюрократическое мероприятие. Что такое открытие в науке? У Ньютона не было диплома на открытие. И у Эйнштейна не было. А тут человек мог обратиться в Комитет по делам изобретений и открытий с заявлением: так и так, я открыл то-то и то-то, прошу выдать мне диплом на открытие.

Одно из таких заявлений мне и прислали на отзыв.

Прочитав заявку, я увидел, что открытие, на которое претендовал автор, в значительной мере (наполовину или больше) было определено работами Ильи Михайловича Франка. Я об этом и написал в своем отзыве.

Не знаю, как дальше пошло дело о присуждении диплома на открытие. Вполне возможно, что по заявке было принято положительное решение, и заявитель получил-таки диплом на открытие.

Спустя года полтора после этого случая я рассказал о нем Илье Михайловичу.

— Я знаю, — сказал Илья Михайлович, — он мне сообщил, что хочет подать заявку на открытие. А я ему сказал: «Подайте». Но ведь он мог понять, что это мне неприятно.

О судьбе заявки Илья Михайлович тоже ничего не знал.

* * *

Принято ругать плохие работы по физике — ошибочные, содержащие неаккуратные измерения или неверные физические идеи. Илья Михайлович придерживался другого мнения. Он говорил:

— Считается, что плохие работы вредят развитию физики. Я с этим не могу согласиться. Плохие работы никакого влияния на развитие физики не оказывают. Их быстро забывают.

* * *

Было в жизни Ильи Михайловича Франка событие, которое доставило ему годы горьких переживаний.

29 августа 1973 г. в газете «Правда» — в главной газете страны — было напечатано письмо с осуждением общественной деятельности академика Андрея Дмитриевича Сахарова. Под письмом стояли подписи сорока академиков, и в их числе была подпись Франка.

А.Д.Сахаров в 1969 г. написал свою знаменитую статью «О мирном сосуществовании,

прогрессе и интеллектуальной свободе». В этой статье он размышлял о путях развития Советского Союза и мирового сообщества, обсуждал необходимые условия для нормального развития страны. Его соображения во многом противоречили официальной идеологии, которой придерживалось руководство Советского Союза. Идеология эта оставалась неизменной вплоть до развала советского государства, она, собственно, и привела к развалу. Мысли, высказанные Андреем Дмитриевичем, в нашей стране замалчивались или искажались, а сам он стал объектом травли на страницах газет и журналов. Одним из элементов этой травли и стало письмо сорока академиков.

Из сорока академиков, подписавших письмо, несомненно, были люди, сделавшие это по убеждению. Были и такие, на которых оказывалось давление, которые по своей воле не подписали бы письмо. Но какое давление могло оказать академическое начальство на Илью Михайловича Франка, всемирно известного ученого, нобелевского лауреата?

У нас, в ФИАНе, рассказывали такую историю. Приходит Андрей Дмитриевич Сахаров в институт 29 августа и видит: в вестибюле вывешена фотокопия письма сорока академиков. Подошел к письму, прочитал, дошел до подписей. Изучил их и говорит:

— Илья Михайлович Франк подписал это письмо. Хороший человек, я ему сочувствую. А вот Виталий Лазаревич Гинзбург не подписал. Хороший человек, я ему сочувствую.

Те, кто отказался подписать письмо, ждали неприятностей от начальства. Те, кто подписал (по крайней мере некоторые из них), испытывали укоры совести. Андрей Дмитриевич сочувствовал и тем и другим.

Примерно через месяц после того, как появилось письмо сорока, в ФИАНе было составлено «Заявление ученых ФИАН», в котором общественная деятельность Сахарова осуждалась. Сотрудники Теоретического отдела ФИАН (отдела, в котором работал Сахаров) отказались подписывать это письмо. Когда я рассказал об этом Илье Михайловичу Франку, он сказал:

— И правильно сделали.

Значит, он сочувствовал тем, кто отказался.

Я его ни о чем не расспрашивал. Через несколько лет он мне рассказал, при каких обстоятельствах он поставил свою подпись под письмом сорока. Его пригласил президент Академии наук и предложил подписать письмо. Илья Михайлович отказывался, президент уговаривал подписать. Это длилось довольно долго (если не ошибаюсь, Илья Михайлович сказал: два часа).

— А потом, — сказал Илья Михайлович, — президент перестал меня уговаривать. Он достал из стола листок с текстом и уже с подписями и дал мне этот листок. Я увидел среди прочих подписи таких людей, к которым относился с большим уважением. И подумал: раз такие люди подписали это письмо, значит, я неправ, что упорствую. И подписал, а теперь простить себе не могу.

3 января 1990 г. была напечатана статья Франка под заглави-

ем «Истина всегда берет верх». Там были такие строки:

«Недавно мы пережили тяжелое потрясение. Ушел из жизни великий борец за справедливость А.Д.Сахаров, и боль утраты еще не утихла. Никто, конечно, не забывает о тех гонениях, которым он недавно подвергался. Вина за них ложится и на Академию наук СССР. Я не был среди тех, кто осуждал присуждение ему Нобелевской премии мира, считая эту награду совершенно заслуженной. Однако в том, что опубликовала Академия наук против Сахарова, есть и моя доля вины. Я уже много лет как ее осознал и никогда об этом не забываю. Вместе с Д.С.Лихачевым говорю не только “прощай”, но и “прости”».

Из сорока академиков, подписавших письмо против Сахарова, мне известны только двое людей, которые принесли свои извинения Андрею Дмитриевичу. Это — Илья Михайлович Франк (его слова приведены выше) и Сергей Васильевич Вонсовский. Вонсовский покаялся на Общем собрании Академии наук, в присутствии Сахарова.

* * *

Время, когда жил и работал Илья Михайлович Франк, было временем бурного развития физики в нашей стране. Это время сменилось временем развала и застоя. Предстоит восстановить многое, что было утрачено за последние десятилетия. Восстановить и пойти дальше. И память о тех, кто ранее прокладывал пути к знанию, восприятие их опыта и достижений помогут двигаться быстрее. ■

Литература

1. Франк И.М. Воспоминания о Тамме. Изд. 3-е, доп. М., 1995. С.347.
2. Франк И.М. Излучение Вавилова—Черенкова. Вопросы теории. М., 1988.

История одной семьи

А.И.Франк,

доктор физико-математических наук

Объединенный институт ядерных исследований

Дубна

21 декабря 1978 г. в Ленинградском политехническом институте отмечалось столетие со дня рождения моего деда Михаила Людвиговича Франка, долго руководившего там кафедрой математики. Через некоторое время Илья Михайлович написал статью о своем отце. К моменту работы над ней и относится запомнившийся мне короткий разговор. «Знаешь, — сказал Илья Михайлович, — в молодости кажется, что сто лет — это почти бесконечность. Теперь же, когда исполняется сто лет со дня рождения моего отца, мне кажется, что век — это нечто очень короткое». Тогда мне трудно было поверить, что когда-нибудь и я буду рассуждать так же.

Спустя годы после упомянутого разговора мысль о краткости века уже не кажется мне парадоксальной. Однако в течение довольно долгого времени мне было очень трудно заставить себя написать что-либо об отце. Поэтому сборник, посвященный 90-летию Ильи Михайловича [1], в составлении которого я принимал некоторое участие, вышел без моих воспоминаний. Пять лет спустя я решил выступить с докладом об истории семьи Франков на семинаре, посвященном 95-летию моего отца и состоявшемся в Дубне — в лаборатории, носящей его имя. Этот доклад и лег в основу настоящей статьи.

Первым из известных мне представителей нашей фамилии

был Людвиг Семенович Франк (1844—1882) — дед Ильи Михайловича. Родился он в Польше, точнее, в Виленском крае (сегодняшняя Литва). Известно, что он поступил в Виленский университет, но польское восстание 1863 г. прервало его учебу. В то время в окрестных лесах скрывалось множество повстанцев, которые привлекали к себе внимание городской молодежи. Видимо, поэтому отец Людвиг отправил его в Москву, где тот поступил на медицинский факультет Московского университета и в 1872 г. получил диплом врача. Он служил в Департаменте здравоохранения Министерства внутренних дел. Во время русско-турецкой войны 1877 г. Людвиг Семенович был военным врачом. За доблесть, проявленную при спасении раненых, он получил титул личного дворянина и орден Св.Станислава 3-й степени. Видимо, заслуги его действительно были выдающимися, поскольку присвоение дворянского звания еврею было делом не слишком частым, а случай награждения таким орденом был вообще, насколько известно, единственным. Особенность «жалованного», или личного дворянства состояла в том, что этот титул не наследовался. Дети жалованных дворян носили титул «почетный гражданин».

Незадолго до войны, в 1874 (или 75-м) году Людвиг Семенович женился на Розалии Моисеевне Россиянской, которая родила ему трех детей: Софью, Семена (1877) и Михаила (1878). Младший из детей Михаил Лю-

двигович Франк — отец Ильи Михайловича и мой дед. Розалия Моисеевна происходила из довольно зажиточной семьи, переехавшей в начале 1860 гг. в Москву из Германии. Ее отец Моисей Миронович занимался часторговлей. Его имя упоминается в числе инициаторов открытия в Москве первой синагоги. Супруги Россиянские прожили долгую жизнь и, видимо, оказали довольно большое влияние на детей Франка, особенно после смерти в 1882 г. Людвиг Семеновича. Вероятно, именно им дети обязаны знанию с детства немецкого языка.

В 1891 г. Розалия Моисеевна с семьей переехала в Нижний Новгород и там вторично вышла замуж. Ее второй муж Василий Иванович Зак в молодости был близок к народникам, пережил арест и ссылку в Сибирь. Всю жизнь он придерживался довольно радикальных взглядов, и это обстоятельство в значительной степени повлияло на братьев. В этом браке родился еще один ребенок Розалии Моисеевны, впоследствии известный художник Лев Зак.

Дата смерти Розалии Моисеевны мне точно не известна, хотя имеются сведения, что умерла она около 1908 г. Думаю, что похоронена она в Москве, на Дорогомиловском еврейском кладбище, ныне не существующем. Дело в том, что в 1947 г. наша семья короткое время жила в новом доме на Можайском шоссе (ныне д.23 по Кутузовскому проспекту). Проспект тогда только строился, и его четная сторона, прилегаю-



Людвиг Семенович Франк
(1844—1882).

щая к берегу Москвы-реки, пустовала. Помню, что мы с родителями ходили туда гулять. Детские воспоминания сохранили образ старого парка. Мне кажется, что в связи с этим местом отец говорил что-то о могиле своей бабушки. Впрочем, я могу и ошибаться. Но теперь мне известно, что именно там было старинное еврейское кладбище — первое в Москве. Вскоре на этом месте выросли дома.

Надо сказать, что и Василий Иванович, и Розалия Моисеевна были людьми высокообразованными, и дети также получили прекрасное и, можно сказать, классическое образование. Оба учились в гимназии, а Семен еще до гимназии учился в Лазаревском институте восточных языков в Москве. Оба владели несколькими языками, в том числе латынью и греческим. Семен Людвигович был прекрасным пианистом. Филипп Бубайер — биограф Семена — отмечает, что «в известном смысле дети получили не специфически русское или еврейское, а европейское образование». Этому способствовало и «немецкое» происхождение Розалии Моисеевны. Сохранились фотографии Михаила Людвиговича — гимна-

зиста. К этому времени относится знакомство Михаила Людвиговича с Павлом Михайловичем Грациановым, сыгравшее значительную роль в его жизни.

В то время в Нижнем кипела политическая жизнь. Через этот город обычно пролегал путь тех, кто возвращался из ссылки. Кроме того, с начала 90-х годов там целыми группами стали оседать студенты, высланные за участие в студенческих волнениях из Москвы и Петербурга. Павел Грацианов, гимназический товарищ Михаила Людвиговича, уже в 6-м классе участвовал в кружках революционной молодежи, а в дальнейшем стал профессиональным революционером, социал-демократом. В семейном архиве сохранилось фото группы молодых людей, по-видимому, участников одного из таких кружков. В центре группы Алексей Максимович Горький. Судя по тому месту, которое занимает там Павел (в первом ряду и непосредственно перед Горьким), роль его признавалось товарищами значительной. До 1917 г. Павел Грацианов 11 раз подвергался различным преследованиям и много лет провел в тюрьмах и ссылках. По семейному преданию (не вполне серьезному и рассказывавшемуся по секрету), из-за очередного ареста он не смог попасть на известный II съезд РСДРП в 1902 г., и его отсутствие на съезде якобы и дало фракции Ульянова перевес в один голос, благодаря чему она получила название «большевистской».

После окончания гимназии братья поступают в Московский университет: Семен в 1894 г. на юридический факультет, а Михаил в 1899 г. — на физико-математический. Павел начал учиться в Московском университете годом раньше. В феврале 1899 г. в Москве и Петербурге произошли массовые студенческие выступления. Все трое принимали в них участие. Семен был арестован на несколько дней, после чего в течение двух лет ему было запрещено прожи-

вать в столицах. Он вернулся в Нижний, а оттуда на два года уехал в Германию. Павел просидел в Таганской тюрьме 2,5 месяца и вернулся в университет. Впрочем, вскоре он снова был арестован, уже по другому делу. Неизвестно почему, но сильнее всех пострадал Михаил Людвигович. После двухмесячного пребывания в Бутырской тюрьме ему было запрещено учиться во всех университетах страны. Это обстоятельство самым сильным образом повлияло на его дальнейшую жизнь.

Гимназическая дружба Михаила Людвиговича с Павлом Грациановым имела и еще одно немаловажное следствие. Дело в том, что у Павла была сестра Лиза (Елизавета Михайловна Грацианова), ставшая предметом юношеской любви Михаила Людвиговича, перешедшей затем в семейный союз. Не имея возможности учиться в России, Михаил Людвигович осенью 1899 г. уезжает в Мюнхен. Насколько известно, в этом ему помогла сестра — Софья Животовская, бывшая замужем за весьма состоятельным человеком. Михаил Людвигович поступает в Баварскую техническую школу (ныне — Технический университет Мюнхена). В 1901 или 1902 г. к нему приезжает Елизавета Михайловна, и в 1902 г. они венчаются в православной церкви в Мюнхене*.

Об отце Елизаветы Михайловны мне ничего не известно, кроме его имени: Михаил Яковлевич. Илья Михайлович писал, что он был служащим. Однако на фотографии, которую молодые послали из Мюнхена в Нижний, значится: «Их высокоблагородиям г-дам Грациановым». Такое обращение было принято по отношению к чиновникам 6—8 классов. Мама Елизаветы Михайловны Ольга Петровна, урожденная Красовская, происходила из

* В 1973 г. Илья Михайлович был в командировке в Мюнхене и разыскал эту церковь. К его удивлению и радости, в церковной книге сохранилась запись о венчании его родителей.

духовной семьи. Удивительным образом в семейном архиве сохранилось фото родителей Ольги Петровны и книжка «Поучения для простаго народа», написанная дедом Елизаветы Михайловны, священником Петром Макаровичем Красовским.

В 1904 г. у Елизаветы Михайловны и Михаила Людвиговича родился сын Глеб*. В этом же году Михаил Людвигович получил в Мюнхене диплом инженера-машиностроителя, и семья вернулась в Россию. Четырьмя годами позже, 23 (10) октября 1908 г. в семье появился второй ребенок — Илья.

В этот период семья испытывает острую нехватку средств. Дело в том, что полученные за рубежом дипломы считались в России недействительными, и Михаилу Людвиговичу не разрешалось преподавать в высшей школе. В течение нескольких лет он перебивался случайными заработками, затем преподавал в средних учебных заведениях, в частности на курсах пожарных техников. В 1907 г. он записывается в Петербургский университет, откуда его довольно скоро исключают, поскольку у него не было, да и не могло быть, свидетельства о благонадежности. Только в 1912 и 1913 гг. ему удается сдать экстерном экзамены в Юрьевском (Тартуском) университете, единственном в стране, где такого свидетельства не требовалось. Получив, наконец, долгожданный диплом (через 13 лет после начала учебы в Москве), он находит более или менее достойную работу, став приват-доцентом знаменитого Политехнического института в Петербурге. Вероятно, впервые у семьи появилось ощущение, что жизнь, наконец, наладилась.

В тот же период Елизавета Михайловна решает тоже получить профессию. Возможно, это было следствием отсутствия по-



Сыновья Людвиг Семеновича и Розалии Моисеевны: Семен (слева) и Михаил.

стоянных заработков у Михаила Людвиговича, а, может быть, просто в силу ее энергичного характера. Но так или иначе она, к тому времени мать двоих детей, оканчивает курсы сестер милосердия, а потом и Женский медицинский институт. Таким образом, после 1913 г. у нее тоже есть работа. В этот относительно короткий период устроенной жизни семья живет так, как, вероятно, многие семьи того же круга. Работают, лето проводят на даче.

Приведу здесь отрывки из воспоминаний Ильи Михайловича, относящиеся к этому времени. «Мне очень хорошо памятна наша квартира в Петербурге на Лицейской улице (теперь улица Рентгена), где мы с родителями жили много лет до 1917 г. Как-то уже в недавние годы [написано в 1979—1980 гг. — А.Ф.] я безошибочно нашел ее. Теперь это дом 13 или 15 в угловом (или почти угловом) доме с улицей Льва Толстого. Я легко мог бы и теперь нарисовать план нашей квартиры. Как я понимаю, она была очень скромной — с печным отоплением, керосиновым освещением (уже на моей памяти провели электричество). Всего

же комнат было пять: кабинет отца, столовая, спальня родителей, детская и комната бабушки. Была еще каморка около кухни, где могла жить прислуга. Думаю, и эта небогатая квартира оставляла мало свободных средств у отца, преподавательский заработок которого был единственным средством существования семьи. Обстановка квартиры также соответствовала небогатым средствам семьи.

Отец, несмотря на занятость, уделял нам много внимания. Он заботился о наших игрушках и часто о том, чтобы игра была занимательна и чему-то помогала научиться. Дорогих игрушек никогда не было, и не потому, что средства семьи были скромными. Это был стиль жизни. У нас были, конечно, в большом количестве обычные кубики, из которых строились дома, замки и крепости. Были и оловянные солдатки, причем под руководством отца мы иногда изготавливали сколько-то из них сами, наливая легкоплавкий металл в формочки. Не обошлось и без игрушечных пушек с пистонами. Но были и умные занятия: выпиливание лобзиком, вырезание из бумаги, переводные

* Глеб Михайлович Франк родился 24 мая (11 мая по старому стилю) в Нижнем Новгороде, где жили родители Елизаветы Михайловны.



Михаил Людвигович Франк, ученик 8-го класса Нижегородской гимназии. Сидит за первой партой слева, около учителя. 1897—1898 учебный год.

картинки, хитроумные карточные домики и даже резьба по дереву. Памятна и сохранившаяся до сих пор французская книга «Tom Tit», содержащая то, что теперь называют занимательной физикой. Многие из нее под руководством отца было сделано. Однако не надо думать, что отец занимался с нами каждодневно.

Каникулы семья проводила на даче, обычно где-нибудь не очень далеко от Петербурга, главным образом в Финляндии. Что касается родственных связей, они не были очень тесными. Все же мы бывали в гостях у моего дяди Семена Людвиговича Франка, у которого были два сына, Витя и Алеша. Стар-

ший из них, Витя, был немного моложе меня [на самом деле они были почти ровесниками. — А.Ф.]. Иногда они бывали у нас. Вероятно, папа виделся с братом чаще, но я об этом не знаю. Особенно трудно отцу жилось в первые годы после рождения Глеба (1904—1906 гг.), когда у него не было обеспеченного заработка. Для нас с Глебом связи с Семеном Людвиговичем, Софьей Людвиговной и с их семьями оборвались после 1917 г., и о них сохранились только смутные воспоминания.

Ближе мы знали младшего брата папы, Льва Васильевича Зака. Насколько я помню, папа очень любил дядю Леву, ставше-

го талантливым художником. Из родственников наиболее близкие отношения у нас были с братом мамы Павлом Михайловичем Грациановым» [2].

Прерывая на этом цитирование воспоминаний Ильи Михайловича, я хочу коротко остановиться на судьбе Семена Людвиговича. Подробному описанию его жизни посвящена книга Ф. Буббайера [3]. В 90-х годах он серьезно увлекся марксизмом и активно участвовал в политической жизни. Однако после революции 1905 г. разочаровался в политической деятельности и все больше и больше сосредоточивался на чисто творческой работе. В 1908 г. он женился на Татьяне Сергеевне Барцовой. Участие статьей «Этика нигилизма» в сборнике «Вехи» принесло Семену Людвиговичу большую известность, хотя значительная часть радикальной оппозиции весьма критически, если не враждебно, встретила появление сборника. А книга «Предмет знания» принесла еще и формальный успех — магистерскую степень. В последующие годы Семен Людвигович работал над одним из своих наиболее знаменитых произведений — «Душа человека».

Несмотря на разъезды и переезды, братья Семен и Михаил, несомненно, поддерживали достаточно тесные отношения. В семейном архиве сохранилось фото, присланное Семеном в Россию. Семен Людвигович и Татьяна Сергеевна запечатлены на балконе дома в Мюнхене зимой 1913—1914 гг.* На обороте письма: «Дорогие Франки, — пишут они (не надо удивляться, есть ведь еще и Заки и Животовские), — шлем Вам наш свет(лый) привет. Как Вам нравится наш домик и мы? Детишки гуляли — а потому и не сняты! Михаил, что мальчики? Спасибо

* Такая же открытка имеется в архиве дочери С.Л. Франка Натальи Семеновны. Подпись на ней позволяет установить дату и место. Я благодарен сыну Н.С., Пьеру Скореру, приславшему мне копию этой открытки.

за память о моей дочушке! Ребятки здоровы и т.д.». По тональности записки видно, что она одна из многих и адресаты хорошо осведомлены о жизни отправителей.

Но все это до 1917 г. Что касается дальнейшей судьбы Семена Людвиговича, то здесь я обращусь к кратким воспоминаниям Татьяны Сергеевны.

«В 1917 году разражается революция, которая очень быстро превращается в большевизм. Семену Людвиговичу временным правительством предложено организовать историко-филологический факультет в Саратове, мы решаем покинуть Петербург. Но в Саратове настигает нас большевизм и вместе с ним голод; пришлось, ради куска хлеба для детей, искать прибежище в немецких колониях, которые еще не были обобраны большевиками... Мы переменили не одну колонию и под конец нам пришлось вернуться в Саратов, так как в колониях нам угрожали и арест, и такой же голод. В этом же году рождается младший сын Василий. Пережив лето в Саратове, осенью 1921 года Семен Людвигович решает переезжать в Москву. Прожили зиму в Москве, в холоде и голоде, в невероятной тесноте, в коммунальной квартире. Летом устроились в деревне, где Семен Людвигович был арестован, аресты были произведены среди крупных ученых и мыслителей. В тюрьме эта группа пробыла несколько дней. Их выпустили под расписку с обязательством покинуть родину без права возвращения» [4].

А дальше был известный «философский пароход» и выезд в Германию с советским паспортом, в котором стоял штамп с отметкой о запрете въезда в Россию. К моменту этой вынужденной эмиграции в семье было четверо детей: Виктор родился в 1909 г., Алексей — в 1910-м, Наталья — в 1912-м и Василий — в 1920-м. Родившись в России, все они большую часть жизни прожили в Европе, но навсегда остались русскими. К сожалению,



Михаил Людвигович и Елизавета Михайловна в Мюнхене. 1902 г.
Адрес на обороте: «Их Высокоблагородиям Г-дам Грациановым.
Нижний Новгород. Rusland».

никого из них уже нет в живых. Однако Наталья Семеновна и Василий Семенович смогли в конце жизни побывать на родине. В один из своих приездов в начале 90-х годов Наталья Семеновна говорила мне, что хорошо помнит, как именно происходил их отъезд. Кстати, по ее словам, пароходов было два.

В последующие годы С.Л.Франк с семьей жил в Германии и много работал. К этому времени относится выход ряда книг, выдвинувших его в число философов и мыслителей мирового значения. Положение его как эмигранта, нелегкое с самого начала, резко осложнилось с приходом к власти нацистов.

В это время, едва ли не впервые в его в жизни, его еврейское происхождение оказалось не просто фактом биографии, а обстоятельством, от которого зависела сама жизнь. Поскольку у него был паспорт, выданный советскими властями, над ним нависла угроза депортации в Советский Союз. Пометка о запрете въезда в СССР для нацистов значения не имела. С большим трудом, через друзей и знакомых, удалось получить французский паспорт, и в 1933 г. он и Татьяна Сергеевна отправились во вторичную эмиграцию. Вскоре началась война, все трудности которой они пережили в Южной Франции, да еще



Татьяна Сергеевна (урожденная Барцева) и Семен Людвигович Франки. Начало 1900-х.



Дети Семена Людвиговича и Татьяны Сергеевны: Алексей, Василий, Наталья и Виктор.

будучи отрезанными от детей, трое из которых оказались к тому времени в Англии. Лишь в 1945 г. они переехали в Англию к дочери Наталье, которая во время войны потеряла своего мужа-летчика. Последнюю свою книгу Семен Людвигович написал уже в Англии. Он умер в 1950 г.

Думая сегодня о событиях 1922 г., ясно осознаешь, каким существенным образом они по-

влиали на дальнейшую жизнь обеих ветвей этой надолго (фактически навсегда) разделенной семьи*. Для тех, кто остался в России, все это тоже не могло пройти бесследно. Очевидно, что в глазах властей как

* В июле 2005 г. внук Семена Людвиговича Сергей Васильевич Франк, празднуя свое 50-летие, собрал значительную часть большой семьи Франков в своем доме в Германии. Там снова встретились потомки Семена и Михаила Франков.

Михаил Людвигович, так и его сыновья (оба впоследствии академики) стали братом и племянниками врага советской власти, выдворенного из СССР по инициативе самого Ленина.

Но вернемся к семье Михаила Людвиговича. «События Февральской революции, — вспоминает Илья Михайлович, — хорошо памяты. Помню, в разгар ее мы с отцом шли по Лицейской улице и дошли до угла Каменноостровского проспекта. По проспекту двигались машины, облепленные солдатами с винтовками. Какой-то случайный выстрел, и началась беспорядочная стрельба, как я полагаю, в воздух. Мы укрылись во дворе дома около угла улицы.

Помню первый послереволюционный (после Февральской революции) Первомай в Петрограде. В памяти остались колонны демонстрантов, идущие по Каменноостровскому проспекту в сторону Марсова поля. Помню Троицкий мост, который раскачивался в такт марширующей по нему под музыку колонне демонстрантов. В другой раз, проезжая по Каменноостровскому на трамвае, мы попали в затор. Перед особняком Кшесинской стояла большая толпа, а на балконе мы издали видели фигуру человека, видимо, произносящего речь. С большого расстояния она казалась крошечной. Отец объяснил нам, что это Ленин» [2].

Летом 1917 г. Елизавета Михайловна едет с детьми в Крым. Перед этим тяжело болел Глеб, да и у нее самой не все было хорошо со здоровьем. Вероятно, и Михаилу Людвиговичу было спокойнее знать, что семья вдали от Петрограда. Скоро, по-видимому, стало ясно, что осень 1917 г. — не лучшее время для возвращения в Петроград, и семья задержалась в Крыму, как потом окажется, на долгие годы. Летом 1918 г., понимая, что может оказаться совершенно разделенным с семьей, Михаил Людвигович испрашивает отпуск в Политехе и, вероятно, не без

труда, добирается до Крыма. Туда же приезжают брат Елизаветы Михайловны Павел Михайлович и ее мама Ольга Сергеевна. На крымских фотографиях рядом с ними мы находим и Льва Зака. В одном из воспоминаний Илья Михайлович упоминает, что там же был и Василий Иванович Зак. Таким образом, в Крыму оказывается вся семья.

Встает вопрос, как и чем жить. Елизавете Михайловне легче, она врач, и для нее находится работа (и жилье!) в детском санатории им.А.А.Боброва в Алушке. Михаила Львовича берут на временную работу инженером в Управлении по проектированию орошения Голодной Степи, почему-то обосновавшемся также в Алушке. Дети начинают ходить в школу в Ялте (сначала это было коммерческое училище, потом, уже в советское время, школа называлась как-то иначе). Живя в Ялте, они нередко ходили пешком из Ялты в Алушку и обратно.

Несколько фотографий, сохранившихся в семейном архиве, иллюстрируют этот крымский период. На них мы находим семью в Алушке и Бобровский санаторий. Благодаря надписи на снимке, мы даже можем найти балкон их комнаты*.

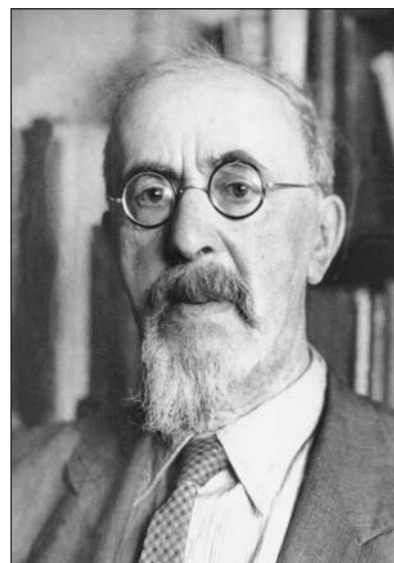
В 1918 г. в Симферополе образовался Таврический университет, и Михаил Львович начал в нем преподавать. По окончании школы в Симферополе переезжают и дети: сначала Глеб в 1921 г., потом и Илья в 1925. Глеб учился на агрономическом факультете и одновременно работал на кафедре А.Г.Гурвича. Илья формально не был студентом, но слушал лекции по физике и математике. Принимал он участие и в работе существовавшего при университете математического общества, делал там доклад, впоследствии опубликованный.

* Директором санатория был известный врач-климатолог Петр Васильевич Изергин. Воспоминания о нем и о санатории им.Боброва, написанные его невесткой С.Н.Изергиной, имеются в нашем семейном архиве.

ванный. Это была его первая научная работа.

История Таврического университета заслуживает описания, более подробного, чем это возможно сделать в рамках настоящей статьи. Много материала на эту тему содержится в книге З.П.Грибовой, посвященной биографии Глеба Михайловича [5] и в книге [6]. Здесь же я приведу только очень короткие сведения об этом замечательном учреждении. Университет начал свою работу в Симферополе в октябре 1918 г., когда правителем Крыма был барон П.Н.Врангель. Первым ректором университета был Роман Иванович Гельвиг, а вторым, после смерти Гельвига, Владимир Иванович Вернадский. В университете было пять факультетов: историко-филологический, физико-математический, юридический, медицинский и агрономический. Преподавали академики В.И.Палладин и Н.И.Андрусов, ряд профессоров Петроградского, Московского и Пермского университетов. Среди них Я.И.Френкель, И.Е.Тамм, Т.А.Афанасьева-Эренфест, Н.М.Крылов, М.Л.Франк, А.Г.Гурвич и Н.В.Оглоблин. Из ученых, студенческие годы которых связаны с Таврическим университетом, назову Г.М.Франка, И.М.Франка, К.Д.Синельникова, И.В.Курчатова, К.И.Щелкина, И.А.Лебединского.

Сегодня уже трудно представить себе реальные условия, в которых протекала жизнь в Крыму в описываемое время. Яркой иллюстрацией может служить документ, приведенный в книге Грибовой. «Сотрудники университета доведены до такой степени нищеты, при которой уже начинается вымирание определенной группы или неизбежная необходимость прекращения научной работы... Труд профессора оплачивается в 30—40 раз ниже, чем служба любого английского солдата. Профессора университета, чтобы не умереть с голоду, вынуждены были продавать последние вещи, брались за любую дополни-



Семен Львович Франк в последние годы жизни.

тельную работу, пилили дрова, шили сапоги и т.д. Свыше 20 профессоров и преподавателей совершенно лишены крова. Не лучше было и положение студентов. Многие из них систематически голодали. На весь университет было 30 стипендий».

Но так или иначе, крымский период семьи подошел к концу. В 1925 г. вслед за Гурвичем уезжает в Москву Глеб, а годом позже покидает Крым и Илья. Он уехал в Москву и поступил там на физико-математический факультет МГУ. Михаил Львович оставался в Симферополе до 1930 г., когда, благодаря ходатайству Якова Ильича Френкеля, с которым они были дружны, и усилиям Абрама Федоровича Иоффе, он получил приглашение возглавить кафедру математики в Ленинградском политехническом институте. Главой этой кафедры он оставался вплоть до своего отъезда в эвакуацию в 1941 г., из которой уже не вернулся.

Обратимся теперь к дальнейшей судьбе Глеба и Ильи. Переехав вслед за Гурвичем в Москву в 1925 г., Глеб продолжил работу под его руководством на кафедре гистологии медицинского факультета МГУ. Начав препара-



В Женском медицинском институте. Елизавета Михайловна Франк — на первом плане, сидит за столом. 1913 г.



В Алупке. 1918 г. Стоят: крайний справа — Михаил Людвигович. Рядом с ним Лев Зак. Сидят: Глеб, Илья на коленях у бабушки Ольги Петровны, Елизавета Михайловна.

тором, он вскоре поступил в аспирантуру. В 1929 г. он переехал в Ленинград, поступил в лабораторию Иоффе в Ленинградском физико-техническом институте, где проработал вплоть до 1930 г., заведя впоследствии собственной лабораторией. В 1931 г. Иоффе организует Физико-агрономический институт (ФАИ) и становится его директором. По его просьбе Глеб Михайлович переходит в ФАИ, где заведует сектором биофизики, а потом становится заместителем Абрама Федоровича. В 1933 г. он заведует лабораторией во Всесоюзном институте экспериментальной медицины (ВИЭМ), и в 1935 г. вместе с ВИЭМ переезжает в Москву. В том же году он получает степень доктора биологических наук. Очевидно, что научно-профессиональная карьера Глеба Михайловича складывалась на редкость успешно. Важные события происходили и в его личной жизни. В конце 20-х годов он женился на Милице Михайловне Курепиной, и в 1933 г. у них родился сын Михаил. Брак не был продолжительным. В 1937 г. вторая жена Глеба Михайловича Лидия Борисовна Прохорова родила ему дочь Анну.

Что касается Ильи Михайловича, то, как я уже упоминал, в 1926 г. он сдал экзамены в МГУ и поступил на физико-математический факультет. В семейном архиве сохранилась замечательная фотография, относящаяся к студенческому периоду жизни Ильи Михайловича. Мне кажется, это фото очень точно передает настроение студента, приехавшего из далекой провинции в большой и незнакомый ему город. Москва здесь пустынна. Кроме нескольких конных повозок на набережной и трамваев вдали у въезда на Большой Каменный мост, больше транспорта нет, да и пешеходов совсем немного. Живется этому студенту трудно. Нет сомнения, что с деньгами у него худо, да и ночевать особенно негде. Как вспоминал Илья Михайлович,

«я... в то время вообще не имел постоянного пристанища и относился к этому равнодушно: снимал угол, спал на диване в зубоврачебном кабинете, а одно время даже на столе читального зала детской библиотеки, когда она бывала закрыта».

Но, конечно, самое главное для него — это появившаяся возможность учиться, и не просто учиться, а в одном из самых известных университетов страны и у первоклассных учителей. В своих воспоминаниях Илья Михайлович пишет, что сразу же после его приезда в Москву отец познакомил его с И.Е.Таммом, с Г.С.Ландсбергом и Л.И.Мандельштамом. Точнее говоря, подчеркивает Илья Михайлович, «отец объяснил мне, что в отличие от него, исключенного с первого курса университета, мне посчастливилось, и я буду учиться у замечательных ученых — математиков и физиков» [7]. Учился он жадно и помимо лекционных курсов стремился попасть в физическую лабораторию. После того, как на первом курсе (а не на втором, как полагалось) он закончил общий студенческий практикум, Г.С.Ландсберг рекомендовал его С.И.Вавилу, набравшему студентов для постановки задач в специальном оптическом практикуме. В то время Ландсберг, Тамм и Вавилон были ближайшими сотрудниками Мандельштама. Таким образом, он попал в одну из лучших физических лабораторий того времени. Его первым непосредственным руководителем стал М.А.Леонтович, бывший в то время аспирантом. А через некоторое время Сергей Иванович Вавилон предложил ему продолжить работу непосредственно под его руководством. «Вскоре я понял, какая это была для меня удача», — вспоминал впоследствии Илья Михайлович. Так началось многолетнее сотрудничество и тесные личные отношения учителя и ученика.

Примерно два года спустя двух студентов-физиков, в том



Михаил Львович с сыновьями. Алупка. Около 1925 г.



Илья Михайлович в Москве. Примерно 1926 г.

числе и И.М.Франка, направили для прохождения студенческой практики в Ленинград, в Государственный оптический институт (ГОИ). По-видимому, работа в ГОИ была успешной, поскольку после окончания МГУ

в 1930 г. Илья Михайлович поступает в лабораторию А.Н.Теренина уже в качестве сотрудника.

Итак, в 1930 г. семья оказывается в Ленинграде. Михаил Львович заведует кафедрой в Политехническом институте.



С.И.Вавилов с группой студентов Московского университета. 1929—1930 гг. Сидят, слева от него: В.Антонов-Романовский, С.И.Драбкина; справа: А.Г.Морозова. Стоят: И.М.Франк, Д.И.Блохинцев, И.П.Цирг, М.А.Марков, Л.Н.Кацауров, Н.М.Меланхолин.

Вскоре к нему приезжает и Елизавета Михайловна. Живут они в квартире на территории Политеха. И оба сына здесь. Глеб работает в Физико-техническом институте, а Илья — в ГОИ. Мне ничего неизвестно о том, где в те годы братья жили и как часто виделись. Думаю, что нередко. Однако этот период не был долгим. В 1934 г. постановлением правительства ряд ленинградских институтов переводится в Москву, и оба брата покидают Ленинград. Родители же остаются.

Что касается научной работы Ильи Михайловича в ГОИ, то сведения о ней скудны. Публикаций, относящихся к этому времени, немного. Но, по-видимому, результаты были существенными, поскольку в 1935 г. по итогам ра-

бот в ГОИ ему была присуждена докторская степень. Диссертация была представлена в виде рукописного доклада и, по-видимому, не сохранилась. Докторами наук братья становятся практически одновременно.

Работа в ГОИ продолжалась очень недолго. В 1934 г. Сергей Иванович настоял на переходе Ильи Михайловича в физический отдел Ленинградского физико-математического института им.В.А.Стеклова, которым Сергей Иванович руководил с 1932 г. Этот переход был сопряжен со сменой тематики, поскольку Вавилов поручил Илье Михайловичу заниматься не оптикой, а ядерной физикой. Вскоре физический отдел, преобразованный в Физический институт, переехал в Москву. С этого

момента началась история знаменитого вавиловского ФИАН.

Теперь мне хочется рассказать об одной не очень широко известной странице истории, тесно связанной с именами братьев Франков. Я имею в виду Эльбрусские комплексные экспедиции 1934—1938 гг. В воспоминаниях о брате Илья Михайлович писал: «Не знаю, как возникла у Глеба эта идея, но за год до Эльбрусской экспедиции, в 1933 г., он предложил организовать самостоятельную группу с научными целями для работы в горах Кавказа. В качестве базы был выбран туристический лагерь Дома ученых в Домбае, около Теберды. Еще в 1932 г. альпинистская группа, состоявшая из А.А.Смирнова, Г.Г.Неуimina и меня, жила там и совершила несколько восхождений. Таким образом, места были нам уже хорошо известны. Ленинградский дом ученых поддержал начинание Глеба и оказал нам помощь.

Нами предполагалось провести в горах измерения главным образом по физике атмосферы, которые было сравнительно просто осуществить. Неуимин и я спроектировали для этой экспедиции простой фотометр для регистрации УФ-радиации неба. Описание прибора, видимо, не сохранилось, так как наш отчет в Доме ученых, прошедший с большим успехом, был устным. Но если наша самостоятельная экспедиция не ставила перед собой широких научных задач, то интерес Глеба к исследованиям на больших высотах уже тогда был, несомненно, очень серьезным.

Естественно, что когда весной следующего, т.е. 1934-го года, была созвана Всесоюзная конференция по изучению стратосферы, Глеб не просто стал ее участником, но автором серьезного доклада, посвященного биологическому действию УФ-света. Интерес к проблеме действия ультрафиолета у него сохранился и в последующие годы.

Для предстоящей Эльбрусской экспедиции все это было

весьма полезным как в смысле некоторого опыта организации работы в горах, так и в смысле тематики исследований и понимания ее актуальности. Идею Глеба об организации в 1934 г. многоплановой научной экспедиции на Эльбрус активно поддержали А.Ф.Иоффе и С.И.Вавилов. Академия наук активно в этом участвовала, так как Академией наук я был утвержден ученым секретарем экспедиции.

Ряд институтов (по крайней мере 5) приняли участие в экспедиции. Начальником был назначен профессор Военно-электротехнической академии А.А.Яковлев, а его заместителем Глеб... Тематика была обширной. Я хотел бы отметить микробиологические исследования. Изучались изменения состава крови и ее динамика, функция дыхания, изменения вкусовых ощущений и т.д. Таким образом, это был первый шаг к комплексным исследованиям на больших высотах, ставших столь актуальными в связи с полетами тех лет в стратосфере. В свою очередь они подготовили и открыли путь современным исследованиям космоса» [2]. Думается, не будет большим преувеличением утверждать, что высокогорные исследования на Эльбрусе, проводившиеся под руководством Г.М.Франка, оказали существенное влияние на развитие авиационно-космической медицины в стране*.

Справедливо отмечая роль брата, Илья Михайлович скупно пишет о собственном участии. «В первый же год работы экспедиции в ней приняла участие группа ФИАН, состоявшая из Добротина, Черенкова и Франка. Мы провели тогда первые наблюдения космических лучей камерой Вильсона на различных высотах от 2000 м (Терскол) до 4300 м (Приют одиннадцати). Кроме того, по предложению С.И.Вавилова, вместе с группой

* Подробнее о результатах этих работ сказано в книге З.П.Грибовой [5].



Илья Михайлович с камерой Вильсона на крыше здания Президиума Академии наук. Ленинград. 1934 г.



Фредерик Жолио-Кюри и Ирен Кюри в лаборатории И.М.Франка в ФИАНе. Рядом с Ильей Михайловичем Л.В.Грошев.

ГОИ, состоявшей из А.А.Лебедева (впоследствии академика) и И.А.Хвостикова, мы занимались изучением свечения ночного неба. Условия работы, особенно для исследования космических лучей, тогда были еще чрезвычайно неблагоприятными. Работать для уменьшения радиоактивного фона пришлось прямо на льду ледника, притом

даже без палатки. В качестве источника света мы использовали Солнце, направляя его свет от зеркала гелиостата в камеру Вильсона. Тем не менее, камера Вильсона работала, и даже удавалось получать фотографии. Это было началом серии работ по изучению космических лучей, которые велись в Эльбрусской экспедиции в последующие



Илья Михайлович в годы эвакуации в Казань и Элла Абрамовна в 1948 г.



Глеб Михайлович в своем кабинете в Институте экспериментальной медицины. 1940-е годы.

годы главным образом В.И.Векслером и Н.А.Добротиним» [8].

По-видимому, участие группы И.М.Франка в работе экспедиции фактически положило начало высокогорным исследованиям космических лучей. В трудах Эльбрусской экспедиции 1934—1935 гг. опубликованы две тесно связанные работы по космическим лучам: «Наблюдение космических лучей с камерой Вильсона» (Н.Добротин, И.Франк и П.Черенков) и «Рабо-

та с камерой Вильсона в 1935 г.»* (В.Антонов-Романовский, Н.Григорьев и И.Франк).

Н.А.Добротин вспоминал позднее: «возвращалась наша группа из экспедиции уже не в Ленинград, а в Москву, куда ФИАН переехал без нас летом 1934 г. Первые месяцы после возвращения из экспедиции мы, так же

* Камера Вильсона с гелиостатом испытывалась в Ленинграде. В городских условиях оказалось удобным вести эту работу на крыше дома.

как и многие другие сотрудники, переехавшие из Ленинграда, разместились в общежитии, созданном в нескольких комнатах здания Института. В одной из комнат жили мы трое — Франк, Черенков и я, без семей пока. И лишь в начале 1935 г. мы трое получили общую коммунальную квартиру недалеко от Института, где прожили вместе около 20 лет» [9].

Воспоминания об Эльбрусской экспедиции были для Ильи Михайловича очень дороги. И тут соединялось несколько важных моментов. Конечно, работа, профессия, наука всегда были для него главной составляющей жизни. Думаю, очень важным для него было и то, что он занимался серьезным делом вместе со старшим братом. Но ведь были еще и горы, которые он так любил. Он бывал в горах и позже. Во время одной из таких поездок он познакомился с моей мамой Элой Абрамовной. Осталось много фотографий, сделанных во время отдыха на Кавказе. Он хорошо ходил и с гордостью вспоминал, что во время Эльбрусской экспедиции они с П.А.Черенковым поднялись в один день на обе вершины Эльбруса. Остались и вещественные воспоминания об этом времени. В мои студенческие годы я в течение многих лет ходил на лыжах и в туристические походы в его куртке-штормовке, сохранившейся от Эльбрусской экспедиции. А его ледоруб и сейчас хранится у меня дома.

Невозможно рассказать сколько-нибудь подробно о жизни братьев в рамках настоящей статьи. В какой-то степени это сделано в сборнике, посвященном Илье Михайловичу и готовящемся к печати в издательстве «Наука». Поэтому я прерываю свой рассказ на том, что в 1934 г. он вернулся в Москву и начал свою работу в Вавиловском ФИАНе. Впереди у него долгая и полная событий жизнь.

Тут, в ФИАНе, он снова встретится с бывшим сослуживцем своего отца по Таврическому

университету Игорем Евгеньевичем Таммом, и их имена прочно соединятся в истории науки. Продолжая вместе с Л.В.Грошевым работы с камерой Вильсона, Илья Михайлович одновременно будет вовлечен в работу Вавилова и Черенкова по изучению загадочного свечения. Здесь, в ФИАНе, он встретится со знаменитой «физической» парой Ирен и Фредериком Жолио-Кюри. Мы видим их всех на фото, сделанном в фиановской лаборатории, и, вероятно, можем угадать, что именно рассматривает Фредерик Жолио в стереоскоп. Ведь довольно большое число стереофотографий, сделанных с камерой Вильсона именно в это время, хранится в архиве Ильи Михайловича.

Как ни странно, но приезд супругов Жолио-Кюри в ФИАН оказался важным и совсем с иной точки зрения. Незадолго до того Илья Михайлович рассказал Тамму об экспериментах Черенкова в надежде заинтересовать его. А тут Вавилов, показывая гостю институт, решил познакомить его с этими же работами. Сама обстановка темной комнаты, в которой что-то от чего-то светится, произвела на Жолио неприятное впечатление. И в ответ на вопрос Тамма о его мнении он буркнул что-то о лучах Брандо — синониме научного шарлатанства. Неудивительно, что Тамм несколько охладел к этим работам. И пройдет еще много времени, прежде чем Илья Михайлович и Игорь Евгеньевич снова вернутся к обсуждению этого явления. Видимо, много заготовок было уже у Тамма и Франка, если за одну ночь они сумели вчерне сделать свою знаменитую работу, исписав ту школьную тетрадку, листы из которой попадут в воспоминания отца. А потом пройдет еще почти двадцать лет до Стокгольмского триумфа.

А до этого будет женитьба, война и эвакуация с сопутствующими холодом и недоеданием. Тут, в Казани, семья соберется вместе в последний раз.



В гостинице «Россия», 1968 г. Теперь оба брата — академики. Александр Ильич, Илья Михайлович, Глеб Михайлович и Анна Глебовна.

Фото Л.В.Сухова



Братья с женами в 1971 г.: Глеб Михайлович и Заруи Сааковна; Илья Михайлович и Марина Михайловна. Возможно, это последнее общее фото.

«В Казани мы жили порознь, и приехал Глеб туда не сразу. Лидия Борисовна с Асей (жена и дочь Г.М. — А.Ф.) уехали в Казань раньше, вместе со мной, с эшелонам ФИАНа, и жили там в небольшой комнате. Сначала у них была комната в квартире местной женщины-хирурга. Потом хирурга мобилизовали в армию, а Глеб Михайлович с семьей получил другую комнату. Виделись мы очень редко, потому что Глеб очень много

отсутствовал. В августе 1941 г. у меня родился сын Саша. Было трудно. Моя жена болела туберкулезом. А я разрывался на части между своей комнатенкой и комнатой родителей. Приходилось много работать. Было голодно, трудно с дровами и пропитанием. Я не умел обеспечить и родителей, и семью, хотя все время бегал куда-то из казанского кабинета, где работал. Жили очень тяжело, и многие свидетели моей казанской



Улица Франка в Дубне.

жизни говорят, что я был худой, как щепка. Помню, у Глеба был хороший знакомый, профессор Шпирт. Его жена, Софья Соломоновна, помогала тогда нашему отцу, у которого открылся туберкулез. Она говорила, что отец настолько истощен, что вряд ли его можно спасти. Отец наш — человек необыкновенно самоотверженный. Мы дежурили у его постели через ночь: ночь — я, ночь — Глеб. А отец как-то запомнил именно Глеба. Когда ему было совсем плохо (я обычно лежал рядом с его постелью на полу), он стонал: «Глебик!». Подходил я» [2].

Михаил Людвигович не вернется из Казани, и могила его останется там — на Арском кладбище. А Елизавета Михай-

ловна приедет с сыновьями в Москву и будет радоваться подрастающим внукам. Она доживет до того времени, когда сможет назвать себя матерью двух знаменитых ученых, директоров двух больших институтов.

Очень схожие внешне, братья были очень разными. Брызжащий какой-то внутренней энергией Глеб — прирожденный лидер, вовлекавший сотрудников в водоворот своих идей и начинаний. Илье, напротив, была свойственна внутренняя сосредоточенность и некоторая погруженность в себя. При этом обоих отличала безусловная порядочность и интеллигентность. И биографии у них схожие.

В послевоенные годы оба они были вовлечены в атомные

дела. По прямому поручению И.В.Курчатова Глеб Михайлович в 1946—1952 гг. возглавлял Радиационную лабораторию №8, впоследствии превратившуюся в Институт биофизики АМН СССР, и был одним из основоположников радиационной медицины в стране. Велики его заслуги и в формировании космической медицины. Оба брата — лауреаты Сталинской премии. Оба стали академиками АН СССР: Г.М.Франк в 1966 г., а И.М.Франк в 1968-м. С 1957 г. Глеб, в то время член-корреспондент Академии медицинских наук, — директор Института биофизики, а впоследствии и глава Пущинского научного центра, организатором которого фактически и являлся. Илья Михайлович в это время — директор лаборатории в Дубне. Глеб Михайлович скончался 10 октября 1976 г. Воспоминания о нем, написанные Ильей Михайловичем вскоре после смерти брата, полны любви и уважения.

На этом я мог бы закончить свой рассказ. Но прежде чем я это сделаю, я хотел бы назвать имена двух женщин, на протяжении последних десятилетий разделивших с братьями их жизнь и бывших с ними до их последних дней. Это Марина Михайловна Франк и Заруи Сааковна Леонтьева (Франк). Я должен добавить, что у Глеба Михайловича и Заруи Сааковны в 1952 г. родилась дочь Катя.

Вот, такова история этой семьи. Во многом замечательной и в то же время обычной. ■

Литература

1. Илья Михайлович Франк. К 90-летию со дня рождения / Под общ. ред. В.Л.Аксенова. Сост. А.С.Гиршева. Дубна, 1998.
2. Франк И.М. Воспоминания о брате Г.М.Франке. Семейный архив Франков. Готовится к печати в сборнике: Илья Михайлович Франк. М., 2008.
3. Буббайер Ф. С.Л.Франк. Жизнь и творчество русского философа. М., 2001.
4. Франк Т. // Памяти Виктора Франка. Лондон, 1974. С.7—8.
5. Грибова З.П. Глеб Михайлович Франк. М., 1977.
6. История Таврического университета / Под общ. ред. Н.В.Багрова. Київ, 2003.
7. Франк И.М. Леонтович и школа Мандельштама // Воспоминания об академике М.А.Леонтовиче. М., 1990. С.146—160.
8. Франк И.М. // УФН. 1967. Вып.91. С.11—27.

Нейтроны и ядра

Э.И.Шарапов,

доктор физико-математических наук
Объединенный институт ядерных исследований
Дубна

Академик И.М.Франк опекал в Советском Союзе нейтронно-ядерную физику, будучи руководителем Научного совета по физике ядра Академии наук СССР.

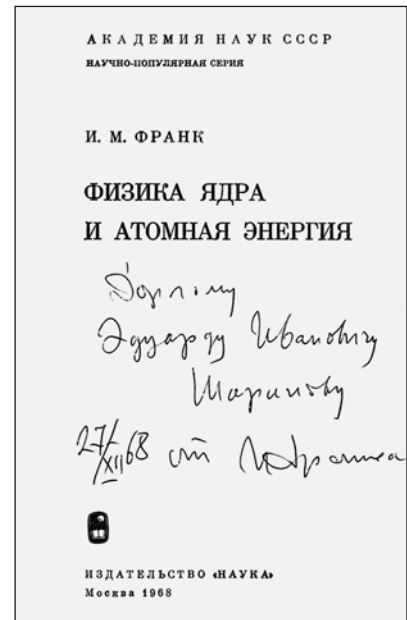
Нейтронно-ядерная физика — часть нейтронной физики, включающей также физику самого нейтрона и исследования конденсированных сред с помощью нейтронов. В автобиографии 1988 г. [1], говоря об участии в работах по созданию советского ядерного реактора, Франк написал: «С исследований по физике реакторов началась моя специализация в области нейтронной физики, ставшая существенной в последующие годы». В силу своей скромности Илья Михайлович не отметил, что как специалист в области физической оптики, а затем и ядерной физики, и как профессор кафедры ядерной физики физфака МГУ он отслеживал нейтронно-ядерную тематику начиная с открытия нейтрона в 1932 г., и уже в 1939 г. опубликовал в журнале «Природа» обзор работ [2], где ввел на русском языке термин «деление» (вместо используемого ранее «расщепление»). Особо обращая внимание на дополнительные нейтроны, обнаруженные при делении урана, Франк писал о возможности практического использования огромной внутриядерной энергии, если удастся «превратить такую реакцию в цепную». Сейчас мы хорошо знаем, что на пути создания ядерных реакторов это удалось.

Уже в 1946—1949 гг. в лаборатории атомного ядра ФИАН, которой к тому времени заведовал Франк, были выполнены исследования по физике реакторов [3], проводившиеся в тесном контакте с И.В.Курчатовым, руководившим в стране всей «урановой проблемой». Ввиду обстановки секретности тех лет эти работы были частично опубликованы лишь в 50-е годы.

В последующие годы (1957—1988) Илья Михайлович стал одним из руководителей создания исследовательских импульсных реакторов ИБР, ИБР-30, ИБР-2 [4] в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ. Благодаря этим реакторам, а также благодаря созданной Франком научной школе, лаборатория стала одним из мировых центров исследований в области нейтронной физики. Как директор ЛНФ Илья Михайлович активно популяризировал достижения своего коллектива, чему свидетельствует, к примеру, фото титульного листа брошюры «Физика атомного ядра и атомная энергия» [5], но он никогда не подписывал своим именем работы, в которых не принимал участия. Свой последний обзор по нейтронно-ядерной физике Франк опубликовал к 50-летию открытия нейтрона [6].

Правительственное задание

В 1945 г., после американской бомбардировки Хиросимы и Нагасаки, наше правительство



Титульный лист научно-популярной брошюры И.М.Франка «Физика ядра и атомная энергия».

приняло ряд чрезвычайных постановлений, направленных на форсирование создания советской атомной бомбы. К «урановой проблеме», которой с 1943 г. занимался институт Курчатова*, были дополнительно привлечены 20 организаций, в том числе Физический институт АН СССР (ФИАН), где правительственное задание получила лаборатория 38-летнего тогда профессора Франка.

Как известно, одна из двух первых американских атомных бомб была изготовлена на осно-

* Институт назывался тогда Лабораторией №2 Академии наук СССР, сейчас это РИЦ «Курчатовский институт».

ве редкого изотопа урана-235, выделенного из природного урана (0.7% урана-235, 99.3% урана-238), а другая — на основе не существовавшего ранее в природе элемента плутония, изотоп которого ^{239}Pu был получен в специально созданных реакторах посредством облучения нейтронами урана-238. Лаборатория №2 АН СССР вела исследования по обоим направлениям. И.В.Курчатов лично занимался всеми работами, имевшими конечной целью получение плутония, а работами по разделению изотопов урана-235 и урана-238 руководили И.К.Кикоин и Л.А.Арцимович.

Требовалось построить сначала «небольшой» опытный реактор, а затем промышленные реакторы большой, до 100 МВт, мощности. Из двух возможных типов реакторов на природном уране — с графитовыми и тяжеловодными замедлителями нейтронов — приоритет был отдан более экономичным уран-графитовым системам*.

Аналогичное решение было принято ранее в США, где в Чикаго в условиях строжайшей секретности был построен в декабре 1942 г. под руководством Э.Ферми первый уран-графитовый реактор.

Создание ядерного реактора на основе природного урана было с точки зрения физики делом далеко не тривиальным. В нем содержится 99.3% урана-238, который практически не делится при взаимодействии с нейтронами с энергией меньше ~2 МэВ. Напротив, уран-235 хорошо делится под действием нейтронов малых энергий (тепловых), однако наличие урана-238 затрудняет осуществление цепного процесса на ^{235}U ,

* Тяжеловодные реакторы также были построены, но позднее, под руководством А.И.Алиханова — директора Лаборатории №3 АН СССР, ныне Института теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ) им.А.И.Алиханова. См.: *Абов Ю.Г.* От рентгеновских лучей к элементарным частицам. К 100-летию Абрама Исааковича Алиханова // *Природа*. 2004. №12. С.62—70.

так как уран-238 интенсивно поглощает нейтроны, которые могли бы вызвать деление урана-235. Поглощение происходит благодаря процессу, альтернативному делению, — в реакциях радиационного захвата, когда нейтрон присоединяется к ядру и испускаются γ -кванты. Задачу осуществления цепной реакции в природном уране удалось решить потому, что вероятность поглощения тепловых нейтронов ураном-235 примерно в 250 раз больше, чем ураном-238. Поэтому, хотя урана-235 и мало, все же примерно 50% всех поглощенных тепловых нейтронов вызывает его деление. При этом, как показали в 1943 г. И.М.Гуревич и И.Я.Померанчук, необходимо реализовать гетерогенную конфигурацию активной зоны, т.е. решетку из слоев урана и графита. Блоки графита служат для замедления нейтронов деления, прежде чем они входят в блоки урана, где инициируют новое деление ядер U-235 и новые быстрые нейтроны. Графит, который сам слабо поглощает нейтроны, должен быть сверхчистым, чтобы снизить «непроизводительное» (по отношению к делению) поглощение, способное оборвать цепную реакцию деления.

Отношение числа нейтронов, вызывающих деление на очередной ступени цепного процесса, к числу нейтронов, делящих уран-235 на предшествующей ступени, обозначают коэффициентом размножения K . Реактор с $K = 1$ называют критическим, в нем течет самоподдерживающаяся цепная реакция деления. И так как нейтроны не только поглощаются, но и «вытекают» из мультиплицирующей системы, то важную роль играет размер реактора. Поскольку ядерные константы материалов были недостаточно известны, прямое измерение K стало абсолютно необходимым. Группа Курчатова выполнила первые измерения K в 1944—1945 гг., как только стали доступными первые партии сверхчистого

графита и блоки металлического урана. Использовался так называемый экспоненциальный метод измерения растущего умножения числа нейтронов в подкритических системах, нарастающих по размеру. Метод требовал наличия десятков тонн урана и сотен тонн графита. Были получены обнадеживающие оценки K на уровне 1.06 при оптимальных условиях, т.е. при достижении критического радиуса сферы 3 м и использовании сверхчистого графита. Это позволило перейти к строительству реактора Ф1, который успешно заработал 25 декабря 1946 г.

Но еще до пуска Ф1 были начаты исследовательские работы по созданию промышленных реакторов, в которых приняла участие лаборатория Франка в ФИАН. Ввиду большой проектной мощности для промышленных реакторов было предусмотрено водяное охлаждение тепловыделяющих элементов, отсутствовавшее в физическом реакторе Ф1. Поэтому необходимо было выяснить роль воды и воздушных зазоров в каналах промышленного реактора и провести систематические исследования коэффициента размножения, включая возможные температурные эффекты.

Л.В.Грошев, Е.Л.Фейнберг и И.М.Франк теоретически показали [3], что воздушный зазор вокруг уранового стержня увеличивает коэффициент размножения, а вода, напротив, должна снижать его. Они оценили соответствующие эффекты на уровне (1.0—1.5)%, т.е. на уровне, сравнимом с превышением коэффициента K единицы в действующем реакторе. Ввиду важности этого результата в ФИАН были выполнены измерения нейтронных полей в мультиплицирующей призме размерами $1.8 \times 1.8 \times 2.4$ м (рис.1). В призму загрузались урановые стержни диаметром 35 мм и графитовые блоки сечением 20×20 см, т.е. те же материалы, которые предназначались для промышленного реактора. Сквозные каналы

в призме были квадратными и круглыми. Размещение урановых блочков в квадратных каналах имитировало воздушное охлаждение. В круглые каналы можно было вводить воду в виде цилиндрического слоя вокруг алюминиевых труб, содержащих уран. Измерялись показания нейтронного детектора на разных высотах z от нейтронного источника, располагавшегося вблизи квадратного основания призмы со стороной a . Экспоненциальный характер распределения нейтронной плотности, $\exp(-z/b)$, давал экспериментальное значение длины затухания b и, соответственно, величину «материального параметра» реактора k , определяемого в теории как $k^2 = 2\pi^2/a^2 - 1/b^2$. Наконец, с некоторыми модификациями призмы измеряли еще один экспериментальный параметр — площадь миграции нейтронов M — величину, учитывающую перемещение нейтронов в процессе замедления и диффузии. Коэффициенты размножения реактора находили согласно теории экспоненциальной призмы из со-

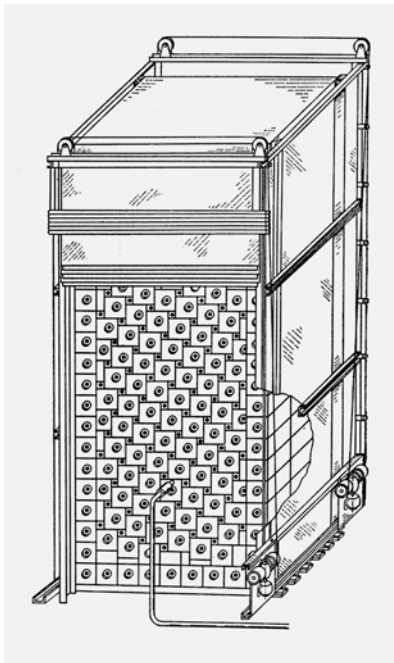


Рис.1. Общий вид экспоненциальной уран-графитовой призмы ФИАН.

отношения $M^2k^2 = K - 1$. Результат составил величину $K = 1.070 \pm 0.006$. Измеренные эффекты воздушного зазора и воды, качественно подтвердив теорию, оказались несколько меньше расчетных и, следовательно, не должны были представлять опасность для промышленных реакторов. Температурные эффекты были также изучены: было обнаружено, что температура нейтронного спектра выше температуры размножающей среды из-за увеличения поглощения нейтронов с ростом температуры.

Первый промышленный реактор был запущен в 1948 г., и плутоний, наработанный в нем, был использован в первой советской атомной бомбе, испытанной в августе 1949 г.

В этот же период «штурма и натиска» Франк предложил импульсный метод изучения диффузии нейтронов [6]*. В нем затухание плотности нейтронов измеряют не вдоль пространственной координаты, а во времени t после «впрыскивания» нейтронов в блоки различных размеров. В первом приближении теории нестационарной диффузии постоянная затухания α в экспоненте $\exp(-\alpha t)$ имеет простой вид $\alpha = \text{const}(\sigma_a) + D \cdot B_0^2$, где D есть исследуемый коэффициент диффузии нейтронов в данной среде, постоянный член определяется скоростью нейтрона и сечением поглощения σ_a , а геометрический параметр B_0^2 известен: например, для цилиндра радиуса R $B^2 = (2.405/R)^2$. Измерив α для образцов различных размеров R , можно получить значения D и σ_a . Обе величины играют важную роль при расчетах реакторов. Коэффициент диффузии является параметром диффузионного уравнения, определяющего наряду с сечением поглощения распределение потока нейтронов и, следовательно, критический размер реактора. Этим методом в ФИАН были про-

* Ввиду закрытого характера работ тех лет дата публикации не отражает времени их проведения.

ведены измерения диффузии нейтронов в воде, графите и бериллии [7], и было обнаружено диффузное охлаждение спектра нейтронов, зарегистрированное позднее, в 1988 г., как открытие нового физического явления под названием «Закономерность изменения температуры тепловых нейтронов при диффузии».

Импульсный метод исследования диффузионных характеристик сред, замедляющих нейтроны, получил широкое признание и используется поныне в различных прикладных исследованиях.

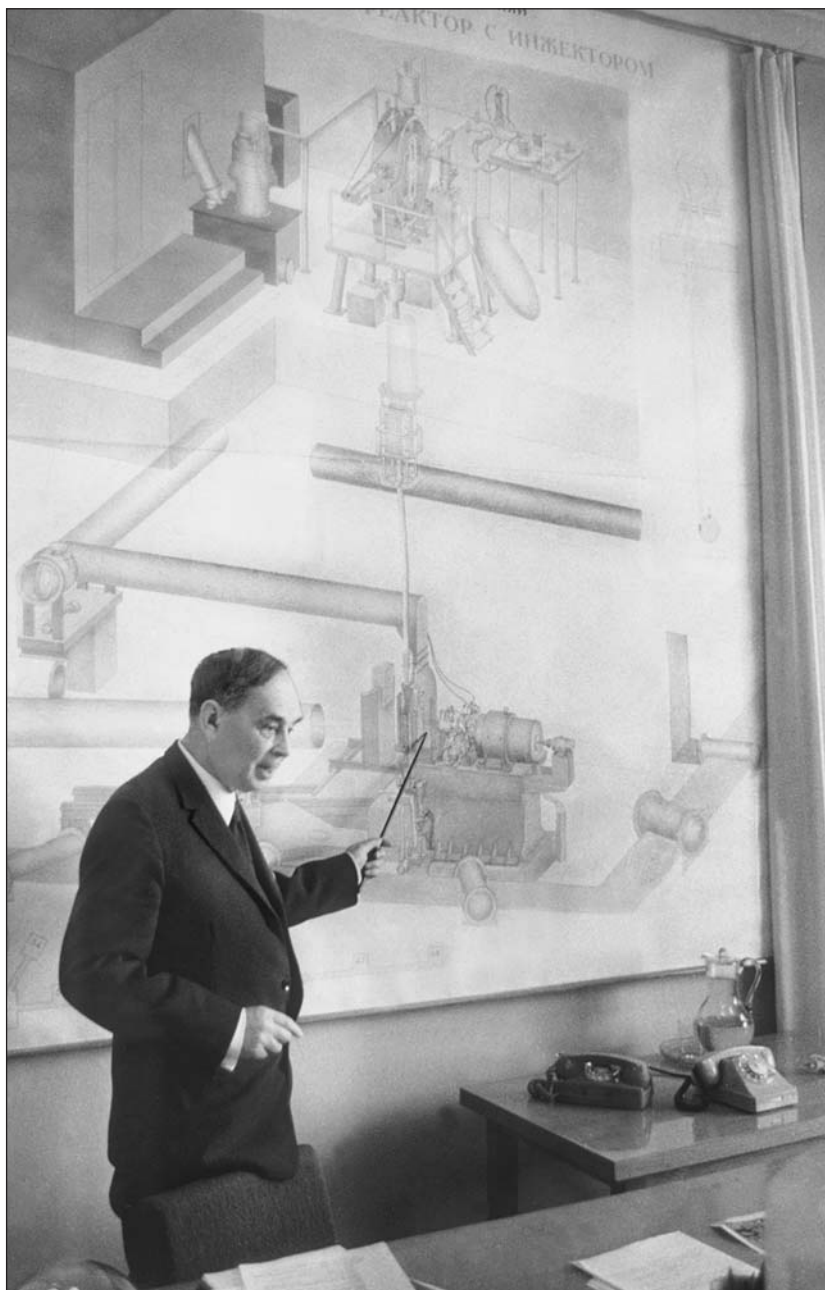
В начале 50-х годов лаборатория Франка провела исследования, важные для создания термоядерного оружия. Были измерены параметры ядерных реакций между легчайшими ядрами дейтерия, трития, лития, а также сечения взаимодействия быстрых нейтронов с ядрами урана-238. Эти работы также выполнялись по специальному заданию.

За выполнение этих правительственных заданий Франк был награжден двумя орденами Ленина, двумя орденами Трудового Красного Знамени и ему была присуждена Государственная (тогда — Сталинская) премия 1954 г.

От бомбы к исследовательским реакторам

Эмпирическое изучение макроскопических параметров размножающих нейтроны сред позволило создать реакторы на природном уране для получения оружейного плутония. Одновременно и теория реакторов была развита настолько хорошо, что в принципе стало возможным рассчитывать коэффициент размножения K , если известны с достаточной точностью ядерные константы материалов, используемых и получаемых в реакторе.

В 50-е годы, однако, измерения «микроскопических» ядер-



И.М.Франк у схемы реактора ИБР. 1972 г.

ных сечений, т.е. вероятности взаимодействий с ядрами для нейтронов различной энергии, сильно отставало от прогресса в реакторостроении, хотя во многих странах уже были созданы импульсные источники нейтронов на базе ускорителей заряженных частиц, а также стационарных реакторов [8].

Илья Михайлович полагал, что одним из лучших источни-

ков нейтронов для резонансной спектрометрии ядер (о которой речь пойдет ниже) может стать импульсный реактор периодического действия, и ему посчастливилось встретить мощного союзника в лице директора ОИЯИ Д.И.Блохинцева. Дмитрий Иванович выступил с инициативой постройки в ОИЯИ исследовательского реактора нового типа — импульсного реактора на

быстрых нейтронах, идею которого он предложил в сентябре 1955 г. еще в бытность его руководства Физико-энергетическим институтом в Обнинске.

С организацией в 1957 г. в ОИЯИ Лаборатории нейтронной физики Илья Михайлович стал ее директором и одним из руководителей создания импульсного реактора ИБР, запущенного в 1960 г. Теория этого реактора была первоначально создана И.И.Бондаренко и Ю.Я.Стависским [9], однако и Франк неоднократно возвращался к теоретическим и экспериментальным аспектам ИБР, излагая и развивая их в своих докладах и статьях [4, 11].

Уже после семилетней успешной работы реактор ИБР был модернизирован в реактор ИБР-30 (цифра 30 означает предельную проектную мощность в киловаттах), который проработал более 30 лет [12] и был демонтирован в 2001 г. в связи с окончанием технической лицензии на его эксплуатацию.

Главная особенность реакторов типа ИБР — работа на быстрых нейтронах, т.е. без использования замедлителей в активной зоне. Это стало возможным потому, что основным ядерным топливом в них служит не уран, а оружейный плутоний — тот самый плутоний, для получения которого были построены промышленные реакторы на природном уране с графитом. Импульсный режим работы реактора осуществляется путем изменения величины K механическим способом за счет размещения малой части активной зоны на периферии вращающегося стального диска. Диск имел диаметр около 1 м, а объем активной зоны был не более 2,5 л. Реактор был установлен в центре большого зала на высоком постаменте (рис.2). В верхней части фотографии видна вентиляционная труба воздушного охлаждения и под ней защитный шибер, перекрывающий сквозной канал в бетонной стене зала. Таких каналов было шесть,

они служили для вывода нейтронных пучков к физическим установкам. Средняя тепловая мощность реактора при стандартном режиме эксплуатации не превышала 25 кВт, однако ее мгновенное значение в импульсе достигало 100 МВт при длительности импульса около 60 мкс. В этом режиме полная интенсивность испускаемых быстрых нейтронов составляла 10^{15} с^{-1} , т.е. была примерно в 100 раз больше, чем в нейтронных источниках тех лет на базе линейных ускорителей электронов на энергию 50 МэВ.

Чтобы сократить длительность нейтронного импульса без значительной потери интенсивности, был реализован «бустерный» источник, в котором реактор и ускоритель электронов ЛУЭ-40 были объединены в одну установку; реактор работал в подкритическом режиме с $K = 0.995$, а электронный пучок впрыскивался на мишень, установленную в свободном канале активной зоны, одновременно с вхождением туда подвижного «активного» вкладыша, вмонтированного в стальное колесо. Это позволило сократить длительность импульса нейтронов до 3 мкс. Бустер ИБР-30 + ЛУЭ-40 служил базовой установкой ЛНФ для нейтронно-ядерных исследований.

В 1971 г. Франку была присуждена (в составе авторского коллектива) Государственная премия за цикл работ «Исследовательский реактор ИБР и ИБР с инжектором».

За реактором ИБР последовал более мощный исследовательский импульсный реактор ИБР-2*, работающий в ЛНФ и поныне. Его средняя тепловая мощность равна 2 МВт при плотности потока тепловых нейтронов $10^{16} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$, длительности импульсов 250 мкс и частоте повторения 5 вспышек в секунду. Реактор служит базовой установкой ЛНФ для проведения

* Инициатива исходила снова от Блохинцева, а физику ИБР-2 разработал Е.П.Шабалин.

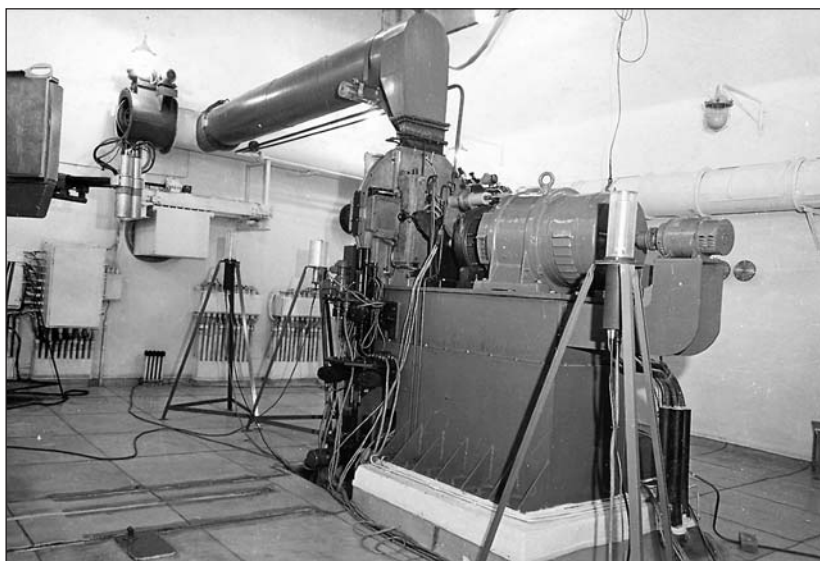


Рис.2. Общий вид импульсного реактора ИБР Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

нейтронных исследований конденсированных сред. Он создавался под руководством Блохинцева и Франка, а после кончины Дмитрия Ивановича в 1979 г. Илья Михайлович стал научным руководителем реактора и руководил его вводом в эксплуатацию в 1984 г. Премия Правительства РФ 1996 г. за «Исследовательский высокопоточный импульсный реактор ИБР-2» была присуждена авторскому коллективу, включая и Франка (посмертно).

Нейтронная спектроскопия ядер

Начиная с 1960 г. молодой коллектив физиков, в основном выпускников кафедры Франка в МГУ (в их числе автор этих строк), начал исследования в области нейтронной спектроскопии ядер, используя интенсивные пучки нейтронов реактора ИБР. Возбужденное ядро является квантомеханической системой со сложным спектром (рис.3) уровней E_0 , характеризуемых угловым моментом J (называемым также спином), шириной уровня Γ и четностью π . Уровни отделены друг от друга

средним расстоянием D , величина которого уменьшается с ростом энергии возбуждения. Задача состояла в получении этих индивидуальных характеристик ядер посредством измерения нейтронных сечений σ в зависимости от энергии нейтрона E_n и в последующем сравнении со средними величинами, предсказываемыми теорией.

Путеводной нитью в этой задаче служила и служит до сих пор формула Брейта–Вигнера, которая, например, для сечения радиационного захвата имеет резонансный вид:

$$\sigma_{\gamma}(E_n) = \sigma_0 \frac{\Gamma_{\gamma}/\Gamma}{1 + [(E_n - E_0)/\Gamma/2]^2}. \quad (1)$$

Соответствующие резонансы тоже показаны схематически в верхней части рис.3.

В формуле (1) величина σ_0 есть значение полного нейтронного сечения точно в резонансе, т.е. при $E_n = E_0$, и величина Γ_{γ} — радиационная ширина уровня, которая в сумме с нейтронной шириной Γ_n составляет полную ширину $\Gamma = \Gamma_n + \Gamma_{\gamma}$. Последняя определяет время жизни τ возбужденного состояния ядра, согласно квантово-механическому соотношению $\tau = \hbar/\Gamma$ (\hbar — по-

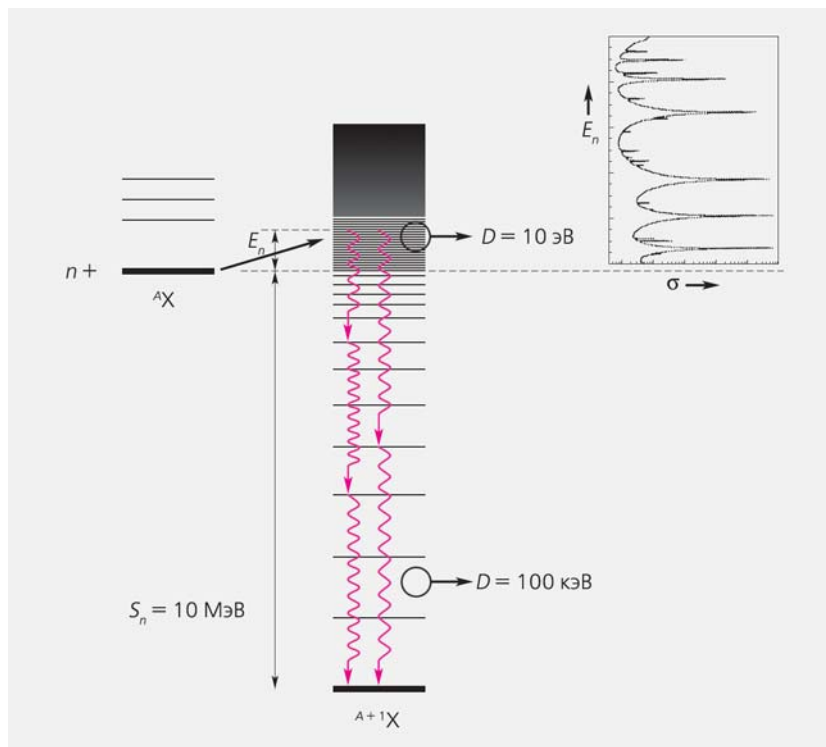


Рис.3. Возбужденные уровни составного ядра (в центре) с массовым числом $A + 1$, образуемого при захвате нейтрона ядром с массовым числом A . Резонансы в сечении реакции σ в зависимости от кинетической энергии нейтрона E_n (вставка вверху справа) соответствуют возбужденным уровням составного ядра при энергии возбуждения выше энергии связи нейтрона S_n .

стоянная Планка). Парциальная нейтронная ширина Γ_n задает вероятность образования и распада составного ядра по нейтронному каналу. Типичные значения для тяжелых ядер равны $\Gamma \approx 0.1$ эВ и $\tau \approx 6.6 \cdot 10^{-15}$ с.

Ныне результаты измерений параметров нейтронных резонансов собирают и оценивают во многих специализированных центрах, создавших компьютерные базы ядерных данных. Но уже в 60-х годах были широко известны выпуски Атласа нейтронных сечений BNL-325. Новейшее издание этого атласа вышло в 2006 г. отдельной книгой [13].

Возвращаясь к рис.3, необходимо заметить, что нейтроны способны возбуждать уровни ядер, расположенные лишь при энергии выше энергии связи нейтрона S_n в ядре-продукте реакции. Величина этой энергии

для большинства ядер лежит в диапазоне $S_n = 6-10$ МэВ. Используя аналогию с микроскопом, говорят, что спектроскопическое поле зрения нацелено на узкое окно вблизи энергии S_n . Сверху это окно ограничено разрешающей способностью нейтронных спектрометров. Уровни ядер при энергии ниже S_n изучают в ядерных реакциях с заряженными частицами, а также методами спектрометрии γ -квантов радиационного захвата, испускаемых на низколежащие уровни (γ -переходы показаны на рис.3 волнистыми линиями).

В рамках данной статьи невозможно остановиться на экспериментальных методах спектрометрии нейтрона, т.е. на измерении кинетической энергии нейтронов и получении нейтронных сечений. Самый универсальный из них — метод спектрометрии по времени пролета,

в котором скорость нейтрона, а значит и его энергию, определяют из измерения времени пролета нейтроном заданного расстояния от импульсного источника до детектора. Импульсный источник задает единое начало отсчета времени, а моменты регистрации нейтрона (или вызываемой им реакции) детектором означают конец отсчета времени для нейтрона той или иной скорости. На рис.4 показан пример одного из первых времяпролетных спектров, измеренных с помощью детектора радиационного захвата на пролетной базе 750 м от реактора ИБР. (Спектр был получен в группе Л.Б.Пикельнера вскоре после пуска реактора ИБР. Был применен жидкостный сцинтилляционный детектор объемом 400 л, работавший в схеме совпадений сигналов от двух баков, что обеспечило низкий фон. В детекторе находилась серебряная фольга.) Франк включил этот рисунок в свою брошюру [5].

Как уже отмечено, при всей индивидуальности параметров нейтронных резонансов их средние значения можно предсказать, опираясь на теоретические модели ядра и ядерных реакций. Прежде всего речь идет о средней радиационной ширине $\langle \Gamma_\gamma \rangle$, о среднем расстоянии между уровнями с определенным спином и четностью D_J^π и о нейтронных силовых функциях S^0 и S^1 для S -волновых (индекс «0») и p -волновых (индекс «1») резонансов. Последние величины (S^0 и S^1) являются, по существу, безразмерным отношением средних нейтронных ширин, приведенных к определенной энергии (так как они систематически зависят от E_n), к среднему расстоянию между резонансами.

Нейтронные силовые функции — поразительно стабильные параметры, порядка 10^{-4} для всех ядер, однако, как видно из рис.5, они демонстрируют волнообразное поведение в зависимости от массового числа, предсказанное оптической мо-

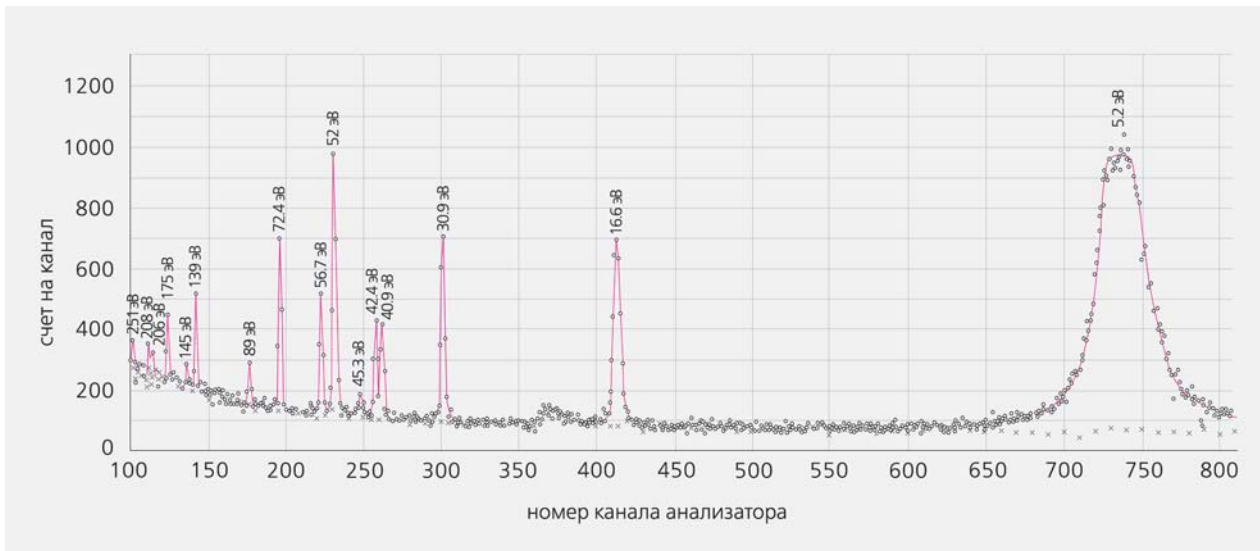


Рис.4. Спектр по времени пролета, зарегистрированный детектором радиационного захвата с образцом серебра.

делью ядра. Плотность уровней (величина, обратная среднему расстоянию D_j^2) служит предметом изучения статистической теории ядра. Для всех этих величин в ЛНФ ОИЯИ были получены существенные результаты, снискавшие международное признание (см. обзор «Светосильная нейтронная спектроскопия» [14]).

В заключение данного раздела хочется отметить, что демократические традиции научной работы, сформировавшиеся в ЛНФ под влиянием директора и его талантливейшего ученика Ф.Л.Шапиро, ставшего его заместителем, сыграли немаловажную роль в достижениях лаборатории.

Илья Михайлович ненавязчиво, но внимательно следил за работой молодых физиков, оценивал их достижения, определял приоритеты работ. Он это делал регулярно, публикуя статьи в институтской газете и готовя свои годовые отчеты для ученых советов ОИЯИ. Характерной особенностью этих отчетов, которые публиковались в виде сообщений ОИЯИ, как, например, [15], было наличие приложений выполненных работ с полными списками авторских коллективов. Он взвалил на свои плечи

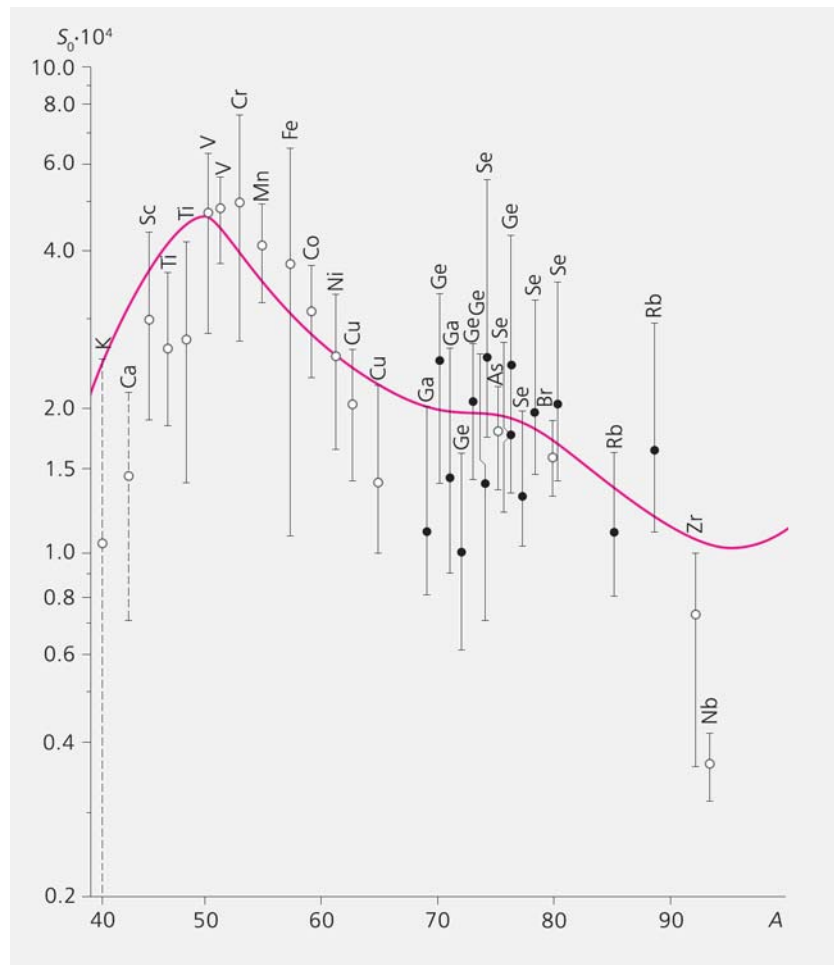


Рис.5. Силовая функция s -волновых нейтронов в области массовых чисел $A = 40—90$. Гладкая кривая — расчет оптической модели. Черные точки — данные, полученные на ИБР в 60-е годы.

эту ношу добровольно и нес ее еще и потому, что был неудовлетворен системой урезанной формальной отчетности тех лет. По тем временам это было смелой инициативой.

Нарушение пространственной четности в ядрах

В 1985 г. Франк участвовал в 35-м Совещании нобелевских лауреатов в Линдау, где выступил с лекцией «Модель составного ядра Н.Бора и нарушение четности» [16]. Он рассказал, как просто Бор объяснил свою модель составного ядра, не используя никаких формул и сложных теоретических рассуждений. Следуя примеру Бора, Илья Михайлович изложил свое понимание нарушения четности в составном ядре, образующемся после захвата нейтрона. Он отметил, что взаимодействие нейтронов с ядрами, принадлежа к типу сильных взаимодействий, конечно же, сохраняет четность и, следовательно, каждый нейтронный резонанс имеет определенную четность, например, в конкретном ядре положительную, если захватывается *s*-нейтрон с нулевым орбитальным моментом *l* относительно ядра-мишени, и отрицательную, если захватывается *p*-волновой нейтрон (*l* = 1). Если ядро бомбардируется продольно поляризованным пучком нейтронов, у которых спин ориентирован по скорости или противоположно ей, оно будет «видеть» такие нейтроны вращающимися по часовой стрелке или, соответственно, против нее, ибо спин, т.е. собственный момент количества движения, характеризует состояние вращения частицы. При выполнении закона сохранения пространственной четности вероятность поглощения нейтрона ядром должна быть одинаковой в обоих вышеназванных случаях или, как говорят, не должна зависеть от «спиральности» нейтрона. В ядрах возможно, конечно, наличие при-

меси слабого взаимодействия* к сильному. Теоретически ожидаемый за счет этого эффект нарушения четности в ядрах первоначально оценивался на уровне одной десятиллионной доли от измеряемой величины — 10^{-7} . Физическая реальность, однако, в который раз опрокинула ожидания.

Сначала в ИТЭФ при захвате теплового нейтрона кадмием, а потом и оловом было обнаружено нарушение четности на уровне 10^{-4} . Позднее близкие по величине эффекты для тепловых нейтронов, но на других ядрах были продемонстрированы в Гатчине, в Ленинградском ин-

* Со времени опытов Ц.Ву (1957) известно, что слабые взаимодействия нарушают пространственную четность.

ституте ядерной физики АН СССР, и в Гренобле, в Институте им.Лауэ—Ланжевена. Наконец, в Дубне в 1981 г. в ЛНФ при исследовании *p*-волновых нейтронных резонансов были зарегистрированы эффекты зависимости сечения нейтронов от спиральности, достигавшие относительной величины до 10^{-1} (подробнее см. [17]).

Илья Михайлович в упомянутой лекции проиллюстрировал результаты своей лаборатории рисунком для *p*-резонанса 0.75 эВ в лантане (рис.6). В верхней части показан участок спектра поглощения нейтронов вблизи резонансной энергии 0.75 эВ с максимумом в канале $t = 138$ времяпролетного спектра. Резонанс проявился как не-

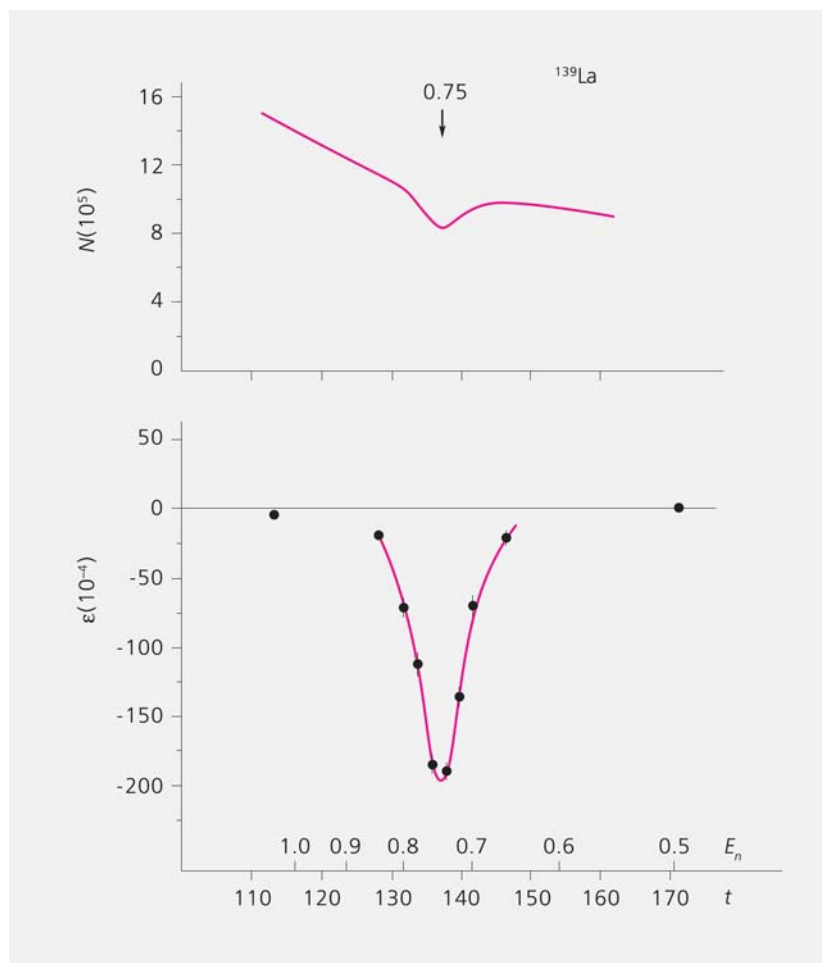


Рис.6. Спектр по времени пролета для образца лантана, демонстрирующий нарушение пространственной четности в *p*-волновом резонансе с энергией 0.75 эВ.

большое углубление в спектре нейтронов, прошедших через почти трехсантиметровую толщину металлического лантана. В нижней части рисунка приведена относительная величина разности интенсивности прошедших образец La нейтронов ϵ для двух направлений спиральности нейтронов. Наблюдаемый эффект в пересчете на резонансное сечение поглощения нейтронов соответствует 10% изменения сечения при изменении знака спиральности. Несколько меньшие, но тоже сильные эффекты нарушения четности были измерены в p -волновых резонансах ^{81}Br , ^{111}Cd и ^{117}Sn с энергией ниже 10 эВ.

Обнаруженные большие эффекты несохранения четности были объяснены смешиванием уровней разной четности за счет слабого взаимодействия в составных ядрах, образующихся при поглощении нейтрона, как и предсказывали инициаторы дубнинского эксперимента О.П.Сушков и В.В.Фламбум из Института ядерной физики (Новосибирск). Эти теоретики сумели оценить матричный элемент слабого взаимодействия и получить выражение, дающее для эффекта ожидаемую величину $\sim 10^{-2} - 10^{-1}$. Исследования ЛНФ встретили широкий отклик. Эксперименты на p -волновых нейтронных резонансах La, Cd, Sn были повторены в Курчатовском институте и в лаборатории КЕК (Япония). Дубненские сильные эффекты нарушения пространственной четности были подтверждены.

Позднее наибольших успехов достигли в Лос-Аламосской национальной лаборатории, где была сформирована международная коллаборация TRIPLE для исследования эффектов нарушения четности в широкой области энергий нейтронов.

Прежнее ограничение по энергии нейтронов было преодолено благодаря использованию мощного импульсного источника нейтронов с протонным ускорителем на энергию

800 МэВ. Зависимость нейтронных сечений от спиральности порядка $10^{-2} - 10^{-1}$ от измеряемой величины была найдена в 75 p -волновых резонансах ядер Rb, Pd, Ag, Sn, I, Sb, Cs, Xe, U, Th [18]. Эти резонансы были настолько слабы, что большинство из них было обнаружено и исследовано впервые. Далеко не все резонансы проявили нарушение четности, подтвердив тем самым теоретическое предсказание того, что в составных ядрах матричные элементы слабого взаимодействия имеют нормальное (гауссово) распределение с нулевым средним значением и дисперсией, равной $\sqrt{D\Gamma_w/2\pi}$. Величина Γ_w , названная спредовой шириной слабого взаимодействия, найдена приблизительно постоянной для всех исследованных ядер: $\Gamma_w = 1.8 \cdot 10^{-7}$ эВ.

Еще одного направления исследований ЛНФ, вызывавшего творческий интерес И.М.Франка, — изучения ультрахолодных нейтронов — касается статья А.И.Франка в этом же номере журнала. Ультрахолодные нейтроны служат инструментом исследований при проведении экспериментов фундаментальной важности, таких как поиск электрического дипольного момента нейтрона и прецизионного измерения констант бета-распада свободного нейтрона. В настоящее время эти работы ведутся широко фронтом с участием российских физиков в Институте им.Лауэ—Ланжевена (Гренобль) и в Институте им. Поля Шеррера (Цюрих). Готовятся к пуску новые источники ультрахолодных нейтронов в Лос-Аламосской национальной лаборатории и в Окриджской национальной лаборатории (США).

На современном этапе

Нейтронно-ядерная физика остается научным фундаментом реакторостроения для атомной энергетики. Летом 2007 г. Пре-

зидент РФ утвердил Программу развития атомной отрасли России, согласно которой страна сделала в XXI в. выбор в пользу атомной энергетики. Будут созданы и построены новые реакторы, так называемые реакторы IV поколения, с повышенной ядерной безопасностью, с топливным циклом, производящим меньше ядерных радиоактивных отходов, и с существенно пониженным риском распространения материалов, могущих быть использованными для атомного оружия. Через Международное агентство по атомной энергии Россия предложила Международную программу инновационных реакторов и топливных циклов INPRO и одновременно присоединилась к инициативе США «IV поколение ядерно-энергетических систем» в качестве ассоциативного члена вместе с такими странами, как Великобритания, Франция, Канада, Китай, Япония и ряд других.

В процессе выполнения этих программ, естественно, требуется уточнение существующих и получение новых ядерных констант, необходимых для расчета проектируемых реакторных систем. Например, в одной из принятых к исследованию концепций присутствует система с топливным циклом, включающим трансмутацию (переработку) радиоактивных отходов с помощью реактора-размножителя и/или ГЭВ-ускорителя с бустерной подкритической активной зоной. Проектирование подобных систем требует новых ядерных данных, в том числе сечений ряда ядерных реакций под действием нейтронов высоких энергий, вплоть до нескольких ГэВ.

В связи с этим сегодня весьма актуальным стало совершенствование действующих и создание новых импульсных нейтронных источников, которые всегда были и будут оставаться важнейшим фактором развития нейтронно-ядерной физики и нейтронной науки в целом.

В последние годы существенный прогресс в измерении нейтронных сечений в области нескольких сотен МэВ достигнут в Лос-Аламосе (США) на импульсном источнике WNR (Weapon Neutron Research), работающим с пучком нейтронов 800 МэВ. Там же в нейтронном центре LANSCE (Los Alamos Neutron Science Center) продолжает интенсивно работать источник резонансных нейтронов. В прошлом это была «мезонная фабрика» LAMPF (Los Alamos Meson Physics Facility), которая ныне перепрофилирована в многоплановый нейтронный центр. Этот источник интенсивнее ИБР-30 в 100 раз и обеспечивает лучшее энергетическое разрешение для нейтронных спектрометров по времени пролета. Второй мощный нейтронный источник в США, SNS (Spallation Neutron Source), в 20 раз более интенсивный, чем в LANSCE, заработал в 2007 г. в Ок-Ридже. Его нейтронная мишень рассчитана на тепловую

мощность 1.2 МВт и интегральный выход нейтронов, равный $2 \cdot 10^{17}$ нейтрон/с. Источник SNS в основном предназначен для нейтронных исследований конденсированных сред, но один его канал в настоящее время оборудуется для работ в области фундаментальной нейтронно-ядерной физики.

В Европе в 2001 г. на 20 ГэВ-протонном ускорителе в международном центре CERN запущен нейтронный источник n_TOF (neutron Time of Flight) с рекордно высокой мгновенной интенсивностью в импульсе при среднем выходе нейтронов $10^{15}/с$ и частоте повторения один импульс через 10 с.

В Японии в 2009 г. вступит в строй действующих мощный протонный ускоритель с нейтронной мишенью, близкой по параметрам источнику SNS. В Китае также приступили к строительству подобного источника.

Два источника для нейтронно-ядерной физики, которыми

располагает Россия (в Троицке под Москвой и Гатчине под Санкт-Петербургом), используются не в полную силу и значительно уступают по своим параметрам зарубежным аналогам. В ЛНФ реактор ИБР-2 останется, по завершении уже начатой модернизации, конкурентоспособной установкой для нейтронных исследований конденсированных сред.

* * *

Нейтронно-ядерное направление исследований в ЛНФ ныне возглавили молодые руководители, которым приходится работать в тяжелых условиях, без базовой установки. Но им оказались по плечу постановки таких задач, как «нейтронный» поиск воды на Марсе и пионерский эксперимент по прямому измерению рассеяния нейтрона на нейтроне — здесь, на уральской земле!

Научная школа академика Франка в ЛНФ сохранилась и продолжает работать...■

Литература

1. Франк И.М. Автобиография // Илья Михайлович Франк, к 90-летию со дня рождения. Дубна, 1998.
2. Франк И.М. Новый вид ядерных реакций — деление ядер урана и тория под действием нейтронов // Природа. 1939. №9. С.20—27.
3. Грошев Л.В., Фейнберг Е.Л., Франк И.М. Размножение нейтронов в уран-графитовых системах // Сессия АН СССР по мирному использованию атомной энергии. М., 1955. С.3—20.
4. Франк И.М. Импульсный реактор Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований. Р-674. Дубна, 1961.
5. Франк И.М. Физика ядра и атомная энергия. М., 1968.
6. Франк И.М. Полвека нейтронной физике // Нейтрон. К 50-летию открытия. М., 1983. С.5—30.
7. Антонов А.В., Исаков А.И., Мурун И.Д., Неупокоев Б.А., Франк И.М., Шапиро Ф.Л., Штраних И.В. Изучение диффузии нейтронов в бериллии, графите и воде импульсным методом // Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева 1955). Физика реакторов. М., 1958. С.11—22.
8. Шабалин Е.П. Современные высокоинтенсивные импульсные источники нейтронов // Нейтрон. К 50-летию открытия. М., 1983. С.209—225.
9. Бондаренко И.И., Ставиский Ю.Я. // Атомная энергия. 1959. Т.7. С.417—425.
10. Франк И.М. // Труды Физического института им.П.Н.Лебедева РАН. Исследования по ядерной физике. 1962. Т.14. С.117—146.
11. Франк И.М. // Проблемы физики элементарных частиц и атомного ядра. 1972. Т.2. С.805—860.
12. Аксенов В.Л. Пульсирующий ядерный реактор // Природа. 1996. 39. С.3—17.
13. Mughabghab S.F. Atlas of Neutron Resonances. Amsterdam, 2006.
14. Пикельнер Л.Б., Попов Ю.П., Шарпов Э.И. // УФН. 1982. Т.137. С.39.
15. Франк И.М. Краткий обзор научной деятельности Лаборатории нейтронной физики в 1980 г. и X пятилетке // Сообщение ОИЯИ Р3-81-720. Дубна, 1981.
16. Франк И.М. // УФН. 1986. Т.149. С.689—695.
17. Алфименков В.П. // УФН. 1984. Т.144. С.361—380.
18. Mitchell G.T., Bowman J.D., Penttila S.I., Scharapov E.I. // Physics Reports. 2001. Т.354. С.157—241.

Об одной работе И.М.Франка

А.И.Франк,

доктор физико-математических наук

Объединенный институт ядерных исследований

Дубна

Так случилось, что круг моих научных интересов, с годами существенно менявшийся, со временем оказался тесно связанным с областью науки, развитие которой в значительной степени связано с именем И.М.Франка. Я имею в виду нейтронную оптику вообще и оптику очень медленных, так называемых ультрахолодных нейтронов, в частности. Какие-то из работ, выполненных с моим участием, уже самим своим появлением были обязаны идеям Ильи Михайловича. В других случаях такая связь хотя и осознавалась, но сами работы возникали, подчиняясь некоей внутренней логике исследований. В случае же, о котором пойдет речь ниже, было иначе. Только через некоторое время после публикаций наших результатов я обратил внимание на небольшую работу Ильи Михайловича, где речь шла фактически о том самом явлении, которое мы сначала предсказали, а спустя довольно длительное время и наблюдали в эксперименте.

Проблемой нейтронной оптики Ильи Михайлович увлекся в конце 60-х годов. Это было связано с двумя обстоятельствами. Прежде всего, было осознано, что импульсный реактор ИБР, незадолго до того построенный в лаборатории Франка в Дубне, хорошо подходит для работ по исследованию структуры конденсированного вещества. И работы по нейтронной дифракции по методу пролета начались в

лаборатории уже в 1962 г. Вторым важнейшим обстоятельством было открытие так называемых ультрахолодных нейтронов (УХН), скорость которых столь мала, что они способны испытывать полное отражение от поверхности вещества при всех углах падения. Это замечательное свойство УХН было предсказано Я.Б.Зельдовичем в 1959 г. [1], а через 10 лет Ф.Л.Шапиро с сотрудниками впервые наблюдали УХН в экспериментах на реакторе ИБР* [2].

Илья Михайлович очень близко стоял к этим работам и был очень воодушевлен резуль-

* Явление полного отражения нейтронной волны вполне аналогично явлению полного отражения в оптике. Разница состоит в том, что показатель преломления нейтронных волн, как правило, меньше единицы и полное отражение оказывается не внутренним, а внешним. Таким образом, при падении нейтронов из вакуума на поверхность среды волна практически не проникает в вещество и отражается обратно в вакуум. Условие полного отражения выполняется, когда нормальная к поверхности вещества компонента скорости нейтрона меньше так называемой граничной скорости вещества. Ее величина определяется сечением когерентного рассеяния нейтрона на атомных ядрах вещества и числом атомов в единице объема. Ее типичное значение – несколько метров в секунду. Я.Б.Зельдович обратил внимание на то обстоятельство, что полное (внешнее) отражение будет иметь место при всех углах падения, если сама скорость нейтрона, а не только одна ее компонента, меньше граничной. В этом случае нейтроны, заключенные в сосуд, будут отражаться от его стенок, что позволит хранить их в замкнутом объеме достаточно долгое время. Энергия нейтронов со скоростью 5 м/с составляет величину порядка 10^{-7} эВ.

татами. Здесь он увидел область, где сочетаются нейтронная ядерная физика, которой он отдал столько лет жизни, и так любимая им оптика. В апреле 1970 г. он сделал большой доклад, посвященный проблемам нейтронной оптики, на общем собрании Отделения ядерной физики Академии наук. Через два года на конференции в Будапеште он выступил с коротким сообщением об аналогии между классической и нейтронной оптикой. К этому же вопросу он обратился в своей прекрасной научно-популярной статье в журнале «Природа» [3]. Оптике ультрахолодных нейтронов была посвящена ставшая классической лекция И.М.Франка на нейтронной школе в Алуште в апреле 1974 г. [4].

К середине 70-х годов исследования с ультрахолодными нейтронами велись уже довольно широким фронтом несколькими группами в Советском Союзе и в Германии. В целом ряде экспериментов было показано, что ультрахолодные нейтроны действительно можно хранить в замкнутых сосудах в течение десятков секунд**. При этом нейтроны испытывали несколько тысяч соударений с поверхностью, прежде чем в ней поглощались. Сегодня, когда физика УХН входит в большинство университетских курсов по нейтронной оптике, уже трудно

** Свободный нейтрон нестабилен и распадается на протон, электрон и антинейтрино с характерным временем порядка 900 с, что принципиально ограничивает время хранения УХН.



И. М. Франк (справа) и А. И. Франк в Алуште. 1986 г.

себе представить, насколько удивительным представлялось тогда это явление. Однако когда после первого этапа качественных экспериментов исследования с УХН перешли в стадию количественных измерений, возникла и довольно серьезная проблема. Выяснилось, что время хранения УХН в ловушке было существенно меньше, чем предсказывалось теорией. Причем было ощущение, что это различие носит универсальный характер. Родился и вошел в обиход термин «аномалия во времени хранения».

В поисках причины расхождения между теорией и экспериментом Илья Михайлович рассматривал две возможности. В лекции [4] им было высказано предположение, что не вполне точна теория, которой обычно пользовались для вычисления коэффициента отражения нейтронов от вещества, и привел некоторые аргументы в обоснование этой гипотезы. Таким образом, речь шла о том, что в расчетах недооценивались вероятность проникновения нейтрона в вещество и, соответственно, вероятность радиационного захвата нейтрона ядрами вещества. Вторая возможность состояла в том, что существует некоторый

универсальный механизм, приводящий к неупругому рассеянию нейтронов при отражении от поверхности, при котором нейтроны приобретают дополнительную энергию или, как говорят, нагреваются. В этом случае скорость нейтрона может превысить граничную, и при одном из следующих столкновений со стенкой сосуда он сможет войти в вещество и там погибнуть. Обсуждению этой возможности и была посвящена работа [5], о которой я хочу рассказать.

В поисках возможной причины такого нагрева УХН Илья Михайлович обратился к вопросу о дифракции нейтронов на бегущих поверхностных волнах вещества. Скорость распространения таких волн близка к скорости звука в веществе, т.е. несколько километров в секунду, в то время как скорость УХН примерно в тысячу раз меньше.

Для качественного анализа проблемы Илья Михайлович предложил рассмотреть задачу об отражении нейтрона от поверхности вещества в системе координат, которая движется со скоростью поверхностной волны V . В такой системе поверхность вещества представляет неподвижную дифракционную решетку с периодом, равным дли-

не поверхностной волны Λ . Если в лабораторной системе нейтрон падает на поверхность под прямым углом со скоростью v , то в движущейся системе нормальная компонента скорости будет точно такой же, $v_y' = v$, но одновременно появится большая продольная скорость $v_x' = -V$. Поскольку $v_x' \gg v_y'$, то полная скорость v' близка по абсолютной величине к V . Дебройлевская длина волны нейтрона $\lambda \approx h/mv'$ при этом мала и по порядку величины близка к периоду решетки.

При отражении нейтронов от поверхности с таким профилем неизбежно должны наблюдаться дифракционные максимумы, а направления дифрагированных волн легко вычислить так, как это делается в обычной оптике (рис.1). Таким образом, в движущейся системе координат нейтрон может рассеяться с той же скоростью v' , но под иным углом к поверхности. Очевидно, что нормальная компонента волны, соответствующая ненулевому дифракционному максимуму, будет отлична от той, которая соответствует зеркальному отражению. И она одинакова в обеих системах координат. Таким образом, дифракция на движущейся решетке действительно может привести к существенному изменению скорости и энергии нейтрона до величины, превышающей критическую скорость полного отражения. Качественные оценки интенсивности первого максимума приводили к результату порядка 10^{-4} — 10^{-5} , т.е. по порядку величины, близкому к тому, который требовался для объяснения аномалии в хранении*.

Я думаю, что Илья Михайлович не был вполне уверен в справедливости количественных оценок, и именно по этой причине статья не была им

* Из имевшихся в то время экспериментальных данных следовало, что вероятность потери УХН, отнесенная на одно соударение, составляла $\sim 3 \cdot 10^{-4}$. В современных экспериментах эта величина получается существенно меньшей.

опубликована в журнале. Указание на это содержится и в самом тексте. Во вводной части статьи автор пишет, что «хотя на предварительной стадии обсуждения совместно с Ф.Л.Шапиро казалось, что с количественной стороны она (то есть идея дифракции на бегущей волне) не может дать должного эффекта, все же, по-видимому, рационально обсудить этот вопрос вновь». Заметим, что к моменту появления этой работы Шапиро уже более двух лет не было в живых и, следовательно, сама идея обдумывалась довольно долго.

Теперь мне трудно вспомнить, знал ли я тогда об этой работе. Скорее всего, что-то знал, но совершенно не обратил на нее внимания, поскольку собственные мои научные интересы были тогда довольно далеки от нейтронной оптики, да и о поверхностных волнах я мало что знал. По-видимому, и в ближайшем окружении Ильи Михайловича эту работу не оценили. Когда много лет спустя я расспрашивал об отношении к ней сотрудников лаборатории Франка в Дубне, то слышал в ответ, что оценки там неверные и вообще, тут, мол, не о чем говорить.

Между тем физический эффект, предсказанный И.М.Франком, в некотором роде удивителен. Хорошо известно, что при дифракции света на бегущей в веществе (ультразвуковой) волне плотности в спектре рассеянных волн появляются спутники с частотами, несколько отличающимися от частоты исходной волны. Расщепление частот в этом так называемом дублете Манделъштама—Бриллюэна определяется соотношением

$$\pm \frac{\Delta v}{v} = \pm 2 \frac{v}{c} \sin\left(\frac{\theta}{2}\right), \quad (1)$$

где v — скорость волны в веществе, c — скорость света, а θ — угол Брэгга, определяемый соотношением $2\lambda \sin(\theta/2) = \lambda$. Здесь Λ и λ — длины ультразвуковой и световой волн соответственно. Очевидно, что величина такого

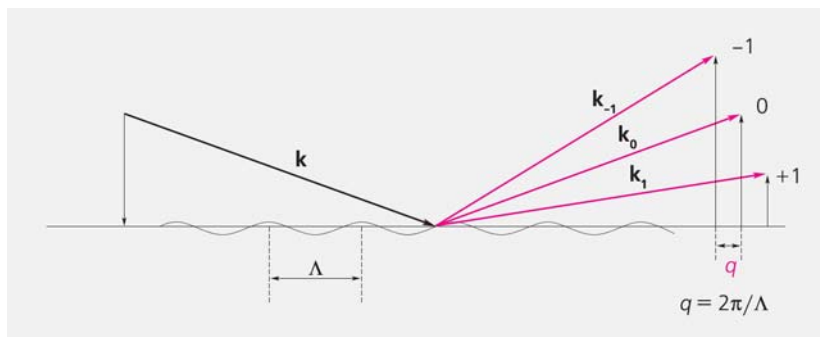


Рис.1. Стационарная картина дифракции в системе координат, движущейся с поверхностной волной. Волновые векторы всех волн одинаковы по абсолютной величине. При этом продольные компоненты волновых векторов дифракционных порядков ± 1 отличаются от продольной компоненты волнового вектора падающей волны и волны, отраженной зеркально (нулевой порядок дифракции), на величину $q = 2\pi/\Lambda$, где Λ — длина поверхностной волны. Таким образом, при дифракции происходит поворот волнового вектора, и его нормальная компонента отличается от нормальной компоненты падающей волны.

доплеровского сдвига частоты относительно мала в меру малости фактора v/c . Если же направления распространения световой и акустической волн ортогональны, то относительная величина сдвига частот оказывается порядка $(v/c)^2$ и эффект совсем уж мал. Такой поперечный эффект Доплера имеет чисто релятивистскую природу.

Совершенно иная ситуация имеет место при дифракции ультразвуковых нейтронов на поверхностной волне. Во-первых, обе скорости, как нейтрона, так и бегущей волны, много меньше скорости света, и справедливо классическое рассмотрение. Во-вторых, скорость волны много больше скорости нейтрона и именно поэтому изменение частоты при нормальном падении нейтрона на вещество оказывается вовсе не малым. И в-третьих, поскольку речь идет о массивной частице, то изменение частоты нейтронной волны прямо означает изменение энергии и классической скорости нейтрона.

Дифракция нейтронов на бегущей поверхностной волне наблюдалась в эксперименте [6] только по прошествии двенадцати лет после публикации работы И.М.Франка. Правда, опыт был

поставлен не с ультразвуковыми, а с так называемыми холодными нейтронами, скорость которых составляла несколько сот метров в секунду. Но и в этом случае она была значительно меньше скорости ультразвуковой волны, искусственно возбуждаемой на поверхности кварцевого кристалла. В своей публикации авторы привели достаточно детальный теоретический анализ проблемы, из которого, в частности, следовало, что энергия нейтронов, соответствующих порядку дифракции ± 1 , действительно отличается от исходной на величину $\Delta E = \pm \hbar \Delta \omega$, $\omega = 2\pi f$, где f — частота ультразвуковой волны, а \hbar — постоянная Планка. Величина ΔE была при этом порядка 10^{-7} эВ, то есть близкой к типичной энергии УХН. Правда, поскольку опыт ставился с холодными нейтронами, изменение их энергии было в несколько тысяч раз меньше, чем сама энергия. Едва ли это можно было измерить, да авторы и не ставили такой задачи, сосредоточившись на измерении направления и интенсивности дифракционных максимумов. Разумеется, работу Франка, опубликованную в виде препринта, да еще и на русском языке, они не знали.

Что касается меня, то как мне кажется, эту работу я заметил, но опять отнес к области, далекой от моих научных интересов. Много лет спустя я познакомился с двумя ее авторами — Тони Клейном и Джеффри Опатом, и даже гостил у них в Мельбурнском университете. К тому времени у меня уже появилось намерение поставить эксперимент по наблюдению дифракции нейтронов на движущейся периодической структуре — явления, близкого к тому, что наблюдал Клейн с сотрудниками. Однако я не помню, чтобы в наших обсуждениях мы затрагивали эту проблему. Сегодня это кажется мне довольно странным, поскольку именно тогда мы вместе с Клейном были заняты созданием спектрометра УХН, с которым впоследствии и были поставлены эксперименты, о которых я расскажу ниже. Особенной связи между моими планами и тем, что было сделано до нас, я, видимо, не усматривал. Да и к пониманию явления мы подошли исходя из существенно разных соображений.

В начале 90-х годов мы с моим постоянным соавтором Вадимом Глебовичем Носовым занимались теоретическим исследованием некоторых квантовых нестационарных явлений, которые в принципе могут быть наблюдаемы с нейтронными волнами. В том числе мы анализировали вопрос о состоянии, возникающем, когда монохроматический пучок нейтронов проходит через быстродействующий прерыватель, периодически перекрывающий пучок. Хотя строгое решение этой задачи не вполне тривиально, да, собственно говоря, и не было найдено, возникающая при этом физическая картина может быть понята на основе простых качественных соображений. Действительно, речь идет о том, что плоская волна с частотой $\omega_0 = E/\hbar$, где E — энергия нейтрона, периодически прерывается с периодом T . Таким образом, имеет место амплитудная модуляция исходной

волны с частотой $f = 1/T$. Но хорошо известно, что в этом случае волна любой природы уже не характеризуется единственной частотой ω , а представляет собой суперпозицию волн с дискретным набором частот и характерным расщеплением $\Omega = 2\pi f$. Волновая функция нейтрона должна при этом иметь вид суммы плоских волн

$$\begin{aligned} \psi(x, t) &= \sum_j a_j \exp(ik_j x - \omega_j t), \\ \omega_j &= \omega_0 + j\Omega, \quad \Omega = 2\pi f, \end{aligned} \quad (2)$$

где j — целое число. Каждой волне в этой сумме соответствует своя энергия $E_j = \hbar\omega_j$, и волновое число k_j . Распространяясь с различающимися скоростями $v_j = \hbar k_j/m$ вдоль оси x , эти волны интерферируют, в результате чего возникает довольно сложная динамическая картина. Ее поведение мы и исследовали. Выяснилось, что расщепление волны на дискретный спектр вполне обратимо, и с помощью второго прерывателя, определенным образом синхронизированного с первым, можно восстановить исходное состояние с единственной частотой. Все это было очень увлекательно, но казалось довольно далеким от возможностей реального эксперимента.

Думая, как поставить эксперимент по наблюдению эффектов такой квантовой модуляции, мы пришли к идее упомянутого выше опыта, в котором нейтронный пучок пересекается движущейся структурой, состоящей из чередующихся прозрачных и поглощающих нейтроны элементов. Фактически речь шла об амплитудной дифракционной решетке, двигающейся поперек монохроматического нейтронного пучка. При анализе задачи мы поступили точно так, как это было сделано ранее Франком, а именно написали решение задачи о дифракции в движущейся системе координат, где решетка покоится, а затем вернулись в лабораторную систему [7]. И обнаружили, что при достаточно больших скоростях движения

решетки с большим периодом состояние прошедших волн описывается той же формулой (2). Фигурирующая в ней частота $f = V/L$ определяется отношением скорости решетки V и ее пространственного периода L . Таким образом выяснилось, что движущаяся решетка может действовать в качестве квантового модулятора, порождая нейтронные волны с энергией, которая отличается от начальной на величину, кратную $\hbar\Omega$.

Впоследствии было понято, что решетка не обязательно должна содержать поглощающие элементы, а в качестве модулятора вполне можно использовать и хорошо известную в оптике фазовую решетку, представляющую собой прозрачную для нейтронов пластинку, на поверхности которой имеются чередующиеся выступы и канавки. Поскольку вещество пластинки обладает показателем преломления n для нейтронов, разница в толщине чередующихся элементов пластинки d приводит к тому, что нейтронные волны, прошедшие через соседние элементы решетки, отличаются по фазе. Эта разность фаз определяется известным в оптике соотношением

$$\Delta\varphi = d(1 - n)k. \quad (3)$$

Наблюдать эффект такого квантования энергии мы предполагали с помощью спектрометра УХН высокого разрешения. В такой модификации эксперимент становился совсем уже похожим на то, что обсуждал Илья Михайлович. Замечу, что случай УХН существенно отличается от того, что наблюдали Клейн с сотрудниками. Дело в том, что как в работе Франка, так и в нашей работе предполагалось, что скорость нейтронов много меньше скорости движущейся структуры — волны или решетки. При этом энергетический спектр нейтронов, возникающий в результате дифракции на такой структуре, очень слабо зависит от угла падения нейтрона на поверхность вещества и дискрет-

ный спектр можно наблюдать и в отсутствии коллимации исходного пучка. Таким образом, эксперимент с УХН не является дифракционным в полном смысле этого слова.

Спустя несколько лет в Гренобле заработал наш спектрометр, с которым можно было поставить такой эксперимент, и в конце концов опыт с движущейся решеткой был осуществлен. Главным элементом этого спектрометра был так называемый нейтронный интерференционный фильтр, очень близкий аналог известного в оптике интерферометра Фабри—Перо. Не останавливаясь подробно на его устройстве, скажу только, что такой фильтр представляет собой структуру из нескольких пленок вещества толщиной в несколько десятков нанометров, нанесенных на кремниевую подложку. Он пропускает только нейтроны в довольно узком диапазоне скоростей и поэтому может служить хорошим монохроматором. Правда, чувствителен он лишь к нормальной к поверхности пленок компоненте скорости нейтрона, причем она не должна превосходить типичную для УХН величину 5—6 м/с. Но во многих случаях это оказывается вполне достаточным.

В нашем приборе (рис.2) фильтров было два, а между ними располагалась дифракционная решетка. Первый фильтр служил монохроматором, выделявшим узкую линию в спектре вертикальных скоростей, а для анализа энергии нейтронов, прошедших через монохроматор и решетку, использовался второй фильтр. Разумеется, он тоже мог пропускать лишь нейтроны, энергия которых совпадала с положением его линии пропускания, но его можно было перемещать по высоте. А поскольку на пути между фильтрами нейтроны ускорялись в гравитационном поле Земли, то, меняя расстояние H между фильтрами и, соответственно, добавочную энергию нейтронов mgH , приобретаемую ней-

троном на пути между фильтрами, можно было осуществлять сканирование по энергии. Вместо линейного движения решетки оказалось удобным ее вращать (рис.3). Поэтому решетка представляла собой кремниевый диск с радиальными канавками на его периферии.

Эксперимент [8, 9] наглядно показал, что при таком движении решетки, когда ее штрихи пересекают направление движения нейтрона, в спектре пропущенных нейтронов действительно возникают сателлиты с энергией, которая смещена относительно начального значения на величину, вполне соответствующую теории (рис.4). Интенсивность нейтронов, соответствующих порядку дифракции ± 1 , также хорошо согласовывалась с расчетом и достигала почти 40% от интенсивности падающей волны. (Теоретическое значение интенсивности волн j -го порядка равно $|a_j|^2$ в формуле (2) и зависит от конкретного устройства решетки.) Таким образом, спустя четверть

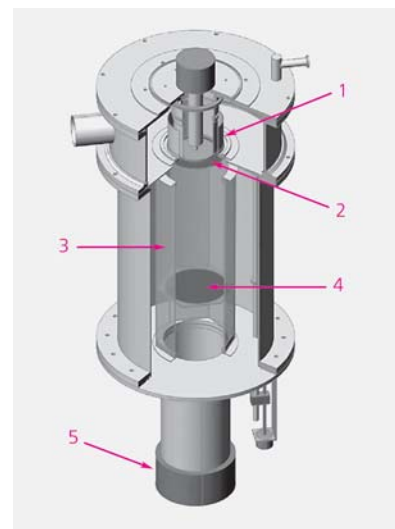


Рис.2. Гравитационный спектрометр УХН с интерференционными фильтрами. 1 — кольцевой коридор, по которому УХН поступают в прибор. На его нижнем торце расположен фильтр-монохроматор (на рисунке не показан). 2 — пластина с дифракционной решеткой; 3 — стеклянный нейтронпровод; 4 — фильтр-анализатор, который можно перемещать по высоте; 5 — детектор.

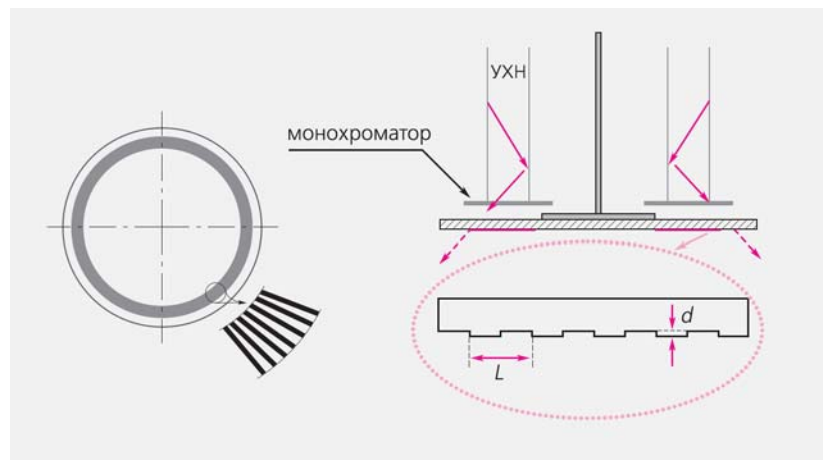


Рис.3. К эксперименту с движущейся решеткой. Кольцевая область кремниевый диска образует дифракционную решетку с радиальными штрихами — канавками (слева). В сечении вдоль некоторой средней окружности профиль решетки представляет собой чередующиеся канавки и выступы (показано в овале справа) толщиной d . Высота $d = 0.14$ мкм подобрана таким образом, чтобы волны, прошедшие через канавку и выступ, отличались по фазе на π . Нейтроны попадают на решетку, пройдя цилиндрический канал, выход которого закрыт монохроматором — интерферометром Фабри—Перо. Диск с решеткой можно вращать таким образом, что радиальные штрихи решетки пересекают направление движения ультрахолодных нейтронов.

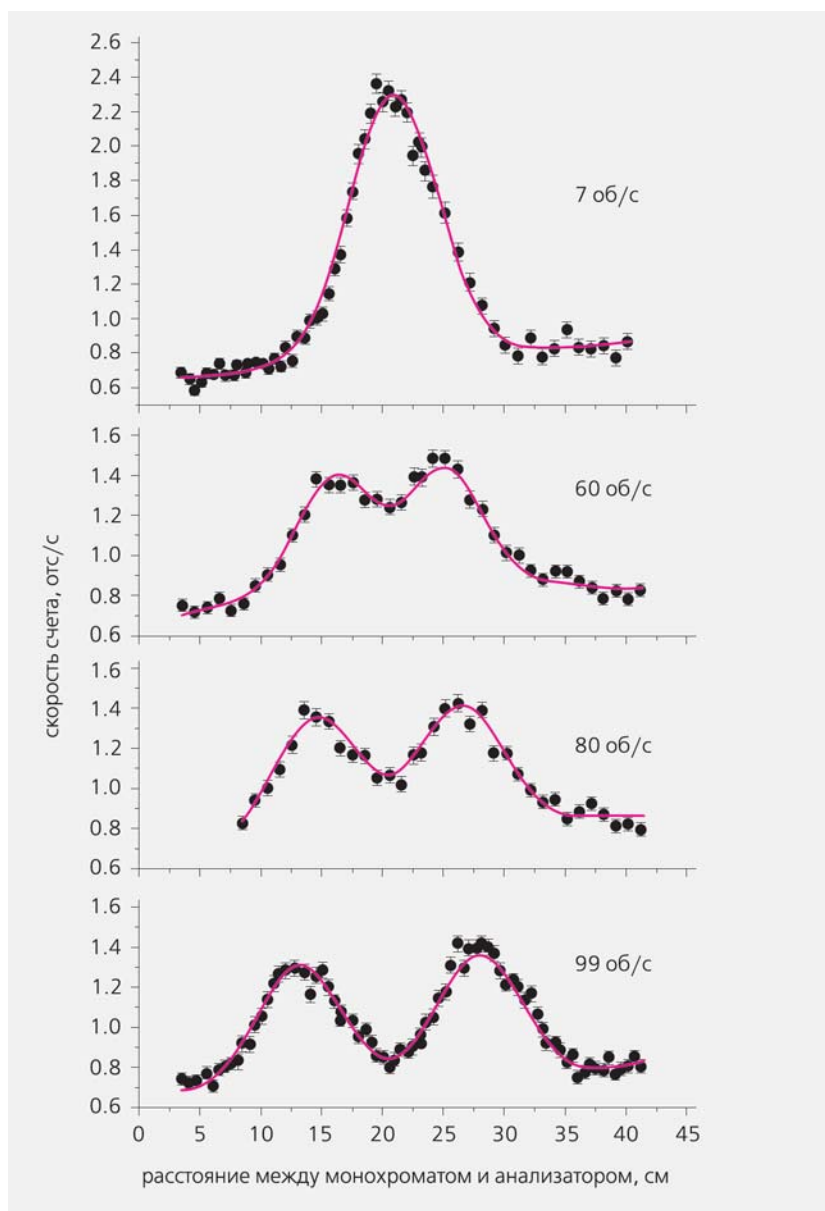


Рис.4. Спектр нейтронов, прошедших через вращающуюся решетку и измеренный при различных скоростях вращения. Изменению расстояния между анализатором и монохроматором в 1 см соответствует изменение энергии в 1 нэВ. Скорости вращения решетки в 100 об/с соответствует частота модуляции нейтронной волны 1.89 МГц.

века после работы Франка мы наблюдали эффект, им предсказанный, но открытый нами заново. Об этой работе я не вспомнил (а Вадим Глебович ее не знал) и, к сожалению, мы на нее не сослались.

В это же время стало понятным еще одно важное обстоятельство. Дело в том, что передача энергии от решетки к ней-

трону квантована. Следовательно, оказывается возможным не просто ускорять и замедлять нейтроны, но передавать им точно известный квант энергии, что очень привлекательно для осуществления целого ряда новых экспериментов.

Думая о возможном применении нового эффекта, мы решили продемонстрировать возмож-

ность создания так называемой нейтронной временной линзы, с помощью которой можно фокусировать нейтроны во времени [10]. Принцип временной фокусировки поясняет рис.5.

Пусть в момент времени $t = 0$ из точки $x = 0$ в положительном направлении оси x вылетают нейтроны, скорости которых v распределены в некотором интервале величин. Соответственно, время их прихода в точку наблюдения $x = c$ также распределено в некотором интервале значений. Фокусировка во времени означает выполнение условия одновременности прихода нейтронов в точку наблюдения. Для обеспечения этого условия необходимо иметь возможность воздействовать на скорость нейтрона с помощью некоего устройства — временной линзы, расположенной в точке $x = a$, так, чтобы было справедливо соотношение

$$\frac{a}{v_a} + \frac{b}{v_b} = t_0, \quad a + b = c. \quad (4)$$

Здесь v_a и v_b — скорость нейтрона до и после линзы соответственно, а t_0 — полное время пролета. Условию фокусировки (4) можно удовлетворить, если временная линза передает нейтрону точно известную энергию $\Delta E(t)$, зависящую от времени вполне определенным образом. Разумеется, длительность импульса любого реального источника не бесконечно мала, а имеет некоторую конечную величину τ . Поэтому длительность импульса Θ в точке регистрации (временное изображение) также конечна. По аналогии с геометрической оптикой можно ввести понятие временного увеличения M . Оказывается, что при относительно небольшой передаче энергии $\Delta E \ll E$ имеет место формула тонкой линзы, такая же как в оптике:

$$M = \Theta/\tau = -b/a. \quad (5)$$

Роль временной линзы и может играть движущаяся решетка. Для достижения эффекта фоку-

сировки слишком быстрые нейтроны, достигшие линзы за время меньшее, чем $t_c = t_0 a/c$, необходимо замедлить ($\Delta E < 0$), а остальные ускорить ($\Delta E > 0$) (рис.5). Поэтому величина ΔE должна быть монотонно возрастающей функцией времени, проходящей через нуль в некоторый момент t_c . Поскольку все волны в суперпозиции (2) имеют различающиеся энергии и волновые числа k_j , очевидно, что в каждый момент времени только одна из них может удовлетворять условию фокусировки. Все остальные создают неизбежный фон. Так как наибольшей интенсивностью обладают волны первого порядка с $j = \pm 1$, то именно их и следует использовать. При этом в первую половину цикла фокусируется волна порядка -1 , а во вторую половину волна порядка $+1$. Эффективность фокусировки в количественном выражении не может, очевидно, превосходить относительную интенсивность каждой из этих волн. Для решеток нашего типа этот теоретический предел составляет примерно 40%, что не так уж и мало. Если фокусировать только эти волны, временной закон изменения частоты определится выражением $\Omega(t) = \Delta E(t)/\hbar$.

Чтобы обеспечить переменную во времени частоту модуляции $\Omega(t)$, мы поступили следующим образом. Как и в нашем предыдущем опыте, решетка представляла собой кремни-

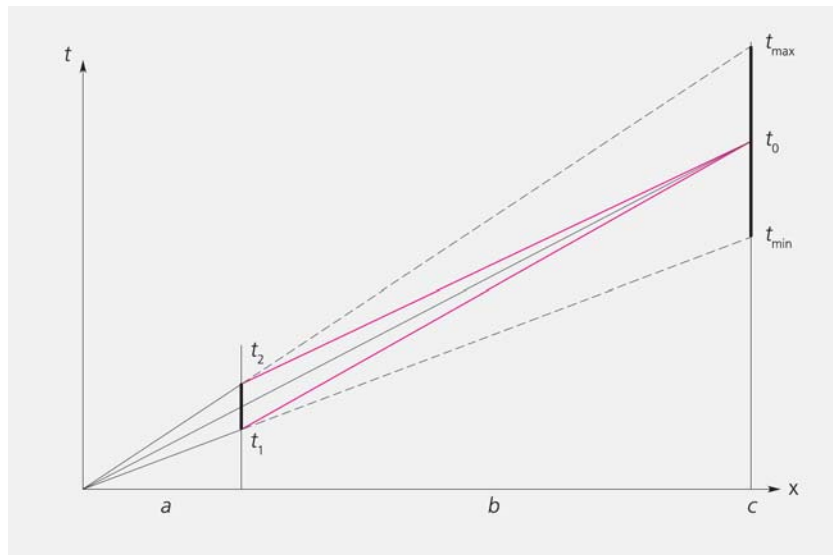


Рис.5. Принцип временной фокусировки нейтронов. В обычной оптике фокусирующая линза преобразует угловое распределение лучей, в результате чего они пересекаются в точке фокуса. Временная линза преобразует распределение нейтронов по скоростям, в результате чего нейтроны, испущенные импульсным источником в некотором диапазоне скоростей, одновременно достигают точки наблюдения. На рисунке изображены траектории нейтронов в координатах путь — время. Прямые линии (лучи) соответствуют нейтрону с постоянной скоростью. В отсутствие фокусировки нейтроны достигли бы точки наблюдения в различное время в интервале между временами t_{\min} и t_{\max} .

евый диск с радиальными канавками на его периферии. Но теперь расстояние $L/2$ между канавками и такая же ширина канавки не были постоянными, а определенным образом зависели от азимутального угла на поверхности диска. При этом каждый момент времени нейтроны могли проходить только через небольшой сектор

решетки. Таким образом, при вращении решетки они «видели» только небольшой фрагмент решетки,двигающейся с постоянной угловой скоростью, но с периодом, который зависит от времени (рис.6). Поскольку частота модуляции Ω определяется отношением длины элемента решетки L и скорости ее движения, то перемен-

Рис.6. Временная линза с движущейся решеткой. Решетка с радиальными штрихами приготовлена на поверхности кремниевого диска, который можно вращать. Угловое расстояние между штрихами не постоянно, а зависит от азимутального угла на поверхности диска. Диафрагма выделяет небольшой сектор, через который могут проходить нейтроны. Поэтому в каждый момент времени нейтроны «видят» движущуюся решетку с расстоянием между штрихами L , пересекающую направление их движения. Однако величина L плавно меняется во времени с периодом, равным времени оборота решетки. Поскольку частота модуляции определяется отношением линейной скорости штрихов V и расстоянием между ними L : $f = V/L$, то она теперь не постоянна. Соответственно, меняется и переданная нейтрону энергия $\Delta E(t) = 2\pi\hbar f(t)$.



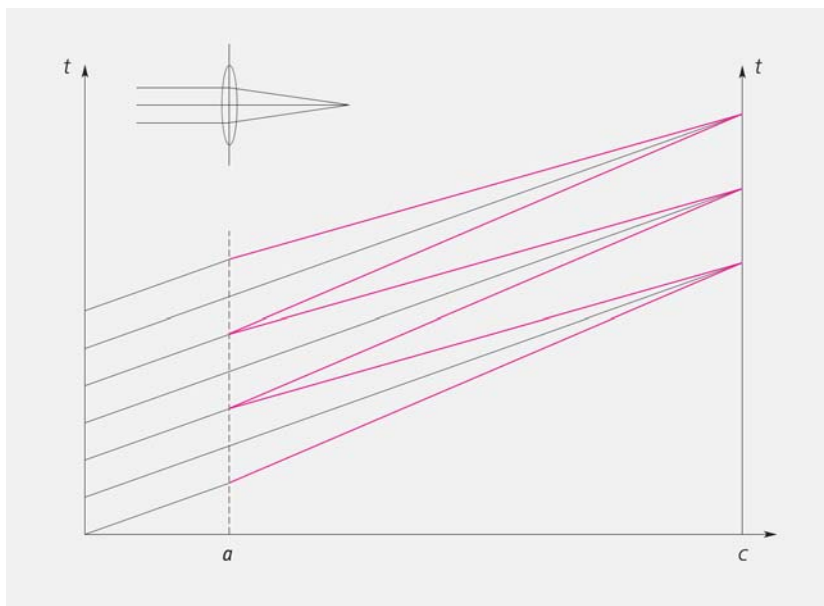


Рис.7. Идея демонстрационного эксперимента по временной фокусировке нейтронов. Монохроматические нейтроны, поступающие в прибор в произвольные моменты времени, имеют одинаковые скорости. На участке пути $x < a$ графики их движения изображены прямыми линиями. Нейтронная линза периодического действия изменяет их скорости. В результате в точке наблюдения c происходит группировка нейтронов (временная фокусировка). Значительная часть нейтронов достигает этой точки одновременно. В обычной оптике этому случаю соответствует фокусировка лучей от бесконечно удаленного источника.

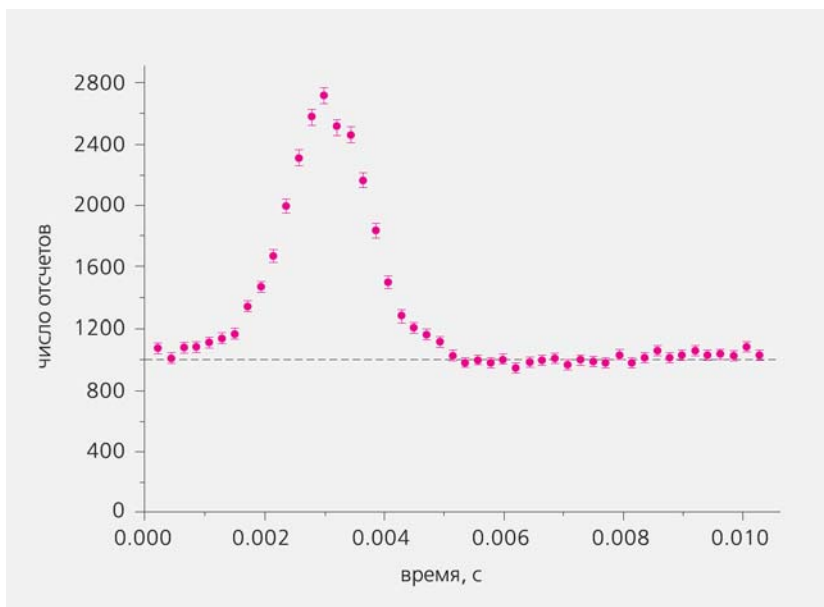


Рис.8. Демонстрация временной фокусировки. Монохроматические нейтроны поступают в прибор в произвольные моменты времени и проходят через временную линзу периодического действия. Скорость счета детектора не постоянна. На зависимости скорости счета от времени хорошо виден пик нейтронов, сфокусированных во времени. Временная шкала равна времени оборота решетки.

ное во времени значение L и обеспечивало необходимую временную зависимость частоты $\Omega(t)$.

Так как на первом этапе мы поставили своей задачей продемонстрировать только саму возможность временной фокусировки, мы решили поставить опыт несколько иначе, чем изображено на рис.5. В самом деле, для демонстрационных целей ничуть не хуже вариант фокусировки лучей от бесконечно удаленного источника, когда временная линза собирает в фокусе параллельные лучи. В координатно-временном представлении такой схеме опыта соответствуют траектории монохроматических нейтронов, исходящих из некоторого стационарного источника (рис.7). При этом линза работает в циклическом режиме, фокусируя нейтроны, поступившие в прибор в течение некоторого периода времени $T_{\text{цикл}}$. На рис.7 представлено три таких цикла. Из него видно, что равномерное во времени (но, разумеется, статистическое) распределение падающих нейтронов преобразуется. В результате при детектировании в определенной точке с координатой c должна возникнуть временная группировка нейтронов, синхронизированная с циклом линзы. И такую группировку мы действительно наблюдали (рис.8), правда, с эффективностью, несколько меньше расчетной [11].

Итак, возможность создания временной линзы, основанной на эффекте ускорения и замедления нейтронов при дифракции на движущейся решетке, была продемонстрирована.

Вскоре нашлось и еще одно применение эффекту дифракционного квантования энергии. Как упоминалось выше, для анализа спектра нейтронов, испытывавших дифракцию на движущейся решетке, мы перемещали по высоте интерференционный фильтр, который пропускал нейтроны строго определенной части спектра. Но задачу можно

и обратить. Представим себе, что наш прибор, состоящий из двух фильтров и вращающейся решетки, настроен на максимум пропускания нейтронов, соответствующих, скажем, порядку дифракции -1 . Пусть при этом расстояние между фильтрами составляет некоторую величину H . Предположим, что мы изменили скорость вращения решетки, что повлекло изменение частоты модуляции на величину $\Delta\Omega$ и, соответственно, энергии нейтрона на величину $\Delta E = \hbar\Delta\Omega$. Теперь прибор уже не настроен на максимум пропускания. Чтобы восстановить настройку, нам придется теперь сместить фильтр-анализатор на некоторую высоту ΔH , так, чтобы изменение энергии нейтрона, обусловленное изменением частоты, было скомпенсировано изменением гравитационной энергии нейтрона $\hbar\Delta\Omega = mg\Delta H$. И мы получаем прекрасный метод измерения ускорения свободного падения нейтрона. Ответ на вопрос, падает ли нейтрон с тем же ускорением, что и макроскопический объект, довольно важен, но, по-видимому, в этой статье обсуждать его сколько-нибудь подробно трудно. Здесь же я лишь отмечу, что недавно мы опробовали такой метод измерения величины g для нейтрона [12] и получили соответствие с локальным значением ускорения свободного падения макроскопического тела на уровне $2 \cdot 10^{-3}$. В ближайшем бу-



И.М.Франк у пульта реактора ИБР-2. 1976 г.

дущем мы надеемся существенно улучшить точность такого эксперимента.

* * *

Такова судьба короткой заметки Ильи Михайловича Франка о возможном изменении энергии нейтрона при дифрак-

ции на бегущей волне. Прошло более тридцати лет с момента ее публикации, а работа эта не только живет, но становится все более актуальной. Так часто бывает. И мне очень хочется надеяться, что у истории, которую я здесь рассказал, будет продолжение. ■

Литература

1. Зельдович Я.Б. // ЖЭТФ. 1958. Т.39. С.1952.
2. Луциков В.И., Покотиловский Ю.Н., Стрелков А.В., Шапиро Ф.Л. // Письма в ЖЭТФ. 1969. Т.9. С.40—45.
3. Франк И.М. Некоторые новые аспекты нейтронной оптики // Природа. 1972. №9. 1972. С.24—31.
4. Франк И.М. Нейтронная оптика и ультрахолодные нейтроны // II Международная школа по нейтронной физике. Дубна, ОИЯИ. ДЗ-1991. 1974. С.19—41; УФН. 1991. Т.161. С.109—127.
5. Франк И.М. О возможной причине аномалии во времени хранения ультрахолодных нейтронов // Сообщения ОИЯИ. P4-8851. Дубна, 1975.
6. Hamilton W.A., Klein A.G., Opat G.I., Timmis P.A. // Phys. Rev. Lett. 1987. V.58. P.2770—2773.
7. Frank A.I., Nosov V.G. // Phys. Lett. A. 1994. V.188. P.120—124.
8. Frank A.I., Balashov S.N., Bondarenko I.V. et al. // Phys. Lett. A. 2003. V.311. P.6—12.
9. Франк А.И., Гелтенборг П., Кулин Г.В. и др. // Письма в ЖЭТФ. 2005. Т.81. С.541—545.
10. Франк А.И., Гэйлер Р. // Ядерная физика. 2000. Т.63. С.605—608.
11. Франк А.И., Гелтенборг П., Кулин Г.В., Стрепетов А.Н. // Письма в ЖЭТФ. 2003. Т.78. С.224—228.
12. Франк А.И., Гелтенборг П., Жентшель М. и др. // Письма в ЖЭТФ. 2007. Т.86. С.255—259.

Некоторые новые аспекты оптики поляризованных нейтронов

В.Л.Аксенов,

доктор физико-математических наук
Объединенный институт ядерных исследований
Дубна

В 1972 г. журнал «Природа» опубликовал статью И.М.Франка «Некоторые новые аспекты нейтронной оптики» [1], в которой автор рассмотрел аналогии и различия между оптическими свойствами света и нейтронов на примере двух принципиального характера экспериментов, выполненных на первом в мире пульсирующем реакторе ИБР в ЛНФ ОИЯИ. Один из них — реализация в 1963 г. дифракционных экспериментов по времени пролета, другой — открытие в 1968 г. возможности удержания в замкнутом пространстве нейтронов очень низких энергий — ультрахолодных нейтронов (см. также [2]). Оба эти направления интенсивно развивались в последующие годы в значительной мере благодаря работам, проведенным в основанной Франком лаборатории.

Илья Михайлович глубоко понимал и чувствовал оптику, и поэтому естественно, что после отмеченных выше экспериментов, особенно с ультрахолодными нейтронами, он обратился к оптическим аналогиям и в дальнейшем уделял этим вопросам большое внимание. В частности его привлекала задача оптического описания поведения нейтронов при скользящем падении на поверхность

плотных веществ. Этот раздел нейтронной оптики начал бурно развиваться с середины 1980-х годов после появления высокопоточных импульсных источников нейтронов, среди которых был и пульсирующий реактор ИБР-2 в Дубне, принятый в эксплуатацию в 1984 г. [3].

На высокопоточных источниках использование метода времени пролета перешло на качественно новый уровень. Так, дифрактометрия по времени пролета фактически пережила свое второе рождение и превратилась в высокоинформативный метод структурной нейтронографии [4]. Получила развитие и техника отражения нейтронов при скользящем падении. В настоящее время этот метод, называемый нейтронной рефлектометрией, сформировался как мощное средство диагностики и исследований наноструктурных материалов. Выяснилось, что он также имеет свои преимущества во времяпролетной постановке эксперимента. Особый интерес для нейтронной рефлектометрии представляет использование поляризованных нейтронов.

Лаборатория нейтронной физики была среди пионеров создания нового научного направления — оптики поляризованных нейтронов при скользящем угле падения, и все вопросы, связанные с его становлением, об-

суждались с Франком. О современном состоянии этой дисциплины и пойдет здесь речь.

Магнитное расщепление нейтронного пучка

Часто, когда говорят об оптике, имеют в виду оптику частиц света — фотонов. Однако распространение любых частиц подчиняется законам оптики — либо волновой, либо геометрической. Это относится, конечно, и к нейтронам: именно в нейтронной оптике имеется больше всего аналогий со световой [1, 2]. Причем аналогии наблюдаются в различных диапазонах энергий (или длин волн). Так, для ультрахолодных нейтронов, энергия которых меньше 10^{-7} эВ (длина волны больше 100 нм), оптика аналогична оптике видимого света. Для тепловых нейтронов, средняя энергия которых около 10^{-2} эВ (длина волны ~ 0.2 нм), оптика очень близка к таковой рентгеновских лучей с энергией квантов около 7 кэВ.

В исследовательских ядерных реакторах и источниках нейтронов на базе ускорителей основную долю излучаемых нейтронов составляют тепловые нейтроны, т.е. нейтроны, замедленные до состояния теплового равновесия с веществом замедлителя при комнатной температуре. Распределение по

скоростям тепловых нейтронов близко к максвелловскому. Нейтроны из этого спектра со скоростями в несколько раз меньше максвелловской называются холодными (длина волны около 0.4 нм). В последние годы в связи с возросшим интересом к биологическим объектам и наноструктурным материалам все большее распространение получают так называемые холодные замедлители, с помощью которых замедляют нейтроны до меньших энергий, чтобы получить интервал длин волн от 0.4 до 2 или даже 3 нм.

Нас в дальнейшем будут интересовать тепловые и холодные нейтроны, оптика которых аналогична оптике рентгеновских лучей. При этом не надо забывать, что природа этих двух излучений разная, поэтому имеются существенные отличия. Отметим два из них. Прежде всего, масса покоя нейтрона в отличие от фотона не равна нулю. В результате в нейтронной оптике и спектроскопии реализуется метод времени пролета, у которого нет аналога в световой оптике и спектроскопии. Суть этого метода состоит в том, что фиксируется время вылета нейтрона из источника и время его прилета в детектор. Зная расстояние от источника до детектора и время пролета нейтроном этого расстояния, можно определить его скорость v , а следовательно, энергию и длину волны согласно соотношению де Бройля $\lambda = h/mv$. Метод времени пролета — альтернатива методу фиксированной длины волны, когда аналогично рентгеновской оптике из спектра источника нейтронов с помощью монохроматора выделяют излучение с заданной длиной волны (или с заданной скоростью), а измеряют угол рассеяния. Для структурных исследований с помощью нейтронов метод времени пролета имеет целый ряд преимуществ (см., например, [4]).

Второе важное отличие, придающее своеобразие нейтронной оптике, связано с наличием



Главный конструктор реактора ИБР-2 академик Н.А.Доллежал и научный руководитель реактора академик И.М.Франк. 1980 г.

у нейтрона спина и связанного с ним магнитного момента. В результате нейтрон испытывает в веществе помимо ядерного еще и магнитное взаимодействие, что позволяет изучать взаимное расположение и ориентацию магнитных моментов атомов, а также их динамику. Для изучения магнитных свойств вещества весьма эффективными оказываются поляризованные нейтроны*. Поляризация нейтронов

и поляризация света имеют разную природу. Поляризации света соответствует определенный тип колебаний электрического и магнитного векторов в электромагнитных волнах. Дать строгое определение поляризации нейтронов — сложная квантово-механическая задача, однако для практических применений вполне адекватно простое представление, используемое в эксперименте: пучок нейтронов называют поляризованным, если в нем число нейтронов с одной проекцией спина заметно превышает число нейтронов с другой проекцией. Спин нейтрона равен $1/2$, а его проекция на любое направление равна $1/2$ или $-1/2$. В исходном, неполяризованном пучке нейтронов обе проекции равновероятны.

В оптике тепловых и холодных нейтронов возможны два подхода: корпускулярный на основе уравнения Шредингера с некоторым средним потенциалом, действующим на нейтроны в среде, и волновой, который опирается на понятие «показатель преломления», как это делается в оптике. Обычно используют первый подход, хотя

* Идея использовать поляризованные нейтроны для исследования вещества возникла сразу же после демонстрации дифракции нейтронных волн. В 1936 г. Ф.Блох теоретически показал, что эффективное сечение рассеяния нейтронов в намагниченном железе должно быть разным для двух возможных ориентаций спина нейтрона по отношению к магнитному полю, в результате чего нейтронный пучок после прохождения через намагниченное железо будет содержать преимущественно нейтроны, спин которых ориентирован в определенном направлении. В конце 1940-х — начале 1950-х годов ДЮЗ с соавторами провел серию основополагающих экспериментов по оптике поляризованных нейтронов. Многие пионерские работы по технике поляризованных нейтронов и их использованию были выполнены в Ленинградском институте ядерной физики РАН, что отражено частично в [5].

в какой-то степени второй подход более нагляден, поскольку упомянутое понятие применимо к любым волнам де Бройля [1]. Природа показателя преломления нейтронных и световых волн одна и та же. Падающая волна вызывает при рассеянии в среде вторичные волны, когерентное сложение которых

и дает преломленную и отраженную волны. Отличие состоит в взаимодействии со средой: свет рассеивается электронными оболочками атомов, а нейтроны — ядрами. В магнитной среде нейтроны, кроме того, взаимодействуют и с магнитными моментами атомов. В этом случае коэффициент преломле-

ния нейтронной волны будет состоять соответственно из двух слагаемых $n_{\pm} = n_0 \mp \mu_n B/E_n$, где n_0 — показатель преломления за счет взаимодействия нейтронов с ядрами, μ_n и E_n — магнитный момент и энергия нейтрона, B — магнитная индукция в среде, знак «+» или «-» определяется направлением спина нейтрона — по полю или против поля соответственно.

В результате пучок нейтронов, падающий из немагнитной среды в магнитную, расщепится на два, т. е. произойдет двойное лучепреломление. Однако в отличие от световой оптики каждый из этих пучков будет состоять из нейтронов определенной поляризации*. Если уменьшать угол между осью падающего пучка и поверхностью среды, при некотором значении угла падения θ_c для одного из лучей наступит полное внутреннее (внешнее) отражение. На этом явлении основано получение пучков поляризованных нейтронов с помощью так называемых поляризующих зеркал [5]. Значения критического угла θ_c малы (меньше 1°), поэтому падение называют скользким.

До сих пор мы рассматривали простой случай, когда пучок нейтронов падает из вакуума или немагнитной среды на поверхность однородно намагниченной среды. В более сложном и более интересном для теории и практических приложений случае неоднородно намагниченных сред появляются новые эффекты в распространении нейтронных волн. Так, когда направление внешнего магнитного поля и индукция в среде не параллельны или когда нейтроны распространяются сквозь среду с неколлинеарными векторами магнитной индукции, происходит расщепление как

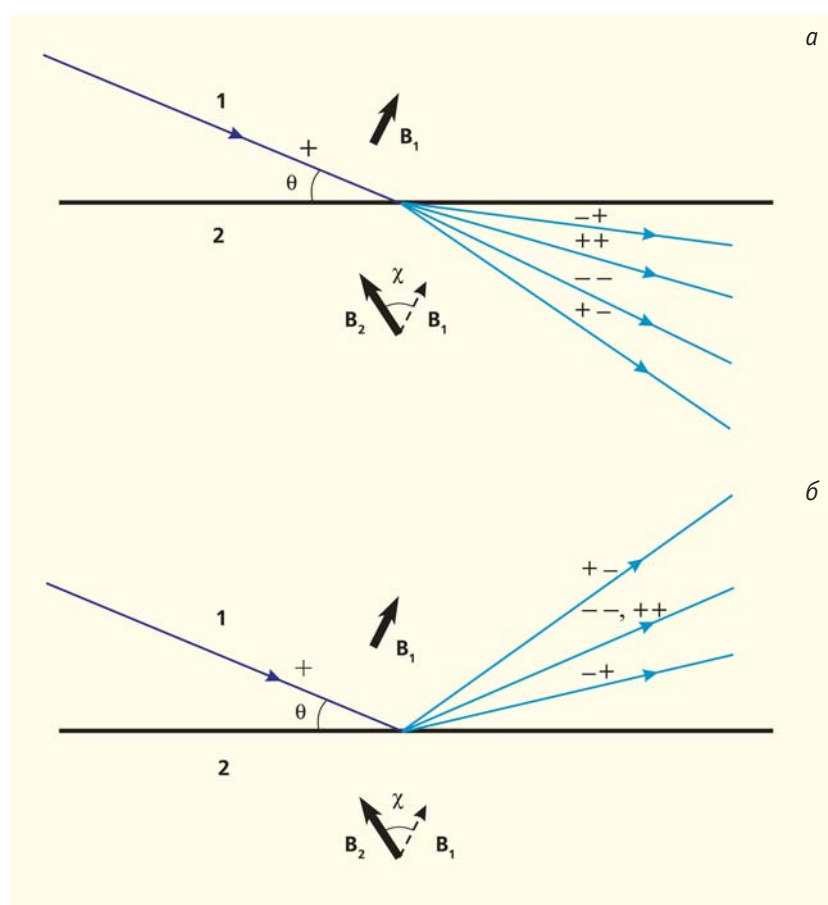


Рис.1. Преломление (а) и отражение (б) нейтронного пучка на границе раздела двух магнитных сред с неколлинеарными векторами магнитной индукции B_1 и B_2 .

При преломлении нейтроны из области 1 проходят в область 2 через границу раздела под малым углом скольжения θ . Нейтроны с проекцией спина вдоль (против) B_1 на границе раздела могут перейти с некоторой вероятностью в состояние с проекцией спина вдоль (против) или против (вдоль) B_2 . Таким образом, на границе существуют четыре спиновых перехода: $++$, $+ -$, $- +$, $--$. Первый знак отвечает проекции спина на направление магнитной индукции в среде 1, а второй — тому же в среде 2. Вероятности спиновых переходов W^+ , $W^- \sim \sin^2 \chi$, где χ — угол между векторами магнитной индукции в соседних областях. Все преломленные на границе раздела пучки нейтронов полностью поляризованы.

При отражении нейтронов происходит расщепление неполяризованного пучка на три: пучки нейтронов, соответствующие спиновым переходам «+ +» и «- -», испытывают зеркальное отражение, пучки нейтронов, соответствующие переходам «+ -» и «- +», отражаются незеркально.

* Этот эффект используется для изучения доменной структуры магнитных кристаллов. Впервые он был применен для этих целей в 1972 г. С.Ш.Шильштейном, В.А.Соменковым и М.Калановым из РИЦ «Курчатовский институт».

неполяризованных, так и поляризованных пучков нейтронов. В отличие от магнитно-коллинеарной среды, когда направление внешнего магнитного поля и индукции в среде параллельны, в данном случае при отражении и преломлении существует вероятность спиновых переходов с изменением знака проекции спина на направление магнитного поля (рис.1). При этом изменяется потенциальная энергия нейтронов в магнитном поле. Поскольку полная энергия нейтронов сохраняется, это приводит к изменению компоненты скорости, перпендикулярной границе раздела сред. В результате над поверхностью раздела и в магнитной среде возникают дополнительные пучки нейтронов, испытавших различные спиновые переходы.

Эффект пространственного расщепления пучка поляризованных нейтронов при взаимодействии с неколлинеарной средой был предсказан В.К.Игнатовичем в 1978 г., когда он теоретически изучал причины деполяризации ультрахолодных нейтронов при их преломлении и отражении на поверхности магнитных пленок.

Использование реактора ИБР-2 позволило провести систематическое экспериментальное исследование процессов расщепления нейтронных пучков разнообразными магнитными структурами при различных значениях и направлениях напряженности внешнего магнитного поля [6]. Поскольку эксперименты проводились методом времени пролета, углы скольжения преломленных и отраженных пучков нейтронов для разных магнитных полей были получены в зависимости от длины волны нейтронов, что практически невозможно при использовании метода фиксированного значения длины волны нейтрона на источниках с непрерывным потоком.

Эффекты пространственного расщепления пучка нейтро-

нов в магнитно-неколлинеарных средах не только демонстрируют новые свойства нейтронных волн, но и могут быть использованы для решения научных и методических задач. Так, было показано, что появляется возможность разделять спиновые состояния нейтронов во внешнем и внутреннем магнитных полях. Это позволяет исследовать сложные магнитные структуры в тонких пленках и слоистых системах.

Весьма интересным и многообещающим оказалось применение эффекта пространственного расщепления пучка поляризованных нейтронов для наблюдения стоячих нейтронных волн в слоистой структуре.

Стоячие волны в нанослоях

При дифракции на периодических структурах рентгеновских лучей или нейтронов в результате интерференции волновых полей падающих и рассеянных частиц возникает поле стоячих волн (СВ). В идеальных кристаллах плоскости равной интенсивности в волновом поле расположены параллельно плоскостям дифракционных отражений и существуют как в объеме, так и над поверхностью. Это позволяет с большой точностью определять положения примесных атомов как внутри кристаллов, так и в адсорбированных на поверхности слоях. Период СВ близок к периоду кристаллической решетки и лежит в интервале 0.1–1 нм. Больших периодов, порядка десятков нанометров, можно достичь, используя для генерации СВ многослойные синтетические наноструктуры с заданным периодом [7].

Поле СВ возникает и над отражающими зеркально поверхностями при полном внешнем отражении. В этом случае период СВ $D \sim \lambda/\theta$, где θ — угол скольжения пучка частиц, что позволяет менять величину D от десятков нм вблизи критического угла отражения до сотен нм

при меньших углах и открывает новые возможности для исследования длиннопериодических структур, в частности биологических объектов.

Интенсивность нейтронных стоячих волн (НСВ) до недавнего времени оставалась низкой, что сдерживало их практическое применение*. Ситуация изменилась в начале 1990-х годов, когда было показано, что амплитуда СВ в тонких пленках в условиях полного внешнего отражения может быть резонансно усилена как для рентгеновских лучей, так и для нейтронов [8]. Было обнаружено, что фактор усиления НСВ может при определенных условиях достигать значений нескольких сотен. При этом использовался традиционный способ регистрации НСВ, основанный на регистрации гамма-излучения (вторичное излучение), которое возникает в результате внутриядерных процессов после захвата нейтрона. Образец готовился таким образом, чтобы подлежащий изучению слой содержал атомные ядра, для которых сечение реакции (n, γ) велико. Например, в полимерную пленку вводился слой, содержащий гадолиний.

В ЛНФ им.Франка в середине 1990-х — начале 2000-х годов были проведены систематические теоретические и экспериментальные исследования формирования НСВ в слоистых структурах и использования их для изучения наноструктур [9].

В общем виде задачу можно сформулировать следующим образом. При формировании СВ волновая функция нейтрона приобретает фиксированные в пространстве максимумы и минимумы, т.е. формируется определенная структура волновой

* После первого наблюдения нейтронных стоячих волн в 1956 г. было выполнено несколько интересных работ, в том числе группой В.А.Соменкова и С.Ш.Шильштейна в РИЦ «Курчатовский институт», которые продемонстрировали принципиальные возможности их наблюдения в кристаллах.

функции. Необходимо эту структуру рассчитать и с помощью тех или иных зондов выявить.

Расчетная часть задачи типична для нейтронной оптики, когда исследуются отражение и пропускание плоских многослойных зеркал и волновая функция внутри зеркала. Плоское зеркало представляется некоторым потенциалом, характеризующим взаимодействие, и рассеяние нейтрона на нем находится путем решения стационарного одномерного уравнения Шредингера с заданными падающей плоской волной и потенциалом зеркала — оптическим потенциалом [9].

Наиболее ярко формирование структуры волновых функций проявляется в резонансных

системах, в которых в результате многократного отражения возникает резонансное увеличение амплитуды волновой функции в выделенном слое.

Для иллюстрации рассмотрим оптический потенциал когерентного взаимодействия нейтрона в системе в зависимости от координаты z , имеющий три области: в первой области u_1 происходит преобразование нейтронной волны с изменением амплитуды и фазы, во второй области u_2 — сдвиг фазы нейтронной волны и в третьей u_3 — отражение нейтронной волны. Для расчета структуры волновой функции решается стационарное одномерное уравнение Шредингера с заданными плоской падающей волной и оптическим

потенциалом. Такой потенциал можно представить в виде

$$u(z) = \begin{cases} 0, & z < 0, \\ u_1, & 0 \leq z < d_1, \\ u_2, & d_1 \leq z < d_1 + d_2, \\ u_3, & z \geq d_1 + d_2. \end{cases}$$

Оптический потенциал, или потенциал рассеяния, в уравнении Шредингера

$$\frac{d^2\Psi(z)}{dz^2} + [k_z^2 - u(z)]\Psi(z) = 0$$

в общем случае комплексный, действительная часть которого равна $4\pi N\sum b_i$, где N — число рассеивателей (атомов или молекул), b_i — когерентная длина рассеяния. В уравнении $k_z = 2\pi\sin\theta/\lambda$ — нормальная компонента волнового вектора нейтрона с длиной волны λ , θ — угол падения пучка нейтронов (входящей плоской волны) на поверхность u_1 . Волновая функция $\Psi(z)$ в слое 2 имеет вид

$$\Psi(z) = t_2 \exp(ik_2 z) + r_2 \exp(-ik_2 z),$$

где t_2 и r_2 — коэффициенты прохождения и отражения от нижней границы слоя 2, $k_2 = \sqrt{k_z^2 - u_2}$ — нормальная компонента волнового вектора нейтрона в слое 2.

В отсутствие резонансного усиления максимальные значения t_2 и r_2 удовлетворяют условию $|t_2| + |r_2| = 1$, что соответствует максимальной амплитуде стоячей волны $|\Psi(z)|_{\max}^2 = 4$. Однако возможно резонансное усиление, так как r_2 может быть существенно больше единицы. Действительно, в пределе очень большой толщины d_1 верхнего слоя и при условии, что толщина второго слоя d_2 равна целому числу периодов стоячей волны D , для r_2 можно получить аналитическое решение [8]:

$$|r_2| = \frac{1 - u_2/u_1}{1 - u_2/k_z^2} \exp(2\sqrt{u_1 - k_z^2} d_1).$$

Как видно, r_2 может увеличиваться бесконечно при увеличении d_1 . Рассмотренная модель сильно упрощена и демонстрирует только качественную кар-

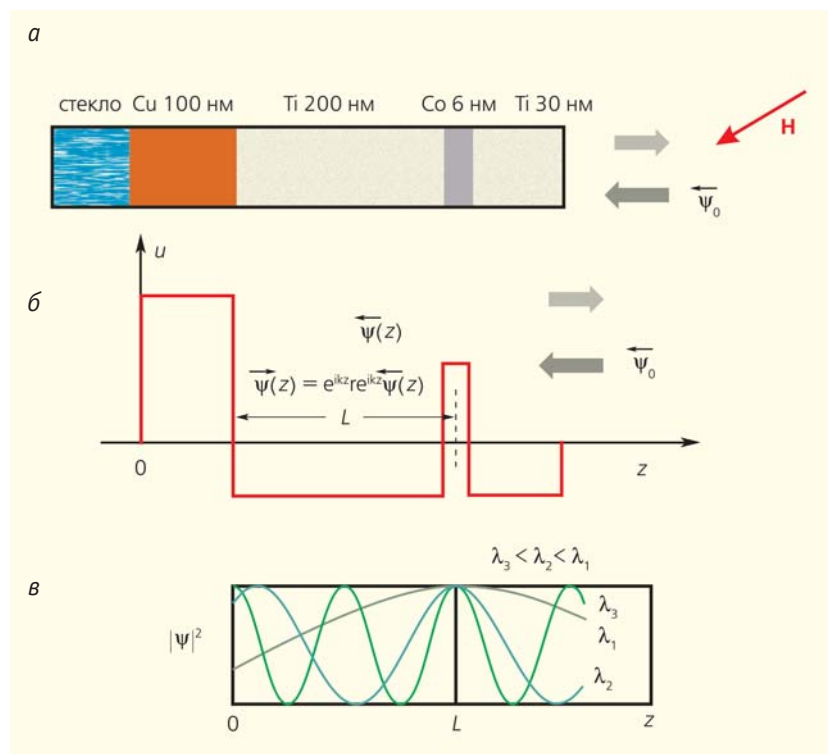


Рис.2. Схема образования нейтронных стоячих волн. Слоистая структура стекло/Cu/Ti/Co/Ti (а). Размер пленки $50 \times 100 \times 5$ мм. К пленке под некоторым углом к поверхности приложено магнитное поле H , расщепляющее пучок. Оптический потенциал структуры (б). Нейтронная волна падает на поверхность Ti (30 нм) и отражается от слоя Cu (100 нм). Падающая и отраженная волны образуют в слое Ti (200 нм) + Co (6 нм) стоячую волну. Плотность волновой функции нейтрона $|\Psi|^2 = 1 + r^2 + 2r\cos(2kz - \varphi(\lambda))$ (в). В слое Co нейтроны испытывают спиновые переходы «+ →» и «- →». Когда пучность стоячей волны в пространстве попадает на слой Co, для длин волн, соответствующих этой стоячей волне, наблюдаются максимумы в коэффициентах отражения R^+ и R^- .

тину. В реальных системах величина $|\Psi(z)|_{\text{max}}^2$, конечно, ограничена, однако, как показывают расчеты [9], коэффициент усиления может быть сотни и даже тысячи.

Для зондирования структуры волновой функции в наших работах были разработаны различные методы [9]. Было показано, что кроме γ -излучения можно использовать для регистрации НСВ и другие вторичные излучения в реакциях с нейтронами, например излучение протонов и α -частиц. Было также установлено, что при полном отражении поляризованных тепловых нейтронов образуется стоячая волна в заданном спиновом состоянии (с проекцией спина вдоль или против магнитного поля), регистрация которой может быть осуществлена с помощью детектирования нейтронов, изменивших спиновое состояние (переориентированных нейтронов). При этом регистрацию испытавших переворот спина нейтронов можно проводить непосредственно путем измерения поляризации отраженного пучка, а при достаточно больших внешних магнитных полях — путем измерения углового распределения нейтронов, т.е. с использованием эффекта расщепления пучка в магнитном поле (рис.2, 3).

Дальнейшее развитие метода НСВ связано с развитием технологии изготовления совершенных наноструктур. Использование поляризованных нейтронов позволяет уже сейчас определять положение магнитного слоя толщиной 1 нм и намагниченностью 20 Э с точностью до 1 нм. Расчеты показывают, что конструирование соответствующих резонансных наноструктур позволит увеличить точность до 0.1 нм.

Нейтронная нанодиагностика

В чем же практическая ценность оптики отражения нейтронов при скользящем паде-

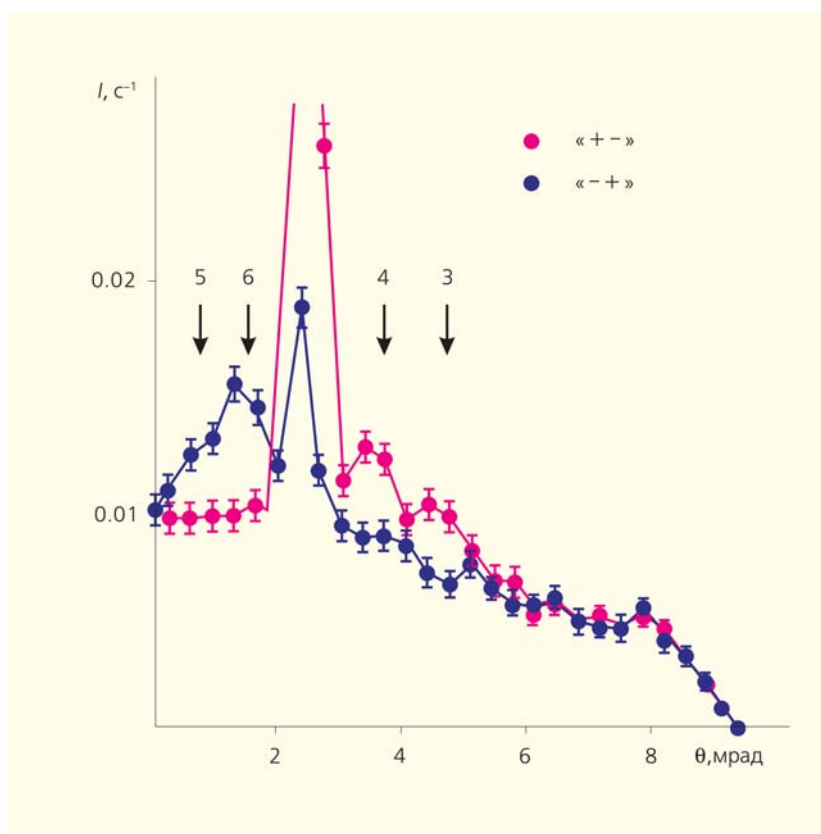


Рис.3. Использование эффекта расщепления пучка нейтронов в магнитно-неколлинеарных средах для регистрации НСВ в области расположения магнитного слоя, намагниченность которого расположена под заданным углом к внешнему магнитному полю. Измеряются интенсивности когерентных незеркально отраженных, переориентированных в магнитном поле нейтронов, которые в режиме СВ оказываются периодическими функциями угла скольжения. Для слоистой структуры с рис.2 на фоне большого пика зеркально отраженных и не испытавших спинового перехода нейтронов видны пики переориентированных нейтронов, соответствующие максимумам СВ в магнитном слое S_0 . Цифрами показаны порядки интерференции нейтронных волн в начальных спиновых состояниях «+» или «-». Эффект расщепления проявляется также в том, что коэффициент отражения $R^{+-} > R^{-+}$ для угла скольжения θ , большего зеркального угла скольжения $\theta_c = 2.5$ мрад, и наоборот $R^{+-} < R^{-+}$ для $\theta < \theta_c$.

нии, нашедшей методическое воплощение в нейтронной рефлектометрии? Нейтронная рефлектометрия — идеальный метод для исследования и диагностики наноструктурных материалов, в частности слоистых систем и систем со структурированными поверхностями. Слабое взаимодействие нейтронов с веществом делает этот метод неразрушающим с большой глубиной проникновения в образец и высокой чувствительнос-

тью по глубине. Особенно ценен он применительно к металлическим системам, проникновение в которые для рентгеновских лучей затруднено. В случае объектов, содержащих водород, относительно сильно взаимодействующие с ним нейтроны имеют большие преимущества перед рентгеновскими лучами, которые взаимодействуют с электронной плотностью и поэтому плохо различают легкие атомы на фоне тяжелых. Нейтроны



Рефлектометр РЕМУР на реакторе ИБР-2 (ОИЯИ, Дубна).

же электронную плотность почти не чувствуют и рассеиваются главным образом на ядрах атомов, при этом сила взаимодействия не зависит от атомного номера. Наконец, методы исследования, основанные на использовании магнитного момента нейтрона, открывают новые возможности при исследовании

не только магнитных, но и немагнитных систем, для которых весьма перспективным является метод спинового эха. Для магнитных же систем совершенно незаменимы поляризованные нейтроны.

Явление зеркального отражения нейтронов от вещества было открыто Э.Ферми и В.Зин-

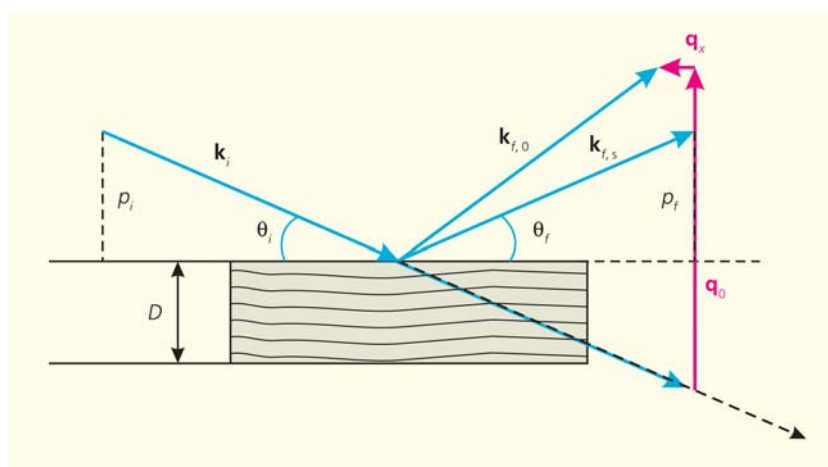


Рис.4. Схема рефлектометрического эксперимента. На поверхность образца толщиной D падает пучок нейтронов под углом скольжения θ_i . Угол $\theta_i \leq \theta_c$ — критического угла, при котором наступает полное внешнее отражение. Если угол отраженного пучка $\theta_f = \theta_i$, то отражение является зеркальным, если $\theta_f > \theta_i$ — незеркальным. \mathbf{k}_i — волновой вектор падающего нейтрона, $\mathbf{k}_{r,s}$ — волновой вектор нейтрона при зеркальном отражении, $\mathbf{k}_{r,0}$ — при незеркальном, $p_{i,f}$ — проекции волновых векторов на нормаль к поверхности: $p_{i,f} = \mathbf{k}_{i,f} \sin \theta_{i,f}$. При незеркальном отражении возникает продольная составляющая переданного импульса \mathbf{q}_x .

ном в 1946 г., однако как экспериментальный метод исследования тонких пленок, поверхностей твердых и жидких тел, а также поверхностей раздела нейтронная рефлектометрия получила активное развитие только начиная с середины 80-х годов прошлого столетия после появления высокопоточных импульсных источников нейтронов. До этого эффект полного внутреннего отражения использовался для транспортировки нейтронных пучков с помощью так называемых нейтронных волноводов [5]. В последнее время в технике изготовления нейтронных волноводов, как обычных, так и поляризованных, был достигнут большой прогресс. Кроме того, в технике нейтронного эксперимента большое распространение получили различные элементы, использующие оптические свойства нейтронных пучков. По этой причине часто под термином «нейтронная оптика» понимают технику нейтронного эксперимента.

В последнее десятилетие помимо метода зеркального отражения, поставляющего данные о структуре по глубине образца (скажем, по оси z), была успешно развита методика незеркального (диффузного) рассеяния, которая дает информацию об изменениях структуры в плоскости образца. Таким образом появляется возможность полного исследования структуры низкоразмерных систем на наномасштабе. Типичные примеры наносистем, изученных с помощью нейтронной рефлектометрии, включают в себя магнитные многослойные пленки, полосчатые (stripe) структуры, квантовые точки, нанопроволоки в пористом кремнии, полимеры с включениями магнитных наночастиц, мультиламеллярные везикулы, магнитные жидкости.

Схема рефлектометрического эксперимента в принципе проста (рис.4). На поверхность образца под малым углом скольжения θ_i падает пучок нейтронов с волновым вектором \mathbf{k}_i . При

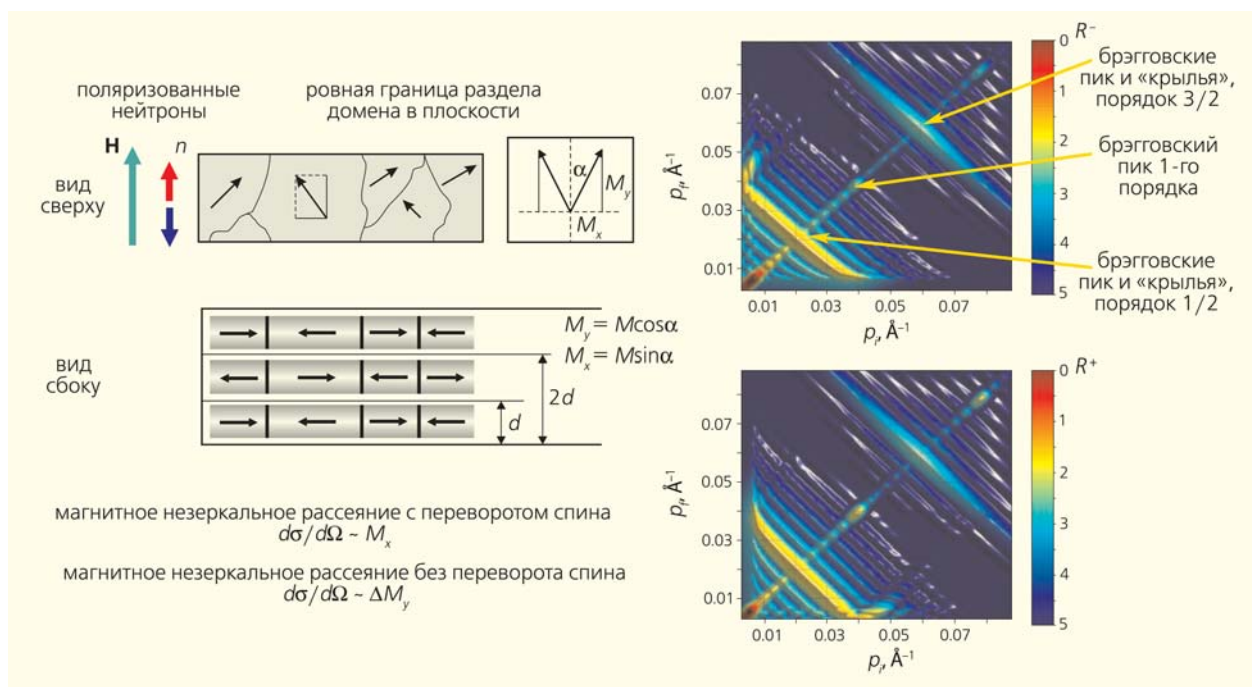


Рис.5. Модельные расчеты интенсивностей рассеяния от антиферромагнитно упорядоченной многослойной структуры $[\text{Fe}(7\text{нм})\text{Cr}(1\text{нм})]_{12}/\text{Al}_2\text{O}_3$ с магнитными доменами со средним размером 280 нм и гладкими межслойными границами. Антиферромагнитное упорядочение в плоскости, перпендикулярной поверхности, имеет удвоенный период $2d$, поэтому в картине рассеяния появляются полуцелые брэгговские магнитные пики. Предполагается, что антиферромагнитный порядок в доменной структуре устроен в виде регулярных стопок. При рассеянии поляризованных нейтронов брэгговские крылья деформированы, в частности, если они входят в область рассеяния Йонедэ вблизи осей координат. Интенсивность уменьшается (исчезает) при $k_f < k_c$ для отражения с поляризацией против поля R^- и, наоборот, для отражения с поляризацией по полю R^+ интенсивность при $k_f > k_c$ возрастает (становится заметной). Это различие в поведении обусловлено тем, что поляризованные нейтроны имеют разные критические углы, ниже которых интенсивность исчезает, в зависимости от соотношения направления поляризации нейтронов и внешнего магнитного поля H . В незеркальном магнитном рассеянии из-за рассеяния при перевороте спина возникают эффекты асимметрии.

зеркальном отражении, когда угол отраженного пучка $\theta_f = \theta_i$, переданный импульс $q = k_f - k_i$ (k_f — волновой вектор отраженного пучка) перпендикулярен подложке. При незеркальном отражении ($\theta_f > \theta_i$) появляется параллельная подложке составляющая переданного импульса q_{\parallel} , которая несет информацию об искажениях поверхности в этом направлении, например о шероховатостях или о внедренных в среду наночастицах. Во времяпролетной постановке эксперимента интенсивность зеркального отражения на детекторе регистрируется в фиксированной точке (угле отражения) и меняется в зависимости от длины волны нейтрона. Интенсивность незеркального рас-

сеяния «высвечивается» (рис.5) в точках выше или ниже линии зеркального отражения в виде крыльев брэгговского, отвечающего условию $q_0 = p_i + p_f = \text{const}$ (см. рис.4), или йонедовского рассеяния, для которого k_i или $k_f = k_c$ (k_c — критическое значение волнового вектора, при котором выполняется условие полного внешнего отражения нейтронов).

Преимущество времяпролетной постановки эксперимента состоит в том, что прямой пучок не приближается к линии интенсивности зеркального отражения, как это происходит в случае рефлектометров с постоянной длиной волны, когда необходимо вращать образец, чтобы выйти на угол, соответ-

ствующий дифракционному максимуму. В результате для времяпролетной методики интенсивность фона при критическом угле при больших длинах волн в области рассеяния Йонедэ оказывается очень низкой по сравнению с методом постоянной длины волны, в котором переменная является углом θ_i .

В рефлектометрическом эксперименте зеркальное рассеяние от идеальной плоской многослойной структуры, т.е. без шероховатостей на поверхностях и на межслойных границах, позволяет найти толщину пленки D , которая определяется по положениям осцилляций коэффициента отражения R в точках обратного пространства $q = 2\pi n/D$. В случае многослойной

системы положения брэгговских пиков $q = 2\pi n/d$ дают значения толщины слоев d . Интенсивность брэгговских пиков возрастает при увеличении контраста рассеяния нейтронов между слоями. Незеркальное рассеяние возникает, когда на границах между слоями и на поверхности имеются шероховатости. Источником незеркального рассеяния могут служить и магнитные неоднородности.

Интенсивность незеркального рассеяния зависит не только от силы рассеяния на неоднородностях в слоях, но также и от амплитуды нейтронного волнового поля внутри многослойной системы, вызванной многократными отражениями и переходами нейтронов через межслойные границы. Эти процессы резонансного усиления учитываются в борновском приближении искаженных волн. В однослойных

тонких пленках, в частности в случае жидкостей, этих эффектов нет и соответственно не возникает высокоинтенсивных брэгговских крыльев.

В качестве примера (рис.6) рассмотрим нейтронную нанодиагностику магнитной многослойной наноструктуры Fe/Cr [10], в которой было обнаружено в 1988 г. гигантское магнетосопротивление, за что А.Феру и П.Грюнбергу была присуждена Нобелевская премия по физике 2007 г. [11].

В системе Fe/Cr в случае бесконечного числа слоев без внешнего магнитного поля намагниченность ферромагнитных слоев железа (Fe), разделенных тонкими слоями хрома (Cr), устроена идеальным антиферромагнитным образом в направлении, перпендикулярном поверхности. Кроме этого, в плоскостях образуются идеальные антиферромагнитные

домены. Внешнее магнитное поле приводит к повороту вектора намагниченности в направлении поля. Поэтому кроме зеркального отражения можно ожидать незеркальное рассеяние. Ситуация становится еще сложнее, если число слоев конечно. В этом случае граничные слои Fe имеют только одного соседа, так что обменное взаимодействие сокращается, тогда как зеемановское взаимодействие, определяемое полем H , остается прежним. В результате каждый слой Fe будет иметь различные направления намагниченности. Это имеет важные последствия как для зеркального отражения, так и для незеркального рассеяния, поскольку компонента M_y , параллельная H , входит в зеркальное отражение, а M_x , перпендикулярная H , входит в незеркальное рассеяние. Вхождение M_x в незеркальное рассеяние приводит к тому, что

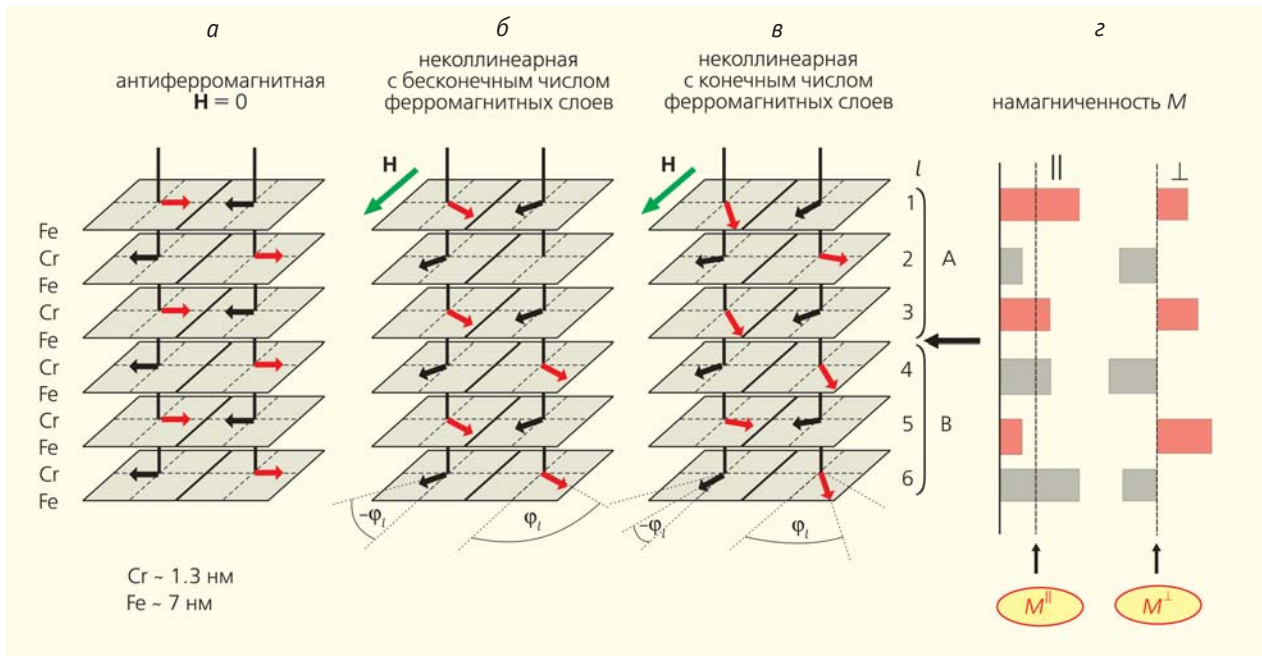


Рис.6. Конфигурация намагниченности в обменно-спаренных многослойных системах, состоящих из ферромагнитных слоев Fe и немагнитных слоев Cr (на рисунке не показаны). В зависимости от величины внешнего магнитного поля H и числа слоев возможны три типа структуры: при $H = 0$ антиферромагнитная конфигурация (а); при $H \neq 0$ в плоскости легкой оси неколлинеарная антиферромагнитная конфигурация с углом скашивания $\varphi_l = -\varphi_{l-1}$ (l — номер слоя) (б), при $H \neq 0$ в плоскости легкой оси и при конечном четном числе слоев скрученная неколлинеарная антиферромагнитная конфигурация с $\varphi_l = -\varphi_l$ и $\varphi_l > -\varphi_{l-1}$ (в). Скобками А и В показаны две поперечные антифазные части домена, который развивается в плоскости. Проекции намагниченности (M^{\parallel} — параллельная, M^{\perp} — перпендикулярная внешнему магнитному полю) меняются от слоя к слою (г). Пунктиром показаны средние значения по доменам $M^{\parallel} = \langle M^{\parallel}_i \rangle$ и $M^{\perp} = \langle M^{\perp}_i \rangle$.

незеркальное рассеяние показывает рассеяние, обусловленное переверотом спина. Для этого эффекта необходимо, чтобы длина когерентности нейтронной волны в плоскости была больше размера доменов в плоскости.

По сравнению с описанной выше картой интенсивностей рассеяния в данном случае появляется следующее изменение: антиферромагнитный брэгговский пик в положении $1/2$ расщепляется на два в направлении $p_i + p_l = q_z$ из-за сдвига в расположении стопок, вызванного профилем намагниченности. Двойной пик служит подтверждением того, что число слоев Fe четное. Эта фрустрация в середине пленки устраняется, если число слоев нечетное.

Итак, в результате проведенного анализа поведение намагниченности внутри магнитной

тонкой пленки может быть описано с полной послойной детализацией.

Заметим, что метод усиленных нейтронных стоячих волн, описанный в предыдущем разделе, расширяет эти возможности, поскольку резонансные структуры позволяют определять положения слоев и магнитных неоднородностей с высокой точностью (до 0.1 нм) и в слабо возмущенных структурах, в которых вероятность процессов взаимодействия с нейтронами чрезвычайно мала и не превышает 10^{-10} . К задачам такого типа относится, например, исследование недавно влияние сверхпроводимости на магнитное состояние в слоистой наноструктуре ферромагнетик-сверхпроводник Fe-V [12]. Наблюдается конкуренция вкладов нескольких явлений, различие между которыми очень ма-

ло. В таком случае описанные выше методы измерений являются фактически единственно возможными.

* * *

Оптика поляризованных нейтронов при скользящем угле падения находится в стадии развития. В связи с активными исследованиями в настоящее время в области нанотехнологий можно ожидать создания новых интересных систем, в которых наверняка будут обнаружены новые проявления волновых свойств нейтрона. Использование известных волновых свойств поляризованных нейтронов уже позволило создать мощный метод исследования вещества на наноуровне, и этот метод успешно применяется как метод нанодиагностики и исследования физики и химии наносистем. ■

Литература

1. Франк И.М. Некоторые новые аспекты нейтронной оптики // Природа. 1972. №9. С.24—31.
2. Франк И.М. // Вестник АН СССР. 1971. №12. С.13—27.
3. Аксенов В.Л. Пульсирующий ядерный реактор // Природа. 1996. №9. С.3—17.
4. Аксенов В.Л., Балагуров А.М. // УФН. 1996. Т.166. №9. С.955—985.
5. Малеев С.В., Окороков А.И. Поляризованные нейтроны и исследование свойств вещества // Природа. 1986. №10. С.46—56.
6. Aksenov V.L., Nikitenko Yu.V., Kozhevnikov S.V. // Physica B. 2001. V.297. P.94—100.
7. Ковальчук М.В., Желудева С.И., Носик В.Л. Рентгеновские лучи — от объема к поверхности // Природа. 1997. №2. С.54—69.
8. Zhang H., Gallagher P.D., Satija S.K. et al. // Phys. Rev. Lett. 1994. V.72. P.3044—3047.
9. Аксенов В.Л., Игнатович В.К., Никитенко Ю.В. // Кристаллография. 2006. Т.51. С.23—43.
10. Lauter-Pasyuk V., Lauter H., Toperverg B. et al. // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2003. V.258. P.382—386.
11. Никитов С.А. Нобелевские лауреаты по физике за 2007 год — А.Фер и П.Грюнберг // Природа. 2008. №1. С.68—74.
12. Аксенов В.Л., Никитенко Ю.В., Петренко А.В. и др. // Кристаллография. 2007. Т.52. С.403—409.

Агрессия: от концепции К.Лоренца к современным представлениям

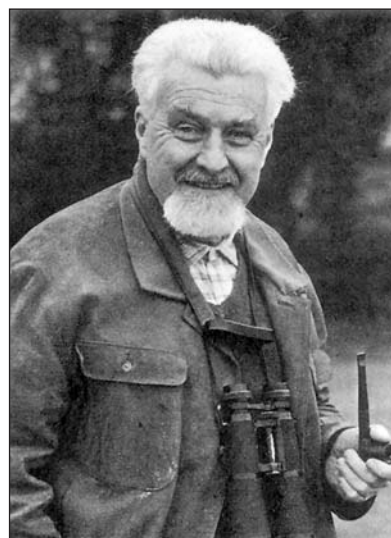
Н.Н.Кудрявцева,
доктор биологических наук,
Институт цитологии и генетики СО РАН,
Новосибирск

Конрад Лоренц, лауреат Нобелевской премии, был одним из первых этологов, который обратился к анализу агрессивного поведения. Его книга «Так называемое зло: к естественной истории агрессии» вышла в Германии в 1966 г., а на русском языке — только в 1994 г. В ней он писал о внутривидовой агрессии как о так называемом зле, подчеркивая тем самым ее позитивную роль в природе и эволюции. В жизни отдельной особи это — «зло», данное во благо, которое позволяет животным отстаивать свое право на существование, обеспечить успех в естественном отборе и завоевать среду обитания. Агрессия демонстрируется при защите территории, гнезда, потомства или же в угрожающих условиях, например при нападении другой особи. Она может возникать как реакция на болевое воздействие, вызываться неожиданными или неприятными стимулами. Все эти формы агрессии защитны по своей природе. Агрессию нападения демонстрируют самцы при установлении или смене доминантно-субординантных отношений при формировании социальной иерархии.

Говоря об эволюционном значении внутривидовой агрессии, Лоренц отмечал, что в естественной среде агрессия между самцами, если и возникает, почти никогда не заканчивается летальным исходом, по-

скольку блокируется уже на ранних этапах взаимодействия. По запаху, виду партнера, его поведению более слабый самец оценивает возраст, социальный статус, а значит, и опытность своего противника, и отступает. В природных популяциях существуют механизмы торможения внутривидовой агрессии. Сюда относятся ритуальное поведение, специфические звуки, угрожающие или умиротворяющие позы, которые прекращают развитие агрессии у противника. Установление популяционной иерархии также служит существенным механизмом снижения агрессии. Подчиненные животные избегают ситуаций, провоцирующих нападение у доминанта, и сами редко проявляют агрессию. В таких условиях доминант ограничивается демонстрацией силы, не прибегая к физическому воздействию. Снижать агрессию могут такие факторы, как запах (например, у серых крыс) или особые крики (у серых гусей), характерные только для особей данной популяции и позволяющие воспринимать сородичей как своих.

Наблюдая представителей различных видов животного царства, Лоренц говорил о существовании запрета на убийство себе подобных. Однако, рассуждая о природе агрессии, он пришел к выводам, которые, казалось бы, совершенно не вписывались в общую картину его же представлений о регуля-



Конрад Лоренц.

ции и роли агрессивного поведения: «...агрессия является подлинным инстинктом — первичным, направленным на сохранение вида...». Главную опасность такого инстинкта Лоренц видел в его спонтанности, полагая, что это не реакция на определенные внешние условия. По его представлению, агрессивная энергия постоянно генерируется и накапливается в организме. Лоренц считал, что «накопление инстинкта» при долгом отсутствии раздражающего стимула не только увеличивает готовность к реакции, но имеет другое, более глубокое влияние на весь организм в целом. Из всех этих рассуждений следовало: чем больше находится накопленной

агрессивной энергии на данный момент, тем меньше сила стимула, ее запускающего.

Концепцию Лоренца о спонтанно зарождающейся агрессивной энергии большинство исследователей не приняло. Такое отторжение усиливалось тем, что у человека, как полагал Лоренц, влечение к агрессии и насилию превалирует над врожденными сдерживающими началами, подавляющими агрессивные действия. Экстраполируя свои представления на человеческое сообщество, он истолковывал действия мировых лидеров, подвергающих массу людей уничтожению, как инстинктивное стремление к насилию, и говорил о неизбежности войн.

Согласно общепринятому мнению, агрессия есть реакция на определенные события, для проявления которой необходима провокационная среда и конфликтная ситуация; при их исчезновении агрессия, как правило, затухает. В организме существуют различные стимулирующие и тормозящие механизмы агрессивного поведения. Усиливать агрессию могут определенные факторы: перенаселенность, недостаток пищи, половой дисбаланс, климатические условия, нарушение стабильности существования. Но нет в живом организме механизма накопления агрессивной энергии и спонтанно возникающего побуждения к насилию. Известный этолог Дж. Скотт писал: «Нет никакого физиологического обоснования возникающей в организме спонтанной стимуляции драки... Мы также можем сделать вывод, что не существует такой вещи, как "инстинкт драки", в значении внутренней движущей силы, требующей выхода». Другими словами, нельзя представить естественные условия, в которых бы у животных возникала необходимость в перманентной мотивации агрессии и отставленной во времени ее реализации.

Хронический опыт агрессии

Известно, что мыши, имеющие опыт агрессивного поведения, демонстрируют больше атак, чем особи без такового опыта. У людей также отмечают, что агрессивное поведение, проявленное раз, стремится быть проявленным вновь. Психологи утверждают, что при фрустрации* агрессия чаще развивается у индивидов, имеющих привычку отвечать по агрессивному типу. Это в какой-то мере косвенно свидетельствует о предрасположенности к проявлению агрессии. Наблюдения за поведением людей в сообществе также говорит о возможности специфических ситуаций, когда у человека без видимых провоцирующих стимулов может формироваться агрессивная мотивация. О таких случаях свидетельствует поведение серийных убийц или маниакальные состояния, которые сопровождаются повторной агрессией.

Помимо криминальных или клинических случаев повторяемости агрессивного поведения, в человеческом обществе часто возникают социальные условия, требующие проявления выраженной агрессивности в течение длительного времени (при участии в военных действиях, в профессиональном спорте, в службах социальной безопасности и т.д.). Психологи называют такой вид агрессии у людей преднамеренной (обученной), полагая, что она, отчасти имея инстинктивную основу, есть следствие социальной активности, включающей процессы обучения. Что происходит и происходит ли нечто особенное в организме людей с повышенным уровнем агрессивности и с таким родом деятельности? Если

* Фрустрация — психологическое состояние гнетущего напряжения, тревожности, чувства безысходности и отчаяния; возникает в ситуации, которая воспринимается личностью как неотвратимая угроза достижению значимой для нее цели, реализации той или иной потребности.



Два самца в клетке с опущенной перегородкой.

«да», то какие нейрофизиологические механизмы могут быть вовлечены в процесс? Хотя многие формы агрессии, представленные у человека, не имеют аналогов в природе, ответ на эти вопросы дали лабораторные исследования на животных.

Уже много лет при изучении поведения животных мы используем модель сенсорного контакта. Мышей (самцов) попарно помещают в небольшой общей клетке, разделенной прозрачной перегородкой с отверстиями, позволяющей животным видеть, слышать и воспринимать запахи друг друга (сенсорный контакт). Однако физическое взаимодействие возможно только в течение 10 мин, когда перегородка убирается. В первых агрессивных столкновениях с одним и тем же партнером выявляется победитель и побежденный. Победитель (агрессор) каждый день во время теста нападает, атакует, угрожает другому самцу, который демонстрирует защитное поведение, позы полного подчинения, бегство от противника. Эта методика и позволила исследовать животных с повторным ежедневным опытом агрессии и побед.

Оказалось, что такой длительный опыт существенно ме-

няет поведение и эмоциональное состояние мышей. У них развивается гиперактивность, гиперчувствительность, повышается раздражительность, изменяется реакция на боль, снижается эмоциональность. У таких особей можно наблюдать состояние выраженной тревоги, неудержимой злобности и враждебности по отношению к сородичу. Они перестают отличать самца от самки, набрасываются на руку экспериментатора или на самца, находящегося в позе полного подчинения, чего ранее никогда не отмечалось. Зачастую самцы ведут себя неадекватно, к примеру, демонстрируют стереотипные движения, часто подсакивая на месте или переворачиваясь. У некоторых развивается патологическая агрессия, не поддающаяся коррекции. Они снова и снова атакуют подчиненную особь, ища повода для выхода раздражения. Нарушаются и другие формы индивидуального и социального поведения.

Мы предположили, что все это — результат измененной деятельности мозга. Для проверки исследовали головной мозг самцов мышей с повторным опытом агрессии различными биохимическими методами. В структурах мозга определяли количество медиаторов (передатчиков нервных импульсов), активность ферментов, участвующих в их синтезе и разрушении, и их различные производные. Изучали также состояния рецепторов и даже экспрессию некоторых генов, продукты которых вовлечены во все эти процессы. Кроме того, вводя определенные препараты, оценивали состояние медиаторных систем, сравнивая ответ на фармакологическое воздействие у самцов с повторным опытом агрессии и контрольных особей. Различия в реакции на препараты служили маркерами специфических изменений нейрохимии мозга, которые позволяли предполагать тот или иной механизм.

Выяснилось, что у агрессоров-победителей развивается

дисбаланс в активности нейрохимических систем мозга, в норме контролирующих агрессивное поведение. В результате снижения тормозного контроля со стороны медиаторной системы, синтезирующей серотонин, с одной стороны, и активации систем, ответственных за процессы возбуждения в центральной нервной системе и продуцирующих катехоламины, с другой, у них преобладают процессы возбуждения. При этом порог агрессивной реакции снижается, в результате чего агрессия проявляется даже в слабо провоцирующей среде — по пустяковому поводу или вовсе без повода, как сказали бы о человеке.

Другой механизм усиления агрессивности вызван изменениями в медиаторных системах мозга, где синтезируются опиоиды. Это так называемые системы положительного подкрепления или вознаграждения, в норме отвечающие за проявление позитивных эмоций при успешном выполнении любого физиологического акта или поведения. Как известно, такие системы активируются препаратами, вызывающими формирование зависимости. Опиоидэргические системы мозга обладают высочайшей способностью к развитию толерантности (устойчивости) к повторному действию наркотиков. А это значит, что на их воздействие не возникает позитивного эмоционального ответа; чтобы его вызвать, требуются более сильные стимулы. При их отсутствии создается эмоциональный дискомфорт, стимулирующий все большее потребление препаратов для поддержания хорошего самочувствия. Более того, у таких людей извращены механизмы регуляции боли, контролируемой опиоидэргическими системами. При отмене наркотиков в организме возникают болевые ощущения, которые снимают наркотики. Таким образом, это еще более стимулирует прием препаратов.

Эксперименты показали, что нейрохимические изменения,

наблюдаемые в мозге у агрессоров-победителей, очень схожи с теми, которые возникают у людей с наркотической зависимостью. Опиоидэргические системы мозга у агрессивных победителей постоянно активированы. Именно повторный опыт агрессии и побед приводит, как было показано в экспериментах, к развитию толерантности к опиоидным препаратам. Значит, толерантность, как один из признаков психической и физической зависимости у таких самцов, может развиваться в результате воздействия эндогенных (внутренних) опиоидов. У особей с повторным опытом агрессии хорошее настроение связывается с атрибутикой агрессии, предвкушением победы и ее торжеством над поверженным противником. При отсутствии такой реализации в организме агрессоров на нейрохимическом уровне может возникнуть состояние, вызванное отменой действия эндогенных опиоидов. Создаются предпосылки для формирования внутреннего побуждения (влечения, желания) к проявлению агрессии, которое может проявиться в виде агрессивной вспышки по типу катарсиса или в поиске повода разрядить накапливающееся раздражение через агрессию. И тогда создается впечатление, что агрессивная энергия накапливается.

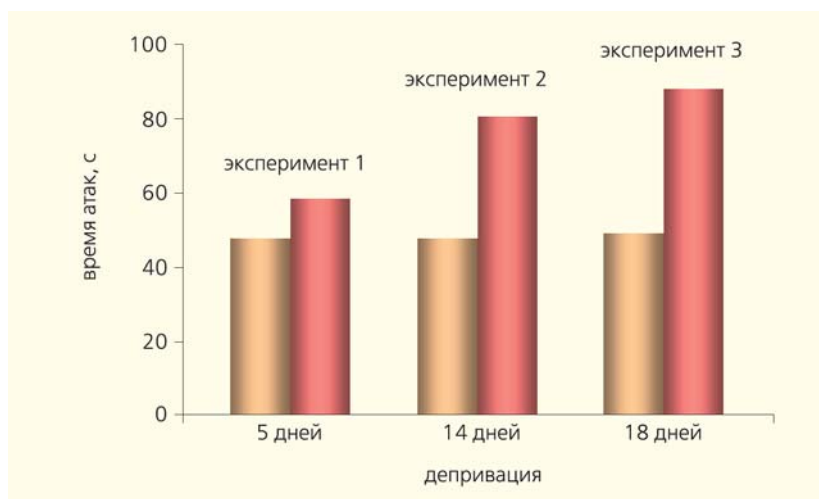
Однако в отличие от общего положения Лоренца (агрессивная энергия накапливается всегда и у всех), накапливается не агрессивная энергия, а изменения, в частности в опиоидэргических системах мозга. Как показали наши исследования, это происходит благодаря аккумуляции нейрохимических сдвигов, возникающих в мозге агрессоров-победителей и усиливающих агрессивность. Становится очевидным, что врожденные механизмы регуляции агрессивного поведения в результате повторного опыта агрессии и побед трансформируются в патологические. В результате у сам-

цов с повторным опытом агрессии формируется мотивация нападать и угнетать другую особь. Другими словами, изменения в регуляции мозга, возникшие под влиянием повторного опыта агрессии, запускают ее проявления, т.е. возникает как бы самоподкачивающаяся система, в которой агрессия рождает агрессию*.

Логично предположить, что доказательством гипотезы о накоплении агрессивной энергии может служить усиление агрессивности самцов после отмены (депривации) социальных confrontаций, что и было показано в наших экспериментах. Самцы с опытом агрессии в течение 20 дней, лишенные затем возможности проявлять агрессивное поведение, впоследствии демонстрировали больший уровень агрессии, чем до депривации. Ее длительный период (14 и 18 дней) оказывает более сильное влияние по сравнению с меньшим периодом (пять дней). Это говорит о том, что происходит накопление эффекта отмены, которое может быть интерпретировано в терминах накопления агрессивной энергии, реализующейся в разрядке (агрессивном акте). Таким образом, концепция Лоренца о возможном существовании в организме механизма (но не инстинкта) спонтанного накопления агрессивной энергии, формирующего перманентное побуждение (влечение) к проявлению агрессии, получает экспериментальное подтверждение и может иметь место у индивидов, имевших длительный опыт агрессии и социальных побед.

Помимо опыта, агрессию может провоцировать любая длительно сохраняющаяся негативная среда. Неприятные, длительно действующие стимулы, длительная нестабильность как на физиологическом уровне, так и в психологии социальных отношений, в результате которых

* Эта гипотеза была опубликована в журнале «Генетика» (2004. Т.40. №6. С.808—815).



Общее время атак, демонстрируемое агрессорами до (желтые столбы) и после (красные столбы) депривационного периода за 10 мин теста.

накапливается эмоционально-отрицательный эффект, могут снижать порог проявления агрессивной реакции. Другими словами, в отсутствие продолжительного стимула индивид не проявлял бы агрессию. Максимальным эффектом, провоцирующим ее, должна обладать социальная среда, несущая угрозу и тревогу; она вызывает агрессию страха как защитную реакцию. В таких условиях, а также при повышенной социальной конфликтности, агрессивными становятся даже особи, не склонные к ее проявлению, т.е. создается *видимость* накопления агрессивной энергии у индивида и в обществе.

Вопросы, вопросы...

Итак, независимо от сферы деятельности, приводящей к демонстрации повторной агрессии, — будь то реальная (армия, спорт, службы безопасности), коммерческая (все, что связано с бизнесом), виртуальная (компьютерные игры, политика) или бытовая (сплетни, козни, интриги) агрессия, — всегда есть вероятность развития ее патологической формы. Она может быть неосознаваемой, а, значит, и неподвластной контролю со

стороны самого индивида. Что же делать, чтобы снизить агрессию в той или иной ситуации? Кто виноват, например, в том, что военные, для которых проявление агрессии — необходимое условие профессиональной деятельности, в некоторых ситуациях совершают неадекватные поступки? Какие нейрофизиологические составляющие такой патологии поведения надо учитывать врачам при психологической и фармакологической реабилитации участников военных действий? Как можно снизить агрессивность в армейских подразделениях и спортивных коллективах? Какие наследственно обусловленные свойства индивида способствуют развитию патологической агрессивности в тех или иных условиях? Где та грань, за которой компьютерные игры, построенные на убийствах в виртуальном пространстве, из развлечения превращаются в пагубную привычку, обусловленную развитием нейрохимического дисбаланса в мозге? Ответы на эти вопросы дают не только социальные, но и фундаментальные естественные науки. Именно они могут подсказать, как предотвратить развитие патологической агрессивности или скорректировать ее. ■

Шанс для жемчужницы?

А.Н.Островский,
доктор биологических наук
И.Ю.Попов,
кандидат биологических наук

Старинная карельская легенда повествует, что семга три года носит на жабрах искру жемчуга, а потом отдает ее ракушке-жемчужнице. Есть ли в этом зерно истины?

Жемчуг, хотя он не камень, а биоминерал, образующийся между раковинной и мантийной складкой у некоторых морских и пресноводных двустворчатых моллюсков, всегда ценился наряду с самыми дорогими драгоценными камнями. Американские индейцы знали, что такое пресноводный перламутр и жемчуг, уже 3 тыс. лет назад. Русские мастерицы освоили узорное жемчужное шитье тысячу лет назад. Особенно ценились за свою красоту и правильность новгородские «жемчужные ядра». Жемчугом расшивали богатую одежду, отделявали иконы и переплеты церковных книг, расплачивались по государственному долгу, выказывали высочайшее расположение и выкупали из рабства. А сколько жизней погубили некоторые особо крупные и «чистые» жемчужины!

...Малышка-«Ока» с трудом катит по шоссе. Еще бы, в ней трое человек и экспедиционного скарба на неделю. А как въехали в лес, так и вовсе несладко пришлось — трястись по колеям и колдобинам. Что же делать, работа есть работа.

А работа в этот раз была такая. По просьбе руководства заказника «Гладышевский», который расположен на Карельском перешейке примерно в 70 км от Санкт-Петербурга, мы, два зоолога, должны выяснить, оста-



Ручей Серебряный.

© Островский А.Н., Попов И.Ю., 2008

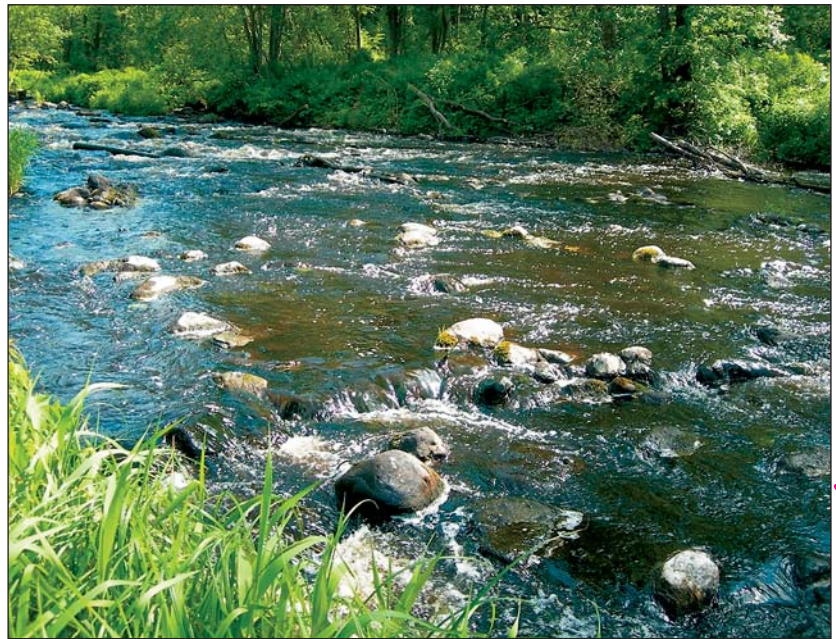
лась ли в здешних реках пресноводная жемчужница.

Этот ставший очень редким моллюск с красивым названием *Margaritana margaritifera* когда-то был широко распространен не только в этих местах, но и по всей Европе — от Испании и Австрии до Скандинавии и Ирландии. Когда-то, когда вода была чистой... В наших реках активный промысел жемчуга сохранялся еще в первой трети XX в. Однако широкое распространение лесосплава и вызванное этим засорение дна рек корой, загрязнение промышленными стоками привели к повсеместному вымиранию жемчужницы.

Были и другие причины вымирания этих моллюсков.

В советские времена на жемчугоносные реки наведывались «шабашники». Если в старину жемчуголовы берегли маргаритану, тщательно проверяли каждую раковину — при наличии жемчуга на ее поверхности появлялась характерная неровность — и выпускали тех, у кого такой метки не было, то новоявленные «старатели» хищнически выгребали из реки на берег все, что находили. Через день-другой моллюски погибали. Раковины вскрывали, а зловонное месиво из их тканей протирали на мелком сите. После таких «экспедиций» на берегу оставались огромные кучи мертвых моллюсков...

Жизненный цикл европейской жемчужницы тесно связан с атлантическим лососем (семгой) и с близким ему видом — кумжей. Личинки моллюска паразитируют на жабрах и плавниках этих рыб, поэтому существование популяции маргаританы возможно только в реках, богатых лососевыми — карельская легенда оказалась не такой уж и выдумкой! Считается, что такая инфекция вреда лососевым не наносит. В реках заказника лосось был полностью истреблен около 40 лет назад, а кумжа сохранилась в крайне небольшом количестве, поэтому



Порог на р.Рощинке.



Мертвая жемчужница в грунте.

у жемчужницы нет условий для осуществления жизненного цикла. Последние сообщения о ней поступали лет 25—30 назад. И все же есть надежда, что маргаритана здесь не исчезла, ведь продолжительность жизни этого моллюска очень велика — несколько десятков лет, а по некоторым данным, до ста и даже

больше. Вот и решили проверить, осталась ли она, выжила ли? А если выжила, можно ли ее сохранить?

В качестве помощника мы взяли с собой моего сына Никиту. 12 лет для «полевого крещения» — подходящий возраст, а лишняя пара глаз нам не помешает.



Никита с «карельским тазом».



Маргаританы, обнаруженные на р.Рощинке.

На территории заказника имеется оз.Гладышевское, в которое впадает несколько ручьев и речек, самая большая из которых — р.Великая. Вытекает из озера р.Гладышевка, которая, сливаясь с р.Рощинкой, образует р.Черную, впадающую в Финский залив. Со стороны Рощинки к заказнику примыкает другое охраняемое место, Линдуловская роща — посадки лиственницы, сохранившиеся чуть ли не с петровских времен.

План действий наметили такой. Сначала обследуем р.Великую и впадающие в нее ручьи, потом Гладышевку и — в последнюю очередь — Рощинку. Мы прекрасно понимали, что шансы найти жемчужницу ничтожно малы. И не потому, что искать ее придется в пенящихся бурунах порогов, в холодной даже летом воде. Причина в перенаселенности — уж очень эти места популярны среди петербуржцев. Сколько здесь дач,

пансионатов и детских лагерей — просто не перечислить. А сколько рыбаков и грибников! И многие из них, к великому сожалению, бережным отношением к природе не отличаются.

А ведь пресноводная жемчужница очень требовательна к чистоте воды и высокому содержанию в ней кислорода! Она обитает на каменисто-песчаном дне быстрых, чистых рек. С помощью ноги моллюск зарывается в подстилающий камни песок передним (тупым) концом, выставляя наружу небольшой участок заднего конца раковины с сифонами. Питается маргаритана взвешенными в воде микроскопическими водорослями. Летом взрослый моллюск пропускает сквозь себя до 50 л воды, становясь для водоема мощнейшим естественным фильтром.

Для поисков мы использовали традиционный инструмент жемчугоголов — «карельское

окно». Когда-то на дно реки сквозь воду смотрели через брезентовую трубу с вставленным в нее стеклом. Мы усовершенствовали этот «оптический инструмент», вырезав дно у пластикового таза и приклеив к нему толстое стекло. Сделали два эдаких «карельских таза».

Первый день поисков не принес успеха. Мы прошагали от устья Великой до ее истоков, а заодно прошли по двум впадающим в нее крупным ручьям. Везде, где позволяла глубина, осматривали дно. Пусто...

Понадеявшись на быстрое возвращение, еды с собой не взяли. А зря. Километров семь прошагали по лесу, через бурелом и болотца, в сопровождении неутомимых и гораздо более многочисленных, чем мы, комаров. Сын оказался молодецом — хоть и устал, но выдержал, даже не пожаловался ни разу (наверное, понимал, что бесполезно).

Несколько следующих дней также закончились безрезультатно. Отплевываясь от комаров и время от времени выливая из болотных сапог заплескивающую через край воду, мы обшарили Гладышевку. Уж сколько мы заодно бураков (ловушек на миногу) и мереж вытащили, поломали и забросили в кусты — не перечить. Спину ломит, все чешется, того и гляди из кустов местные браконьеры выскочат — по шее нададут. Наши скитания по речкам очень скрашивал инспектор заказника Александр Марунчак (он-то в основном и занимался бураками и мережами).

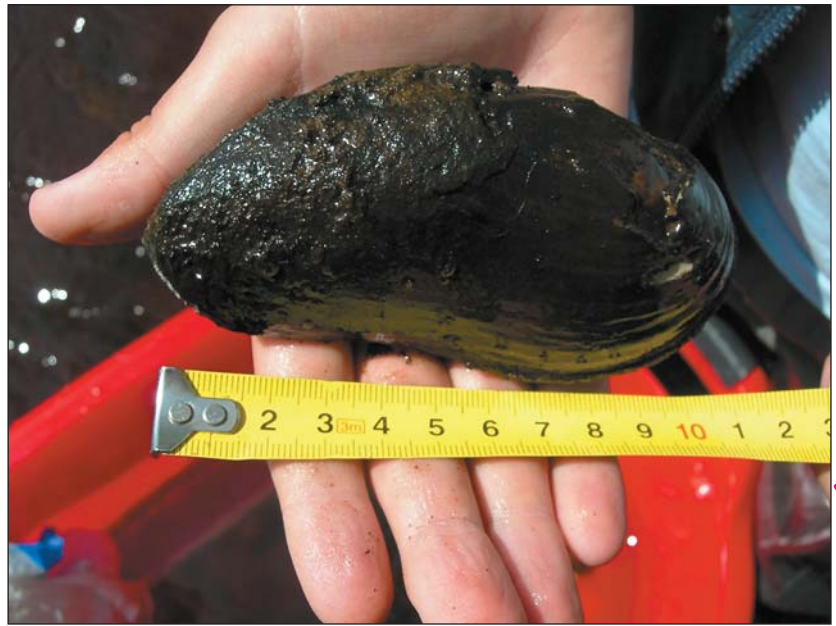
Изредка находили перловиц и беззубок. Но не жемчужницу. И что обидно, даже следов ее — старых мертвых раковин — не было.

Неужели действительно исчезла? Встреченный нами местный рыбак рассказывал, что лет 10 назад его сын нашел жемчужницу. (Интересно, как он догадался, что это именно она?) Так вот, забрал на память. Никита очень переживал. Ведь она могла быть последней!

Мой сын вообще многое понял за эти дни. Что заснуть можно, едва коснувшись головой куртки, свернутой вместо подушки. Что единственный источник энергии здесь — костер, и что чем быстрее наберешь дров, тем скорее получишь миску с супом или кусок жареного мяса. И что к комарам можно привыкнуть. Так или иначе, мне за него стыдно не было.

Очередной, предпоследний, день нашей поездки закончился, как и предыдущие, ничем. Жемчужницы в речках заказника «Гладышевский» мы не нашли. На Рощинку особой надежды не было — уж очень велика там плотность дач (со всеми вытекающими, в прямом смысле этого слова, в реку последствиями).

И вот наступил последний день нашей экспедиции. С утра приехали на Рощинку и разбрелись кто куда. Никита остался на



Взрослый моллюск.



Живой моллюск с расправленными сифонами.

берегу (для его сапог здесь глубоковато), а мы влезли в «болотники» и, согнувшись над «карельскими тазами», побрели обшаривать дно. Саша же, как обычно, принялся портить настроение браконьерам. Через полчаса, перебивая шум воды, машет мне рукой с другого берега. Что-то нашел! Поднял

руку, хочет кинуть. Ни в коем случае! Вибрируя под напором реки, перебираюсь к нему. Так и есть — она, раковина маргаританы! Жаль, мертвая. Измерил, сфотографировал. Черная, с характерным изгибом, непривычно крупная.

Настроение начало улучшаться (а то совсем ведь было

отчаялись). И вот через полчаса — первая живая жемчужница!

Как же мы радовались! Не потому, что нашли, а потому, что живая. Ведь если есть одна, должны быть и другие!

Никита тут же отобрал один таз и ринулся на поиски. Если старшие нашли, то и он должен. Всего за час мы набрали с десятка живых моллюсков и, измерив и сфотографировав, с благоговением выпустили обратно, на две трети закапывая их в грунт. Только Никита не нашел ни одной и чуть не плакал с досады.

Перебрались на другое место. Мне так хотелось помочь сыну, что я решил, что как только найду следующую жемчужницу, незаметно подложу ему. Не понадобилось. «Папа, тут что-то, как маленькие дырочки», — это он разглядел на дне сифоны моллюска. «Стой, — говорю ему, — старайся удержать таз на одном месте, иначе потеряешь из вида». Я перехватил таз, чтобы Никита смог сам достать то, что увидел, и вот жемчужница у него на ладони! Тяжелая, мокрая. Живая. Потом он нашел еще шесть штук...

Как бы ни велика была наша радость от находок, их серьезно омрачал один существенный факт. Все найденные нами моллюски — очень старые. Размеры раковин — максимальные для этого вида, 11–12 см в длину, т.е. возраст — лет под 50, а то и больше. Вполне возможно, что они еще размножаются, однако настоящее воспроизведение популяции жемчужницы без лососевых невозможно. Надо срочно принимать меры. Другими словами — выпускать в речки рыбную молодь. Когда-то, до войны, этим занимались финны. Потом, в 1970–1980-е годы, наши ры-

боводы начали и бросили. С 2000 г. на Гладышевке вновь осуществили несколько выпусков. Однако изобилия лосося в реках пока не наблюдается.

Но может, все-таки еще раз поискать молодых моллюсков? И мы вернулись на Гладышевку. Искали часа полтора. И крупного-то моллюска разглядеть в пузырьках несущейся воды непросто. А тут надо искать мелочь, вполне возможно — несуществующую. Но судьба была к нам благосклонна. А может, не к нам, а к жемчужнице? Сначала, когда вытащили небольшую коричнево-желтую раковину, долго сравнивали с молодой беззубкой. Похожи, очень похожи. Молодая жемчужница сильно отличается от взрослой. Но это была она! Возраст по линиям прироста на раковине — пять лет! Потом нашли вторую, третью... А рядом гнездо лосося с мальками. Значит, лосось все-таки начал нереститься. Вот оно — спасение! Ведь если регулярно выпускать в реки мальков, то и жемчужница сможет выжить. Теперь дело за чиновниками. Выполнят ли они наши рекомендации, покажет время. Факт налицо — «под боком» у мегаполиса в двух небольших речушках доживают свой век древние моллюски. Им надо помочь, и мы знаем как. Значит, шанс у жемчужницы есть!

* * *

P.S. Описываемые события произошли в 2006 г. А в 2007-м удалось сдвинуть дело с мертвой точки — организовать выпуск мальков лосося в нужное место и в нужное время — в места скопления маргаританы на Рощинке в сезон ее размножения, в августе. Однако тут же столк-

нулись с мощным противодействием, причем даже не чиновников, а тех, кто, казалось бы, должен активно способствовать нашей работе, — сотрудников лаборатории мониторинга популяций лососевых рыб Государственного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства. Придрались к бюрократическим ошибкам, отправились ловить электроловом выпущенных мальков, завалили жалобами чиновников — в общем, сорвали работу, возмущившись тем, что на лососевых речках что-то происходит без них. Много лет они изображали бурную деятельность вокруг восстановления лосося и жемчужницы на реках Гладышевского заказника, не потрудившись собрать элементарных сведений о взаимосвязи двух видов, и сейчас результат налицо — лосося практически нет, а жемчужница на грани истребления. Что-то не так в нашей системе рыбохозяйственных исследований...

Примерно в то же время возник новый неприятный сюрприз — было объявлено о строительстве нового коттеджного поселка на берегах Гладышевки, в непосредственной близости от мест обитания лосося и жемчужницы, несмотря на то что любое строительство на территории заказника запрещено (объявление о продаже земельных участков в поселке до сих пор можно прочитать в Интернете на сайте gorodu.net/gettlements/3beregа). Приехали журналисты, сняли сюжет для НТВ. Жемчужницу во всех видах засняли, но почему-то так и не показали. Пока строителей остановить удалось, но смирятся ли застройщики с поражением? ■

Патомский кратер в Восточной Сибири

В.С.Антипин,

доктор геолого-минералогических наук

Институт геохимии им.А.П.Виноградова СО РАН

В.И.Воронин,

доктор биологических наук

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН

А.М.Федоров

Институт геохимии им.А.П.Виноградова СО РАН

Иркутск

*Светлой памяти Е.И.Воробьева
посвящается*

Патомский кратер, расположенный на севере Иркутской обл. (Бодайбинский р-н), продолжает привлекать внимание многих исследователей несмотря на то, что прошло уже около 60 лет со времени его обнаружения. В.В.Колпаков, открывший Патомский кратер в 1949 г., первым высказал гипотезу о его образовании в результате падения метеорита [1]. Известный вулканолог С.В.Обручев считал, что метеоритная гипотеза неприменима к данной структуре, а могла она «образоваться только в результате прорыва со значительных глубин газов или паров, которые пробили цилиндрическую трубку в участке, ослабленном тектоническими разломами» [1]. Значительно позже Е.Ф.Малеев также относил Патомский кратер к вулканическому образованию, представленному эруптивными (раздробленными глубинными породами, выброшенными на современную поверхность) или взрывными брекчиями [2]. А.М.Портнов, тщательно исследовавший кратер, отвергал возможное участие вулканических процессов в его образовании и даже оценил глубину залегания в нем метеорита около 180–200 м [3].

В 1963 г. Сибирская комиссия по метеоритам СО АН СССР на общественных началах на-



Вид Патомского кратера с вертолета. 2006 г.

Фото С.А.Язева

правила экспедицию на Патомское нагорье. В результате был сделан главный вывод — полученных данных недостаточно, «чтобы отдать предпочтение метеоритной или вулканической гипотезам происхождения» этой структуры [4].

В 2006 г. на Патомский кратер отправилась комплексная экспедиция, в составе которой работали геологи-геохимики (Институт геохимии СО РАН), геофизики (Иркутский государственный технический университет) и астрономы (астрономическая обсерватория Иркутского государственного университета) [5].

Мы благодарим всех организаторов и участников экспедиции за помощь и финансовую поддержку при выполнении рейса вертолета и отборе проб. Неоценимую помощь в решении транспортных проблем в г.Бодайбо нам оказал П.П.Быков.

По результатам экспедиции впервые была составлена геологическая карта и получены геологические, петрографические и геохимические данные о породах кратера и его обрамления, которые позволили сделать вполне определенные выводы об условиях формирования этого загадочного конуса.

© Антипин В.С., Воронин В.И., Федоров А.М., 2008

Строение и состав пород кратера

Первые данные о размерах насыпного конуса получил Колпаков в конце 40-х годов прошлого века [1]. Он оценил его средний диаметр в 130–150 м, а глубину кольцевого рва — в 8–10 м. Расположение кратера на склоне горы определило различную его высоту, которая в верхней части составила 10–

15 м, а в нижней — 70–80 м. При этом верхний срез конуса, по мнению Колпакова, был горизонтальным.

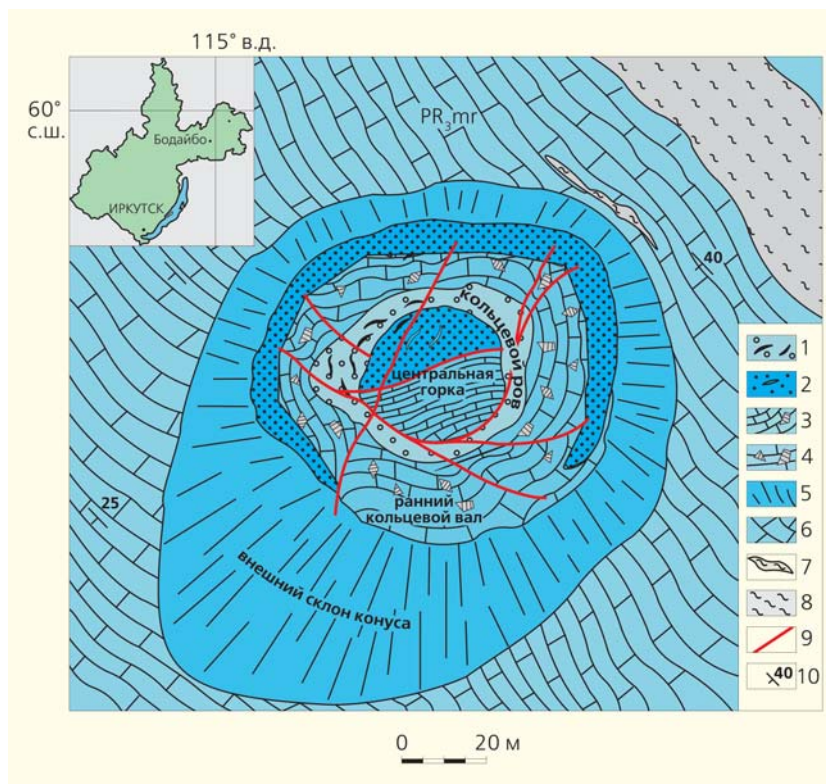
Во время экспедиции 2006 г. размерные характеристики конуса, полученные группой астрономов (под руководством С.А.Язева), оказались несколько иными. Размеры основания конуса в проекции на горизонтальную плоскость составили ~150–160×120–130 м. Диаметр

кольцевого вала, окаймляющего воронку, — 80 м, а ее глубина — ~12–15 м. Диаметр основания центральной горки кратера на сегодняшний день — около 34 м. Максимальный перепад высот на кольцевом валу — 15 м, а высота вала над склоном сопки меняется от 10–12 до 35–38 м.

Различия в размерных характеристиках конуса, полученных недавно и полвека назад, свидетельствуют о заметном воздействии процессов выветривания на слагающие горные породы. Постепенное разрушение кратера привело к соответствующему увеличению протяженности осыпи вниз по склону и возможному проседанию кольцевого вала.

Неоднородное строение Патомского кратера хорошо видно на геологической карте и проявляется в отчетливо выраженной зональности и последовательном чередовании главных структурных элементов: внешнего склона, кольцевого вала, кольцевого рва и центральной горки. Кратер расположен среди терригенно-карбонатных пород мариинской свиты протерозоя и представляет собой насыпной конус, сложенный преимущественно известняками, в подчиненном количестве встречаются песчаники, метаморфизованные сланцы, полевошпат-карбонатные (иногда с мусковитом) и кварцевые жилы.

Прежде всего, было установлено, что кольцевой вал разделен неглубоким понижением в рельефе на две части, которые сформировались в разное время. На раннем этапе образовался внутренний вал, сложенный сильно выветрелыми пластинчатыми, легко рассыпающимися серыми известняками с жилами молочно-белого кварца. Именно здесь, среди известняков, встречаются единичные глыбы метаморфизованных сланцев и песчаников, а дресва карбонатных и терригенных пород покрыта мхом. Внешний вал не содержит терригенных пород и сложен темно-серыми массив-



Схематическая геологическая карта Патомского кратера. Составлена В.С.Антипиным и А.М.Федоровым в масштабе 1:500. Условные обозначения:

- 1 — массивные кристаллические известняки с кварц-мусковит-карбонатными жилами (кольцевой ров);
 - 2 — массивные мелкозернистые кристаллические известняки с жилами кварца (поздний кольцевой вал и центральная горка);
 - 3 — существенно выветрелые известняки с редкими глыбами метаморфизованных песчаников и сланцев (центральная горка);
 - 4 — существенно выветрелые известняки с дресвой этих пород и глыбами метаморфизованных песчаников и сланцев (ранний кольцевой вал);
 - 5 — осыпь глыб различных горных пород внешнего склона конуса;
 - 6 — вмещающие кратер известняки мариинской свиты протерозоя;
 - 7 — прослой метаморфизованных песчаников среди известняков;
 - 8 — метаморфизованные песчаники;
 - 9 — кольцевые и радиальные зоны разломов в пределах кратера;
 - 10 — элементы залегания горных пород.
- * — Патомский кратер.

ными кристаллическими известняками, слабо подвергшимися процессам выветривания. На основании этих признаков можно утверждать, что внешняя часть кольцевого вала — более позднее образование. Становление Патомского кратера, по-видимому, завершилось формированием центральной горки, которая в районе вершины представлена массивными кристаллическими известняками, слегка затронутыми процессами выветривания. Ров, разделяющий двойной кольцевой вал и центральную горку, сложен разнородными известняками, песчаниками, сланцами, прорванными серией кварц-полевошпат-карбонатных жил.

Изучение структурных особенностей известняков под микроскопом показало, что зерна кальцита ориентированы параллельно друг другу. Также наблюдались ориентированные шпильки или линзочки, образованные относительно более крупными зернами кальцита и кварца. Можно предположить, что карбонатные породы испытали одностороннее давление и частичную перекристаллизацию.

К северо-востоку от кратера с падением на юго-запад под толщу известняков залегают мелкозернистые кварцевые песчаники, содержащие слабо окатанные зерна кварца. Последние сцементированы агрегатом, состоящим из хлорита, мусковита, карбоната, редких обломков плагиоклаза и мелких зерен сфена. Отдельные глыбы песчаников внутри насыпного конуса представлены той же минеральной ассоциацией, но в них резко возрастает содержание кальцита, т.е. терригенные породы в пределах кратера существенно карбонатизированы. Так же по сравнению со сланцами вмещающей толщи (г.Джебалдо) резко возрастает содержание карбонатного материала в отдельных глыбах сланцев в кратере.

Химический состав всех главных типов пород, встреченных на Патомском кратере и вмеща-



Центральная горка кратера, окруженная кольцевым валом.

Фото Д.В.Семенова

ющей его терригенно-карбонатной мариинской свите, приведен в табл.1. В целом все проанализированные карбонатные породы по химическому составу практически не различаются. Подобный вывод можно сделать и в отношении редкоэлементного состава. Отмечается лишь незначительное уменьшение содержания стронция относительно его уровня во вмещающих известняках мариинской свиты. Важно подчеркнуть, что элементы группы железа (Ni, Cr, Co, Cu, Sc) сохраняют весьма близкие и крайне низкие концентрации во всех исследованных известняках. При этом необходимо обратить особое внимание на Ni, который служит геохимическим индикатором метеоритного вещества. В известняках Патомского кратера и во вмещающей его толще его содержание весьма низкое, на уровне мало различимых концентраций.

В глыбах песчаников и сланцев внутри насыпного конуса резко возросло содержание СаО по сравнению с породами вмещающей толщи. Крайне интересно распределение элементов группы железа в терригенных породах. По сравнению с песчаниками и сланцами за предела-

ми кратера отдельные глыбы на раннем кольцевом валу насыпного конуса значительно обеднены ими. Если говорить о важном для нас Ni, то его концентрация в песчаниках кратера уменьшается в два раза, а в сланцах — в четыре. Такое распределение Ni исключает участие метеоритного вещества в процессах формирования Патомского кратера.

Возраст кратера

Предлагаемые гипотезы происхождения кратера прямо связаны со временем его формирования. Поэтому возраст Патомского кратера имеет принципиальное значение. Участниками экспедиции были спилены 10 деревьев лиственницы даурской как непосредственно на насыпном конусе, так и вблизи его. По отобраным спилам с применением стандартных методик был выполнен дендрохронологический анализ [6].

На основании полученных данных был сделан весьма важный вывод. Внешняя осыпь кратера образовалась не позже 1770 г. В это время на ней появилось самое старое дерево.

Таблица 1
Средний химический состав пород, слагающих Патомский кратер

Элемент	Известняки				Отдельные глыбы среди пород кратера		Вещающие кратер породы		
	кольцевого вала		центральной горки	кольцевого вала	песчаник (3)	сланец (1)	известняк (2)	песчаник (4)	сланец (1)
	раннего (2)	позднего (2)	(3)	(3)					
SiO ₂	3.08	2.66	3.80	3.31	65.95	52.38	3.35	77.38	54.36
TiO ₂	0.02	0.02	0.03	0.03	0.26	0.37	0.02	0.43	0.72
Al ₂ O ₃	0.92	0.78	1.07	1.12	6.55	8.89	1.33	8.14	19.37
Fe ₂ O ₃	0.44	0.37	0.38	0.42	1.06	1.43	0.30	1.58	2.57
FeO	0.18	0.28	0.26	0.31	0.96	0.65	0.32	1.80	3.88
MnO	0.03	0.03	0.03	0.03	0.06	0.04	0.03	0.05	0.25
MgO	0.69	0.84	0.84	0.62	0.58	0.71	0.50	1.40	2.24
CaO	51.39	51.41	50.7	51.14	11.98	17.41	51.79	2.85	4.38
Na ₂ O	<0.20	<0.22	<0.20	<0.20	1.77	0.26	<0.20	2.54	1.67
K ₂ O	0.30	0.20	0.32	0.33	0.88	2.65	0.34	0.66	2.87
P ₂ O ₅	0.03	0.03	0.03	0.04	0.06	0.09	0.03	0.08	0.22
ППП	41.71	42.25	41.45	41.54	10.11	15.01	41.67	3.20	7.38
Сумма	99.22	99.23	99.26	99.16	100.21	100.12	99.88	100.28	100.14
Sr	1575	1752	1682	1686	569	601	1932	169	445
Ba	148	112	160	144	395	1099	163	278	948
Rb	10.1	7.9	11.2	9.5	35	88	14.1	23	120
Li	6.9	4.7	6.8	5.5	16	38	3.4	21	38
Nb	0.83	0.63	0.88	0.53	3.9	6.2	0.74	6.4	13.1
Zr	8.7	6.1	7.7	7.0	177	212	8.0	281	248
U	2.5	1.4	1.9	2.1	0.98	1.4	1.2	0.65	2.0
Th	0.53	0.59	0.75	0.49	3.8	4.6	0.49	6.4	11.6
Pb	1.9	1.7	1.8	1.5	10.8	6.3	3.1	8.4	18.1
Zn	10.2	7.3	10.8	10.5	60	23	8.4	69	114
V	6.6	5.5	7.0	5.6	40	50	9.2	52	126
Cr	8.2	8.9	11.7	9.9	36	46	14.2	81	93
Co	1.2	1.2	1.1	0.66	5.0	5.5	1.8	5.9	25
Ni	3.6	3.0	3.4	1.9	13.6	16.4	2.2	25	66
Cu	3.7	2.4	4.4	3.4	12.5	12.0	2.4	7.9	68
Sc	1.1	0.96	1.2	1.0	5.4	6.9	1.9	7.2	26
Y	4.1	3.4	4.0	3.8	9.5	10.2	5.6	13.3	38
Ta	0.05	0.04	0.04	0.03	0.38	0.42	0.04	0.45	0.64
La	4.42	4.63	4.91	3.23	16.12	18.12	4.91	16.37	38.9
Ce	7.51	8.09	8.92	6.14	25.4	34.81	9.64	29.71	34.4
Nd	3.18	3.00	3.31	2.36	13.4	19.72	4.58	16.3	28.3
Yb	0.34	0.27	0.32	0.38	0.86	0.81	0.57	1.32	4.90

Примечание. Анализы пород выполнены в Институте геохимии им.А.П.Виноградова СО РАН. Силикатный анализ — методом РФА (аналитик А.К.Климова), а редкие элементы — ICP MS (аналитики Л.А.Чувашова, Е.В.Смирнова). Оксиды даны в вес. %, остальные элементы — в г/т. В скобках указано число проанализированных проб.

С учетом того, что почва, необходимая для роста деревьев, формируется в этих условиях в течение 10–20 лет, наиболее реальная временная граница в данном случае — середина XVIII в. Следовательно, вполне обоснованно можно оценить возраст осыпи раннего вала в 250–300 лет.

Большой интерес представляют деревья, расположенные вблизи северного окончания осыпи (1, 2, 4 на рисунке). У дерева 2 с 1842 г. резко уменьшил-

ся радиальный прирост, а в 1876 г. оно погибло. Деревья 1 и 4 получили механические повреждения, после которых, начиная с 1842 г., стали формировать креневую древесину, т.е. в результате наклона или изгиба ствола начинали образовываться эксцентричные годовичные кольца (с одной стороны шире, с другой — уже). Такие кольца возникают для того, чтобы вновь привести ствол в вертикальное положение. Таким образом, исследованные деревья

в 1841–1842 г. зафиксировали в годовичных кольцах некое катастрофическое событие, вызвавшее различные их повреждения [6]. Подобные серьезные повреждения деревьев в результате лесного пожара полностью исключаются, так как характерные ожоги на стволах отсутствуют. Рассматриваемая группа деревьев располагалась у кромки осыпи, сложенной слабо выветрелыми известняками позднего кольцевого вала. Наиболее вероятная причина их поврежде-

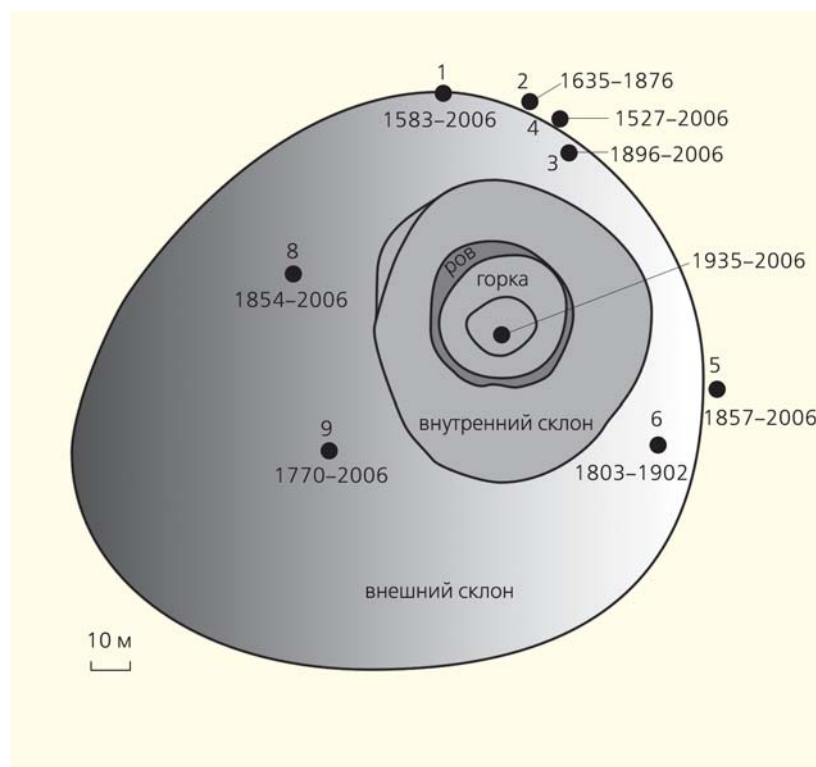
ний — значительные подвижки грунта во время нагромождения глыбового материала внешнего вала. А облом ствола дерева 4, так же, как и дерева 9 на противоположном склоне, мог произойти вследствие удара глыб, скатившихся по осыпи.

Таким образом, время формирования позднего кольцевого вала приходится на 1841—1842 гг., более чем через 100 лет после начала становления Патомского кратера. На центральной горке деревья значительно моложе (дерево 7, возраст 71 год), и вполне логично предположить, что она завершила полное формирование насыпного конуса.

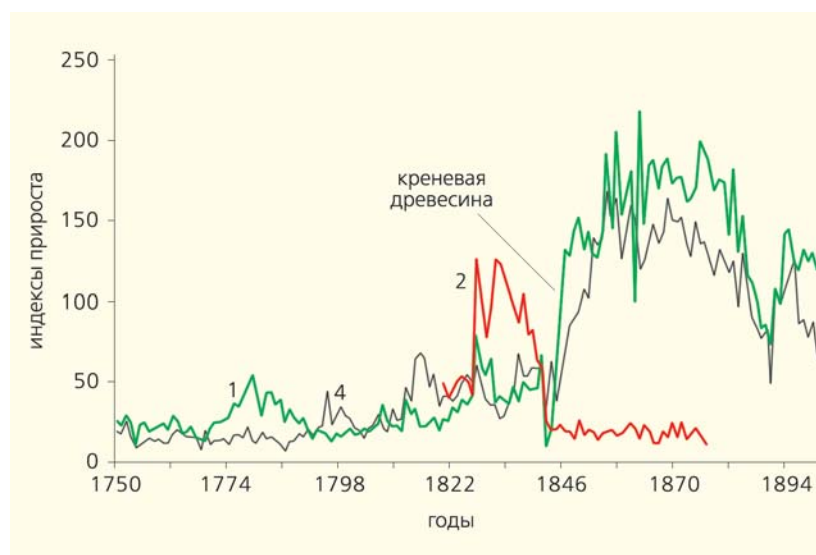
Малопонятными остаются резкое падение прироста деревьев в 1880 г. и гибель некоторых из них. Возможно, это как-то связано с завершающими процессами становления кратера, а именно центральной горки. Но для большей уверенности необходимы дополнительные исследования. Однако результаты дендрохронологического анализа дают все основания считать, что возраст кратера ~250—300 лет. Справедливо будет отметить, что уже в 1966 г. экспедиция Сибирской комиссии по метеоритам СО РАН СССР установила, что возраст лиственницы, спиленной на юго-восточном борту насыпного конуса, 223 года [5].

Метеоритный кратер или вулканическая постройка?

Комплексная экспедиция 2006 г. не обнаружила никаких данных в пользу метеоритного происхождения кратера. В то же время все полученные геолого-геохимические материалы свидетельствуют об эндогенной или вулканической природе этой удивительной структуры на Патомском нагорье. Морфология кратера в виде насыпного с крутыми склонами усеченного конуса с углублением на вершине типична для современных вулканических построек. Характерный пример таких образова-



План-схема Патомского кратера. Кружками показаны места отбора спилов лиственницы для дендрохронологического анализа.



Древесно-кольцевые хронологии деревьев 1, 2, 4. Дерево 1 живое, ствол лежит на склоне внешнего кратера, половина корней погружена в грунт. В 1842 г. у него было очень узкое годовичное кольцо, начиная с 1843 г. стало образовывать креневую древесину. Дерево 2 мертвое, прямостоящее с обломанной вершиной у подножия кратера. С 1843 г. стал происходить резкий спад прироста, и в 1876 г. оно погибло. Дерево 4 живое, многоствольное, прямостоящее, в 1 м от подножия кратера. Анализировался один из стволов, образовавшийся из верхней боковой ветви после облома ствола в 1842 г. С 1843 г. начало формировать креневую древесину.



Вид современного Карымского вулкана на Камчатке в 2005 г. Внутри кольцевого вала в кратере растет лавовый купол [7].

ний — современный вулкан Карымский на Камчатке, где хорошо видны все структурные элементы, выделенные на Патомском кратере. В отличие от вулканических построек, образованных ювенильным материалом (шлак, пепел, бомбы, лава и др.), насыпные конусы могут состоять из обломков древних

вмещающих пород — эруптивных или взрывных брекчий. Подобные структурные особенности резко отличают такие постройки от метеоритных кратеров, представленных более плоскими впадинами с невысоким кольцевым валом. Отношение диаметра к высоте Патомского кратера довольно характерно

Таблица 2

Средние содержания флюидных компонентов в породах Патомского кратера и в некоторых базальтах (мл/г)

Порода	Число проб	H ₂ O	CO ₂	CO	N ₂
Известняки раннего кольцевого вала	3	2.6	40.2	5.1	0.86
Известняки позднего кольцевого вала	2	2.6	34.4	5.8	0.17
Известняки центральной горки	2	3.4	38.3	8.5	0.16
Известняки кольцевого рва	2	3.4	64.9	9.7	0.28
Известняки южнее кратера	1	4.3	49.0	7.3	0.25
Песчаники севернее кратера	4	15.9	10.4	1.3	1.06
Глыбы песчаников внутри кратера	2	10	42.2	2.6	0.27
Сланцы южнее кратера (г.Джебалдо)	1	92	25	7.7	3.7
Глыбы сланцев внутри кратера	1	13.5	68.6	2.7	0.38
Полевошпат-карбонатные жилы в известняках кольцевого рва	3	7.1	96.8	9	0.29
Щелочной базальт Байкальской рифтовой зоны	37	1.64	0.42	0.05	0.074
Эффузивные траппы (базальты) Сибирской платформы	122	8.33	1.00	0.13	0.28
Лерцолиты в кайнозойских базальтах Прибайкалья	10	0.15	0.13	0.26	0.19

Примечание. Определения выполнены методом газовой хроматографии в Институте земной коры СО РАН. Аналитик Л.В.Баранова

для образований вулканического происхождения.

Патомский кратер представляет собой зональную кольцевую структуру, отдельные зоны которой образовались в разное время. В процессе его формирования происходило по крайней мере трехкратное воздействие эндогенной энергии на мариинскую древнюю толщу терригенно-карбонатных пород. В результате последовательно образовались ранний и поздний кольцевые валы, кольцевой ров и центральная горка. Дендрохронологический анализ также говорит о повреждении растущих на кратере деревьев на разных этапах его формирования. Такие процессы возможны только при продолжительной эндогенной вулканической активности, но не при одноактном падении метеорита.

Весь проанализированный каменный материал как в пределах Патомского кратера, так и в его окружении свидетельствует об отсутствии каких-либо признаков наличия метеоритного вещества (табл.1). Во всех отобранных пробах горных пород и терригенного материала содержания характерных для любых метеоритов элементов (прежде всего элементов группы железа) очень низкие, свойственные окружающим кратер породам. Никаких геохимических аномалий, связанных с метеоритным веществом, в пределах кратера не обнаружено.

Кроме того, установлено, что глыбы песчаников и сланцев среди известняков, входящие в состав эруптивной брекчии, подвергались воздействию газовых или флюидных компонентов и интенсивно карбонатизированы. Концентрации элементов группы железа, и прежде всего никеля, в этих песчаниках и сланцах существенно ниже относительно этих же пород в окружении кратера. Все это свидетельствует против метеоритной природы кратера.

В табл.2 приведен состав летучих компонентов в проанализи-

зированных горных породах, помогающий понять роль глубинных флюидов или газов в процессе формирования Патомского кратера. Наряду с окисленными флюидами (H_2O , CO_2) — главными составляющими магматических летучих компонентов — в породах кратера установлены восстановленные газы (CO , H_2). Это прежде всего свидетельствует о достаточно глубинном источнике флюидных компонентов. Максимальное содержание CO фиксируется в известняках центральной горки и кольцевого рва (8.5—9.7 мл/г), т.е. в участках кратера, где по глубинному цилиндрическому каналу мог поступать эруптивный глыбовый материал насыпного конуса. Концентрации CO в исследуемых известняках значительно выше по сравнению с базальтоидами и лерцолитами Байкальской рифтовой зоны и Сибирской платформы. Содержание же H_2 в мантийных основных и ультраосновных породах довольно близко к уров-

ню их концентраций в карбонатных породах кратера. Однако среди этих пород наибольшие концентрации H_2 зафиксированы в известняках раннего кольцевого вала. По-видимому, на начальном этапе формирования Патомского кратера среди восстановленных газов преобладал водород, а в дальнейшем его роль уменьшалась, тогда как роль оксида углерода возрастала. Полученные геохимические данные свидетельствуют не просто о глубинном, а скорее о мантийном источнике флюидных или газовых компонентов. Последние вполне могли исходить из расположенного на глубине магматического очага. В настоящее время уверенно судить о его составе нельзя. Необходимы дополнительные исследования как эруптивных брекчий самого кратера, так и пород его обрамления.

Несмотря на то, что Патомский кратер расположен на значительном удалении от областей активного четвертичного

вулканизма (ближайшие вулканы находятся в верховьях р.Витим), Обручев не исключал возможность образования на Патомском нагорье небольших шлаковых или насыпных конусов вследствие извержения или прорыва газов.

* * *

Таким образом, Патомский кратер не является метеоритным, а его происхождение связано с эндогенными процессами, главную роль в которых играло поступление глубинного потока газовых компонентов. По своим геологическим характеристикам он представляет собой кольцевую структуру центрального типа с насыпным конусом. Зональное строение, а также петрографические и петрогеохимические особенности пород обусловлены, по-видимому, благоприятным сочетанием кольцевых и радиальных разломов с последовательным и продолжительным временем формирования отдельных зон. ■

Литература

1. Колтаков В.В., Обручев С.В. Загадочный кратер в Патомском нагорье // Природа. 1951. №1—2. С.58—61.
2. Малеев Е.Ф. Вулканогенные обломочные горные породы. М., 1977.
3. Портнов А.М. Кратер на Патомском нагорье // Природа. 1962. №11. С.102—103.
4. Кротова З.А., Кандыба Ю.Л. // Метеоритика. 1966. Вып. XXVII. С.134—138.
5. Антипин В.С., Арсентьев А.Н., Воронин В.И. и др. Экспедиционное обследование Патомского кратера // Избранные проблемы астрономии. Материалы научно-практической конференции «Небо и Земля», посвященной 75-летию астрономической обсерватории ИГУ. Иркутск, 2006. С.163—168.
6. Воронин В.И. Предварительные результаты дендрохронологического анализа спилов лиственницы даурской, отобранных в районе Патомского кратера // Там же. С.169—176.
7. Изменение окружающей среды и климата. Природные и связанные с ними техногенные катастрофы. М., 2007.

Ботаник-энциклопедист

Памяти А.К.Скворцова

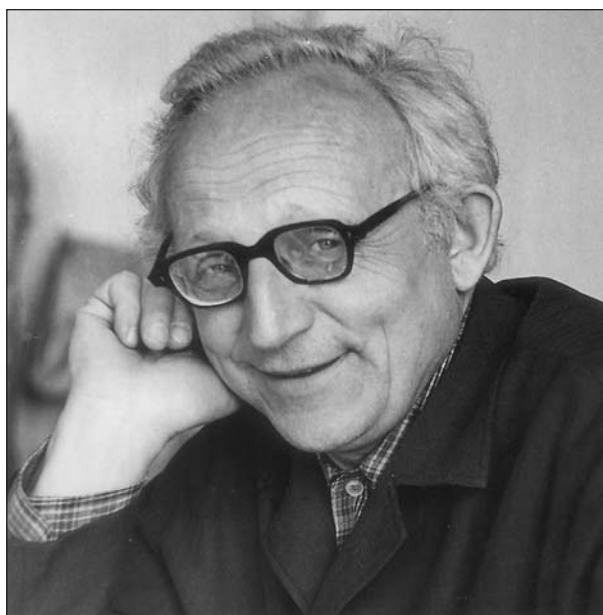
Имя Алексея Константиновича Скворцова хорошо известно ботаникам не только нашей страны, но и далеко за ее пределами. Он ушел из жизни 8 мая. Крупнейший отечественный биолог, известный специалист в области систематики высших растений, флористики и интродукции, лауреат Государственной премии СССР и высшей ботанической награды — премии им.В.Л.Комарова РАН, бессменный председатель Московского отделения Русского ботанического общества, заместитель главного редактора журнала «Природа». Его жизнь более полувека была связана с ботаническими садами и более 30 лет — с нашим журналом.

Алексей Константинович родился в с.Желанья Смоленской области. Его отец, К.А.Скворцов, был врачом (впоследствии известным в Москве психиатром и психотерапевтом). Именно он привил сыну интерес к ботанике и гербарному делу. Однако Алексей, следуя семейной традиции, в 1936 г. поступает во 2-й Московский медицинский институт, где увлекается гистологией и начинает готовиться к аспирантуре у известного гистолога Б.И.Лаврентьева.

Но окончание института приходится на начало войны, и молодой врач уезжает в Киров, в военный госпиталь. В конце лета 1943 г., после перелома войны в результате битвы на Курской дуге, правительство принимает решение о возобновлении аспирантуры в Академии наук по всем направлениям. Алексей Константинович получает вызов от своего руководителя и возвращается в Москву. Но в феврале 1944 г. Лаврентьев скоропостижно умирает, и Скворцов становится аспирантом другого гистолога, Г.К.Хрущова, директора Института цитологии, гистологии и эмбриологии. В институте, где работали ученики Н.К.Кольцова, и началась научная карьера Алексея Константиновича. Его становление как ботаника-систематика проходило в атмосфере непростой борьбы отечественной биологии за право на жизнь.

Огромное влияние на Скворцова оказали ученики Кольцова В.В.Сахаров и Б.Л.Астауров. С Сахаровым, возглавлявшим отдел полиплоидии, он очень быстро подружился. А с Астауровым, который в силу своего авторитета и возраста поначалу казался совершенно недостижимым, неожиданно сложились теплые неформальные отношения. Оказалось, что их отцы были врачами на австрийском фронте во время Первой мировой войны и служили вместе в одном дивизионе.

Первые послевоенные годы молодого аспиранта привлекала работа на биостанции в Кропотово. Но приближался 1948 г., год разгрома отечественной



Алексей Константинович Скворцов
09.02.1920 — 08.05.2008

биологии и генетики, а для Скворцова — год защиты кандидатской диссертации. После защиты он остался в Институте морфологии животных им.А.Н.Северцова. Изменилась и рабочая атмосфера: иной стала идеология, усилились формализм и бюрократизм, дышать стало тяжело. Как найти дело, далекое от лысенковских надсмотрщиков и одновременно представляющее действительный научный интерес? Скворцов выбирает свою давнюю симпатию — флору. Ведь еще будучи аспирантом, во время экспедиции в Хибины, собирая грызунов для гистологических исследований, он вел первые ботанические наблюдения. Интересно, что его первые научные публикации по гистологии и ботанике появились почти одновременно.

В 1951 г. Алексей Константинович уходит из института и уезжает на Северный Урал в заповедник «Денежкин камень». Экспедиция послужила толчком для детального изучения этого района, что впоследствии воплотилось в вышедшей в 1958 г. сводке «Флора сосудистых растений заповедника «Денежкин камень»». Эта книга стала одним из первых многочисленных определителей и сводок (их более 20), подготовленных Скворцовым по флорам самых различных районов. Особое внимание он уделял растениям Средней полосы России (Калужской, Смоленской, Брянской

областям) и Нижнему Поволжью, куда он каждое лето до своих 80 лет отправлялся с экспедициями.

В 1952 г. Алексей Константинович приходит на кафедру высших растений Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Тогда там начиналась организация нового ботанического сада на Ленинских горах. Молодому ботанику, старшему научному сотруднику, поручают формирование участка систематики. Он подбирает материалы для посадок: сначала из старого университетского сада на Мещанской, из Главного ботанического сада в Останкино, из Подмосковья, затем из собственных экспедиционных сборов в Средней Азии, на Памире, в Киргизии и на Дальнем Востоке.

В университетские годы (1952–1966) собственный научный интерес Сковрцова направлен на изучение ив (рода *Salix*). В 1966 г. он защищает докторскую диссертацию по систематике этого рода, через два года выходит его монография «Ивы СССР», которую в 1970 г. отметили премией Московского общества испытателей природы, а в 1999 г. перевели на английский язык и издали в Финляндии. Интерес к этому семейству систематик Сковрцов сохранил до последних дней, занимаясь изучением другого его рода — тополей (*Populus*).

В 1966 г. параллельно с работой в МГУ, где Сковрцов еще читал спецкурс «Видообразование у растений», он начинает курировать гербарий Главного ботанического сада (ГБС), а в 1972 г. окончательно переходит в Главный ботанический сад РАН.

За эти годы объем коллекции гербария вырос с 60–70 тыс. до 560 тыс. листов, собственные сборы Сковрцова в экспедициях и поездках по всему СССР, Европе, Северной Америке, Индии и Китаю составили более 80 тыс. образцов, а его книга «Гербарий. Пособие по методике и технике» (1977) стала настольным пособием для многих поколений ботаников.

Среди огромного мира растений, исследованием которых занимался Алексей Константинович, были и свои любимые. Интерес к узколистным овсяницам определился влиянием московского флориста П.А.Смирнова. Голубые жимолости и абрикосы Алексея Константинович выращивал «для себя», пытаясь избавиться от горьких плодов у первых и вывести морозоустойчивые сорта у вторых. Позднее к этим двум «любимцам» добавился грецкий орех. Сегодня все три вида деревьев живут и плодоносят в Главном ботаническом саду. Работы по интродукции продолжают ближайшие ученики Сковрцова. А их было много благодаря педагогической деятельности Алексея Константиновича, его долгой работе в ГБС и многочисленным поездкам. Так, в Волгограде сформировалась целая школа ботаники, где под влиянием Сковрцова были созданы два новых ботанических сада.

В честь А.К.Сковрцова были описаны виды: *Festuca skvortsovii* E.Alexeev, *Salix alexii-skvortsovii* A.Khokhriakov, *Legonsia skvortsovii* G.Proskuriakova, *Circaea x skvortsovii* Boufford, *Potamogeton skvortsovii* G.Klinkova, а также названы сорта абрикосов «Алеша» и «Водолей», созданные его ученицей Л.А.Крамаренко.

Алексей Константинович известен не только своими флористическими исследованиями по систематике и практическими работами по интродукции и акклиматизации. В нем прекрасно сочетался высокий профессионализм ботаника-систематика с глубоким интересом к проблемам микроэволюции и видообразования, к вопросам эволюционной теории. В последние годы он уделял много внимания философии, а также проблемам современного русского языка.

Особое место в жизни Алексея Константиновича занимал наш журнал. В редколлегия «Природы» его в 1970 г. привел Астауров, бывший тогда заместителем главного редактора. Сам Астауров вошел в редколлегия «Природы» в конце 60-х годов, чтобы привлечь наш журнал, обращенный к более широкой аудитории, чем специальные журналы, к окончательному искоренению лысенковщины. Хорошо зная Сковрцова еще с давних времен, он сначала предложил ему курировать в журнале ботанику. С 1975 г. (после смерти Астаурова) Алексей Константинович возглавлял биологическую редколлегия «Природы».

И на этом посту, как и в своем любимом деле, он был самым ответственным, внимательным и безотказным рецензентом. И не только. Он активно участвовал в жизни журнала, интересовался нашими проблемами и часто писал сам. По его публикациям хорошо прослеживаются широкие интересы натуралиста. Здесь и гербарное дело (1973); Красная книга отечественной флоры (1976); ботанические сады и их история (1985, 2005); проблемы биоразнообразия (1997), вопросы, связанные с теорией эволюции (1979, 1988); выступление против лысенковцев (1988) и многое другое. Всего в «Природе» было более 20 публикаций. Особое место среди них занимает статья «О языке современной русской научной литературы». Возможно, к ее написанию побудило чтение многочисленных «природных» материалов, которые он рецензировал. Слова из этой статьи «научный язык прежде всего должен быть хорошим естественным языком» должны стать неперенным руководством для пишущих научные, особенно научно-популярные статьи. Сам Алексей Константинович писал именно так.

Для всей редакции Алексей Константинович был не просто членом редколлегия. Он как никто другой откликался на наши просьбы, проявлял внимание и терпение. Общение с этим интеллигентным, доброжелательным и широко эрудированным человеком было всегда не только приятным, но и полезным. Сегодня, перелистывая публикации и рецензии, написанные Алексеем Константиновичем, как будто слышишь его голос.

В своей последней статье 2007 г. он приводит слова К.Линнея: «В естественных науках основы истины должны быть подтверждены наблюдениями». Именно такому принципу следовал всю свою жизнь истинный натуралист, ботаник-систематик и философ А.К.Сковрцов.

Редакция

Новости науки

Астрофизика

Белые карлики нового типа

Сотрудники Техасского университета (США) М.Монтгомери, К.Вильямс и С.Дедженнаро предсказали и подтвердили существование нового типа переменных звезд — пульсирующих углеродных белых карликов¹.

подавляющее большинство звезд заканчивают свою жизнь в виде белых карликов. Такая же судьба ожидает и наше Солнце. Изучение этих компактных объектов позволяет заглянуть в будущее почти всех звезд. Белые карлики — это звезды, в недрах которых в ходе термоядерных реакций уже «сгорело» все топливо, при этом в более глубоких слоях, где температура и давление выше, термоядерное превращение вещества продвинулось дальше. Поэтому ядра таких звезд имеют структуру матрешки: чем глубже, тем более тяжелые химические элементы преобладают в их составе. Процесс ядерного синтеза замирает, когда для следующих этапов превращения элементов требуются столь высокие температуры, которых звезда обеспечить не может. Лишенные источника ядерной энергии, внутренние области звезды сжимаются до экстремально высокой плотности, при которой квантовые свойства вещества (вырождение электронного газа) делают их способными сопротивляться дальнейшему гравитационному сжатию. Выделившаяся при сжатии энергия обычно приводит к расширению и сбросу внешней оболочки звезды, некоторое вре-

мя окружающей ядро звезды в виде «планетарной туманности». Собственно, это ядро и есть молодой белый карлик: «белый» — потому что очень горячий, «карлик» — потому что существенно меньше нормальной звезды. Типичный белый карлик имеет размер порядка диаметра Земли, но при этом обладает массой, близкой к массе Солнца, так что плотность его вещества достигает нескольких тонн в кубическом сантиметре.

До недавнего времени было известно о существовании двух типов белых карликов: у одних внешний слой в основном состоит из водорода (таких около 80% от числа всех белых карликов), у других

внешний слой в основном состоит из гелия, так как отсутствует водородная оболочка (таких около 20%). В 2007 г. П.Дюфур и Дж.Либерт (P.Dufour, J.Liebert; Аризонский университет, США) открыли белые карлики третьего типа — с углеродной оболочкой. У этих горячих углеродных белых карликов отсутствуют как водородная, так и гелиевая оболочки — обнаженным оказывается еще более глубокий углеродный слой. Причина этого не вполне понятна. Было высказано предположение, что эти звезды — наиболее массивные представители белых карликов, остатки тех звезд, чьи массы были близки к критической, превышение которой делает невозможной



Планетарная туманность Абель 39, в центре которой располагается молодой белый карлик. Изображение получено с помощью 3,5-метрового телескопа обсерватории WIYN (Wisconsin-Indiana-Yale-NOAO).

¹ Montgomery M.H., Williams K.A., DeGennaro S. // *Astrophys. J. Let.* 2008. V.678. PL51—L54.

остановку сжатия ядра на этапе белого карлика, а вынуждает его сжиматься еще сильнее — до состояния нейтронной звезды. Выделяющаяся при этом колоссальная энергия приводит уже не просто к медленному сбросу оболочки звезды в виде планетарной туманности, а к грандиозной вспышке сверхновой.

Расчеты показали, что у белых карликов с массами близкими к критической возможны пульсации. Пульсирующие звезды интересны тем, что по характеру пульсаций можно судить о процессах, происходящих в их недрах, подобно тому как геологи, изучающие сейсмические волны от землетрясений, приходят к пониманию внутреннего строения Земли. Вот и астрономы начали систематический цифровой обзор неба Слоан (The Sloan Digital Sky Survey — SDSS) с целью выявить углеродных белых карликов. Наблюдения за возможными кандидатами велись с помощью 2.1-метрового телескопа «Отто Струве» обсерватории Мак-Дональд, расположенной в Техасе.

Звезда SDSS J142625.71+575218.3 (цифровые обозначения звезды в каталоге SDSS показывают ее координаты на 2000 г. юлианской эпохи J: прямое восхождение $14^{\text{h}}26^{\text{m}}25^{\text{s}}.7$ и склонение $+57^{\circ}52'18''.3$) продемонстрировала регулярные колебания интенсивности излучения примерно на 2% с периодом 8 мин.

Эта звезда находится приблизительно в 10° к северо-востоку от Мицара (средней звезды в ковше Большой Медведицы), на расстоянии около 800 св. лет от Земли. У белого карлика масса равна массе Солнца, но диаметр меньше земного. Хотя температура его поверхности около 20 000 К, светимость карлика в 600 раз меньше, чем у Солнца. Ни у одной другой из числа исследованных звезд пульсаций не найдено. SDSS J142625.71+575218.3 оказалась на сегодня единственным подходящим кандидатом.

Ученые предположили, что причиной пульсаций может быть «клапанный» механизм, хорошо известный на примере перемен-

ных звезд-цефеид. Слой частично ионизованного гелия под их поверхностью играет роль клапана для идущего снизу излучения, то пропуская, то задерживая его. В результате оболочка звезды то нагревается, то остывает, испытывая при этом периодическое расширение и сжатие. В углеродном белом карлике роль клапана может играть слой частично ионизованного углерода. Впрочем, не исключены и другие причины пульсаций. Поэтому дальнейшие исследования таких звезд необходимы. Кроме того, изучая их, можно будет понять причины, вызвавшие исчезновение водорода и гелия с поверхности звезды, в результате чего оголились их углеродные недра.

© Ашимбаева Н.Т.

Москва

Морская биология

Фораминиферы как индикаторы холодных сипов?

В Охотском море, во впадине Дерюгина, в области распространения холодных метановых сипов (высачиваний) развиваются сообщества фораминифер (одноклеточных организмов из подцарства простейших). Исследование этих сообществ, анализ состава и количественного распределения фораминифер в глубоководных осадках проводилось сотрудниками Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН с целью выявить доминирующие виды в этом районе.

Ранее при изучении фораминифер в районах холодных метановых сипов Калифорнии на глубинах около 100 м было обнаружено, что там доминирует вид-индикатор *Bolivina tumida*¹.

В фораминиферовом комплексе, существующем во впадине Дерюгина в интервале глубин 1650—1800 м, содержится очень мало видов, а доминирует *Saccorbiza ramosa*. Его раковинки, имеющие трубчатую форму, сложены большим количеством разноразмер-

¹ Hill T.M. // Mar. Micropaleontology. 2003. V.49. P.123—138; Rathburn A.E. et al. // Mar. Micropaleontology. 2000. V.38. P.247—266.



Крбовидная туманность — остаток взрыва сверхновой, наблюдавшейся в 1054 г. Изображение получено космическим телескопом «Hubble» (NASA/ESA Hubble Space Telescope).



Агглютированные раковины *Saccorbiza ramosa*.

ных песчинок, склеенных (агглютированных) карбонатными выделениями цитоплазмы. Столь значительного преобладания этот вид не достигает ни в одном глубоководном районе Охотского моря. Помимо *S. ramosa*, в заметном количестве встречаются другие агглютинирующие виды — *Cyclammina cancellata*, *C. bradyi*, *Recurvoides contortus*. И в центральной, и в окраинной частях впадины фораминиферовые комплексы бедны видами с известковыми скелетом. Немногочисленные известковые раковинки принадлежат двум видам: *Uvigerina auberiana* и *Gyroïdina orbicularis*.

Когда были сопоставлены количественные показатели фораминиферовых комплексов впади-

ны Дерюгина с элементным составом вмещающих осадков, проявилась определенная закономерность: суммарное количество раковин и число видов растут по мере увеличения в осадках концентрации железа и кальция, тогда как относительная доля агглютированных раковин уменьшается. Рост содержания марганца и бария, обусловленный сипами, влияет противоположным образом: снижает общую численность и видовое разнообразие сообщества фораминифер и увеличивает долю агглютированных раковин до 95%. В этих условиях доминантом становится *S. ramosa*.

© Хусид Т.А.,

кандидат биологических наук

© Доманов М.М.,

доктор географических наук

Москва

Планетология

Движение полюсов на Европе

Одна из наиболее примечательных деталей рельефа спутника Юпитера Европы — колоссальные концентрические дугообразные расщелины глубиной от 300 м до 1.5 км, шириной 40 км и длиной в сотни километров — были впервые замечены в 1979 г. на фотографиях, полученных с борта межпланетного зонда «Voyager». Позже еще несколько подобных дуг было обнаружено на снимках зондов «Galileo» и «New Horizons».

Изобилие полученной информации позволило П.Шенку (P.Schenk; Лунный и планетный институт, Хьюстон, США) и его коллегам построить детальную карту этих расщелин и прояснить их общее расположение на поверхности спутника. В целом дуги образуют две почти идентичные концентрические системы, которые находятся на противоположных сторонах Европы на расстоянии нескольких тысяч километров друг от друга. Интересно то, что их позиции ничем особенным не выделяются, в частности не совпадают ни с полюсами, ни с экватором.

До сих пор происхождение менее масштабных складок, которыми испещрена ледяная кора спутника, объясняли приливными колебаниями. Концентрические расщелины в эту картину не вписываются, однако в 1989 г. было высказано предположение о наличии еще одного источника глобальных напряжений — блуждания полюсов. Со временем из-за пониженных температур толщина ледяной коры вблизи полюсов Европы увеличивается, и кора начинает поворачиваться относительно оси вращения каменного ядра. Шенк с соавторами построили модель этого процесса и с удивлением обнаружили, что с его помощью удастся воспроизвести не только гигантские дуги, но и более мелкие «хребты» и «ущелья». «Я давно подозревал, что складки на поверхности Европы более симметричны, чем кажется, — говорит Шенк. — Когда мы построили сценарий, объясняющий происхождение концентрических колец, в глобальный симметричный узор, совпадающий с картиной напряжений в коре, вписались и другие крупные тектонические детали рельефа».

Наблюдаемая картина объясняется, если предположить, что кора на Европе повернулась относительно каменного ядра на 80°. Естественно, такое возможно лишь при условии, что ядро и кора механически не связаны друг с другом. Таким образом, движение полюсов на Европе является очередным косвенным свидетельством в пользу наличия на этом спутнике Юпитера глобального подповерхностного океана.

Nature. 2008. V.453. №7193. P.368 (Великобритания).

Физика

Спины излучают микроволны

Если в кусочек магнита инжектировать ток со спиновой поляризацией, перпендикулярной вектору намагниченности, то создаваемое такими спинами магнитное поле вызовет прецессию магнитного момента. А прецессирующий

магнитный диполь, как известно, излучает электромагнитные волны. Этот эффект, существование которого было предсказано более 10 лет назад, удалось недавно зарегистрировать исследователям из США и Франции (частота излучения соответствовала ларморовской частоте 1.1 ГГц с очень узкой полосой 300 кГц).

Предполагается, что на основе такого эффекта можно создать простой, компактный и перестраиваемый источник электромагнитного излучения для систем связи.

Nature Physics. 2007. V.3. P.402–405, 498–503 (Великобритания); <http://perst.issp.ras.ru> (2007. Т.14. Вып.17).

Физика

Почему светит электрохимическая ячейка?

Конструкция органической электрохимической ячейки похожа на полупроводниковый *p-n*-переход, помещенный между двумя электродами. Разница состоит в том, что полупроводниковый переход формируют заранее, а в электрохимической ячейке он возникает в результате приложения напряжения к электродам. В качестве материала используются органические ионные комплексы, например комплекс рутения — фактически молекулярного полупроводника. Перенос заряда в этом материале осуществляется прыжковым механизмом. Свечение органической электрохимической ячейки обусловлено тем же процессом, что и в полупроводниковом источнике света: внутри нее происходит излучательная рекомбинация электронов и дырок, приходящих с противоположных сторон.

В течение десятилетия существовало две модели, дающие качественно одинаковый результат, но отличающиеся ролью подвижных ионов. В электрохимической модели важную роль играет значительное перемещение ионов, которые экранируют поле электронов и дырок, аккумулирующихся вблизи анода и катода. В этом слу-

чае приложенное напряжение падает главным образом внутри ячейки. В электродинамической модели перемещение ионов незначительное, приложенное напряжение падает в основном вблизи контактов, а внутри напряженность поля невелика. Недавний эксперимент с помощью атомно-силового сканирующего микроскопа отдал преимущество именно этой модели: прибор «нащупал» сильное поле вблизи контактов и слабое — внутри ячейки.

Nature Materials. 2007. V.6. P.796–797; <http://perst.issp.ras.ru> (2007. Т.14. Вып.22/23).

Химия

Новая эффективная смазка на основе фуллеренов

Предложения о создании новых смазочных материалов, содержащих фуллерены, появились уже вскоре после их открытия (1985). На такую возможность указывают как идеальная сферическая форма молекул C_{60} , так и их материальная основа — углерод, который в виде графита давно и широко используется для производства целого класса смазочных материалов.

Недавно японские специалисты провели детальное количественное исследование, результаты которого позволяют понять, как меняются рабочие характеристики смазочных композиций на основе графита при добавлении фуллеренов¹. Высокоориентированный пиролитический графит (НОРГ) вместе с мелкодисперсным графитовым порошком естественного происхождения вводили в смесь концентрированных серной и азотной кислот (в объемном отношении 4:1) и перемешивали в течение 16 ч. Обработанный таким образом порошок промывали водой и высушивали при 100°C, после чего 15 с подвергали термической обработке. В результате образовывались слоистые графитовые частицы. Их вводили

¹ Miura K. et al. // Jap. J. Appl. Phys. 2007. V.46. P5269 (2007).

в 70%-й спиртовой раствор, обрабатывали ультразвуковым, а затем вместе с порошком фуллерена C_{60} или C_{70} помещали в кварцевую ампулу, запаивали ее в условиях вакуума и в течение 15 дней выдерживали при 600°C. Полученный в итоге материал использовали для получения антифрикционного покрытия, представляющего собой пленку размерами 2.3×2.3 мм и толщиной 0.2 мм. Коэффициент трения пленки μ измеряли стандартным методом как отношение силы трения к приложенному боковому усилию. Оказалось, что $\mu < 0.001$ — вдвое меньше, чем у стандартной смазки на основе MoS_2 ($\mu \sim 0.002$).

Исследователи считают, что скольжение молекул фуллерена по графитовой поверхности характеризуется значительно меньшим трением, чем скольжение графитовых поверхностей друг относительно друга, в силу более высокой площади контакта в последнем случае.

Результаты этой работы могут стать основой разработки «суперсмазки», обеспечивающей коэффициент трения поверхностей ниже 0.001.

<http://perst.issp.ras.ru> (2007. Т.14. Вып.22/23).

Биология. Этология

Передача микрофлоры потомству

Матери у некоторых видов сумчатых, грызунов и зайцеобразных передают бактериальную флору кишечника своим детенышам. Для передачи служат разные экскреты — слюна, секреты специфических кожных желез, кал. Если такая передача почему-либо ограничена или вовсе невозможна, молодое животное может даже погибнуть.

В.В.Рожнов и Т.Н.Петрина (Институт проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН) наблюдали за поведением семейной группы лесной генетты (*Genetta pardina*). Это один из шести видов хищных млекопитающих семейства виверровых, куда входят и всем

известные мангусты и сурикаты. Длинное (до 55 см) приземистое и необычайно гибкое тело генетт покрыто короткой, довольно жесткой шерстью. Обитают они в основном в саваннах и тропических лесах Африки, охотятся (главным образом ночью) на мелких зверьков, птиц и поедают их яйца. Повадками генетты напоминают хорьков, легко приручаются. В Африке генетт иногда держат в домах для истребления крыс и мышей. В раннем Средневековье генетты недолгое время были домашними животными, но потом их сменили кошки.

Наблюдая за поведением генетт, зоологи заметили, что детеныши вылизывают материнский рот, и предположили, что через слюну они получают от матери что-то нужное развивающемуся организму¹. Это могли быть какие-то вещества и (или) бактериальная флора, необходимые для полноценного развития. Теперь наблюдения за самками с потомством велись уже прицельно.

Во время процедуры самка сидит, чуть откинув голову и приоткрыв рот, а из его углов обильно стекает вязкая слюна. Начиная с 10–17-дневного возраста детеныш слизывает ее в течение нескольких минут. Особенно часто повторяется сеанс к концу первого месяца жизни, а в 4–5 мес, когда детеныши уже питаются мясной пищей, бывают лишь единичные случаи «насыщения» микрофлорой.

Зоологи исследовали состав флоры в слюне лактирующих и нелактирующих самок и у первых нашли бактерии *Lactobacillus sakei*, сходные с *Bifidobacterium animalis*, а это один из основных видов кишечных симбионтов.

Авторы полагают, что именно через слюну детеныши лесной генетты получают бактерии, столь необходимые при переходе с молочной диеты на питание мясной пищей. Выходит, помимо сумчатых, грызунов и зайцеобразных, передача бактериальной флоры

¹ Рожнов В.В., Петрина Т.Н. // Тезисы IV Всероссийской конференции по поведению животных. С.132–133.

кишечника детенышам существует и у хищников.

© **Белянова Л.П.**,
кандидат химических наук
Москва

Зоология

Лягушка без легких

В отдаленном районе индонезийской провинции Калимантан на о. Борнео найден новый вид лягушки, названный *Barbourula kalimantanensis*. У нее бурая окраска, крупные выпученные глаза, передние и задние ноги снабжены кожистыми перепонками, облегчающими плавание; скользья в толще воды, лягушка расплывается в плоский блин. Но главное, как утверждает один из участников экспедиции, биолог-эволюционист Д. Бикфорд (D. Bickford; Национальный университет Сингапура), это первый известный науке вид лягушки, у которого полностью отсутствуют легкие; правда, у небольшого числа иных земноводных, в том числе у нескольких видов саламандр и безногих амфибий червяк, также нет легких.

Впервые этот редкий вид был замечен 30 лет назад индонезийским коллегой Бикфорда по экспедиции, который с тех пор пытался найти хотя бы еще один экземпляр. Он и не подозревал, что у этой лягушки нет легких, пока не были пойманы и анатомированы восемь особей, — все они оказались безлегочными.

Бикфорд предположил, что этот признак выработался у лягушки как адаптация к суровым условиям: ведь ей приходится обитать в холодной, богатой кислородом воде быстрых горных ручьев. Отсутствие легких уменьшает плавучесть лягушки и снижает гидродинамическое сопротивление, а это помогает ей быстро плавать, избегая сноса вниз по течению. Бикфорд считает, что новый вид лягушки поможет ученым понять, как факторы внешней среды способствовали столь радикальному эволюционному изменению — ведь у наиболее близких к нему видов на Филип-

пинах и у всех прочих лягушек легкие есть.

Авторы открытия отметили необходимость охраны речного местообитания этой лягушки. Между тем за последние годы оно подверглось загрязнению из-за браконьерской вырубки леса и нелегальной золотодобычи: некогда прозрачные воды горных ручьев стали коричневыми и мутными.

Current Biology. 2008. V.18. №9. P.374–375 (Международный журнал).

Морская биология

Хромериды — новый тип простейших

Группа Apicomplexa объединяет одноклеточных паразитов, среди которых наиболее известны споровики из родов *Plasmodium* и *Toxoplasma* — возбудители малярии и токсоплазмоза. В клетках многих апикомплексных простейших находится особая органелла — апикопласт, который в настоящее время трактуется как видоизмененный и утративший фотосинтетические пигменты хлоропласт. Для подтверждения этой гипотезы необходимо было найти фотосинтезирующий организм, близкородственный Apicomplexa. Недавно такая форма была обнаружена в кораллах, собранных в прибрежных водах Австралии и получивших название *Chromera velia*².

Хромеры выделены в новый тип Chromerida, который по молекулярным данным находится в близком родстве с Apicomplexa. В культуре *C. velia* представлена только неподвижными клетками диаметром 5–9.5 мкм, однако наличие внутренних жгутиков предполагает существование в ее жизненном цикле и подвижных стадий. Отличительная особенность хромеры — наличие одного пластида с хлорофиллом *a*. У динофлагеллят — родственной Apicomplexa группы — в хлоропластах содержатся два хлорофилла (*a* и *c*). На этом основании авторы выдвинули гипотезу, согласно которой у предков Apicomplexa сначала ре-

² Moore RB. et al. // Nature. 2008. V. 451. N 21. P.959–963.

дуцировался хлорофилл *c* и только потом исчез хлорофилл *a*. По всей видимости, полная утрата фотосинтеза произошла в результате перехода к хищному образу жизни, который наблюдается в небольшой группе *Aricomplexa* — колподеллид (*Colpodellida*). И лишь затем апикомплексные простейшие стали паразитами. Если использовать традиционное деление всех эукариот на царства животных, растений и грибов, то мы будем вынуждены признать, что *Chromera velia* — это растительный организм, и, следовательно, споровики, наносящие огромный вред человеку, — это потомки некогда безобидных одноклеточных водорослей.

© Чернышев А.В.,
кандидат биологических наук
Владивосток

Экология

Радоновые воды Ленинградской области

На территории Ленинградской обл., по данным И.В.Пелявиной (Санкт-Петербургский университет), можно выделить месторождения радоновых подземных вод двух генетических групп.

В первой группе высокие концентрации радона обусловлены повышенным содержанием радиоактивных элементов в материнских кристаллических породах (к ним в первую очередь относятся кислые изверженные породы). Месторождения такого типа приурочены к Карельскому перешейку. Радоновые воды появляются здесь при циркуляции инфильтрационных вод в трещинной зоне гранитных пород. Значительным концентрациям радона в водах способствуют его высокое содержание в кристаллических породах и их сильная раздробленность в зонах трещиноватости, что повышает коэффициент эманирования пород.

Во второй группе месторождений значительные концентрации радона связаны с непосредственным контактом водоносного горизонта с породами повышенной радиоактивности. Недалеко от

Санкт-Петербурга расположено Лопухинское месторождение — оз.Лопухинка питается родниками с повышенным содержанием радона, источником которого является слой черных диктионемовых сланцев. Обогащение контактирующих водоносных горизонтов радоном происходит в зоне их разгрузки в районе Ладожско-Балтийского уступа.

Концентрация радона в подземных водах подвержена существенным колебаниям. Объясняется это как различным содержанием и разными формами нахождения радиоактивных элементов в горных породах, т. е. разной степенью их обогащенности, так и гидродинамическим режимом, т.е. условиями и темпами миграции воды. При оценке содержания радона важно учитывать величину расхода воды: с увеличением размера водных струй и скорости движения подземных вод их насыщение радоном заметно ухудшается. Вот почему в природных условиях источники с малым дебитом обычно обладают большей активностью, чем источники с большим дебитом. Радиоактивность вод, питающих оз.Лопухинка, неодинакова и зависит от времени года, что можно объяснить сезонным изменением дебита источников. Летом 2006 г. концентрация радона в одних и тех же источниках составляла 90.6 и 80.3 Бк/л, а осенью того же года — соответственно 73.8 и 65.8 Бк/л. Неоднородны и варьируют в широких пределах — от 10 до 130 Бк/л — концентрации радона в водах одного и того же горизонта на территории пос.Комарово. Поскольку время полураспада радона всего 3.8 сут, высокое его содержание встречается лишь на небольшом удалении от места локального обогащения ураном, радием.

В поверхностных водах концентрация радона, как правило, не превышает норм радиационной безопасности (на уровне 60 Бк/л) главным образом потому, что в этих условиях он быстро диффундирует в атмосферу. Например, в водах оз.Лопухинка его содержание составляет всего

21 Бк/л, тогда как в источниках может достигать 90 Бк/л.

В настоящее время наибольшее внимание уделяется той опасности, которую представляет использование подземных вод с повышенным содержанием радона: во многих странах ограничивается использование таких вод, составляются карты радоновой опасности. Как бальнеологические аспекты применения радоновых вод (механизм воздействия, необходимые дозы, совместное действие нескольких бальнеологических компонентов и т.д.), так и геолого-гидрогеологические факторы формирования радоновых месторождений и сохранения их состава остаются пока не до конца выясненными. Автор делает вывод о необходимости дальнейших исследований в этих направлениях.

Фундаментальные проблемы квартала: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. Материалы V Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. Москва, 7–9 ноября 2007 г. С.327–329.

Климатология

Климат Москвы в конце XX века

Интерес к проблемам изменения климата распространяется не только на глобальные пространства, но и на отдельные регионы Земли и даже на локальные местности, какими являются крупные мегаполисы. Как правило, в больших городах располагаются метеорологические станции с достаточно продолжительными рядами наблюдений за погодой, позволяющие рассмотреть ее изменчивость и оценить колебания климата данного города. Москва относится именно к таким городам.

Метеорологическая обсерватория Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова и Метеорологическая станция Тимирязевской сельскохозяйственной академии располагают данными о температуре воздуха и атмосферных осадках за 1879–2001 гг. Эти показатели используются для оценки колебаний климата Москвы. По другим метеоро-

логическим элементам — ветру, влажности, облачности, радиационным показателям и т.д. — ряды наблюдений существенно короче (1961—2001), но также достаточны для создания определенных суждений о климате столицы.

Обзор средних и экстремальных характеристик климата Москвы сделали А.А.Исаев и Б.Г.Шестериков (Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова)¹. Климат Москвы относится к категории умеренно-континентального с умеренно суровой и умеренно снежной зимой (средняя температура воздуха составляет -7.8°C , а высота снежного покрова в конце февраля достигает 40 см) и сравнительно теплым летом (средняя температура 17.3°C). Амплитуда колебаний температуры воздуха между июлем и январем составляет 27° .

Особенности атмосферной циркуляции в Москве указывают на незначительное преобладание антициклонического характера погоды — до 54%. Экстремальные ситуации случаются при арктических антициклонах (устойчивые похолодания), южных циклонах (оттепели, снежные заносы), скандинавских ныряющих циклонах (резкие похолодания), стационарных глубоких циклонах (продолжительные дожди), блокирующих антициклонах (засухи, лесные пожары). Атмосферное давление повышено зимой, понижено летом. Преобладает пасмурная погода, повторяемость которой составляет 71%; повторяемость ясной и полусуровой — соответственно 16 и 13%. В течение года преобладает слоисто-кучевая облачность; зимой наибольшую повторяемость имеют облака нижнего яруса, летом — среднего и верхнего.

По режиму осадков московский регион относится к достаточно увлажненному. Годовая сумма осадков составляет 685 мм. Максимальная месячная норма — 91 мм в июле, минимальная — 35 мм в феврале и марте. Осадки в Москве наблюдаются примерно в половине дней в году. Средняя дата первого

¹ Метеорология и гидрология. 2008. №3. С.27—37.

снега — 6 октября, самая ранняя — 21 сентября, самая поздняя — 13 ноября. Весной последний снег выпадает в среднем 27 апреля, крайние даты — 27 марта и 22 мая. Снежный покров устанавливается в среднем 20 ноября, крайние даты — 23 октября (1973 г.) и 28 декабря (1988 г.).

Средняя скорость ветра — 3 м/с, преобладающее направление — юго-западное. Максимальные скорости ветра до 28 м/с наблюдались при порывах на высоте 12 м.

Радиационный баланс положителен (земная поверхность получает тепла больше, чем отдает) с марта по октябрь. Преобладает рассеянная солнечная радиация. Средняя годовая температура воздуха в Москве составляет $+5.0^{\circ}\text{C}$, что значительно выше условно эффективной температуры для проживания ($+2.0^{\circ}\text{C}$). Абсолютный максимум температуры воздуха $+34.9^{\circ}\text{C}$, абсолютный минимум -33.7°C . Самый теплый год — 1989-й, самый холодный — 1941-й, самый влажный — 2004-й (925 мм осадков), самый сухой — 1920-й (383 мм).

Москва — «остров тепла» вследствие существенного обогрева воздуха из-за хозяйственной деятельности и антропогенного воздействия. Это явление подтверждается ростом наружной температуры от понедельника к выходным дням. Самый холодный день недели — понедельник, самый теплый — пятница. Соответственно в течение недели увеличивается загрязнение окружающей воздушной среды.

В целом в XX в. в Москве обозначилась тенденция к потеплению и увлажнению, особенно в среднем за год и за холодный период года с ноября по март. В летние месяцы изменения температур воздуха не прослеживаются. Увеличение осадков происходило только зимой, а весной и летом — даже небольшое уменьшение. Правда, измерения осадков не вполне точны, и, кроме того, изменялись методы их измерений.

Особенно существенные колебания всех метеорологических элементов происходили в последние годы. Так, повышение температуры воздуха в Москве за 1991—

2000 гг. наблюдалось во все месяцы года, кроме августа и сентября, когда она осталась неизменной. В ноябре — единственном месяце в году — отмечено похолодание от -1.4°C до -2.5°C .

Ориентировочный прогноз московского климата на первую половину XXI в. предполагает тенденцию к дальнейшему повышению среднегодовой температуры воздуха со скоростью 0.24° в десятилетие за счет зимних температур. Летом ожидается незначительное повышение. Первый весенний месяц март обретет положительную температуру. Количество осадков возрастет до 780 мм/год также за счет увеличения в холодный период года — с октября по март; с июля по сентябрь предполагается незначительное уменьшение осадков.

© Померанец К.С.,

кандидат географических наук
Санкт-Петербург

География

Бельгийцы возвращаются в Антарктиду

Спустя 40 лет после закрытия в 1967 г. станции «Король Бодуэн» бельгийцы возвращаются в Антарктиду, знаменуя тем самым свое участие в проведении Международного полярного года².

В сентябре 2007 г. весь комплекс новой южнополярной станции, названной «Принцесса-Элизабет-Антарктика», был проемонстрирован в Брюсселе, проведены ее монтаж и тестирование. Затем, после демонтажа, она должна быть транспортирована к месту своего назначения — на скалистый гребень высотой 1300 м по соседству с вершиной нунатака Утстейнен, в 190 км от побережья Земли Королевы Мод.

По мнению конструкторов станции, она будет первой научной базой с «нулевыми эмиссиями». Архитектурный облик станции, обтянутой неокисляющимся покрытием, создает впечатление летящего космического корабля,

² *Sciences et Avenir*. 2007. №728. P.42.

однако внутри она напоминает хижину охотника. Среди множества строительных материалов наиболее пригодной оказалась древесина — из нее сооружено 80% элементов конструкции здания. Она легко может быть убрана, когда все ресурсы станции будут выработаны.

Девять слоев изолирующих материалов (пенополистирол, графит, фанерные листы, войлок и др.), закладываемые между стальным корпусом и деревянными конструкциями, сокращают потери энергии. Поскольку станция будет необитаемой, за исключением южного лета, ее функционирование обеспечат 22 м² термических солнечных панелей; электроэнергия от них позволит поддерживать температуру внутренних помещений в интервале 18–20°C, а также удовлетворять потребности полярников, работу пищеблока. Энергия, необходимая для функционирования научного оборудования (порядка 45 кВт·ч), будет поступать от восьми или девяти ветроэнергетических установок, использующих постоянные устойчивые ветры в районе станции. Сюда следует добавить 380 м² солнечных панелей на фотоэлементах, размещенных на крыше и наружной поверхности стен. Энергия от этих панелей будет поступать на протяжении трехмесячного непрерывного дня южного лета. Полученная таким образом энергия будет накапливаться в батареях, размещенных в центре станции. Два дизельных генератора предусмотрены на случай аварийных ситуаций.

Питьевую воду предлагается получать изо льда, при этом предусмотрена целая система ее очистки. После использования воду пустят в систему регенерации или инъецируют в расселину. Вывоз твердых отходов будет производиться периодически в связи с доставкой на станцию продовольствия и технических материалов.

С ноября 2008 г. станция «Принцесса-Элизабет-Антарктика» начнет принимать научный персонал — гляциологов, биологов, ме-

теорологов и других специалистов. Она рассчитана на 12 человек, но могут работать и до 20. Обитаемая площадь — 700 м², длина — 22 м, высота — 10 м. Эксплуатация станции рассчитана на 25 лет. Главный организатор и разработчик — бельгийский исследователь А.Убер (A.Hubert). Финансирование работ по ее созданию (12 млн евро) велось из частных фондов.

Официальное открытие станции назначено на февраль 2009 г., к окончанию Международного полярного года.

© **Виноградов В.Н.**
Санкт-Петербург

Палеогеография

На севере Сибири теплая каргинская трансгрессия все-таки была

К наиболее дискуссионным вопросам стратиграфии и палеогеографии севера Сибири во время позднего неоплейстоцена относится вопрос о числе морских трансгрессий. Ревизия радиоуглеродных дат, которые были получены в 1960—1970-е годы по морским каргинским отложениям, дала повод считать, что они существенно омоложены; в действительности отложения имеют более древний возраст, как минимум казанцевский. В результате было высказано мнение, что в низовьях Оби и Енисея, а также на п-ове Таймыр морские отложения каргинского возраста вообще отсутствуют. В связи с дискуссионностью проблемы С.А.Гуськов, Л.К.Левчук (Институт нефтегазовой геологии и геофизики) и Я.В.Кузьмин (Тихоокеанский институт географии ДВО РАН) поставили перед собой задачу — получить прямые хронометрические данные по морским межледниковым отложениям второй половины позднего неоплейстоцена севера Сибири. По ¹⁴C эти осадки имеют нижний возрастной предел около 45—50 млн лет. Ранее в качестве материала для такого датирования использовались растительный детрит и раковины морских моллюсков, но растительный детрит поз-

воляет определять возраст лишь косвенно — он не входит в состав морских отложений. Авторы выбрали в качестве датирующего материала раковины фораминифер, залегающие *in situ* в морских отложениях на севере п-ова Таймыр. В отличие от моллюсков, фораминиферы служат на севере Сибири надежным индикатором возраста отложений.

Исследования велись на двух разрезах морских отложений, содержащих фораминиферы в достаточном для датирования количестве: это обнажения на реках Нижней Таймыре (75° с.ш., 100°04' в.д.) и Каменной (76°28' с.ш., 103°45' в.д.). На Нижней Таймыре ассоциация фораминифер представлена 40 видами и подвидами, численность в образце составляла более 3 тыс. экз. По зоогеографическому типу этот фаунистический комплекс относится к арктобореальному. Во втором обнажении ассоциация фораминифер аналогична по составу и структуре, но отличается меньшим числом видов (29) и численностью (до 2900). По соотношению тепловодной и холодноводной групп этот комплекс можно считать более тепловодным, т.е. бореальным.

Раковины фораминифер для определения их радиоуглеродного возраста по ¹⁴C были датированы методом ускорительной масс-спектрометрии: для первого из обнажений был получен возраст 31 310±410 лет, а для второго — 39 000±1100 лет. Авторы исследования считают, что фораминиферы несомненно имеют каргинский возраст, соответствующий двум теплым фазам — оптимуму малохетского потепления (обнажение на р.Каменной) и началу липовско-новоселовского потепления (обнажение на р.Нижней Таймыре).

Таким образом, подтверждены два пика теплой (относительно современного моря) каргинской трансгрессии.

Фундаментальные проблемы квартала: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. Материалы V Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. Москва, 7–9 ноября 2007 г. С.97–99.

Почувствовать красоту науки...

А.А.Комар,

доктор физико-математических наук
Физический институт им.П.Н.Лебедева РАН
Москва

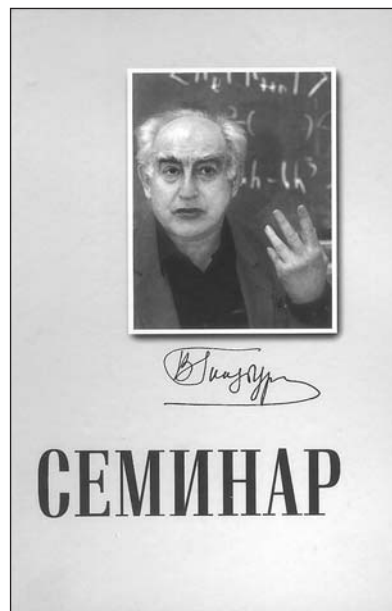
Хотелось бы привлечь внимание читателей «Природы» к книге, вышедшей под скромным названием «Семинар». В ней рассказывается о работе семинара, который с 1956 по 2001 г. вел в Физическом институте им.П.Н.Лебедева РАН (ФИАНе) академик В.Л.Гинзбург.

Конечно, имя Виталия Лазаревича Гинзбурга, лауреата Нобелевской премии по физике 2003 г., человека, хорошо известного в академической среде, не нуждается в дополнительных представлениях для читателей журнала «Природа». Тем не менее остается не совсем понятным, почему мы на страницах журнала обращаем внимание еще на один аспект деятельности В.Л.Гинзбурга, связанный с семинаром. Казалось бы, это обычная составная часть научной работы. Возможно, удивление даже возрастет, когда мы, взявши книгу в руки, узнаем, что большое число (16 человек) солидных и известных людей, в прошлом постоянных участников ныне уже не существующего семинара, объединили свои усилия при написании сборника воспоминаний под названием «Семинар».

Что-то, возможно, проясняет официальное название семинара «Общественный семинар по теоретической физике». То есть семинар формально выходил за рамки Физического института. Но это малая часть дела. Второе обстоятельство, упомянутое в начале заметки:

семинар функционировал непрерывно в течение 45 лет! И это уже заставляет задуматься. Трудно привести пример из истории современной науки, чтобы семинар работал столь долго и столь успешно. Деятельность семинара после долгих колебаний была прекращена его руководителем после завершения последнего юбилейного 1700-го заседания. Руководителю семинара тогда исполнилось 85 лет.

Непосредственный повод написания книги воспоминаний — прекращение работы семинара Гинзбурга. Главная же причина создания сборника воспоминаний — стремление ныне живущих участников семинара рассказать для последующих поколений, каким был этот семинар. А семинар этот был по многим параметрам необычным, заметно отличавшимся от других теоретических семинаров, существовавших за этот длительный период в Москве. И дело не в том, что он был формально общемосковским. В этот период были и другие семинары, и в других институтах с достаточно свободным внешним доступом. Дело в его удивительно свободной, демократической, творческой атмосфере, в которой каждый участник, независимо от ранга, мог участвовать в обсуждении и выяснении научной истины. Именно эта демократичность притягивала к семинару Гинзбурга многих людей из других институтов. И это при сохранении требования самого высоко-



СЕМИНАР: статьи и выступления. Сост.: Б.М.Болотовский, Ю.М.Брук.

М.: Физматлит, 2006. 263 с.

го уровня обсуждений. Возникла некая атмосфера научного единения.

Разные авторы статей в сборнике в слегка различающихся выражениях описывают эту особенную атмосферу семинара. Приведу выдержку из короткой, исключительно выразительной заметки Евгения Львовича Фейнберга (1912—2005), характеризующей семинар: «...Прекрасно выбранный стиль и организация... делали каждое заседание... праздником науки и живой непрерывно работающей мысли».

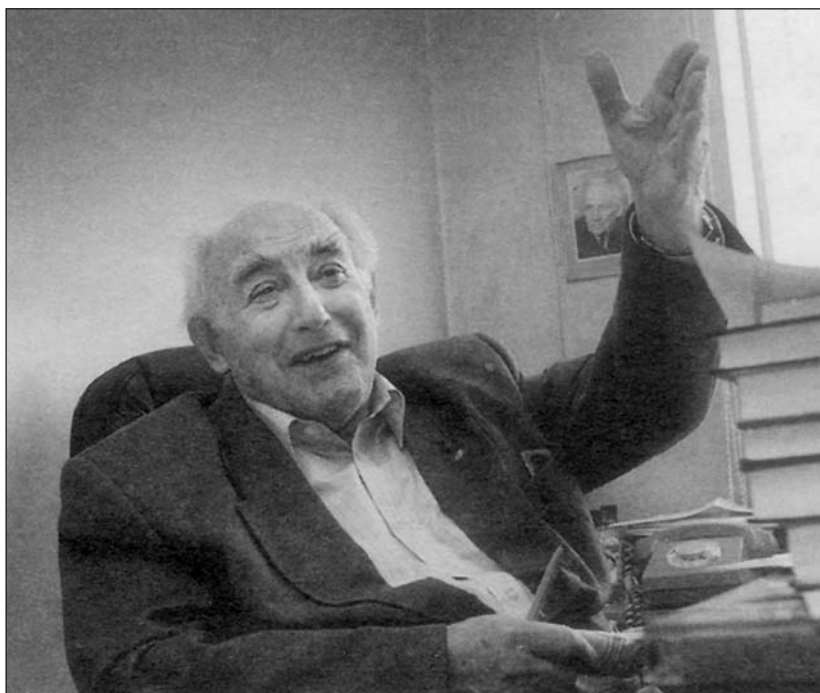
Теперь мы подходим к ответу на основной вопрос, витающий в воздухе: «Что же определяло эту атмосферу на семинаре Гинзбурга?». Ответ практически очевиден: его руководитель. Внутренняя демократичность Гинзбурга, его постоянное стремление к выяснению истины (для себя и, тем самым, для окружающих) путем открытого обсуждения и сопоставления точек зрения, его горячность в спорах и в то же время терпимость, искренняя увлеченность самими последними новостями в физике не могли не привлекать и не притягивать к себе слушателей и участников семинара. По существу в ходе ведения семинара так или иначе происходило раскрытие характерных внутренних черт Виталия Лазаревича.

И еще одна особенность характера Гинзбурга, не упомянутая выше, не могла не поражать как при наблюдении за ним на семинарах, так и при личном общении с ним — это неиссякаемый запас его энергии. То, что в наше время называют энергетикой.

Фейнберг в своей заметке, цитируя А.С.Пушкина,

*«Как мысли черные к тебе придут,
Откупори шампанского бутылку,
Иль перечти “Женитьбу Фигаро”»,*

дает дополнительный совет: или сходи на семинар Гинзбурга. «Активное участие В.Л. (в семинаре), — пишет Фейнберг — само по себе было как пенящаяся бутылка шампанского». Толь-



В.Л.Гинзбург в своем кабинете.

ко при такой энергии можно было 45 лет подряд неутомимо вести семинары. И только при такой твердости и мужестве можно было принять решение прервать работу семинара.

Выше мы постарались ответить на вопрос, что побудило большой коллектив авторов участвовать в написании книги «Семинар». Кто же эти авторы? Большая часть из них — сотрудники ФИАНА, но есть авторы и из других институтов, других городов. Что примечательно — в их числе фигурируют пять (из семи) секретарей семинара: Б.М.Болотовский, А.Г.Молчанов, Е.Г.Максимов, В.С.Бескин, Ю.М.Брук. Эти люди знают о семинаре, о перипетиях его проведения, о докладчиках, выступавших на семинаре, больше, чем кто-либо другой. Обо всем этом они пишут в своих заметках.

Хотелось бы обратить внимание на заметку Болотовского — первого секретаря семинара (первые восемь лет), который подробно рассказывает о первых днях его работы, о том, как постепенно росла численность

его участников и как (через 10 лет) он превратился в семинар с посещаемостью в 100—150 человек. Он же дает детальный анализ тематики проводившихся заседаний с указанием на тенденцию к ее все большему расширению. В соответствии с этой тенденцией росло и число участников семинара. Особенно обращают на себя внимание в заметке Болотовского весьма выразительные описания им отдельных эпизодов из жизни семинара, как серьезных, так и комических, которых немало накопилось за 45 лет. Очень ярко в этих описаниях представлена фигура Виталия Лазаревича Гинзбурга. Читатели «Природы», которые знают блестящий литературный стиль Болотовского (он нередко печатается в журнале), получают истинное наслаждение от чтения этой новой его заметки, которая заканчивается словами: «Что такое красота мужчины или красота женщины — это всякому понятно и не нуждается в объяснении... Красоту науки надо почувствовать. И семинар помогал этому».

Интересна также остро написанная заметка Максимова (третьего секретаря семинара). До поступления в аспирантуру ФИАНа в 1963 г. он довольно тесно соприкасался с представителями научной школы Л.Д.Ландау, бывал на последних заседаниях семинара Ландау (до автокатастрофы) и после — на продолжении семинара с другим руководством. Теперь после длительного пребывания в ФИАНе он имел возможность сопоставить стиль научной жизни в теоретическом отделе ФИАНа и в Институте физических проблем, а также манеру ведения двух семинаров: Гинзбурга и Ландау. Именно это сопоставление он и делает в своей заметке (в присутствии ему достаточно резкой стилистике), отдавая полное предпочтение Гинзбургу.

Другая интересная сторона заметки Максимова — сопоставление им стиля и формата проведения семинаров в западных научных институтах, где он бывал в длительных командировках, и в нашей стране, в первую очередь в ФИАНе. Общий вывод — семинары на Западе носят ознакомительный, формальный

характер. На них полностью отсутствуют обсуждения и творческие дискуссии, хоть скольнибудь напоминающие то, что происходит у нас в стране, и тем более то, что происходило на семинарах Гинзбурга.

В заметке Максимова также даны яркие зарисовки его отдельных разговоров и бесед с Гинзбургом в самых разных обстоятельствах. Поводов для контактов у них было много: совместные поездки за границу, обсуждение проблем, связанных с высокотемпературной сверхпроводимостью, заботы о семинаре и многое другое.

Рассказать о содержании всех остальных заметок в книге «Семинар» в немногих словах сложно и, наверное, не нужно. Выше были отмечены только некоторые из них, которые выделяются по объему и по широте охватываемых тем, чтобы читатель составил себе определенное представление о том, что и в какой манере обсуждается. Всякий, кого эта книга заинтересовала, сможет сам познакомиться и с остальными заметками. Если обрисовать ситуацию схематично, то содержание каж-

дой из них, условно говоря, распадается на две основные части:

1) оценка значимости семинара (каждый раз с учетом его роли в жизни автора);

2) описание впечатлений от личных встреч и разговоров с Гинзбургом.

Но это только схема. За ней остается все различие индивидуальности авторов, их манеры письма, неповторимость в каждом случае их встреч с Виталием Лазаревичем и оттенков восприятия этого неординарного человека. Только чтение заметок может заполнить этот пробел.

Все заметки в совокупности создают коллективный портрет Виталия Лазаревича. Очень важно, что он составлен людьми разных возрастов, разных вкусов, возможно, даже разных научных пристрастий. Тем это ценнее для будущего. Возникает живой портрет человека, в котором будут присутствовать все грани.

Если суммировать сказанное, можно заключить, что книга «Семинар» — это не столько книга о семинаре Гинзбурга, сколько о нем самом. Тем больше оснований рекомендовать ее вниманию читателя. ■

Ихтиология

Р.П.Ходоревская, Г.И.Рубан, Д.С.Павлов. ПОВЕДЕНИЕ, МИГРАЦИИ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ЗАПАСЫ ОСЕТРОВЫХ РЫБ ВОЛГО-КАСПИЙСКОГО БАССЕЙНА. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2007. 242 с.

Катастрофическое снижение численности осетровых рыб в Волго-Каспийском бассейне, где обитают наиболее крупные популяции русского осетра, белуги, севрюги и стерляди, произошло из-за загрязнения вод и строительства гидротехнических сооружений, сокративших миграционные пути и естественное воспроиз-

водство этих рыб. Для разработки мер по восстановлению их численности необходимо знать закономерности поведения осетровых во время миграции и нереста, а также специфику миграционных циклов осетровых, использующих различные стратегии адаптации к меняющимся условиям.

В книге обобщены результаты многолетних экспериментальных и полевых исследований авторов, которые проанализировали изменения поведения осетровых Волго-Каспийского бассейна, выяснили особенности их распределения в Каспийском море, численность, а также оценили состоя-

ние запасов и развитие промысла. Все эти результаты важны не только для сохранения естественного воспроизводства, но и для совершенствования биотехники промышленного осетроводства.

Орнитология. Охрана природы

В.Д.Ильичев, О.Л.Силаева, С.С.Золотарев и др. ЗАЩИТА САМОЛЕТОВ И ДРУГИХ ОБЪЕКТОВ ОТ ПТИЦ. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2007. 320 с.

Это первая книга из будущей серии «Авиационная орни-

тология». В ней обобщен опыт многолетней работы в области авиационной орнитологии и технической экологии Лаборатории экологии и управления поведением птиц ИПЭЭ РАН под руководством профессора В.Д.Ильичева.

Интересно, что первое столкновение с птицей, окончившееся трагедией, было зарегистрировано в Калифорнии в 1912 г. В 1920—1930-е годы с ростом скоростей летательных аппаратов легкие самолеты все чаще сталкивались с орлами, грифами и другими птицами, которые повреждали стекла. Большой раздел посвящен истории вопроса. С появлением современных воздушных судов столкновения с птицами стали серьезной проблемой. Изучение экологии птиц, представляющих наибольшую опасность для самолетов, и детальный анализ всех неприятных ситуаций способствуют созданию новых технических и экологических средств защиты.

Авторы более 30 лет успешно работают над созданием технических средств, отпугивающих птиц. На примере Шереметьево представлены методы эколого-орнитологического мониторинга крупных аэродромов, показан акустический метод анализа голосов птиц. Описаны статистические методы, оценивающие вероятность столкновения самолетов с птицами, а высокий математический уровень расчетов обеспечит надежность прогнозирования.

Гидробиология

В.А.Карпов, Ю.Л.Ковальчук, О.П.Полтаруха, И.Н.Ильин. КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ЗАЩИТЕ ОТ МОРСКОГО ОБРАСТАНИЯ И КОРРОЗИИ. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2007. 156 с.

Среди проблем оптимального природопользования в

Мировом океане одна из важнейших — управление процессами обрастания и коррозии.

Уже многие тысячелетия огромное значение для успешного мореплавания имеет обрастание судов. В XX в. все большее значение стало приобретать обрастание фиксированных сооружений: платформ, причалов, эстакад, буев, установок марикультуры, аппаратуры. Обрастание тесно связано с коррозией материалов, многократно увеличивая степень их повреждения. Исключительно важны способы защиты и борьбы с ними в морской воде. Над этим работают сеть климатических испытательных станций и морские станции РАН.

Книга стала первым опытом обобщения результатов отечественных работ и литературных данных с целью формирования комплексного и системного подхода к разработке, исследованиям, испытаниям и прогнозированию эффективности средств защиты от морского обрастания и коррозии с учетом экологических требований к ним, с целью создания соответствующей теоретической и практически обоснованной системы. Многие вопросы, затронутые в ней, нуждаются в дальнейшей разработке, поэтому авторы с признательностью ждут критических замечаний.

Прогнозирование эффективности лакокрасочных покрытий с помощью моделей кинетики выхода биоцидов рассмотрено на примере Баренцева, Южно-Китайского и Черного морей. Показаны пути разработки и описаны математические модели возможных систем защиты от морской коррозии и обрастания на основе лакокрасочных материалов.

Книга представляет интерес для специалистов в области морского обрастания, коррозии, биоповреждений, инже-

нерной экологии, математического моделирования.

Палеогеография

В.В.Добровольский. ГИПЕРГЕНЕЗ И КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ: Избранные труды. Т.1. Под ред. Н.С.Касимова. М.: Научный мир, 2007. 512 с.

Кора выветривания и многочисленные другие гипергенные образования в равной степени относятся к сфере интересов географии, почвоведения и геохимии, что существенно затрудняет выяснение достаточно сложной общей картины гипергенного преобразования минерального вещества. К середине XX в. стали выделяться труды В.В.Добровольского, который, будучи геохимиком-ландшафтоведом и почвоведом-географом одновременно, к тому времени уже обладал опытом изучения геохимии почв и ландшафтов в различных природно-географических условиях, как геохимик-геолог — не менее значительным опытом изучения минералогии и геохимии зон гипергенеза рудных месторождений и их вторичных ореолов рассеяния. Опираясь на практику своих разносторонних исследований, он предпринял и осуществил сравнительное изучение вещественного состава коры выветривания разного возраста и особенно детально — проявлений гипергенеза четвертичного периода в широком диапазоне природно-зональных условий. На основе полученного фактического материала Добровольский обосновал теоретические представления о гипергенезе, выявил связи между особенностями состава и микроморфологии гипергенных образований, с одной стороны, и ландшафтно-геохимическими условиями их формирования, с другой, установил характерные черты гео-

химии красноцветных продуктов выветривания и предложил оригинальную гипотезу их генезиса, разработал методологию изучения проявлений гипергенеза.

Его труды давно стали библиографической редкостью. В то же время разработанные им теоретические основы учения о гипергенезе как общепланетарном процессе преобразования минерального вещества на поверхности Земли, методические подходы и приемы изучения его проявлений, а также не утерявший своей научной ценности фактический материал весьма актуальны сегодня в связи с комплексными исследованиями развития окружающей среды.

В книгу вошли три монографии Добровольского: «Гипергенез четвертичного периода» (1966), «География и палеогеография кор выветривания СССР» (1969), «Гипергенные образования Восточной Африки» (1974), а также три более поздние статьи, дополняющие теоретические построения автора.

Работы публикуются без существенного изменения текста и расположены в хронологическом порядке.

Краеведение

Г.Д.Бурков. ЛИСТАЯ СТАРЫЕ АЛЬБОМЫ (Жизнь, отданная морю). М.: МОСПОЛ, 2008. 316 с. (Из сер. «Полярная библиотека».)

Научно-исследовательский институт Арктики и Антарктики возрождает существовавшую еще до Великой Отечественной войны легендарную серию книг «Полярная библиотека», издававшихся Всесоюзным арктическим институтом.

Издание новых книг этой серии знаменует начало Международного полярного года 2007—2008. Цель — рассказать о том вкладе, который внесли в изучение края российские

ученые. Именно они — полярники, исследователи, моряки, летчики, люди самых разнообразных профессий и, конечно же, писатели и журналисты — станут авторами книг-воспоминаний и документальных хроник, которые войдут в план серии, иллюстрировать которую будут работы известных фотографов и фотокорреспондентов, посвятивших свое творчество Арктике и Антарктике.

Мотивом к написанию этой книги стало желание автора — капитана дальнего плавания, Почетного полярника, активного участника освоения Северного морского пути Германа Дмитриевича Буркова — сохранить на бумаге не только память о навсегда утраченных природных богатствах Севера, о своих предках, о себе, но и передать последующим поколениям интерес к истории родного края, а тем самым и к истории страны, рассказать о людях, работавших здесь в разные, порой непростые времена. Он пишет об истории Поморья, жителях поморской деревни Патракеевка — рыбаках, судостроителях, мореходах, традиции которых уходят в глубь веков.

В книге использованы фотографии из личного архива автора.

История психиатрии

И.Сироткина. КЛАССИКИ И ПСИХИАТРЫ. ПСИХИАТРИЯ В РОССИЙСКОЙ КУЛЬТУРЕ КОНЦА XIX—НАЧАЛА XX века. Пер. с англ. автора. М.: Новое литературное обозрение, 2008. 272 с.

Эта талантливо написанная книга, на презентацию которой были приглашены сотрудники журнала «Природа», заинтересует достаточно широкий круг читателей. В ней идет речь о роли патографий — жизнеописаний знаменитых писателей, написанных не менее зна-

менитыми психиатрами (правда, более в медицинской среде). Поскольку в русской культуре писатель всегда был рупором общества и символом времени, властителем дум и чайный читающей публики, он становился заочным пациентом, героем или антигероем патографий. При этом приписываемые ему реальные или мнимые душевные болезни со временем видоизменялись, но и в одни и те же годы диагнозы, поставленные разными психиатрами, были совершенно различными.

Среди великих русских писателей, патографий которых касается автор, — Н.В.Гоголь, Ф.М.Достоевский, Л.Н.Толстой и даже А.С.Пушкин, которого большинство врачей считали образцом душевного здоровья. Но еще более ценно, что в этом серьезном исследовании идеи о душевной болезни и душевном здоровье, таланте и гениальности помещены в контекст бурной общественно-политической жизни России на рубеже позапрошлого и прошлого веков. Будучи филологом и историком, автор проделала огромную работу, перелопатив множество медицинских источников на разных языках мира. (Кстати, книга в 2002 г. вышла на английском в США, где И.Сироткина работала несколько лет.)

В книге вырисовывается картина развития психиатрии в России и вывод, что патография служит прежде всего популяризации психиатрии. Автор обеспокоена тем, что, несмотря на критику, патографии продолжают существовать и пользоваться популярностью, особенно после отмены всяческих табу. Однако после их чтения остается тягостный осадок. Английский вариант книги получил приз Ассоциации современных языков за лучшую работу в области славянских языков и литературы в 2001—2002 гг.

Институт на Аптекарском острове

А.П.Голиков,
кандидат биологических наук
Институт экспериментальной медицины РАН
Санкт-Петербург

История создания первого в стране медико-биологического центра — Императорского Института экспериментальной медицины — восходит к Петербургской Пастеровской станции, открытой при лазарете лейб-гвардии Конного полка в 1886 г. на личные средства командующего гвардейским корпусом принца Александра Петровича Ольденбургского (1844—1932). На станции кроме изучения бешенства велись исследования других заразных болезней, что потребовало расширения работ. Принц, проявивший интерес к работам Л.Пастера и знавший его лично, выступил инициатором создания института.

На планах 1703—1705 гг., хранящихся в Музее истории города, территория Аптекарского острова, занимаемая ныне Институтом экспериментальной медицины РАН, покрыта лесом. Современным названием остров обязан аптекарским огородам Главной аптеки, которые на нем устроили по указанию Петра I (1713). В отличие от соседнего — Каменного, Аптекарский никогда не находился во владении частных лиц. Петр I разрешил селиться на острове только служителям и работным людям Медицинской канцелярии. В 1727—1732 гг. остров был местом царской охоты, куда новгородские и псковские мужики в порядке особого натурального налога доставляли живых зайцев. Правительственное

распоряжение 1767 г. подтверждает запрещение производить здесь какие-либо постройки, и остров отводится под выгон скота обывателей Петроградской стороны. Каменноостровский проспект тех лет — это далеко не прямая магистраль, как ныне, а в конце XVIII в. еще только приблизительно намечалось направление будущего проспекта. Он проходил между небольших мазанковых домов, окруженных огородами и садами. В 1831 г. решено было выпрямить проспект и замостить в связи с частыми поездками Николая I на Елагин остров. Проспекту название Каменноостровский дали в 1867 г. В первой половине XIX в. «дачная лихорадка» не миновала и Аптекарский остров [1]. На нем было построено множество летних дачных резиденций, о чем, например, свидетельствует старое название — Лопухинская улица, а также различные увеселительные постройки: Зимние горы, кафешантан, «Вилла Монплеzir», размещавшиеся на территории Лопухинского сада.

Из архивных документов следует, что к 1826 г. на месте будущего института находились два участка, одним владела графиня Воронцова, другим — князь Гагарин. К 1849 г. первый участок отошел к графу Воронцову-Дашкову, а второй к графу Нессельроде. В том же году архитектор А.Ланге спроектировал и построил деревянный особняк для Воронцова-Дашкова (впоследствии в нем была столовая ИИЭМ). Через девять



Принц А.П.Ольденбургский.

лет на первом участке, перешедшем к жене купца Кудрявцева, произвели ремонт существующих зданий, построили новые, а также благоустроили и укрепили берега. К 1857 г. второй участок перешел во владение семьи почетного гражданина С.Голенищева, у которого его купила О.Михальцева, жена статского советника. По проекту архитектора А.Бруни в 1865 г. здесь появилась оранжерея и деревянный двухэтажный дом. Особняк Михальцевой — типичная постройка первой половины XIX в. — становится главным зданием института. Привлеченный к строительству институтских зданий архитектор Ф.Л.Миллер за год до его открытия разобрал ветхие пристройки к зданию и достроил его одновременно с домом директора. Центральная часть главного фасада деревянного двухэтажного



Здание физиологической лаборатории ИИЭМ. 1890-е годы.

особняка привлекала внимание арочными окнами и пилястрами. В первые годы в вестибюле здания на большом кронштейне у стены был установлен бронзовый бюст Пастера. В небольшой аудитории, устроенной по принципу амфитеатра, обсуждали результаты исследований. За ней находились комнаты Отдела физиологии. В следующем зале изучались «повальные» болезни животных (Отдел эпизоотологии). Рельсы, проложенные здесь по полу помещения, вели во двор к вивариям, из которых животных перевозили в вагончиках. Рядом с Отделом эпизоотологии располагался Отдел физиологической химии. На втором этаже размещался террариум с земноводными, растениями, а также кабинеты для ученых.

Принц Ольденбургский приглашал в институт людей, которые зарекомендовали себя как специалисты. Одним из них был Э.А.Ганнекен (1853—1913), построивший водопроводную башню, медицинский склад и мастерские. Главное — деревянное двухэтажное здание — было приспособлено для исследовательской работы. На втором этаже каменной пристрой-

ки находился кабинет попечителя — принца Ольденбургского. Сейчас это мемориальный кабинет академика И.П.Павлова.

В 1894—1895 гг. к двухэтажному каменному флигелю главного здания архитектором Миллером был пристроен точно такой же флигель за счет 10 тыс. руб., переданных А.Нобелем на «нужды института». В итоге получившийся двухэтажный кирпичный корпус был передан Отделу физиологии. На 2-м этаже устроили операционную и клинику для собак. Благодаря прекрасным условиям животные стали выживать после полостных операций, и Павлов смог завершить свои исследования механизмов пищеварительной деятельности, за которые его наградили Нобелевской премией в 1904 г.

В 1913 г. около здания Отдела физиологии архитектор А.А.Полещук с учетом пожеланий Павлова спроектировал и построил трехэтажное здание — так называемую «Башню молчания». Она имела восемь специальных звукозаглушенных помещений — камер — для изучения условных и безусловных слюнных рефлексов у собак. Для ознакомления с конст-

руктивными особенностями звукозаглушенных помещений Павлов командировал своего ассистента Е.А.Ганике в Голландию. Здание возвели за счет 50 тыс. руб., выделенных московским Обществом им.Х.С.Леденцова. Оно соединено с каменным корпусом переходом на уровне 2-го этажа. На 1-м и на 3-м этажах устроили по четыре звукозаглушенных камеры. Образцом для постройки башни был лабораторный корпус Голландского физиологического института, который обследовал Ганике. По просьбе Павлова английский физиолог А.Бенедикт прислал описание этого корпуса и его чертежи, которые использовали при проектировании башни.

В 1892 г. для Отдела физиологической химии Миллер выстроил почти рядом с главным зданием лабораторный корпус за счет 200 тыс. руб., пожертвованных банкирами Л.И.Бродским, Г.О.Гинзбургом, А.Заком и И.Вавельбергом. Часть денег из этой суммы ушла на приобретение второго земельного участка. В холле 1-го этажа находятся бронзовые бюсты М.В.Ненцкого и барельеф Н.О.Зибера-Шумовой (скульптор А.Оссовский, 1903), которая после смерти Ненцкого в 1901 г. возглавила отдел.

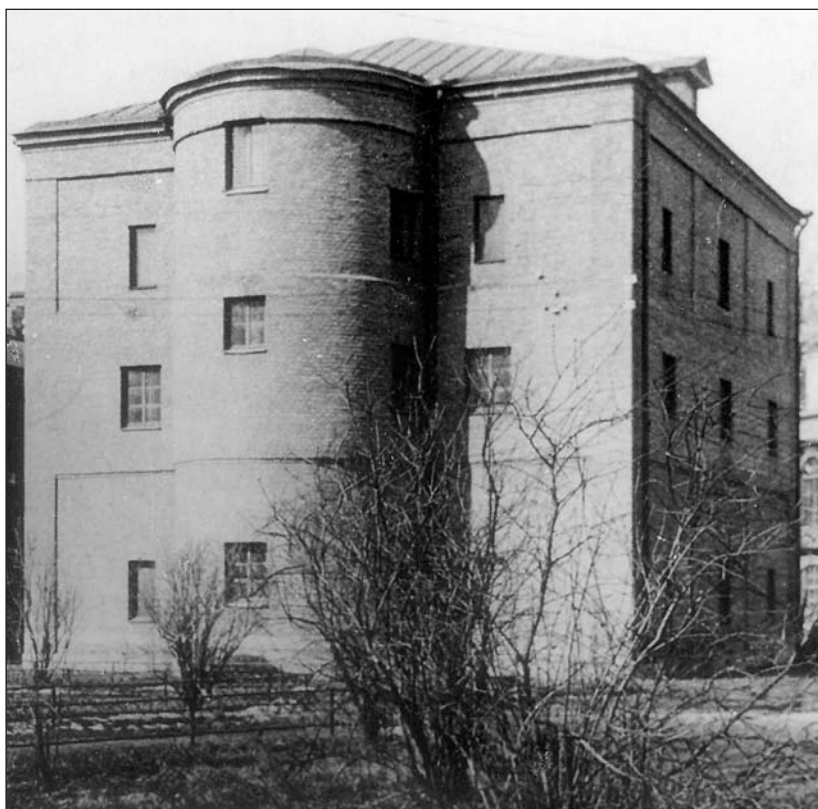
Миллер недалеко от водонапорной башни института возвел в 1896—1897 гг. кирпичное трехэтажное здание на высоких подвалах для Отдела общей патологии на средства, полученные благодаря ходатайству принца Ольденбургского из специальных средств Комиссии по чрезвычайным ситуациям.

Научную библиотеку института основали в 1891 г. Ее комплектовал доктор медицины и секретарь Совета ИИЭМ В.Г.Ушаков, известный рабиолог — специалист по борьбе с бешенством. Началом ее фонда послужили 500 томов книг, подаренных принцем Ольденбургским из своей библиотеки, а также книги из библиотек Пастеровской станции, Чумного фор-

та и личных библиотек И.П.Павлова, В.В.Подвысоцкого и др. Главную ценность библиотеки составляют: коллекция уникальных изданий XVI—XVIII вв. (самая старая книга издана в 1551 г.; тибетские, китайские, персидские старинные книги, пять писем Пастера); собрание диссертаций ИВМА и российских и иностранных университетов; собрание справочно-библиографических и информационных изданий; книжный и журнальный фонды, насчитывающие около 500 тыс. единиц хранения.

Первоначально библиотека размещалась в одной из аудиторий Главного здания. В 1910 г. директор ИИЭМ Подвысоцкий получил от действительного члена института С.Н.Виноградского пожертвование в размере 40 тыс. руб. на постройку здания библиотеки. Летом 1911 г. начали его постройку с фасадом на Лопухинскую улицу, а входной стороной — в парк института. Проект здания выполнил придворный архитектор Г.И.Люцедарский, который в начале XX в. произвел реконструкцию форта «Император Александр I» под Особую лабораторию ИИЭМ. Он осуществлял архитектурный надзор за постройкой здания библиотеки. Его закончили летом 1913 г. Для украшения входа Подвысоцкий перевез из Дрездена майоликовый портал, украшавший вход в русский павильон Гигиенической выставки (открытой в 1911 г.), испросив разрешения использовать его для библиотеки ИИЭМ. Портал представляет собой прекрасный образец керамического декора, выдержанного в лучших традициях древнерусского искусства.

Россия первой из иностранных государств отозвалась на призыв принять участие в гигиенической выставке и построить свой собственный павильон. Правительственным Комиссаром был назначен Подвысоцкий, который поручил составление проекта павильона страны академику архитектуры



«Башня молчания». 1913 г. Архитектор А.А.Полещук.

В.А.Покровскому. Двухэтажный павильон был выдержан в древнерусском стиле по мотивам московского Кремля. Он имел в нижнем этаже два входа. Этот портал, как и парящие над ним два ангела с российским гербом, художественно исполненные из майолики петербургской фирмой Гельдвейн—Ваулин, были посланы в отдельные частях в Дрезден, где их собрали, а затем через почти два года привезли в Санкт-Петербург. Двери главного входа были выложены кованым из железа посеребренным орнаментом работы московской фирмы Кошкина. Посреди павильона возвышалась величественная статуя «Россия» работы скульптора Ю.Н.Свирской. Она увеличена по модели автора в мастерской дрезденского придворного скульптора К.Роха до 5 м высоты.

Майолику выполнили в мастерской керамиста П.К.Ваулина,

который открыл на станции Кикерино под Гатчиной художественно-керамические мастерские в 1906 г. С того времени их адрес стал хорошо известен крупнейшим художникам и архитекторам того времени. К сожалению, майолика библиотеки сохранилась не полностью: в 1920-е годы были сняты изображения двуглавого орла и двух архангелов над входом, сбиты две мраморные доски, установленные при освящении нового здания в день празднования 300-летия дома Романовых. Над окнами фасада, выходящего на улицу академика Павлова, имелись таблички с фамилиями ученых, прославившихся в области медицины и биологии. Научная библиотека ИИЭМ в 1920-х была методическим центром медицинских библиотек Ленинграда. Во время войны ее здание превратили в дот — окна читального зала заложили кирпичом, и они служили бойницами.



Архитектор и скульптор
И.Ф.Безпалов.

Главная магистраль Петербургской стороны — Каменноостровский проспект — по праву считается архитектурной энциклопедией XX в. Его нарядный, представительный облик определяют не только хорошо известные здания в стиле модерн, но в не меньшей степени постройки 1930—1970 гг. Здесь можно увидеть образцы советского зодчества всех периодов и, бесспорно, один из лучших — дом 69—71, сооруженный для работников ВИЭМ в 1936—1937 гг., превосходно гармонирует с соседними строениями. Автор шестизэтажного монументального и в то же время мягкого по пластике здания — известный еще в начале века зодчий, художник и архитектор Н.Е.Лансере (1879—1942).

Сегодня стало расхожим негативное отношение ко всему, созданному в 1930-е, но при этом забывают, что именно к той поре относятся высшие творческие достижения художников М.В.Нестерова и К.С.Петрова-Водкина, зодчих А.В.Щусева и В.А.Щуко. К этой плеяде принадлежал и Лансере, брат известного живописца и графика, создавший в начале XX в. немало прекрасных произведений. Фасад жилого дома института строг, благороден и выра-

зителен. Выступающие боковые части, лоджии, эркеры, русты, гранитная облицовка, скульптурный декор. Творческая активность, неиссякаемый оптимизм всегда отличали Лансере. В 1938 г. выдающийся мастер был вырван из творческой жизни. Его арестовали по вымышленному поводу, и его жизнь оборвалась в саратовской тюрьме в мае 1942 г.

Особого упоминания заслуживает Иннокентий Федорович Безпалов (1877—1958) — архитектор, скульптор, художник, изобретатель. В истории архитектуры ему уделено незаслуженно мало внимания. В работах по истории ИЭМ АМН СССР и Физиологического института им.И.П.Павлова РАН его фамилия обычно лишь упоминается как проектировщика научного городка в Колтушах, автора бюстов на аллее ученых, а также знаменитого памятника собаке и фонтана со змеями в парке ИЭМ.

В 1927 г. встал вопрос о строительстве в Колтушах специального лабораторного корпуса с встроенными звукопроницаемыми камерами, подобными тем, что существовали в «Башне молчания» ГИЭМ. Проектирование поручили Безпалову, который имел репутацию опытного архитектора, был известен городским властям и к тому же он был знаком с Павловым еще с дореволюционных времен. В процессе работы он неоднократно консультировался с Иваном Петровичем и Ганике. Можно предположить, что при встречах Безпалова с Павловым в разговоре невольно затрагивались и другие темы: касающиеся живописи, к которой ученый питал большой интерес; свободы мысли, необходимой ученым, изобретателям, словом, всем людям творческого труда; государственного устройства.

В 1928 г. Безпалов закончил проект Биологической станции в Колтушах, который был одобрен Павловым. Строительство полностью завершилось лишь

в начале 1933 г. Вполне возможно, что одной из причин такого «долгостроя» был арест Безпалова.

Никакой контрреволюционной организации в действительности не существовало, но многие факты из биографии Безпалова (сын владельца золотых приисков, имел царские награды и т.д.) автоматически делали из него вредителя. И.Ф.Безпалов вместе с Б.К.Рерихом и Н.Е.Лансере находились в заключении во Внутренней тюрьме ОГПУ на Шпалерной ул., 25 и работали в Особом конструкторско-техническом бюро №12. Волею судьбы Безпалову пришлось разрабатывать инженерное решение «Большого дома». Так в народе сразу же окрестили здание ОГПУ на Литейном, 4.

Статус Всесоюзного научно-го центра, напрямую подчиненного правительству, был придан бывшему ИИЭМ декретом СНК СССР от 15.10.1932 г. Идея создания специального института для «всестороннего изучения человека» исходила от М.Горького и получила поддержку Сталина. Почуввав открывающиеся колоссальные возможности, директор ВИЭМ Л.Н.Федоров сумел убедить Горького, что лучше всего реализовать ее на базе руководимого им учреждения, ссылаясь, разумеется, и на авторитет Павлова. Предполагалось, что ВИЭМ совершит революцию в медицине, и потому на его реорганизацию, строительство новых корпусов, закупку новейшего оборудования были отпущены огромные средства.

Проектирование новых зданий ВИЭМ в Ленинграде было поручено Рериху, а проект застройки Колтушей Безпалову, поскольку тот уже имел положительный опыт сотрудничества с Павловым. В Колтуши архитектора возили под вооруженным конвоем. В мае 1933 г. разработанный Безпаловым проект застройки был утвержден комиссией в составе самого И.П.Павлова и его сотрудников: В.В.Рикмана, С.Н.Выржиковского, Н.А.Подко-

паева и др. Павлов поручил создать бюсты Р.Декарта, Г.Менделя, и И.М.Сеченова, которые предназначались для установки перед зданием лаборатории в Колтушах. А для аллеи ученых в парке ЛФ ВИЭМ сделали бюсты Ч.Дарвина, И.М.Сеченова, Р.Декарта, Г.Менделя и Д.И.Менделеева. Когда Безпалов выразил желание лепить бюст самого Павлова, тот, несмотря на занятость, охотно согласился позировать. Его бюст стал шестым на аллее ученых ЛФ ВИЭМ.

Еще одно ответственное поручение, данное Иннокентию Федоровичу, заключалось в создании памятника «Павловской собаке», который, по мысли Павлова, должен был напоминать ученым об их долге перед подопытными животными. Ученый подробно изложил идею памятника, и Безпалов представил два варианта эскизных проектов. На одном из них Павлов написал: «Предпочитаю этот

проект. Относительно деталей сговоримся с Иннокентием Федоровичем». Со временем памятник собаке получил всемирную известность, но имя его автора известно далеко не всем.

Последняя встреча Безпалова с Павловым состоялась 21 февраля 1936 г. в Колтушах. Подробно описывая последний рабочий день академика, его сотрудник А.А.Линдберг, перечисляя всех, с кем ученый общался в этот день в Колтушах, почему-то опустил две фамилии: Безпалова, который сопровождал Павлова в обезьянник, и П.К.Денисова, который демонстрировал там Рафаэля и Розу. Над Линдбергом довлел страх: ведь оба были «клиентами» ОГПУ — как бы чего не вышло, поэтому и промолчал!

Уже после смерти академика Безпалов написал маслом большой портрет ученого, который находится в Институте физиологии им.И.П.Павлова РАН (наб. Ма-

карова, б). Ему же принадлежит проект памятника, установленного на Волковом кладбище на могиле Павлова.

Есть в парке института еще один бюст. Он установлен перед входом в здание Отдела общей патологии. Это бюст профессора Е.С.Лондона, работы скульптора М.Г.Манизера (1938).

На долю России выпала честь открытия у себя первого в свете по времени основания учреждения, охватывающего все отрасли научно-медицинской работы. Подобного рода учреждения существуют и в Европе, но они преследуют либо специальные цели, как например, Пастеровский институт в Париже, либо ограничивают круг своей деятельности тесными рамками учебного пособия, предназначенного для слушателей учебных заведений», — так сообщал в 1891 г. журнал «Всемирная иллюстрация» об открытии ИИЭМ. ■

Литература

1. Платунов А.М. Городские наименования Санкт-Петербурга. Кр. топонимический справочник. СПб., 1992.
2. Витязева В.А. Невские острова. Л., 1986.
3. Пушкарев И.И. Николаевский Петербург. СПб., 2000; Засосов Д.А., Пызин В.И. Из жизни Петербурга. СПб., 1999.
4. Хроника // Врач. 1890.
5. Николаева Т.И. Медицинские научные центры Петербурга // Памятники истории и культуры Петербурга. СПб., 1994.
6. Кириков Б.М., Штиглиц М.С. Петербург немецких архитекторов. СПб., 2002.
7. Штиглиц М.С. Модерн в промышленной архитектуре Петербурга // 100 лет петербургскому модерну. СПб., 2000.
8. Каталог русского отдела на Международной выставке гигиены в Дрездене в 1911 г.
9. Синягин Н.К. Историческая записка об открытии в 1906 г. при ИИЭМ практического клинического отделения «Клиника кожных болезней» // АБН. 1908.
10. Голь Н.М. Первоначальствующие лица. 2001.

Правила для авторов

Журнал «Природа» публикует работы по всем разделам естествознания: результаты оригинальных экспериментальных исследований; проблемные и обзорные статьи; научные сообщения и краткие рефераты наиболее примечательных статей из научных журналов мира; рецензии; персоналии; материалы и документы по истории естественных наук. Поскольку статьи адресуются неспециалистам, желающим знать, что происходит в смежных областях науки, суть проблемы необходимо излагать ясно и просто, избегая узкопрофессиональных терминов и математически сложных выражений. Авторами могут быть специалисты, работающие в том направлении, тема которого раскрывается в статье. Без предварительной апробации научным сообществом статьи не принимаются, а принятые к публикации в «Природе» рецензируют-

ся и проходят редакционную подготовку.

Допустимый объем статьи — до 30 тыс. знаков (с пробелами). В редакцию статьи можно прислать по электронной почте прикрепленными файлами или на любом из следующих носителей: компакт-дисках CD-R или CD-RW; дисках DVD+R или DVD+RW; дисках Zip 100 Mb; на устройствах, поддерживающих USB. Для сжатых файлов необходимо представить свой архиватор. Самораспаковывающиеся архивированные файлы не принимаются.

Текст статьи, внутри которого библиографические ссылки нумеруются по мере цитирования, аннотация (на русском и английском языках), таблицы, список литературы и подписи к иллюстрациям оформляются одним файлом в формате MS с расширением doc, txt или rtf. Иллюстрации присылаются отдельными файлами. Если пере-

сылаемый материал велик по объему, следует архивировать его в формат ZIP или RAR.

Принимаются растровые изображения в форматах: EPS или TIFF — без LZW-компрессии. Цветные и полутоновые изображения должны иметь разрешение не ниже 300 dpi, черно-белые (B/W, Bitmap) — не менее 800 dpi. Принимаются векторные изображения в формате COREL DRAW CDR (версии 9.0—11.0) и Adobe Illustrator EPS (версий 5.0—8.0).

Редакция высылает автору статью для согласования только в виде корректуры. Все авторские исправления необходимо выделять цветом, курсивом, полужирным шрифтом и т.д. и не трогать формулы и специальные символы (греческие буквы, математические знаки и т.п.), в которых ошибки не допущены.

Поступление статьи в редакцию подтверждает полное согласие автора с правилами журнала.

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
С.В.ЧУДОВ

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
В.А.ЕРМОЛАЕВА
М.В.КУТКИНА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:
Российская академия наук,
президиум
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119049,
Москва, Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-24-56
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 07.08.2008
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 503
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6