

Мирона

2'09



В НОМЕРЕ:

3 ПРАКТИК И МЕЧТАТЕЛЬ

К 100-летию со дня рождения
Л.А.Арцимовича

Мирнов С.В.

**Уроки Арцимовича глазами
бывшего аспиранта (5)**

**Минин В.А., Ефремов Ю.Н.,
Балега Ю.Ю.**

**Как построили
Большой телескоп (18)**

Взоров Н.Н.

Род Арцимовичей (25)

Халатников И.М.

Неслучайные совпадения (32)

Заповеди Арцимовича (35)

Несколько советов, любимых выражений
и афоризмов

36

**Результаты конкурса
научно-популярных статей**

38 Расцветаева Р.К.

От эвдиалитов к мегаэвдиалитам

Эвдиалиты с типовой ячейкой могут служить фрагментами при формировании минералов с удвоенной ячейкой. Более того, ячейка эвдиалита может утроиться. Кристаллохимических запретов на образование гиперэвдиалитов нет.

48 Животовский Л.А., Имашева А.Г.

Одиссея мужской хромосомы

Каждый мужчина несет в своей Y-хромосоме генетическую память в виде мутаций, возникавших у всех его предков по мужской линии. Это замечательное свойство Y-хромосомы позволяет проследить не только родственные связи, но и генетическую историю всего человечества.

56 Никонов А.А.

**Скалы Валаама через века
и тысячелетия**

Каждущиеся несокрушимыми скалы островов Валаамского архипелага нередко называют гранитными, хотя они сложены еще более прочными породами — диабазами. Но, тем не менее, валаамские скалы разрушаются под воздействием землетрясений.

66 Голимбет В.Е.

Стресс, психическое здоровье и гены

Сегодня уже установлено, что развитие депрессии, вызванной стрессовой ситуацией, зависит от генотипа человека, экспериментально показано, что главная роль здесь принадлежит гену переносчика серотонина. Значит, информация о генотипе человека может определить стратегию лечения людей уже на ранних этапах болезни.

Научные сообщения

72 Кононенко В.С., Заспел Д.М.

Совки-вампиры

77

Новости науки

Исследование солнечных нейтрино в эксперименте «Борексино». **Скорохватов М.Д., Литвинович Е.А.** (77). Где родился Солнце? (78). Джон Бардин и безмездные ВТСП (78). Четверть электрона (79). Топологический квантовый компьютер (80). Квантовый фазовый переход в молекуле C₆₀ (80). Фермент гликозидазы из сперматозоидов (80). Зачем нужны самцы разной окраски? **Семенов Д.В.** (81). Мантийная конвекция вызывает направления на подошве литосферы (82). Ледовый покров Байкала как модель для анализа деформаций в литосфере (82). Повторное открытие ископаемого *Ното* из Хвалынска. **Короткевич Г.В.** (83).

Рецензии

84 Тоточава А.Г.

**Астрономия и астрофизика
для профессионалов и любителей**
(на книги: Небо и телескоп;
Солнечная система)

89

Новые книги

90 Бурштейн Е.Ф.

**Е.Е.Барбот де Марни и первая
в России геологическая карта**

CONTENTS:

3 PRACTICAL MAN AND DREAMER

To Centenary of L.A.Artsimovich

Mirnov S.V.

Lessons of Artsimovich in Eyes of Former Post-Graduate Student (5)

Minin V.A., Efremov Yu.N., Balega Yu.Yu.

How the Large Telescope Was Built (18)

Vzorov N.N.

Artsimovich Family (25)

Khalatnikov I.M.

Non-random Coincidences (32)

Artsimovich Commandments (35)

Some Pieces of Advice, Favorite Sayings and Aphorisms

36

Results of Popular Science Articles Contest

38 Raszvetaeva R.K.

From Eudialytes to Megaeudialytes

Eudialytes with typical unit cell can serve as fragments to form minerals with doubled cell. Moreover, eudialyte cell can be tripled. There is no crystallo-chemic restrictions for forming hypereudialytes.

48 zhivotovsky L.A., Imasheva A.G.

Odyssey of Male Chromosome

Every man bears in his Y-chromosome a genetic memory in form of mutations aroused in all his male ancestors. This remarkable property of Y-chromosome allows trace not only kinship relations, but also genetic history of mankind as a whole.

56 Nikonov A.A.

Rocks of Valaam through Centuries and Millennia

Looking indestructible, cliffs of Valaam archipelago often are called granites, although they are formed by even more durable rocks — diabases. Nevertheless, Valaam cliffs are wreaked by earthquakes.

66 Golimbet V.E.

Stress, Mental Health and Genes

Today it is already established that development of depression caused by stress situation depends on genotype of the person. It was experimentally demonstrated that the leading role here belongs to the gene of neurotransmitter serotonin. It follows that information about patient's genotype can define the strategy of depression treatment even at early stages of disease.

Scientific Communications

72 Kononenko V.S., Zaspel D.M.

Noctuids-vampires

77

Science News

Study of Solar Neutrino in «Bereksino» Experiment. Skorokhvatov M.D., Litvinovich E.A. (77). Where Sun Was Born? (78). John Bardin and Copperless High-Temperature Superconductors (78). A Quarter of Electron (79). Topologic Quantum Computer (80). Quantum Phase Transition in C₆₀ Molecule (80). Glycolytic Enzyme from Spermatozooids (80). What for Males of Different Color Are Needed? Semenov D.V. (81). Mantle Convection Induces Stresses at the Base of Lithosphere (82). Ice Cover of Baikal as a Model for Lithosphere Deformation Analysis (82). Rediscovery of Fossil *Homo* from Khvalynsk. Korotkevich G.V. (83).

Book Reviews

84 Totochava A.G.

Astronomy and Astrophysics for Specialists and Amateurs
(on books: Sky and Telescope; Solar System)

89

New Books

90 Burshtein E.F.

E.E. Barabout de Marny and the First Geologic Map in Russia

ПРАКТИК И МЕЧТАТЕЛЬ

К 100-летию со дня рождения Л.А.Арцимовича



Л.А.Арцимович (1909—1973).

Говоря об академике Льве Андреевиче Арцимовиче, мы соприкасаемся не просто с яркой личностью талантливого ученого и организатора науки. Феномен Арцимовича — проявление удивительного пласта истории нашей науки и государства в целом. По трагическому и символическому совпадению жизнь Льва Андреевича прервалась почти одновременно с окончанием самого, может быть, светлого периода в истории науки России — 60-х годов XX в. Точнее говоря, эта эпоха началась в 1956 г. и окончилась в 1968-м. Наука пользовалась особым вниманием государства; в ту пору в нее счастливым образом оказались вовлечены и молодежь, вдохновленная крупномасштабными программами и светлыми перспективами, и выдающиеся ученые старшего поколения, чьими трудами страна достигла уровня сверхдержавы. Как мы теперь знаем, то был период наивысших темпов экономического роста страны и, соответственно, развития научного комплекса.

Лев Андреевич был из того поколения «личностей государственного масштаба», жизнь которых стала воплощением столь присущего русской интеллигенции стремления служить возвышенному, надличностному. И благотворное воздействие этих выдающихся людей, прекрасно познавших не только радость научного творчества, но и сложнейшие глубинные механизмы организации науки, и высшие государственные приоритеты, сказывалось еще долгие годы после того, как их не стало.

Говоря о Льве Андреевиче Арцимовиче, мы вспоминаем академиков И.В.Курчатова, А.П.Александрова, А.Д.Сахарова, Я.Б.Зельдовича, М.В.Келдыша и М.А.Лаврентьева, сподвижником которых он был. Среди его ближайших друзей – академики П.Л.Капица и В.А.Энгельгардт. Он – натура цельная, глубоко артистичная, художественная, поэтому круг его контактов очень широк.

Удивительно обаятельный в личном общении, Лев Андреевич был весьма тверд и последователен в делах, если требовалось – даже резок. Он был равен принципиален как с сотрудниками, так и с руководством любого ранга. В особых случаях его общеизвестная ирония могла переходить в сарказм. Но все это сочеталось с неизменно благожелательным, глубоко интеллигентным восприятием окружающих людей. Незаурядность натуры, высокий творческий потенциал, широта интересов, глубина и разносторонность знаний, организаторский талант, неординарность подхода к делам – все это обеспечило ему авторитет, который позволял руководить огромными коллектиками.

Особо стоит сказать о том удивительном стиле руководства, точнее, воспитания сотрудников, благодаря которому еще долгие годы после ухода Льва Андреевича Отделение общей физики и астрономии АН СССР сохраняло устойчивость и высокие темпы развития. Для этого стиля характерна не только нацеленность на высокий уровень в науке и в ее организации. При всей своей высокой требовательности Лев Андреевич сохранял, воспитывал, можно сказать – культивировал в своих сотрудниках самостоятельность, способность принимать быстрые и эффективные решения, действовать в любых инстанциях и ситуациях. Он никогда не допускал мелочной опеки, но был заботлив, был человеком слова, последовательным в своих решениях. Его люди всегда ощущали прочный тыл, знали, что у них за спиной – надежная защита, объективность и поддержка. При Льве Андреевиче оформились широко известные теперь научные центры – Троицк, Черноголовка, Специальная астрофизическая обсерватория. Мощно развивалась приборно-технологическая база физики и астрономии. Для этого он не жалел ни собственных сил, ни личного времени, широко использовал свой авторитет в правительственные кругах. При нем заботливо взращивалось молодое тогда поколение ученых – А.В.Гапонов-Грехов, Е.П.Велихов, Р.З.Сагдеев, Ж.И.Алферов, Ю.А.Осипьян.

Сам же Лев Андреевич был воспитанником научной школы Ленинградского физико-технического института, которым руководил А.Ф.Иоффе, – признанной «колыбели советской физики». Выпускник Минского университета, свою работу в институте он начал в 1930 г. с экспериментов в области оптики рентгеновских лучей, но вскоре переключился на бурно развивающуюся ядерную физику. В 1937 г. он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Поглощение медленных нейтронов», а в 1939 г. – докторскую, посвященную тормозному излучению быстрых электронов. Исследованиями Арцимович занимался вместе с А.И.Алихановым, И.В.Курчатовым, А.И.Алиханьяном. Неудивительно, что в 1944 г. он стал сотрудником Лаборатории № 2, будущего Курчатовского института атомной энергии. Лишь недавно, после открытия архивов с грифом «СС» (Особая папка), широкая общественность смогла оценить ту роль, которую Арцимович сыграл в создании «атомного щита» родины, руководя разработкой метода электромагнитного разделения изотопов. Именно этим методом в свое время удалось получить уран «бомбового качества». А с 1950 г. он возглавил новое, уже мирное, направление управляемого термоядерного синтеза, ставшее главным научным делом его жизни. Лев Андреевич прекрасно понимал, что на практике новое энергетическое устройство будет реализовано не завтра, «вне пределов моей активности», как он говорил. «Надежда на быстрое решение проблемы УТС – то же, что надежда грешника попасть в рай, минуя чистилище». Но он старался сделать все возможное, чтобы приблизить это будущее. И вошедшее в иностранные языки слово «токамак», и распространившиеся по всему миру установки этого типа – доказательство верности сделанного им выбора. Член-корреспондент АН СССР (1946), академик (1953), наконец, академик-секретарь Отделения общей физики и астрономии (1957), Герой Социалистического Труда (1969), Лауреат Государственных премий СССР (1953, 1971) и Ленинской премии (1958), награжденный многими орденами и медалями, Арцимович – герой многих статей-воспоминаний. Не раз выходили сборники материалов, посвященные ему; новая книга «Академик Лев Андреевич Арцимович» издана сейчас издательством «Физматлит» к юбилею.

Все это – не только свидетельство его выдающихся достижений и заслуг перед наукой и Отечеством, но и знак непреходящей светлой памяти о нем как об Ученом, Учителе и Гражданине. Те, кому выпало счастье общаться со Львом Андреевичем Арцимовичем, тем более – работать с ним, испытать благотворное воздействие его личности, навсегда благодарны судьбе за то, что она предложила нам этот редкий шанс.

© Минин В.А.,

доктор физико-математических наук
Российский фонд фундаментальных исследований

Уроки Арцимовича глазами бывшего аспиранта

С.В.Мирнов,
доктор физико-математических наук
Троицкий институт инновационных и термоядерных исследований

Около 40 лет отделяет нас сегодня от эпохи Арцимовича. «Иных уж нет, а те далече, как Сади некогда сказал...». Человечество строит первый полномасштабный магнитный термоядерный реактор с термоядерной мощностью в несколько сотен мегаватт — решает в металле задачу, поставленную перед Львом Андреевичем грозным Председателем Совета Министров СССР 58 лет назад. («Академику Л.А.Арцимовичу возглавить работы по магнитному термоядерному реактору, уделяя этому вопросу 50% рабочего времени, а 50% — электромагнитному разделению изотопов. Москва. 5 мая 1951 г.»)

Для зарубежных участников этого строительства Арцимович, похоже, превратился уже в некий полубиблейский персонаж. Обмолвясь, что ты последний аспирант Арцимовича, и на тебя посмотрят с недоверием и страхом: шутник или сумасшедший — так долго не живут.

В энциклопедических словарях пишут: «Под руководством Арцимовича впервые получена в лабораторных условиях термоядерная реакция, Государственная премия СССР 1971 г.». Именно эта лабораторная реакция на уровне милливатт спровоцировала международную научную общественность на повсеместное создание магнитных ловушек типа токамак*.

* Подробнее о токамаках, их истории, физике, возникающих проблемах см. [1].

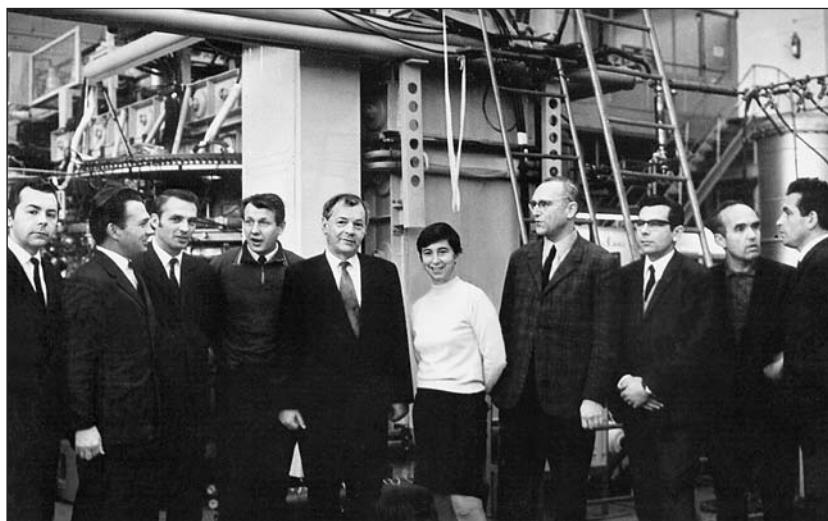
© Мирнов С.В., 2009

Масштаб соответствующих затрат, произведенных человечеством, — около 20 млрд долл., конечный итог — выход на ИТЭР — международный термоядерный реактор промышленного масштаба.

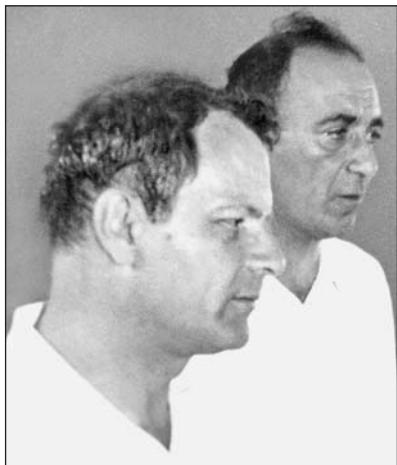
На фотографии команда Арцимовича, получившая ту самую премию. К физикам, в нее входившим, судьба была, я бы сказал, более чем благосклонна — кое-кому из нас, начинавших в 60-х на почти настольных приборах, посчастливилось работать на первых зарубежных токамаках-реакторах с реальным тритием и нейтронным выходом на уровне 10 МВт! И — совсем фантастика — влиться в команду инженеров и физиков — проектантов ИТЭР.

Это прежде всего В.С.Мухолов — один из неизменных (1996—2008) ведущих физиков ИТЭР и, по мнению многих, самый знающий мировой физик в области токамаков; далее, К.А.Разумова — член группы экспертов по удержанию и транспорту плазмы в токамаках; В.С.Стрелков — член группы экспертов по диагностике; наконец, ваш покорный слуга — член группы экспертов по магнитогидродинамическим явлениям и срывам в токамаках.

Разумеется, активность России в проекте ИТЭР была много шире участия в нем ветеранов. Одним из решающих стал вклад Е.П.Велихова, продолжателя дел Арцимовича и отчасти его ученика, в дипломатическую и ко-



Лауреаты Госпремии СССР 1971 г. на фоне токамака Т-4. Слева направо: С.В.Мирнов, Е.П.Горбунов, А.М.Ус, В.С.Стрелков, Л.А.Арцимович, К.А.Разумова, А.К.Спиридовон, В.С.Мухолов, В.Д.Шафранов, Д.П.Иванов.



Л.А.Арцимович и Н.А.Явлинский.
Конец 50-х годов.

ординационную работу, обеспечившую формирование международной кооперации по созданию ИТЭР. Самоотверженно помогавшие ему сотрудники Минатома [2] — также ученики Арцимовича. По сути, они продолжили внешнеполитическую часть деятельности Льва Андреевича, которая в начале 70-х утвердила приоритет нашей страны в термоядерных исследованиях, а его — как несомненного лидера этих исследований.

Но конечную победу или поражение токамаков будет определять физика. Что кажется сегодня наиболее важным из наследия Арцимовича для ученых? Смею утверждать, что прежде всего — его методология. Во всяком случае, для меня. Встреча с ним была моей крупной жизненной удачей. Видимая благосклонность судьбы имеет под собой, как правило, твердое основание.

Лет 30 назад мы с Разумовой пытались изложить его методологию, как мы ее тогда понимали, «по свежим следам» в нашей статье в «Природе» [3]. Сегодня и мы, и времена иные. С одной стороны, сместилась шкала ценностей, а с другой — мы теперь знаем, что скрывалось за горизонтом. Во всяком случае, Лев Андреевич сегодня мне более понятен, чем тогда. Некоторые

вещи он предвидел очень точно. Как Арцимович взаимодействовал с молодыми физиками (тогда почти все были молодыми)? Сужу по своему примеру, по-моему, типичному.

Свели нас вместе события случайные и трагические. После гибели Н.А.Явлинского в 1962 г. в авиационной катастрофе Арцимович решил сам возглавить его сектор 44 (сектор токамаков) в руководимом им Отделе плазменных исследований (ОПИ) Института атомной энергии им И.В.Курчатова (ИАЭ). При этом он назначил Стрелкова, к которому я был прикомандирован как молодой специалист, начальником самого большого и неухоженного (он был только что построен) токамака Т-3. Молодым специалистом я числился формально — три года я уже работал как физтеховский студент-практикант в ИАЭ, в секторе академика Е.К.Завойского. За это время я успел вполне победоносно защитить диплом, походить с полгода на семинары к Явлинскому и поэтому в окружающей обстановке ощущал себя как рыба в воде, не страшась никаких академиков.

Первой практической задачей, возникшей перед нами на Т-3, было определение реального положения плазменного шнуря в камере токамака. Решил я ее с помощью четырех магнитных зондов, включенных по разностной схеме, по аналогии с тем, как определял разность фаз волн в дипломе. Свои зонды мне любезно уступил К.Б.Карташев, поэтому все дело заняло не более трех месяцев. Впоследствии этот метод благодаря своей простоте распространился по свету на все токамаки. Стрелков похвастался быстротой и простотой содеянного перед Арцимовичем. Тот похвалил, но призадумался. Дело в том, что равновесное смещение плазменного шнуря наружу, если он окружен медным кожухом (как это было на Т-3), должно быть примерно пропорционально полной энергии плазмы (магнит-

ной плюс тепловой). Только что опубликованная работа В.Д.Шафранова по равновесию плазменного шнуря в токамаке позволяла после несложных преобразований связать эту энергию с моими измеряемыми сигналами. Чем я и был занят, когда меня к себе в директорский кабинет затребовал Арцимович.

Прихватив свои миллиметровки, я явился к академику. Он был очень любезен и обаятелен (когда не бывал зол — это я уяснил позднее). Сероглазый, очень быстрый, остроумный и едкий, не без элементов мальчишества, знаток литературы, истории, — Арцимович производил яркое впечатление на собеседников и окружающих. Так, по свидетельству Р.З.Сагдеева, во времена Калэмской конференции Лев Андреевич занял первое место на конкурсе красоты и обаяния, устроенным барышнями из группы технического обслуживания.

Мне он доходчиво объяснил, что интересно было бы на основе показания зондов оценить полную энергию шнуря. Я открыл свой миллиметровый (секретный!) журнал с выкладками, где это было сделано. Он пришел в некоторое возбуждение при их виде, очень быстро вник в суть и в итоге вынес решение: «Вот что, я сам буду обрабатывать ваши пленки» (сигналы с экрана осциллографа мы снимали на пленку). И действительно, раз или два он приходил к нам и сам перерисовывал под фотоувеличителем интересующие его сигналы. Дело его захватило, мы вторгались в сферу энергетических балансов плазмы. Административные и прочие дела смели, к сожалению, эти благие замыслы. В итоге он оказался вынужден пользоваться осциллограммами, перерисованными нами. Судя по его замечаниям, которыми он щедро делился при встрече, он где-то находил время их тщательно осмысливать. Так началось наше содружество. Года через четыре я попросил его взять меня в за-

очные аспиранты. Он удивился — зачем это мне. «А затем, чтобы иметь дополнительный отпуск, Лев Андреевич». Снова удивился. «А разве он вам нужен?». «Вдруг понадобится». На моей бумажке он написал «согласен». Так я стал его последним аспирантом.

В моем научном руководстве, естественно, никаких изменений не наступило. Внешне никакого повседневного научного руководства как будто бы и не было. Но оно вдруг возникало в самой своей бурной форме, что означало: твои результаты или научные домыслы вошли в противоречие с какой-то уже продуманной им концепцией. В таких случаях он бывал и резок, и нетерпим. В Физико-техническом институте им.А.Ф.Иоффе как реликвия хранится график энергетического распределения нейтралов (нейтральных атомов, покидающих плазменный шнур), вылетающих, видимо, из не очень устойчивой плазмы, на котором его рукой размашисто написано «Такого быть не может. Арцимович». Действительно, в устойчивой плазме токамака такого не бывает.

Рассказывают, что однажды император Наполеон Бонапарт, раздосадованный угодничеством окружающих, попросту объяснил им природу своей гениальности: «Гениальный, гениальный! Просто я обо всем этом думал». Арцимович был явно «из теста» постоянно думающих, а потому многое знающих точно. Некоторых это раздражало, что сквозит в ряде воспоминаний современников. Только предложишь ему свою свежую идею, а он в ответ — «ничего в ней нет путного, я уже об этом думал». И, что самое обидное, часто оказывался прав. Но иногда, случалось, и не прав. Дело тогда выливалось в длительное разбирательство, безмерно обогащенное его контраргументами. Но даже и в таких случаях, на ходу перестраиваясь, он оставался локомотивом движения.



У токамака Т-ЗА. Слева направо: В.С.Муховатов, С.В.Мирнов, Л.А.Арцимович, В.С.Стрелков. 1968 г.

Без всяких ссылок на честь мундира. Зная это его качество, можно было строить стратегию общения с ним, избегая чрезмерных обид.

Одна из характерных форм его общения с близкими сотрудниками — вручение им меморандумов на одной-двух страничках от руки с точным перечислением его претензий, либо предложений, либо указаний. Некоторые из них еще хранятся у адресатов. В качестве примера факсимиле первой страницы подобного меморандума, когда-то направленного мне, приведено на рис.1. Известна шутка Ландау: «Фок любую задачу сводит к уравнениям с частными производными, я — к обыкновенным дифференциальным уравнениям, а Френкель — к алгебраическим». Арцимович, как следует из рис.1, предпочитал обыкновенные дифференциальные.

Одним из знаменитых меморандумов было его предложение по измерению тепловой энергии плазмы на основе ее диамагнетизма. Виртуозно проинтегрировав уравнение баланса давления в токамаке, он получил в итоге изумительно простую формулу, связывающую дополнительный тороидальный магнитный поток, вызванный появлением горячей плазмы, с ее током (парамагнетизм) и с тепловой энергией плазмы (диамагнетизм). Мы — Разумова на малом токамаке ТМ-3 и я на большом Т-3 — тут же попытались реализовать эту замечательную идею. Да не тут-то было. Мне, например, понадобилось для этого два года с применением в итоге калибровочных приборов полупроцентного класса точности, кварцевой стабилизации частоты и разных других головоломных электротехнических ухищрений. Разу-

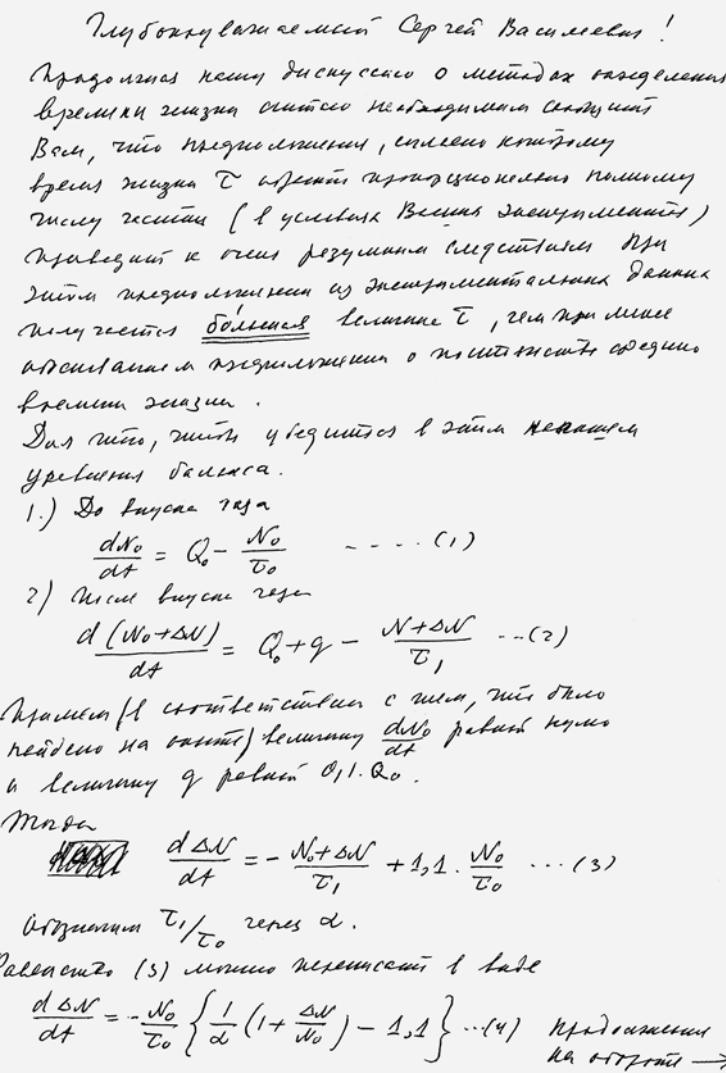


Рис.1. Факсимиле меморандума Арцимовича автору. Спор касался измерения диффузионного времени жизни плазмы. Значение, полученное автором методом добавок газа, оказалось в 10 раз ниже полученного Арцимовичем с соавторами по анализу потока нейтралов. Консенсус был достигнут снижением Львом Андреевичем его времени в три раза и увеличением моего в полтора. В итоге мы проскочили мимо важного явления — аномального пинча заряженных частиц. Не хватило храбрости.

мова несколько обогнала меня. Правда, я успел передать Арцимовичу, уезжавшему на Калэмскую конференцию МАГАТЭ, осциллограмму поведения тепловой энергии плазмы в Т-3. И на ТМ-3, и на Т-3 электронная температура плазмы оказалась в два-три раза выше, чем следовало из предыдущих осторожных оценок. На Т-3 она достига-

ла 500 эВ! Это и стало главной физической базой заявления Арцимовича, сделанным им летом 1966 г. в Калеме, что «призрак Бома» (неожиданно больших скоростей потери плазмы — аномальной диффузии, названной по имени открывшего ее американского ученого Д.Бома) больше не довлеет над нами. Okajisic Бом прав,

от идеи термоядерного синтеза в токамаках пришлось бы отказаться. Время удержания плазмы превышало расчетное бомбовское тогда примерно втрое. Не всеми Арцимович был понят правильно — за рубежом у всех был Бом или около того. Но через год разрыв достиг 10. А еще через год на Новосибирской конференции МАГАТЭ — уже 40. Там и созрело предложение проверить измерения электронной температуры на Т-3 независимым методом лазерного рассения, только что разработанным в Англии.

Следующий 1969 г. стал для токамаков триумфальным. Той осенью в Дубне на Международном совещании по замкнутым ловушкам произошло событие, объявленное позднее зарубежными газетчиками ни много ни мало как «признание Западом лидирующей роли советского токамака в исследованиях по управляемому синтезу». История эта многократно описана и обросла легендами.

Суть ее в том, что весной 1969 г. к нам на токамак Т-3А в ИАЭ прибыла группа английских физиков и инженеров с нескользкими тоннами лазерной аппаратуры для измерения электронной температуры, в наши значения которой они отказывались верить. Акция эта стала результатом договоренности между Арцимовичем и директором Калэмской лаборатории доктором Р.Пизом — факт, незаурядный даже по современным меркам. К осени, с честью преодолев различные трудности, дружная советско-английская группа успешно завершила лазерные измерения и, как с шумом было объявлено в западных газетах, «получила результаты даже более высокие, чем сообщалось русскими». (По диамагнетизму мы измеряли среднюю температуру, а лазер давал локальную. В таких случаях говорят: «совпадение оказалось глубоко в классе точности».) Прямое доказательство существования в токамаках электронной

температуры масштаба десяти миллионов градусов (1 кэВ) оказалось для многих сенсацией. Для нас с Арцимовичем — еще одним независимым подтверждением точности диамагнитных измерений на Т-3.

Другим примечательным для меня событием Дубнинской конференции была так называемая неформальная дискуссия, где триумфатор Арцимович часа полтора «был на арене» под градом вопросов — в мировых исследованиях по управляемому синтезу намечался крутой поворот в сторону токамаков. В конце на него наслал молодой и въедливый Гарольд Форт, будущий директор Принстонской лаборатории физики плазмы: какой по мнению русских закон подобия (скейлинг) для энергетического времени жизни плазмы в токамаках следует выбирать взамен бомовского. Энергетическое время жизни плазмы (т.е. характерное время ее остыния) — важнейший параметр, и Лев Андреевич был явно не готов тогда отвечать на этот серьезный вопрос определенно. Его «ионная неоклассика» [4] в то время еще не созрела к опубликованию. В сослагательном наклонении он пытался обрисовать обсуждаемые возможности, а потом вдруг неожиданно уверенно заключил: «А вот еще есть скейлинг Сережи Мирнова — $a^2 B_p$ » (a — поперечный размер шнура, B_p — магнитное поле торка). Позже я понял, что с этого момента перешел в разряд «советских ученых, известных за рубежом». Гарольд, получив ценное указание, цепко переключился на меня.

История со скейлингом $a^2 B_p$ — яркая страница наших отношений с Львом Андреевичем и типичный пример его работы с молодыми физиками. Для читателя он может быть небезинтересен.

Дело в том, что, зная суммарную магнитную и тепловую энергию плазмы (из измерений с зондами), а также отдельно тепловую энергию (из диамагн-



На Дубненском совещании в 1969 г.



С М.В.Келдышем. В Президиуме АН СССР. Конец 60-х годов.

тизма) и полную мощность, передаваемую плазме (произведение тока на напряжение), можно точно (т.е. в пределах погрешностей измерений) определить энергетическое время жизни плазмы и ее омическое сопротивление. В 1966 г. на Т-3 я все это уже имел. Если, имея это, пройтись по всему полю режимов Т-3, появлялась уникальная возможность установить связь термо-

изоляции плазмы с исходными параметрами токамака. Иными словами, найти тот самый закон подобия, необходимый для оптимального проектирования будущих установок. Этот честолюбивый замысел я и задумал осуществить. На вид все было просто. Нужно, меняя по очереди основные, задаваемые извне параметры плазменного шнура: торoidalное поле B_t , ток плаз-

мы I_p , ее плотность n (ее измерял Е.П.Горбунов), снять сетку режимов и усмотреть при этом какие-либо закономерности поведения плазмы, если они вдруг проявятся. На практике же это вылилось в год изнурительной работы, когда какой-то сгоревший трансформатор или вакуумная течь в любой момент могли «тормознуть» процесс на неделю, месяц, а то и более. Но душу грела мечта получить в итоге все необходимые пленки и засесть за их анализ, как пристало настоящему физику. Разумеется, я изнурял себя не один. Собственно установкой ведала группа Н.В.Краснова — человека теплого и очень ответственного. Могучей энергетикой Т-3 с ударным генератором и преобразователем ведала группа электриков с молодым, но явно гениальным радиотехником, А.М.Анашиным. «Физикой», т.е. практической программой и диагностиками (кроме измерений плотности), ведал я. Таким образом, проведение моей программы обеспечивалось тяжелым, но дружным трудом большого коллектива. Арцимович мою деятельность вполне одобрял и поддерживал. Она укладывалась в его правило, которое он любил повторять: «физика начинается с зависимостей». Но как же было невыносимо тяжко осуществить это практически. Режимы «плыли», приходилось работать краткими сериями между неизменными «реперными» режимами. На все это накладывались технические сбои. Мой обычный рабочий день кончался к 11 часам вечера. К счастью, все это удалось дотерпеть до конца, и я приступил к обработке материала.

Я явно переоценил свои возможности. Работа по анализу затянулась на год. Иногда я с ностальгией вспоминал время, когда чинил диагностики и «стремлял» на Т-3. И все-таки это удалось вытерпеть. Первое же мое сообщение о результатах на секторном семинаре вызвало скандал. Если верить мне, то выходи-

ло, что в устойчивых режимах токамака термоизоляция плазмы не зависела от тороидального магнитного поля B_t . Тогдашняя токамачная религия предполагала ее улучшение либо квадратично, либо, в худшем случае, линейно с B_t . Далее, у меня выходило, что термоизоляция плазмы улучшается с ростом ее плотности, а должна была бы падать. Еще дальше — термоизоляция улучшалась с ростом тока, в то время как ток в токамаке считался главным дестабилизирующим фактором. Сначала меня просто не хотели слушать. Потом занялись погрешностями эксперимента. Если складывать случайные ошибки как корень из суммы квадратов (так учили на физтехе), то утверждения мои проходили, но если складывать «по-честному», арифметически (так, видимо, учили на физфаке), то ни о чем ничего сказать было нельзя. Арцимович был зол не менее других. Он не понимал, как такое может происходить физически и подозревал подвох. Неоклассика, в которой тороидальное поле заменяется на полоидальное (токовое), на мое несчастье, тогда еще не была явлена миру. До этого еще оставался год.

Масла в огонь подлил один из моих соавторов Н. Он, перепугавшись, встал и сделал официальное заявление, что к моим результатам не имеет никакого отношения. «Все они почему-то получены Сергеем после 7 вечера, когда я уже уходил с работы». Все истинно. «Клев», когда все начинает вдруг kleиться, обычно наступал в 9-10 вечера. Это неразгаданная загадка. Выступление Н было очень своеобразно. Одна разгневанная женщина предложила вообще запретить Мирнову экспериментировать на Т-3. Теперь все зависело от Арцимовича. Он оказался неожиданно миролюбив: «Знаете, если вас послушать, армии вообще не надо давать оружия — оно все равно попадет в руки неприятеля». Высшая мера в отношении меня была отменена.

После семинара в мою комнату вдруг явился сам Лев — событие неординарное. И также миролюбиво стал меня успокаивать: «Знаете, Сережа, все экспериментаторы и вы в том числе склонны завышать точность своих экспериментов. Удвойте количество точек. И тогда посмотрим снова». В точности моих экспериментов я был уверен — три года занимался этим. «Вы, Сережа, знаете ли, слишком самоуверенны. И это не только мое мнение». На счастье, у меня был готов отчет по диамагнитным измерениям. Правда, в одном экземпляре. «Вот — сказал я ему — почитайте, там все написано». Он холодно поблагодарил и ушел. А я остался удваивать точки.

Где-то через месяц я заволновался о судьбе отчета. Позвонил, пролепетав что-то о необходимости его сдачи официальным органам. «А, — сказал он мне, — я отдал его Милке (т.е. его дочери, Л.Л.Арцимович). Пусть поучится, как нужно работать. Заберите у нее. А, кстати, почему бы вам не защитить по нему кандидатскую диссертацию?» Я промямлил нечто — у меня были более амбициозные планы, удвоение точек было вполне в русле, а диссертация нет.

Размышляя задним числом о его реакции на те мои результаты, склоняюсь к мысли, что я затронул его болезненную тему — у него были какие-то соображения в пользу больших тороидальных магнитных полей, теоретики убеждали его в их правоте, он хотел даже строить такой токамак, поэтому смена убеждений могла произойти только в результате сильного внешнего воздействия.

Месяца через три я закончил работу и явился к нему со своими бумажками. Результаты моего кропотливого труда я представил в виде трех крюков, изображавших для трех разных тороидальных магнитных полей зависимость энергетического времени жизни от тока. Крюк получался из-за того, что снача-

ла оно росло почти линейно с током, потом насыщалось, а потом, как струя воды, обрушивалось вниз. Чем выше было тороидальное поле, тем выше был порог насыщения и крупнее крюк, но в области малых токов крюки сливались, что означало отсутствие прямой зависимости термоизоляции от тороидального магнитного поля.

Природа «загибов» была ясна, они совпадали с развитием винтовых неустойчивостей, с этим я разобрался, а вот отсутствие зависимости от B_t оставалось загадочным. Размышляя над моими крюками, Лев был очень мрачен. «Ладно, — сказал он, — будем считать, что энергетическое время жизни растет пропорционально $a^2 B_p$ ». Размерный фактор — a — он взял, сравнивая данные с Т-3 и результаты Разумовой с ТМ-3.

История со скейлингами для меня только начиналась. Мне было необходимо как-то разумно завершить многолетнюю работу на Т-3, иначе она «зависала». Завершить ее мог какой-то скейлинг, наиболее адекватно описывающий всю мою базу данных. Но какой? Самым оптимистичным выглядел «скейлинг Кириллова» ($a^2 n T^{3/2}$). Он давал много — за это и нравился многим. Мука выбора продолжалась бы до бесконечности, если бы меня не посетила мысль «из другой колоды». А что если рассмотреть Т-3 как некий будущий токамак, подлежащий расчету, выбрать в качестве опорной какую-нибудь надежную точку из нижней части существующей базы данных, отнормировать на нее скейлинги, подлежащие испытанию, и попытаться «предсказать» с их помощью, как вела бы себя новая гипотетическая база данных Т-3, если бы она подчинялась этим скейлингам. То есть инвертировать задачу. Результат превзошел ожидания. Скейлинг $a^2 B_p$, как полагалось правильному, дал почти точное совпадение расчета с реальной базой данных, в то время как «кирилловский» раскидал рас-



На отдыхе в Борке. 1968 г.

четные точки вплоть до тройки. Работа моя завершилась жирной и убедительной точкой. Камень упал с плеч.

Наутро, по возможности спокойно и незаинтересованно, я изложил Арцимовичу результаты моих изысканий. И кажется, привел его в некоторое волнение. Во всяком случае, он поступил нетипично — в уже написанный им и отпечатанный текст доклада на Новосибирскую конференцию МАГАТЭ (1968) ввел скейлинг $a^2 B_p$ и даже зависимость от плотности, после некоторых препирательств, в степени 0.3 ± 0.3 . Таким образом, скейлинг $a^2 B_p$ обрел гражданство. Через год в Дубне именно его Лев Андреевич представил Фюрту уже как «скейлинг Сережи Мирнова», хотя, если быть точным, сформулировал его он сам.

Скейлинг моего имени Фюрта огорчил — давал слишком мало. До цели оказывалось далеко. Видимо, с горя его назвали поначалу «консервативным законом Мирнова». Потом, когда оказалось, что он в точности предсказал энергетическое время для токамаков следующего поколения: нашего Т-10 и аме-

риканского PLT, его стали звать уже более уважительно — «Mirnov scaling», потом, заменив a на R , «Mirnov-like scaling», потом «GMS-scaling», что формально более правильно. Сегодня, когда известен «правильный» скейлинг (он стоил человечеству 10 млрд долл.), наш GMS сохранил разве что историческое значение. («Старое, но грозное оружие».) И здесь хочется сделать некое отступление отвлеченного характера.

Приведенная история показывает еще и как случайно «наклеиваются» персональные ярлыки, хотя научный процесс по сути своей коллективное взаимодействие. Оборачиваясь назад, следует признать, что и критики, и отрекшиеся соавторы внесли свой, иногда весьма конструктивный вклад в общее поступательное движение. Научный коллектив, осознает он это или нет, — единое тело, как пчелиный рой. В связи с юбилеем велик соблазн всех одарить или хотя бы перечислить. Но не мне «раздавать слонов». Воспользуюсь помощью Игоря Николаевича Головина — пламенного пионера термояда и знатока его истории.



Рис.2. «Список Головина».

Разбирая бумаги, оставшиеся после смерти отца, его сын Денис нашел среди них листок «Творцы советского термояда». С его разрешения я привожу его здесь (рис.2). Что важно для нас в этом списке сегодня в столетнюю годовщину Льва Андреевича? Прежде всего — что имя Арцимовича стоит сразу после Курчатова — кумира Головина. А ведь Игорь Николаевич и Лев Андреевич были далеко не близкими друзьями. Для меня, почитавшего обоих, были они, я бы сказал, почти взаимоперпендикулярными — проецируя другого на свою ось, получали величину весьма незначительную и порой кипятились по этому поводу. Перпендикулярными, но не противодействующими (т.е. врагами). Такие были люди.

Второе, важное для меня в этом «списке Головина»: его

половина — сотрудники отдела Арцимовича.

Возвращаясь к методам работы Арцимовича, должен сказать, что описанная история со скейлингом $a^2 B_p$ типична. Подобных было несколько. Все они развивались примерно по одной схеме: сначала скептическое отношение к идее опыта, потом жесткое отношение к используемой диагностике, критика полученных результатов вплоть до их отрицания, иногда «досмотр» всех деталей и, в благополучном случае, признание. Как-то я пожаловался одному своему старшему товарищу, тоже физику, но из другой области, на придирики академика. «Знаешь, — сказал он мне, — ты счастливый человек. Моими делами никто не интересуется».

Известна шутка Арцимовича: «Я считаю, что хороший научный сотрудник через год работы в моем отделе должен считать дураками все свое начальство, и меня в том числе. Правда, если он будет думать обо мне так и через пять лет, мне кажется, это будет уже несправедливо». В этой шутке большая доля правды, а именно признание того факта, что основная тяжесть работы в развивающейся науке ложится на плечи 20–30-летних молодых людей, которым не всегда полезно преклоняться перед авторитетами.

Как большинство активно действующих ученых, Лев Андреевич преподавал, заведовал кафедрой на физическом факультете МГУ, читал лекции студентам [5], проповедовал теорию: «если не читать лекций, забудешь физику». Однако лекций для молодых научных сотрудников своего отдела старался не читать, хотя некоторые пытались его на это спровоцировать. «Неужели лекции не надоели молодым людям за шесть лет учебы?». Действительно, полевых командиров следует учить в окопах, а не в лекционных залах. Что он и делал в процессе реальной работы иногда через головы непосредственных на-

чальников, к их законному недовольству. Одно из его получений: «Детки, если вы возьмесь проверять уравнения Максвелла, то через месяц выясните, что они справедливы только с точностью до десяти процентов, через год — с точностью до процента и так далее». Или еще: «Запомните, экспериментатор, в отличие от теоретика, ошибается только один раз, а потом ему уже не верят».

Сам Арцимович последовательно стремился к тому, чтобы каждый ключевой параметр плазмы измерялся не менее чем двумя способами. Это был принцип. В итоге к середине 60-х на токамаках была создана система взаимоперекрещивающихся диагностических методов, которая свела до минимума вероятность ошибок и фактически обеспечила прочность той системы физических фундаментальных представлений, которая к началу 70-х сложилась в отечественной токамачной науке и затем была подтверждена многочисленными опытами на зарубежных токамаках.

Наконец, о его отношении к взаимодействию теории и эксперимента. Многим в ОПИ была хорошо известна декларация Арцимовича: «Нет ничего хуже сомнительной теории, подтвержденной сомнительными экспериментальными данными». Широта кругозора позволяла ему быть арбитром между теоретиками и экспериментаторами. Последним давал добрые советы (1968): «При современном состоянии экспериментов, когда мы в основном работаем с несовершенной магнитной геометрией, с плазменными конфигурациями, для которых характерна неопределенность граничных условий и сильное взаимодействие со стенками, можно всегда в громадной картотеке неустойчивостей найти ту, которая нам больше других придется по вкусу. С таким же успехом вы отыщете желательный вам стабилизирующий механизм. А в общем — экспери-

ментатор должен относиться к теории, как к хорошенькой женщине: с благодарностью принимать то, что она ему дает, но не доверять ей безрассудно». Теоретикам же он даровал «принцип Арцимовича»: предсказания имели право отличаться от реальности на тройку, но не более.

Та же широта позволяла ему требовать от теоретиков решения задач, актуальных для эксперимента. Посмеиваясь, он говорил, что играет роль фильтра между теми и другими. Одним предлагает эксперименты, достойные интерпретации, другим — достойные теории. В публикациях очень жестко требовал строгого разделения твердо установленных фактов и рассуждений об их кажущейся природе — автору это давалось с трудом. Крайне не любил категорических утверждений — любил сослагательное наклонение: «если провалитесь, не так будут ругать, если окажитесь правы, сразу забудут, в каком наклонении писали». Впоследствии Головин гневно вымарывал мои «бы» из технических заданий — инженеры должны точно знать, что вы задумали и на что рассчитываете.

За работами теоретиков ОПИ Арцимович следил особенно зорко. Порою поверх головы их руководителя академика М.А.Леоновича. Тот иногда кипятился: «Теория не плохая девка, чтобы исполнять все прихоти начальника отдела». Тем не менее, когда исполняли, оказывались в выигрыше. Так произошло, в частности, с так называемым неоклассическим переносом частиц и энергии в токамаках. Эта история показательна как пример методологии Арцимовича в этой области.

Пытаясь объяснить обнаруженные в токамаках высокие потери тепла и частиц, превосходившие на два порядка классические, предложенные в начале пятидесятых А.Д.Сахаровым и И.Е.Таммом, Арцимович очень нехотя склонялся в пользу



Постановка задачи. В рабочем кабинете, начало 60-х годов.

Г.И.Будкера, постулировавшего тогда же, что реальное удержание плазмы в токамаке должно определяться не B_t , а B_p — на порядок меньшим. Попытка заинтересовать этой задачей теоретиков ОПИ успеха не имела — более интересным делом был анализ плазменных неустойчивостей, а потому проблем в классическом переносе они не видели.

Так продолжалось до тех пор, пока М.П.Петров и В.С.Муховатов не открыли на токамаке Т-3 существование популяции так называемых запертых частиц, также некогда предсказанных тогда еще не академиком Будкером. Арцимович сразу понял важность этого открытия. Чуть ли не за ночь он составил свой типичный двухстраничный меморандум, где описал предполагаемые свойства этих частиц, и разослал его всем заинтересованным сторонам. На этот раз высокая теория была привлечена в лице самого Б.Б.Кадомцева. Кадомцев блестяще (по более поздней оценке Сагдеева) справился с задачей, описав поведение всей популяции. По пути он обнаружил потенциальную возможность развития неустойчивости на запертых электронах и занялся ею. Арцимович между тем рассказал об открытии Буд-

керу, который, будучи уже директором Института ядерной физики СО АН, тут же возбудил своих лучших теоретиков Сагдеева и А.А.Галеева к анализу влияния дрейфовых движений запертых частиц на перенос плазмы в токамаке. Решив в кратчайший срок эту задачу, они нашли, что коэффициент переноса плазмы в токамаке в рамках классической модели парных столкновений почти точно описывается классическим же коэффициентом переноса с заменой B_t на B_p . Этот перенос, получивший название неоклассического, дал физике токамаков мощный поступательный импульс. Одним из его следствий стало, в частности, естественное объяснение скейлинга $a^2 B_p$. Позднее все теоретики, участвовавшие в создании неоклассики, получили Ленинскую премию.

Суммируя вкратце отношение Арцимовича к теории, можно было бы констатировать, что при всем своем резко критическом складе ума он по существу был человеком, глубоко верившим в то, что за видимым хаосом фактов скрыта единая, предельно простая физическая сущность, а потому различным возможным объяснениям предпочитал простейшее. Между ка-



С А.М.Прохоровым.

залось бы разрозненными фактами он всегда пытался искать связи — «не бывает, чтобы на одном месте оказалось две физики!». Конкретным проявлением этой веры было состояние непрерывного мыслительного поиска — черта, неотделимая от образа Арцимовича.

Трудно сказать, была ли система Арцимовича его личным открытием или аналогом чьего-то (например, Черчилля, которого он весьма почитал). Во всяком случае, Лев Андреевич твердо полагал, что она умрет вместе с ним и тогда «все развалится». В последнее не верилось. Пути улучшения организационной системы ОПИ представлялись очевидными.

Но вот Арцимович умер, и вместо «просвещенной монархии» (выражение А.П.Александрова) настала демократия, за которую некоторые (автор в их числе) ратовали. Через несколько лет от одного из нас я услышал мрачноватое признание: «Лев стоял как скала. Теперь мутный поток всех подхватил и понес».

Сегодня уже 36 лет как Лев Андреевич нет с нами. Оглядываясь на эти годы «с высоты прожитых лет», мы по общече-

ловеческой традиции пытаемся отыскать в них некий внутренний смысл или, по крайней мере, приписать им таковой.

Пожалуй, первым значительным событием этого отрезка жизни стал для всех нас стремительный прогресс токамаков, случившийся в последнюю четверть XX в. На графике (рис.3), приведенном из отчета Принстонской лаборатории физики плазмы, этот прогресс материализован в виде экспоненциально нарастающей мощности реакции синтеза, достигнутой на различных наших и зарубежных установках, в период с 1975 по 1995 г. Начиная с микроватт, с первых робких нейтронов на Т-3А в 1968 г., в природе которых некоторые еще сомневались, до уверенных милливатт на Т-4 (1971), после которых температуру плазмы уже не стеснялись измерять «по нейтронам» и, наконец, до 16 МВт на JET (Евросоюз) в 1997 г., т.е.

до уровня первых атомных электростанций — таким оказался путь токамаков. Четверть века — миг в астрономическом масштабе, черточка на шкале времени. Подозреваю, будущая история когда-нибудь небрежно зафиксирует, что во второй

половине XX века на Земле была осуществлена физическая управляемая термоядерная реакция синтеза, имея в виду начатую у нас экспоненту. Наиболее важным для нас обстоятельством оказалось то, что этот процесс втянул в термоядерные исследования тысячи людей в разных частях Земного шара. Общаясь с ними, я не раз с изумлением обнаруживал, что, будучи бесконечно далекими от нас и в пространстве и во времени, многие из них ощущают Арцимовича своим учителем — они читали его книгу «Управляемые термоядерные реакции» [6]. Традиционные конференции МАГАТЭ по ядерному синтезу многие годы открывались мемориальной лекцией памяти Арцимовича.

Пущенная тогда лавина далеко обогнала нас. Ключевая роль в ее пуске принадлежала Льву Андреевичу Арцимовичу. Что было бы, не будь его? Рано или поздно «процесс пошел бы». Вероятнее всего, лет на 5–10 позднее, начавшись где-нибудь

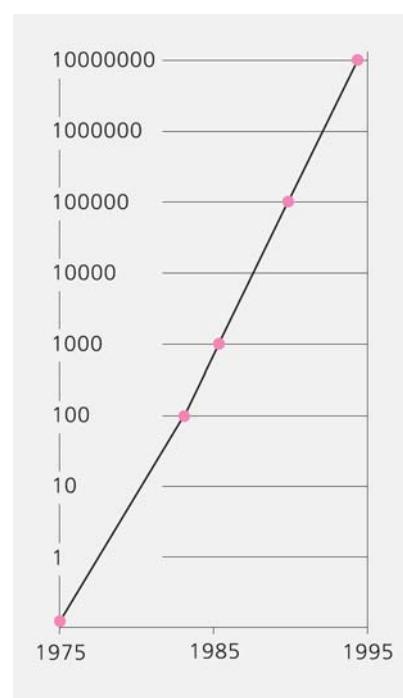


Рис.3. Динамика роста нейтронного выхода на токамаках (в ваттах) в 1975—1995 гг.

в Европе или Японии. Удивительно, но факт лидерства Арцимовича признается практически всеми. Несомненно, он был очень убедителен. «Под него» давали деньги и у нас, и еще более за рубежом. Секрет его убедительности был не только в ораторских приемах. Он был глубоко убежденным человеком. Существовал круг вопросов, где поколебать его было крайне трудно. Но возможно, с тяжелыми потерями с обеих сторон. В особых случаях дело приходилось улаживать письмами. С другой стороны, он явно чуялся экстремизма. Это порой раздражало энтузиастов (автора в их числе), но изливалось бальзамом на душу дающих деньги. И они давали.

Всякий юбилей поднимает еще и традиционно жгучий вопрос: как бы развивалась отечественная термоядерная программа, оставайся Арцимович и дальше у ее руля? Классики учат, что сослагательных наклонений в истории не бывает, но, тем не менее, точно известно: отдел Арцимовича ОПИ (теперь Институт ядерного синтеза) не рухнул бы в пучину освоения технической сверхпроводимости. Вероятнее всего, развивались бы так называемые «перстеньки» — предложенные им и Шафрановым в начале 70-х магнитные конфигурации, удлиненные по вертикали. Именно это направление, подхваченное за рубежом, привело к идее магнитного дивертора и в итоге — к ИТЭР. Некоторые помнят, что за месяц до смерти Арцимович закрыл в ОПИ работы по сверхпроводящему токамаку Т-7, предполагая их передачу Головину на ОГРУ (отдел Головина в ИАЭ им. И.В. Курчатова), либо в Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им. Д.В. Ефремова, где к ним имели определенный вкус и уже был накоплен некоторый практический опыт. Отдел Арцимовича должен был оставаться плазменным и физическим. Как подтвердил опыт

больших зарубежных токамаков (рис.3), для физики плазмы оказалось вполне достаточно теплых (т.е. обычных медных) обмоток. На них и была «сделана» физика ИТЭР, ставшая обоснованием проекта.

Но после смерти Арцимовича власть в ОПИ, хотя теоретически и перешла в руки академика Кадомцева, фактически же оказалась в руках серьезных людей, обеспечивавших при Льве Андреевиче то, что называется «научным бытом», которых Арцимович уравновешивал и которым технические усовершенствования вроде сверхпроводимости были милей и понятней плазменных умствований вроде диверторов. Дело пахло промышленным внедрением сверхпроводимости в народное хозяйство! Эти идеи были поняты сверху, и в ОПИ сначала было возобновлено сооружение небольшого ниобий-тианового Т-7 (потом его удалось удачно «внедрить» в Китай), а затем создан блестящий образец ниобий-оловянного творчества — большой Т-15, делающий несомненную честь его творцам — технологам и инженерам. Можно полагать, что им действительно удалось внести серьезный вклад в освоение отечественной сверхпроводимости.

Оставшиеся в ИЯС физики-плазменщики делают сегодня кое-какие работы, полезные для ИТЭР, на музейном Т-10 (1975 г.р.) — последнем токамаке, спроектированном еще при Арцимовиче. И мечтают в следующем десятилетии при наличии средств вписать в бездействующий Т-15 диверторную обмотку, которая позволила бы им получить удлиненную магнитную конфигурацию, подобную итэровской, и снова быть достойно представленными в рядах итэровского содружества. Как и предполагал Арцимович, путь до реактора оказался длиннее, чем представлялось энтузиастам сверхпроводимости в начале семидесятых. Однако не все

так печально. Существует мировая наука, там другие мерки.

Второе значащее событие, случившееся за эти годы, не менее важно, чем первое.

Если вернуться к выше-приведенному графику рис.3, можно было предположить, что токамак — реактор с мощностью энерговыделения 200—300 МВт — должен был бы явиться сам собой где-то в 2005—2010 гг. К сожалению, само собой не получилось. Подъем совпал с энергетическим кризисом. Кризис прошел, наступило насыщение. График объективно отражает уровень вклада средств в мировые термоядерные исследования. Как тут не вспомнить слова Арцимовича: «Она (эта задача) обязательно будет решена, когда термоядерная энергия будет совершенно необходима человечеству».

Но вот возник новый энергетический кризис и с ним новая вспышка интереса к термоядерной энергетике. 21 ноября 2006 г. в термоядерных исследованиях произошло историческое событие: на встрече в Париже министров семи стран — участников международного проекта Интернационального Термоядерного Экспериментального Реактора — ИТЭР (Европа, Индия, Китай, Россия, США, Южная Корея, Япония) — было подписано соглашение о начале финансирования совместного строительства этого реактора в ближайшее десятилетие во Франции, в Кадараше. Процесс создания международной кооперации, начатый по инициативе нашей страны в 1985 г., завершился в 2006 г. В ее рамках приступили к сооружению реактора.

ИТЭР — следующий шаг на графике рис.3 — токамак с квазистационарной (400 с) DT-реакцией синтеза мощностью 500 МВт. Его предполагаемый вид представлен на рис.4, в кружке рядом фигурка человека (ср. с фотографией на с. 5, где люди примерно такого же раз-

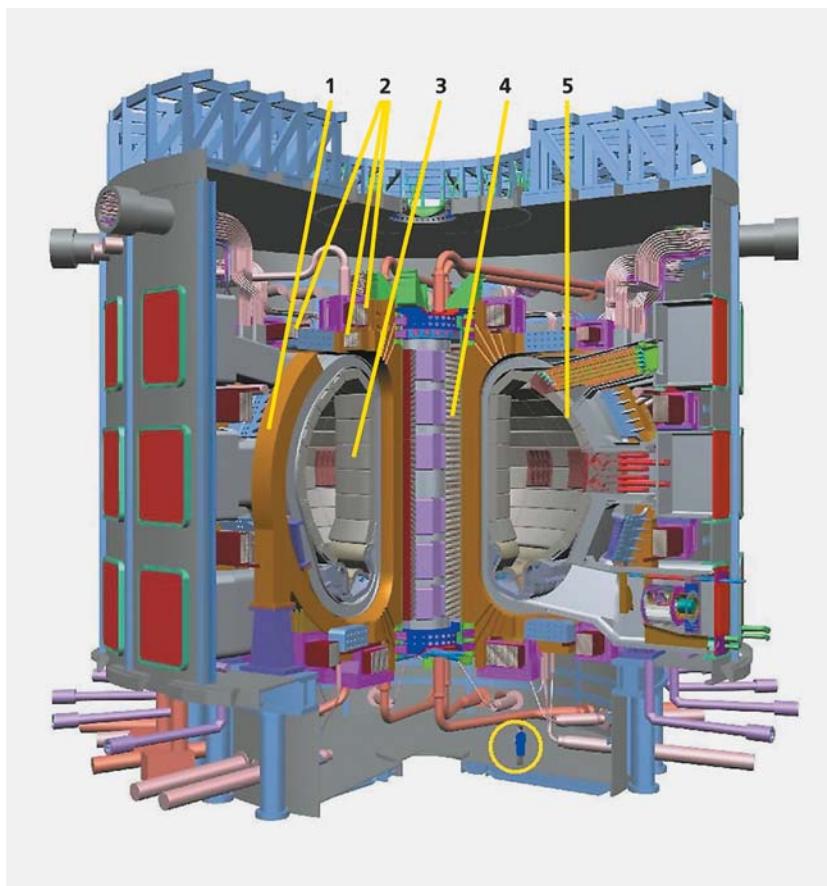


Рис.4. Проект ИТЭР (в разрезе). 1 — сверхпроводящие катушки, создающие тороидальное магнитное поле; 2 — сверхпроводящие обмотки, создающие полоидальное магнитное поле; 3 — плазменная камера; 4 — первичная обмотка трансформатора; 5 — бланкетные модули.

мера сняты на фоне токамака Т-4, самого большого тогда в мире). ИТЭР по оценкам будет стоить масштаба 10 млрд долл., которые некоторым образом делятся между странами-учредителями. Наша доля — 50 млн долл. в год, большая часть из которых должна быть истрачена в России (в том числе на сверхпроводники!).

Задачами ИТЭР должно стать изучение особенностей квазистационарного DT-горения, испытание основных функциональных узлов энергетического реактора, в том числе различных вариантов бланкетных модулей для воспроизведения триотия. Он — последняя ступень перед созданием демонстрационного промышленного реактора ДЕМО.

На чем основана наша уверенность, что запланированные параметры будут достигнуты?

Плотность плазмы в ИТЭР должна составить 10^{20} м^{-3} , что для токамаков не является рекордом (рекорд 10^{21} м^{-3}). Рекордным должно стать энергетическое время жизни — τ_E — 3–5 с вместо 1 с сегодня. Параметрический анализ баз данных, полученных на разных токамаках с магнитной геометрией, подобной ИТЭР, позволил вывести «скейлинг ИТЭР» для τ_E .

$$\tau_{E,98} = 0.0365 I_p^{0.97} B_t^{0.08} P_h^{-0.63} n^{0.41} \times M^{0.20} R^{1.93} (a/R)^{0.23} k^{0.67} \text{ с}$$

где $2a$ — поперечный размер, R (м) — большой радиус тора, I_p (МА) — ток, текущий по плазме, n (10^{19} м^{-3}) — плотность, B_t (Т) — тороидальное магнитное поле,

P_h (МВт) — мощность нагрева, M — масса ионов в протонных единицах и k — удлинение плазменного шнуря по вертикали.

Если сюда подставить параметры ИТЭР, получается около 4 с. Условие горения DT-смеси выполняется с двойным запасом. Масштаб отклонения разных токамаков с магнитной геометрией ИТЭР от этого конуса можно оценить, взглянув на рис.5. Он невелик. Ничуть не иронизируя, можно сказать, что этот «правильный» скейлинг для τ_E стоил человечеству около 10 млрд долл.

Округляя сложные компьютерные степени и пренебрегая степенями, меньшими 0.2, можно записать его в упрощенном и более понятном виде:

$$\tau_{E,98} \sim I_p n^{0.4} R^{1.7} a^{0.2} P_h^{-0.6} k^{0.7}.$$

Удивительно, но он оказался очень похож на закон подобия, представленный нами в далеком 1968 г. на Новосибирскую конференцию (P_h мало менялось на $T-3$):

$$\tau_{E,68} \sim B_p a^2 n^{1/3} \text{ или } \sim I_p n^{0.33} a, \text{ так как магнитное поле тока } B_p \sim I_p/a.$$

Подставив в это выражение сегодняшние параметры ИТЭР, тогдашний физик — (абсолютные значения τ_E составляли тогда 1–6 мс!) получил бы значение 12 с, всего лишь в три раза выше, чем аналогичный физик 30 годами позже. Экстраполяция 1968 г. представлена верхним лучом на рис.5. Таким образом, можно констатировать, что даже при экстраполяции по τ_E в 1000 раз токамак как физический объект демонстрирует окружающим удивительно стабильное подобие. Напрашивается аналогия с собаками: большие-маленькие, а все собаки. Экстраполяция от уровня сегодняшних токамаков до ИТЭР предполагает увеличение τ_E только в четыре раза, а потому кажется вполне надежной.

Какие проблемы могут встретиться на пути реализации ИТЭР и ДЕМО? Кажется, что прежде всего это будут проблемы первой стенки, контак-

тирующей с плазмой реактора, и примесей. Эффективным оружием в борьбе с ними оказалось снижение ядерного заряда (Z) конструкционных материалов первой стенки. Замечу, что идея использовать для этого графит впервые принадлежала Арцимовичу. Первая диафрагма из графита с примесью бора (для подавления химического распыления) была успешно испытана нами на Т-4, правда, уже после смерти Арцимовича. Сегодня первую стенку крупных токамаков выкладывают графитовыми плитками. Для подавления химического распыления их покрывают с помощью газового разряда боросодержащими пленками. Исключение составляет JET, где графит ($Z = 6$) частично заменен на бериллий ($Z = 4$).

Недавно в записной книжке времен Т-4 я обнаружил свою возмущенную запись с какой-то оперативки: «Арцимович предлагает в качестве материала диафрагмы окись бериллия!!!». Материал, как известно, ядовитый. Это — начало семидесятых. В сегодняшнем ИТЭР принята графит-бериллиевая технология. К сожалению, захват трития углеродной пылью не позволит применить эту технику для DEMO. Обсуждается переход на чисто вольфрамовую стенку. Альтернативой вольфраму мог бы стать жидкий литий. Прогрев до 500°C освобождает его от захваченного трития. Первые опыты с инъекцией крупинок лития ($Z = 3$) в американский токамак-реактор TFTR (1995) оказались очень успешны. Но неминуемое в стационаре накопление лития и затем его разбрзгивание, казалось

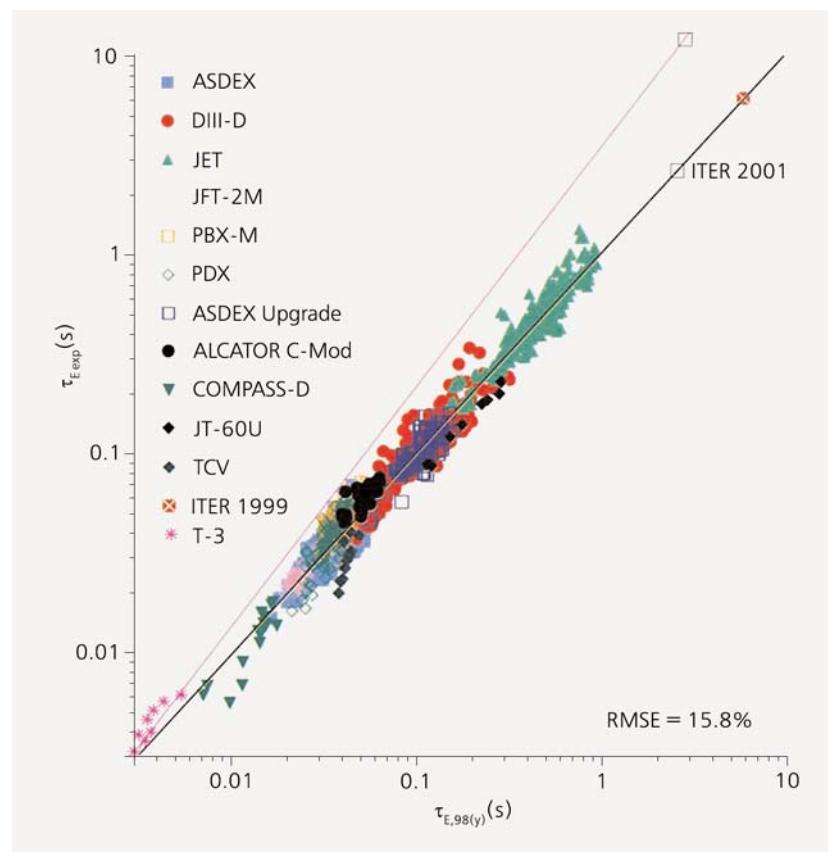


Рис.5. Экспериментально найденные значения τ_E и экстраполяции $\tau_{E,98}$ и $\tau_{E,68}$.

бы, лишают это направление каких-либо перспектив. На помощь токамачникам пришли наши космические инженеры, предложившие (1996) использовать не свободный жидкий литий, а заполненный литием капиллярный материал, например из того же вольфрама по аналогии с фитилем свечи («горит, но не горает»). Опыты, начатые на небольшом российском токамаке Т-11М (ТРИНИТИ, 1998), продемонстрировали исключительную эффективность такого использования лития. Сегодня литиевая техноло-

гия уверенно распространяется по свету. Уже 5 токамаков (три за рубежом и два у нас) успешно работают с литием. Многие полагают, что литиевый подход сулит большие перспективы. Думаю, что такое решение было бы вполне в «стиле Арцимовича». Странно, но каким-то «духовным» образом он продолжает оставаться рядом.

Говорят, Бор долгое время после смерти Эйнштейна продолжал вслух рассуждать с ним и спорить, как с живым. Очевидно, это и есть то самое, реальное бессмертие ученого. ■

Литература

1. Мирнов С.В. Токамаки: триумф или поражение? // Природа. 1999. № 11. С. 10–22; № 12. С. 26–37.
2. Голубчиков Л.Г. ИТЭР — решающий шаг. М., 2004.
3. Мирнов С.В., Разумова К.А. Академик Л.А.Арцимович — каким мы его помним // Природа. 1975. № 2. С. 34–44.
4. Арцимович Л.А. // Письма в ЖЭТФ. 1970. Т. 11. С. 449.
5. Арцимович Л.А. Что каждый физик должен знать о плазме. М., 1976.
6. Арцимович Л.А. Управляемые термоядерные реакции. М., 1961.

Как построили Большой телескоп

В.А.Минин,

доктор физико-математических наук

Российский фонд фундаментальных исследований

Ю.Н.Ефремов,

доктор физико-математических наук

Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга МГУ им.М.В.Ломоносова

Член-корреспондент РАН Ю.Ю.Балега

Специальная астрофизическая обсерватория РАН

Лев Андреевич Арцимович возглавлял физику нашей страны в течение славных 17 лет — с 1957 г., когда Отделение общей и технической физики выделилось из состава бывшего Отделения физико-математических наук АН СССР. В 1973 г., когда Лев Андреевич ушел из жизни, оно именовалось уже «Отделение общей физики и астрономии». То, что в название Отделения было введено слово «астрономия» — заслуга в первую очередь Льва Андреевича. Ведь именно он был тем из руководителей Академии, который осознал особую перспективность новой астрономической науки. Еще в 1964 г., выступая на заседании Президиума АН СССР, он говорил о том, что наши потомки будут удивляться странной пропорции, в которой мы разделили усилия, направленные на исследования огромного звездного мира и искусственного мира элементарных взаимодействий. Широта кругозора позволила ему подняться над интересами своей собственной научной специальности, что встречается не так уж часто.

Последняя его статья так и называлась: «Будущее принадлежит астрофизике» (Природа. 1972. №9. С.2—4). В ней научная точность формулировок удивительно сочетается с образнос-

© Минин В.А., Ефремов Ю.Н.,
Балега Ю.Ю., 2009

тью, высокой увлеченностью и романтическим настроем. Вот цитаты: «Вселенная купается в холодных волнах реликтового излучения», «Взбитая пена галактик»... Право же, сразу и не поймешь, что это — статья физика Льва Арцимовича или романтические строки поэта Максимилиана Волошина. Но в той же статье было и четкое научное предсказание: «Началась новая эра в развитии науки, в которой астрофизике будет принадлежать ключевое положение». Приход этой эры стал очевиден несколько позже — в конце XX в., когда физики активно включились в разработку астрономических проблем, а затраты на телескопы приблизились к затратам на сверхскоростные. Лев Андреевич еще полвека назад предвидел это и на своем посту сделал все, чтобы наша астрономия вышла на передовой мировой уровень. Прежде всего это было создание под его верховным руководством Специальной астрофизической обсерватории с крупнейшим тогда в мире 6-метровым телескопом БТА (Большой телескоп азимутальный).

До 1991 г. этот телескоп оставался величайшим на планете; его зеркало диаметром в 6 м собирает почти в полтора раза больше света, чем предыдущий чемпион — 5-метровый рефлектор на Голубиной горе (Маунт Паломар) в Калифорнии, который вступил в строй в 1949 г.



Л.А.Арцимович — автор журнала «Природа» в 60—70-х годах.

Создание БТА было подвигом отечественной промышленности и науки, интегральным доказательством их всеобъемлющей дееспособности, как и успехи в космосе. Конструкции телескопа весом в сотни тонн должны были соответствовать чертежам с точностью до сотых долей миллиметра, а геометрия поверхности зеркала отвечать расчетной с точностью до десяти тысячной доли миллиметра (порядка четверти длины световой волны). Все проблемы были преодолены, и огромный прибор — первый в мире крупный оптический телескоп на азимутальной монтировке* — успеш-

но заработал. Оптическая схема телескопа была традиционной, но его альт-азимутальная монтировка опередила эпоху на 20 лет.

Постановление «О строительстве Специальной астрофизической обсерватории и сооружении для нее Большого оптического телескопа с диаметром главного зеркала в 6 метров» Совет Министров СССР принял 25 марта 1960 г. Головным заводом было определено Ленинградское оптико-механическое объединение (ЛОМО) им. В.И.Ленина. Предварительная стоимость телескопа была оценена в 25.8 млн руб. (к концу строительства она составила более 30 млн руб.); его главным конструктором был назначен Б.К.Иоаннисиани.

16 декабря того же 1960 г. Президиум АН СССР постановил, что Главная астрономическая обсерватория (ГАО) АН СССР должна продолжить обследовать окрестности г. Кисловодска и станицы Зеленчукской и представить сведения об окончательно выбранном месте к 1 октября 1961 г. Поиски места с хорошим астроклиматом начались еще в 1959 г.; 16 экспедиций работали в Восточной Сибири, Средней Азии, на Кавказе и в Крыму. К 1961 г. в качестве места строительства рассматривался лишь район станицы Зеленчукская (Карачаево-Черкесия).

Уже тогда в нашей стране были специалисты, которые понимали, что лучшие в СССР по качеству изображений и количеству ясных ночей места находятся в горах Таджикистана и Узбекистана. Но сейчас эти территории относятся к другим государствам, и все находящиеся на них объекты, принадлежавшие к общесоюзным минис-

терствам и ведомствам, перешли в собственность этих государств. Например, построенный в ЛОМО для Государственного астрономического института им. П.К.Штернберга МГУ прекрасный 1.5-метровый телескоп отошел к Узбекистану. Такая же судьба могла постигнуть и БТА, будь он установлен в Средней Азии. Имеются недокументированные сведения, что Председатель Совета Министров СССР А.Н.Косыгин настаивал на том, чтобы БТА строился на территории РСФСР. Что это было — экономические соображения или политическое предвидение?..

Срок ввода БТА в эксплуатацию был назначен на июль 1969 г.; к 1967 г. телескоп был изготовлен в ЛОМО, и в июле 1968 г. его конструкции были транспортированы к месту установки, но только в сентябре 1969 г. начался их монтаж в башне. Ее строительство должно было по плану окончиться в декабре 1967 г., однако она была сдана в эксплуатацию лишь 27 января 1972 г. Тем не менее телескоп был смонтирован в башне к декабрю 1970 г. Зеркала пришлось ждать еще долгие четыре года.

Л.А.Арцимович пристально следил за ходом строительства; именно он принимал окончательное решение, будучи «последней инстанцией». Он добивался максимального ускорения строительства — и оно началось на Северном Кавказе на склоне горы Пастухова (между станицей Зеленчукской и пос. Архыз) летом 1965 г.; башня БТА была заложена 18 марта 1966 г. Процесс стал необратимым. Лев Андреевич неустанно стимулировал работу и неоднократно посещал впечатляющую стройку. Он сравнивал возводимую башню и хаос огромных стальных конструкций рядом с ней с «гибридом Колизея и железнодорожной катастрофы».

В течение ряда лет на строительство башни, дороги к ней и самого БТА уходило около четверти немалых тогда расхо-

дов АН СССР. Здороваясь с астрономами, президент АН СССР М.В.Келдыш приговаривал: «дорогие вы мои, дорогие!..».

Ныне построено много телескопов, превосходящих БТА по самому важному параметру — диаметру главного зеркала, но по его фокусному расстоянию (24 м) и, следовательно, по диаметру башни (45 м) его уже никто не превзойдет. Это диктовалось выбором светосилы (отношение диаметра к фокусному расстоянию) 1:4. Чем больше светосила, тем труднее добиться правильной фигуры зеркала; все помнили проблемы, возникшие в США при изготовлении 5-метрового зеркала со светосилой 1:3.3.

Другой гигантский инструмент САО — радиотелескоп РАТАН-600 с кольцевой антенной переменного профиля диаметром 600 м — был сооружен вблизи станицы Зеленчукская в соответствии с распоряжением Президиума АН СССР №53-1366 от 3 июля 1965 г. Первая очередь антенны (северный сектор) была введена в строй в 1974 г. Антenna состоит из 900 щитов высотой 8—10 м. Для различных режимов наблюдений в разных секторах антенны используются облучатели, которые передвигаются внутри кольца радиотелескопа по рельсам — как небольшие поезда.

Огромное зеркало БТА было нелегко изготовить. Оно отливалось из подмосковных квартцевых песков в Лыткарине. Подготовка заняла три года, затем была изготовлена первая пробная отливка, которую охлаждали с максимально допустимой скоростью в соответствии с технологией — девять месяцев. Она вышла из отжига расколотой пополам. Вторую заготовку охлаждали уже два года. Вес ее составлял 65 т, для превращения ее поверхности в сферическую (радиус сферы 48 м) было удалено 23 т стекла (пирекса) и израсходовано 12 тыс. карат алмаза; на эту грубую обработку ушло почти полтора года.

* Предшествующие крупные телескопы следили за движением звезд, вращаясь вокруг одной оси, параллельной оси вращения Земли. У БТА вращение осуществлялось вокруг двух осей — вертикальной и горизонтальной. Это заметно снизило вес телескопа, но сделало необходимым электронное управление его движением.



Стройплощадка БТА. Июль 1966 г.



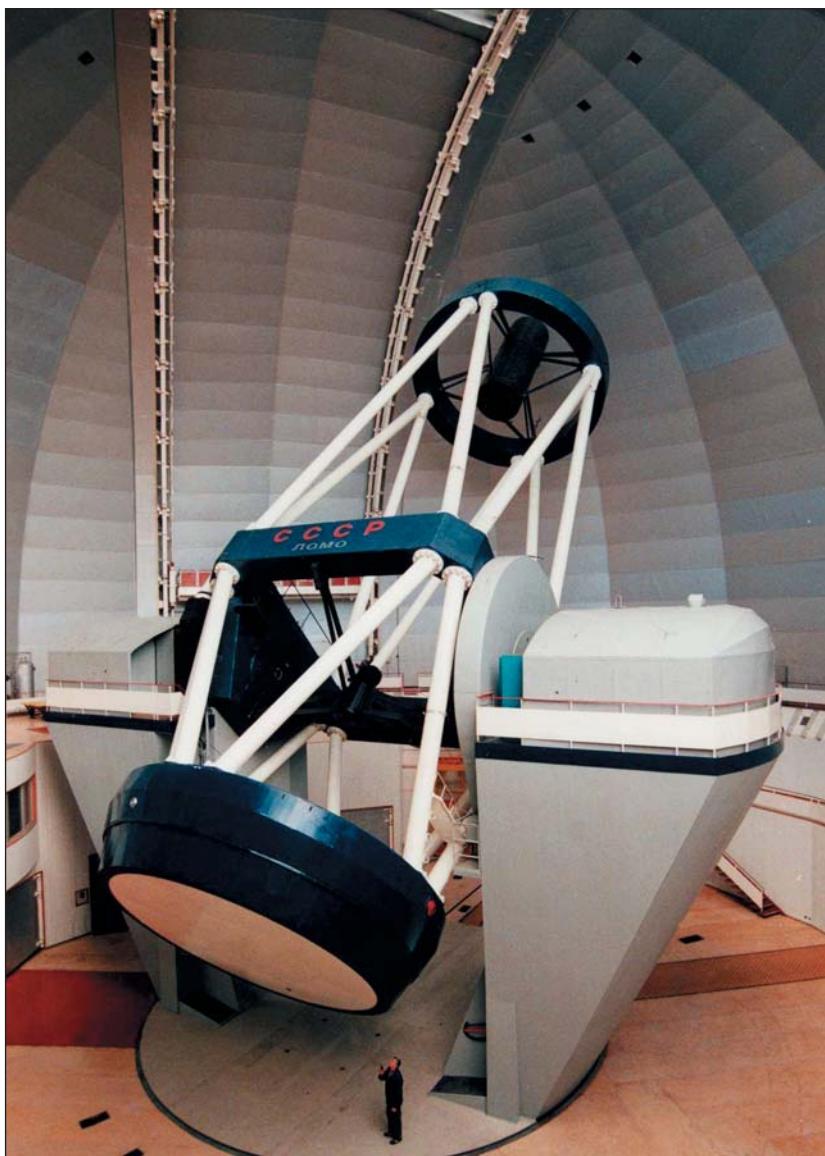
Инспекция завершена. Перед отлетом. Июль 1966 г.



Л.А.Арцимович и М.В.Келдыш прилетели в ст.Зеленчукскую. Июнь 1969 г.



На стройплощадке РАТАН-600 с Ю.Н.Парийским и В.А.Мининым. Июнь 1969 г.



Большой телескоп азимутальный.

4 сентября 1968 г. заготовка была принята специальной комиссией. Вскоре началась ее шлифовка и полировка; по технологическому графику на этот процесс требовалось 27 месяцев. Установка для алюминирования монтировалась в куполе башни БТА. Но дела в Лыткарине шли не очень хорошо; лишь к 1974 г. был получен относительно приемлемый результат — 98% падающего на зеркало света концентрировалось в кружке с диаметром в 2''. Сотрудники обсерватории активно участвовали в многократно проводив-

шихся определениях качества полируемого зеркала.

В августе 1974 г. зеркало было доставлено в САО, в сентябре 1975 г. оно было алюминировано, 4 декабря 1975 г. — установлено на телескопе, и в конце 1975 г. были получены первые снимки неба. В 1979 г. главное зеркало было заменено на новое, 90% света оно концентрирует в кружке диаметром 0.8''. Это меньше, чем обычные видимые угловые размеры звезд над башней БТА, на которые влияет турбулентность атмосферы. Старое зеркало, главным дефек-

том которого было наличие двух плохих участков, долго лежало рядом с башней, а в 2007 г. вывезено обратно в Лыткарине для перешлифовки. Мечты о новом зеркале из ситалла остались неосуществленными. Однако еще 10 лет БТА оставался крупнейшим в мире телескопом. Для всех последующих (более крупных) телескопов в разных странах использована альт-азимутальная монтировка, примененная впервые именно в БТА.

Бытовавшее на Западе мнение о неудачности нашего телескопа стало следствием его относительно малой продуктивности в первые годы работы. Она объяснялась в основном двумя обстоятельствами — отсутствием в то время в нашей стране современных светоприемников и неважным астроклиматом в месте установки: количество ясных ночей и качество изображений оставляли желать лучшего. Однако ныне на телескопе имеются разработанные сотрудниками САО прекрасные спектральные приборы, для которых качество изображений не критично, и лишь с появлением этих приборов и современных светоприемников Обсерватория нашла свою экологическую нишу (изучение кинематики, физики и химического состава звезд и галактик), в которой возможности БТА используются оптимальным образом.

Расположение жилья и лабораторий в станице, а затем в ущелье реки Б.Зеленчук, вдали от цивилизации, создавало немалые трудности, особенно в первые годы. Но, с другой стороны, то, что большой коллектив находился рядом с инструментами, сыграло, на наш взгляд, важнейшую роль при формировании обсерватории, а в дальнейшем — и для ее сохранения и развития. Нетрудно представить, какой была бы судьба БТА и РАТАН-600 в кризисные 90-е годы, если бы рядом с телескопом не жили и не трудились сотни научных работников, инженеров, техников

и рабочих САО. И кто знает, не окажется ли лет через 5–10 жизнь в таких полностью обеспеченных поселках посреди нетронутой природы более престижной и привлекательной, чем в перенаселенных мегаполисах. В самой обсерватории выросло уже два поколения астрономов-энтузиастов.

Удаленность САО от других научных центров стимулировала активные работы Обсерватории в области телекоммуникаций, цифровых сетей и Интернета. Обсерватория одной из первых в стране обеспечила себе выход в мировые сети через спутниковые каналы, организовала внутреннюю сеть, проложила волоконные линии связи на десятки километров для подключения телескопов. В ближайшие годы процедуры наблюдений на телескопах будут автоматизированы полностью, но значительная часть этих наблюдений уже сейчас проводится дистанционно — из обычных кабинетов и лабораторий, расположенных на нижней научной площадке, находящейся на удалении в 20 км и на 1000 м ниже БТА.

Доктор физико-математических наук И.М.Копылов (1928–2000), назначенный директором САО в ноябре 1965 г., сделал все от него зависящее, чтобы 6-метровый телескоп работал хорошо, чтобы обсерватория стала астрофизическим центром СССР, чтобы собрать коллектив астрономов-энтузиастов. Он отдавал этому все свои силы, пожертвовав собой как исследователь, и добился успеха. Обсерватория, вооруженная гигантским телескопом, успешно работает, ее руководство и коллектив преодолели внешние и внутренние проблемы, в том числе — и особенно трудный период 90-х годов. В 1985 г. Копылов передал пост директора доктору физико-математических наук В.Л.Афанасьеву. Ныне САО возглавляет член-корреспондент РАН Ю.Ю.Балега.

Обсерватория функционирует как образцовый центр



Башня БТА.

коллективного пользования. Каждый час наблюдательного времени двух гигантских инструментов — БТА и РАТАН-600 — распределяется специальным программным комитетом строго на основании детального анализа и сопоставления заявок российских и зарубежных астрономов из различных обсерваторий.

Ныне в САО есть и хорошие системы высокого класса на основе приборов с зарядовой связью, и первоклассные хитроумные приборы, созданные в самой обсерватории и не уступа-

ющие по характеристикам мировому уровню, вроде, например, мультизрачкового спектрографа, позволяющего вести одновременное наблюдение и всестороннее изучение сотен объектов в поле 15×16 угловых секунд. Детальная спектроскопия и магнитометрия необычных звезд, исследования активных ядер галактик, поля скоростей в них и в целых галактиках, изучение их распределения в галактиках, исследования карликовых галактик и ряд других задач, с успехом решаемых на БТА, относятся к самым актуальным



Кратер на Луне, названный в честь Арцимовича.

в современной астрофизике. За истекшие годы коллектив САО преодолел (или научился обходить) проблемы, связанные с посредственным астроклиматом, так что телескоп, занимающий ныне лишь скромное 17-е место в мире по диаметру зеркала, успешно конкурирует со своими сверхгигантскими собратьями. По цитируемости коллектику сотрудников САО РАН принадлежит ныне первое место среди российских астрономических учреждений. Это единственная наша обсерватория, имеющая возможность —

наперекор всему — работать на мировом уровне. И огромная заслуга в этом принадлежит Льву Андреевичу Арцимовичу. Гигантская башня БТА возвышается над ущельем Зеленчука как лучший памятник великому физику, вошедший в ряд наиболее выдающихся сооружений: по игре случая диаметр купола БТА примерно равен диаметру двух других величайших куполов — Пантеона (I в. н.э.) и собора Святого Петра в Риме (XVI в.). Есть и другой замечательный памятник Льву Андреевичу: именем Арцимовича назван маленький

(8 км), но глубокий кратер на видимой стороне и в самом красивом месте Луны — в Море Дождей. Координаты кратера: широта 27.6N, долгота —36.6W. Название утверждено Международным астрономическим союзом (IAU) в 1973 г.

Наблюдения на больших телескопах на рубеже XX и XXI вв. привели к потрясающему выводу о том, что человечество до сих пор пребывает в глубоком неведении об окружающем нас мире — лишь 4% вещества (плотности энергии) Вселенной дано нам в барионах, а остальное ее содержимое открывается лишь косвенным образом — только в астрономических наблюдениях. Около 21% составляет «темная холодная материя» неизвестной природы, обнаруживаемая лишь по ее гравитации, и около 75% — «темная энергия», соответствующая скорее всего космологическому (физическому) вакууму. Астрономические результаты инициировали революцию в науке, сравнимую с появлением теории относительности и квантовой механики. Многие выдающиеся физики обратились к астрономической тематике. Самые яркие примеры — это академики Я.Б.Зельдович и А.Д.Сахаров.

«Принадлежащее астрофизике будущее» пришло. Предвидение Льва Андреевича Арцимовича было пророческим. ■

Род Арцимовичей

Н.Н.Взоров

Московский инженерно-физический институт

Масштаб личности моего дяди Льва Андреевича Арцимовича сыграл решающую роль в появлении интереса к истории семьи. Еще в довоенном детстве я рассматривал фотографии предков в черных тяжелых альбомах с позолоченными замками. Сначала появилось желание систематизировать родственные связи и нарисовать родословное древо. Позже, после ухода из жизни старшего поколения, я даже проводил небольшое историческое исследование. А в настоящее время важным долгом представляется необходимость передать в будущее некоторые факты семейной хроники, которыми, по-видимому, располагаю только я.

Среди фотографий в альбоме бережно сохранялись две открытки. Они были отправлены в Москву из Ленинграда отцом Льва Андреевича Андреем Михайловичем в 1931 г. своей сестре — моей бабушке Нине Михайловне Катерли (Арцимович). В открытке от 9 октября 1931 г. Андрей Михайлович спрашивает о возможности остановиться у сестры по приезде в Москву. Содержание другой, от 13 октября 1931 г., с изображением Трубецкого бастиона Петропавловской крепости, также для посторонних глаз незначительно. Но адрес имеет смысл привести полностью.

«Москва 10. Ярославский вокзал. Служебный жилой дом №44. Нине Михайловне Катерли».

Обозначение «служебный жилой дом» относилось к котте-

дже, расположенному вблизи вокзала между Ярославской и Николаевской железными дорогами. Дом представлял собой типичную постройку, отражающую дух эпохи железнодорожного бума, эпохи магнатов фон Мекк. Сооружение с анфиладами просторных комнат, с широкими окнами и высокими потолками, со всеми коммунальными удобствами, хотя отапливался дом с помощью голландских изразцовых печей. У коттеджа была веранда с витражами, на заднем дворе находился погреб-ледник, а перед домом сад с клумбами, кустами сирени и дорожками из каменных плит.

Но этой идиллии уже не существовало к тому времени, когда в 1924 г. семья Катерли переехала в Москву из Иваново-Вознесенска и получила две комнаты в одной из трех коммунальных квартир, на которые советская власть разделила коттедж. В служебных железнодорожных жилых домах такого же типа Катерли приходилось жить и раньше. Но в тех случаях у них была либо отдельная квартира, как на станции Шарья, куда в начале XX в. молодой врач Иосиф Константинович Катерли с женой и дочерью прибыл после окончания Московского университета на строительство Вологдо-Вятского участка Транссиба, либо был свой дом, как в Иваново-Вознесенске, куда семья переехала в 1913 г., чтобы дать образование детям.

А в 1931 г., когда писались эти открытки, Катерли жили на два дома, поскольку дед вернулся на работу в Шарью, где начи-

нал свою карьеру как основоположник местной медицины и где завершал ее как главный хирург госпиталя много позже, в 1945-м. Теперь там есть улица имени доктора Катерли. В Москве же оставались бабушка, дядя Володя, моя мать Нина Иосифовна (Нуся) и мой отец Николай Михайлович Взоров. Все они упоминаются в открытке Андрея Михайловича, который обычно и останавливался у своей сестры, приезжая в Москву. В этом доме бывал и Лев Андреевич.

Трудно сомневаться в том, что Андрей Михайлович задумался о судьбе родителей, осматривая осенью 1931 г. казематы Петропавловской крепости. Не случайно Нина Михайловна бережно сохраняла эти две открытки.

Основатель рода Арцимовичей в России дед Льва Андреевича Михаил Иосифович (Jozefowich) был сослан в Сибирь на поселение как участник польского восстания 1863 г., которое было жестоко подавлено М.Н.Муравьевым. В своих репрессиях против мятежников Муравьев прибегал к мере, которую сам называл «выходящую из обычновенного ряда». К сожжению целых деревень и шляхетских околиц, к ссылке в Сибирь на поселение их жителей, всех до одного, с женами и детьми. И при этом совершилось множество казней.

Что касается бабушки Льва Андреевича, Елены Игнатьевны Яхимович, то внуки говорили о ней: наша бабушка была сибирячкой. Возможно, Елена Игнатьевна была дочерью поляков, сосланных в Сибирь после вос-



Михаил Иосифович Арцимович,
дед Льва Андреевича.

стания в Варшаве в 1830 г. От брака Михаила Иосифовича и Елены Игнатьевны родились три сына и две дочери: Иосиф, Нина (1878), Андрей (1880), Вячеслав и Евгения. Есть свидетельства, что семья Арцимовичей сначала должна была жить в Тобольске и лишь позднее смогла переехать в Смоленск и Москву. Нет никаких сведений, что Арцимовичи поддерживали какую-либо связь с родиной предков. Образ жизни в России стал естественным. Известно, что Елена Игнатьевна и Нина Михайловна были православного вероисповедания.

Казалось, в Польше у Михаила Арцимовича не осталось ни братьев, ни сестер. Это будто бы подтвердилось после поездки Льва Андреевича в Варшаву в 1972 г. Но некоторое время спустя в Москву пришло письмо от дальней родственницы. Это была пани Нина Каменска-Киевска. Через 110 лет после ссылки в Сибирь Михаила Иосифовича возродилась связь между семьей Арцимовичей и их польскими родственниками. Племянница пани Нины побывала в Москве. И выяснилось, что дед Льва Андреевича был единственным сыном Иосифа Арцимовича

(1814–1866) и Антонины Абрамович (ум. 1866). А у прадеда Иосифа Иосифовича была единственная родная сестра Юлия, от которой пошла женская ветвь рода Арцимовичей в Польше, к которой и принадлежала Нина Каменска-Киевска. Таким образом, в настоящее время сведения о генеалогическом древе начинаются со старейшины рода прапрадеда Льва Андреевича Иосифа, так как хранившиеся у Андрея Михайловича семейные архивы погибли в Минске во время войны, а в них могло быть больше информации.

Михаил Иосифович умер рано, в 90-х годах XIX в., в Москве. Со слов моей матери, он был управляющим фирмы «БАРИ». Уже после смерти отца его дочери закончили Институт благородных девиц в Москве. Старший сын Иосиф возглавлял компанию по водоснабжению – столь же модное направление отрасли коммунального хозяйства в начале XX в., как в наше время распространение мобильной связи. После смерти мужа Елена Игнатьевна жила в семье старшего сына, а затем после смерти Иосифа Михайловича в семье своей дочери Нины Михайловны Катерли в Иваново-Вознесенске. Поэтому многие фотографии родственников, относящиеся к дореволюционной эпохе, оказались в тех семейных альбомах, которые я рассматривал в детстве.

Младший брат Андрея Михайловича Вячеслав, окончив медицинский факультет и будучи военным врачом во время Первой мировой войны, умирает на фронте от сердечного приступа.

А раньше, 1 июля 1907 г., в записной книжке №1 Льва Николаевича Толстого появляется запись «Уехал Душан. Приехал Арцимович».

Врач семейства Л.Н.Толстого Душан Петрович Маковицкий в «Яснополянских Записках» пишет: «1 июля я уехал на родину из Ясной к отцу, родным, друзьям». Душан Петрович отправился на родину в Венгрию. Вячеслав Михайлович приехал к Тол-



Елена Игнатьевна Яхимович,
бабушка Льва Андреевича.

стым заменить Маковицкого на время его отсутствия.

Время с 1 июля по 1 августа 1907 г., проведенное нашим предком, родным братом отца Льва Андреевича, в Ясной Поляне, подвигнуло меня на историческое исследование. Несколько дней в библиотеке им. Ленина просматривал дневники, записные книжки Л.Н.Толстого, воспоминания Д.П.Маковицкого, дневники С.А.Толстой того периода, чтобы представить картину пребывания Вячеслава Михайловича у Толстых. На самом деле все началось с рассказа Толстого «За что?». В основе сюжета трагическая судьба семьи польского патриота времен восстания 30-х годов: ссылка на окраину России, попытка любящей жены-польки вывезти в ящике-гробу мужа из места ссылки, раскрытая казаком-конвоиром, и новая ссылка на вечное поселение. Этот рассказ, изданный в виде отдельной книги, с дарственной надписью «Вячеславу Михайловичу Арцимовичу от Льва Николаевича Толстого» я увидел в доме у Галины Вячеславовны Альбовой (Арцимович) – дочери Вячеслава Михайловича. Очевидно, Толстой был не только знаком с доктором Арцимовичем, но имел

представление и о судьбе его родителей в России. Но это уже другой сюжет.

Ответ на естественный вопрос, как Вячеслав Михайлович выполнил свой врачебный долг в Ясной Поляне, кажется, был получен. Сначала записи настораживали:

«3 июля. Заболел изжогой и животом.

4 июля. Нездоровится. Но по-тому ситуация стала улучшаться:

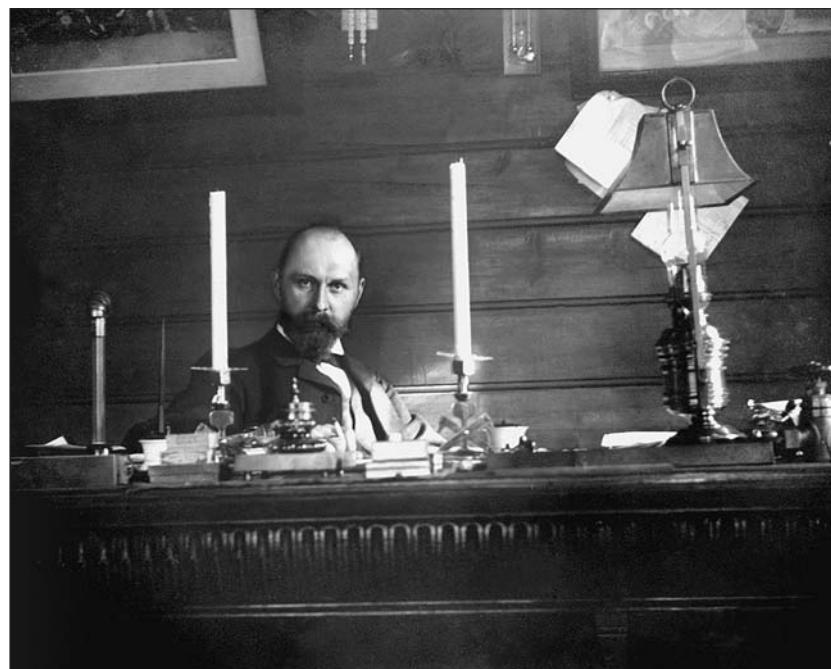
9 июля. Встал бодрее.

10 июля. Здоровье лучше».

И совсем ободряющее звучит запись Д.П.Маковицкого:

«2 августа. Вчера вернулся из дома в Ясную. Этот раз было видно, что были мне рады Лев Николаевич и Софья Андреевна, и Александра Львовна. Льва Николаевича застал здоровым, бодрым, веселым».

Произошло удивительное совпадение места (Ясная Поляна) и времени (лето 1907 г.) для событий, как относящихся к пребыванию Вячеслава Михайловича у Толстых, так и происходящих, возможно, с однофамильцами Арцимовичей, принадлежащими к другому роду. В дневниках Толстого часто упоминается тульский губернатор, сын русского государственного деятеля Виктора Антоновича Арцимовича, Михаил Арцимович. И это, в частности, связано с драматическими событиями, вызванными увлечением сына писателя Андрея Львовича женой тульского губернатора Екатериной Васильевной Арцимович (Горяиновой). Толстой крайне тяжело переживал это увлечение и затем вторую женитьбу своего сына. А Софья Андреевна в дневнике писала о Е.В.Толстой: «Ее не пойму: как можно быть счастливой, бросив прекрасного мужа и 6-х детей». Все дети от первого брака Е.В.Горяиновой остались с М.В.Арцимовичем. Среди этих детей была Екатерина Михайловна, в разговоре с дочерью которой, Марией Алексеевной, мне удалось выяснить, что ветвь генеалогического дерева, начинающаяся от працадеда Льва Анд-



Иосиф Михайлович Арцимович, дядя Льва Андреевича.

реевича Иосифа (Jozef-a) нигде не пересекается с ветвью, начинающейся от Антона Арцимовича. Чтобы сделать окончательный вывод о существовании или отсутствии общего корня этих ветвей, не хватает, может быть, как раз тех архивов Андрея Михайловича, которые погибли в Минске во время войны и которые дали бы Льву Андреевичу возможность утверждать, что его прямые предки в начале XIV в. сражались с рыцарями Тевтонского ордена и участвовали в знаменитом сражении при Грюнвальде.

Но в 1863 г. представители этих ветвей были по разные стороны баррикад. Виктор Антонович по личному настоянию Александра II был отправлен в Польшу как член Совета управления Царством Польским. Он был особенно пригодным в данном случае: полулютеранец по происхождению, хорошо знавший местный язык. А Михаил Иосифович, напротив, как участник восстания в это же время был сослан в Сибирь.

В тех альбомах с фотографиями, из которых черпались пер-

вые сведения о роде Арцимовичей, вместе с двумя открытками еще хранилась одна вырезка из газеты времен Первой мировой войны. По краю вырезки рукой матери Льва Андреевича Ольги Львовны было приписано: «Это вырезал Лева и просил послать Володе». Леве тогда было 5 или 6 лет. Его внимание привлекла напечатанная в газете фотография заведующего лазаретом Иосифа Константиновича Катерли (дяди Юки) среди раненых. К тому времени И.К.Катерли был награжден болгарским орденом «За гражданска залуга» V ст. за участие во второй Балканской войне как доктор лазарета Красного Креста имени города Москвы. Эпизод с газетной вырезкой, который произошел после поездки в Иваново-Вознесенск Андрея Михайловича с сыном, показал чувство гордости мальчика за отца двоюродного брата Володи.

Для первого поколения Арцимовичей в России характерно внимательное, сердечное отношение друг к другу. Солидарность и центростремительные силы, действующие между деть-



Вырезка из газеты времен Первой мировой войны.

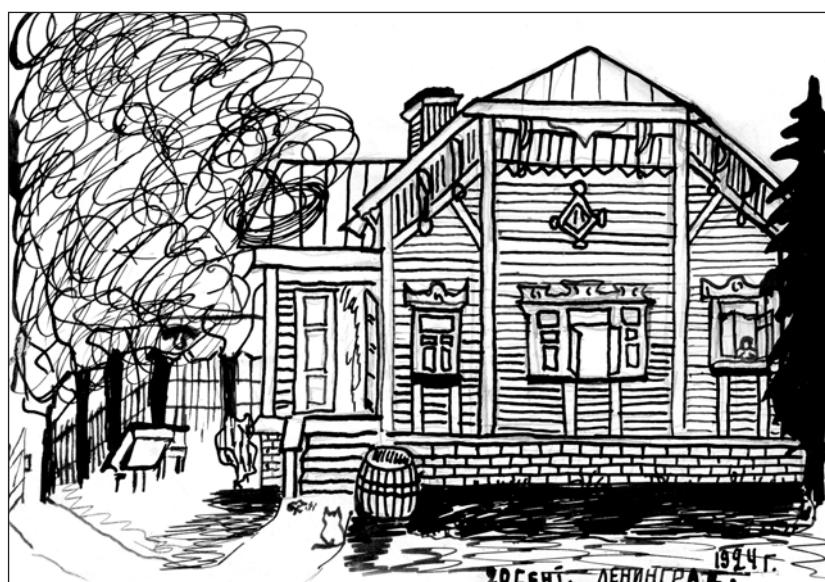
ми Михаила Иосифовича и Елены Игнатьевны, привели к объединению подрастающего второго поколения на фотографии 1914 г. Ветвь генеалогического древа в начале века выглядела очень просто: родители, их пятеро детей и новый побег — дочь Нины Михайловны Елена Иосифовна Катерли. На обратной стороне фотографии 1903 г. Нина Михайловна и нарисовала

эту ветвь. А все новые побеги к 1914 г. изображены на фотографии того же года: Лев, Екатерина, Вера — дети Андрея Михайловича; Елена, Нина, Владимир — дети Нины Михайловны и Михаил, Галина — дети Вячеслава Михайловича. И это все второе поколение Арцимовичей, так как у Иосифа Михайловича и Евгении Михайловны детей не было.

На разных этапах жизни в роду был свой объединяющий центр. Так, после смерти Михаила Иосифовича это была семья старшего сына, в которой жила Елена Игнатьевна. А территориально это была Москва и Томилино под Москвой, где у Иосифа Михайловича была дача и где сделана фотография семьи Арцимовичей в 1903 г. Затем таким центром становится Иваново-Вознесенск, когда туда переезжает Елена Игнатьевна в семью Нины Михайловны. Елена Игнатьевна умерла в Иваново-Вознесенске в 1916 г. И частично функции нового центра в 20-е годы принимает на себя дом вблизи Комсомольской площади, куда были отправлены открытки, с которых и началось это повествование. Аналогичную роль играл в Минске дом Андрея Михайловича, в его семье в разное время жили дети Вячеслава Михайловича и сестра Евгения Михайловна.

После войны никого не остается из первого поколения Арцимовичей, и роль объединителя берет на себя Лев Андреевич. Занятость на работе мешает восстановлению родственных связей, прерванных войной. Даже дочь редко видела отца дома до 1951 г. Так, только в конце 40-х годов он снова встречается с сестрой Екатериной Андреевной. Затем Лев Андреевич начинает разыскивать своих двоюродных сестер.

В 1952 г. после окончания школы передо мной встало проблема выбора вуза. Так как для меня очевидным выбором специальности была ядерная физика, оставалось выяснить, куда идти учиться: в Университет, Московский физико-технический институт или в Московский механический институт, теперь это МИФИ. Самое быстрое решение моей проблемы можно было получить при помощи Льва Андреевича. Моя мать Н.И.Катерли встретилась с братом, и Лев Андреевич передал с ней для меня записку, в которой оговаривалось время и мес-



Иваново-Вознесенск. Дом Катерли, куда приезжал Лева Арцимович с отцом и где последние годы жила Елена Игнатьевна. Рисунок Н.И.Катерли.

то встречи, указывались возможные номера машин, фамилии шоферов, а также говорилось, как с ним связаться.

Мы встретились у Механического института на улице Кирова. В этой встрече я увидел лишь «парадный вход» в современную физику. В памяти поездка к дяде ассоциируется с известной картиной Ю.Пименова «Новая Москва». ЗИС-110 покатил нас по улице Кирова, через площадь Дзержинского, по улице Горького на Сокол и Пехотную улицу. Предо мной предстал просторный коттедж с садом и площадкой для тенниса. Оказалось, что при доме живет телохранитель-секретарь. И это все было очень необычно. Лев Андреевич, глядя на меня, сказал: «Так вот что получилось из этого пары». Зимой 1933—1934 гг. мать демонстрировала брату меня в прогулочной коляске, но там ничего не было, кроме свертка и идущего из него пары.

Лев Андреевич рассказывал, что когда он бывал у нас в доме в 20—30-е годы, мои родители и их гости импровизировали в создании джаз-банда. На пианино обычно играла моя мать, а ударные и другие инструменты распределялись произвольно, и при этом всем было очень весело.

К концу своего первого визита к дяде я понял, что поступать мне надо в Механический институт.

А «парадный вход» в ядерную физику, который меня поразил при первой встрече с Львом Андреевичем, как я узнал совсем недавно, был создан Постановлением СМ СССР от 10 февраля 1947 г., подписанным Сталиным. На основании Постановления И.В.Курчатов и Л.А.Арцимович становились первыми «атомными» лауреатами за «промежуточный финиш» в получении «взрывчатки» для атомной бомбы, хотя до получения плутония и урана-235 в необходимых количествах было еще далеко. Но щедрость не знала границ, когда ученым удавалось решать,



Семья Арцимовичей. Томилино. 1903 г. Внизу слева: 1-й ряд — Исаак Константинович Катерли с Лелей. Сидят: Евгения Михайловна, Исаак Михайлович, Нина Михайловна, Андрей Михайлович, Елена Игнатьевна Арцимовичи. Стоят: Вячеслав Михайлович Арцимович и Генриетта, жена Исаака Михайловича Арцимовича.

казалось бы, нерешаемые проблемы. По этому Постановлению Л.А.Арцимович, член-корреспондент АН СССР, заместитель заведующего Лабораторией №2 премировался суммой в 300 000 руб. (30% первой премии) и автомашиной «ЗИС-110». И государство дарило ему дом-особняк и дачу с обстановкой. Теперь он получал двойной оклад, имел право ездить по стране бесплатно любым видом транспорта и т.д.

В августе 1952 г. я часто бывал в коттедже на Пехотной улице. Арцимовичи приняли участие в моем поступлении в ММИ. Так как телефона в то время у нас дома не было, сестра Людмила Львовна однажды срочно приехала, чтобы напомнить о немедленной сдаче документов в институт. Арцимовичи достали мне учебное пособие для поступающих в ММИ, что тогда

было редкостью. А с Львом Андреевичем я консультировался по поводу решения некоторых задач из этого пособия.

Единственной неожиданностью на экзамене оказалась проверка по письменной математике. Мне в отпущенное время не удалось доказать справедливость тождества:

$$\cos(2\pi/7) + \cos(4\pi/7) + \cos(6\pi/7) = -1/2.$$

Используя формулы функций суммы и разности углов, кратных углов, а также суммы и разности самих функций, исписывая страницу за страницей, невозможно было добиться результата на этом пути. После экзамена я решил показать это тождество Льву Андреевичу. На следующее утро, как мне потом рассказывали, он долго сердился, доказывая тождество. Так



Второе поколение Арцимовичей. 1-й ряд — Катя и Лева Арцимовичи, Володя Катерли и Миша Арцимович; 2-й ряд — Нина Катерли с Верочкой и Леля Катерли с Галей на коленях. 1914 г.



Москва. Квартира в доме у Ярославского вокзала на Комсомольской площади. 1925 г. Семья Катерли—Арцимовичей. На переднем плане, в белой рубашке — Лев Андреевич.

как путем преобразований задача практически не решалась, он нашел другой гениально простой способ. Данное соотношение между косинусами легко получить, проектируя последовательно три стороны правильно геометрического семиугольника на четвертую сторону, примыкающую к этим трем сторонам.

Романтическое отношение к миру физики во мне формировало не только общение с Львом Андреевичем, но и чтение литературы о физиках. Особенно прекрасным периодом в этом смысле оказалось время между поступлением в институт и началом занятий на первом курсе. Когда я приехал к Арцимовичам после последнего экзамена, то получил для чтения замечательную книгу Митчела Уилсона «Жизнь во мгле» о жизни американских физиков в канун атомного проекта. Английское название этой книги «Life with lighting» больше соответствовало содержанию, чем идеологическое название той поры.

В студенческие годы я достаточно часто бывал на Пехотной. Впервые от дяди Львы я услышал об удивительной книге «Роберт Вуд. Современный чародей физической лаборатории» Вильяма Сибрука. У Арцимовичей обсуждалась и книга Лауры Ферми «Атомы у нас дома» и другие. Когда я приезжал к Арцимовичам вечером, беседы обычно происходили за чаем в большой столовой. Лев Андреевич иногда мог предложить какой-либо тест для проверки интеллекта. Это мог быть простой вопрос на уровне 1-го курса института или старших классов школы. Например, чему равно число e , введенное в степень мнимая единица, умноженная на π . Или более сложный вопрос: назвать на Земле точки, для которых выполняется условие: если из данной точки сместиться на 1 км на юг, потом пройти 1 км на восток, а затем 1 км на север, то снова окажешься в данной точке. Сразу можно догадаться, что такая точка Северный полюс. Но есть

еще бесконечное число подобных точек, которые я смог назвать только в следующий раз.

Мне нравилось, как Лев Андреевич откровенно и точно оценивал некоторых людей: «хороший мужик» (очень высокая оценка), «зануда», «первый пижон среди физиков или первый физик среди пижонов».

И до сих пор помню добрый сердечный взгляд Льва Андреевича на первой вечеринке в коттедже, когда я, робяя и смущаясь, танцевал с девушкой. Это был взгляд поддержки, помогающий преодолеть школьный «комплекс раздельного обучения». Институт я закончил по специальности теоретическая ядерная физика, защитив дипломную работу «Второе приближение в разрешенных β -переходах» у Я.А.Смородинского в Институте атомной энергии. Перед защитой приезжал ко Льву Андреевичу и показывал полученные мной формулы для β -распада во втором приближении, которые могли представлять интерес в связи с новейшим тогда открытием несохранения четности в слабых взаимодействиях. Мой выбор специальности Лев Андреевич прокомментировал моей матери: «Колька тихий, а там надо работать локтями». Локтями мне, слава Богу, работать не пришлось, ни за время педагогической и научной деятельности в МИФИ, ни за короткое время работы в журнале «Природа».

А в мае 1958 г. в коттедже на Пехотной улице я отправил телеграмму: «Поздравляем дорогоГО Прометея, добывающего термоядерный огонь для человечества, с высокой заслуженной наградой. Нуся, Коля». Это было поздравление Льву Андреевичу с присуждением ему Ленинской премии за термоядерные исследования.

Осенью 1959 г. в одну из последних поездок на Пехотную ко Льву Андреевичу я рассказал ему о рождении моего сына и о своем желании, чтобы сын стал физиком. На что дядя мне ответил: «Да пусть будет хоть

дворником, но хорошим человеком». Мы выпили за сына, за его «светлое будущее». Что же получилось, тост сработал? Сын стал вирусологом, много лет уже работает в Соединенных Штатах, собирается защищать докторскую диссертацию в России, в институте, который его направил в командировку в США.

Оказавшись летом 1998 г. у сына в США, в столице штата Джорджии Атланте, я хотел в ближайшей местной библиотеке, плотная сеть которых равномерно покрывает Америку, выяснить, кто и когда изобрел кондиционер, так как жизнь без него ни в доме, ни в машине совершенно невозможна. Это был повод открыть Американскую энциклопедию. А там я обнаружил статью о токамаках, где сказано: «The first experimental tokamaks were developed in the Soviet Union under the leadership of L.A.Artsimovich» (T.20. С.513). Можно сказать, что эта информация доступна каждому американцу. И это всего лишь деталь, говорящая о широком международном признании лидирующей роли нашей страны и лично Льва Арцимовича в создании нового источника энергии — управляемого термоядерного синтеза.

Когда, со слов Льва Андреевича, срок, отпущенный ему природой и Создателем, приближался к естественному концу, в начале февраля 1973 г. он приглашает к себе двоюродных сестер: мою мать и Галину Вячеславовну, видимо, чтобы проститься. Разговаривали о жизни, о детях и внуках. Лев Андреевич сказал, что хочет собрать у себя всех внуков и сфотографировать их. Он вспомнил фотографию своего поколения в 1914 г.

1 марта 1973 г. Льва Арцимовича не стало. Помню зал Президиума Академии наук СССР, почетный караул у гроба Льва Арцимовича и поток людей. Но особенно врезалось в память Новодевичье кладбище, залитое ярким, слепящим светом естественного термоядерного реактора — Солнца. ■

Неслучайные совпадения

Академик И.М.Халатников

О мирном использовании термоядерной энергии физики стали задумываться еще до завершения работ по созданию водородной бомбы. Необходимо было найти способ удержать газообразные дейтерий и тритий при сверхвысоких температурах порядка 100 млн градусов (получить электрон-ионную плазму). По-видимому, первыми предложили способ удержания плазмы в ограниченном объеме И.Е.Тамм и А.Д.Сахаров. Они поместили ее в магнитное поле специальной конфигурации (в магнитные ловушки). Стало сразу ясно, что задача это трудная и что до создания промышленных термоядерных реакторов пройдет много времени. Минуло уже 50 лет с начала этого проекта, и только теперь благодаря объединению международных усилий наметился сдвиг к первым практическим результатам. Однако задача исследовать поведение плазмы в магнитном поле оказалась не только сложной, но и интересной для физиков. Во главе этого мирного атомного проекта был поставлен Лев Андреевич Арцимович — ближайший сотрудник И.В.Курчатова, так же, как и тот, выходец из школы Ленинградского физико-технического института.

Я впервые услышал о Льве Андреевиче от одного из руководителей оборонной промышленности Б.Л.Ванникова, который как-то при встрече пожаловался мне на то, что у Арцимовича медленно движется дело

с разделением изотопов лития. А именно изотоп лития-6 должен был играть важную роль в сжигании водородной компоненты «слойки» — первого варианта водородной бомбы, предложенного Сахаровым. Это было в 1952 г., а первые испытания намечалось произвести в 1953-м. Лев Андреевич в конце концов уложился в срок, и испытания были проведены.

Отдел физики плазмы в институте Курчатова был расширен, были собраны теоретики всех поколений от Михаила Александровича Леонтovichа до «святой троицы» молодых: Родольда Сагдеева, Евгения Велихова, Александра Веденова. Важную роль «триггера идей» играл Андрей Михайлович Будкер. Запомнилось большое собрание физиков, заполнивших клуб Института атомной энергии, на котором главной сенсацией была идея Будкера о «магнитных бутылках» — конфигурациях магнитного поля, напоминающих бутылку, из которой ионы могли выходить только через узкое горлышко. Несмотря на кажущийся всеобщий оптимизм, Курчатов оценивал перспективы более сдержанно. Его здоровье уже было подорвано, а он хотел еще при жизни увидеть «мирный термояд». Как-то летом 1957 г. он пригласил меня, хотел услышать какие-либо альтернативные идеи. Это свидетельствовало о том, что, как теперь говорят, я у него имел высокий рейтинг. Когда мы с ним покидали административный корпус института, Игорь Васильевич увидел мой новый серый «Москвич»

второй модели («новинка»), заинтересовался машиной и захотел поехать со мной. Он собирался на Ордынку в министерство, а я ехал в ту же сторону. Так и поехали — Курчатов в моем «Москвиче», а его огромный ЗИС с охраной нас эскортировал.

Мой серый «Москвич» заслуживает небольшого отступления. В то время самой популярной и престижной автомашиной была «Победа». За ней следовало стоять в очереди несколько лет, у меня были на нее деньги, но не было очереди. Пришлось купить менее престижный «Москвич» второй модели. Однако вскоре сотрудница А.И.Шальникова по университету Татьяна Белова, встретив меня в Институте физических проблем, спросила, не хотел ли бы я поменять мой «Москвич» на новую «Волгу-21», выпущенную к открытию Фестиваля молодежи и студентов 1957 года. Оказалось, что ее друзья, писательница Наталья Ильина с мужем, филологом, профессором МГУ А.Реформатским, имеют разрешение купить «Волгу-21», но им не хватает средств. Они охотно бы приобрели мой «Москвич», а взамен уступили бы мне свои права приобрести «Волгу». Так и поступили — обе стороны остались довольны. А моему «Москвичу», можно сказать, повезло — удалось попасть в историю. Ильина, возвратившаяся перед войной из эмиграции из Харбина, хорошо вписалась в литературное сообщество и была близка к Анне Ахматовой. Когда та жила в Москве, на Ордынке, у опекавших ее Ар-

довых, Ильина часто вывозила Ахматову за город подышать свежим воздухом. Поездки совершились на бывшем моем седане «Москвиче». Таким образом, машина дважды вошла в историю: Курчатов и Ахматова ездили на ней.

Но вернемся к Льву Андреевичу. После того, как я заручился поддержкой А.П.Александрова в деле основания Института теоретической физики (1963), он поручил Арцимовичу создать «цыганский табор» теоретиков в Академии наук. Лев Андреевич был в АН очень влиятельной фигурой — занимал высокую должность академика-секретаря Отделения физики и астрономии. Организация нового института в составе Отделения входила в его обязанности, поэтому в ту пору мы с ним тесно взаимодействовали. Лев Андреевич был доброжелательным, во всем его облике и манерах чувствовалось хорошее дворянское воспитание. До того мы с ним уже встречались на семейных торжествах у Петра Леонидовича Капицы на даче на Николиной горе.

К 1971 г. новый институт прочно встал на ноги, и мы проводили Второй советско-американский симпозиум в Ленинграде, где к нам было приковано внимание местных властей. Слишком уж бесконтрольно советские участники симпозиума контактировали с иностранцами. Итоги симпозиума мне пришлось обсуждать с Львом Андреевичем в не очень приятном контексте: он мне позвонил и очень нервно стал выговаривать за то, что наши сотрудники вели себя в Ленинграде черезчур «бурно», а один даже попал не то в больницу, не то в вытрезвитель. Совершенно в несвойственном стиле академического обращения Арцимович потребовал по этому поводу «объяснения». Такого раньше никогда не было, видно, на нас в Ленинграде обратили внимание и составили серьезную «телегу». Не буду описывать подробно,



С И.В.Курчатовым. 1959 г.



С П.Л.Капицей.



С Н.С.Хрущевым в Переделкино. 1969 г.

как сочинялся «ответ запорожцев», и страдания нашего сотрудника, который так потрудился на симпозиуме, что попал в больницу. Я никогда не писал «объяснений» начальству и не хотел создавать прецедента. К счастью, на одной площадке в доме со Львом Андреевичем жил Аркадий Бейнусович Мигдал. И они дружили. Я решил «объяснение» Арцимовичу не посыпать, а передать его через Мигдала «по-соседски». По-видимому, Лев Андреевич, получив «объяснение» на лестнице, почувствовал некоторую неловкость и тут же порвал его. Так закончилась деликатная история с «объяснениями». Мы сумели не опускаться до уровня написания «объяснений» о поведении уважаемых молодых ученых. Может быть, Лев Андреевич вспомнил, что когда его резкие «некорректные» высказывания

по поводу Корейской войны в 1950 г. стали известны Л.П.Берии, все обошлось «приветом», переданным через Курчатова с предупреждением Арцимовичу быть поосторожней с высказываниями.

Сам Лев Андреевич был нетерпим к моральной нечистотности людей. Вспоминаю такой случай. В Институте атомной энергии многие годы работал хороший теоретик Борис Давыдов, это был скромный человек, но обстоятельства его семейной жизни сложились не просто. Произошло так, что он женился на бывшей жене Брохеса, известного в то время аккомпаниатора Александра Николаевича Вертиńskiego. Вертинский со своим аккомпаниатором часто выступал в иностранных посольствах. Соответствующие службы подозревали, что и жена Брохеса могла бывать в посоль-

ствах, а это рядовым гражданам категорически запрещалось. О женитьбе Давыдова знали только близкие друзья, однако кто-то из них информировал «кого следует». Все кончилось трагически — Давыдова лишили допуска и уволили из Курчатовского института. Многие догадывались, кто был автором доноса. И вот однажды в отделе Арцимовича происходит, как теперь говорят, «тусовка» по случаю «события» (это мог быть революционный праздник или подведение итогов успешной работы). Гуляние в разгаре, открывается дверь, и входит лицо из круга «друзей» Давыдова. Лев Андреевич смотрит на вошедшего и громким, хорошо поставленным голосом, обращаясь к аудитории, говорит: «А этот стукач что здесь делает?». Вошедший заплакал и поспешил ретироваться, закрыв лицо руками. В скором времени он перешел на основную работу в другой институт, где о нем не все знали.

На днях рождения на даче у Петра Леонидовича Капицы на Николиной горе, где собирался цвет московской интеллигенции, все по очереди произносили тосты. Очередь выступающих регулировал известный скульптор Никогосян, говоривший с характерным армянским акцентом. Запомнилось его восклицание: «Эй! Арцимович, хотим тебя слушать!». Лев Андреевич послушно поднимался и произносил неизменно блестящий тост.

Лев Андреевич рано умер, с тех пор много воды утекло, но его улыбающееся лицо всегда у меня перед глазами. Его личная жизнь сложилась удачно, и это читалось по его улыбке. ■

Заповеди Арцимовича

Несколько советов, любимых выражений и афоризмов

Хорошая организационная проработка — это минимум затрат и максимум успеха.

Чтобы не забыть физику, нужно преподавать ее студентам.

Наука не профсоюзное собрание. Истину в ней не отыскивают голосованием.

Наука начинается с зависимостей.

Экспериментальную работу нужно вести, по возможности, параллельно. Решать все последовательно, по очереди, недопустимо медленно.

Работа экспериментатора сродни работе минара — стоит ошибиться один раз, и никто больше вам не поверит.

Экспериментаторы склонны завышать точность своих измерений.

Только зануда может быть хорошим экспериментатором.

Если вас послушать, армии нельзя давать оружие — оно все равно попадет в руки неприятеля (в защиту «молодых» от «старослужащих»).

Теоретики склонны объяснять одно непонятное двумя другими.

Самое простое объяснение, как правило, самое верное.

Вы предлагаете прыгать через пропасть в два приема.

Помните, что плазма — женского рода (напоминание молодым экспериментаторам).

Мы уже прошли половину пути, правда, в логарифмическом масштабе (оценка состояния работ по термояду в начале 70-х).

К теории относитесь как к хорошенькой женщине. Берите с благодарностью, что она дает, но не доверяйтесь ей безрассудно.

Эти молодые люди, переспав с чужой женой, наутро считают ее своей (по поводу «освоения» в науке чужих идей).

Самое важное в женщине — уверенность в себе. Но и, конечно, женщина должна быть доброй. Злая женщина — нонсенс.

Выбирайте подарок женщинам, никогда не ошибитесь, если выберете красное.

Начальников любят старых. В надежде, что скоро загнутся.

Плюньте в глаза тому, кто скажет, что ему важно, что будет с ним после смерти.

Наука — способ удовлетворения собственного любопытства за счет государства (афоризм, за который Арцимовичу попадало, попадает и будет попадать долгие годы). Дело в том, что любопытство по Арцимовичу — не общепринятое любопытство подглядывания за соседкой, а болезненное любопытство естествоиспытателя: «как оно устроено», любопытство, вскрывающее новые горизонты, за которое разумному государству следовало бы платить не задумываясь.

«Чем выше лезет обезьяна, тем дальше виден ее зад» (любимый афоризм Черчилля и Арцимовича).