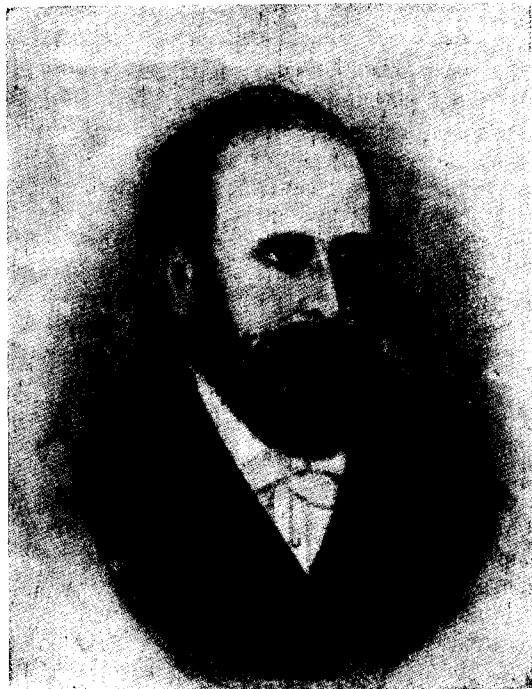


УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК**ИЗ ИСТОРИИ ФИЗИКИ****МИХАИЛ ПЕТРОВИЧ АВЕНАРИУС
И КИЕВСКАЯ ШКОЛА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ****А. Г. Гольдман**

В семидесятых годах прошлого столетия в России складываются центры научной мысли, объединяющие около себя более или менее крупные коллективы физиков-исследователей. В 1872 г. по инициативе Д. И. Менделеева и Ф. Ф. Петрушевского основано Физическое общество при Петербургском университете. В следующем 1873 г. при Московском университете организуется физическая лаборатория, которая под руководством А. Г. Столетова сделалась центром русской школы физиков. С того же 1873 г. начинают печататься работы по исследованию критических величин, создавшие известность киевской школе физиков, развившейся под руководством М. П. Авенариуса.

Михаил Петрович Авенариус сложился в крупного учёного под непосредственным влиянием Н. И. Пирогова, сыгравшего видную роль в развитии русской научной и педагогической мысли середины минувшего века. К голосу Н. И. Пирогова прислушивалась вся прогрессивная Россия. Его идеи во многом соответствовали педагогическим идеалам лучшей части тогдашнего общества. С 1858 г. Н. И. Пирогов выступал за коренное обновление русских университетов, основанное на глубокой связи преподавания и научного исследования. Перед молодыми учёными Н. И. Пирогов ставил задачу добиваться самостоятельного развития нашей отечественной науки и требовал приобретения глубоких специальных знаний, а главное — освоения научного метода. «Покажите образованному в самом ограниченном масштабе, на какой-нибудь частичке науки, только на самом деле, метод и механизм, которым современная наука доходит до её результатов — и остальное он добудет всё сам, если он действительно ищет знания» (стр. 571 — 572)¹.

Н. И. Пирогов требовал, чтобы будущие деятели университетов знали своё дело, т. е. науку, а главное — умели «знакомить своих учеников с механизмом научных знаний» (стр. 644)¹. Воспитательное воздействие Н. И. Пирогова на молодых учёных один из них, позже ректор Казанского университета, профессор Н. С. Ковалевский, определяет в словах: «он учил нас учиться».



МИХАИЛ ПЕТРОВИЧ
АВЕНАРИУС

1. НАЧАЛО НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ М. П. АВЕНАРИУСА

Михаил Петрович Авенариус родился 7 сентября 1835 г.; в 1858 г. он окончил курс Петербургского университета со степенью кандидата математических наук и стал работать учителем математики во 2-й петербургской гимназии. С мая 1862 г. по октябрь 1864 г. Авенариус в числе «пироговцев» *) был командирован Министерством народного просвещения за границу для подготовки к профессорской деятельности.

*) «Пироговцами» называли группу молодых русских учёных, общее руководство образованием которых было поручено Николаю Ивановичу Пирогову.

Большую часть времени командировки М. П. Авенариус провёл в Берлине, где слушал лекции в университете, участвовал в физических собраниях у Магнуса и вёл в его лаборатории самостоятельную научную работу. В последнее полугодие командировки Авенариус провёл один месяц в Париже, знакомясь там со способами преподавания физических наук, а затем, в течение летнего семестра, работал у Кирхгофа в Гейдельберге.

М. П. Авенариус во многом не удовлетворяла постановка преподавания в Берлинском университете: «... везде здесь, кроме опытов у проф. Эрмана, более делал профессор, чем слушатель», — пишет он в своём отчёте и далее: «... хотя и не упустил я из виду опытной части, так мало для неё представлялось случаев, что большая часть времени оставалась свободной»². Он отзывался положительно о физических собраниях, происходивших раз в неделю у Магнуса; обзоры по вопросам современной физики, составляемые участниками этих собраний, помогали глубоко и всесторонне осваивать научные вопросы^{2а}. Пребывание в Гейдельберге дало Авенариусу возможность сравнить научные школы Кирхгофа и Магнуса. Он отмечает как недостаток эмпирической школы Магнуса то, что в его изложении «каждый отдел представляет что-то самостоятельное, замкнутое, противопоставляя этому курс Кирхгофа, в котором единство теоретической мысли связывает в одно целое все части физики» [цитировано по А. Г. Столетову (стр. 420)³].

О Кирхгофе А. Г. Столетов, который работал в Гейдельберге в одно время с Авенариусом, писал: «Физическая наука в её идеальном виде, как сочетание теоретической мысли с экспериментальным искусством, предстала нам здесь впервые в лице творца спектрального анализа» (стр. 420)³.

Авенариус приступил к своему первому научному исследованию в 1862 г. К этому времени закон сохранения и превращения энергии стал признанным началом физики; в 1860 г. появился первый учебник термодинамики (Цейнер, Основные черты механической теории тепла). Изучение превращений энергии было одной из главных проблем экспериментальной физики. Перспективы технических применений электрической энергии побуждали исследовать различные её источники; конструировались новые гальванические элементы (например, элемент Лекланше, 1867), вводились новые принципы в построение электростатических машин (электрофорная машина, 1865), совершенствовались аккумуляторы (Планте, 1860), строились термобатареи в надежде получить экономически выгодный источник тока (Маркус, 1860). Явления термоэлектричества привлекали внимание и техники и физики. Первоочередной была задача овладеть законами этих явлений, и эту задачу успешно разрешил Авенариус.

Несмотря на ряд исследований известных физиков, закон зависимости термоэлектрического тока от температур спаев не был известен. В появившемся в то время руководстве по гальванизму автор — Г. Видеман, разобрав все сделанные предположения относительно причины этих токов, в заключение признаёт только тот факт, что для получения термоэлектрического тока требуется взять два различных тела и место их соприкосновения нагреть или охладить.

Авенариус исходил из мысли, что существующая между двумя металлами контактная разность потенциалов e зависит от температуры t , и он подыскивал форму этой закономерности в виде степенного ряда. «Мне удалось, — пишет Авенариус во введении к своей докторской диссертации, — при помощи термоэлектрических исследований указать на существование трёх членов этого ряда, причём в пределах ошибок наблюдений не обнаруживалось присутствия членов с высшими степенями t , почему для определения полной электрической разности от соприкосновения металлов при температуре t можно воспользоваться нашим эмпирическим выражением, ограничиваясь тремя членами»⁴.

Итак, Авенариус исходит из того, что контактная разность потенциалов на границе двух металлов может быть представлена с вполне достаточной точностью выражением

$$e = a + bt + ct^2. \quad (1)$$

Предполагая, что электродвижущая сила $\mathcal{E}$ термоэлектрической цепи обусловлена только контактными разностями потенциалов на двух спаях, находящихся при различных температурах t_1 и t_2 , Авенариус получает формулу

$$\mathcal{E} = (t_2 - t_1) [b + c(t_1 + t_2)]. \quad (2)$$

В ней ещё не было учтено поглощение и выделение теплоты вдоль всего однородного проводника. Это явление Авенариус учёл позже в работе «Об электровозбудительной силе термоэлектрических элементов с точки зрения механической теории тепла», в которой он термодинамически обосновал формулу (2), исходя из гипотезы, что удельная теплота электричества пропорциональна абсолютной температуре. При этом постоянные b и c получили определённое физическое истолкование. Авенариус заканчивает эту работу словами: «Приложение начал механической теории тепла к явлениям термоэлектричества приводит к тому же выражению электровозбудительной силы термоэлектрического элемента, на котором остановился опыт, как на точном эмпирическом выражении закона зависимости электровозбудительной силы элемента от температуры спаев»⁵.

В курсе физики О. Д. Хвольсона эта поправка приписана английскому физiku Тэту, который дал её тремя годами позже, чем она была опубликована Авенариусом⁶.

А. Г. Столетов свидетельствует: «И в этой поправке (необходимость которой была позже замечена Тэтом) первенство принадлежит русскому автору» (стр. 428)³.

Осенью 1864 г. М. П. Авенариус вернулся в Россию. Результаты своих работ он изложил в двух диссертациях. 8 января 1865 г. он защитил при С.-Петербургском университете магистерскую диссертацию «О термоэлектричестве», а 10 мая 1866 г. там же защитил докторскую диссертацию «Об электрических разностях металлов при различных температурах».

В своих термоэлектрических исследованиях Авенариус исходил из гипотез, построенных на уровне науки своего времени.

Известные в то время явления — получение при определённой разности температур максимального тока и явления инверсии — Авенариус представил как необходимые следствия основного положения своей теории.

Эти работы молодого учёного получили широкое признание, а найденная им формула получила название закона Авенариуса.

Формула Авенариуса вошла во многие отечественные и заграничные учебники и монографии. Однако некоторые английские и американские учебники совершенно неосновательно называют её формулой Тэта (например, в учебнике общей физики Гастингса и Бича⁷).

Связанный с именем Авенариуса приоритет русской науки в вопросах термоэлектричества совершенно бесспорен и должен быть отражён во всей нашей литературе, а также и в программах по физике средних и высших учебных заведений.

С марта 1865 г. М. П. Авенариус был утверждён доцентом Киевского университета. С осени того же года ему была поручена кафедра физики и заведывание метеорологической обсерваторией. С сентября 1866 г. он был утверждён в звании экстраординарного, а с ноября 1867 г. ординарного профессора. Его деятельность в Киевском университете продолжалась 25 лет.

В течение первых десяти лет М. П. Авенариус должен был читать весь курс физики как опытной, так и теоретической, а также читать курс метеорологии и заведывать метеорологической обсерваторией. Он сам, при содействии одного служителя, подготовлял опыты к лекциям; он же проводил практические занятия. Работа велась без ассистентов.

М. П. Авенариус быстро привлёк к себе симпатию студенчества.

Большой интерес вызывали университетские, а также и публичные лекции Авенариуса. Последние всегда собирали многочисленную публику, привлекаемую как интересным выбором предмета чтения, так и способностью М. П. излагать ясно и понятно для малоподготовленных слушателей трудные научные вопросы⁸.

В первые годы чтение систематических курсов целой науки поглощало все силы Авенариуса. Условия работы несколько улучшились, когда в 1867 г. чтение курса теоретической физики перешло к Н. Н. Шиллеру, благодаря чему М. П. Авенариус получил возможность сосредоточиться на экспериментальной работе. Физический кабинет занимал вначале только две небольшие комнаты. В 1875 г. Авенариусу удалось расширить его и поставить лабораторные работы для студентов. Он сам руководил работой студентов, благодаря этому ещё более сближался с ними и наиболее талантливых привлекал к исследовательской работе.

Результаты работы Авенариуса с молодыми физиками обнаруживаются уже с 1869 г., когда были напечатаны первые измерительные работы Эйсмонта («Определение длины секундного маятника»), Зайончевского («Определение напряжения силы земного магнетизма в Киеве в абсолютных единицах» и «О магнитном наклонении в Киеве») и несколько позже (1873) Кравченко («Определение элементов земного магнетизма в Киеве»⁹). Так сложилась научная школа М. П. Авенариуса, которая благодаря своим исследованиям вскоре приобрела известность. В её состав входят: В. И. Зайончевский, О. Э. Страус, К. Н. Жук, А. И. Надеждин, студенты Г. Каннегиссер и Д. Дьячевский *).

2. РАЗВИТИЕ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ М. П. АВЕНАРИУСА

С 1873 г. М. П. Авенариус обратился к новой области исследований: изучение жидкого состояния и пара при изменении температур и давлений. При этом перед ним возникла задача прямого определения критических температур.

*) О. Д. Хвольсон (Курс физики, т. III, изд. 3, стр. 681), называет в числе учеников М. П. Авенариуса Павлевского; то же утверждает А. С. Предводителев (Очерки по истории физики в России, Учпедгиз, 1949, стр. 216), который называет Павлевского Павловским. Павлевский в 1878 г. работал в Институте сельского хозяйства и лесоводства в Новой Александрии (см. Ж. М. Н. П., ч. 207, отд. 4, стр. 89, 1880). По словам Надеждина (стр. 83)¹⁰, первая заметка Павлевского о критических температурах появилась в 1882 г. в Chem. Ber. 1882. № 4. В 1878 г. в Ново-александрийском институте работал Зайончевский. Представляется вероятным, что руководителем Павлевского, когда тот начал работы по критическим температурам, был именно Зайончевский, а не Авенариус.

Понятие критической температуры было впервые введено в науку Д. И. Менделеевым в 1860 г., а именно, он высказал убеждение, что для всякой жидкости существует предельная температура, выше которой она остаётся паром или газом, как бы ни было велико давление. Он назвал эту температуру абсолютной температурой кипения¹⁰; название «критическая температура» утвердилось позже. Эти соображения Д. И. Менделеева были подтверждены в работах Т. Эндрюса, которые он вёл с 1861 г.; в 1869 г. появилось полное описание работ Эндрюса по исследованию углекислоты, с несомненностью показавших существование критической температуры. Однако точных данных относительно критических температур различных веществ не было.

Существовали таблицы измерений Реньо относительно условий испарения некоторых жидкостей (эфир, сероуглерод). Приведённые в них данные зависимости теплоты испарения от температуры были обработаны Цейнером, который представил ход так называемой «внутренней теплоты испарения» p в зависимости от температуры эмпирическими формулами. Однако данные Реньо не доходили до критических температур. Авенариус предпринял опытное определение критических температур для четырёх из жидкостей, исследованных Реньо. С тщательностью, характерной для Авенариуса во всех его исследованиях, была разработана методика этих определений и получены первые прямые определения критических данных. Одновременно Авенариус критически обработал данные Реньо и показал, что они приводят к величинам критических температур, согласным с его опытными данными. Работа была опубликована в 1873 г. под названием «О внутренней скрытой теплоте»¹¹; она была первой в ряду исследований критических величин, вышедших из киевской лаборатории. За годы 1875—1887 здесь были определены многочисленные критические и иные данные для разнообразных веществ, которые вошли в основной фонд физических величин.

Так, в 1878 г. опубликована работа В. Зайончевского «Определение упругости паров некоторых жидкостей при высоких температурах»¹². Зайончевский измерял упругость насыщенных паров вплоть до критической температуры; он определил критические температуры и давления серного эфира, сернистого ангидрида, сернистого углерода, бензола, алкоголя, ацетона, хлористого этила, уксусного этила, четырёххлористого углерода и других. Последней в этом ряду была работа Надеждина — его диссертация, опубликованная в 1886 г. и заключающая определения критической температуры, критического давления и критического объёма 18 веществ¹³.

По словам Столетова, из всего набора критических температур, который был собран во 2-м издании (1894) известных физи-

ческих таблиц Ландольта и Бернштейна, около четвертой доли было добыто в молодой киевской лаборатории (стр. 429)³.

Спустя 30 лет таблицы Ландольта и Бернштейна вышли в пятом издании (1923); из них исключены многие прежние данные и заменены позднейшими, более надёжными, но данные Зайончевского 1878 г., равно как данные Надеждина 1885 г., сохранены полностью; при этом данные Зайончевского — наиболее ранние из приводимых в таблицах. Из 34 определений критических объёмов, указанных в таблицах, половина принадлежит Надеждину¹⁴.

С течением времени эти определения не только не утратили своего научного значения, но многие из них получили и практическое применение. В связи с развитием холодильных машин возник интерес к измерениям Зайончевского и Надеждина критических данных и удельной теплоты сернистой кислоты. В опубликованном в 1947 г. «Справочнике по глубокому охлаждению в технике» М. П. Малкова и К. Ф. Павлова¹⁵ приведены определённые Надеждиным критические температуры изобутилена 150,7° и пропилена (в справочнике 91,4°, у Надеждина 91,6°). В переведённом и изданном в 1949 г. «Справочнике физика-экспериментатора» (Кэй и Лэби)¹⁶ указаны полученные Зайончевским данные для сернистого газа $t_{кр} = 155,4^\circ$ и $p_{кр} = 78,9 \text{ атм}$ и для хлороформа $t_{кр} = 250^\circ$ и $p_{кр} = 54,9 \text{ атм}$.

Эти примеры выявляют, насколько надёжны были опытные определения сотрудников Авенариуса: они выдержали проверку опытом на протяжении семидесяти лет развития науки.

Особенный интерес вызывали значения критических величин для воды — вещества, важнейшего по своим применениям. Вместе с тем в случае воды измерения были связаны с преодолением особенных трудностей. Каньяр-Латур, первый изучавший этот вопрос, считал свои опыты с водой не удавшимися; железные сосуды для эксперимента с водой не годились, так как были недостаточно герметичны, а стеклянные сосуды лопались. Он полагал, что температура «полного улетучивания» для воды близка к температуре плавления цинка. В связи с этим Муссон приписывал Каньяру значение этой температуры $t_{кр} = 362^\circ \text{C}$, а Вандер-Ваальс — 410 и 412°. Из данных Реньо для скрытой теплоты испарения, путём экстраполяции эмпирического выражения для скрытой теплоты в функции температуры, получали $t_{кр} = 873^\circ$; Менделеев теоретически определял $t_{кр} = 543^\circ$, а Клаузиус — 323,3°. Таким образом, о критической температуре воды не было никаких определённых сведений.

Метод экспериментального определения критической температуры воды нашёл один из учеников Авенариуса — О. Э. Страус. Работая со смесью спирта и эфира, он установил, что и для смеси наблюдается критическое состояние, подобное тому, какое

наблюдается у чистых жидкостей. В результате детального изучения он установил, что критическая температура смеси может быть вычислена с достаточной точностью по формуле

$$\vartheta = \frac{\alpha_1 \vartheta_1 + \alpha_2 \vartheta_2}{\alpha_1 + \alpha_2},$$

где ϑ , ϑ_1 и ϑ_2 — критические температуры смеси и двух её составляющих, а α_1 и α_2 — процентное содержание этих частей. Правило Страуса проверялось многими исследователями, подтвердившими его в широких пределах, между прочим и для воздуха.

Эту работу Страус опубликовал в 1880 г., а уже в марте 1881 г. он сообщил об определении критической температуры воды, основанном на использовании установленного правила. Страус составлял смеси воды и спирта в различных отношениях и измерял их критическую температуру. Опыт можно было выполнить при содержании в смеси до 50% воды. Правда, наблюдалось некоторое воздействие воды на стенки сосуда при повторных определениях с одним и тем же препаратом, но, ограничиваясь при каждом определении тремя-четырьмя опытами, Страус получил достаточно надёжные данные. Из приведённых 55 пар наблюдений с препаратами с различным содержанием воды О. Э. Страус определил критическую температуру воды в $370^\circ \text{C} \pm 5^\circ$.

Исходя из этого результата, Страус перешёл к определению критического давления воды. Эту величину пытались вычислить Ван-дер-Ваальс, указавший один раз 278, а другой раз — 289 *атм.*, и Клаузиус, который определил критическое давление воды в 134 *атм.*

Метод Страуса основывался на законе соответственных состояний: «При одинаковых приведённых температурах все вещества обладают одинаковой приведённой упругостью насыщенного пара». Пользуясь найденным значением критической температуры воды, он вычисляет приведённые температуры воды, соответствующие температурам эфира, равным 10, 20, ..., 80°, и по таблицам находит для этих температур упругости паров эфира и, соответственно, воды. При равных приведённых температурах упругость паров воды в среднем в 5,3 раза превышает упругость паров эфира. Это отношение должно сохраняться и при приведённой температуре, равной 1, т. е. при критической температуре. Для эфира Зайончевский определил критическое давление в 36,9 *атм.*; следовательно, для воды оно равняется $36,9 \cdot 5,3$, т. е. $p_{\text{кр}} = 195,5$ *атм.*

На ряде примеров Страус показал, что это значение критического давления, если его применять для вычисления температур кипения разнообразных жидкостей, приводит к результатам, очень близким к наблюдениям. Работа была опубликована в 1882 г.¹⁷

В марте 1885 г. А. И. Надеждиным выполнено первое в науке прямое определение критической температуры воды. Так как оптический способ установления критического состояния, при котором наблюдают за исчезновением мениска, для воды неприменим, то Надеждин предложил для этой цели новый метод, вошедший в науку как «метод Надеждина». Прибор Надеждина, названный им дифференциальным дензиметром¹⁸, состоял из трубки, вставленной в оправу, снабжённую трёхгранной осью, на котором она могла качаться подобно коромыслу весов. Трубка вначале уравнивалась так, чтобы она сохраняла горизонтальное положение. Затем часть трубки наполнялась жидкостью, а остальная часть — насыщенным паром. При этом трубка устанавливалась наклонно. Критическая температура определялась как температура, при которой исчезает разница в плотностях жидкости и пара, что обнаруживалось по возвращению трубки в горизонтальное положение. Важным достоинством метода Надеждина является его применимость к тем случаям, когда вещество сильно окрашено (как бром и иод), так что трудно видеть мениск, или когда это вещество разрушающе действует на стекло (как вода).

Для критической температуры воды Надеждин получил значение $t_{кр} = 358^\circ \text{С}$. А. Г. Столетов называет эту работу кульминационным пунктом деятельности лаборатории.

Спустя несколько лет эти измерения были повторены Кайльете и Колардо; они получили для воды $t_{кр} = 365^\circ \text{С}$ и $p_{кр} = 200,5 \text{ атм.}$

Более поздние измерения, приводимые в справочных таблицах, дают для воды $t_{кр} = 374,1 \text{ С}$ и $p_{кр} = 205 \text{ атм.}$

Как видим, произведённое Страусом определение критических постоянных воды оказалось верным. В пределах указанной им возможной погрешности их значения согласуются и с измерениями Кайльете и Колардо, и с позднейшими, выполненными при значительно более совершенной технике эксперимента.

Начиная с семидесятых годов, благодаря работам по критическому состоянию, лаборатория М. П. Авенариуса приобретает всё большую известность. Её исследования печатаются не только в университетских записках, но и в центральном русском физическом журнале (журнал Русского физико-химического общества, часть физическая) и реферируются в иностранных физических журналах. Почти каждая работа подвергается внимательному, критическому изучению со стороны исследователей в той же области.

Рост лаборатории отражается на научной известности Авенариуса; он становится членом Русского физико-химического общества, членом-корреспондентом Петербургской Академии наук, почётным членом Московского общества любителей естествознания, членом Киевского общества естествоиспытателей (и членом-учредителем выделившегося потом Киевского физико-математического общества), членом Берлинского физического общества.

К началу восьмидесятых годов в лаборатории Авенариуса был накоплен большой научный опыт, получены многочисленные новые экспериментальные данные, разработана своеобразная методика, сочетавшая простоту и точность. Работы лаборатории в этот период печатаются под объединяющим заголовком: «Из физической лаборатории университета св. Владимира»¹⁹.

3. АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ НАДЕЖДИН

Из среды сотрудников лаборатории в это время выдвинулся молодой талантливый учёный, своими научными трудами быстро завоевавший признание в кругах русских физиков. Это был уже упоминавшийся нами Александр Иванович Надеждин²⁰. А. И. Надеждин родился в 1858 г. в семье военного врача. Поступив в 1877 г. на физико-математический факультет Киевского университета, он рано начал экспериментальную работу и, будучи студентом 3-го курса, получил золотую медаль вместе с премией Н. И. Пирогова за сочинение на конкурсную тему: «Об изменениях, замечаемых в свойствах тел, вблизи так называемой температуры абсолютного кипения».

Круг его интересов был весьма широк: он принимал участие в Киевских народных чтениях (читал лекции по метеорологии и отдавал много времени на подготовку опытов), он перевёл главу о Канте в вышедшем в Киеве в 1882 г. переводе книги А. Вебера «История европейской философии». В то же время он был членом-любителем Драматического общества.

По представлению Авенариуса А. И. Надеждин после окончания университета в 1882 г. был оставлен стипендиатом для подготовки к профессорскому званию по кафедре физики. Одновременно он был назначен преподавателем Киевской женской гимназии.

В ближайшие годы он выполняет ряд исследований, опубликованных в русских научных журналах и реферированных в заграничных изданиях. Надеждин реферировал эти работы и в Киевском обществе естествоиспытателей, в котором был весьма активным членом. В 1885 г. он определил впервые прямым способом критическую температуру воды и других жидкостей, для которых метод исчезновения мениска оказывался непригодным. Об этой блестящей работе упоминалось выше: она была опубликована в бюллетене Петербургской Академии наук. В том же году он сдал магистерские испытания и исследовал упругость насыщенных паров при высоких температурах; эта работа вошла как часть в его магистерскую диссертацию, озаглавленную «Этюды по сравнительной физике» и представленную к защите весной 1886 г.

Уже в первой студенческой работе Надеждина проявились характерные для него острая наблюдательность и стремление к

обобщению. Он исследовал зависимость от температуры упругости насыщенных паров нескольких органических жидкостей. Определяя критические температуры нескольких смесей, он подметил, что критическая температура и температура кипения смесей различного состава изменяются на одну и ту же величину: на сколько повышается температура кипения, на столько же повышается и критическая температура²¹. А. И. Надеждин предположил, что этот закон действителен для близких по составу веществ — полимеров, изомеров. Поэтому он исследует ряд изомеров и убеждается в существовании такой закономерности²². Несколько позже в немецком химическом журнале появилась работа Павлевского, который высказал такое же предположение для гомологов и представил результаты измерений над 17 эфирами в подтверждение закономерности. Надеждин дал дальнейшие примеры существования этого соотношения у гомологов^{23, 23а}. Выбирая ряды или группы с аналогичными свойствами (гомологи, изомеры, производные одних и тех же радикалов) и устанавливая для них частные закономерности, Надеждин полагал, что частные обобщения будут служить ступенями для общего синтеза, для выявления вида функции, которая связывает свойства тела с его строением и молекулярным весом. В найденной выше закономерности он видел указание на то, что зависимость температуры кипения от молекулярного веса и строения имеет тот же вид, что и для критической температуры.

В следующей работе — о теплоёмкости жидкостей²⁴ — Надеждин устанавливает новое соотношение: отношение теплоты испарения жидкости к произведению из теплоёмкости на критическую температуру постоянно для любой жидкости, если производить сравнение при температурах, при которых удельный объём каждой жидкости составляет одинаковую долю критического её объёма (соответственные объёмы). Надеждин подтверждает это положение экспериментальными данными. Далее он показывает, что отношение внутренних работ при испарении и нагревании различных жидкостей, взятых при соответственных объёмах, прямо пропорционально критическому давлению. Для истолкования этих фактов Надеждин предлагает гипотезу, что в жидкости молекулы соединяются в группы и что величина критического давления пропорциональна числу молекул, образующих одну сложную частицу жидкости.

Во введении к своей диссертации Надеждин раскрывает исходные методологические положения своей работы. «Субстратом всех физических явлений будет материя или вещество» (стр. 2)¹⁸, «... атомистическая гипотеза получила такую степень вероятности, что позволяет химический атом считать реальностью» (стр. 4)¹⁸. Выступая против нападок на атомистическую гипотезу, Надеждин заявляет, что несомненным является «существование того, что движется, мельчайших частиц, атомов» (стр. 4)¹⁸.

Для всестороннего и полного изучения физических явлений Надеждин считает необходимым исследовать зависимость между физическими свойствами и составом тел. Он ожидает, и считает это выводом из закона периодической системы Менделеева, что должна существовать «тесная связь между атомным (иногда частичным) весом и физическими и химическими свойствами тела» (стр. 4)¹³. И он рассматривает как программу для будущего «найти и измерить эту связь...» (стр. 3)¹³.

Взяв предметом диссертационной работы действие тепла на твёрдые и жидкие тела и полагая, что по состоянию современной ему науки результаты сравнительного изучения действия тепла на различные вещества «долго ещё будут иметь частный характер», Надеждин стремится к возможной полноте в доставлении и собирании опытного материала, разбросанного в огромном числе мемуаров и заметок, и в критическом его сопоставлении.

Таким образом, весьма существенную часть диссертации составляет разбор и проверка частных обобщений и целых теорий по рассматриваемой теме.

Диссертация состояла из трёх частей. В первой части Надеждин рассматривает тепловое расширение твёрдых тел, соотношения между коэффициентом расширения, молекулярным объемом и температурой плавления; она представляет критический обзор литературных данных.

Вторая часть посвящена тепловому расширению жидкостей и переходу тел из жидкого состояния в газообразное. В первой её главе помещены собственные определения Надеждина критического состояния ряда эфиров жирных кислот. Подробно излагается методика Надеждина; здесь же приведено ставшее классическим описание критического состояния. В конце главы сведены результаты измерений Надеждина. Во второй главе рассматриваются коэффициенты расширения при обыкновенных температурах. На основании многочисленных измерений Надеждина, Павлевского и других обсуждается вопрос о зависимости между точкой кипения и критической температурой. Признавая, что постоянство разности этих двух температур имеет место у соединений метамерных и гомологических (и то только приблизительно) для температур кипения при нормальном давлении, Надеждин ставит эту зависимость в связь с постоянством произведения αt_k , где α — коэффициент расширения, а t_k — абсолютная температура кипения жидкости. В третьей главе сопоставляются формулы для расширения жидкостей, а в четвёртой — исследуются выводы из уравнений состояния, относящиеся к расширению жидкостей.

В третьей части диссертации рассматриваются данные об упругости насыщенных паров. В первой главе приведены результаты измерений Надеждина для ряда эфиров жирных кислот. «Одни его определения упругости паров в этой работе стоят, по моему

мнению, докторства», — писал М. П. Авенариус А. Г. Столетову (21 марта 1886 г.)²⁵. Во второй главе сопоставляются эмпирические формулы; в последней главе закон соответственных давлений применяется к отысканию зависимости между постоянными различных формул для упругости паров.

21 марта 1886 г. М. П. Авенариус писал А. Г. Столетову: «Послал я Вам работу Надеждина, надеясь, что Вам будет приятно увидеть такой капитальный труд, произведённый без помощи иностранных учёных»²⁵.

Спустя год, в посмертном издании физических исследований Надеждина Авенариус в предисловии так оценивает эту диссертацию: «Предлагаемые им опытные данные по критическому состоянию тел и по упругости паров жидкостей при высоких температурах превосходят по своему значению все до сих пор обнаруженные — вместе взятые. А как материал этот здесь же им и обработан, то настоящее исследование представляет капитальный труд...» (стр. V — VI)²⁶.

А. Г. Столетов в своих работах о критическом состоянии тел говорит о Надеждине: «Глубокий знаток занимающего нас вопроса...»²⁷.

4. ПОСЛЕДНИЕ РАБОТЫ М. П. АВЕНАРИУСА

Начиная с 1887 г. внимание М. П. Авенариуса привлекает вопрос о тепловом расширении жидкостей. Многие исследователи довольствовались измерениями при изменениях температур в узких пределах, например до точки кипения. Авенариус ставит себе задачей получить полную картину изменений объёма жидкости и поэтому изучает расширение жидкости под давлением, равным критическому, благодаря чему он может и температуру жидкости доводить почти до критической. Так, расширение эфира Авенариус измеряет при температурах между 20°,2 и 187°,8²⁸.

Эти работы продолжает К. Н. Жук, который в 1881 г. опубликовал измерения расширения этилового спирта (между 0 и 218°,5) и сернистого ангидрида²⁹. Под руководством К. Н. Жука студенты Каннегиссер и Дьячевский определили расширение диэтиламина и хлористого этила³⁰. Результаты всех этих измерений оказались в хорошем согласии с формулой

$$V = a - b \lg (T_k - T),$$

в которой V означает измеряемый объём, T_k — критическую температуру жидкости, T — температуру при измерении, a и b — постоянные.

Если эту формулу продифференцировать по T , то получим:

$$\frac{dV}{dT} = - \frac{C}{T_k - T},$$

где C — постоянная. Таким образом, формулой учитывается известный факт, что коэффициент расширения жидкости увеличивается с приближением к критической температуре.

Итальянский физик Гримальди повторил весьма тщательно определения расширения эфира и, сравнив результаты своих измерений с вычисленными по формулам, предложенным разными исследователями, пришёл к выводу, что формула Авенариуса наиболее точно воспроизводит ход расширения жидкости (стр. 99)¹⁸.

После того как в 1876 г. свеча Яблочкова дала начало мощному развитию электрического освещения, возникла задача обеспечить независимо друг от друга включение произвольного числа ламп в одну сеть. Этот вопрос назывался проблемой «дробления электрического света». М. П. Авенариус разработал систему канализации переменного электрического тока при помощи электролитических конденсаторов. Он получил в 1880 г. привилегию на «способ деления электрического света на произвольное число независимых друг от друга источников или свечей»³¹, проверил её в небольшом масштабе в Киеве, а затем испытывал и демонстрировал в Париже в лаборатории «Société générale d'électricité (procédée Jablochkoff)» во время электрической выставки 1881 г. и выступал с докладом на заседании I международного конгресса электриков 11 октября 1881 г.³² Электрические конденсаторы Авенариуса состояли из угольных пластин, погружённых в водный раствор кремнистого натрия (жидкого — натрийного — стекла).

М. П. Авенариус так описывает действие своих конденсаторов: «Когда ток проходит через одно из этих ответвлений, он идёт через свечу, но в то же время поляризует вольтметр, т. е. последний заряжается, как если бы это был конденсатор. Когда ток изменяет направление, вольтметр разряжается и этот разряд добавляется к основному току, проходящему через свечу. Эти разряды вольтметра, повторяющиеся при каждом изменении направления основного тока, т. е. более ста раз в секунду, смогут поддерживать вольтовую дугу, лишь бы происходящий от поляризации заряд был достаточно велик»³³. Сравнительно с собственно конденсатором соответственной ёмкости «поляризатор», так назвал Авенариус свой поляризационный конденсатор, имеет преимущества компактности и дешевизны.

Автор современного курса электрических конденсаторов В. Т. Ренне указывает, что первые образцы электролитических конденсаторов появились в 1894—1896 гг.³³. Полагаем, что недопустимо упускать приоритет нашей отечественной науки, которая в лице М. П. Авенариуса ещё в 1881 г. выступила на международном конгрессе с показом электролитических конденсаторов в действии.

Расцвет научной лаборатории Авенариуса относится к десятилетию с 1877 по 1886 г. Талант руководителя в сочетании с даро-

ваниями молодых сотрудников обеспечил достаточные условия для этого расцвета. Но в царской России не было необходимых условий для развёртывания научных исследований; возникший очаг русской науки не поддерживался, а глушился. М. П. Авенариус не имел возможности сохранить около себя своих учеников и тем образовать прочное ядро для развития созданного им научного направления. Зайончевский перешёл на работу доцентом в Институт сельского хозяйства и лесоводства в Новую Александрию; О. Э. Страус переехал в 1881 г. в Петербург и вскоре перешёл от вопросов молекулярной физики к электротехнике. К. Н. Жук почти оставил научную работу, отдав своё время работе учебной.

М. П. Авенариусу пришлось похоронить своего любимого, наиболее талантливого ученика Надеждина.

А. И. Надеждин в апреле 1886 г. защитил диссертацию на звание магистра; в апреле же ему была назначена заграничная командировка с научной целью на два года. На неё он возлагал большие надежды, так как намеревался хоть немного отдохнуть и восстановить свои силы, которые начали его покидать в результате непомерной работы. Но было уже слишком поздно: 6 мая он выехал из Киева в Берлин, а оттуда отправился для лечения во Франценсбад, где в июне и скончался. Его биограф приводит мнение врачей, что работа с ядовитыми жидкостями могла повлиять на быстрое течение болезни почек.

С горечью писал Авенариус: «Хотя Россия не может пожаловаться на отсутствие в её сынах дарований, но редко эти дарования приносят желанные плоды. Те или другие невзгоды останавливают выполнение часто очень широко поставленных научных задач и приходится только жалеть о потере для науки молодых сил, подававших большие надежды. Со смертью А. И. мы потеряли гораздо большее; несмотря на свои молодые годы, он не только подавал надежды, но уже успел блистательно оправдать самые смелые ожидания своих наставников и товарищей и в 28 лет составить себе почётное имя среди европейских учёных» (стр. VI)³⁶.

В течение всего периода наиболее интенсивной деятельности лаборатории Авенариуса условия работы продолжали оставаться тяжёлыми.

«Если принять в соображение, что комнаты имеют высоту 8 футов, что окна соответственно тому очень малы, — то приходим к убеждению, что помещение нашей лаборатории мизерно до невозможности» (стр. 422)³⁷. И в этих помещениях, как писал ученик Авенариуса Э. К. Шпачинский, «Авенариус по несколько часов подряд проводил ежедневно в одной из комнат своей лаборатории среди зажжённых газовых горелок и накаливаемых магнусовских ванн, в невыносимо высокой температуре, в сухой переполненной углекислотой атмосфере, всё время на ногах,

терпеливо следя за показаниями термометров, с карандашом в руке для записывания изменений объёма и пр.» (стр. 423)⁸.

Годы таких занятий не могли пройти без вреда для здоровья, и с начала восьмидесятых годов М. П. Авенариус начал терять силы; он рано одряхлел и в 55 лет, в 1890 г., прекратил чтение лекций и вынужден был воздерживаться от физического и умственного утомления.

М. П. Авенариус умер 4 сентября 1895 г.

К концу восьмидесятых годов, после смерти Надеждина, прекращаются публикации под заголовком: «Из физической лаборатории университета св. Владимира».

А. Г. Столетов заканчивает биографию М. П. Авенариуса словами: «В летописях русской физики Михаилу Петровичу Авенариусу принадлежит почётное место и как исследователю, и как учителю. Имя его не должно быть забыто и в науке всемирной» (стр. 432)⁹.

Привлекательный образ М. П. Авенариуса рисует близко его знавший А. Г. Столетов: «Это был человек мягкого и в то же время прямого характера, он никогда не кривил душой, говорил и действовал всегда по убеждению и на его слово можно было положиться. К науке и к профессорским обязанностям он относился с благоговением, как к делу святому. Свидетельства родных, сослуживцев и учеников дополняют это личное впечатление. Они единогласно рисуют покойного как отличного семьянина, горячо любимого в родном кругу, как стойкого и высоко честного члена коллегии, как друга и любимца учащейся молодёжи. В среде служебной, в кругу товарищей он внушал уважение даже людям другого лагеря, был чужд оппортунизма и ненавидел формалистику. Студенты ценили в нём и увлекательного лектора, и неутомимого работника-руководителя, и надёжного заступника в правом деле. Всегда деликатный, снисходительный без поблажки, он умел щадить молодое самолюбие, умел воодушевить даровитого и ободрить слабого; подавал собой высокий нравственный пример, а при нужде не отказывал и в материальной помощи» (стр. 426)⁹. «Чистая душа», «добросовестный искатель» — характеризует его Столетов в иных строках той же биографии.

5. КИЕВСКАЯ ШКОЛА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ

Лаборатория М. П. Авенариуса была в России одной из первых школ экспериментальной физики. Как видно из сказанного, центральное место в её тематике занимало изучение свойств жидкости во всей области её существования и изучение свойств пара до критической температуры. Изучение свойств жидкостей и паров было на протяжении всего XIX столетия одной из главных проблем физики в значительной мере в силу запросов, кото-

рые ставило науке развитие паровой машины. Ещё Ватт определил скрытую теплоту парообразования (1781) и упругости паров воды вплоть до $+133^{\circ}$. В работах Реньо, опубликованных в его «отчёте об опытах для определения основных законов и численных данных, входящих в расчёты паровых машин» (т. I, 1847; т. II, 1862; т. III, 1870), разнообразие газы и пары были исследованы с крайней тщательностью. Учение о непрерывности газового и жидкого состояний привело к воззрению, что критические состояния являются одинаковыми или соответственными состояниями всех веществ. Согласно этому учению критические данные являются как бы естественной мерой изучаемого вещества, так что давление, температура и объём, выраженные в этой естественной мере (приведённые давление, температура и объём), связаны единым выражением для всех веществ. Поэтому определение критических величин было одной из важнейших задач физики в семидесятых-восемидесятых годах XIX столетия. Как писал Авенариус: «Пользуясь началами механической теории тепла и данными по критическому состоянию тел, физики занимались в последнее время с особенным интересом вопросом об изменениях, производимых в телах теплотой. Но недостаток опытных данных, в особенности касательно критического состояния тел, ставил, с одной стороны, преграды дальнейшим теоретическим изысканиям, с другой, — не давал возможности решить, которым из предполагаемых теорий отдать предпочтение» (стр. 7)²⁶.

Вопросами критического состояния занимались в России одновременно с работами киевской школы с теоретической стороны А. Г. Столетов, П. А. Зилев, Б. Б. Голицын; экспериментально изучали эти вопросы многие видные исследователи за границей. Каждая появлявшаяся работа встречалась с большим вниманием и подвергалась детальному критическому изучению. В этом соревновании многочисленных лабораторий выдающееся место принадлежит Киевской лаборатории.

Школа Авенариуса следовала завету Пирогова «ценить трезвое дознание трудом», уважать факты. Точно определённый, строго проверенный факт был исходным моментом в её обобщениях. Критические величины, измеренные в киевской лаборатории, пережили полвека и сохранили своё значение. Многочисленные измерения, выполненные за это время в лабораториях разных стран, не вытеснили ранее произведённых измерений киевской лаборатории. Между тем киевская лаборатория располагала только весьма скромными средствами. Преобладающую часть её оборудования составляли приборы для лекционных демонстраций.

Лаборатория М. П. Авенариуса выработала своеобразную, самобытную методику, которая сочетала простоту средств с точностью результатов и поэтому заслуживает внимательного изучения.

Для иллюстрации мастерства, которое выявляли в своих измерениях Авенариус и его сотрудники, приведём несколько примеров.

Среди измерений критических величин труднейшими считаются определения критического удельного объёма или критической плотности. Как же определяли эту величину в киевской лаборатории? Жидкость помещалась в толстостенную стеклянную трубку, оба конца которой были загнуты; на одном колене были нарезаны деления и точно определена ёмкость всех её частей, на другой — выдута расширенная полость довольно значительного объёма. В первом колене помещалась испытуемая жидкость, во втором — какая-нибудь вспомогательная жидкость со значительным коэффициентом расширения; жидкости отделялись друг от друга столбом ртути. Оба колена погружались в отдельные воздушные ванны, в которых устанавливалась точно измеряемая температура. Путём нагревания колена, содержащего вспомогательную жидкость, вызывалось её расширение. Жидкость оказывала давление на ртуть и, перемещая её, уменьшала объём, занятый испытуемой жидкостью и её насыщенным паром. Продолжая подогревать второе колено, можно было обратить в жидкость весь пар испытуемой жидкости. В момент исчезновения последних следов пара определялось положение ртути в первом колене и, тем самым, объём испытуемой жидкости. Затем второе колено охлаждалось; при этом жидкость сжималась, ртуть сдвигалась, объём для испытуемой жидкости и её пара в первом колене увеличивался и часть жидкости переходила в пар. Соответствующим охлаждением второго колена можно было всю жидкость в первом колене обратить в пар и в момент улетучивания последнего следа жидкости определить объём пара в калиброванной трубке. Такой опыт давал возможность получить объём испытуемого тела как в жидком, так и в парообразном виде при определённой температуре.

Повторяя опыт при различных температурах испытуемой жидкости, получали зависимость объёма жидкости и пара от температуры. Эти кривые сходятся в точке, соответствующей критическому состоянию тела. Хотя опытным путём достичь критической температуры не всегда было возможно, экстраполируя экспериментальные кривые, можно было определить довольно точно место их пересечения и, тем самым, критический объём³⁴.

Итак, Авенариус для создания требуемых давлений замещал тепловым расширением вспомогательной жидкости отсутствовавший нагнетательный насос, т. е. решал поставленную задачу чрезвычайно простыми техническими средствами, и обеспечивал достаточно точный результат, правда со значительной затратой времени на измерения.

Надеждин считал этот приём трудным и заменил его другим, крайне простым, основанным на его наблюдении, что нормальному критическому объёму соответствует исчезновение мениска где-нибудь посредине трубки и густая интенсивная муть по всей длине трубки, сопровождающая обратный переход.

Надеждин заготавливал цилиндрические прокалиброванные трубки (около 2—3 мм в диаметре). Он брал четыре такие трубочки, наполнял их жидкостью, каждую до определённой доли объёма, например: 0,42; 0,37; 0,34; 0,31, прокипятив, запаивал их и помещал внутри ванн для нагревания. Допустим, наблюдение показало, что критический объём лежит между 0,37 и 0,34. Тогда он наполнял ещё три такие же трубочки до 0,36; 0,35 и 0,33 всего объёма. Новый опыт показывал, что 0,36 и 0,35 близки к критическому, причём 0,36 ближе, чем 0,35 (раздел исчезал не вблизи нижнего края, а посредине). Тогда он охлаждал трубочку с наполнением 0,36, резцом намечал положение уровня жидкости и, отломив кончик, удалив жидкость и просушив трубочку, калибровал её ртутью, так что получал отношение объёма паров при критической температуре и объёма жидкости при данной температуре (стр. 71—72)¹³.

Этим методом Надеждин определил критические объёмы 17 жидкостей.

Успех был достигнут не благодаря совершенству сложной технической аппаратуры, а благодаря острому анализу и находчивому использованию наблюдений.

Так же просто и в то же время надёжно решался в киевской лаборатории вопрос об обеспечении верных показаний термометра при определении критической температуры. Трубочка с испытуемым веществом и термометр находились рядом внутри воздушной ванны. Требовалось обеспечить, чтобы даже при постепенном нагревании или охлаждении разница между температурами в разных местах внутри этой ванны (ящика) была бы минимальной, а также чтобы показания термометра не искажались действием излучений стенок ящика. Для этой цели данный ящик с трубочкой и термометром помещали в другой — такой же, но больших размеров, этот — в ещё больший, затем — в ещё больший четвёртый и, если требовалось, — в ещё больший пятый. Каждый ящик был со всех сторон отделён от следующего воздушным промежутком.

А. И. Надеждин с полной уверенностью заявлял, «что наш способ определения критических температур представляет больше гарантий для точности — в этом можно поручиться» и, критикуя некоторые публикации, указывал, что в измерениях киевской лаборатории «разница между температурами различных частей последнего (внутреннего — А. Г.) ящика, по неоднократно сделанным наблюдениям, не превышает $0^{\circ}, 1 - 0^{\circ}, 2$ »^{23a}.

Таким образом, точность результатов достигалась критическим контролем каждого элемента производимых опытов, особой тщательностью наблюдений, глубоким анализом наблюдаемых процессов.

Исследуя физические факты, школа М. П. Авенариуса изучала эти факты в их внутреннем развитии, в их движении: освоенный факт служил ступенью для перехода к следующему, для расширения изучаемой области.

Приведём несколько примеров.

Надеждин, имея продажный, загрязнённый амилен, который для определения критической температуры он должен был очистить, измерял критические температуры всех полученных при фракционной дистилляции фракций с неизвестным содержанием примесей и установил, что критические температуры изменяются на ту же величину, на которую разнятся температуры отгонки фракций, т. е. на сколько повышается точка кипения, на столько же повышается и критическая температура²¹.

Это соотношение он, далее, расширил на изомеры и гомологические соединения. Таким образом сближались явления у различных веществ.

Подобным образом Страус из наблюдений критических температур двух жидкостей установил простую формулу для определения критической температуры смеси по критическим температурам компонент, и это дало ему возможность путём измерения критических температур смесей воды со спиртом определить критическую температуру воды¹⁷.

Так, от определения критической температуры чистого вещества совершался переход к определению критической температуры для смеси с известным составом, а затем обратный переход к определению для чистого вещества, для которого критическая температура была недоступна прямому наблюдению.

Школа Авенариуса дала блестящие примеры использования теории соответственных состояний для овладения труднодоступными явлениями. Выше упоминалось, что Страус, установив критическую температуру воды, с помощью этой величины вычислил соответственные температуры воды и эфира и по табличным данным упругостей насыщенных паров эфира и воды сопоставил соответственные данные упругостей водяных паров и паров эфира; отсюда он установил их численное соотношение, и это дало возможность по критическому давлению эфира определить критическое давление воды, ещё недоступное прямому определению. Затем по критической температуре и давлению воды он вычислил точки кипения различных жидкостей в хорошем согласии с опытом¹⁷.

Надеждин в своей работе о теплоёмкости жидкостей даёт многочисленные примеры подобных пересчётов.

В основе всей этой методики лежало стремление всесторонне и полно осваивать изучаемые явления.

Авенариус выдвигал принцип: «необходимо рассматривать явление в возможно широких пределах изменяемости» причины, его обуславливающей⁸⁵. Этому следовали его сотрудники, изучая упругость насыщенных паров или расширение жидкостей практически во всей области существования этих жидкостей.

Методика научной работы тщательно разрабатывалась в дореволюционных школах русских физиков; в тяжёлых условиях, при скудных средствах, отпускавшихся царским правительством на экспериментальные исследования, только самобытная, изобретательная методика обеспечивала развитие школы и успех в состязании с лучшими лабораториями того времени при решении трудных физических вопросов. Вопросы методики исследования имеют огромное значение и в наше время, особенно в связи с задачей увеличения продуктивности научного труда. Опыт, накопленный в школах А. Г. Столетова, М. П. Авенариуса и других физиков, весьма поучителен; его предстоит собрать и изучить.

Ныне коренным образом изменились условия развития науки в нашей стране. Созданы первоклассные научно-исследовательские институты, воспитана огромная армия квалифицированных советских учёных.

Но и в расцвете своих сил советская наука не забывает своих предшественников — тех, кто в тяжкие дореволюционные годы с честью трудился под славным знаменем русской науки.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Сочинения Н. И. Пирогова, т. I, изд. Пироговского товарищества, Киев, 1910.
2. Журнал Министерства народного просвещения, ч. 119-я, отд. II, 1863, стр. 60 — 67.
- 2а. Журнал Министерства народного просвещения, ч. 122-я, отд. II, 1864, стр. 88 — 90.
3. А. Г. Столетов, Собрание сочинений, т. II, Гостехиздат, 1941.
4. М. Авенариус, Об электрических разностях металлов при различных температурах, СПб, 1866, стр. 2 — 3.
5. М. Авенариус, Об электровозбудительной силе термоэлектрических элементов с точки зрения механической теории тепла, (Киевские) университетские Известия, № 11, Киев, 1870, стр. 1 — 5.
6. О. Д. Хвольсон, Курс физики, т. 4, изд. 2, Петроград, 1915, стр. 667 — 668 и 671.
7. Ch. S. Hastings a. F. E. Beach, A. Textbook of General Physics, Boston, USA, Ginn Co 1900, стр. 445.
8. Из письма В. Зайончевского А. Г. Столетову от 4 октября 1895 г. (Архив библиотеки им. А. Г. Столетова.)
9. Биографический словарь профессоров и преподавателей Императорского университета св. Владимира (1834 — 1884), под ред. проф. В. С. Иконникова, Киев, 1884, стр. 3 — 6.

10. Д. И. Менделеев, Химический журнал Соколова и Энгельгардта, 3, 1860, стр. 81.
11. M. Avenarius, Ueber innere latente Wärme, Bullet. de Moscou, 47, № 3, 1873.
12. В. Зайончевский, Определение упругости паров некоторых жидкостей при высоких температурах, (Киевские) университетские Известия, год 18-й, отдел III, 1878, № 4, стр. 21 — 49 и № 8, стр. 29.
13. Ал. Надеждин, Этюды по сравнительной физике, Киев, 1886.
14. Landolt-Börnstein, Physikalisch-chemische Tabellen, 5 Aufl., Berlin, Springer, 1923, т. 1; таблица 73, стр. 253.
15. М. П. Малков и К. Ф. Павлов, Справочник по глубокому охлаждению, Гостехиздат, 1947, таблица 46, стр. 141.
16. Д. Кэй и Т. Лэби, Справочник физика-экспериментатора, Москва, 1949, стр. 81.
17. О. Страус, О критической температуре и критическом давлении воды, ЖРФХО, ч. физич. 14, 510 — 517 (1882).
18. A. Nadéjdine, La détermination de la température critique dans les tubes opaques, Bulletin de l'Académie Imp. d. Sc. de St. Petersburg, т. XXX, № 5, 1886, стр. 327 — 330.
19. См., например, ЖРФХО, ч. физич. 14, стр. 536, 15, стр. 25, 16, стр. 222, и т. д.
20. Биографические данные о А. И. Надеждине: а) Биографический очерк в издании: А. И. Надеждин, Физические исследования, Киев, 1887, стр. VII — XII; подписано Б. б) Д. Д. Языков, Обзор жизни и трудов покойных русских писателей, вып. 6-й, Русские писатели, умершие в 1886 г., СПб, 1890, стр. 89 — 90. Также, Вестник опытной физики и элементарной математики, № 1, 1886, стр. 16 — 18; Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона, т. XX, 1897, стр. 432 и др.
21. К. Жук, К вопросу о температуре абсолютного кипения жидкостей (Из рукописного сочинения студента А. Надеждина), ЖРФХО, ч. физич. 14, 157 — 162 (1882).
22. А. Надеждин, К вопросу о температуре абсолютного кипения, ЖРФХО, ч. физич. 14, 536 — 541 (1882).
23. А. Надеждин, К вопросу о критической температуре изомеров и гомологических рядов, ЖРФХО, ч. физич. 15, 25 — 30 (1883).
- 23а. А. Надеждин, Несколько слов по поводу статьи г. Павлевского «Ueber die kritischen Temperaturen einiger Flüssigkeiten» ЖРФХО, ч. физич. 16, 74 — 75 (1884).
24. А. Надеждин, О теплоемкости жидкостей, ЖРФХО, ч. физич. 16, 222 — 237 (1884).
25. Из переписки А. Г. Столетова, хранимой в библиотеке его имени в Физическом институте Московского государственного университета.
26. А. И. Надеждин, Физические исследования, Киев, 1887, стр. V — VI.
27. А. Г. Столетов, Собрание сочинений, т. I, 304, Гостехиздат, 1939.
28. M. Avenarius, Volumveränderung einer Flüssigkeit durch Temperatur und Druck, Bulletin de l'Acad. Imp. des sc. — de St. Petersburg, т. XXIV, 1877, стр. 525 — 533.
29. К. Жук, Объем жидкости как функция температуры при постоянном давлении, ЖРФХО, т. 13, стр. 239 — 241 и стр. 411 — 413, 1881.
30. К. Жук, Объем жидкости как функция температуры при постоянном давлении (реферат из рукописного сочинения студентов Каннегиссера и Дьячевского). Записки Киевского Общества

- естествоиспытателей, т. VII, вып. 2, стр. LXXXII (1884); ЖРФХО, ч. физич. 16, 304 (1884).
31. М. Авенариус, Записки Имп. русск. техн. о-ва, т. XVII, 1883; Привилегия, № 89, 1880.
 32. Congrès International des Electriciens, Paris, 1881; Comptes rendus des travaux, 1882, стр. 373 — 375.
 33. В. Т. Ренне, Электрические конденсаторы, Госэнергоиздат, 1947, стр. 8.
 34. М. П. Авенариус, Критическое состояние тел, Журнал элементарной математики, т. 1, № 5, Киев, 1884.
 35. М. П. Авенариус, ЖРФХО, ч. физич. 16, 402 — 403 (1884).
-