

АКАДЕМИК Н. Н. БЕКЕТОВ — ОСНОВОПОЛОЖНИК СОВРЕМЕННОЙ
ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Н. А. Измайлов (Харьков)

14 января 1952 г. исполнилось 125 лет со дня рождения великого русского химика — основоположника современной физической химии — академика Николая Николаевича Бекетова.

Научная деятельность Бекетова продолжалась более 60 лет — с 1848 г. — дата окончания им Казанского университета — до его смерти в 1911 г. За его долгую жизнь сменились многие воззрения в химии, многие развились и многие умерли. Бекетов в своей речи на заседании Физико-химического общества 1 февраля 1901 г. «Воспоминания химика о пережитом наукой»¹ сам говорил об этом так: «Я, как уже переживший более половины ушедшего века и испытавший, так сказать, на себе различные эпохи в жизни науки, хочу поделиться с Вами своими воспоминаниями и впечатлениями». Бекетов еще застал отголоски борьбы с теорией флогистона, он говорит: «Первый мой профессор химии в С.-П. университете — старый уже тогда Соловьев — был еще полон пылкости этой борьбы (против теории флогистона)»¹; Соловьев с жаром доказывал при объяснении явлений горения преимущество и логичность кислородной теории.

Н. Н. Бекетов пережил господство электрохимической — дуалистической теории Берцелиуса, ее упадок под влиянием исследований Дюма и Лорана и борьбы Лорана и Жерара против дуализма; он пережил теорию радикалов, теорию типов Жерара, был свидетелем развития теории строения органических соединений Бутлеровым, свидетелем развития химической термодинамики, термодинамики растворов, стереохимии, теории электролитической диссоциации Аррениуса. На его глазах был создан периодический закон Менделеева. Он был свидетелем зачатков науки о строении вещества, последовавшей вслед за открытием радиоактивности.

Вот тот общий научный фон, на котором развивалась научная деятельность Бекетова; следует отметить, что на все крупные научные события Бекетов всегда живо откликался и во многих случаях, обладая исключительной силой логического мышления, далеко опережал свое время.

Николай Николаевич Бекетов родился первого января 1826 г. в селе Алферьевка Пензенской губернии, в семье помещика, моряка по образованию². Н. Н. Бекетов рано лишился матери и под влиянием своей воспитательницы рано приобрел интерес к естественным наукам. Окончив в 1844 г. первую Петербургскую гимназию, он поступил в Петербургский университет на разряд естественных наук 2-го отделения философского факультета. Через два года он перевелся в Казанский университет. В то время в Казанском университете еще преподавал Н. Н. Зинин, выдающийся русский химик-органик, основатель Казанской школы химиков-органиков, и первые работы Бекетова были посвящены органической химии. В 1848 г. он в качестве дипломной работы представил «Рассуждение о действии возвышенной температуры на органические соединения». После окончания Казанского университета Бекетов возвратился в Петербург. В лаборатории Зинина и под его влиянием он выполнил магистерскую диссертацию «О некоторых новых случаях сочетания и общие замечания об этих явлениях» (3 стр. 1). Диссертацию он защитил 17 мая 1853 г. В то время работа Бекетова имела большое значение: исследуя образова-

ние новых соединений путем сочетания соединений типа $R - X + Y - R' = R - R' + XY$ он установил необщность законов Жерара и сформулировал это следующим образом: «Необщность закона Жерара зависит, по нашему мнению, от того, что он не основан на химической причине явлений сочетания и основности; французский ученый не обратил при этом внимания на химическое значение действующих элементов».

В отличие от Жерара Н. Н. Бекетов не только установил сам факт образования сочетанных соединений и их форму, но и обнаруживающиеся при этом закономерности. В частности, он установил, как зависит сочетание от химических свойств компонентов X и Y .

После защиты диссертации Н. Н. Бекетов занял должность лаборанта (ассистента) кафедры химии и технологии Петербургского университета. В этой должности он проработал два года и 20 июля 1855 г. был назначен экстраординарным профессором Харьковского университета. Первая печатная работа Бекетова после переезда в Харьков появилась в 1859 г. Четырехлетний перерыв объясняется тем, что первые два года он был занят реорганизацией преподавания, а в 1858—1859 гг. был в командировке в Англии, Франции и Германии, где продолжал начатые в Харькове работы и участвовал в конференции химиков в Карлсруе в 1858 г.

Это «собрание химиков» Бекетов оценивает несколько иронически; так, в недавно найденном в лаборатории органической химии Харьковского университета его отчете о заграничной командировке он пишет: «Я должен сказать, что эти собрания устроены более для встречи старых знакомых и для публичного выражения сочувствия науке, нежели для ученых сообщений»⁴.

В 1865 г. Н. Н. защитил докторскую диссертацию и был назначен ординарным профессором. В 1877 г. Бекетов был избран членом-корреспондентом Российской Академии Наук, а в 1886 г. — академиком. Харьковский период работы Бекетова продолжался 30 лет. Это был период наиболее активной, зрелой научной деятельности Бекетова. В Харьковском университете он начал читать первый в мире современный курс физической химии на организованном им в 1864 г. отделении физико-химических наук физико-математического факультета.

Физическая химия как наука зародилась в России в середине XVIII столетия благодаря трудам великого русского ученого М. В. Ломоносова. Преемником Ломоносова был академик Н. Н. Бекетов. Харьковский университет гордится тем, что первый в мире курс физической химии читался в Харьковском университете еще в 1865 г. и лишь затем, спустя примерно 20 лет, вошел в программу университетов Западной Европы и Америки.

Все работы Бекетова в области физической химии, за немногими исключениями, посвящены одному и тому же вопросу — вопросу о химическом сродстве, о том, какими свойствами элементов это сродство определяется. Сам Бекетов рассматривал этот вопрос так: «Если химическое сродство есть нечто самостоятельное и присущее материи, то спрашивается — какими свойствами материи обуславливается качество и количество сродства»⁵. Таким образом, именно Бекетов со всей полнотой поставил вопрос о связи между строением и свойствами реагирующих веществ, т. е. поставил вопрос о природе сродства во вполне современном смысле. Этот вопрос о сродстве Бекетов рассматривал в нескольких связанных между собой направлениях: 1) термодинамика сродства; 2) связь прочности образующихся соединений со строением атомов, их образующих, с их объемом и с изменением объема при образовании соединений; 3) закономерности в тепловых эффектах при образовании химических соединений; 4) энергия элементов и их строение.

Следствием установленных Бекетовым законов явилась разработка метода восстановления металлов алюминием, т. е. алюминотермия.

Первой после перехода Бекетова в Харьковский университет явилась работа «О действии водорода при различном давлении на некоторые метал-

лические растворы», опубликованная в 1859 г. ⁶ Эта и ряд других работ по взаимному вытеснению явились лишь отдельными звеньями в большой работе «Исследования над явлениями вытеснения одних элементов другими» (3 стр. 61), явившейся докторской диссертацией Бекетова, защищенной им в 1865 г. На этой работе, положившей начало целой серии работ, продолжавшихся до конца жизни Бекетова, остановимся подробнее. Он пишет: «Выделение одних элементов другими из соединений представляет явление, имеющее самый глубокий научный интерес, потому что мы здесь прямо сталкиваемся с первоначальными физическими свойствами этих элементов. Это явление обнаруживает в самом простом виде то, что называют химическим родством, подчас указывая на химическое различие элементов, чего не обнаруживают явления прямого соединения...» (3 стр. 63).

«С другой стороны, известная зависимость явления вытеснения от внешних физических условий, каковы, например, температура, давление, масса и прочее, представляет также удобный случай познакомиться с влиянием этих условий на химические равновесия» ⁵. Таким образом, цель, которую поставил перед собой Бекетов, состоит в нахождении самых общих закономерностей протекания химических реакций.

В этой работе Бекетов сначала исследует влияние условий на протекание химических реакций и прежде всего изучает влияние давления и концентрации реагирующих веществ. Он пишет: «Действуя при различных давлениях, я заметил некоторые особенности, которые заставили меня обратить внимание на самое условие реакции, т. е. на влияние давления на химическое действие газов» (3 стр. 66).

Проведенные Бекетовым исследования по действию водорода на растворы хлористого серебра в аммиаке, на азотнокислое серебро показали, что при давлении порядка 10 атм водород вытесняет серебро из растворов. Особенно интересными оказались результаты опытов по выделению серебра из сернокислых растворов различной концентрации. На основании результатов опытов Бекетов приходит к следующим выводам:

«1. Обыкновенный водород в газовом состоянии или в растворе жидкости может выделять некоторые металлы, каковы: серебро, ртуть из их раствора в кислотах.

2. Это действие водорода зависит от крепости металлического раствора или, другими словами, от химической массы восстанавливаемого тела» (3 стр. 69).

В ряде случаев для улучшения условий вытеснения он пользовался каталитическим действием платины, каталитическое действие которой, как он говорил, «зависит от сгущения на ее поверхности этих газов» ⁵. Действительно оказалось, что при 100 атм вытеснялась даже металлическая медь. В дальнейшем Бекетов поставил количественные опыты с учетом давления водорода, названные им «Опыты с манометром» (3 стр. 75). В этих опытах было установлено, что давление в 23 атм уже достаточно для выделения серебра из насыщенного раствора сернокислого серебра.

Однако Бекетов не удовлетворился этими опытами; он хотел показать, что, с одной стороны, необходимо определенное давление водорода для вытеснения металлов, а с другой — что есть такое давление, которое «прекращает выделение водорода из его соединений другими металлами» (3 стр. 79). Так как для показа такого влияния давления трудно выбрать подходящий металл, Бекетов остановился на действии углекислоты на известковые соли «потому-то, чтобы показать оба дополнительные или противоположные случаи влияния давления для одних и тех же действующих веществ, я выбрал для своих исследований углекислоту и ее соли... «С одной стороны, я заставил действовать углекислоту на средний раствор уксуснокислой извести при различных давлениях в запаянных трубках, а, с другой стороны, я действовал уксусной кислотой в избытке на углекислоту извест...» (3 стр. 79). «Первые же опыты показали мне, что при некотором давлении углекислый газ производит в растворе уксусной

кислоты осадок углекислой соли, а растворение мрамора, который я постоянно употреблял в своих опытах, в свою очередь при некотором давлении прекращается, несмотря на избыток кислоты». Проведенные Бекетовым количественные опыты привели его к следующему выводу: «Итак, не было никакого сомнения, что при густоте углекислоты, соответствующей 17 атмосферам давления, действие ее и уксусной кислоты уравнивается» (3 стр. 83). Он приходит к заключению, «что химическое действие газов зависит от давления и, смотря по величине давления, может даже совершаться в обратном направлении» (3 стр. 84).

Таким образом, дано точное определение состояния равновесия, его экспериментальное достижение с обеих сторон и ясное понимание, «что действие газа пропорционально давлению или массе»⁵. Таким образом, закон химического действия масс был высказан Бекетовым еще до того, как этот закон был сформулирован Гульдбергом и Вааге. Эти работы Бекетова имели значение не только для установления закона действующих масс, но также для установления понятия упругости растворения, введенного Таманом и Нернстом в 1892 г.

Таким образом, Бекетов установил возможность протекания реакции в двух направлениях и, следовательно, возможность как экзотермических, так и эндотермических реакций, что позволило ему критически подойти к принципу максимальной работы Бергто еще в 1879 г. в докладе «Динамическая сторона химических явлений»⁵.

В 1886 г. в своем курсе физической химии Бекетов идет дальше и показывает ограниченность принципа Бергто, который Бекетовым излагается так⁷: «Всякая химическая перемена, совершающаяся без затраты внешней работы, ведет только в сторону наибольшего выделения тепла и всякая система стремится перейти в такую, которой соответствует наибольшее выделение тепла». Бекетов говорит, что в своей первой части «принцип Бергто есть не что иное, как перифраза закона сохранения силы, но и так понимаемый он не всегда может быть вполне применим к направлению химических реакций» и указывает, что возможны реакции с поглощением энергии, причем эта энергия отнимается от среды, окружающей реагирующие тела. Далее Бекетов пишет: «Что касается второй части принципа максимальной работы Бергто, т. е. что всякая система стремится перейти в конечную систему, отвечающую наибольшему отделению тепла, то это явление ни в коем случае нельзя назвать общим». Бекетов заканчивает разбор принципа Бергто словами: «А потому принцип Бергто следует считать, во всяком случае, неполным и односторонним». Этот вывод сделан Бекетовым, очевидно, еще до ознакомления с этюдами Вант-Гоффа (1885 г.), в которых установлено, что максимальная работа Бергто не есть мера сродства химических реакций.

Предвосхищая принцип Нернста, Бекетов пишет: «Закон Бергто вполне приложим в том случае, если бы реакции происходили при идеальных условиях: температура 0°K (минус 273°C)...». Таким образом, он указал, что тепловой эффект может быть мерой сродства лишь при 0°K и что при этом условии тепловой эффект и максимальная работа реакции равны между собой. Здесь Бекетов далеко опередил науку своего времени⁸.

Однако не эта термодинамическая сторона вопроса его интересует. Бекетов так формулирует свою задачу: «Химическое действие, проявляющееся между малейшими частицами тела, должно быть в совершенной зависимости от масс и взаимного расположения их и, вообще говоря, — от внутреннего строения материи, которое по преимуществу и определяет химический характер данного элемента; с другой стороны, и внешние физические условия... могут изменить в то же время химическое их действие» (3 стр. 92).

Полемизируя с Бунзенем, Бекетов так формулирует сродство: «Сродством выражаются только те особенные химические свойства, которые в известной степени не зависят от внешних условий и вместе с ними опре-

деляют направление химической реакции» (³ стр. 92). С точки зрения современной термодинамики Бекетов как бы различает нормальное сродство, не зависящее от внешних условий, и сродство, зависящее от внешних условий.

Для решения такой задачи Бекетов подвергает широкому экспериментальному изучению и теоретическому рассмотрению вытеснение одних элементов другими и рассматривает вопросы связи между прочностью образованных соединений и свойствами атомов, их образующих.

В своей диссертации Бекетов исследует действие паров цинка на соли бария; он устанавливает восстанавливающее действие паров цинка на хлористый барий и хлористый кремний и устанавливает, что цинк не восстанавливает фтористый кремний и фтористый алюминий, но восстанавливает хлористый бор.

Следующая серия экспериментов озаглавлена «Восстановление бария и калия глинием» (³ стр. 89). На основании общих соображений Бекетов считает, что хотя алюминий не восстанавливает бария из хлористого бария, но он будет восстанавливать его из окиси. Эксперименты действительно показали, что алюминий не только восстанавливает барий из окиси бария, но и калий из окиси калия.

Какие же выводы делает Бекетов из своих экспериментов? — В теоретической части своей диссертации он пишет: «Рассматривая ближе случаи вытеснения одного элемента другим, можно сказать — поражаешься одним, почти постоянным условием реакции — именно тем, что легчайшее тело (т. е. менее плотное) вытесняет тяжелейшее. Из этого можно заключить, — пишет Бекетов, — что удельный вес элементов есть главное условие или свойство, определяющее направление реакции» (³ стр. 93).

Далее Бекетов объясняет это положение с точки зрения притяжения между атомами отдельных элементов, которое, согласно его представлениям, пропорционально массам и обратно пропорционально расстояниям. Он считает, что мерой интенсивности взаимодействия элементов является удельный вес $\sigma = \frac{e}{r^3}$, где e — эквивалент, а r — относительное расстояние частиц.

«При вступлении элементов в какое-нибудь соединение, например при растворении металлов в кислотах и солях, самому акту соединения должно предшествовать разъединение частиц металла; притяжение частиц противодействует этому разделению и потому чем слабее частичное притяжение, тем легче металл будет переходить из элементарного состояния в соединенное». И далее — «мы имеем право заключить об обратном ходе реакции, т. е. плотнейшие элементы легче выходят из соединений и уступают свое место менее плотным». Это положение Бекетов иллюстрирует прежде всего тем, что «вытеснительный ряд металлов» (современный ряд напряжений) совпадает с рядом металлов, расположенных по удельному весу, и рядом других примеров.

Однако Бекетов ясно представлял себе, что не только этими обстоятельствами определяется направление реакции. Он пишет: «Конечно, нельзя думать, что влияние расстояния и веса частиц (удельный вес) есть единственное внутреннее влияние и что оно исключительно дает направление реакции». Для выяснения этих дополнительных влияний Бекетов рассматривает реакции двойного замещения. Из экспериментальных данных он приходит к выводу, что дополнительное влияние в направлении химических реакций обуславливается равенством масс реагирующих элементов. Он рассматривает прочность окислов, хлоридов и иодидов Al, Mg, K, Pb и Ag и заключает: «...Не трудно будет заметить, что как в ряду глиния, так и в ряду серебра и других металлов наиболее прочными соединениями оказываются те, в которых вес обоих паев приближается к равенству, и, с увеличением разницы в весе соединенных паев уменьшается прочность соединения» (³ стр. 109).

Второе заключение Бекетова состоит в том, что «двойное разложение совершается в сторону наибольшего равенства соединенных паев»³.

Влияние массы атомов на прочность соединения и на направление реакции двойного обмена интересовало Бекетова всю жизнь. Совместно с Чернаем он исследовал температуру диссоциации H_2S , H_2Se и H_2Te . Было показано, что, в то время как H_2S начинает разлагаться при 500° , а H_2Se — при 360° , H_2Te разлагается уже при обыкновенной температуре⁹.

В последней своей экспериментальной работе, опубликованной в 1903 г., Бекетов исследовал направление реакций обмена галлоидных солей щелочных металлов и установил, что при сплавлении солей реакции идут в сторону образования соединений из элементов с максимальной близостью атомных весов. Так, при сплавлении LiI и CsCl реакция протекает в сторону образования LiCl и CsI . С современной точки зрения правильнее сказать, что из расплава преимущественно образуются кристаллы из элементов с равными атомными весами (³ стр. 135).

Причину неустойчивости химических соединений с различными атомными весами Бекетов видит в кинетических свойствах материи. Он говорит¹⁰: «Действительно, принимая в основу закон Дюлонга и Пти о равенстве теплоемкостей элементов (т. е. что $PD = P_1D_1$, где P и P_1 — атомные веса, а D и D_1 — их физические теплоемкости), выводится, что чем ближе веса атомов, тем ближе их теплоемкости, т. е. живая тепловая сила, а следовательно, и быстрота колебания, и амплитуды приближаются к равенству (т. е., если $PD = P_1D_1$, то и количество движения $pv^2 = p_1v_1^2$ в химических паях одинаково, отсюда $\frac{p}{p_1} = \frac{v_1^2}{v^2}$)». Таким образом, чем

больше отличаются атомы, вступившие в соединение, своим весом, тем больше они отличаются друг от друга скоростями движения. С увеличением температуры будет увеличиваться амплитуда и радиусы качания, и при некоторой температуре «удаление частиц будет так велико, что притяжение не будет в состоянии удержать их вместе, произойдет разложение вещества».

Эти рассуждения привели Н. Н. Бекетова к мысли о том, что при высоких температурах не могут существовать соединения, а только элементы, «которые одни, если принять даже, что они состоят из многих атомов, удовлетворяют условия равенства скоростей».

Бекетов считает, что прежде чем это будет достигнуто, образуются соединения с наиболее близкими паями; этим, по мнению Бекетова, объясняется, что в природе элементы находятся в соединениях с близкими паями SiO_2 (28 : 34), Al_2O_3 (54 : 48); NaCl (23 : 35,5) и т. д. На оснований этих положений геохимиками был сделан ряд заключений о распространении соединений в земной коре (³ стр. 115).

Нам кажется, что эти рассуждения Бекетова близки к современным.

Использование в своих работах в качестве показателя расстояния $\sqrt[3]{v}$ по сути есть введение атомных и ионных радиусов в характеристику элементов и прочности образованных ими соединений. В этом отношении работы Бекетова перекликаются с электростатической теорией валентностей, с работами по энергии кристаллической решетки, с работами по летучести и по экранирующему действию. Различие состоит только в том, что в основу представления о притяжении Бекетов клал не электростатическое взаимодействие, а притяжение масс. Следует, однако, заметить, что он, очевидно, представлял с достаточной ясностью, что притяжение не обходится без электростатического взаимодействия. Так, в одной из своих работ он оговаривается: «Мною было высказано правило о том, что элементы (противоположных электрических свойств) стремятся распределиться так...»¹⁰. В докладе «Динамическая сторона химических явлений» в 1879 г., он говорит, «что первым превращением химического элементарного движения является электродинамическое движение, а не тепловое»⁵.

Несмотря на достигнутые результаты, Бекетов не переоценивает их и пишет: «Но несмотря на то, что многие химические явления получают, таким образом, более рациональное объяснение и большее научное значение, я должен сознаться, что главное и существенное явление химии то, которое ученые давно уже обозначили избирательным сродством, т. е. стремление разнородных элементов соединяться друг с другом — остается не объясненным и не может быть объяснено одним влиянием тех же условий механического строения» (3-стр. 120).

Наиболее резко это выражается при соединении сходных и несходных тел, т. е., например, при соединении хлора с бромом и хлора с калием. Для объяснения этих явлений и избирательного сродства Бекетов обратился к динамической — энергетической стороне химических явлений, которая занимала его до конца жизни. Он сразу же обратил внимание на то, что при взаимодействии калия с хлором выделяется большое количество тепла, а при взаимодействии хлора с бромом подобного не происходит. В связи с этим он считает, что чем больше энергии выделяется в виде тепла, тем в большей степени изменяются первоначальные свойства элементов, вступивших в реакцию. При этом вступившие в соединение элементы теряют свое первоначальное движение и тем в большей степени, чем больше энергии выделилось. Уже в 1865 г. он говорит о том, что, потеряв свое первоначальное движение, частички калия и хлора могут более сближаться, — и связывает таким образом тепловой эффект со сжатием, происходящим при соединении.

Вопросы термохимии с тех пор интересуют Бекетова как с экспериментальной, так и с теоретической стороны. Он исследовал экспериментально теплоты образования окисей и хлоридов щелочных металлов. Эта принципиально важная и трудная в экспериментальном отношении работа (до Бекетова никто не получал безводных окисей щелочных металлов) была удостоена Академией Наук ломоносовской премии.

В этих работах Бекетов установил падение теплоты окисления и возрастание теплот гидратации окислов с возрастанием атомного веса щелочных металлов; на основании этого Бекетов предположил, что восстанавливающее действие водорода на окиси щелочных металлов будет тем сильнее, чем больше атомный вес металла. Это предположение полностью подтвердилось экспериментами.

Принципиальную сторону Бекетов развивает прежде всего в работе: «Динамическая сторона химических явлений»⁴ (1879 г.), в статье «Избирательное химическое сродство»¹¹ (1888 г.) и затем в четырех лекциях по термохимии, которые он читал в Московском университете в 1890 г.¹² Предметом обсуждения в этих работах является все тот же вопрос об избирательном сродстве, поставленный Бекетовым еще в 1859—1865 гг. В этих работах он прежде всего делает ряд обобщений относительно тепловых эффектов реакций.

1. Выделение теплоты тем больше, чем больше сжатие при образовании соединений. Это положение иллюстрируется сопоставлением тепловых эффектов и сжатий при образовании хлоридов, бромидов, иодидов и окислов. Приводим пример Бекетова по отношению к окислам:

Соединения	MgO	Li ₂ O	CuO	Na ₂ O	ZnO	PbO	BaO	Cu ₂ O
Сжатие в %	62,0	61,4	60,0	58,0	47,0	31,0	40,3 47,2	22
Тепловой эффект в ккал	149	140	131	100	85	55	124	40,8

2. При замещении одного элемента другим тепловой эффект не остается постоянным, как это предполагали Фавр и Зильберман, а непрерывно изменяется и имеет максимальное значение при замещении таким элемен-

том, в результате которого образуются соединения со сходными паями.

3. На примере образования CO_2 и CO им было показано, что тепловой эффект реакции является суммарным тепловым эффектом; большое значение в этой сумме играет тепловой эффект дезагрегации веществ, вступающих в реакцию, особенно если эти вещества находятся в твердом состоянии. Бекетову принадлежит приоритет в рассмотрении теплот образования соединений из атомов¹².

4. Бекетов обратил внимание на то, что изменения свойств реагирующих элементов тем больше, чем больше сжатие и чем больше тепловой эффект, и объясняет оба эффекта гипотезой взаимного уничтожения движения. «Как только противоположный элемент вступает во взаимодействие (т. е. в сферу движения) с атомом другого, разнородного с ним элемента, обладающего как бы обратным движением, он уничтожает его движение, теряя его, и сам сближается с ним и отрывает его от связи с другим парным атомом, образуя более прочную химическую систему, т. е. сложное тело».

В этих работах самым важным является постановка вопроса о сродстве, попытка связать сродство со строением атома. Д. И. Менделеев так оценивал работы Бекетова: «Для понимания истинных отношений сродства еще далеко недостаточно тех дополнений к механической теории химических явлений, которые дает Н. Н. Бекетов, тем не менее, в его способе объяснения относительной прочности многих соединений видна весьма интересная постановка вопросов первостепенной важности. Без подобных попыток невозможно обнять сложнейшие предметы опытных знаний»¹³.

Оценивая результаты Бекетова с точки зрения современных представлений о строении атома, о природе химической связи, о прочности связи, можно только удивляться прозорливости ученого, который только на основании термохимических данных так глубоко проник в механизм образования соединений. По существу Бекетов был предвестником современных представлений об энергии связи; его выводы с современной точки зрения могут быть сформулированы так, что наибольшая энергия связи соответствует связи с наименьшим межатомным расстоянием.

Основываясь на своих теоретических представлениях о прочности соединений и считая, что наиболее прочными являются соединения, образованные из элементов с близкими паями, соединения, образующиеся с наибольшим сжатием и с наибольшим выделением тепла, Бекетов еще в 1859 г.¹⁴ предложил в качестве наиболее сильно восстанавливающего вещества алюминий или, как говорил Бекетов, глиний: «По особенным соображениям, которые были развиты во второй части этой статьи (соображение о равенстве веса паев, о наибольшем сжатии и о наибольшем выделении тепла. — Н. И.), я, однако, был убежден, что глиний, если не восстанавливает бария из его хлористого и, вероятно, также бромистого и иодистого, то будет восстанавливать его из кислородного соединения, т. е. из окиси». Опыт полностью подтвердил предположения Бекетова. При действии алюминия на окись бария он получил сплав, состоящий из 33% бария и 66% алюминия (3 стр. 90).

Бекетов сделал правильное предположение о восстанавливающем действии алюминия и на другие металлы: «Если глиний восстанавливает барий из окиси, то можно было ожидать подобного же действия на окись калия; я произвел опыт в изогнутом ружейном стволе, в закрытый конец которого были положены куски едкого калия и глиния, при довольно высокой температуре показались пары калия, часть которых сгущалась в холодной части ствола» (3 стр. 90). Таким образом, видно, что Бекетов разработал метод алюминотермии не случайно и сам оценил его как общий метод получения металлов.

В 1887 г., почти через 30 лет, он приложил этот метод к получению рубидия и писал по этому поводу следующее: «С этой целью я применил

к рубидию способ, к которому я пришел по чисто теоретическим соображениям много лет тому назад (1859 г.), а именно — действие алюминия на гидрат»¹⁵. Он же оценил практическую значимость алюминотермии. В 1865 г. он писал по поводу получения калия: «В большом виде я этого опыта не повторял, а быть может он окажется удобным для практики, так как цена глиния не высока, а восстановление идет, повидимому, гораздо легче и при низшей температуре, чем восстановление калия железом» (3 стр. 91). Таким образом, приоритет в применении алюминия для целей восстановления металлов, в разработке алюминотермии, как общего метода получения металлов из окислов, принадлежит Бекетову, а не Гольдшмидту.

Положив в основу своей работы по существу зависимость между свойствами элементов и их химическим действием, Бекетов не мог не обратиться к вопросам, связанным со строением элементов, с их природой, возможностью их превращения. Интересно проследить за развитием взглядов Бекетова на этот вопрос.

В 1875 г. в учебнике¹⁶ по неорганической химии, вышедшем в литографированном издании в Харькове, Бекетов высказывает совершенно верную мысль о том, что если делимость атома будет обнаружена, то процессы, связанные с делимостью по своему характеру, будут совершенно отличны от химических процессов и будут сопровождаться огромным изменением энергии. «Мое мнение таково, что если и существует такая (первичная — Н. И.) материя, то она находится в чрезвычайно динамическом состоянии, т. е. материя, обладающая весьма малым весом и огромной живой силою».

Рассуждая о том, можно ли создать новый элемент, превратить один вид атома в другой, Бекетов говорит так: «До сих пор не было еще опыта, показывающего, что мы можем создать новое тело». Из этого видно, что Бекетов, видимо, не исключает такой возможности и подчеркивает, что дать ответ на такой вопрос может лишь опыт.

Четыре года спустя в своей речи в 1879 г.⁵ Бекетов по этому вопросу высказывается более определенно: «При таком предположении становится понятна и необыкновенная прочность (я хотел сказать неразрушимость, но вопрос этот в настоящее время открыт) элементарных атомов... На разрушение тех и других пришлось бы затратить значительную энергию».

В своем докладе «Об элементах»¹⁷, прочитанном в Харьковском физико-химическом обществе в 1882 г., рассуждая, почему удельный вес имеет такое большое значение для характеристики химических свойств элементов, Бекетов утверждает, что элементы образовались из одного вещества. Еще более определенно он высказывает эту мысль в лекциях по термохимии в Московском университете в 1890 г.¹². «Мы можем предположить, что элементы образовались из вещества, еще более динамического, чем они сами, что в них сохранилась некоторая доля той энергии, вероятно, громадной, которая выделилась при их образовании; я говорю — громадной — ввиду прочности и признанной доселе их неразрушимости. Но что же было носителем этого громадного запаса живой силы — какая-нибудь первоначальная материя? — может быть мировой эфир? При скоплениях этого ультрадинамического вещества в весомые атомы была потеряна, может быть, большая часть его живой силы, но осталось еще достаточно для сообщения образовавшимся элементам их настоящей химической энергии». Благодаря такому отношению к элементам открытия радиоактивности встретило его подготовленным и живо его заинтересовало: он выступил по вопросу о радиоактивных превращениях с рядом статей. В письме на имя председателя Общества физико-химических наук в ноябре 1903 г. Бекетов ставит вопрос о двоякой возможности превращения элементов при их разложении и при синтезе¹⁸.

В статье «Радий как посредник между настоящей весомой материей и энергией»¹⁹ в 1904 г. Бекетов ставит вопрос об источнике энергии радио-

активного превращения. В 1903 г. в работе «О значении периодической системы элементов» он с большой ясностью указывает, что радиоактивные превращения не противоречат обычным представлениям об элементах¹⁸.

Наконец, в статье «Об энергии элементов»²⁰ в 1908 г. Бекетов высказывает совершенно правильные мысли о механизме радиоактивных превращений, об источнике энергии радиоактивных превращений и о прочности элементов. «Так как приток энергии должен до известной степени (если не исключительно) зависеть от количества скопившейся материи, то мы вправе ожидать, что с возрастанием атомного веса должна скопляться и в большом количестве эта остаточная энергия... Радий принадлежит именно к группе щелочно-земельных металлов, в которых, повидимому, химическая энергия возрастает с ростом атомного веса...» «Из этого я позволю себе заключить, что атомы высокого веса (если они притом принадлежат к группам с большим атомным объемом) должны содержать больший запас энергии (или внутреннего движения), чем это можно заключить по обнаруживанию или выделению энергии при химических процессах... Я думаю, именно накопление слишком большой энергии или просто движения — и если принять представление о вихревом строении атома, то крупные и с крупными объемами [атомы] будут уже не в состоянии удерживать большое количество материи, необыкновенно быстро движущейся, и потому могут получать свойства к саморазрушению, сопровождающемуся постоянным выделением энергии. Радий, вероятно, и стоит на этом пределе в ряду щелочно-земельных металлов — эту мысль я, впрочем, уже имел случай докладывать в Физико-химическом обществе в декабре 1903 г., но теперь я ее дополнил и развил некоторыми общими соображениями...». Эти слова показывают, что Н. Н. Бекетов, будучи вполне внутренне подготовленным к пониманию радиоактивных превращений, видел далеко вперед, несмотря на свой преклонный возраст (83 года), когда он писал эти слова.

В тесной связи со взглядами Бекетова на строение элементов находится его отношение к периодическому закону и он неоднократно касался этой темы. В 1879 г. в своем докладе (⁵ стр. 22) он говорит: «При таком соотношении этих присущих элементам свойств (массы и расстояния) понятно, что наиболее естественная и научная классификация их, данная профессором Менделеевым, основана именно на этих существенных признаках материи...».

В 1882 г. в статье «Об элементах»¹⁷ Бекетов дает своеобразную оценку периодическому закону и как бы вкладывает в него дополнительные черты, созвучные с его пониманием элементов. Рассматривая малое изменение свойств элементов в группе и резкое изменение свойств в периоде с возрастанием атомного веса, он говорит: «Спрашивается — отчего элементы не располагаются в один ряд по восходящему атомному весу. В этом случае, мне кажется, проявляется другой фактор, этот последний есть также известный запас, присущий атомам движения, но он изменяется не столько количественно, сколько качественно. Это изменение формы и направления движения, дойдя до известного предела, не может идти далее и, напротив того, должно уже повторяться». Из этих слов с ясностью следует, что Бекетов допускал не только количественные различия энергии элементов с изменением их свойств в периоде. Подчеркивая в периодическом законе энергетическую сторону, Бекетов всегда отмечал, что периодический закон является наиболее общим законом химии. В своем последнем высказывании о значении периодической системы в 1903 г. Бекетов как бы заключает свое отношение к периодической системе следующими словами: «Периодический закон выражает собой закон образования элементов в природе из какого-нибудь первоначального вещества, существовавшего, а вероятно, и теперь существующего¹⁸».

Бекетов живо интересовался и другими актуальными вопросами физической химии, к числу которых относится теория электролитической дис-

социации. Бекетов неоднократно высказывался по этому поводу — в 1889, 1894 и в 1901 годах. Бекетов отрицательно относился к теории Аррениуса. В 1899 г. он говорил следующее ²¹: «Я удивляюсь, что так легко ради удобства объяснения была принята гипотеза саморазложения таких прочных соединений, каковы галоидные соли щелочей». Главной причиной, которая вызвала такой резкий протест Бекетова к теории Аррениуса, является то, что теория электролитической диссоциации действительно не указывала на источник энергии, вызывавшей диссоциацию таких прочных соединений, как галоидные соли щелочных металлов, и, во-вторых, как казалось Бекетову, являлась возвращением к старым представлениям Берцелиуса.

Отметим работы Бекетова по каталитическому действию паров. 20 ноября 1885 г. он сообщил реферат «О влиянии воды на явления окисления и горения» ²². В реферате Бекетовым были изложены опыты Диксена и Турбабы (ученика Бекетова), в которых было показано, что в отсутствие воды окись углерода не окисляется кислородом. Этому же вопросу посвящены сообщения в декабре 1885 г. ²³ и январе 1886 г. ²⁴. Бекетов высказал предположение о каталитическом действии воды и других водородсодержащих соединений при этой реакции. «...всякое окисление, как медленное, так и быстрое (горение), происходит не за счет свободного кислорода, а при посредстве перекиси водорода, попеременно то образующейся, то разрушающейся».

В связи с каталитическими работами отметим, что в своем курсе физической химии ⁸ Бекетов говорит о предварительной работе реакции в том смысле, в котором мы сейчас говорим об энергии активации. Таким образом, и в области кинетики и катализа Бекетов далеко опередил свой век и высказанные им идеи получили в дальнейшем значительное развитие.

В заключение остановимся на некоторых отдельных работах Бекетова и прежде всего на его интересной работе об электролитическом восстановлении угольной кислоты в муравьиную ²⁵. Эта работа интересна, с одной стороны, как одна из первых попыток электрохимического восстановления, а с другой стороны, она имела существенное значение для борьбы с витализмом.

Бекетов не избегал и чисто прикладных работ. Так, он исследовал воду Харьковского водопровода и показал наличие в ней цинка ²⁶ и в дальнейшем принимал активное участие в вопросах водоснабжения города Харькова. В 1854 г., во время Севастопольской кампании, когда подвоз серы из Сицилии стал невозможным, Бекетов предложил использовать для получения серы гипс ²⁷. В 1864 г. Бекетов первый исследовал Березовские минеральные воды и дал заключение ²⁸, что они подобны водам Спа. В советское время на базе Березовских минеральных вод создан большой курорт, где сотни трудящихся восстанавливают свое здоровье.

Обзор научной деятельности Н. Н. Бекетова будет неполным, если не остановиться на его роли создателя и организатора новой науки — физической химии. Прежде всего, что называл Бекетов физической химией? Это становится ясным из введения к курсу физической химии 1886 г., в котором он говорит, что приступает к изложению «Соотношения физических и химических свойств и далее развивает это положение так: «Хотя мы и различаем химические и физические свойства тел, тем не менее и те и другие суть выражение строения и свойств малейших частиц, одним словом, строение материи в одно и то же время находится в зависимости от физических условий и химических свойств». В 1901 г. в своей речи Бекетов говорил: «Собственно химия, как наука, была основана именно физико-химиками». Эти две цитаты показывают, что Бекетов точно определяет содержание физической химии как по методу «соотношения физических и химических свойств», так и по содержанию, считая, что предме-

том физической химии являются общие законы химии, т. е. он определяет физическую химию, как теоретическую химию.

Уже в 1860 г. Бекетов в Харьковском университете читал «Специальный курс органической химии и отношение физических и химических явлений между собой» ⁴, явившийся как бы прологом к физической химии, и, начиная с 1865 г., читал курс физической химии или, как он называет его, «физико-химии». Этот курс читался Бекетовым на организованном им по уставу 1863 г. физико-химическом отделении физико-математического факультета. По свидетельству его ученика Черная ²⁹ на отделении не только читались лекции по физической химии, но и велись практические занятия, ставились задачи по определению плотности пара, молекулярного веса, по получению и исследованию спектров и т. д. Курс читался в течение двух лет на 3 и 4 курсах по 2 часа в неделю. Обычно лекции живо обсуждались в лаборатории, что было своеобразным семинаром по курсу.

6 мая 1864 г. Бекетов представил физико-математическому факультету докладную записку ³⁰, в которой обосновывает необходимость физико-химической специальности.

«Между науками, входящими в состав физико-математического факультета, физика и химия составляют особенную группу сведений. В этом, конечно, никто из знакомых с делом не сомневается. По своей цели изучения общих свойств и строения материи, по своему исключительно опытному методу, наконец, по литературе, физика и химия вполне отделяются от так называемых естественных наук. С другой стороны, связь между химией и физикой с каждым днем увеличивается; особенно в последнее время сведения наши обогатились рядом исследований, одинаково относящихся к обеим наукам. Знать химию и еще больше — производить химические исследования невозможно без основательного знакомства с физикой, а потому также и с математикой. Физика, в свою очередь, все более и более переходит границы, отделявшие ее от химии; изучение так называемых общих физических свойств разных тел получает рациональное значение только в связи с их химическим составом...»

Он заключает свою записку словами: «Всего сказанного достаточно, чтобы убедиться в необходимости учредить в физико-математическом факультете разряд *физико-химический*, основанием которого служили бы физика и химия».

Для характеристики физико-химического разряда приводим учебный план или, как тогда говорили, — распределение занятий 1884 г., составленное Бекетовым ³⁰ (см. таблицу на стр. 1008).

Из четырех распределений приводим в качестве примера «распределение занятий № 2 с преобладанием химии».

Таким образом, план Бекетова предусматривал значительную подготовку студентов физико-химиков по математике, механике и физике и одновременно хорошую подготовку по химии.

Организация разряда физико-химических наук и деление физико-математического факультета на три разряда были осуществлены в декабре 1864 г. Это физико-химическое отделение просуществовало до 1886 г., когда оно было закрыто в соответствии с новым реакционным уставом университетов 1884 г.

В полном объеме правильная организация химического образования и в том числе образования физико-химиков была осуществлена лишь после Великой Октябрьской революции.

За недолгий срок существования отделения (20 с небольшим лет) отделение дало ряд крупных научных деятелей — профессоров А. П. Эльтекова, Ф. М. Флавицкого, А. К. Погорелко, Н. А. Черная, Н. П. Осипова, Н. Д. Пильчикова, Е. Л. Зубышева, В. Ф. Тимофеева, Д. П. Турбаба, научных работников: Л. Г. Эренбурга, В. П. Пашкова и др. Если принять во внимание, что выпуск составлял 2—3 человека в год, то такой список оказывается достаточно внушительным ³⁰.

Число часов в неделю			Число часов в неделю		
Теория			Теория		
Практ.			Практ.		
I семестр			II семестр		
Высшая алгебра	4	1	Дифференциальное ис- числение	3	1
Аналитическая геомет- рия	3	1	Аналитическая геомет- рия	3	1
Опытная физика, ч. I .	5	—	Опытная физика, ч. II .	5	2
Неорганическая химия	4	—	Неорганическая химия	4	—
	16	2		15	4
III семестр			IV семестр		
Приложение дифферен- циальных исчислений к геометрии	3	1	Интегрирование диффе- ренциальных уравне- ний	5	1
Интегрирование функ- ций и определение интегралов	5	1	Акустика и теория уп- ругости	2	—
Математическая и физи- ческая оптика	2	—	Кинематика точки . . .	3	—
Органическая химия . .	4	—	Органическая химия . .	4	—
Качественный анализ . .	2	3	Количественный анализ	2	3
	16	5		16	4
V семестр			VI семестр		
Элементы механической теории тепла	2	—	Магнетизм и электри- чество	2	3
Динамика точки и ста- тика твердого тела . .	3	—	Механика систем	4	2
Физико-химия	1	—	Физико-химия	1	—
Техническая химия . .	4	—	Техническая химия . .	4	—
Общая минералогия . .	3	—	Частная минералогия .	2	3
Практическая и органи- ческая химия	—	3		14	8
	13	3			
VII семестр			VIII семестр		
Физическая география, метеорология	4	2	Геофизика	2	—
Физико-химия	1	—	Физико-химия	1	—
Специальный курс орга- нической химии	2	3	Динамическая геология	4	—
Практикум по физике . .	—	3	Практикум по неорга- нической химии	—	2
» по неорга- нической химии	—	2	Практикум по органи- ческой химии	—	3
	7	10	Практикум по физике .	—	3

Бекетов не только заботился об организации преподавания физической химии, но и об организации научных физико-химических исследований. Для этого Бекетов в 1870 г. поднял вопрос об организации при Харьковском университете общества опытных наук с физико-химической секцией, бессменным председателем которой он был со дня организации—1872 г. до избрания его академиком, т. е. до 1886 г. ²

В 1886 г. Бекетов издал курс физической химии, который по содержанию и по структуре очень близок к современным курсам физической химии ³. Таким образом, приоритет основателя современной физической химии безусловно принадлежит Бекетову. Это подтверждается читавшимся им с 1865 г. курсом физической химии, организацией им физико-хими-

ческого отделения физико-математического факультета в 1864 г. организацией им физико-химической секции общества опытных наук в 1872 г., изданием учебника физической химии в 1886 г.

Из всего сказанного становится совершенно ясной несправедливость приписывания приоритета в основании физической химии В. Оствальду, как это делают некоторые иностранные фальсификаторы истории химии. Оствальд был профессором Рижского политехникума, т. е. работал в России, и не мог не знать о существовании основанного Бекетовым физико-химического отделения и о чтении им курса физической химии, начиная с 1865 г. Таким образом, приоритет основателя физической химии принадлежит Бекетову, а не Оствальду ³¹.

Бекетов был большим патриотом своей Родины, был чужд преклонения перед иностранщиной и всегда отстаивал приоритет русской науки. Он справедливо и резко критиковал ряд неверных положений физико-химиков Запада, он указывал на ограниченность принципов Берглю, критиковал неверные положения немецкой школы электрохимиков. Он отстаивал свой приоритет и приоритет русских ученых. Бекетов еще до исследования Б. Н. Меншуткина дал исключительно высокую оценку работ Ломоносова в речи, посвященной столетию со дня смерти М. В. Ломоносова (1865 г.). Это же следует из курса физической химии, в котором на стр. 116, говоря о законе сохранения энергии, Бекетов пишет: «Еще Ломоносов смотрел на теплоту как на особого рода движение частиц материи и притом он развил этот взгляд в своих сочинениях в такой полноте, которую мы теперь встречаем в сочинениях Тиндала» ⁸.

В 1886 г. Бекетов произнес речь на смерть Бутлерова ³². «Несомненно, что наука и страна потеряли в лице Бутлерова выдающегося ученого, энергического общественного деятеля, прекрасной души человека». В этой же речи он указывает на приоритет Бутлерова в вопросах строения вещества. «Однако ни Купер, ни Кекуле не развили своих воззрений с достаточной полнотой и последовательностью и впали в противоречие, придерживаясь не совсем ясных воззрений на самое строение. Бутлеров тогда же выступил с целым рядом оригинальных и критических статей по вопросам строения и изомерии органических соединений, где разобрал воззрения Кольбе, Кекуле и Купера, указав на их недостатки». «Сам он высказал мнение, «что... так называемое химическое строение [молекулы]... может быть только одно и должно быть выражено одною формулой строения»... [строение молекул] и оно «...должно быть выражено одною формулой строения». Эта цитата показывает, как глубоко Бекетов понимал теорию строения Бутлерова и что его оценка роли Бутлерова в создании теории строения совпадает с нашей современной оценкой.

Мы уже указывали, как высоко оценивал Бекетов работы Менделеева. Бекетов был глубоко возмущен избранием Менделеева в Академию Наук. Об этом свидетельствует протокол заседания физико-химической секции Общества опытных наук при Харьковском университете под председательством Бекетова с протестом против избрания Менделеева академиком. Выписка из протокола была зачитана А. М. Бутлеровым на заседании отделения химии в 1880 г. ³³.

Бекетов придерживался материалистических взглядов. В ряде его работ мы встречаем элементы диалектического взгляда на мир. В одной из своих речей он говорил ⁸: «Происходит бесконечное и непрерывное изменение и развитие мира, это — вещественная реальность». Эти же взгляды развивает он и в своем учебнике неорганической химии в 1875 г. ¹⁶ «При наблюдении окружающей нас природы ни от кого не ускользает ее постоянное изменение, без этого не было бы ни развития, ни появления новых форм. Изменения эти, или иначе называемые явления, проявляются в вещественном мире». Такими словами начинает он свой курс неорганической химии. В лекциях по физической химии, подытоживая раздел, посвященный сохранению энергии, Бекетов говорит ⁸: «Самый важный

вывод этого учения есть тот, что движение не уничтожается и подобно материи только видоизменяется. Это учение, вполне разработанное с физической стороны, мало коснулось химического процесса, но мы можем тот же взгляд, как сейчас увидим, с успехом применить к химическому процессу».

В своей статье¹⁹ «Радий как посредник между настоящей весомой материей и энергией» Бекетов протестует против отрыва материи от энергии. «Пока, что ни говорят, наш ум вряд ли может себе представить энергию без материи, т. е. представить живую силу без движения какой-нибудь, хотя бы бесконечно малой, массы».

Бекетов всегда принимал активное участие в общественной жизни. Еще до приезда в Харьков он вместе с братом организовал прогрессивно настроенный кружок «Братьев Бекетовых». В Харькове он был инициатором и организатором Харьковской публичной библиотеки — ныне библиотеки им. Короленко, Общества распространения в народе грамотности и Общества пособия нуждающимся студентам. В пользу этих обществ он читал платные публичные лекции. Кроме платных лекций он регулярно читал по четвергам в университете, во все время пребывания в Харькове, бесплатные популярные лекции, пользовавшиеся неизменным успехом. Он был хорошим популяризатором, о чем свидетельствуют дошедшие до нас некоторые из его публичных лекций: «Развитие и современное состояние светописи», «Чем мы греемся зимой», «Железо и его значение в природе» и т. д.^{2,4}.

Бекетов оставил глубокий след в развитии науки в Харьковском университете и в Харькове и надолго определил физико-химическое направление работ харьковских химиков. В честь Бекетова, прошедшего в Харькове наиболее творческие годы, Харьковский университет ежегодно устраивает в мае (дата переезда в Харьков Н. Н. Бекетова) Бекетовские чтения, посвященные истории развития отечественной химии и современному состоянию важнейших разделов химии.

Подводя итог, следует сказать следующее. Бекетов вошел в историю науки, во-первых, как основоположник современной физической химии; во-вторых, как один из основателей закона действующих масс; в-третьих, как основоположник алюминотермии; в-четвертых, как ученый, впервые поставивший и по-своему разрешивший вопрос о связях между строением и свойствами элементов; в-пятых, как ученый, правильно поставивший вопрос о превращении элементов и об энергетических изменениях, сопровождающих эти процессы.

Имя Бекетова было незаслуженно забыто по вине иностранных фальсификаторов истории науки, приписавших Оствальду создание физической химии как науки, хотя основы ее были заложены М. В. Ломоносовым, а Гольдшмидту — восстановление окислов металлов алюминием. Они замалчивали роль Бекетова в установлении понятия равновесия и закона действующих масс и другие важнейшие его работы.

Только благодаря партии, правительству и товарищу Сталину, поднявшим нашу советскую науку на борьбу за приоритет отечественной науки, исправлена историческая несправедливость перед крупнейшим русским ученым — академиком Бекетовым и вновь открыта славная страница истории нашей науки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Бекетов, ЖРФХО, 1901, 38, 163.
2. И. П. Осипов, Н. Н. Бекетов — профессор и академик. Сборник памяти Н. Н. Бекетова, С.-Петербург, 1913.
3. Н. Н. Бекетов, Сборник в память 60-летия ученой деятельности Н. Н. Бекетова (1853—1903), Харьков, 1904.
4. Е. С. Хотинский, Академик Н. Н. Бекетов, Харьков, 1950, стр. 11.
5. Н. Н. Бекетов, Динамическая сторона химических явлений. Доклад, прочитанный 27.XII.1879 г. в РФХО, Харьков, 1886, стр. 21.
6. Н. Н. Бекетов, Химический журнал Соколова и Энгельгарта, 1859, 1, 213, 1885, 48, 312.

7. Н. Н. Бекетов, Физико-химия, Харьков, 1886.
8. Н. А. Измайлов, Руководство по физической химии Н. Н. Бекетова. Материалы по истории отечественной химии, Изд. АН СССР, 1948, стр. 67.
9. Н. Н. Бекетов и Н. А. Чернай, ЖРФХО, 1871, 3, 259.
10. Н. Н. Бекетов, Труды Общества физико-химических наук при Харьковском университете. Протокол заседания от 21 мая 1902 г., Харьков, 1903, стр. 17.
11. Н. Н. Бекетов, ЖРФХО, 1888, 20, 525.
12. Н. Н. Бекетов, Основные начала термохимии, Москва, 1890.
13. Д. И. Менделеев, Основы химии, т. II, стр. 490, Госиздат, 1928.
14. Н. Н. Бекетов, О некоторых явлениях вытеснения. Хим. журнал, 1859, 2, 24.
15. Н. Н. Бекетов, Протоколы заседаний физико-химической секции Общества опытных наук при Харьковском университете за 1887 год, 1891, стр. 16.
16. Н. Н. Бекетов, Записки по неорганической химии. Второе исправленное издание, Харьков, 1875.
17. Н. Н. Бекетов, «Об элементах». Протоколы заседаний физико-химической секции Общества опытных наук при Харьковском университете за 1882 г., 1885, стр. 32.
18. Н. Н. Бекетов, Сборник «В память 50-летия ученой деятельности Н. Н. Бекетова», 1904, стр. 157.
19. Н. Н. Бекетов, ЖРФХО, 1904, 36, 329.
20. Н. Н. Бекетов, ЖРФХО, 1908, 40, 451.
21. Н. Н. Бекетов, ЖРФХО, 1889, 21, 175.
22. Н. Н. Бекетов, Протоколы заседания физ.-хим. секции Общества опытных наук при Харьковском университете 20 ноября 1885 г., 1890, стр. 75.
23. Н. Н. Бекетов, То же, 18 декабря 1885 г., 1890, стр. 80.
24. Н. Н. Бекетов, То же, 29 января 1886 г., 1890, стр. 1.
25. Н. Н. Бекетов, ЖРФХО, 1869, 1, 33. Доклад И. П. Осипова от имени Н. Н. Бекетова. Протоколы заседания физ.-хим. секции Общества опытных наук при Харьковском университете, 1 февраля 1911 г. Труды Общества, 1912, стр. 3.
26. Н. Н. Бекетов, Протоколы заседания физико-химической секции Общества опытных наук при Харьковском университете от 25 февраля 1881 г., 1884, стр. 18.
27. Н. Н. Бекетов, Протоколы физико-химической секции Общества опытных наук при Харьковском университете (1880 г.).
28. Н. Н. Бекетов, Журнал министерства народного просвещения, 1864, 123, 873.
29. Н. А. Чернай, Воспоминания о профессоре Н. Н. Бекетове, Сборник «Памяти Н. Н. Бекетова», С.-Петербург, 1913, стр. 41.
30. Доклад комиссии под председательством профессора Шимкова, физ.-мат. фалькульта Харьковского университета, отдельная публикация, Харьков, 1899.
31. А. Ф. Капустинский, Русская наука и создание физической химии и термодинамики. Материалы по истории отечественной химии, Изд. АН СССР, 1950, стр. 22.
32. Н. Н. Бекетов, Протоколы заседания физико-химической секции Общества опытных наук при Харьковском университете от 17 сентября 1886 г., 1890, стр. 15.
33. Протокол заседания отделения химии РФХО 5 декабря 1889 г., ЖРФХО, 1881, 13.