



УДК 538.945

Статья

Сергей Леонидович Круглов Физик — Человек — Учитель

Д. И. Шутова^{1*}

1 ул. Марии Ульяновой, 16-105, 119331, Москва, Россия

* e-mail: shutovadi@mail.ru

Поступила в редакцию 11.09.2024, после переработки 11.10.2024, принята к публикации 12.10.2024.

Статья посвящена памяти Круглова Сергея Леонидовича, ведущего научного сотрудника отдела сверхпроводимости и криогенных устройств Курчатовского института, доктора технических наук, члена-корреспондента АЭН РФ, доцента МИФИ, преподавателя Курчатовской школы, ветерана атомной промышленности.

Ключевые слова: Круглов С.Л.; Курчатовский институт; история физики.

DOI: 10.62539/2949-5644-2024-0-3-4-14

1. Введение

1.1. Мгновение первое

«...Вот так, вот так! Мы построим токамак!» — весело неслись из радиоприемника слова шуточной песни студенческого капустника. 1971 г. Весна. Студент 1 курса МИФИ Сережа Круглов, поднял голову от ватмана, над которым трудился уже битый час, стараясь построить верную проекцию игольчатого клапана, отвлекся от работы и пробормотал вслух: «Токамак?.. Хм.. Что такое токамак?»

1.2. Мгновение второе

Лето 2001 года. Третий этаж длинного прямоугольного здания Курчатовского института атомной энергии, которое под сенью высоких елок почти вплотную прижалось к знаменитому реактору Ф1, в котором Игорь Васильевич Курчатов впервые на континенте Европы и Азии осуществил цепную реакцию деления ядер урана. Большая, порядком захламленная приборами и книжными шкапами комната. Рабочие столы, на которых студенты собирают экспериментальные вставки для предстоящих опытов. По стенам репродукции картин Третьяковки и еще, почему-то, портрет Саддама Хусейна. Пахнет молотым кофе, пылью, и немного флюсом от паяльников.

Начальник лаборатории, сидя за столом, неторопливо листает справочник Малкова, уверяет что-то в отчете. Молодой инженер лет 25-ти в огромных наушниках штрихует деталь будущего криостата на черном экране компьютера. За спиной чертежника письменный стол, заставленный кипами научных статей, справочников, черновиков. Они громоздятся на добрых полметра в высоту, нарушая законы гравитации.

Между кипами с завидной ловкостью разворачивает большие куски миллиметровой бумаги с графиками самописцев кандидат технических наук Сергей Круглов — опытный экспериментатор, любимец дипломников, научный сотрудник отдела сверхпроводящих магнитных систем и криогенных установок. Высокий, широкоплечий теннисист. Клетчатая рубашка с коротким рукавом. Рано поредевшая шевелюра, очки в толстой роговой оправе, мальчишеская робкая улыбка и неизменно доброе выражение серых глаз.

Извечный приемник на подоконнике тихо бубнит. Сергей Леонидович заваривает кофе. Как он любит. Черный. С лимоном из баночки. Делает погромче. Радиоведущий бравадно призывает радиослушателей позвонить в эфир и рассказать личную историю о том, как радио «Маяк» изменило их жизнь. Круглов улыбается, подходит к столу нач. лаба. Телефон стоит там. Сверяясь с бумажкой, набирает телефон, продиктованный радиоведущим. И с улыбкой рассказывает о том, как в далеком 1971-м году услышал по «Маяку» непонятное слово «токамак», и вот, вуаля. Прошло 30 лет. Он физик, старший научный сотрудник, специалист по сверхпроводящим магнитам (в том числе для термоядерного синтеза). Удивительные, все же, совпадения бывают в жизни. Стоит ли говорить, что первый приз «Маяка» — часы с будильником — достались именно Сергею.

1.3. Мгновение третье

Поздняя осень 2013 г. Темнеет рано. На улице легкий мороз. Корпуса МИФИ светятся всеми окнами. Стальная рука на проходной института все так же крепко держит под уздцы коня с глазами-атомами.

В одной из аудиторий главного корпуса идет защита докторской диссертации. Соискатель — степенный ученый, ведущий научный сотрудник Курчатовского института Круглов Сергей Леонидович. Лауреат многочисленных премий. Автор более чем 70 трудов. Доцент МИФИ. Ветеран атомной энергетики и промышленности. Тема диссертации — «Стабильность низкотемпературных сверхпроводниковых магнитов и разработка методов ее повышения». Защита проходит блестяще. У совета нет сомнений в том, что проделана прекрасная экспериментально-практическая работа, результаты которой нашли применение в различных областях науки и техники. Аплодисменты. И снова скромная, добрая улыбка новоиспеченного доктора технических наук.

Как быстро летит время. Две даты. Между ними тире. А в этом тире целая человеческая жизнь.

2. Ранние годы, выбор профессии

Родом Сергей Леонидович был из Москвы. Но по семейным обстоятельствам старшую школу заканчивал в Ярославле. Он часто рассказывал студентам, что физикой его увлек в старших классах новый школьный учитель. Возможно, именно эта встреча с Учителем по призванию, наложила отпечаток на характер мальчика, который спустя годы сам стал талантливым наставником молодежи.



Рис. 1. Сергей Круглов по окончании средней школы и его аттестат. 1970 г.



Рис. 2. Шахматы и теннис. Эти виды спорта Сергей Леонидович любил всю жизнь. На фото слева турнир по шахматам, на котором С.Л. Круглов стал победителем. Справа — теннисный матч 1982 г.

В 1970 г. Сергей Круглов приехал в столицу. Поселился у бабушки – на улице летчика Кравченко. Мечтал о МГТУ имени Баумана. Но на экзаменах не добрал нужных для поступления баллов. Уже тут проявляется одна из главных черт его характера. Упорство.

Как позднее скажет о С. Л. Круглове один из его коллег по Курчатовскому институту «Сережа — Физик. И этим все сказано». Сергей Леонидович пронес верность к профессии через всю жизнь. Современных молодых людей частенько учат тому, что место работы нужно без конца менять. Как будто смена записей в трудовой книжке — показатель мастерства. Советские инженеры думали иначе. И именно они оставили все то технологическое наследие, плодами которого современные карьеристы и сегодня активно пользуются.

После неудачи с «Бауманкой», Сергей 1 год проработал на Ярославском торфяном предприятии токарем. Усердно готовился в институт. В результате в 1971 г. поступил в МИФИ на факультет Т. Семья вспоминает, что путь к диплому не был простым для него. Многим сокурсникам «мифические» дисциплины давались легко. Сергей же брал усердием. Ему без поддержки нужно было нагнать сформированное провинциальной школой отставание. Дотянуться до выпускников ведущих московских лицеев. К старшим курсам он не только догнал, но и перегнал многих однокашников.

Его усердие не осталось незамеченным. После успешного окончания МИФИ в 1977 г. при распределении на практику из группы направленных в Курчатовский институт новоиспеченных специалистов в области физики твердого тела взяли его одного!

3. Курчатовский институт, сверхпроводимость — дело всей жизни

Пока Сережа Круглов рос и учился, в СССР семимильными шагами разворачивались работы по прикладной сверхпроводимости. В 1961 г. академик Шальников познакомил директора Курчатовского института Александра с первыми зарубежными публикациями Кюнцлера об открытии высокой плотности критического тока у Nb_3Sn проволок в магнитных полях до 9 Тл. А. П. (как все звали Александра) сразу оценил значение этих опытов и развернул сверхпроводящие исследования в ИАЭ. Быстрому развитию темы безусловно способствовало наличие запущенного в 1957 г. собственного гелиевого ожижителя.

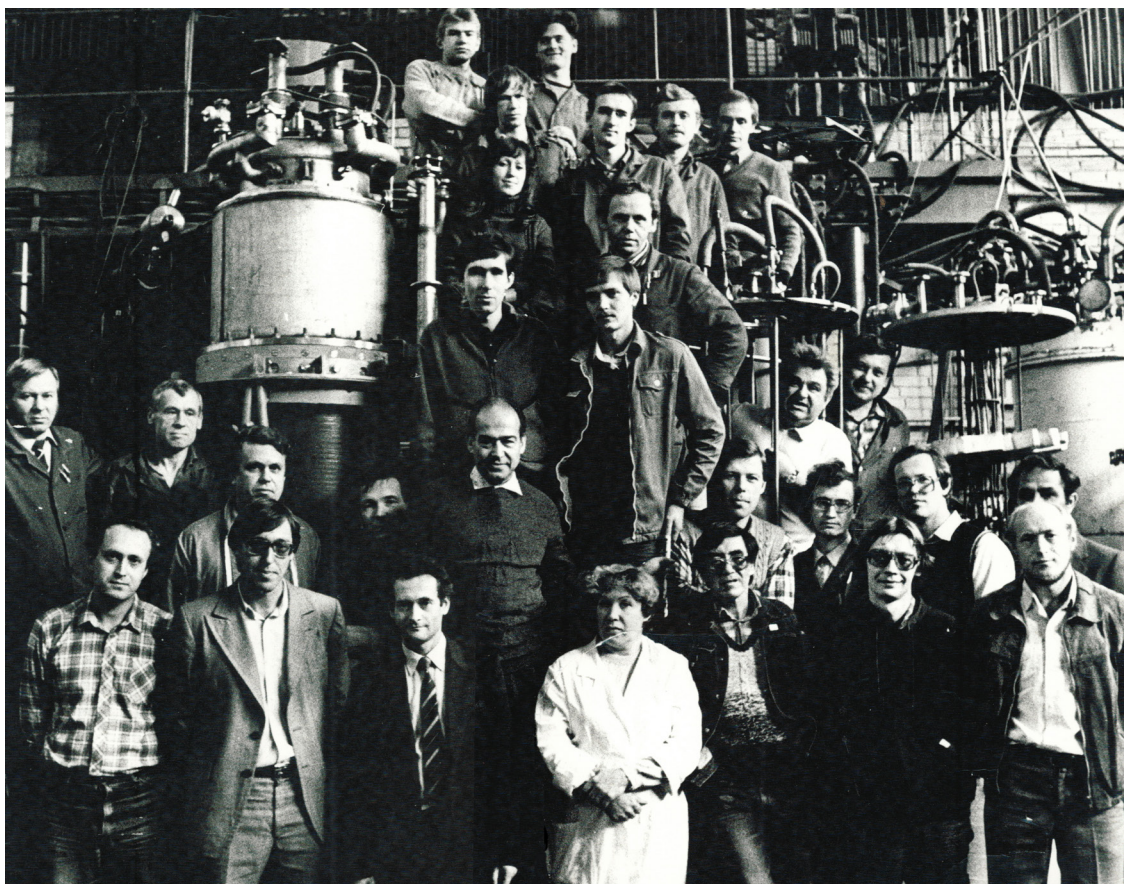


Рис. 3. Отдел сверхпроводящих магнитных систем и криогенных установок Института сверхпроводимости и физики твердого тела Курчатовского института (Круглов С. Л. в нижнем ряду, крайний справа). Начало 80-х годов.

«Сверхпроводящую» тему в Курчатовском возглавил Б. Н. Самойлов. Многие другие НИИ СССР также включились в сверхпроводящую гонку (ХФТИ, ИМЕТ, ВНИИНМ, ФИАН, НИИЧерМет, позднее — ИВТАН и др.) [1].

В июне 1961 г. в недавно сформированный «сверхпроводящий» отдел из Института физ. проблем пришел выпускник МГТУ имени Баумана Виктор Ефимович Кейлин, который впоследствии много лет руководил отделом, и чье имя неразрывно связано с историей развития отечественной прикладной сверхпроводимости. В. Е. Кейлин являлся учёным первопроходцем нашей страны, сформулировавшим и реализовавшим существенно новую концепцию создания циркуляционных сверхпроводящих магнитов.

Параллельно во ВНИИНМ им. Бочвара решался ряд технологических проблем, связанных с созданием сверхпроводящих композитных проводов. Была разработана технология получения NbZr, затем NbTi сплавов с сильно отличающимися температурами плавления, которая используется и по сей день, а также технологии зачехления слитков NbZr в латунные трубы и меднения проводников.

Советские инженеры, проектировщики первых сверхпроводящих соленоидов, столкнулись со многими непонятными на тот момент явлениями: преждевременными переходами обмоток в нормальное состояние, деградацией свойств проводов. Все прояснилось с появлением т. н. модели критического состояния и понятия о закреплении вихревых нитей на дефектах и других неоднородностях кристаллической решетки. Сверхпроводники с пиннингом типа Nb₃Sn, NbZr, NbTi стали называть жесткими сверхпроводниками II рода, или сверхпроводниками III рода. Возникло целое направление, изучающее стабильность сверхпроводящих материалов и устройств на их основе. Появилась мощная теоретическая сверхпроводящая школа. В г. Усть-Каменогорск было создано промышленное производство сверхпроводящих материалов.

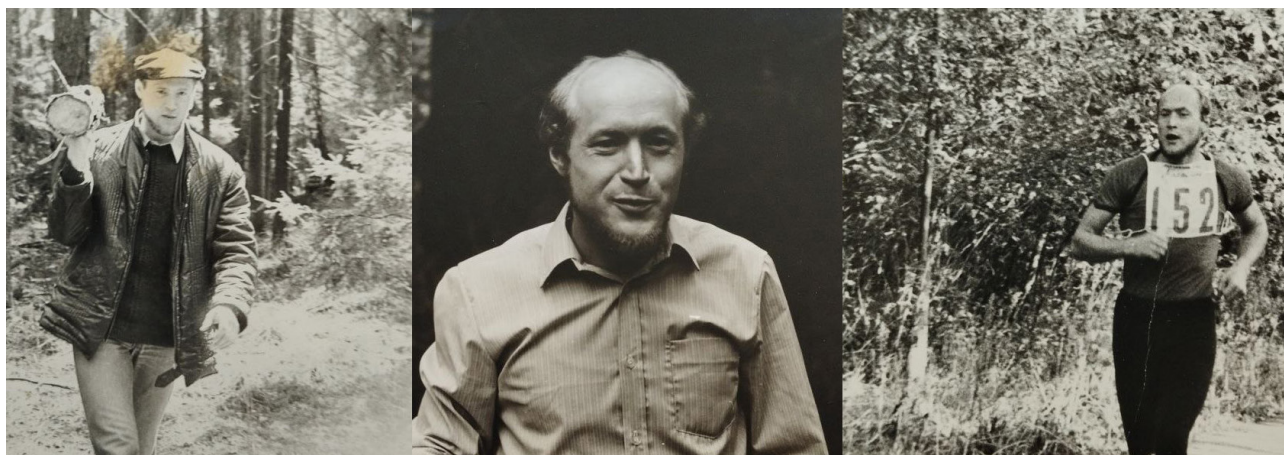


Рис. 4. Молодость в Курчатовском институте. Спорт, субботники, участие в профсоюзных мероприятиях. Сергей Леонидович всегда в первых рядах. Не отлынивает. 80-е годы.

Яркой вехой сверхпроводимости в СССР стало сооружение в Курчатовском институте первого токамака со сверхпроводящим магнитом тороидального поля (Т-7). Инициаторами создания установки были Д. П. Иванов и В. Е. Кейлин. Токамак Т-7 был успешно запущен в конце 70-х годов. Концепция Т-7, в несколько изменённом виде, сегодня заложена в конструкцию магнитной системы международного термоядерного реактора ИТЭР.

Именно в это время в 1978 г. Сергей Круглов поступает на работу в Курчатовский Институт сверхпроводимости и физики твёрдого тела (ИСФТТ). Там, в отделе В. Е. Кейлина он непрерывно проработает ... 46 лет. Сергей Леонидович никогда не изменял своей профессии и команде, в которой трудился. Люди приходили и уходили. С. Л. Круглов всегда был на месте. В нем было чрезвычайно редкое сочетание качеств ученого, инженера и, позднее, наставника в науке.

В 80-е годы молодой специалист быстро включается в работу отдела. В 1985 г. становится профоргом лаборатории, отвечает за добровольную народную дружину. Первые научные публикации связаны с экспериментальным изучением скачков магнитного потока и изучением стабильности низкотемпературных сверхпроводников в зависимости от условий охлаждения. Выходит ряд статей в популярном журнале *Cryogenics* [2, 3].

В 1987 г. Круглов начинает работу над большим циклом экспериментов, на 30 лет опередившим свое время [4–12]. Командой Курчатовского института в качестве альтернативы обычным сверхпроводящим обмоткам предлагается конструкция сверхпроводящего геликоида с плоскими витками из множества расположенных в ряд гальванически и механически связанных одиночных композитных NbTi проводников. Изучаются динамическая и криостатическая стабильность обмоток такого типа, электрические потери. Предлагаются способы масштабирования для создания крупных магнитов. Обнаружены неизвестные ранее физические эффекты:

- аномально сильная зависимость устойчивости сверхпроводящего состояния к тепловым возмущениям от перераспределения тока и поля в поперечном сечении геликоида в процессе ввода тока/поля и после его остановки;
- уникальное явление обратной динамики магнитного потока (восстановление первоначального распределения тока и поля по сечению) в геликоиде, охлаждаемом сверхтекучим гелием при $T = 2.13 \text{ K}$;
- влияние на криостатическую стабильность «географии» (места приложения) и «геометрии» (пространственного размера) возмущений;
- практическое отсутствие влияния охлаждения He-II по сравнению с He-I на криостатическую стабильность в наиболее востребованной для практики области транспортных токов, близкой к критическому ($i = I/I_c = 0.7\text{--}0.9$).



Рис. 5. Слева направо: днем кандидат наук Курчатовского института, ночью — сторож; с женой и дочкой; любимый теннис.

Нетрудно проследить, что этот цикл работ в чистом виде является предвестником проектируемых обмоток современных токамаков с резистивно связанными витками, изготавливаемых по технологии «провод в канавке». На основе этого цикла исследований Сергей Леонидович в 1993 г. с блеском защищает кандидатскую диссертацию. Оформляет свои первые патенты на изобретения. Позднее этот опыт пригодится ему при работе в качестве эксперта в патентном отделе.

Расцвет Круглова С. Л., как специалиста, пришелся тяжелейшие для науки 1990-е годы. Немного стесняясь, Сергей Леонидович в последствие рассказывал, как писал свои научные статьи вечерами в 52 больнице, в которой он подрабатывал ночным сторожем, чтобы хоть как-то выживать в годы, когда зарплату платили раз в полгода.

Коллеги вспоминают, что как-то в 1994 г. в ИСФТТ приехала команда телевизионщиков. Весь коллектив ОСиКУ был на своих рабочих местах. Снимая ученых за работой, ведущий поинтересовался, какая зарплата у научного сотрудника? Получив ответ, журналист отказался верить. Решил, что лаборатория сговорила и специально называет невообразимо низкую зарплату, на которую даже одному человеку нельзя прожить. Тогда журналист спустился на этаж ниже в бухгалтерию с целью поймать шутников-физиков на слове. Спустя несколько минут он вышел побледневший, серьезный, молча и с большим уважением пожал ребятам руку. Все оказалось правдой. Советские ученые, и С. Л. Круглов в первых рядах, несколько лет (!) продолжали работать «за идею».

Выход из этого трудного положения нашелся именно благодаря тому, что коллектив В. Е. Кейлина продолжал усердно трудиться, несмотря ни на что. Выходили международные публикации. На их основе мировое сообщество делало однозначные выводы о компетенции «сверхпроводящих» специалистов в СССР. При капитализме правила жесткие. Всем правил доллар. Выиграть международный конкурс в условиях жесточайшей конкуренции — это вам «не фунт изюму». Однако, работы наших ученых ценились так высоко, что, благодаря усилиям руководства ОСиКУ в отдел потянулись иностранные заказы на НИОКР по созданию уникальных сверхпроводящих устройств.

Именно в этих международных работах с Индией, Китаем и Южной Кореей [13–16] Сергей Леонидович Круглов окончательно сформировался как независимый высококлассный специалист в прикладной сверхпроводимости. Среди прочего, С. Л. Круглов с командой разработали технологию изготовления низкоомных спаев для NbTi кабелей в оболочке для индийского токамака SST1 с сопротивлением 4 нОм при токе 45 кА и поле $B = 1.5$ Тл, способного к работе в переменном режиме с $dB/dt = 0.3$ Тл/с.

В рамках работ по созданию первого корейского токамака «KSTAR» для компании Samsung С. Л. Кругловым был сконструирован, при его определяющем участии изготовлен и испытан стабильный быстродействующий сверхпроводящий трансформатор на 50 кА ($dI/dt = 75$ кА/с) с возможностью достижения 100 кА при снижении скорости ввода тока до 10 кА/с.

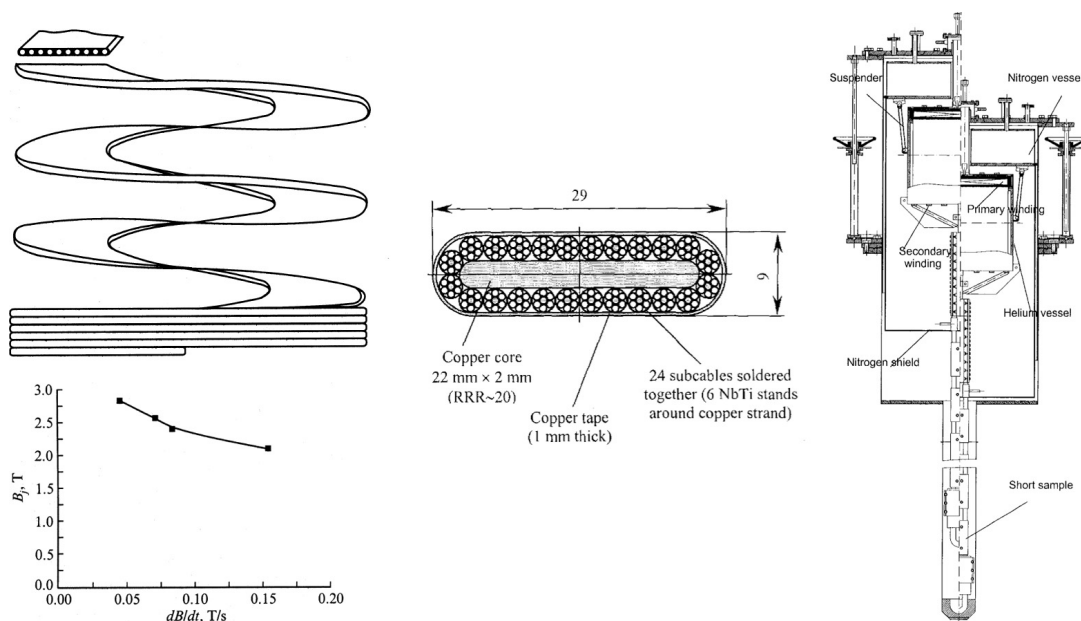


Рис. 6. Главные работы. Слева: сверхпроводящий геликоид с гальванически связанными витками и зависимость поля скачка магнитного потока от скорости изменения магнитного поля. В центре: многожильный NbTi кабель в оболочке. Справа: эскиз сверхпроводящего трансформатора на 50 кА ($dI/dt = 75$ кА/с).

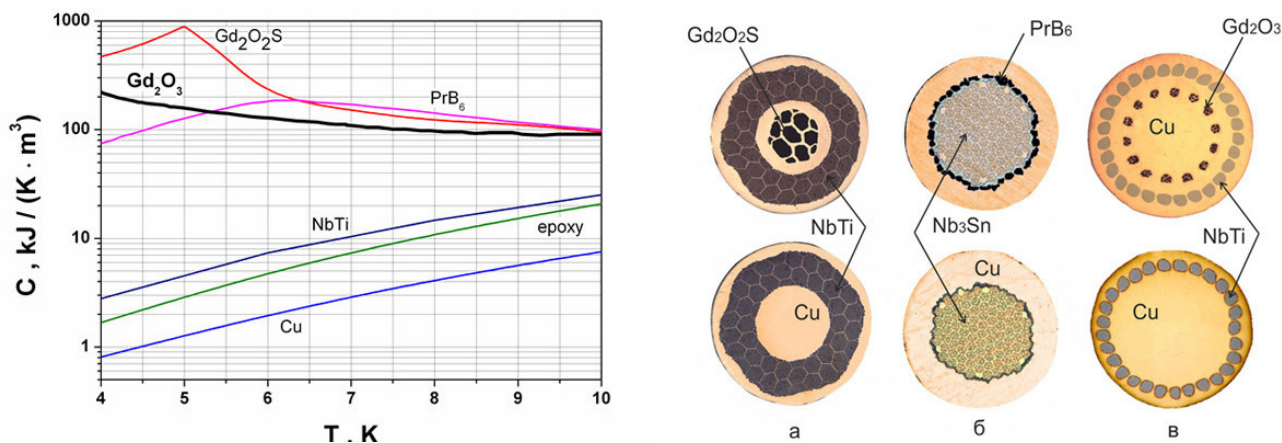


Рис. 7. Главные работы. Слева: зависимость теплоемкости некоторых редкоземельных интерметаллидов и керамик от температуры в сравнении с обычными конструкционными материалами. Справа: новые теплостабилизированные сверхпроводники с высокотеплоёмкими добавками.

Следующим значимым циклом стало решение крупной научной проблемы, а именно повышение надежности работы низкотемпературных сверхпроводниковых магнитов за счет увеличения теплоёмкости сверхпроводников при гелиевых температурах. Совместно с ВНИИНМ были разработаны различные способы внесения порошков высокотеплоёмких интерметаллидов и керамик в обмотки магнитов: в эпоксидную смолу, в стабилизирующие медные провода, входящие в состав многоволоконных сверхпроводящих кабелей. Кроме этого, была разработана технология производства принципиально нового типа композитных NbTi и Nb₃Sn проводников с жилами из высокотеплоёмких веществ [17–35].

Эти всесторонние исследования 2003–2013 гг. не только легли в основу докторской диссертации С. Л. Круглова, но и имели большое практическое значение. В частности, метод внешнего легирования магнитов высокотеплоёмкими добавками используется в Институте ядерной физики СО РАН имени Г. И. Будкера (г. Новосибирск) при создании многополюсных сверхпроводниковых вигглеров для международных центров синхротронного излучения.



Рис. 8. Научная группа отдела сверхпроводимости и криогенных установок (ОСиКУ), работающая над темой повышения стабильности низкотемпературных сверхпроводящих магнитов при помощи высокотеплоемких добавок. Стенд СИМС, Курчатовский институт, 2011 г. Слева направо: И. А. Ковалев, А. А. Ильин, В. Е. Кейлин, А. В. Наумов, С. Л. Круглов, Д. И. Шутова [35].

Кроме этого, предложенный метод применен в Объединенном институте ядерных исследований (г. Дубна) при изготовлении экспериментальных дипольных магнитов с переменным режимом работы до 8 Тл/с в рамках работ по созданию российского коллайдера тяжелых ионов NICA (Nuclotron based Ion Collider fAcility). Экспериментальное и расчетное исследование методов повышения стабильности композитных сверхпроводников с внутренним легированием их высокотеплоемкими добавками привело к появлению нового класса теплостабилизированных сверхпроводников (приоритет подтвержден четырьмя патентами РФ). Повышенная термомангнитная стабильность теплостабилизированных сверхпроводников может решить проблему коллективных скачков магнитного потока в Nb_3Sn проводниках с высокой критической плотностью тока для модернизации магнитов Большого адронного коллайдера. Теплостабилизированные сверхпроводники томографического типа с внутренним легированием ВД при использовании в магниторезонансных томографах могут сократить и даже устранить дорогостоящий процесс тренировки магнитных систем при их вводе в эксплуатацию. В 2016 г. патент С. Л. Круглова с соавторами, посвященный теплостабилизированному композитному сверхпроводнику, вошел в список «100 лучших изобретений России».

Последние годы Сергей Леонидович работал над изучением стабильности сверхпроводящего состояния в ВТСП-проводниках второго поколения, а также технологией изготовления низкоомных ВТСП-2 спаев [36–39]. Он многократно принимал участие в крупнейших отечественных и международных научных форумах и конференциях по прикладной сверхпроводимости. Итогом его плодотворной научной деятельности явились 77 работ, опубликованных в отечественных и зарубежных научных изданиях.

В физике С. Л. Круглов был ярким индивидуалистом. Как сказал о Сергее Леонидовиче М. И. Сурин, сменивший В. Е. Кейлина на посту руководителя ОСиКУ: «Все сильные люди всегда немножко одиноки». В работе С. Л. Круглов старался выбрать тему по душе, и самоотверженно над ней работал, не позволяя коллегам вмешиваться в рабочий процесс, ревностно оберегал свое Дело. Исключение делал только для многочисленных студентов.

С ними этот часто принципиальный человек, заядлый спорщик, мгновенно превращался в заботливого и внимательного наставника. Никогда не жалел ни сил, ни времени на работу с молодыми специалистами. В этом, пожалуй, был его главный, безусловный талант! Здесь он раскрывался. С безграничным терпением мог разьяснять постановки задачи, не брал за

промахи, а подсказывал, как их исправить. Учил, полностью растворяясь в процессе. И студенты, и школьники Курчатовской школы всегда платили ему искренней симпатией и уважением. Многие его ученики выигрывали престижные конкурсы и олимпиады по математике и физике. Молодые ученые Курчатовского института под его руководством защищали кандидатские диссертации, становились лауреатами премий Курчатова.

Все мы осиротели в июне 2024 г. В нашем сердце Круглов Сергей Леонидович навсегда останется большим Ученым и дорогим нам Человеком.

4. Заключение

Вместо заключения, пусть Сергей Леонидович говорит сам. Этот стих он написал незадолго до смерти. Лучше ничего и сказать нельзя.



Рис. 9. Круглов Сергей Леонидович. Ведущий научный сотрудник отдела сверхпроводимости и криогенных установок Курчатовского института, доктор технических наук, член-корреспондент АЭН РФ, доцент МИФИ, преподаватель Курчатовской школы, ветеран атомной промышленности, автор 77 научных трудов. Физик, Человек, Учитель.

Везло мне в том, что видел блеск в глазах учеников
От хорошо проделанной работы.
В движенье к знанью обеспечить правильность шагов
Вот это всё и есть мои заботы.

Сегодня прозвучит последний мой звонок.
И жаль мне с Вами расставаться.
Я Вас любил. Но вот пришел тот срок,
Когда придется распрощаться.

Оставят в сердце память Ваши лица
Меня не забывайте...
И мне,
И Вам
Есть чем гордиться.

С. Л. Круглов
06.07.1953 – 17.06.2024

Благодарности

Автор выражает искреннюю признательность семье Сергея Леонидовича, а также его коллегам по ОСиКУ за беседы о нем, память и любовь к этому талантливому, умному и безгранично доброму Человеку.

Литература

- [1] В.Е. Кейлин и др., 100 лет сверхпроводимости, 50 лет прикладной сверхпроводимости, 25 лет высокотемпературной сверхпроводимости. Сборник тезисов 1й национальной конференции по прикладной сверхпроводимости «НКПС-2011», Секция 1. Низкотемпературные сверхпроводящие материалы. Москва, НИЦ «Курчатовский институт», 6–8 декабря 2011 г.
- [2] V.E. Keilin, et al., *Cryogenics* **12**, 694 (1980). DOI: 10.1016/0011-2275(80)90022-3.
- [3] V.E. Keilin, et al., *Cryogenics* **15**, 257 (1985). DOI: 10.1016/0011-2275(85)90206-1
- [4] В.Е. Кейлин и др., *ДАН СССР* **303**, 1366(1988).
- [5] V.E. Keilin, et al., Study of superconducting helicoid stability, Proc. of the Twelfth Int. Cryog. Eng. Conference. Southampton UK, 12–15 July, 845–851, (1988). DOI: 10.1016/B978-0-408-01259-1.50163-7
- [6] В.Е. Кейлин и др., Изобретение, Способ изготовления сверхпроводящей обмотки и устройство для его осуществления, А.Н. СССР № 1325587 (1987).
- [7] V.E. Keilin, et al., *Cryogenic* **30**, 620 (1990).
- [8] V.E. Keilin, et al., *IEEE Trans. on MAG.* **27 2**, 2284 (1991). DOI: 10.1109/20.133673
- [9] V.E. Keilin, et al., *Journal of Fusion Energy* **11**, 1 (1992). DOI: 10.1007/BF01060205
- [10] С.Л. Круглов и др., Письма в ЖТФ **20**, 89 (1994). <https://journals.ioffe.ru/articles/19845>
- [11] И.А. Ковалев и др., ЖТФ **65**, 150 (1995). <https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/19144>
- [12] С.Л. Круглов, ЖТФ **67**, 108 (1997). <https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/33061>
- [13] А.А. Dudarev, et al., *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* **10**, 836 (2000). DOI: 10.1109/77.828428
- [14] S. Baang, et al., *Physica C* **354**, 105 (2001). DOI: 10.1016/S0921-4534(01)00136-8
- [15] S. Baang, et al., *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* **11**, 1494 (2001). DOI: 10.1109/77.920058
- [16] О.Р. Anashkin et al., *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* **12**, 567 (2002). DOI: 10.1109/TASC.2002.1018467
- [17] П.А. Алексеев и др., Способ изготовления сверхпроводящих обмоток, Патент РФ № 2254633 (2003).
- [18] И.И. Акимов и др., Комбинированный сверхпроводник (варианты), Патент РФ № 2273906 (2004).
- [19] P.A. Alekseev, et al., *Cryogenics* **44**, 763 (2004). DOI: 10.1016/j.cryogenics.2004.03.004
- [20] P.A. Alekseev, et al., *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* **15**, 1629 (2005). DOI: 10.1109/TASC.2005.849211
- [21] P.A. Alekseev, et al., *Cryogenics* **46**, 252 (2006). DOI: 10.1016/j.cryogenics.2005.07.005
- [22] I.I. Akimov et al., *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* **16**, 1172 (2006). DOI: 10.1109/TASC.2006.870776
- [23] P.A. Alekseev, et al., *Superconductor Science and Technology* **20**, 71 (2007). DOI: 10.1088/0953-2048/20/1/013
- [24] П.А. Алексеев и др., ЖТФ **7**, 48 (2007). <https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/9216>
- [25] V.E. Keilin, et al., *Superconductor Science and Technology* **22**, 21025018 (2008). DOI: 10.1088/0953-2048/21/2/025018
- [26] П.А. Алексеев и др., Теплостабилизированный сверхпроводник, Патент РФ №2334296 (2008).
- [27] V.E. Keilin, et al., *Superconductor Science and Technology* **22**, 085007 (2009). DOI: 10.1088/0953-2048/22/8/085007

- [28] В.Е. Кейлин и др., ЖТФ **80**, 155 (2010). <https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/9935>
- [29] В.Е. Кейлин и др., ЖТФ **80**, 115 (2010). <https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/9951>
- [30] А.Е. Воробьева и др., ЖТФ **80**, 70 (2010). <https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/10127>
- [31] А.К. Шиков и др., Теплостабилизированный сверхпроводник на основе соединения Nb_3Sn (варианты) и способ его изготовления (варианты), Патент РФ № 2378728 (2010).
- [32] V.E. Keilin, et al., Cryogenics **51**, 359 (2011). DOI: 10.1016/j.cryogenics.2011.03.006
- [33] A.E. Vorobjeva, et al., Supercond. Sci. Technol. **28**, 035012 (2015). <http://iopscience.iop.org/0953-2048/28/3/035012>.
- [34] I.I. Akimov, et al., IEEE Transactions on Applied Superconductivity **26**, 6001605 (2016). <http://ieeexplore.ieee.org/document/7420599/>
- [35] О. Фея. В Курчатовском институте повысили надёжность сверхпроводящих магнитов. Интернет издание «Сделано у нас» // sdelanounas.ru, URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/5705/>
- [36] А.А. Ильин, и др., Кабели и провода **1**, 8 (2019). https://www.elibrary.ru/title_about_new.asp?id=8760
- [37] A.A. Ilin, et al., Physica C: Superconductivity and its Applications **566**, 1353524 (2019). DOI: 10.1016/j.physc.2019.1353524
- [38] А.А. Ильин, и др, Термоядерный синтез **43**, 66 (2020). http://vant.iterru.ru/engvant_2020_4/7.pdf
- [39] I.A. Kovalev, et al., IEEE Transactions on Applied Superconductivity **32**, 1(2022). DOI: 10.1109/TASC.2022.3141031

Sergey Leonidovich Kruglov

The Physicist — The Person — The Mentor

D. I. Shutova^{1*}

1 Marii Ulianovoy str., 16-105, 119331 Moscow, Russian Federation

* e-mail: shutovadi@mail.ru

The article is dedicated to the memory of Sergey Leonidovich Kruglov, leading researcher at the Department of Superconductivity and Cryogenics of the Kurchatov Institute, Doctor of Technical Sciences (habil.), Corresponding member of the Russian Academy of Electrical Sciences, Associate Professor at Moscow State Physical Institute (Nuclear University), teacher at the Kurchatov School, veteran of the nuclear industry.

Keywords: Kruglov S.L.; Kurchatov Institute; the history of Physics.



Шутова Дарья Игоревна — к.ф.-м.н.

Dr. Darya I. Shutova — PhD.