

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р

ТРУДЫ ИНСТИТУТА
ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ
И ТЕХНИКИ

Том 5

*История
физико-математических
наук*



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
Москва 1955

КИЕВСКИЙ ФИЗИК МИХАИЛ ПЕТРОВИЧ АВЕНАРИУС

ПЕРВЫЕ ФИЗИКИ КИЕВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Указ об учреждении Киевского университета был подписан 8 ноября 1833 г. Торжественное открытие университета состоялось 15 июля 1834 г., а 28 июля началось чтение лекций¹. Вначале было два факультета: философский, I отделение которого соответствовало физико-математическому факультету, а II — историко-филологическому, и юридический. В 1840 г. открылся третий факультет — медицинский, с одновременной передачей университету Виленской медико-хирургической академии.

Первыми преподавателями Киевского университета были (в основном) учителя незадолго перед тем закрытого Волынского лицея в г. Кременце, функционировавшего в 1818—1831 гг. Однако лицейские преподаватели, переименованные в ординарных и экстраординарных профессоров, мало подходили к занятию этих должностей, одни — по возрасту, другие — по подготовке. Кроме того, многие из них недостаточно владели русским языком и читали лекции на смешанном русско-польском диалекте.

К кременецкой группе принадлежал и первый заведующий кафедрой физики в Киевском университете, магистр философии, ординарный профессор Игнатий Карлович Абламович. Абламович родился в 1787 г. в польской дворянской семье. По окончании курса гимназии он поступил в 1804 г. в учительскую семинарию при Виленском университете. В 1806 г. Абламович окончил семинарию со степенью магистра, а в 1808 г. был назначен учителем физики, химии и естественной истории в минскую гимназию. В 1810—1813 гг. он состоял в должности

¹ Рождественский. Исторический обзор деятельности Министерства народного просвещения. СПб., 1902; В. Ш у л ь г и н. История университета св. Владимира. СПб., 1860.

помощника профессора Виленского университета, после чего снова перешел в гимназию (1813—1817). Получив в 1818 г. заграничную командировку для усовершенствования в науках, он довольно долго прожил в Париже (1818—1824). По возвращении из командировки он работал в средних учебных заведениях, последним из которых был Волынский лицей.

В Киевском университете Абламович пробыл в должности ординарного профессора физики три года. В 1837 г., по выслуге лет по ведомству просвещения, он был уволен от должности ординарного профессора. Умер Абламович от холеры в 1848 г. Печатных трудов не оставил. Упоминается его проект учебника технологии для училищ и подробный конспект предполагавшегося к преподаванию в университете курса технологии. В университете он читал физику, руководствуясь преимущественно курсом Пулье, и, кроме того, обучал студентов проведению метеорологических наблюдений². В. Шульгин бывший студент Киевского университета, а потом его профессор, писал, что из лекций Абламовича «слушатели ничего не выносили»³.

После Абламовича курс физики в университете в течение девяти лет (1837—1846) читал магистр богословия и словесных наук, ординарный профессор физики и математики Венедикт Павлович Чехович.

В. П. Чехович родился в 1804 г. в семье священника, обучался в Волынской духовной семинарии (1817—1823) и в Киевской духовной академии, где изучал богословие, философию, физико-математические дисциплины, словесность, историю, языки — еврейский, латинский, греческий, немецкий и польский. По окончании в 1827 г. академии по первому разряду он получил степень магистра и тогда же был определен бакалавром в академию по классу физико-математических наук; там же он преподавал неоднократно латинский и польский языки. С разрешения министра просвещения Уварова Чехович был приглашен в Киевский университет (24 октября 1837 г.) экстраординарным профессором по физике и физической географии и в течение девяти лет (до 1846 г.) исполнял эту должность. Помимо занятий в духовной академии и в университете, Чехович преподавал физику в киевском институте благородных девиц (1842—1850), состоял членом Комиссии для разбора

² В. С. Иконников [ред.]. Биографический словарь профессоров и преподавателей университета св. Владимира. Киев, 1884.

³ В. Шульгин. История университета св. Владимира. СПб., 1860.

древних актов (1845) и членом Комиссии для описания губерний Киевского округа (с 1857). В. П. Чехович умер 20 ноября 1862 г.

Курс физики, который читал Чехович в университете (6 час. в неделю), делился на две части — общую и частную. В первую часть входили общие свойства тел и раздел об инструментах, во вторую — учение о теплотворе, электричестве, магнетизм, свет и электромагнетизм. Основным руководством служили «Начальные основания физики» Щеглова с дополнениями из Био, Пулье, Ленца. Кроме того, Чехович читал курс физической географии (2 часа в неделю), руководствуясь учебником Мальта-Брюна. По отзывам современников, физику Чехович читал в пределах гимназического курса. Помимо лекций, на него было возложено заведывание физическим кабинетом и обучение студентов проведению метеорологических наблюдений. Результаты наблюдений (1842—1844, 1852—1853) не отличались высокой точностью⁴. Чехович опубликовал «Динамику вещественной природы» (1837), перевод с латинского сочинений Киприана (1860) и несколько религиозно-нравственных статей⁵.

В. П. Чеховича сменил Эрнест Августович Кнорр, доктор философии и магистр свободных наук Берлинского университета. Родился Кнорр в 1805 г. в Герцберге в Саксонской провинции Прусского королевства, ученую степень доктора получил в 1830 г. Некоторое время он состоял преподавателем одной из берлинских гимназий. В 1832 г. он получил приглашение в Россию и был назначен ординарным профессором физики в Казанский университет. Помимо учебных занятий, Кнорр занимался магнитными и метеорологическими наблюдениями. В 1836 г. он был командирован по губерниям Казанского учебного округа для проведения этих наблюдений в различных пунктах округа; в 1842 и 1843 гг. совершил поездку по Пензенской, Оренбургской, Вятской и Пермской губерниям для ознакомления с их метеорологическими, физическими и геологическими условиями. В 1846 г. Кнорр был переведен на кафедру физики Киевского университета; здесь он занимался изучением геофизических условий нового района, участвовал в наблюдении солнечного затмения в г. Умани (1851).

В Киевском университете Кнорр прослужил двенадцать лет и в 1858 г. был уволен за выслугой лет по ведомству просвещения.

⁴ Веселовский. О климате России. 1857; А. К л о с с о в с к и й. Некоторые данные для климатологии Киева. 1873.

⁵ В. С. И к о н н и к о в [ред.]. Биографический словарь профессоров и преподавателей университета св. Владимира. Киев, 1884.

В университете он читал курс опытной физики (4 часа в неделю) для студентов математического и естественного отделений и, кроме того, курс физической географии (2 часа в неделю). Руководством к физике по курсу Кнорра служили его собственные записки, а также учебники Био, Пулье, Беккереля, Ламе, Баумгартнера и др. В отличие от многих своих соотечественников, Кнорр вел преподавание на русском языке. Под его наблюдением была построена метеорологическая обсерватория Киевского университета (1856). Научные работы Кнорр печатал преимущественно на немецком языке. На русском языке имеются только выводы из барометрических и термометрических наблюдений метеорологической обсерватории Казанского университета (1828—1833), ход температуры в Казани по наблюдениям в 1833 г. и отчет о поездке в г. Умань для наблюдения полного солнечного затмения 16 июля 1851 г.

После Кнорра в течение семи лет (1858—1865) должность ординарного профессора физики и физической географии исполнял магистр математических наук Матвей Иванович Талызин.

М. И. Талызин родился в 1819 г. в Петербурге, где и учился сначала в 3-й гимназии, а потом в университете. Ученик академика Э. Х. Ленца, Талызин получил хорошую физико-математическую подготовку. Он привлек внимание своего учителя, успешно решив предложенную студентам задачу на премию (1838—1839): «Какие взаимные отношения существуют между разными гальваническими токами и магнитом». Ему была присуждена серебряная медаль. По окончании университета со степенью кандидата (1840) Талызин первое время состоял старшим учителем математики в 1-й гимназии и, кроме того, читал механику в коммерческом училище (1845). В 1847 г. он защитил магистерскую диссертацию в Петербургском университете на тему «О приливах и отливах», в 1853 г. получил назначение в Александровский лицей на должность преподавателя физики, а затем (1856) адъюнкт-профессора. В Киевский университет он был переведен исполняющим должность ординарного профессора (1858).

Как и его предшественники, Талызин читал курс общей физики студентам физико-математического и медицинского факультетов и курс физической географии для обоих отделений физико-математического факультета. Кроме того, на третьем и четвертом курсах математического отделения он читал специальные дисциплины — оптику, теорию магнетизма и электричества, механическую теорию теплоты. Известен ряд печатных и литографированных работ Талызина, среди которых имеются

и учебные руководства⁶. В работе⁷ автор рассматривает случаи вращения тел относительно оси, с центробежной машиной в качестве модели, и показывает, что закон сохранения энергии (закон сохранения работы — в формулировке автора) остается справедлив во всех случаях.

Первоначальное определение Гельмгольца для этого закона как закона сохранения силы он справедливо считал неудачной формулировкой, могущей породить только недоразумения. Оставил Талызин университет по выслуге лет в 1865 г.

Первое оборудование физического кабинета Киевского университета было получено из закрытого Волынского лицея. В год организации кабинета в нем было 218 физических приборов.

При Абламовиче кабинет получил всего пять новых приборов, переданных из закрытых базилианского монастыря и уманского уездного училища (1835). При Чеховиче часть приборов была переделана и исправлена механиком кабинета, часть приобретена на счет штатных сумм университета (3500 р.) преимущественно из новой в то время области физики — электромагнетизма.

В 1840 г., по закрытии Виленской медико-хирургической академии, физический кабинет получил из ее оборудования еще 149 приборов. При выходе Чеховича в отставку (1846) кабинет насчитывал уже 403 прибора на сумму 8219 р. При Кнорре (1847) пополнение пошло быстрее, да и качество приобретаемого оборудования более соответствовало требованиям университетского преподавания. Ко времени выхода Кнорра в отставку (1858) кабинет имел 506 приборов общей стоимостью в 16 557 р.

М. И. Талызин довольно энергично продолжал пополнять кабинет, чему способствовали и наступившие более благоприятные условия; по университетскому уставу 1863 г. на расходы по физическому кабинету ежегодно отпускалась 1000 рублей, что по тому времени составляло немалую сумму. По уходе Талызина из университета (1865) физический кабинет

⁶ М. И. Т а л ы з и н. 1) Руководство к математической и физической географии для гимназий. Изд. 1-е, 1848; изд. 2-е, 1852; изд. 3-е, 1857; 2) Исследование о приливе и отливе в Белом море, Морской сборник, № 12, 1858; 3) Теория магнетизма, литогр. лекции, читанные в 1862 г.; 4) О линейных дифференциальных уравнениях 2-го порядка, Труды 1-го съезда русских естествоисп. в 1862 г.

⁷ «Закон сохранения работы в применении к явлениям, производимым центробежной силой». Математ. сб., т. III, М., 1868.

насчитывал уже 580 приборов на общую сумму в 20 761 р.⁸ В это время физический кабинет Киевского университета по числу приборов и их общей стоимости стоял впереди других провинциальных университетов, уступая только столичным. В педагогическом отношении ценность снижалась, однако, тем, что при организации кабинета комплектование носило случайный характер и преследовало преимущественно задачи средней школы.

Слабым местом в постановке в университете учебной и научной работы по физике, особенно в первые десятилетия, было отсутствие квалифицированных педагогов. Университет в своих отчетах неоднократно отмечал неудовлетворительное состояние с кадрами по кафедре физики⁹. Нехватка педагогов была в то время хронической болезнью и других русских университетов. Так, по уставу 1863 г. на физико-математическом факультете каждого университета полагалось 16 профессоров и три доцента (при двенадцати кафедрах). В действительности же на шести таких факультетах университетов Петербургского, Московского, Харьковского, Казанского, Киевского, Новороссийского (кроме Дерптского) к концу 1865 г. значилось 20 вакантных кафедр; по всем же факультетам их числилось 111¹⁰. Особенно большой недостаток в преподавателях испытывали провинциальные университеты. Так, например, на физико-математическом факультете Киевского университета к началу 1865 г. было всего 7 ординарных профессоров, 2 экстраординарных, 1 адъюнкт, 2 лаборанта, 3 консерватора кабинетов, т. е., исключая обслуживающий персонал, было всего 10 человек преподавательского состава¹¹.

Неудовлетворительное положение с профессорско-преподавательским составом сохранялось из года в год. В 1866 г., например, из положенного штата преподавателей Киевского университета (40 ординарных профессоров, в том числе один профессор богословия, 18 экстраординарных, 31 доцент и 4 преподавателя) имелось 23 ординарных профессора, 11 экстраординарных, 7 доцентов и 4 лектора, т. е. менее половины необходимого состава. Аналогичная картина наблюдалась в Ка-

⁸ В. С. Иконников [ред.]. Историко-статистические записки об учебных и учебно-вспомогательных учреждениях университета св. Владимира. Киев, 1884; В. Ш у л ь г и н. История университета св. Владимира. СПб., 1860; Журнал Министерства народного просвещения (далее сокращенно обозначается ЖМНП), ч. 125, март 1865.

⁹ ЖМНП, ч. 125, 374, март 1865.

¹⁰ ЖМНП, ч. 129, 22, январь 1866.

¹¹ ЖМНП, ч. 125, 366, март 1865.

завском, Харьковском и Новороссийском университетах. Даже в столицах на физико-математическом факультете часть кафедр оставалась незанятой¹².

Как следует из отчета министра народного просвещения, к концу 1870 г. в подведомственных ему университетах Петербургском, Московском, Харьковском, Казанском, Новороссийском, Варшавском и Дерптском числилось 429 преподавателей со степенью магистра и лекторов (иностранных языков), а по штату требовалось 614, т. е. недочет составлял 185 человек, или около трети положенного состава¹³.

Недостаток научных кадров в высших учебных заведениях временами усиливался, временами ослабевал, но не прекращался в течение всего XIX в. В начале 60-х годов, в связи с предстоявшим открытием Новороссийского университета и с утверждением нового университетского устава, расширявшего штаты университетов, недостаток в научных кадрах стал еще ощутительнее. Пришлось принять срочные меры для быстрого замещения хотя бы части новых вакансий. Под давлением общественного мнения и крайней необходимости в 1862 г. было решено отправить за границу, по рекомендации кафедр и университетов, молодых преподавателей, получивших ученую степень магистра или, по крайней мере, кандидата в одном из русских университетов. В качестве руководителя и лица, ответственного за подготовку молодых ученых, был назначен выдающийся педагог Н. И. Пирогов.

В начале 1863 г. (24 марта) Пирогов писал министру: «К чести всех наших кандидатов к профессорскому званию, посланных от министерства и университетов, нужно, по справедливости, сказать, что они с большой ревностью приготавливаются к будущему своему призванию в германских университетах». И далее, тут же, он дает краткую характеристику их работе: «Некоторые весьма сблизились с профессорами и занимаются постоянно под непосредственным их руководством; от некоторых знаменитых профессоров мне приятно было слышать лестные отзывы о моих соотечественниках»¹⁴.

Общие расходы правительства по командировке за пять лет (1862—1866) достигли значительных по тому времени сумм (440 000 р.)¹⁵. Уже к ноябрю 1865 г. из числа командированных

¹² ЖМНП, ч. 137, 57, январь 1868; ч. 138, 292, 1868.

¹³ ЖМНП, ч. 160, 1, март 1872.

¹⁴ ЖМНП, ч. 129, 12, январь 1866.

¹⁵ ЖМНП, ч. 137, 13, январь 1868.

в Россию возвратилось 56 человек. Среди них находился и молодой физик Михаил Петрович Авенариус, занявший кафедру в Киевском университете после М. И. Талызина и впервые придавший ее работе серьезное научное направление, достойное крупного высшего учебного заведения.

ЖИЗНЬ М. П. АВЕНАРИУСА ¹⁶

Михаил Петрович Авенариус родился в Царском селе (ныне г. Пушкин) 7 (19) сентября 1835 г. Его отец, окончивший курс в Дерптском университете, был законоучителем Александровского лицея, кадетского корпуса и пастором в Царском селе. Он интересовался наукой, состоял членом Географического общества и занимался литературной деятельностью. Михаил Петрович был в семье девятым из пятнадцати человек детей. По окончании в 1854 г. Петербургской 5-й гимназии он поступил в Петербургский университет на физико-математический факультет и окончил его в 1858 г. со степенью кандидата математических наук.

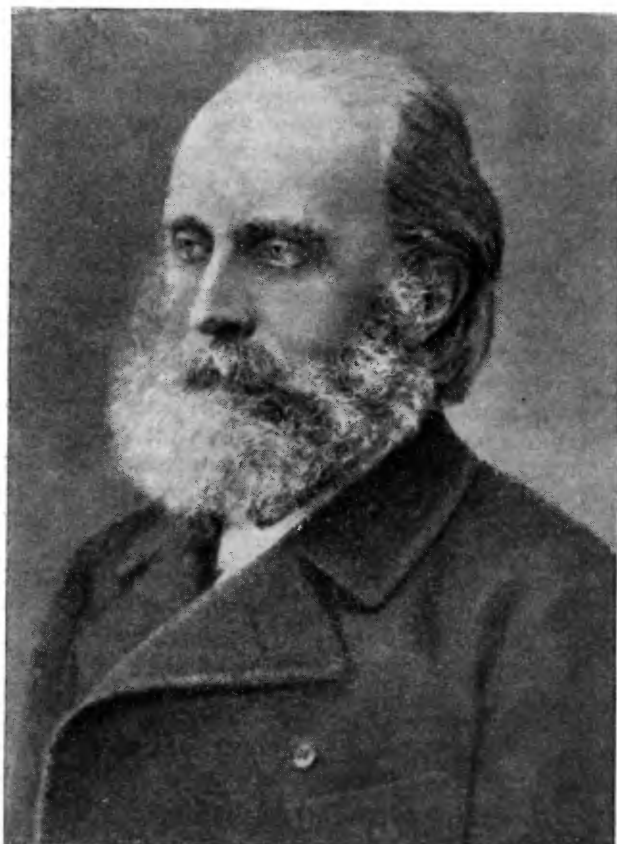
Кафедрой физики университета руководил в то время выдающийся ученый и экспериментатор Э. Х. Ленц ¹⁷. В первые же годы заведывания кафедрой (1835) он ввел в практику присуждение студентам премий за научные работы и добился увеличения ассигнований на пополнение приборами физического кабинета (до 2000 р. в год, вместо 100 р. отпускавшихся ранее) ¹⁸.

¹⁶ При составлении биографии М. П. Авенариуса были использованы следующие материалы: 1) Переписка и отчеты Авенариуса во время пребывания его в научной командировке. ЖМНП, ч. 116, 63, 1862; ч. 117, 88, январь; ч. 118, 68, апрель; ч. 119, 67, июль; ч. 120, 70, октябрь 1863; ч. 121, январь; ч. 122, 420, май; ч. 123, 237, август 1864; 2) Протоколы заседаний и отчеты Киевского и Петербургского университетов, ЖМНП, ч. 126, 22, апрель 1865; ч. 127, 84, июль 1865; ч. 129, 485, март 1866; ч. 131, 134, июль; ч. 132, 461, декабрь 1866; 3) В. С. И к о н н и к о в [ред.]. Биографический словарь профессоров и преподавателей университета св. Владимира, 3, Киев, 1884; 4) А. Г. С т о л е т о в. Михаил Петрович Авенариус. ЖРФХО, т. 27, 221, 1895; отд. от.; 5) Б р о к г а у з и Е ф р о н. Нов. энц. словарь, т. 1, 176; 6) Бр. и Эф. Энц. словарь, т. 1, 75, СПб., 1890; Переписка Авенариуса и Шиллера со Столетовым. Арх. МГУ; БСЭ, 1, изд. 2-е, 68.

¹⁷ Э. Х. Ленц родился 12 февраля 1804 г. в Дерпте (Тарту); с 1834 г. — ординарный академик, с 1835 г. — одновременно профессор Петербургского университета; в сентябре 1863 г. утвержден ректором университета. Умер 29 января 1865 г.

¹⁸ В. С. Г р и г о р ь е в. Петербургский университет. Историческая записка, СПб., 1870.

Одновременно Ленц заведывал и физическим кабинетом Академии наук, что давало ему возможность знакомить своих слушателей с ценными физическими приборами, которых в университете не было, а наиболее интересующихся физикой



М. П. Авенариус

допускать к работе в кабинете Академии или давать им приборы на дом. Оборудование физических кабинетов Петербургского университета и Академии для своего времени было хорошее. Ленц воспитал ряд выдающихся русских физиков — ученых и педагогов. Из питомцев Петербургского университета того

периода, кроме М. Талызина, Ф. Петрушевского (преемника Ленца в Петербургском университете) и М. П. Авенариуса, можно назвать профессоров Р. Э. Ленца, А. Фан-дер-Флита и Ф. Н. Шведова.

По окончании университета М. П. Авенариус в течение четырех лет (1858—1862) состоял сверхштатным учителем математики в Петербургской 2-й гимназии, а в мае 1862 г. был командирован вместе с другими питомцами Н. И. Пирогова за границу. В систематически посылавшихся Авенариусом в Министерство народного просвещения отчетах он подробно описывал свои занятия, характеризовал своих новых учителей и их методы преподавания, условия работы и жизни.

В мае 1862 г. Авенариус прибыл в Берлин и начал систематически посещать лекции и практические занятия, критически относясь к содержанию и методам преподавания каждого из профессоров. Особое внимание он уделял той части подготовки, которая не могла быть почерпнута из книг: овладению методикой научно-исследовательской работы, подготовке демонстраций, практическим и лабораторным занятиям¹⁹.

По совету приват-доцента Квинке, читавшего лекции по физической оптике и электричеству (по терминологии того времени — по «теории волнения эфира»), Авенариус приобрел зрительную трубу, зеркала, подставки, а что мог изготовил сам и принялся за самостоятельное изучение интерференции света.

В следующем учебном году (1862—1863) Авенариус слушал в Берлинском университете лекции Поггендорфа по истории физики, Магнуса по экспериментальной физике, приват-доцента Паальцова по теории теплоты.

Авенариус отмечает, что лекции Поггендорфа представляли простой перечень в хронологическом порядке всех лиц, чем-либо заявивших о себе в области физики. Материал, преподносимый лектором, сводился к сообщению собственных имен, названий сочинений с чрезвычайно сжатым описанием их содержания. Нигде не указывались пути, по которым ученые дошли до того или иного открытия, не сопоставлялись и не оценивались методы наблюдений, их формы и роль в различные эпохи развития науки. Ничего не говорилось о переворотах, которые переживала наука при новых открытиях. Такой перечень фактов, не связанных общей мыслью, не объединенных одной руководящей идеей, «недостойн имени науки», как справедливо замечал Авенариус²⁰. Несмотря на кажущуюся беспри-

¹⁹ ЖМНП, ч. 116, 63, 1863.

²⁰ ЖМНП, ч. 118, 69, 1863.

страстность, Поггендорф останавливался на работах немецких физиков значительно подробнее, перечисляя даже такие, которые не имели научной ценности.

Авенариус участвовал также в физическом коллоквиуме²¹, происходившем один раз в неделю на дому у Магнуса и под его руководством. Собирались университетские лекторы физики, доктора, студенты, человек 15—20, чтобы выслушать реферат появившейся или подготовленной к печати статьи и принять участие во всестороннем ее обсуждении. Так как референту предоставлялись широкие возможности — Магнус снабжал его сочинениями из личной библиотеки, новейшими физическими журналами, рукописями, присылавшимися авторами и почему-либо не увидевшими света, — анализ работы был обстоятельный и полный. «Вникнуть в каждый физический труд так глубоко и рассмотреть его в то же время так полно, — писал Авенариус, — для одного человека решительно невозможно, а поэтому (подобные) собрания незаменимы ничем»²². Лекции Магнуса не отличались обилием опытов, но зато каждый из них тщательно анализировался и строго обосновывался теоретически; в отношении трактуемого вопроса лектор всегда излагал собственное мнение.

Главное внимание Авенариуса во время заграничной командировки, как уже отмечалось, было обращено на овладение основами методики научного исследования, на подготовку и выполнение экспериментальной части магистерской диссертации. С этой целью он посещал все практические занятия, которые в то время проводились обычно на дому у профессоров и являлись их частным делом. Весной 1863 г. Авенариус получил разрешение исследовать в лаборатории Магнуса некоторые нерешенные вопросы термоэлектричества. По соглашению с университетом, лаборатория была организована Магнусом в его собственном доме и состояла из семи комнат, с подводкой электрического тока и газа; в нем имелись станки для изготовления отдельных частей и монтажа приборов. Часть из них Авенариусу приходилось приобретать на собственные средства, так как аппаратура не была рассчитана на постановку специальных задач. В списке недостающих значились самые обычные приборы, которые в наше время можно найти почти в любом физическом кабинете (мультипликатор, зрительная труба, точные термо-

²¹ Генрих Густав Магнус (1802—1870), профессор физики и технологии в Берлине, крупный экспериментатор, работал в различных областях физики: по адсорбции и теплопроводности газов, аэродинамике, гидродинамике, вращению тел и др.

²² ЖМНП, ч. 117, 89, 1863.

метры, медные сосуды, подставки к ним, газовые лампы, проволока из различных материалов и т. д.). Но Авенариус был доволен условиями, так как работать в кабинете можно было ежедневно с утра до вечера. Каждый день Магнус по несколько часов проводил в лаборатории, готовый всегда помочь советом, книгой, прибором. Он интересовался опытами Авенариуса, так как сам много занимался термоэлектричеством; иногда он проводил со своим учеником целые часы в обсуждении результатов наблюдений.

Летом 1863 г. Авенариус напечатал в «Анналах» Поггендорфа свою первую статью по термоэлектричеству, в которой рассмотрел это явление с точки зрения контактной теории и предложил истолкование известных к тому времени фактов. Через месяц он напечатал в том же журнале вторую работу, где показал, что электродвижущая сила термоэлемента может рассматриваться как функция второй степени температуры²³. Результаты этих исследований по термоэлектричеству дали автору материал для магистерской и докторской диссертаций.

Закончив весной 1864 г. экспериментальную часть работы, Авенариус уехал на месяц в Париж с целью ознакомиться там с постановкой преподавания физики и смежных с ней дисциплин. В начале мая он возвратился в Германию на летний семестр, но остановился на этот раз в Гейдельберге, чтобы прослушать курс лекций у Кирхгофа и принять участие в руководимом им практикуме²⁴.

О Кирхгофе Авенариус отзывался, как о прекрасном лекторе и выдающемся научном руководителе. Он пишет, что ему «до сих пор не случалось встретить экспериментального курса, удовлетворяющего настолько условиям педагогическим и научным, как курс Кирхгофа»²⁵. Кирхгоф начинал чтение лекций с изложения основ механики и посвящал им непропорционально много времени, рассматривая другие физические явления как частные случаи механических процессов. Эта концепция не могла не оказать влияния на формирование мировоззрения его слушателей, что можно проследить и на Авенариусе, а затем и на его друге Столетове, впоследствии профессоре Московского университета²⁶. Кирхгоф опирался на опыты, но производил только «удачные» и самые необходимые, чем выигрывал много времени и его курс поэтому был полнее.

²³ Pogg. Ann., ч. 119, 406 и 637, 1863.

²⁴ ЖМНП, ч. 122, 426, май 1864.

²⁵ ЖМНП, ч. 123, 237, август 1864.

²⁶ А. Г. Столетов. Г. Р. Кирхгоф. «Природа», № 174, 1873; Общедоступные лекции и речи, 1, 1902.

Живое участие принял Авенариус и в практикуме, руководимом Кирхгофом. Здесь был принят такой порядок. Каждый слушатель в начале семестра выбирал определенный день в неделю, когда работал в физическом кабинете Кирхгофа над избранной, по его предложению, темой или задачей. Список из восьми экспериментальных работ, приведенный в отчете Авенариуса, почти полностью входит в лабораторный курс современных высших учебных заведений²⁷.

Осенью 1864 г. окончился срок командировки Авенариуса. Молодой ученый возвратился в Россию и в октябре представил физико-математическому факультету Петербургского университета магистерскую диссертацию «О термоэлектричестве». Защита состоялась 8 января 1865 г. Ее автор был признан достойным степени магистра физики²⁸. В том же году, 16 марта, Авенариус был утвержден штатным доцентом по кафедре физики²⁹, а осенью (26 ноября), по уходе в отставку М. И. Талызина, вступил в заведывание кафедрой и метеорологической обсерваторией университета³⁰. Весной 1866 г. (10 мая) Авенариус защитил в Петербургском университете докторскую диссертацию на тему «Об электрических разностях металлов при различных температурах»; осенью (21 сентября) получил утверждение в звании экстраординарного, а затем (11 ноября 1867) и ординарного профессора. Официальными оппонентами при защите диссертации были профессор Ф. Ф. Петрушевский и доцент Р. Э. Ленц³¹.

Вся дальнейшая жизнь М. П. Авенариуса протекала в Киеве, с выездами в командировки за границу и внутрь страны — на съезды русских естествоиспытателей, начавшие входить в практику с 60-х годов XIX в., на промышленные выставки для обмена опытом и поддержания научных связей.

Первые годы Авенариус один выполнял по кафедре все обязанности преподавателя: чтение курсов опытной и теоретической физики, метеорологии, руководство метеорологическими наблюдениями, а с 1875 г. и практическими занятиями в лаборатории. В 1870 г. в Киевском университете была организована кафедра медицинской физики с поручением чтения курса отдельному профессору медицинского факультета (первым профессором был Шефер)³²; в 1876 г. учреждена самостоятельная

²⁷ ЖМНП, ч. 123, 238, август 1864.

²⁸ Там же, ч. 126, 22, апрель 1865.

²⁹ Там же, ч. 127, 94, июль 1865.

³⁰ Там же, ч. 129, 485, март 1866.

³¹ Там же, ч. 131, 134, июль 1866.

³² Там же, ч. 160, 4, март 1872.

кафедра теоретической физики, которую возглавил вновь приглашенный молодой профессор Н. Н. Шиллер. Освободившуюся после приезда Шиллера часть времени Авенариус заполнил усилением научно-исследовательской работы, привлекая к ней талантливых учеников и помощников (В. И. Зайончевский, О. Э. Страус, А. И. Надеждин, И. И. Косогонов, К. Н. Жук и др.).

Условия работы были достаточно скромными. Вначале физический кабинет располагал всего двумя небольшими комнатами. Только в 1875 г. удалось расширить помещение. Часть его была выделена для научно-исследовательской работы профессора, ассистента и оставленных при университете кандидатов. Несмотря на тесноту и недостаток в оборудовании, физическая лаборатория Киевского университета заняла почетное место в истории отечественной и мировой науки.

В 1876 г. научные заслуги Авенариуса были отмечены избранием его членом-корреспондентом Академии наук³³.

В 1889 г. М. П. Авенариус вместе с группой киевских профессоров (Б. Я. Букреев, М. Е. Ващенко-Захарченко, В. П. Ермаков, И. И. Рахманинов, П. Э. Ромер, М. Ф. Хандриков, Н. Н. Шиллер, Э. К. Шпачинский) принял деятельное участие в организации физико-математического общества при Киевском университете, целью которого было содействие разработке и распространению физико-математических наук и установлению правильных взглядов на их преподавание³⁴.

С получением звания заслуженного профессора (16 марта 1890 г.) Авенариус оставался в университете недолго: осенью 1891 г. слабость здоровья³⁵ заставила его просить об отставке и прекратить чтение лекций. 4 сентября 1895 г., за три дня до своего шестидесятилетия, Авенариус умер.

В. И. Зайончевский, один из первых учеников Авенариуса, вспоминая приезд своего учителя в Киев, его университетские и публичные лекции, писал, что до конца пребывания в университете Михаил Петрович пользовался неизменным вниманием слушателей, так как умел подбирать и излагать предмет простым и ясным языком, доступным пониманию³⁶.

³³ ЖМНП, ч. 190, 25, апрель 1877

³⁴ Вестник опытной физики и элементарной математики, № 87, 55, 1890.

³⁵ Н. Н. Шиллер. Письмо к А. Г. Столетову от 24 марта 1880 г. Арх. Физич. ин-та МГУ

³⁶ В. И. Зайончевский. Письмо к А. Г. Столетову от 4 октября 1895 г. Арх. Физич. ин-та МГУ; А. Г. Столетов. Соч., т. II, 421, 1941.

А. Г. Столетов, вспоминая свои встречи с Авенариусом в Берлине (1863—1864), совместную жизнь и работу в Гейдельберге (1864), участие в работе конгресса электриков и на электротехнической выставке (Париж, 1881), писал: «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, как к делу святому»³⁷ В отношении к сослуживцам, со стороны которых он пользовался большим уважением, Авенариус был чужд оппортунизма и ненавидел формалистику. «Студенты ценили в нем увлекательного лектора и неутомимого работника — руководителя и надежного заступника в правом деле, — писал Столетов. — Всегда деликатный, снисходительный без поблажки, он умел щадить молодое самолюбие, умел воодушевить даровитого и ободрить слабого». Теплые дружеские отношения между Столетовым и Авенариусом сохранились до конца жизни Михаила Петровича.

НАУЧНАЯ РАБОТА

К началу 60-х годов XIX в. в области термоэлектричества³⁸ были установлены следующие факты: 1) в замкнутом контуре из двух разнородных металлов обнаруживается ток, если температура мест контактов различна; 2) существенным условием появления тока служит непосредственное соприкосновение металлов: чем соприкосновение совершеннее, тем сильнее ток; 3) все металлы можно расположить относительно термоэлектрических явлений в один ряд так, что при нагревании места контакта ток течет через горячий спай от одного из них (—) к другому (+); 4) если пропустить электрический ток от внешнего источника в направлении, обратном термическому, т. е. полученному нагреванием спая, то последний будет охлаждаться; 5) существует такая температура нагретого спая, при которой электродвижущая сила при постоянной температуре холодного спая достигает максимума (нейтральная точка); при дальнейшем повышении начинается спад кривой. Количественных закономерностей между температурой спаев и величиной электродвижущей силы, выдержавших проверку опытом, установлено не было.

³⁷ А. Г. Столетов. Михаил Петрович Авенариус. СПб., 1895; Соч., т. II, 1941.

³⁸ Явление термоэлектричества открыто в 1821 г. уроженцем г. Ревеля Т. И. Зеебеком (1770—1881); опубликовано открытие в 1823 г.

В работах Делярива, Фарадея, Поггендорфа изменение силы тока в цепи термоэлемента связывалось с изменением сопротивления от температуры³⁹.

Диссертационные работы Авенариуса представляют развитие исследований его учителя Э. Х. Ленца, связанные с природой термоэлектрического тока. Известно, что именно Ленц первый подтвердил явление Пельтье, пропуская ток через спай Bi—Sb, окруженный тающим льдом⁴⁰. В магистерской диссертации Авенариус исходил из следующих положений: 1) электродвижущая сила, возникающая при контакте двух металлов, зависит и от химического состава соприкасающихся тел и от физического строения их, в том числе и от плотности; 2) всякая причина, изменяющая плотность, должна вызывать изменение электродвижущей силы⁴¹. Одной из таких является теплота, следовательно, электродвижущая сила, возникающая при контакте, должна быть функцией температуры. Пусть температура спаев двух металлов t_1 и t_2 , электродвижущие силы их соответственно E_1 и E_2 . Автор допускает, что зависимость E от температуры может быть выражена простой квадратичной функцией вида

$$E = a + bt + ct^2, \quad (1)$$

где a , b , c — постоянные, зависящие от условий опыта. Электродвижущая же сила, действующая в цепи, определится формулой

$$\begin{aligned} E &= E_2 - E_1 = b(t_2 - t_1) + c(t_2^2 - t_1^2) = \\ &= (t_2 - t_1) \cdot [b + c(t_2 + t_1)]. \end{aligned} \quad (2)$$

При неизменном t_1 и постепенном возрастании t_2 получим, что наибольшая электродвижущая сила будет при $t_2 = -\frac{b}{2c}$. Пользуясь гальванометром Видемана и электрометром Дельмана, видоизмененным Кольраушем, Авенариус в опытах с термопарами Ag—Fe, Fe—Cu, Ag—Zn, Pt—Pd, Pt—Sn, определив для каждой из них величину электродвижущей силы в зависимости от температуры ее спаев и постоянные b и c , показал, что формула (2) правильно отображает ход явлений, в том числе и факт «инверсии», т. е. существование такой температуры t_1 горячего спаев, при которой электродвижущая сила (а следовательно, и ток) меняет свой знак.

³⁹ De la Rive. Ann. Chem., **37**, 1828; Faraday. Phil. Trans. 1840; Pogg. Ann., **50**, 1840.

⁴⁰ Э. Ленц. Pogg. Ann., **44**, 342, 1838.

⁴¹ М. Авенариус. О термоэлектричестве. Рассуждение на получение степени магистра. СПб., 1864.

«Если электровозбудительную силу от прикосновения металлов, — писал в заключение Авенариус, — рассматривать, как функцию 2-й степени от температуры, а термоэлектрические токи — обусловленными одною разностью электровозбудительных сил от прикосновения металлов в местах спаев, то получается для электровозбудительной силы термического элемента выражение, не только объясняющее все явления термоэлектрических токов, но и соответствующее всем изменениям этой силы в тех пределах температуры, при которых сделаны были наблюдения»⁴².

Десятью годами позже формула (2) Авенариуса была вновь получена и экспериментально проверена Тэтом⁴³, поэтому некоторые английские авторы, вопреки фактам, называют ее формулой Тэта.

К найденному закону Авенариус пришел неслучайно. Идеи, приведшие его к искомой формуле, встречаются уже в его первых отчетах о заграничной командировке и в ранних статьях о термоэлектричестве⁴⁴. Однако, исходя из положения, что электродвижущая сила E термоэлектрической цепи обусловлена исключительно разностями потенциалов, возникающими в двух спаях, в зависимости от рода соприкасающихся металлов и температуры спаев, Авенариус допустил неточность: он не принял во внимание возможности непрерывного изменения потенциала в каждом однородном проводнике в связи с непрерывным изменением температуры⁴⁵. Позже он дополнил свой вывод, учтя распределение температуры по длине однородных проводников⁴⁶. Однако вид формулы и окончательный ее результат остались неизменными, так как разность потенциалов на концах проводника зависит от температуры концов и не зависит от распределения ее в самом проводнике⁴⁷. Там же он дал термодинамическое обоснование формулы (2) и физическое истолкование постоянных.

⁴² М. А в е н а р и у с. О термоэлектричестве. СПб., 1864.

⁴³ T a i t. Pogg. Ann., 152, 427, 1874; Proc. Edinb. R. Soc. 8, 32, 44, 182; 9, 208, 350, 362, 1872—1874; Trans. R. Soc. Edin. 27, 1873.

⁴⁴ М. А в е н а р и у с. ЖМНП, ч. 118, 72, апрель 1863; Pogg. Ann., 119, 406, 637, 1863.

⁴⁵ W. T h o m s o n. Phil. Mag., 11, 214, 281, 1856.

⁴⁶ М. А в е н а р и у с. Киевск. унив. изв., № 11, 1870.

⁴⁷ Пусть в двух бесконечно близких точках сечения проводника разность потенциалов $dv = f(t) dt$. Тогда для концов получим

$$v_2 - v_1 = \int_{t_1}^{t_2} f(t) dt = \varphi(t_2) - \varphi(t_1).$$

При защите магистерской диссертации автором были выставлены следующие тезисы: 1) химической теории тока в настоящее время не существует; 2) электричество от прикосновения есть функция температуры; 3) для металлов это — целая алгебраическая функция 2-й степени; 4) электровозбудительная (электродвижущая) сила термоэлектрических токов есть разность электровозбудительных сил, обнаруживаемых в местах спаев от прикосновения металлов⁴⁸. Известно, что спор между защитниками контактной и химической теории гальванического тока длился больше столетия, начиная со времен Гальвани и Вольты, различно понимавших причину его возникновения, так что Авенариус бы неправ, когда утверждал, что химической теории в его время не существовало. Начиная с Фаброни (1800) и Делярива (1837) до С. Аррениуса (1888) и Лоджа (1900) сторонники химической и вообще антиконтактной теории не переставали отстаивать свои позиции⁴⁹. Только позже (1907—1912) русский физик Гезехус в ряде работ, с привлечением электронной теории, показал, что гальванические токи нельзя объяснить ни одной химической, ни одной контактной теорией, а необходимо рассматривать их совместно⁵⁰.

Докторская диссертация Авенариуса представляет развитие темы магистерской работы, дополняя ее привлечением большего количества экспериментальных данных и более детальной их обработкой⁵¹. Составив батарею из 20 термоэлементов (нейзильберовые и медные проволоки длиной в 1 м каждая), Авенариус получил цепь в 40 м длиной. Концы нечетных спаев он пропускал через стеклянные трубки, чтобы предохранить их от замыканий, и помещал в цилиндрический медный сосуд, служивший воздушной баней, нагревавшейся бунзеновской горелкой. Четные спаи прикреплялись к стеклянной трубке на расстоянии приблизительно 1 м от ванны. Свободные концы батареи соединялись с гальванометром Видемана. Первый отсчет производился по достижении температуры нагреваемых спаев 100° последующие отсчеты делались через каждые 10° вплоть до температуры 250°. Полученный ряд наблюдений об-

⁴⁸ М. А в е н а р и у с. О термоэлектричестве. СПб., 1864. Отчет Иб. ун-та за 1864 г. ЖМНП, ч. 126, 22, 1865.

⁴⁹ F a b r o n i. Journ. phys., 6, 384, 1800; De la R i v e. Pogg. Ann., 40, 355, 1837; S. A r r h e n i u s W. A. 33, 368, 1888; L o d g e. Phil. Mag., 49, 454, 1900.

⁵⁰ Г е з е х у с. ЖРФХО, 39, 37, 1907; 41, 312, 1909; 44, 339, 1912.

⁵¹ М. А в е н а р и у с. Об электрических разностях металлов при различных температурах. Рассуждение на степень доктора физики. СПб., 1866.

рабатывался по способу наименьших квадратов. Постоянные b и c определялись из формулы

$$E_{\tau} = 20 (t_2 - t_1) [b + c (t_1 + t_2)],$$

где E_{τ} — электродвижущая сила батареи из 20 термоэлементов.

В качестве эталона электродвижущей силы был взят элемент Даниэля. Включая в цепь термобатарею и элемент тока так, чтобы электродвижущие силы сначала складывались, потом вычитались, автор определял электродвижущую силу термобатареи E_{τ} в единицах элемента Даниэля. Для определения постоянной a служил электрометр Делмана, видоизмененный Кольраушем⁵² Из наблюдений отклонения электрометра по сообщению ему заряда от элемента Даниэля и термопары, при помощи конденсатора с обкладками из тех же материалов, что и соответствующие термопары, вычислялась постоянная a .

В работе приводятся численные значения определенных из опыта электродвижущих сил для пар из нейзильбера, стали, цинка и меди в различной их комбинации. Основные положения докторской диссертации Авенариуса сводятся к следующему:

1) электродвижущая сила термоэлектрического элемента может быть выражена формулой

$$E = (t_2 - t_1) [b + c (t_2 - t_1)];$$

2) если закон Вольта справедлив для любых температур, то уравнение $Zn - St = Zn - Cu + Cu - St$ должно иметь место для всякой температуры;

3) если в каждой из рассматриваемых пар не наблюдается изменения знака с изменением температуры (нет инверсии) и если эти металлы расположить в ряд Вольта, то они сохранят свое место в этом ряду при всевозможных температурах;

4) в общем случае данный термоэлектрический ряд имеет значение только в пределах температур, которые имели место в опытах, послуживших основанием к его построению⁵³.

Проверкой формулы Авенариуса занимались многие физики, из них укажем Кольрауша, Нолля, Егера и Диссельхорста, Хольборна и Дея⁵⁴ Нолль определил постоянные b и c для многих

⁵² Dellmann. Pogg. Ann., 58, 49, 1843; 86, 524, 1852; 106, 329, 1859; Kohlrausch. Pogg. Ann., 72, 358, 74, 499.

⁵³ М. А вен а ри ус. Об электрических разностях металлов при различных температурах. СПб., 1866.

⁵⁴ F. Kohlrausch. Pogg. Ann., 156, 601, 1875; W. A., 23, 477, 1884; Goett. Nachr. 65, 1874; Noll. W. A. 53, 874, 1894; Jaeger u. Diesselhorst; Wiss. Abh. Reichsanstalt, 3, 270, 1900; H o l b o r n u. D e y. Berl. Ber., 691, 1899.

чистых металлов. Егер и Диссельхорст нашли, что при небольших значениях $t_2 - t_1$ для пары медь—константан формула Авенариуса хорошо подтверждается. Хольборн и Дей исследовали комбинации платины с золотом, серебром, родием, иридием, палладием и нашли, что формула оказывается удовлетворительной в больших интервалах изменения температуры (для пары серебро—платина от 0 до 950°, золото—платина от 300 до 1000°, иридий—платина от 100 до 1200° и т. д.).

Предлагавшиеся в то время теории представляют некоторый исторический интерес. Так, Клаузиус допускал, что причина разности потенциалов в спаяе заключается в тепловом движении, которое разгоняет разноименные электричества в противоположные стороны, пока образовавшийся двойной слой не уравнивает теплового движения. В. Томсон считал, что падение температуры связано с падением потенциала, причем каждое вещество характеризуется некоторою величиной σ , которую он назвал удельной теплотой электричества и которая определяется количеством теплоты, уносимым единицей электрического тока в единицу времени из отрезка, в котором наблюдается падение температуры на один градус. Кольрауш исходил из предположения, что поток тепла сопровождается перемещением электричества и, наоборот, течение электричества связано с перемещением теплоты⁵⁵.

Из русских физиков того периода вопросом термоэлектричества занимались, помимо Э. Х. Ленца, В. В. Скобельцын, П. И. Бахметьев, И. И. Боргман, Б. Л. Розинг, Де-Метц и др. Ленц, например, помещал шарик термометра в углубление вблизи спая Bi—Sb и, пропуская ток от висмута к сурьме, наблюдал замерзание воды в углублении и понижение температур до -3° . Скобельцын исследовал явление Пельтье для пары Fe—Cu. Бахметьев в одной из своих работ показал, что амальгамы металлов Zn, Sn, Pb, Cd и Cu располагаются в термометрическом ряду между Hg и соответствующим металлом. Для других металлов эта особенность не подтвердилась. Де-Метц, исследуя термоэлектрические явления при низких температурах, нашел, что для целого ряда пар условие $T_i = 2t_0$ не выполняется⁵⁶. Вопросы природы явления Авенариуса не рассматривал и не мог рассмотреть по состоянию науки того времени.

⁵⁵ Clausius. Pogg. Ann., 90, 513, 1853; W. Thomson, Trans. Edinb. R. Soc. 21, 123, 1853; F. Kohlrausch. Pogg. Ann., 601, 1875.

⁵⁶ Скобельцын и Цинзерлинг. ЖРФХО, 19, 121, 1887; Бахметьев. ЖРФХО, 18, 47, 1886; 21, 264, 1889; 23, 430, 1891; 25, 256, 1893; 29, 109, 1897; Боргман. ЖРФХО, 9, 314, 1877; Розинг. ЖРФХО, 30, 1898; С. Де-Метц. ЖРФХО, 139, 447, 1904.

Однако найденные им числовые результаты, а также его утверждение, что термоэлектродвижущая сила является квадратичной функцией разности температур между спаями термоэлемента, не вызывает сомнения; истолкование же его закона и постоянных в предложенной им формуле могло быть дано только на основе квантовой теории электропроводности металлов⁵⁷, основанной на представлении наличия в металле электронного газа, подчиняющегося статистике Ферми.

Второй цикл работ, связанный с именем М. П. Авенариуса и объединивший вокруг него группу молодых талантливых физиков, относится к исследованию свойств жидкостей, в частности их критического состояния. После наблюдений Каньяр де ла Тура (1822), установившего, что эфир, алкоголь и вода при нагревании их до высокой температуры в герметически закрытых трубках полностью переходят в пар, несмотря на то, что жидкости в этих условиях могли расширяться незначительно⁵⁸, вопрос долгое время оставался мало изученным. В 1861 г. Д. И. Менделеев изучил подобное состояние жидкостей и нашел, что при некоторой (для каждого вещества определенной) температуре молекулярное сцепление и теплота испарения обращаются в нуль, а жидкость, независимо от давления, переходит в пар. Соответствующую температуру он предложил назвать абсолютной температурой кипения⁵⁹. Восемь лет спустя Эндрюс показал, что углекислый газ при температуре выше 31° не переходит в жидкость ни при каких давлениях, и назвал такую температуру критической⁶⁰. Впоследствии термин, предложенный Эндрюсом, упрочился в науке.

В 1878 г. Авенариус приступил к исследованию критического состояния жидкостей, отправляясь от положения, что при критической температуре теплота испарения L должна обращаться в нуль, разделяя, таким образом, точку зрения Менделеева по этому вопросу. Так как метод, предложенный Авенариусом, изложен не только в его оригинальной работе⁶¹, но и вошел в общие курсы физики⁶², мы остановимся на нем только в нескольких словах.

При определении критического давления в изогнутый конец A толстостенной (барометрической) трубки (рис. 1) вводилась

⁵⁷ Я. И. Френкель. Статистическая физика; Пайэрлс Р. Электронная теория металлов. М., 1947.

⁵⁸ Cagniard de la Tour. Ann. Chim. et Phys. (2), 21, 127, 178, 1822; 22, 140, 1823.

⁵⁹ Д. И. Менделеев. Основы химии. Т. I. М.—Л., 1947.

⁶⁰ Andrews. Phil. Trans., 575, 1869; Pogg. Ann., 5, 64, 1871.

⁶¹ М. П. Авенариус. Критическое состояние тел. Киев, 1884.

⁶² П. А. Зильов. Курс физики, ч. 1. Киев, 1908.

испытываемая жидкость, находившаяся в состоянии теплового равновесия с ее паром; *B* — водородный манометр, отделенный от жидкости столбом ртути *C*; *D* — водяное охлаждение,

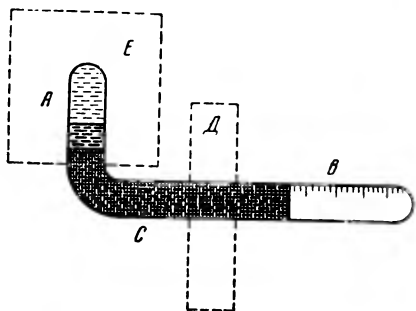


Рис. 1. Прибор для определения критического давления

E — термостат, состоящий из системы железных ящиков (до четырех), вставленных друг в друга, с воздушными промежутками между их стенками. Для наблюдения за коленом *A* в стенках термостата сделаны окна. Нагревание производилось при помощи газовой горелки. Критическое давление определялось по манометру в момент исчезновения границы раздела между жидкостью и паром в колене *A*.

При определении критического объема (рис. 2), резервуар *B* заполнялся жидкостью с большим коэффициентом расширения

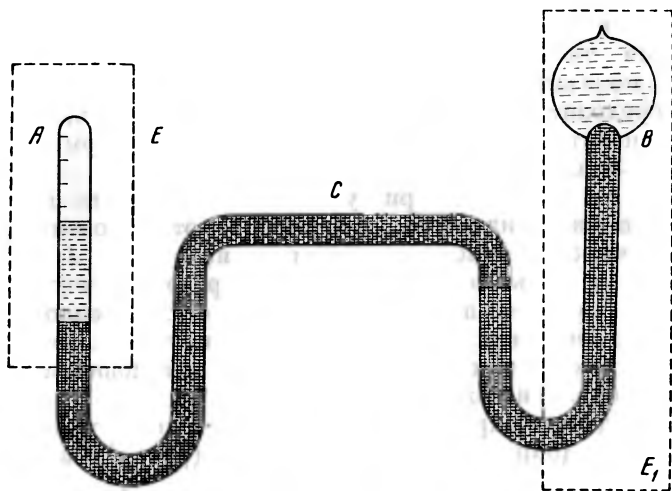


Рис. 2. Прибор для определения критического объема

ния. При изменении (повышении) температуры в *B* происходило расширение жидкости, вследствие чего объем в *A* уменьшался и часть пара переходила в жидкость. Если конец *A*

нагревать до критической температуры, то может случиться, что вся жидкость испарится раньше достижения этой температуры. Это значит, что объем, предоставленный жидкости, больше критического. Но может также случиться, что жидкость займет весь объем прежде достижения критической температуры. Это будет означать, что объем A меньше критического. Регулируя объем A нагреванием жидкости в B , можно достигнуть такого положения, когда будет наблюдаться переход жидкости в пар при критической температуре. Отношение объема, отсчитанного по шкале на трубке A , к массе испытываемой жидкости дает ее критический объем. Обычно нормальному критическому объему соответствовало появление или исчезновение мениска где-нибудь посреди трубки, а не вблизи ее концов. Критическая температура отсчитывалась по термометру, шарик которого находился внутри термостата, рядом с трубкой A , в момент появления «мути» при нагревании, потом при охлаждении. Известно, что вблизи критической точки образуются и вновь распадаются местные центры сгущения, вследствие чего и возникает помутнение (опалесценция). Среднее из отсчетов принималось за истинную критическую температуру. Наблюдение велось при помощи зрительной трубы. Позднее Авенариус сконструировал установку для наблюдения за критической температурой для демонстрации опыта на лекциях.

Авенариуса интересовала не столько экспериментальная сторона вопроса, сколько природа явления. «При критическом состоянии жидкость не отличается от пара, а если так, то и сцепление частиц пара и жидкости при этом состоянии одинаковы», — писал он ⁶³. Отсюда вытекало сформулированное выше следствие: при достижении критической температуры плотности жидкости и пара становятся одинаковыми, а теплота испарения обращается в нуль. Подтверждение вывода он искал в собственных опытах и в анализе работ Реньо. Несмотря на то, что наблюдения последнего над ходом теплоты испарения в зависимости от температуры и не были доведены до критического состояния, убывание количественного значения теплоты испарения с повышением температуры и экстраполяция наблюденных результатов заставляли предполагать справедливость подобного заключения. При сличении результатов Киевской лаборатории с критически оцененными табличными данными Реньо, расхождения оказывались незначительными ⁶⁴.

⁶³ Н. Н. Шиллер. Письмо к А. Г. Столетову от 24 марта 1880 г. Арх. Физич. ин-та МГУ.

⁶⁴ Avenarius. Bull. d. . de Moscou, 187; Pogg. Ann., 151, 1874.

На методике эксперимента, принятой Авенариусом для определения критических постоянных и перешедшей потом к его ученикам, отразились его занятия в Берлине под руководством Магнуса, а также участие в семинарских занятиях последнего, который одним из первых (1843) исследовал зависимость упругости насыщенных паров воды от температуры, применив для этой цели систему воздушных ванн ⁶⁵.

Исследования Авенариуса были первыми прямыми определениями критических постоянных и на долгий срок установили направление работ Киевской физической лаборатории, а результаты исследований ее сотрудников вошли в «Физические таблицы» Ландольта и Бернштейна (1894). Ряд полученных Авенариусом данных сохранил свое значение до наших дней, что можно видеть из сравнения хотя бы найденных им критических постоянных для эфира ($t_{к1наб} = 196^{\circ},2$; $t_{к1выч} = 196^{\circ},8$) с данными, которые приведены в современных справочниках ⁶⁶.

Исключительно важное значение имели определения критических постоянных для воды, выполненные талантливым, но рано умершим учеником Авенариуса А. И. Надеждиным ⁶⁷. Экспериментальные трудности, связанные с получением совершенно чистой воды и, особенно, с ее высокой критической температурой, были чрезвычайно велики, чем и объясняется неудача в этом направлении ряда предшествовавших исследователей. При высоких температурах вода сильно действует на стекло и делает его совершенно непрозрачным, вследствие чего визуальное наблюдение за переходом жидкости в пар и обратно оказывалось невозможным. Надеждин видоизменил опыт. Необходимое количество воды вводилось внутрь стальной, герметически закрывающейся трубки, тщательно отполированной и позолоченной изнутри и снаружи. Закрепленная в обойме и уравновешенная трубка помещалась внутри системы воздушных ванн. При наличии в трубке воды один конец ее перевешивал. Температура воздуха внутри ванн между тем постепенно повышалась. В момент перехода всей воды в пар, т. е. при достижении критической температуры, последний равномерно распределяется по всей трубке и равновесие восстанавливается. Опыт проверялся предварительно на других веществах (эфир, муравьиный этил), критические температуры которых были

⁶⁵ Magnus. Pogg. Ann., 61, 225, 1844; Ann. chim. et phys. (3), 12, 69, 1844.

⁶⁶ Kaye and Laby. Tables of phys. and chem. constants, 80, L., 1941; Русск. пер.: Д. Кэй и Т. Лэби. Справочник физика-экспериментатора. М., 1949.

⁶⁷ А. И. Надеждин. Физические исследования. 1887.

известны. Расхождение в показаниях не превышало $0^{\circ},5$. Полученные этим методом значения ($t_{k1} = 358^{\circ},1$; $V_k = 2,33$) были первыми прямыми определениями критических постоянных для воды. Насколько важное значение придавал Авенариус исходу опытов Надеждина, видно из того, что, когда последним был закончен подсчет, он в тот же день отправил письмо А. Г. Столетову, в котором спешил его уведомить о полученных результатах⁶⁸.

Другой ученик Авенариуса, О. Э. Страус, несколько раньше (1881) методом непосредственного наблюдения в запаянной стеклянной трубке определил критическую температуру воды из смеси ее со спиртом, предварительно получив формулу, связывающую критическую температуру смеси и смешиваемых веществ⁶⁹. В пределе ошибок наблюдений результат, полученный О. Страусом ($370 \pm 5^{\circ}$), совпадает с принятыми в наше время данными ($374^{\circ}, 0$). Страус также определил критические температуры спирта и эфира из наблюдения критической температуры их смеси в различных пропорциях⁷⁰.

Второй вопрос, который занимал Авенариуса в тот период, связан с тепловым расширением жидкостей. Он задался целью проследить расширение некоторых жидкостей при давлении, соответствующем критическому, в широком интервале температур — от точки плавления до критической температуры и попытаться выразить закон расширения в виде математической формулы. В качестве исходного материала был взят эфир. Опыты показали, что в этих условиях ($p_k = 36,9$ атм.) эфир изменяет свой объем согласно уравнению

$$V = a + b \ln(t_k - t),$$

где a и b — постоянные, t_k — критическая температура кипения⁷¹. Найденную эмпирическую формулу он распространил и на другие вещества. «Можно надеяться, — писал Авенариус, — что расширение и других жидкостей, при одинаковых относительных условиях, выразится тем же уравнением и что в этом

⁶⁸ М. П. А в е н а р и у с. Письмо к Столетову от 7 марта 1885 г. Архив МГУ.

⁶⁹ О. С т р а у с. ЖРФХО, 12, 207, 1880; 13, 510, 1881.

⁷⁰ Критическая температура вещества определялась учеником Авенариуса К. Н. Жуком по формуле

$$\theta = \frac{\alpha\theta_1 + \beta\theta_2}{\alpha + \beta},$$

где θ , θ_1 , θ_2 — критические температуры смеси и смешиваемых веществ, α и β , — объемные количества жидкостей, входящих в смесь.

⁷¹ М. П. А в е н а р и у с. Зап. Киевск. об-ва естествоисп., 5, 1877.

случае различие постоянных a и b окажется в зависимости от различных физических свойств жидкостей»⁷². Выводы Авенариуса нашли подтверждение в дальнейших его исследованиях. Например, для спирта приведенное выше уравнение достаточно хорошо удовлетворяет наблюдениям, если принять $t_k = 259^\circ,7$, а постоянные a и b , отнесенные к удельному объему, равными соответственно 3,19 и 0,802⁷³. Студенты Каппегисер и Дьячевский, работавшие под руководством К. Н. Жука, первый — над изменением объема диэтиламина с температурой, второй — хлористого этила, также определили постоянные a и b и в широком интервале температур наблюдали хорошие совпадения с формулой Авенариуса: расхождения вычисленных и наблюдаемых значений объема не превышали 0,1—0,3%⁷⁴. Из полемики между Авенариусом и Менделеевым явствует, что последний считал предложенную им формулу

$$V = (1 - kt)^{-1},$$

характеризующую зависимость объема жидкости от температуры, справедливой в пределах обычных условий и ограниченных температур, т. е. рассматривал ее как первое приближение⁷⁵, что в действительности и подтверждено Авенариусом⁷⁶.

В 1876 г. П. Н. Яблочков предложил особое устройства свечу в качестве источника электрического света⁷⁷. Первым затруднением, с которым встретилось новое изобретение при внедрении его в быт, явилась невозможность параллельного включения в цепь переменного тока нескольких свечей различ-

⁷² М. П. Авенариус. ЖРФХО, 12, 21, 1880.

⁷³ К. Н. Жук. ЖРФХО, 12, 66, 1880.

⁷⁴ Там же, 16, 304, 1884.

⁷⁵ М. П. Авенариус. ЖРФХО, 16, 242, 400, 1884; Д. И. Менделеев. Там же, 282.

⁷⁶ В качестве иллюстрации приведем некоторые данные о расширении эфира, приняв, по Менделееву, $k = 0,00154$.

Температура, °C	$V_{\text{набл}}$	$V_{\text{выч}}$	
		по Менделееву	по Авенариусу
20,2	102,7	103,2	102,8
104,7	120,0	119,2	120,09
124,0	126,5	123,6	126,45
187,2	192,0	140,5	191,55

⁷⁷ П. Н. Яблочков. Сборник к 50-летию со дня смерти. М. 1944.

ных мощностей. С 1880 г. Авенариус уделяет этому вопросу серьезное внимание. Для поддержания горения свечи в разветвленной цепи он рекомендует вольтметры с угольными пластинами и жидким (натрийным) стеклом, которые при включении в цепь действуют подобно электролитическому конденсатору. Возникающие поляризационные и деполяризационные токи в состоянии поддержать непрерывное горение лампы любой мощности в параллельных ветвях путем введения в каждую из них одного или нескольких вольтметров; сами же вольтметры обладали преимуществом компактности и дешевизны⁷⁸. Изобретение, однако, не вошло в практику, так как при разветвлении переменных токов, или, как в то время говорили, при его «канализации», с успехом стали применяться трансформаторы. Кроме того, свеча Яблочкова как способ освещения вскоре уступила место лампе накаливания, изобретенной еще раньше свечи (1873) Лодыгиным и получившей широкое распространение в конструкции Эдисона (1880). Включение вольтметров (конденсаторов) могло производиться последовательно и параллельно с включением «свечи» Яблочкова; допускалось и смешанное включение. Схемы включений были подробно разработаны автором⁷⁹.

Авенариус, проверив предложенную им систему сначала в физической лаборатории Киевского университета, едет в 1881 г. в Париж, вновь проверяет ее в более широком масштабе в лаборатории Жамена и Жюбера, а потом демонстрирует установку на электротехнической выставке в Париже в том же году. Изобретение было отмечено серебряной медалью, а его изобретатель награжден офицерским орденом Почетного легиона. Через год (1882) Авенариус со своей системой канализации выступил на электротехнической выставке в Петербурге, взял на нее привилегию, но найти в широком масштабе практическое применение метода «канализации» ему не удалось.

Отступая от хронологического порядка в освещении работ Авенариуса, рассмотрим некоторые его статьи по метеорологии. Авторитетный метеоролог того времени и его учитель по Берлинскому университету профессор Дове отводил влиянию влажности и осадкам в вопросах климатологии второстепенную роль.

⁷⁸ М. П. Авенариус. «Инженер», № 1—2, 18, Киев, 1882; Условия широкого распространения электрического света (брошюра), Киев, 1882.

⁷⁹ М. П. Авенариус. Способ дробления электрического света на произвольное число независимых друг от друга источников или свечей. Очерк работ русских по электротехнике. СПб., 1900; Зап. Русск. техн. об-ва, 17, 1883.

Наиболее важным фактором в развитии растительного покрова он считал температуру. На таких же позициях стояли в России Купфер, а позже Вильд. Исключительное внимание уделялось методу обработки и точности наблюдений метеорологических элементов. Вопросы физические, определяющие зарождение и развитие метеорологических процессов в природе, из главных превратились в подчиненные. Среди лиц, не соглашавшихся с подобным искажением задач науки, был и Авенариус.

Не отказываясь от повышения точности наблюдений и их обработки⁸⁰, он ставит, помимо этого, ряд физических проблем перед метеорологией и пытается дать им решение.

В работе «Изменение влажности в восходящем атмосферном течении» Авенариус доказывает, что охлаждение воздушных масс, поднимающихся отвесно, зависит исключительно от работы расширения воздуха и не есть следствие обмена теплотой с лежащими выше холодными слоями и, тем более, не есть следствие (как ошибочно думали ранее) увеличения теплоемкости воздуха с уменьшением давления. Вопрос об изменении относительной влажности воздуха с высотой в то время считался нерешенным, так как на уменьшение упругости паров с понижением температуры накладывается уменьшение той же упругости вследствие увеличения объема при расширении. Пользуясь эмпирически полученной формулой Магнуса, характеризующей изменение упругости паров воды от температуры, а также уравнением адиабаты, Авенариус приходит к выводу, что относительная влажность воздуха вследствие его поднятия в атмосфере всегда увеличивается⁸¹. Необходимо напомнить, что многие метеорологи того времени чрезвычайно смутно представляли себе возможность взгляда на процессы, происходящие в восходящем потоке воздуха, как на процессы адиабатные, и только восемь лет спустя после Авенариуса (1876) Клаузиус в работе «Механическая теория тепла» вывел уравнение состояния

$$dQ = C_v dT + ART \frac{dV}{V}$$

которое позволило определить охлаждение газа при расширении. Авенариус, однако, нашел это уравнение раньше и в своих

⁸⁰ М. П. Авенариус. Некоторые из 12-летних наблюдений на университетской метеорологической обсерватории. Киевск. унив. изв., № 8, 1868.

⁸¹ М. Авенариус. Киевск. унив. изв., № 1, 9, 1868.

выводах пользовался им⁸². Таким образом, в основных вопросах метеорологии он не только стоял на уровне своей эпохи, но и шел впереди западноевропейских ученых.

К сожалению А. Х. Хргиан в своих «Очерках развития метеорологии» (1948) ни словом не упомянул о трудах Авенариуса.

Авенариус касается и близкого к предыдущему вопроса⁸³: при каких условиях происходит увеличение влажности в верхних слоях атмосферы, если считать, что причиной такого увеличения является смешение масс воздуха различной температуры и влажности. Путем сравнительно несложных расчетов он показывает, что если относительная влажность смешиваемых масс одинакова или влажность теплого воздуха выше, то относительная влажность смеси будет превышать среднее арифметическое влажностей данных масс. Если же холодный воздух имеет более высокую относительную влажность, то, в зависимости от температуры нагретого воздуха t_1 и холодного t , смесь может быть или большей, или меньшей влажности сравнительно со средней арифметической: чем меньше разность температур смешиваемых масс воздуха $t_1 - t$, тем меньше оснований ожидать изменения влажности по сравнению со средним ее значением. В заключение автор предлагал полуэмпирическую формулу для решения вопроса влажности в каждом частном случае⁸⁴.

Отметим интерес Авенариуса к успехам воздухоплавания, за развитием которого он внимательно следил. По свидетельству Столстова, только отсутствие средств не давало во:

⁸² Формула Авенариуса имеет вид:

$$dQ = Bcdt - \frac{AR(a+t)}{p} dp,$$

где $B = \gamma = \frac{C_p}{C_v}$; $c = C_v$; $a = 27$;

⁸³ М. П. Авенариус. Влажность смеси двух масс воздуха различной температуры и влажности. Киевск. унив. изв. № 12. 227, 1877.

⁸⁴ Чтобы имело место увеличение влажности, должно соблюдаться неравенство

$$\frac{TT_1}{273} \frac{\ln \frac{h_1}{h}}{\ln b(T_1 - T)} > -\frac{1}{2},$$

где T_1 и T — температуры (по абсолютной шкале) нагретого и холодного воздуха, h_1 и h — относительные влажности, $\ln b = 7,4475$.

возможности Авенариусу поставить опыты по конструкции управляемых аэростатов⁸⁵

Развитие метеорологии в виде организации систематических наблюдений, правильной постановки и решения очередных научных проблем, подготовки метеорологов, знающих страну и ее метеорологические особенности, представляло большой практический интерес для юга России, принимая во внимание преимущественно земледельческий, сельскохозяйственный характер этого района. Метеорологическая обсерватория при Киевском университете была организована в 1856 г. С первых же дней на ней производились наблюдения давления атмосферы, температуры и влажности воздуха, направления и силы ветра, количества выпадающих осадков. Велось также систематические наблюдения температуры почв и количества испаряющейся в атмосферу воды. В 1868 г. им были напечатаны в Трудах университета результаты двенадцатилетних наблюдений обсерватории⁸⁶. К заслугам Авенариуса нужно отнести и подготовку выдающегося русского метеоролога А. В. Клоссовского.

«В скромных летописях русской физики,— писал А. Г. Столетов,— Михаилу Петровичу Авенариусу принадлежит почетное место и как исследователю и как учителю. Имя его не должно быть забыто и в науке всемирной»⁸⁷

Эта высокая оценка, которую дал Авенариусу скупой на похвалы Столетов, вполне им заслужена. Из учеников и последователей Авенариуса, оставивших в науке заметный след, кроме А. В. Клоссовского, назовем В. И. Зайончевского, А. И. Надеждина, К. Н. Жука, И. И. Павлевского, И. И. Косоногова, О. Э. Страуса.

В заключение скажем несколько слов о педагогической деятельности Авенариуса. Первые годы, до прибытия в университет Н. Н. Шиллера (1876), Авенариусу приходилось читать не только все курсы физики, но и руководить физическим практикумом, организованным им в Киевском университете в 1875 г. Кроме того, он читал физическую географию, курс которой значился в то время за кафедрой физики. В 1867/68 учебном году он читал общую физику (4 часа в неделю), физическую географию (1 час) и механическую теорию тепла (1 час)⁸⁸.

⁸⁵ А. Г. Столетов. Михаил Петрович Авенариус. СПб., 1895.

⁸⁶ М. П. Авенариус. Некоторые из результатов 12-летних наблюдений на университетской метеорологической обсерватории. Киевск. унив. изв., № 8, 1868.

⁸⁷ А. Г. Столетов. Михаил Петрович Авенариус, 15.

⁸⁸ «Киевск. унив. изв.», № 1, 3, 1868; № 8, 3, 1870.

В 1870/71 учебном году произошли незначительные изменения: общая физика на первом и втором семестрах читалась по 4 часа в неделю, теоретическая физика (для студентов 5—8 семестров) по 1 часу в неделю; не читалась только физическая география. Экспериментатор по духу и подготовке, о чем он не раз сам заявлял⁸⁹, Авенариус и в своей педагогической практике уделял внимание преимущественно эксперименту. Мы сказали преимущественно, но не исключительно, так как он ценил, например, Магнуса не только за организацию экспериментальной части при чтении им лекций и за практикум у него на дому но также и за устройство коллоквиума, позволяющего «вникнуть» в физический труд глубоко и рассмотреть его «всесторонне», как писал Авенариус в своем отчете⁹⁰. Авенариус по личному опыту был хорошо знаком с методами преподавания в высшей школе и умел ценить их по достоинству. Мы уже приводили его отзыв о лекциях Поггендорфа по истории физики. Авенариус отмечал, что материал лекций был обширен, но Поггендорф не указывал пути, которым наука дошла до тех или иных открытий, не сопоставлял различных приемов и методов экспериментальных наблюдений, не подчеркивал их роли в различные эпохи развития науки, не говорил о переворотах в науке. Отсюда следует, что Авенариус требовал от истории науки характеристики развития и взаимной связи частей науки, изложения последовательности событий и выявления причин замены одних методов исследования другими.

Получив в заведывание кафедру физики (1865), Авенариус почти с первых дней начал хлопотать о расширении ее помещения. Некоторый сдвиг в этом направлении был достигнут только через десять лет. В 1875 г. он получил незначительное увеличение занимаемой под кафедрой площади и тогда же приступил к организации для студентов практических занятий по физике. В этом отношении он разделял мнение Н. И. Пирогова, руководившего русской аспирантурой за границей во время пребывания там Авенариуса. Пирогов писал: «Будь профессор хотя бы немой, да научи примером, на деле, настоящей методе занятия предметом — он для науки и для того, кто хочет заниматься наукою, дороже самого красноречивого оратора. Этот хорошо выставит науку на сцену, а тот покажет закулисный механизм, без которого не узнаешь науки»⁹¹. Заметим, что необ-

⁸⁹ М. П. А в е н а р и у с. Из отчетов лиц, отправленных за границу, ЖМНП, ч. 119, 67, июль 1863.

⁹⁰ ЖМНП, ч. 117, 89, 1863.

⁹¹ Н. И. П и р о г о в. ЖМНП, ч. 200, 113, декабрь 1863.

ходимость введения практических занятий по физике сознавалась всеми передовыми представителями русской науки того периода. Ф. Ф. Петрушевский в Петербурге (1864), А. Г. Столетов в Москве (1873) от пропаганды перешли к практическому осуществлению вопроса. По этому же пути шел и Авенариус. Практические занятия, им руководимые, содействовали более тесному сближению его со студентами, вниманием и расположением которых он неизменно пользовался.

О научном мировоззрении и политических взглядах мы можем судить только по отдельным, вскользь брошенным замечаниям и мыслям, не получившим законченного развития. Так, например, в предисловии к посмертному изданию работ своего рано умершего талантливого ученика А. И. Надеждина Авенариус пишет, что научные истины раскрываются двумя путями — путем умозрения и опыта. Значение того или другого приема определяется состоянием науки в данный момент. Однако преимущество остается за опытом, так как результаты его никогда не пропадают бесследно. Теоретические же построения, опирающиеся на недостаточно проверенные факты или умозрительные положения, оказываются часто бесплодными и не оставляют в науке следа. Указывая на преобладание теоретических исследований в учении о теплоте в 80-х годах XIX в. Авенариус обращает внимание на бедность опытных данных в некоторых ее частях, не позволяющих сделать правильные заключения о природе явления. В частности, в таком положении оказалось учение о критическом состоянии вещества⁹².

Мы знаем, что только опыт, понимаемый в смысле научного эксперимента, практики, может привести к правильной оценке теоретических построений. «Практика выше (теоретического) познания, ибо она имеет не только достоинство всеобщности, но и непосредственной действительности», — писал В. И. Ленин⁹³. Преимущество эксперимента Авенариус признавал. Но он не отрицал и значения теории. Когда, например, в термоэлектричестве была установлена зависимость изменения потенциала от распределения температуры по всей длине однородного проводника, а не только в местах ее спаев (явление Томсона), Авенариус изменил истолкование введенных им коэффициентов в формулу электродвижущей силы.

В робкой и осторожной форме встречаем мы у него и критику политической атмосферы 80-х годов, того периода, когда про-

⁹² А. И. Надеждин. Физические исследования. Киев, 1887.

⁹³ В. И. Ленин. Философские тетради. Госполитиздат, 1947, стр. 185.

свещением руководил реакционер И. Д. Делянов (1882—1897). В связи с преждевременной смертью А. И. Надеждина, умершего двадцати восьми лет, Авенариус писал: «Хотя Россия не может пожаловаться на отсутствие в ее сынах дарований, но редко эти дарования приносят желанные плоды. Те или другие невзгоды останавливают выполнение часто очень широко поставленных научных задач, и приходится только пожалеть о потере для науки молодых сил, подававших большие надежды»⁹⁴.

Насколько нам известно, Авенариус раньше других указал в печати на приоритет русского инженера А. В. Клименского о создании динамомашин с неподвижным индуктором и вращающимся магнитом, где устранены неудобства, связанные с вращением якоря в машинах прежних конструкций⁹⁵.

Университет, в стенах которого он провел всю свою жизнь, гордился им и доверял ему. Авенариус — член разнообразных комиссий, делегат на выставки, участник съездов естествоиспытателей и врачей, член-учредитель Киевского физико-математического общества. В заседаниях совета Авенариус излагал свои мысли, независимо от того, совпадают ли они со взглядами вышестоящего начальства⁹⁶. Эта независимость убеждений роднит Авенариуса с другими прогрессивными представителями русской науки конца XIX в.

М. П. Авенариус и его школа оставили науке большое наследство в виде результатов о критическом состоянии вещества и методики исследования важного и очередного вопроса теории теплоты. Самое же ценное в работе школы — это подготовка лиц, получивших навыки самостоятельно ставить научные вопросы и добиваться их полного решения. Только в наше время это качество оценено в должной мере и получило свое развитие в виде мощных научных школ и институтов, работающих во всех областях народного хозяйства.

СПИСОК ПЕЧАТНЫХ ТРУДОВ М. П. АВЕНАРИУСА

- Die Thermoelectricität, ihrem Ursprunge nach, als identisch mit der Contactelectricität betrachtet. Pogg. Ann. Phys. u. Chem., **119**, 406, 1863.
2. Nachtrag zu dem Aufsatz Die Thermoelectricität. Pogg. Ann. Phys. u. Chem., **119**, 637, 1863.
- О термоэлектричестве. Рассуждение на степень магистра. СПб., 1864.

⁹⁴ А. И. Надежин. Физические исследования. Киев, 1887; Вестн. опытно-физики и элем. математики, **38**, 1887.

⁹⁵ М. П. Авенариус. «Инженер», № 6, 231, 1882.

⁹⁶ Киевск. унив. изв., № 7, 12; № 8, 10; № 6, 56, 1870, Вестн. опытно-физики и элем. математики, № 87, 55, 1890.

- Über electrische Differenzen der Metalle bei verschiedenen Temperaturen. Pogg. Ann. Phys. u. Chem., 122, 193, 1864.
5. Об электрических разностях металлов при различных температурах. Рассуждение на степень доктора физики. СПб., 1886.
 6. Über Moleculwärme. Chem. Ctrbl., 12, 1867.
 7. О солнечных пятнах. Морской сборник, 83, апрель 1866.
 8. Изменение влажности в восходящем атмосферном течении. Киевск. унив. изв., № 1, 1868.
 9. Некоторые из результатов 12-летних наблюдений на университетской метеорологической обсерватории. Киевск. унив. изв., № 8, 1868.
 10. Об электровозбудительной силе термоэлектрических элементов с точки зрения механической теории тепла. Киевск. унив. изв., № 11, 1870.
 11. О некоторых тепловых явлениях в спаях термоэлектрических элементов во время прохождения через них (сообщение). Труды 2-го съезда русских естествоисп. в Москве, ч. 2. М., 1871.
 12. Ein Beitrag zur Theoried. Thermoströme. Pogg. Ann. Phys. u. Chem., 149, 372, 1873.
 13. Über inner latente Wärme. Bull. Soc. natur. de Moscou, 1873; Pogg. Ann., Phys u. Chem., 151, 1874.
 14. Историческая записка об устройстве 3-го съезда русских естествоиспытателей и врачей в Киеве. Труды 3-го съезда, Киев, 1874.
 15. Eine Prioritätsfrage. Pogg. Ann. Phys. u. Chem., 151, 1874.
 16. Über die Ursachen welche die kritische Temperatur bedingen. Bull. Acad. sc. St.-Petersb., т. IX, 647, 1876, Сообщ. на 5-м съезде русских естествоисп. в Варшаве.
 17. Расширение жидкостей. Зап. Киевск. об-ва естествоисп. 1877 (отд. оттиск).
 18. Note on Mr. Loge's paper on a mechanical illustration of thermoelectric phenomena. Phil. Mag., (5), 3, 1877.
 19. Volumveränderung einer Flüssigkeit durch Temperatur und Druck. Bull. Acad. sc. St.-Petersb., т. X, 697, 1878.
 20. Влажность смеси двух масс воздуха различных температур и влажности. Киевск. унив. изв., № 12, 227, 1877.
 21. О некоторых жидкостях, близких друг к другу по физическим свойствам. ЖРФХО, 12, 1880.
 22. Возможные приемы деления электрического света. ЖРФХО, 13, 1881.
 23. Methoden der Teilung des electrischen Lichtes. Repertorium für Experimentalphysik, 17, 1881.
Une méthode pour distribuer les courants alternatifs par dérivations. Compt. rend. des travaux du Congrès international d'électriciens, 373, Paris, 1882.
 25. Méthode pour la division de la lumière électrique. Paris, 1881 (литогр. брош.).
 26. Über die Möglichkeit dem electrischen Lichte all die Eigenschaften des Gaslichtes zu geben, welche die grosse Verbreitung des letzteren zu Folge haben. Beibl. zu den Ann. Phys., 6, 208, 1882.
Основания магнито- и динамоэлектрических машин. «Инженер», № 6, 231, 1882.
 28. Об общем законе расширения жидкостей. ЖРФХО, 16, 1884.
 29. Критическое состояние жидкостей. Элементарная математика, 1, 1884.
 30. По вопросу о расширении жидкостей. Киевск. унив. изв., № 6, 1884; ЖРФХО, 16, 1884.

- Физические исследования А. И. Надеждина. Вестн. опытно. физики и элем. математики, второй семестр, 38, 1887.
32. Профессор д-р Г. Р. Кирхгоф (некролог). Вестн. опытно. физики и элем. математики, третий семестр, 1887.
33. Максвелль. Электричество в элементарной обработк. Пер. под ред. М. П. Авенариуса, Киев, 1886.
34. Чебышев Пафнутий Львович. Высшая алгебра 1856—1858 гг. По записям М. П. Авенариуса. М.—Л., 1936.
35. Рефераты о русских работах: 1) *Wid. Beibl.* 3, 741 (Зайончевский); 6, 86 (Жук); 282 (Страус); 7, 675 (Страус); 678 (Нажедин); 2) *Fort-schr. Phys.*, 34, 768 (Гезехус); 771 (Колли); 36, 251 (Восейков); 253 (Шведов).