Владимир Дмитриевич ШИЛЬЦЕВ[1]
Елизавета Владимировна ШИЛЬЦЕВА[2]

ДМИТРИЙ ИВАНОВИЧ МЕНДЕЛЕЕВ (1834-1907): ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА И НЕ ТОЛЬКО

[1] Национальная ускорительная лаборатория им. Э. Ферми (г. Батавия, США)
shiltsev@fnal.gov

[2] Университет Иллинойса в Урбана-Шампейн (г. Шампейн, США)
eshilt2@illinois.edu

Аннотация

Периодический закон химических элементов — одно из самых значительных достижений науки. Он был открыт Дмитрием Ивановичем Менделеевым в 1869 г., а 2019 г. — год его 150-летия — был объявлен Генеральной Ассамблеей Организации Объединенных Наций и ЮНЕСКО Международным годом Периодической таблицы химических элементов (IYPT2019). В этой статье мы кратко представим путь Менделеева к открытию и дадим широкую перспективу его взглядов и исследований, включая менее известные достижения, такие как теория и исследования растворов, исследования газов и открытие сверхкритических жидкостей. Мы также рассмотрим поучительные «заблуждения гения», его путь к славе и несколько мифов, широко циркулирующих в средствах массовой информации и благосклонно принимаемых публикой.

Предисловие к русскому переводу

Эта статья первоначально была опубликована на английском в журнале Итальянского Физического Общества «Il Nuovo Saggiatore», и ее авторский перевод публикуется с благосклонного разрешения Президента ИФО профессора Анджелы Бракко.

Авторы благодарны всем тем, кто организовывал и принимал активное участие в различных мероприятиях IYPT2019, включая Криса Стоутона, Рейдара Хана, Криса Куигга, Кристофера Берда и Лизу Лопес (Фермилаб), Ольгу Зунде, Андрея Толстикова и Владимира Новосёлова (г. Тюмень), Игоря Дмитриева (г. Санкт-Петербург), Майкла Гордина (г. Принстон), Франка Циммерманна, Лучио Росси

Оригинальная публикация: Shiltsev V. D. Dmitrii Ivanovich Mendeleev (1834-1907): The Periodic Table and Beyond / V. D. Shiltsev, E. V. Shiltseva // Il Nuovo Saggiatore. 2020. Vol. 36. No. 3-4. Pp. 51-64.

© ФГАОУ ВО Тюменский государственный университет

и Майкла Бенедикта (ЦЕРН), Стефанию Векки (г. Феррара), Марко Паллавичини (г. Генуя), Томмазо Дориго и Донателлу Луччеси (г. Падуя). Особая благодарность Луизе Чифарелли и Альдо Рода (г. Болонья), которые предоставили уникальную возможность посетить архивы Болонской академии и получить доступ к переписке Менделеева.

2019 — Международный год таблицы Менделеева

В 2019 г. широкая общественность, равно как и международное научное сообщество имели замечательную возможность оглянуться назад в 1869 г., когда Дмитрий Иванович Менделеев (рис. 1) впервые предложил Периодическую систему элементов — концепцию, которая действительно стала общим языком для науки. В декабре 2017 г. Генеральная Ассамблея Организации Объединенных Наций провозгласила 2019 г. «Международным годом Периодической таблицы химических элементов [IYPT2019] в целях расширения глобальной осведомленности и повышения уровня образования в области фундаментальных наук» под руководством Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО) [30].

Этой таблицей Менделеев предложил естественную классификацию известных элементов, а его периодический закон позволил ему предсказать отсутствующие, еще не открытые элементы, а также их физические и химические свойства. Его система также проложила путь для многих других открытий, таких как открытие благородных (инертных) газов Уильямом Рамзи и лордом Рэлеем (Нобелевская премия по химии 1904 г.) и первых радиоактивных элементов Марией Кюри и ее мужем Пьером (Нобелевская премия по физике 1903 г., Нобелевская премия по химии 1911 г.).

С середины XX в. ускорители начали играть важную роль в заполнении таблицы Менделеева в том виде, в каком мы знаем ее сейчас. Все, кроме двух трансурановых элементов, от Нептуния (93) до Оганессона (118, последний элемент современной таблицы), были обнаружены на установках циклотронных ускорителей в США, СССР/России, Германии и Японии. Нобелевская премия по физике 1951 г. была присуждена Глену Сиборгу и Эдвину Макмиллану за открытие трансурановых элементов, а Эрнест О. Лоуренс, пионер современных ускорителей элементарных частиц, получил Нобелевскую премию по физике в 1939 г. за изобретение циклотрона.

К 150-летнему юбилею журналы Nature, Science и Physical Review опубликовали специальные выпуски и серии статей по различным аспектам этих открытий, многие из которых доступны для бесплатного чтения на веб-сайтах журналов [24, 27, 28].

На веб-сайте IYPT2019 [30] есть впечатляющая карта сотен событий и торжеств по всему миру, организованных различными университетами, ассоциациями, организациями и учреждениями. Например, Фермилаб и ЦЕРН отпраздновали IYPT, организовав коллоквиумы, семинары и лекции по периодическому закону, его истории и влиянию. 12 сентября 2019 г. президент Европейского физического

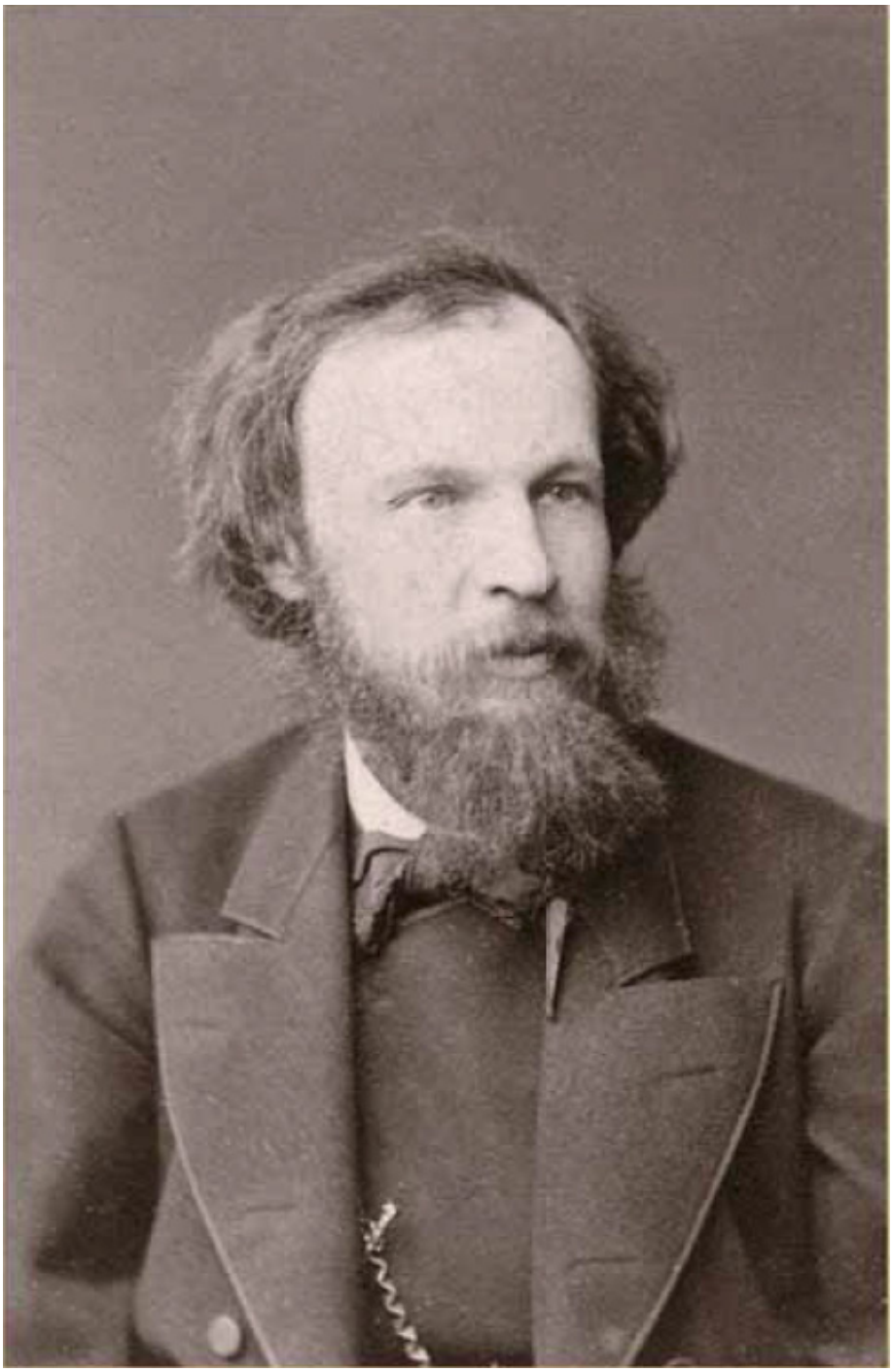


Рис. 1. Дмитрий Иванович Менделеев в 1869 г., когда он сформулировал свой периодический закон

Fig. 1. Dmitrii Mendeleev in 1869, the year he formulated the periodic law

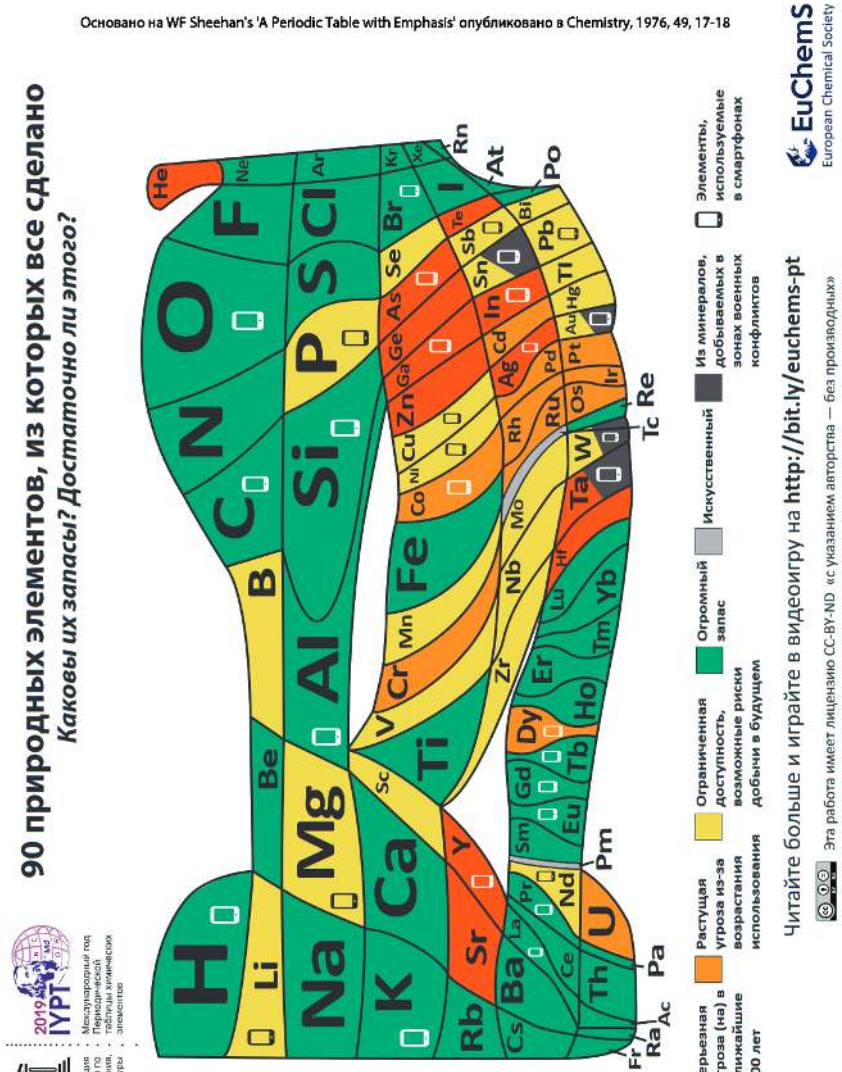


Рис. 2. Представление таблицы Менделеева, разработанное Европейским химическим обществом, отражает дефицит элементов — «Каковы их запасы? Достаточно ли этого?» — по цвету и размеру клеток элементов [17]

Fig. 2. The Periodic Table presentation developed by the European Chemical Society reflects elements scarcity — "How much is there? Is that enough?" — by color and size of elements boxes [17]

общества (EPS) Петра Рудольф открыла Музей-архив Менделеева в Санкт-Петербургском государственном университете в качестве «исторического памятника EPS» и торжественно открыла мемориальную доску на церемонии, на которой присутствовали многие ученые, химики и физики, члены EPS и APS. Европейское химическое общество обозначило IYPT новым видом Периодической таблицы, который отражает дефицит элементов, изображенным на рис. 2.

Многие памятные мероприятия IYPT прошли в Италии. Помимо нескольких бесед и семинаров, которые проводились в различных учреждениях, таких как INFN Ferrara и INFN Padova, в рамках основного мероприятия был организован Фестиваль науки (Festival della Scienza 2019) в Генуе (24 октября — 4 ноября), очень популярное ежегодное общественно-научное мероприятие, тема «Элементы» по случаю IYPT2019. 6 и 7 ноября 2019 г. Итальянское физическое общество (SIF) в сотрудничестве с Итальянским химическим обществом (SCI) организовало Международный симпозиум «Страсть к науке: новые элементы и новые материалы» по случаю IYPT2019 [25].

Празднование IYPT подошло к концу на церемонии в Токио 5 декабря 2019 г. Участникам были представлены презентации представителей Международного союза чистой и прикладной химии и Международного союза чистой и прикладной физики, ученых, участвовавших в открытии новых элементов и наблюдениях за тем, что ждет Периодическую таблицу в будущем.

Менделеев и его периодический закон

Жизнь Д. И. Менделеева и его путь к периодическому закону хорошо изучены и отражены во многих публикациях (например, [1, 14, 18, 31]). Ниже мы даем лишь краткое изложение и приводим только самые основные или менее известные факты его биографии и исследований.

Менделеев родился в небольшом сибирском городке Тобольске примерно в 2 300 км к северо-востоку от Москвы и был последним из 11 выживших детей Ивана Павловича Менделеева, директора местной гимназии, и Марии Дмитриевны Менделеевой (Корнильевой). Отец ослеп вскоре после рождения Дмитрия и умер в 1847 г. После неудачной попытки поддержать семью, владевшую небольшой стекольной фабрикой, в 1848 г. мать отвезла Дмитрия в Санкт-Петербург, где он поступил в Главный педагогический институт, который и окончил в 1855 г. Несмотря на серьезные проблемы со здоровьем и лишения после смерти матери в 1850 г., Менделеев получил степень магистра химии в 1856 г. и начал проводить исследования в области органической химии. С 1859 г. стипендия российского правительства поддержала его 22-месячную учебу за границей в Гейдельбергском университете. Вместо того, чтобы тесно сотрудничать с выдающимися химиками университета, включая Роберта Бунзена (теперь широко известного благодаря «горелке Бунзена») и Эмиля Эрленмейера (известного своей одноименной химической колбой), Менделеев создал лабораторию в своей собственной квартире для изучения молекулярной механики поверхностного натяжения. Участие в Международном химическом конгрессе 1860 г. в Карлсруэ, организованном

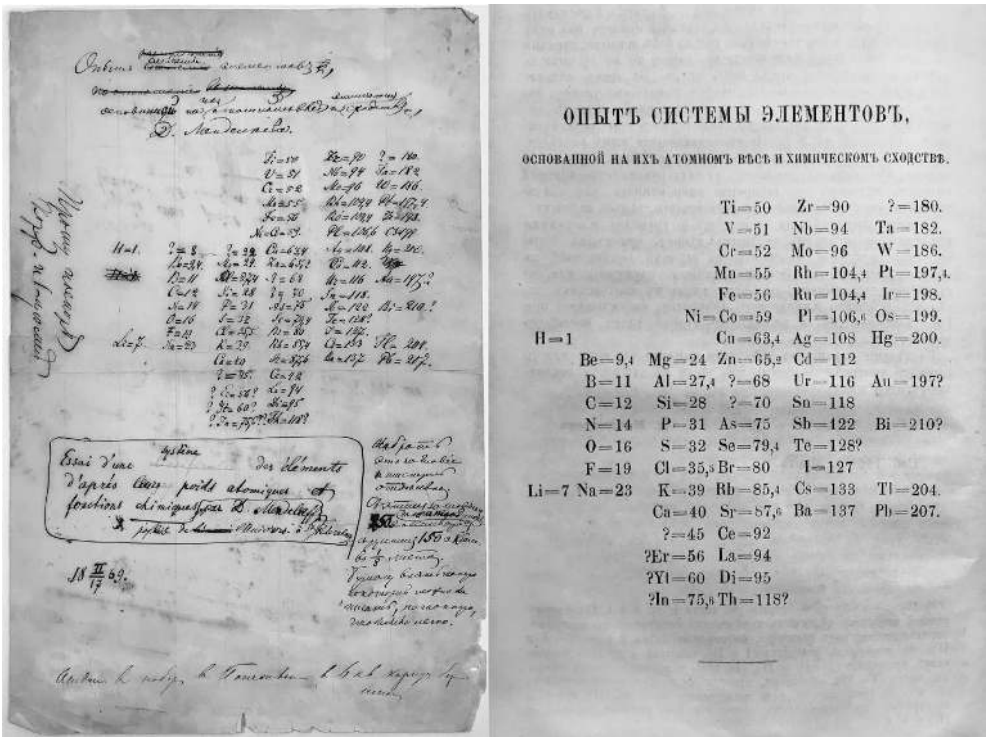
итальянским химиком Станислао Канниццаро, позволило ему принять участие в обсуждениях таких важных вопросов, как атомный вес, химические символы и химические формулы, а также встретиться и установить контакты со многими ведущими химиками Европы.

В 1861 г. Менделеев вернулся в Санкт-Петербург, где в 1864 г. стал профессором химии Технологического института. После защиты докторской диссертации в 1865 г. он был назначен профессором химической технологии Санкт-Петербургского университета (ныне Санкт-Петербургский государственный университет), где впоследствии стал профессором общей химии (1867 г.) и продолжал преподавать до 1890 г. С 1893 г. до своей смерти в 1907 г. Менделеев был директором Главной палаты мер и весов, а также работал консультантом по широкому кругу деловых, исследовательских и государственных проектов.

Поворотным моментом к открытию периодического закона химических элементов стала необходимость логической систематизации элементов для учебника «Основы химии» [6], ставшего впоследствии классическим, выдержавшего 13 изданий в России (в том числе 5 посмертных в СССР) и множество переводов на английский, немецкий и французский языки. Когда Менделеев начал преподавать неорганическую химию, он не смог найти учебник, который отвечал бы его потребностям, и решил написать свой собственный. Первоначальный подход Менделеева был энциклопедическим, и уже в первом томе было более 500 страниц, в котором рассматривались только 8 из 63 известных на тот момент элементов — углерод, водород, кислород, азот и галогеновые элементы (хлор и его аналоги). Второй том должен был охватывать оставшиеся элементы — литий, натрий, калий, рубидий, щелочные металлы и т. д. — и оказался под угрозой стать слишком большим по объему для чтения и понимания студентами. В поисках краткого руководящего принципа Менделеев первым обнаружил сходство в изменении свойств галогенов и щелочей в зависимости от атомного веса, т. е. двух групп разнородных элементов, и он задался вопросом, проявляют ли другие группы элементов аналогичные свойства, и вскоре установил, что порядок атомных весов можно использовать не только для расположения элементов внутри каждой группы, но и для расположения самих групп. Таким образом, в своем стремлении осмыслить уже существующие обширные знания о химических и физических свойствах химических элементов и их соединений Менделеев открыл периодический закон: «Свойства элементов, а потому и свойства образуемых ими простых и сложных тел, стоят в периодической зависимости от их атомного веса».

В научно-исторической литературе за последнее столетие приводится много противоречивых сообщений о датировке открытия и его публикаций. Наиболее широко распространенное утверждение, что периодический закон был опубликован Менделеевым 17 февраля (по старому стилю; по новому стилю — 1 марта), не совсем верно. Наиболее полное критическое исследование всех исторических и библиографических данных, ранее неизвестных архивных документов и неучтенных исторических записей было проведено недавно в работе [2], где установлена

хронологическая последовательность публикации открытия, которая начинается с окончательной рукописи «Опыт системы элементов», основанной на их атомном весе и химическом родстве (рис. 3, слева), представленной издателю 17 февраля (1 марта) 1869 г. Самая первая публикация Периодической таблицы появилась во втором издании 1-го тома «Основ химии» (рис. 3, справа) 14/15 (26/27) марта 1869 г., а вскоре после этого было напечатано 150 одностраничных сообщений на русском языке и 50 на французском от 17/20 марта (29 марта / 1 апреля), которые Менделеев разослал своим многочисленным коллегам в России и Европе.



ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ,

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОММОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

		Ti=50	Zr=90	?=180.	
		V=51	Nb=94	Ta=182.	
		Cr=52	Mo=96	W=186.	
		Mn=55	Rh=104,4	Pt=197,4.	
		Fe=56	Ru=104,4	Ir=198.	
		Ni=Co=59	Pl=106,6	Os=199.	
H=1		Cu=63,4	Ag=108	Hg=200.	
Be=9,4	Mg=24	Zn=65,2	Cd=112		
B=11	Al=27,4	?=68	Ur=116	Au=197?	
C=12	Si=28	?=70	Sn=118		
N=14	P=31	As=75	Sb=122	Bi=210?	
O=16	S=32	Se=79,4	Te=128?		
F=19	Cl=35,5	Br=80	I=127		
Li=7 Na=23	K=39	Rb=85,4	Cs=133	Tl=204.	
	Ca=40	Sr=87,6	Ba=137	Pb=207.	
	?=45	Ce=92			
	?Er=56	La=94			
	?Yt=60	Di=95			
	?In=75,6	Th=118?			

Рис. 3. «Опыт системы элементов… / Essai d'une système des éléments d'après leurs poids atomiques et fonctions chimiques par D. Mendeleeff, professeur de l'Université à Saint-Peterbourg» — первая формулировка периодического закона Д. И. Менделеева от 17 февраля (старый стиль, 1 марта — новый стиль) 1869 г.: слева рукопись, отправленная в публикацию; справа первая опубликованная версия во 2-м тираже 1-го издания «Основ химии» Менделеева

Fig. 3. "An attempted system of the elements… / Essai d'une système des éléments d'après leurs poids atomiques et fonctions chimiques par D. Mendeleeff, professeur de l'Université à Saint-Peterbourg", the first formulation of Mendeleev's first periodic law of elements dated Feb. 17 (Julian (Russian) calendar; March 1 Gregorian (European) calendar). Left: the handwritten manuscript as sent to publication. Right: the first published version in the 2nd print of the 1st edition of Mendeleev's "Principles of Chemistry"

Затем последовала первая зарубежная публикация [22] на немецком языке, датированная 5/7 (17/19) апреля, и первое появление в русском периодическом научном «Журнале Русского химического общества» в середине мая 1869 г. [8]. Первое краткое публичное сообщение периодического закона было сделано коллегой Менделеева Николаем Меншуткиным на заседании Русского химического общества 6 (18) марта 1869 г. [1].

Исходная форма таблицы, показанной на рис. 3, действительно представляла собой шесть столбцов от 2 до 19 элементов в каждом. Чтобы сделать ее похожей на современную таблицу Менделеева, как мы ее знаем, нужно повернуть ее на 90° по часовой стрелке и отразить слева направо, что вскоре и сделал сам Менделеев в последующих публикациях. Конечно, в современной таблице 118 элементов по сравнению с 63 в версии 1869 г., и ее современное понимание, сформированное после создания квантовой теории в 1920-х гг., подчеркивает периодичность свойств элементов в соответствии с их числом (т. е. числом электронов, а не атомным весом). Естественно, в исходной таблице не было групп для лантаноидов и актиноидов, а также для благородных газов (все они были введены позже) и были неправильные веса и/или размещения девяти элементов тяжелых металлов по сравнению с текущими (иттербий, рений, платина, осмий, ртуть, золото, таллий, свинец) из-за неполных экспериментальных знаний того времени. Что отличает систему Менделеева от более ранних попыток де Шанкуртуа (1862 г.), Одлинга (1864 г.), Мейера (1864 г.), Ньюлендса (1864 г.) и Хинрихса (1867 г.), так это 1) ее полнота, поскольку она включала все 63 известных элемента без исключений; и 2) общее предположение, что это закон природы, следовательно, имеющий предсказательную силу. Так, Менделеев позволил себе изменить принятые атомные веса некоторых элементов и предвидеть еще не открытые элементы, а также их химические и физические свойства — см. те, которые помечены как «? = 45» (названный им эка-бором, «эка» означает одну позицию вниз в таблице, или скандий, обнаруженный в 1879 г.), «? = 68» (эка-алюминий, или галлий, 1875 г., атомный вес 69,7), «? = 70» (эка-кремний, или германий, 1886 г., атомный вес 72,6), «? = 180» (гафний, 1923 г.) и эка-марганец (технеций-99, нестабильный элемент, 1937 г.). Можно сослаться на обширную литературу по истории этих открытий, замечательный рассказ о плотности галлия, более точно предсказанной Менделеевым, чем первоначальные экспериментальные результаты Лекока де Буабодрана, и о том, как постепенно периодический закон и таблица стали основой для большей части химической теории (см., например, [16]). Ко времени смерти Менделеева в 1907 г. он, Уильям Рамсей (1852-1916), открыватель инертных газов, и Богуслав Браунер (1855-1935) сделали два очень заметных уточнения Периодической таблицы, такие как добавление нулевой группы, куда вошли элементы для инертных газов, и особой группы для редкоземельных элементов.

Другие важные научные исследования

Одна из ярких черт долгой карьеры Д. И. Менделеева — разнообразие его занятий. О спектре его исследований можно судить по содержанию его Полного собрания

сочинений [7]: том I: Кандидатская и магистерская диссертации (3 статьи, 348 страниц); том II: Периодический закон (7 ст., 518 с.); том III: Исследование водных растворов по удельному весу (11 ст., 467 с.); том IV: Растворы (13 ст., 560 с.); том V: Жидкости (16 ст., 310 с.); том VI: Газы (17 ст., 692 с.); том VII: Геофизика и гидродинамика (25 ст., 468 с.); том VIII: Органическая химия (29 ст., 664 с.); том IX: Порох (34 ст., 313 с.); том X: Нефть (36 ст., 830 с.); том XI: Топливо (40 ст., 584 с.); том XII: Металлургия (42 ст., 1094 с.); тома XIII и XIV: «Основы химии» (105 ст., 1792 с.); том XV: «Теоретические знания» и заметки (62 ст., 646 с.); том XVI: Сельское хозяйство и переработка сельскохозяйственных продуктов (68 ст., 480 с.); том XVII: Технология (70 ст., 858 с.); тома XVIII-XXI: Экономика (318 ст., 2514 с.); том XXII: Метрология (86 ст., 366 с.); том XXIII: Народное просвещение и высшее образование (93 ст., 385 с.); том XXIV: Статьи и материалы по общим вопросам (96 ст., 462 с.); том XXV: Дополнительные материалы (98 ст., 804 с.).

Ниже мы кратко представляем некоторые (не все) из его наиболее заметных научных достижений.

Химия. Около трети из более чем тысячи статей, книг и брошюр Менделеева посвящены практически всем разделам химии: теоретическим основам химии, неорганической, органической, физической химии, всем областям химической технологии того времени, от металлургии и энергетики до агрохимии, химии хлебопечения, сыроварения, виноделия и т. д. В 1891 г. Менделеев изобрел пироколлодий, разновидность бездымного пороха на основе нитроцеллюлозы, лишенного недостатков существующих французских и английских порохов (химическая неоднородность, невозможность использования в крупнокалиберных порохах, ограниченное время хранения и т. д.). Эта работа была заказана Морским министерством России, однако им не удалось организовать производство пироколлодия из-за бюрократических проволочек, поэтому во время Первой мировой войны Россия была вынуждена закупать такой же тип пороха в огромных количествах у Соединенных Штатов.

Физика. На протяжении своей карьеры Менделеев проводил обширные исследования в области физической химии, в основном сосредоточенные на понимании молекулярных взаимодействий с газами и жидкостями путем измерения с рекордной точностью их основных свойств, таких как плотность, тепловое расширение, поверхностное натяжение и т. д. Будучи на стажировке в Гейдельберге, Менделеев изучал температурную зависимость коэффициентов поверхностного натяжения различных жидкостей и проводил многочисленные эксперименты с капиллярами. Было известно, что так называемый капиллярный коэффициент $a^2 = hr$ (где r — радиус капилляра, а h — высота мениска внутри него) относится к коэффициенту поверхностного натяжения σ — показателю межмолекулярного взаимодействия — как $a^2 = 2\sigma/(g\rho)$, где g — ускорение свободного падения, а ρ — плотность жидкости. Менделеев обнаружил, что выше температуры, названной им «температурой абсолютного кипения жидкостей», поверхностное натяжение становится равным нулю, сцепление молекул и теплота испарения становятся равными нулю, и жидкость превращается в пар, независимо от давления и объема.

И наоборот, ниже этой точки любой газ в контейнере может конденсироваться в жидкость только за счет приложения давления. С тех пор это явление широко использовалось для сжижения газов, таких как воздух, кислород, азот, гелий и т. д. Восемь лет спустя Т. Эндрюс независимо изучил сжимаемость углекислого газа и определил, что температура 30,9 °C является самой низкой, при которой CO_2 всё еще может быть сжат до жидкости путем приложения давления (74 атм), и придумал термин «критическая температура», который сейчас широко используется, несмотря на более глубокое значение «температуры абсолютного кипения» Менделеева [11].

Методологически очень ценным является и то, что мы теперь называем уравнением Клапейрона — Менделеева. В 1834 г. Б. П. Э. Клапейрон обнаружил связь между физическими величинами, определяющими состояние идеального газа: давлением газа P, объемом газа V и абсолютной температурой $PV = BT$, где коэффициент пропорциональности B зависит от массы газа. В 1874 г. Дмитрий Менделеев переформулировал уравнение состояния идеального газа в виде, вошедшем в современные учебники, используя закон Авогадро (согласно которому газы содержат одинаковое количество молекул N при одинаковых значениях P, V и T), а именно что $PV = (M/\mu)RT$ или $PV = NkT$, где N — количество частиц газа, а k — постоянная Больцмана.

Метрология. Несмотря на свою теоретическую склонность к поиску глубоких фундаментальных причин различных явлений, Д. И. Менделеев был искусным мастером — новатором лабораторных экспериментов по физике и химии. Он известен изобретениями барометра перепада давления, пикнометра — устройства для измерения плотности жидкости, многими усовершенствованиями датчиков давления, одноплечных весов, вакуумных насосов для газов, приборов для определения концентрации спирта (спиртометров) и т. д. В 1890 г. Менделеев был вынужден уйти со своей кафедры в Санкт-Петербургском университете после того, как поддержал протестующих студентов, и вскоре был назначен директором Главной палаты мер и весов (см. рис. 4). Он участвовал в подготовке закона «О мерах и весах», принятого в 1899 г., который ввел новую систему русских основных единиц — фунт для массы, аршин для длины и т. д.; также были установлены соотношения между аршином и метром, фунтом и килограммом и положено начало организации разветвленной государственной калибровочной сети.

В 1898 г. Д. И. Менделеев издает фундаментальный труд в области метрологии «Опытное исследование колебания весов». Чтобы расширить свои знания о величине и природе гравитации, он обратился к исследованиям с помощью маятника и построил один из них, подвешенный на башне высотой 23 м через колодец глубиной 15 м, причем все температуры были стабилизированы. В 1898 г. он инициировал государственную и церковную комиссию по переходу от устаревшего юлианского календаря (в то время он отличался от григорианского на 13 дней), но потерпел неудачу.

Экономика. С конца 1880-х гг. Менделеева привлекали в качестве консультанта Кабинета министров России по широкому спектру экономических и технических

вопросов. Он был одним из самых активных составителей налоговых и тарифных реформ, проводимых правительством в то время. Он опубликовал множество статей и отчетов по экономике (4 тома в Полном собрании сочинений, более 2 500 страниц) и ценил свой фундаментальный «Толковый тариф» («Толковый тариф, или исследование о развитии промышленности России в связи с ее общим таможенным тарифом 1891 года») иногда даже выше, чем свои «Основы химии». Им предложен очень впечатляющий анализ российской экономики, сравнительное исследование экономической политики нескольких стран, в первую очередь Англии, за несколько столетий, обширный фактический материал и, самое главное, основные принципы экономических инструментов (таких как налоги и тарифы), которые могут привести страну к процветанию. Поддерживая просвещенное современное самодержавие, он считал буржуазную демократию лицемерным прикрытием власти капитала и утверждал, что в России рынок обязательно должен сочетаться с активной ролью государства в экономике. Менделеев рассматривал народное хозяйство как комплекс, в котором пропорционально развиты и гармонично сочетаются сельское хозяйство, промышленность, транспорт, наука, культура, образование, церковь, вооруженные силы и т. д., и призывал к преодолению доминирующих односторонних подходов к экономическому развитию. Он, например, излагал выгоды переработки сельхозпродукции на месте, призывал экспортировать не зерно, а скот, выращенный на этом зерне, не виноград, а вино и т. д.

Дмитрий Иванович также выступал против монополий, обогащающихся за счет взвинчивания цен, подавляющих конкуренцию и сдерживающих технический прогресс. В то же время Менделеев обосновывал и предлагал в основном экономические методы борьбы с необоснованной капиталистической прибылью — через объединенный капитал, государственные монополии и кооперативные

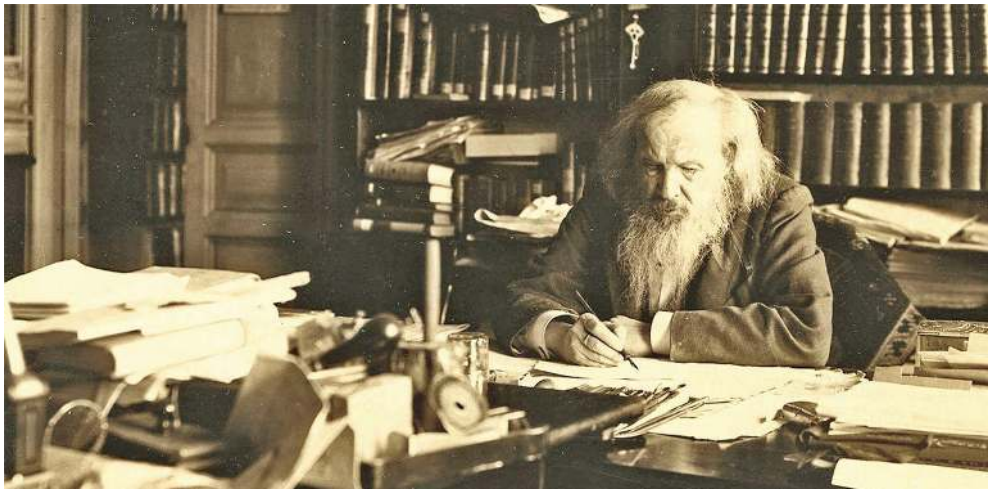


Рис. 4. Дмитрий Менделеев в кабинете директора Главной палаты мер и весов (1897 г.)

Fig. 4. Dmitrii Mendeleev in his office as Director of the Chief Bureau of Weights and Measures (1897)

предприятия. Он видел идеальным предприятие, в котором владелец был бы участником во всех его аспектах, знал каждого сотрудника, и все рабочие были бы заинтересованы в результатах совместной работы.

«Нет ничего поучительнее, чем заблуждения гения»

Русский физик, лауреат Нобелевской премии Пётр Капица однажды написал: «Нет ничего поучительнее заблуждений гения» [4]. Менделеев дает несколько замечательных примеров таких «заблуждений».

Всю свою научную жизнь Менделеев предупреждал о чрезмерном энтузиазме по поводу атомизма: «...тут есть много возможностей, но никакой уверенности» (дополнение к 4-й главе в издании «Основ химии» 1906 г.) — и принимал атомную теорию лишь как рабочую гипотезу. Он строго разграничил понятия «элемент» и «простое тело» и построил именно систему химических элементов, а не простых тел. Для него элемент был мельчайшим материально однородным «весомым веществом с суммой собственных свойств», входящим в частицы (молекулы) тел, и он классифицировал «элементарные индивиды», природа которых определялась их атомным весом. Такая постановка задачи позволила Менделееву создать Периодическую систему, но помешала ему предвидеть модульность атомной структуры и признать открытие радиоактивности, электронов и многие крупные достижения науки конца XIX — начала XX в. Он упрекал современную научную мысль в том, что она «запуталась в ионах и электронах».

Естественно, Менделеев стремился понять физические причины явления периодичности и считал, что объяснение природы периодичности «возможно только в смысле динамического представления, которое может и должно прежде всего объяснить само понятие веса». Отсюда его интерес к вопросу о «причине веса и притяжения», а также к свойствам среды, передающей свет и гравитацию, то есть светящегося эфира. Он рассудил, что существование эфира проявится в добавке $f(P)$ к сжимаемости газа $PV = NkT(1 + f(P))$, которая растет при низких давлениях, когда свойства «обычного» вещества перестают маскировать свойства эфира [21]. В своей лабораторной записной книжке 1874 г. он написал: «При нулевом давлении у воздуха есть некоторая плотность, это и есть эфир!». В 1874/75 г. он предпринял поиск так называемых «положительных отклонений» от закона Бойля — Мариотта в сильно разреженных газах (в предположении, что $d(PV)/dP > 0$) и, по-видимому, обнаружил их в нескольких газах при давлениях 650-100 мм рт. ст. и ниже (см. рис. 5). Такие отклонения не были впоследствии подтверждены, и современная наука не знает никаких отклонений от идеальной сжимаемости газа, кроме тех, которые происходят при умеренном или высоком давлении и обычно следуют уравнению Ван-дер-Ваальса. Экспериментальная установка Менделеева для этих исследований была очень сложной и дорогой и опиралась на щедрую поддержку Императорского Русского Технического Общества (РТО). Поскольку результаты было трудно воспроизвести или объяснить без подозрения на ошибку в измерениях давления (см. рис. 5, справа), Менделеев опубликовал только подробное описание приборов и методов, а также другие

экспериментальные результаты, полученные при высоких давлениях. Очень быстро после смерти своего главного лаборанта Михаила Кирпичева в 1875 г. Менделеев завершил эти исследования. Он продолжал думать об эфире и его связи с Периодической системой, и, например, в брошюре 1905 г. «Попытка химического понимания мирового эфира» символ *x* для эфира был вставлен в нулевую группу и нулевой ряд Периодической таблицы, над благородными газами, с его весом, оцененным на основе космологических аргументов, между $9{,}6 \cdot 10^{-7}$ и $5{,}3 \cdot 10^{-11}$. Ни этот *элемент x*, ни другая новинка *элемент y* той же группы (так называемый «короний» с массой 0,4 или меньше) не смогли занять своего места в таблице. В русле этих соображений и поисков эфира Менделеев разработал теорию верхних слоев атмосферы и 7 августа 1887 г. совершил широко разрекламированный полет на воздушном шаре, чтобы наблюдать солнечное затмение — он поднялся на высоту 3 800 м и пролетел около 100 км.

Менделеев также изучал вопрос о происхождении нефти и пришел к выводу, что углеводороды абиогенны и образуются глубоко в недрах земли в результате реакции воды с карбидом железа. «Главный факт, который следует отметить, заключается в том, что нефть зародилась в недрах земли, и только там мы должны искать ее происхождение» [23]. Позднее абиогенетическая модель получила

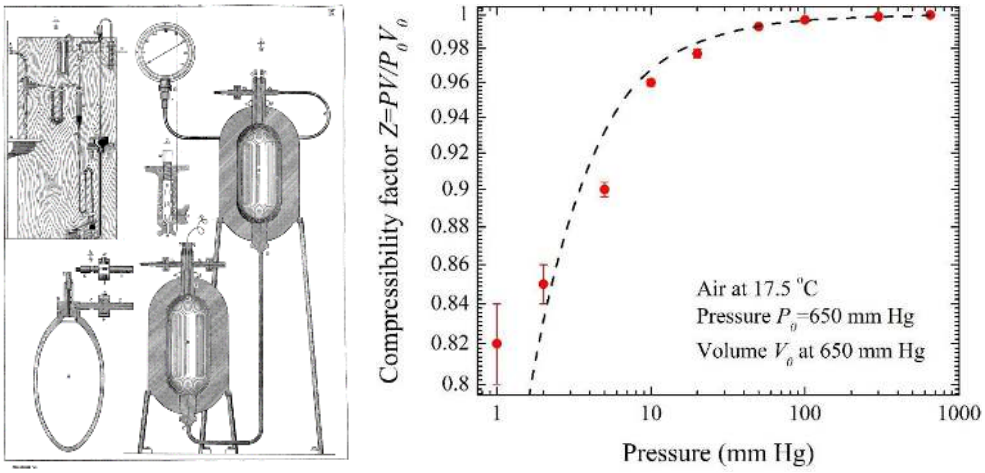


Рис. 5. Эксперименты Менделеева по исследованию разреженных газов: слева лабораторное оборудование; справа предварительные данные об отклонениях от закона Бойля — Мариотта при низком давлении воздуха, красные точки — измерения в диапазоне от 650 до 1 мм рт. ст. [5], пунктирная линия — ожидаемые результаты при допущении возможного занижения давления на 0,3 мм рт. ст.

Fig. 5. Mendeleev's experimental studies of rarified gases. Left: laboratory equipment; right: preliminary data on deviations from the Boyle — Mariotte law at low air pressure; red points: measurements in the range of 650 to 1 mm Hg [5]; dashed line: expected results under the assumption of possible pressure underestimate of 0.3 mm Hg

дальнейшую поддержку многих, в том числе В. Вернадского, но в настоящее время она в целом не принимается научным сообществом, которое в основном придерживается всё более сложных биогенетических моделей образования залежей углеводородов в природе.

Менделеев и Италия

Связи Д. И. Менделеева с Италией были очень широкими. Он высоко оценил основополагающие работы Амедео Авогадро (1776-1856) и Станислао Канниццаро (1826-1910), первого — за его вклад в молекулярную теорию (число Авогадро), а второго — за его влиятельную роль в обсуждениях атомной массы на конгрессе в Карлсруэ в 1860 г., о котором Меделеев часто упоминал как о главном событии, приведшем его к открытию взаимосвязи между атомным весом и химическими свойствами.

Дмитрий Иванович обожал Италию, ее людей и культуру. Он побывал там по крайней мере шесть раз — в 1860 (дважды), 1864, 1879, 1881 и 1904 гг. и посетил Рим, Геную, Болонью, Венецию, Палермо, Катанию, Неаполь, Аосту, Кьявенну, Менаджо, Порлеццу, Иврею, Арону, Комо, Белладжио, Турин, Новару, Бергамо, Падую, Брешию, Верону, Милан, Пизу, Флоренцию, Чивитавеккью, Альбано, Анакапри, Кастелламмаре, Сорренто, Мессину, Каникатти, Кальтаниссетту, Агридженто, Больцано и другие места (см. рис. 6, слева). 12 ноября 1860 г. Менделеев видел Джузеппе Гарибальди в Неаполе и позже в своем письме к семье и друзьям размышлял: «…Счастлива страна, которая может назвать, может производить таких людей, как Гарибальди!» Его спутником в этом путешествии осенью 1860 г. был Александр Порфирьевич Бородин (1833-1887) — его близкий друг, однокурсник-химик из Гейдельберга (см. рис. 6, в центре) и будущий профессор химии и всемирно известный композитор, автор оперы «Князь Игорь» и других жемчужин мировой музыкальной культуры.

Начало поездки Бородина и Менделеева в Южную Италию сопровождалось небольшим любопытным инцидентом, историю которого со слов Менделеева записал его студент-химик и будущий академик Вячеслав Тищенко (1861-1941): «…В этот год еще продолжалась освободительная борьба Италии с Австрией за независимость Италии. На австрийской границе, около Вероны, производилась строгая проверка проезжающих. Когда подошла очередь до Менделеева и Бородина, их задержали и направили в отдельную комнату. ...Почему, зачем, мы ничего не понимали. Меня оставили в покое, а Бородину велели раздеться донага. Не предвидя ничего серьезного, А. П. быстро разделся, да еще ногами этакое антраша выкинул. Его подробно осмотрели, и потом нас отпустили. Сели мы в вагон. Только что переехали границу, как ехавшие с нами итальянцы бросились к нам, жали руки, за что-то благодарили, стали угощать вином. Мы сперва не понимали, в чем дело. Оказалось, что Бородин был похож на одного политического деятеля итальянца, за которым усиленно гонялись австрияки. А. П. отвлек их внимание, и этот итальянец, ехавший в том же вагоне, благополучно избег ареста» [9]. Имя итальянского революционера еще точно не установлено, хотя некоторые

предполагают, что это мог быть либо Нино Биксио (1821-1873) [26], сподвижник Гарибальди, одна из самых выдающихся фигур в объединении Италии (см. рис. 6, справа), либо другие, более молодые (ближе к возрасту Бородина) военачальники, такие как Джузеппе Миссори (1829-1911) и Джованни Кирасси (1832-1826) [29].

Другая поездка Менделеева в Италию в 1881 г. произошла во время его глубокого «кризиса среднего возраста». Во-первых, в ноябре 1880 г., несмотря на то, что он уже был достаточно известным ученым как в России, так и за рубежом, его не избрали в Петербургскую Академию наук. Основными причинами этого считаются ожесточенные фракционные бои в относительно отсталой Академии, тяжелый, неуступчивый характер Менделеева, который создал ему множество недругов, и «пограничный характер» его периодического закона на стыке физики и химии (академическая позиция была открыта по кафедре «технологии и химии, приспособленной к искусствам и ремеслам»). Во-вторых, распался его почти двадцатилетний брак с Феозвой Лещевой (1828-1905), несмотря на безмерную любовь Менделеева к своим детям — сыну Владимиру (1865-1898), который позже стал морским офицером, и дочери Ольге (1868-1950), в будущем известному советскому специалисту по породистым охотничьим собакам. 46-летний профессор Менделеев страстно влюбился в красивую 20-летнюю студентку Императорской Академии художеств Анну Попову (1860-1942). Попытки остановить разгоравшийся роман включали долгую борьбу за согласие Феозвы и получение церковного разрешения на развод, а также отправку Анны в Рим, но всё было тщетно. В итоге Дмитрий Иванович добился перерыва в преподавании в Петербургском университете, получил разрешение на развод и выезд из страны в Италию. В марте 1881 г. он объединился с Анной в Риме, откуда они отправились в свадебное путешествие в Неаполь, Капри и Флоренцию, а затем в Париж и Испанию. Менделеевы вернулись в Россию в мае 1881 г., где наконец состоялось их церковное венчание в апреле следующего года (что прошло несколько скандально, поскольку православный

Рис. 6. Слева маршрут путешествия Менделеева и Бородина в Италию в 1860 г.; в центре Александр Порфирьевич Бородин (1833-1887); справа Нино Биксио (1821-1873)

Fig. 6. Top: the 1860 route of Mendeleev and Borodin in Italy; left: Alexander Porfierievich Borodin (1833-1887); right: Nino Bixio (1821-1873)

священник согласился обвенчать их вопреки условиям развода, установленным церковными властями, позволяющими Менделееву повторно жениться только по прошествии 7 лет, но священник был очень щедро подкуплен женихом — за что был впоследствии отстранен от священства). У пары родилось четверо детей: дочь Любовь (1881-1939) — будущая актриса и жена одного из самых известных русских поэтов Александра Блока (1880-1921), сын Иван (1883-1936), ставший физиком-экспериментатором и философом, и близнецы Мария (1886-1952), будущий директор Музея-архива Менделеева в Ленинграде (Санкт-Петербурге), и Василий (1886-1922), военный инженер танков и самолетов. В наши дни прямых потомков Д. И. Менделеева не осталось.

Рецепт гения: открытия, признания и мифы

Менделеев — одно из наиболее упоминаемых имен в русской науке, наряду с «отцом русской науки», энциклопедистом и натурфилософом Михаилом Васильевичем Ломоносовым (1711-1765) [15], нобелевскими лауреатами Иваном Петровичем Павловым (1849-1936), пионером в понимании физиологических рефлекторных механизмов, и физиком-теоретиком Львом Давидовичем Ландау (1908-1968), а также биогеохимиком Владимиром Ивановичем Вернадским (1863-1943) — см. подробный анализ на рис. 1 из [13]. Среди них Менделеева чаще всего сравнивают с Ломоносовым: оба «вышли из народа» и происходили из отдаленных уголков Северо-Востока России, оба получили широкое признание в области физической химии и обладали вспыльчивым характером, оба отличались широтой интересов и неустанно работали в сфере просвещения, создав новые университеты в Москве и Томске соответственно, привлекались к решению другие важных для России вопросов. Даже некоторые из их конкретных научных интересов были идентичны: они оба исследовали растворы, изучали физику жидкостей в капиллярах, работали над технологией и физикой стекол, над экономическими проблемами, и оба мечтали и планировали экспедиции в Арктику. В конце жизни и Ломоносов, и Менделеев пытались лучше понять суть притяжения и построили большие маятники для детальных измерений силы тяжести.

Как отмечалось выше, Менделеев не был избран в полноправные члены Петербургской Академии, больше не добивался этой чести и оставался ее членом-корреспондентом. Майкл Гордин считает скандал, связанный с невыбором, одним из самых главных событий в жизни Менделеева, которые привели к настоящей общенациональной славе в России [18]. В течение нескольких лет после неизбрания российское передовое общество, газеты и журналы комментировали столь очевидную несправедливость, обвиняя иностранцев (многие члены Академии с правом голоса, все — граждане России, имели немецкие фамилии), и эффектно апеллировали к националистическим чувствам. Это, а также вовлеченность Менделеева в широкий спектр российских экономических, научных и государственных дел сделали его чрезвычайно популярным, и эта популярность еще больше возросла в советские времена, когда Менделеева по праву считали «блестящим

сыном великой нации». В настоящее время имя ученого носят город, лунный кратер и вулкан на одном из Курильских островов, многочисленные улицы и площади, международный аэропорт в Тюмени, Русское химическое общество, Российский химико-технологический университет в Москве и четыре других вуза. Более двух десятков памятников и барельефов Менделееву воздвигнуты в России, Украине, Азербайджане. В 1962 г. Академия наук СССР (ныне — Российская академия наук) учредила Золотую медаль Д. И. Менделеева за выдающиеся научные работы в области химической науки и техники.

Список научных наград Менделеева включает членство в 121 академиях и обществах, в том числе 50 иностранных. Дмитрий Иванович был почетным доктором в Accademia delle Scienze di Torino (1893 г.), иностранным членом Accademia dei Lincei (1893 г.) и Società Italiana di Scienze Naturali (1901), иностранным членом-корреспондентом L'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna (1901) — см. рис. 7, и был отмечен медалью Дэви 1882 г., медалью

Academia Scientiarum
Instituti Bononiensis.

Quod ad graviorum disciplinarum incrementum, et hujusce Civitatis dignitatem pertinebat, Societate nostra Aloysio Ferdinando Marsilio Com. auctore a Senatu Bononiensi in has Aedes recepta, et a Benedicto XIIII. Pont. Max. ad majus communis Patriae decus honoribus, praemiisque aucta, quae scientiarum studiis provehendis impensam operam navaret, ad publicam utilitatem, et ad Societatis ejusdem ornamentum conferre duximus, si Te quoque Demetric Mendeleeff Vir Praeclarissime, cujus ingenium nobis perspectum, et doctrina longe probata est, in numerum Sodalium easdem disciplinas nobiscum Communicantium cooptaremus. Itaque litteras hasce cooptationis tuae testes libenti animo ad Te mittimus, Tibique Coetus nostri splendorem curae vehementer fore non dubitamus.

Dat. Bononiae ex Aedibus Instituti Die 27 Mensis Januarii Anni 1901

Caesar Tanfani Praeses.
Hieronymus Cecconi Ab Actis.

Рис. 7. Диплом Менделеева об избрании в иностранные члены-корреспонденты L'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna (1901 г.) из собрания Музея-архива Д. И. Менделеева в Санкт-Петербургском университете

Fig. 7. Mendeleev's diploma of foreign corresponding membership in Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna (1901) from the collection of the D. I. Mendeleev Museum and Archives in St. Petersburg University

Фарадея 1889 г. и медалью Копли 1905 г. от британских ученых обществ [1]. В 1905 г. Менделеев был избран членом Шведской королевской академии наук и номинирован на Нобелевскую премию по химии. Хотя в том году он не получил ее из-за путаницы по поводу того, насколько недавним должно быть признанное открытие (Периодической системе к тому времени было почти полвека), в следующем году Нобелевский комитет по химии проголосовал 4:1 и рекомендовал Шведской академии присудить ему премию, но, к большому удивлению, он ее не получил. Подробности этой вопиющей несправедливости можно найти в книге Ульфа Лагерквиста [20], где показано, как яростная оппозиция одинокого критика Питера Класона, выдвигавшего другого кандидата, привела к необычному запросу на расширение Комитета по химии на четырех дополнительных членов и новому голосованию — теперь уже 4:5 против кандидатуры Менделеева. Некоторые считают, что такое развитие событий произошло благодаря закулисному вмешательству шведского химика Сванте Аррениуса, получившего Нобелевскую премию в 1903 г. за теорию электролитической диссоциации, которую Менделеев долгое время открыто критиковал. Две дополнительных номинации в следующем году были напрасными, поскольку Дмитрий Иванович умер от пневмонии 20 января 1907 г.

Д. И. Менделеев активно выступал за привлечение женщин в научные и экспериментальные лаборатории. После его смерти одна из его самых талантливых помощников по лаборатории, Ольга Озаровская, стала известным фольклористом, ведущим театральным теоретиком и критиком страны и оставила очень яркие воспоминания о годах своего ассистентства у Менделеева [10]. Неустанная кампания Менделеева против «медиумических явлений» и «духов» получила широкую огласку в обществе и, в частности, способствовала установлению авторитета науки в России XIX в. Этому также способствовала его пожизненная приверженность написанию многочисленных научно-популярных статей для журналов и энциклопедий, таких как, например, Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона и серия публикаций под названием «Библиотека промышленных знаний».

Как характерно для гениев, имя Менделеева связано с широко распространенными мифами. В одном из них утверждается, что таблица Менделеева пришла к нему во сне (см. рис. 8). Единственным документальным подтверждением этого являются воспоминания друга Менделеева, геолога и члена-корреспондента Петербургской академии, профессора Александра Александровича Иностранцева (1843-1919). Он писал: «...[однажды] я, воспользовавшись благодушным настроением Д. И. [Дмитрия Ивановича], обратился к нему с вопросом, что натолкнуло его на знаменитое открытие. На это он сообщил, что уже давно подозревал известную связь элементов между собою и что долго и много думал об этом. В течение последних месяцев Д. И. перепортил массу бумаги с целью отыскать в виде таблицы эту закономерность, но ничего не удавалось. В последнее время он усиленно снова занялся этим вопросом и, по его рассказу, был даже близок к этому, но окончательно всё-таки ничего не выходило. Перед самым открытием закона Д. И. провозился

над искомою таблицею целую ночь до утра, но в ночь ничего не вышло, он с досады бросил работу и, томимый желанием выспаться, тут же в рабочем кабинете, не раздеваясь, повалился на диван и крепко заснул. Во сне он увидел вполне ясно ту таблицу, которая позднее была напечатана. Даже во сне радость его была настолько сильна, что он сейчас же проснулся и быстро набросал эту таблицу на первом клочке бумаги, валявшемся у него на конторке. Я это сообщение Д. И. привожу здесь потому, что вижу в нем один из превосходных примеров психического воздействия усиленной работы мозга на ум человека» [3]. Однако есть два предостережения: во-первых, воспоминания А. А. Иностранцева была написаны после смерти Д. И. Менделеева, а во-вторых, сам Менделеев никогда не рассказывал подобную историю и обычно говорил о своей долгой и упорной работе по созданию Периодической системы, причем первоначальное рассмотрение проблемы началось задолго до открытия в его кандидатской диссертации 1855 г. (по окончании Государственного педагогического института) «Изоморфизм в связи с другими отношениями кристаллической формы к составу» и его магистерской диссертации по удельным объемам, в которых изучалась взаимосвязь между различными свойствами химических веществ.

Рис. 8. Открытие памятника «Сон Менделеева» 5 октября 2017 г. в районе Западное Мурино Санкт-Петербурга

Fig. 8. “Mendeleev’s Dream” monument inauguration on 5 October 2017 in St. Petersburg’s Murino district

Миф о том, что Менделеев изобрел русскую водку (см. рис. 9), весьма своеобразен, поскольку сам Дмитрий Иванович не пил водку из опасения стать алкоголиком, как один из его старших братьев, и предпочитал красное грузинское вино. Тем не менее такой миф получил широкое распространение в начале XX в., когда многие в России хотели придать легитимность любому элементу национальной культуры. Другие, признавая тот факт, что водка существовала за несколько сотен лет до Менделеева, увековечили легенду о том, что знаменитый химик установил стандарт водки как смеси 40% этанола и 60% воды. Этот миф проник в телешоу, литературу и даже научные книги, такие как «История водки» Уильяма Похлёбкина 1991 г. Он также распространился за границу вместе с самим напитком, и в настоящее время в винных магазинах по всему миру легко найти бутылки с красочными этикетками, которые гласят: «В 1894 году Дмитрий Менделеев, величайший ученый в России, получил указ об установлении Императорского стандарта качества русской водки, и родился „Русский Стандарт“». «Русский стандарт» — это, конечно, бренд водки, но описание бутылки утверждает, что в этом стандарте есть что-то научное. Как вершина этого популярного мифа, 31 января — день представления и защиты Менделеевым своей докторской диссертации 1865 г. под названием «Рассуждение о соединении спирта с водою» — широко отмечается многими россиянами как официальный «день рождения водки» (см. рис. 9, справа).

Рис. 9. Иллюстрации к популярному мифу о Менделееве как отце русской водки — карикатуры Владимира Молчанова (слева) и открытка «С Днем Рождения, водка!» из газеты «Крымский телеграф» № 215 от 18 января 2013 г. (справа)

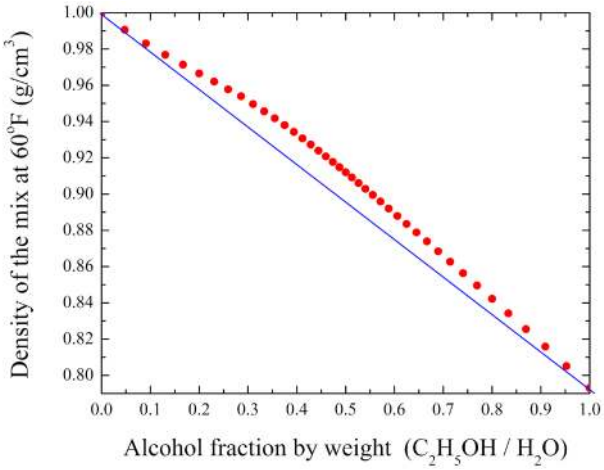
Fig. 9. Illustrations to the popular myth of Mendeleev being the father of Russian vodka: caricature by Vladimir Moltchanov (left) and “Happy Birthday, Vodka!” greeting card from the newspaper “Crimean Telegraph” No. 215 of 18 January 2013 (right)

В этом мифе, как и в водке, есть две части истины и три части «воды». Действительно, в своей диссертации Менделеев стремился узнать о взаимодействии молекул, выполнив измерения плотности $\rho(C)$ и теплового расширения смеси этанола и воды при различных концентрациях C с точностью порядка 0,01%. Его выдающийся талант экспериментатора и изобретательные измерения привели к выводу, что растворы являются продуктом растворенных веществ и растворителей, соединяющихся в относительно стабильные химические соединения. Он предположил, что точки, в которых вторая производная $d^2\rho(C)/dC^2$ меняет свое значение, указывают на стабильные молекулярные ассоциации. Например, для этилового спирта в воде он обнаружил три таких стабильных соединения — одно, когда одна молекула спирта C_2H_5OH соединяется с тремя молекулами воды H_2O при C = 46,0% по весу или 53% по объему (что соответствует сокращению объема смеси примерно на 2%); другое — 1:12 при C = 17,56%; и третье при соотношении 3:1 при C = 88,46% (см. рис. 10, сверху). Нигде в своей диссертации он не утверждал, что водка с содержанием алкоголя 40% по объему (C = 34% по весу) является оптимальным вариантом.

Это правда, что Менделеев, будучи убежденным сторонником поддерживаемого государством промышленного развития и научным экспертом в области ректификации алкоголя, входил в состав правительственного комитета по введению эффективного акцизного налога на алкоголь и другие потребительские товары. К началу 1900-х гг. налоги, которые он помогал вводить, приносили около четверти доходов страны. Но, опять же, работа Менделеева с комитетом не касалась лучшего способа смешивания водки.

Примечательно, что смесь спирта и воды 40:60% или около этого демонстрирует несколько замечательных свойств. При комнатной температуре эта смесь в три раза более вязкая, чем любой из входящих в нее компонентов. А водка из морозильной камеры в 2,5 раза более вязкая, чем при комнатной температуре, поэтому знатоки настоятельно советуют пить водку очень холодной, чтобы в полной мере насладиться ее мягкостью. Кроме того, бутылка водки, оставленная в морозильной камере, не лопнет: спирт действует как антифриз, позволяя смеси оставаться жидкой при температуре примерно −25 °C. Водка является горючим раствором, при комнатной температуре ее пары могут воспламениться — явление, которое использовалось в качестве простой проверки содержания алкоголя с XV в., чтобы не дать трактирщикам разбавлять водку. Аналогичный стандарт для водки, установленный в России в начале XIX в., требовал, чтобы после сжигания оставалось не более половины первоначального объема жидкости, что отражено в его тогдашнем общепринятом названии «полугар» (полусгоревший).

Другой популярный миф гласит, что вы можете налить водку в открытый стакан или стопку, оставить ее при комнатной температуре и наслаждаться ею через несколько дней, потому что якобы спирт и вода испаряются с одинаковой скоростью. У водки такого свойства на самом деле нет. Проведя простые домашние измерения с помощью оптического спиртометра, мы обнаружили, что примерно через два дня выдержки при комнатной температуре в нормальных условиях крепость водки в стакане снижается с 40 до 30% (см. рис. 10, снизу) [12].



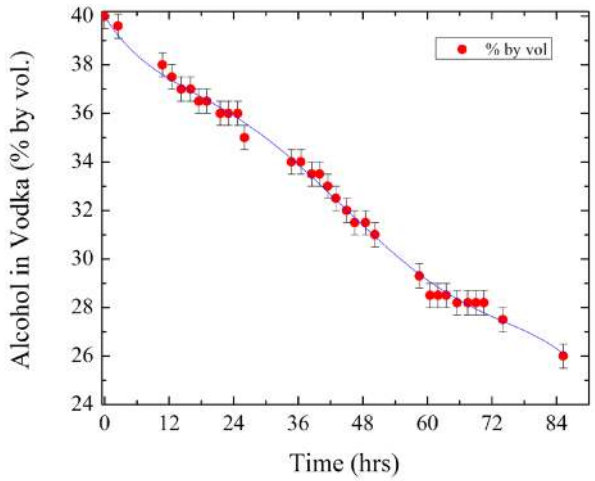


Рис. 10. Физические свойства раствора этилового спирта в воде: сверху — в своей докторской диссертации 1865 г. «Рассуждение о соединениях спирта и воды» Менделеев тщательно изучил физические свойства раствора, включая явление сокращения объема (красные точки — экспериментальные данные, прямая синяя линия — ожидаемая плотность раствора при отсутствии молекулярных взаимодействий); снизу — простой эксперимент с рюмкой водки, оставленной нетронутой, показывает, что спирт и вода в водке испаряются с неодинаковой скоростью [12]

Fig. 10. Physical properties of the ethyl alcohol solution in water: Left: in his 1865 doctoral dissertation “A discourse on the compounds of alcohol and water”, Mendeleev meticulously studied the physical properties of the solution, including the volume contraction phenomenon; red dots are the data, straight blue line indicates expectations in the absence of molecular interactions. Right: a simple experiment with a shot glass of vodka left untouched demonstrates that alcohol and water in vodka do not evaporate at the same rate [12]

В заключение можно сказать, что главное открытие Д. И. Менделеева является одним из важнейших научных достижений, сформировавших наше понимание Вселенной. Суммируя и усредняя различные обзоры энциклопедий и истории науки, видно, что оно обычно входит в «десятку» самых значимых за пять веков, таких как 1) гелиоцентрическая система Коперника; 2) натурфилософия и телескоп Галилея; 3) гравитация Ньютона и исчисление бесконечно малых (с Лейбницем); 4) принципы химии Лавуазье; 5) дарвиновская эволюция; 6) Периодическая система Менделеева; 7) теория относительности Эйнштейна; 8) квантовая механика и физика Планка, Бора, Гейзенберга и др.; 9) механизм генетического кодирования Уотсона и Крика; 10) компьютеры и Интернет. Можно предвидеть дальнейшие революционные достижения и в этом столетии — от искусственных форм жизни и сознания до телепортации и связи с внеземным интеллектом, но, согласно аргументу Ричарда Готта о «долговечности наблюдаемых явлений» [19], можно с уверенностью предположить, что имя Менделеева будет сиять еще как минимум 150 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добротин Р. Б. Летопись жизни и деятельности Д. И. Менделеева / Р. Б. Добротин, Н. Г. Каприло, Л. С. Кедрова, Д. Н. Трифонов. Л.: Наука, 1984. 517 с.
2. Дружинин П. А. Загадка «Таблицы Менделеева»: История публикации открытия Д. И. Менделеевым Периодического закона / П. А. Дружинин. М.: Новое литературное обозрение, 2019. 168 с.
3. Иностранцев А. А. Воспоминания друзей и учеников Д. И. Менделеева / А. А. Иностранцев // Д. И. Менделеев в воспоминаниях современников / сост. А. А. Макареня, И. Н. Филимонова, Н. Г. Карпило. Изд. 2-е, перераб. и дополн. М.: Атомиздат, 1973. С. 26-33.
4. Капица П. Л. Ломоносов и мировая наука / П. Л. Капица // Успехи физических наук. 1965. Том 87. № 9. С. 155-168.
5. Менделеев Д. И. Об упругости газов / Д. И. Менделеев // Полное собрание сочинений. 1875. № 6. 551 с.
6. Менделеев Д. И. Основы химии / Д. И. Менделеев. 8 прижизненных русских изданий, СПб., 1868-1906; Principles of Chemistry / transl. G. Kamensky. 1st English ed. London; New York: Longmans, Green & Co, 1891; Principes de chimie / transl. E. Achkinasi, H. Carrion. 1st French ed. Paris: Bernard Tignol, 1895-1896; Grundlagen der chemie / transl. L. Jawein, A. Thillot, H. Carrion. 1st German ed. St. Petersburg: Carl Ricker, 1891.
7. Менделеев Д. И. Полное собрание сочинений / Д. И. Менделеев. В 25 томах. М.; Л.: АН СССР, 1934-1954.
8. Менделеев Д. И. Соотношение свойств с атомным весом элементов / Д. И. Менделеев // Журнал Русского химического общества. 1869. Том I/5. С. 60-77.
9. Младенцев М. Н. Дмитрий Иванович Менделеев, его жизнь и деятельность / М. Н. Младенцев, В. Е. Тищенко. М.: АН СССР, 1938. Том 1. 174 с.
10. Озаровская О. Э. Великий химик / О. Э. Озаровская; вступит. очерк М. М. Саранчина и ст. Б. Г. Тидемана. М.: ОГИЗ — Молодая гвардия, 1932. 111 с.

11. Товбин Ю. К. «Абсолютная температура кипения» и «критическая температура» / Ю. К. Товбин // Журнал физической химии. 2009. № 83 (10). С. 1824-1828.
12. Шильцев В. Д. Менделеев и водка: синергия науки и мифа / В. Д. Шильцев, Е. В. Шильцева // Наука из первых рук. 2019. № 3 (83). С. 80-95.
13. Шильцев В. Д. О новом издании полного собрания сочинений М. В. Ломоносова / В. Д. Шильцев // Успехи физических наук. 2013. № 183. С. 779-784.
14. Bensaude-Vincent B. Dmitri Mendeleev / B. Bensaude-Vincent // Encyclopedia Britannica. URL: https://www.britannica.com/biography/Dmitri-Mendeleev
15. Crease R. Mikhail Lomonosov (1711-1765): scientist in politically turbulent times / R. Crease, V. Shiltsev // Il Nuovo Saggiatore. 2017. Vol. 33. No. 5-6. P. 43.
16. Early Responses to the Periodic System / M. Kaji, H. Kragh, G. Palló (eds.). Oxford University Press, USA, 2015. 344 pp.
17. Element Scarcity — EuChems Periodic Table / European Chemical Society. URL: https://www.euchems.eu/euchems-periodic-table/
18. Gordin M. Well-Ordered Thing: Dmitrii Mendeleev and the Shadow of the Periodic Table / M. Gordin. New York: Basic Books, 2004. 384 pp.
19. Gott K. R. Implications of the Copernican Principle for our future prospects / K. R. Gott // Nature. 1993. № 363 (6427). P. 315.
20. Lagerkvist U. The Periodic Table and a Missed Nobel Prize / U. Lagerkvist. Singapore: World Scientific, 2012. 122 pp.
21. Mendeleef D. Mendeleef's researches on Mariotte's Law / D. Mendeleef // Nature. 1877. No. 15. Pp. 498-500. DOI: 10.1038/015498a0
22. Mendeleeff D. Versuche eines Systems der Elemente nach ihren Atomgewichten und chemischen Functionen / D. Mendeleeff // Journal für Praktische Chemie. 1869. No. 106. 251 pp.
23. Mendeleev D. L'Origine du pétrole / D. Mendeleev // Revue Scientifique. 1877. Vol. VIII. No. 18. 409-416.
24. Science. 01 February 2019. Vol. 363. Iss. 6426. Periodic Table Turns 150: Special Issue. URL: https://science.sciencemag.org/content/363/6426
25. Shiltsev V. Celebrating the UNESCO International Year of the Periodic Table / V. Shiltsev // APS Physics. 03 December 2019. URL: https://www.aps.org/publications/apsnews/updates/iypt.cfm
26. Staglieno M. Nino Bixio / M. Staglieno. Milan: Rizzoli, 1973. 336 pp.
27. The International Year of the Periodic Table Collection // Nature. URL: https://www.nature.com/collections/jihfiafacg
28. Transuranium Elements and the Physical Review // Physical Review Letters. URL: https://journals.aps.org/prl/transuranium-elements-and-the-physical-review
29. Trevelyan G. Garibaldi and the Making of Italy: June-November, 1860 / G. Trevelyan. London: Longmans and Green, 1919. 390 pp.
30. UN General Assembly Resolution 72/228 (20 December 2017) / United Nations General Assembly. URL: https://undocs.org/A/RES/72/228; https://iypt2019.org/
31. Villani G. Mendeleev — La Tavola Periodica degli Elementi / G. Villani; Grandangolo Scienza — Corriere della Sera. 2017. 250 pp.

Vladimir D. SHILTSEV[1]
Elizaveta V. SHILTSEVA[2]

DMITRII IVANOVICH MENDELEEV (1834-1907): THE PERIODIC TABLE AND BEYOND

[1] Fermi National Accelerator Laboratory (Batavia, IL, USA)
shiltsev@fnal.gov

[2] University of Illinois in Urbana-Champaign (Champaign, IL, USA)
eshilt2@illinois.edu

Abstract

The periodic law of chemical elements is one of the most significant achievements in science. It was discovered by Dmitrii Mendeleev in 1869, and 2019, the year of its 150th anniversary, was proclaimed the "International Year of the Periodic Table of Chemical Elements (IYPT2019)" by the United Nations General Assembly and UNESCO. In this article we briefly outline Mendeleev's path to the discovery and present a broader perspective of his views and research, including less known accomplishments such as theory and investigations of solutions, studies of gases, and the discovery of supercritical fluids. We also find very instructive some "delusions of genius", his path to fame, and consider several myths, broadly circulating in media and widely accepted by the public.

REFERENCES

1. Dobrotin R., Karpilo N., Kerova L., Trifonov D. 1984. Chronicle of the Life and Works of D. I. Mendeleev. Leningrad: Nauka. 517 pp. [In Russian]
2. Druzhinin P. 2019. The Riddle of the Periodic Table. The History of the Publication of the D. I. Mendeleev's Discovery of the Periodic Law. Moscow: Novoe Literaturnoe Obozrenie. 168 pp. [In Russian]
3. Inostrantsev A. 1973. "Recollections of D. I. Mendeleev's friends and followers". In: Makarenya A. et al. (eds.). D. I. Mendeleev in Memoirs of Conteporaries, pp. 26-33. Moscow: Atomizdat. [In Russian]
4. Kapitza P. 1966. "Lomonosov and World Science". Uspekhi fisicheskikh nauk, vol. 87, no. 9, pp. 155-168. [In Russian]

Originally published as: Shiltsev V. D., Shiltseva E. V. 2020. "Dmitrii Ivanovich Mendeleev (1834-1907): The Periodic Table and Beyond". Il Nuovo Saggiatore, vol. 36, no. 3-4, pp. 51-64.

© University of Tyumen

5. Mendeleev D. I. 1875. "On Elasticity of Gases". In: Mendeleev D. I. Complete Works. Vol. 6. 551 pp. [In Russian]
6. Mendeleev D. I. 1868-1906. Osnovi Khimii [Principles of Chemistry]. 8 Russian editions. St. Petersburg; 1891. Principles of Chemistry. 1st English edition. Translation by G. Kamensky. Longmans, Green & Co, London and New York; 1895-1896. Principes de chimie. 1st French translation by E. Achkinasi, H. Carrion. Paris: Bernard Tignol; 1891. Grundlagen der chemie. 1st German translation by L. Jawein, A. Thillot, H. Carrion. St. Petersburg: Carl Ricker. [In Russian]
7. Mendeleev D. I. 1934-1954. Complete Works in 25 vols. Moscow; Leningrad: USSR Academy of Sciences. [In Russian]
8. Mendeleev I. 1869. "Correlation of Properties of Elements with Atomic Weight". Journal of the Russian Chemical Society, vol. I/5, pp.60-77. [In Russian]
9. Mladentsev M., Tischenko V. 1938. Dmitrii Ivanovich Mendeleev. Vol. 1. Moscow: USSR Academy of Sciences. 174 pp. [In Russian]
10. Ozarovskaya O. 1932. The Great Chemist. Foreword by M. M. Saranchin and article by B. G. Tideman. Moscow; Leningrad: Molodaya Gvardiya. 111 pp. [In Russian]
11. Tovbin Y., 2009. "'Absolute Boiling Temperature' and 'Critical Temperature'". Russian Journal of Physical Chemistry, no. 83 (10), pp. 1824-1828. [In Russian]
12. Shiltsev V., Shiltseva E. 2019. "Mendeleev and Vodka: Synergy of Science and Myth". Science First Hands, no. 3 (83), pp. 80-95. [In Russian]
13. Shiltsev V. 2013. "On a New Edition of the Collected Works of M. V. Lomonosov". Uspekhi fisicheskikh nauk, no. 183, pp. 779-784. [In Russian]
14. Bensaude-Vincent B. "Dmitri Mendeleev". Encyclopedia Britannica. https://www.britannica.com/biography/Dmitri-Mendeleev
15. Crease R., Shiltsev V. 2017. "Mikhail Lomonosov (1711-1765): Scientist in Politically Turbulent Times". Il Nuovo Saggiatore, vol. 33, no. 5-6, p. 43.
16. Kaji M., Kragh H., Palló G. (eds.). 2015. Early Responses to the Periodic System. Oxford University Press, USA. 344 pp.
17. European Chemical Society. "Element Scarcity — EuChems Periodic Table". https://www.euchems.eu/euchems-periodic-table/
18. Gordin M., 2004. Well Ordered Thing: Dmitrii Mendeleev and the Shadow of the Periodic Table. New York: Basic Books. 384 pp.
19. Gott K. R. 1993. "Implications of the Copernican Principle for Our Future Prospects". Nature, no. 363 (6427), p. 315.
20. Lagerkvist U. 2012. The Periodic Table and a Missed Nobel Prize. Singapore: World Scientific. 122 pp.
21. Mendeleef D. 1877. "Mendeleef's Researches on Mariotte's Law". Nature, no. 15, pp. 498-500.
22. Mendeleeff D. 1869. "Versuche eines Systems der Elemente nach ihren Atomgewichten und chemischen Functionen". Journal für Praktische Chemie, no. 106. 251 pp.
23. Mendeleev D. I. 1877. "L'Origine du pétrole". Revue Scientifique, 2e Serie, vol. VIII, no. 18, pp. 409-416.
24. Science. 2019. "Periodic Table Turns 150: Special Issue". Science, 1 February, vol. 363, no. 6426. https://science.sciencemag.org/content/363/6426
25. Shiltsev V. 2019. "Celebrating the UNESCO International Year of the Periodic Table". APS Physics, 3 December. https://www.aps.org/publications/apsnews/updates/iypt.cfm

26. Staglieno M. 1973. Nino Bixio. Milan: Rizzoli. 336 pp.
27. Nature. “The International Year of the Periodic Table Collection”. https://www.nature.com/collections/jihfiafacg
28. Physical Review Letters. “Transuranium Elements and the Physical Review”. https://journals.aps.org/prl/transuranium-elements-and-the-physical-review
29. Trevelyan G. 1919. Garibaldi and the Making of Italy: June-November, 1860. London: Longmans and Green. 390 pp.
30. UN General Assembly Resolution 72/228 of 20 December 2017. https://undocs.org/A/RES/72/228; https://iypt2019.org/
31. Villani G. 2017. Mendeleev — La Tavola Periodica degli Elementi. Grandangolo Scienza — Corriere della Sera. 250 pp.