

11. Гаврилов М. А. Основы автоматки и телемеханики. Вып. I. М.: ВСНТО, 1937.
12. Попов В. К., Васильев Д. В. Основы автоматки и электропривода. М.—Л.: ГОНТИ НКТП СССР, 1938.
13. Вестник электропромышленности, 1936, № 1, с. 7—15, и № 2, с. 12—14.
14. Шипанов Г. В. Гирскопические проблемы слепого полета. М.: Оборонгиз, 1939.
15. Кутти А. К. О графическом изображении рабочего режима схем.—В сб.: Тр. Ленингр. эксперим. электротехн. лаб., 1928, вып. 8, с. 11—18.
16. Цимбалистый М. Г. К вопросу о рациональном составлении релейных схем.—Там же, с. 19—21.
17. Резолюции Первой всесоюзной конференции по автоматке, телемеханике и диспетчеризации. Москва, 16—22 мая 1935 г. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1935.

«ДЕНСИМЕТРИЯ» АЛ-БИРУНИ

Б. А. РОЗЕНФЕЛЬД

В перечне трудов Абу-р-Райхана ал-Бируни (973—1048), который он приводит в дополнение к составленному им списку трудов Абу-Бакра ар-Рази, под № 63 указана «Книга об отношениях, которые имеются между металлами и драгоценными камнями по объему» (Макала фи нисаб аллати байна ал-филиззат ва-л-джавахир фи-л-хаджм) в 30 листах [1, с. 37].

Европейцы впервые узнали об этом трактате из статьи Ж. Ж. Клемана-Мюлле «Исследования по естественной истории и физике у арабов. Удельный вес различных минеральных субстанций, полученный по Абу-р-Райхану ал-Бируни. Извлечение из А'ин-и Акбари», опубликованной в 1858 г. [2]. В этой статье был приведен отрывок из трактата «Установления Акбара» (А'ин-и Акбари), написанного Абу-л-Фазлом Аллами (1551—1602), приближенным могольского императора Индии Акбара (1556—1605). В отрывке даны таблицы весов нескольких металлов и драгоценных камней, равных по объему 100 мискалям¹ золота или голубого яхонта, весов 100 мискалей этих металлов и драгоценных камней, погруженных в воду, и весов воды, вытесненной этими 100 мискалями.

В 1860 г. русский востоковед Н. В. Ханьков опубликовал арабский текст и английский перевод нескольких отрывков из книги Абдар-Рахмана ал-Хазини (XII в.) «Книга весов мудрости» (Китаб мизан ал-хикма), содержащей часть текста трактата ал-Бируни, и в частности таблицы, приведенные Аллами [3, с. 102—103; 121—128].

В 1912 г. ливанский ученый Луис Шейхо издал каталог арабских рукописей, хранящихся в бейрутском университете Св. Иосифа. Под № 223 в нем указана фотокопия рукописи трактата ал-Бируни «Книга об отношениях...», оригинал которой находился в бейрутской Греко-православной школе. «Книга весов мудрости» ал-Хазини была опубликована по-арабски в Хайдарабаде в 1940 г. (выдержки из трактата ал-Бируни) [4, с. 55—70]. На русский язык эти выдержки были переведены А. М. Белецкий, поместившим их в виде приложения к переводу книги ал-Бируни «Минералогия» [5, с. 249—265]. Бейрутская рукопись впоследствии считалась пропавшей [6, с. 121], однако недавно историк науки Э. С. Кеннеди прислал нам фотокопию этой рукописи, которая опубликована на русском языке вместе с переводом М. М. Рожанской «Книги весов мудрости» ал-Хазини («Научное наследство», М., 1983, т. 6).

Последние слова бейрутской рукописи, содержащей 17 листов, указывают на ее неполноту. К тому же некоторые разделы, имеющиеся в книге ал-Хазини, отсутствуют в бейрутской рукописи. Возможно, они имелись в первоначальном тексте трактата ал-Бируни. В пользу этого предположения говорит то, что в мешхедской библиотеке имама Ризы имеется рукопись № 392/2 «Сокращение речи, упомянутой Абу-р-Райханом в его трактате об отношениях металлов и драгоценных камней по объему и весу» (Талхис калам захаруху Абу-р-Райхан фи рисала лаху фи нисаб ал-филиззат ва-л-джавахир фи-л-хаджм ва-л-вази). По-видимому, последние слова этого названия «и весу» (ва-л-вази) имелись и в первоначальном названии трактата ал-Бируни. В дальнейшем

¹ 1 мискаль равен 4464 г.

будем именовать его сокращенно, как принято исследователями творчества ал-Бируни, — «Денсиметрия» (т. е. «Измерение плотности»).

Бейрутская рукопись «Денсиметрии», как и отрывок, приведенный ал-Хазини, начинается с противопоставления двух путей «нахождения искомого при помощи сомнительной индукции», требующей «испытаний, которые делают уши глухими к призывам доказательств». Ал-Бируни предпочитает путь доказательств и высмеивает ювелиров, кузнецов и литейщиков, которые «приходят в сильнейшее смущение и растерянность из-за незнания количества металла, которое необходимо потребовать» для выполнения поковки или отливки данного размера (с. 22).

Ал-Бируни указывает, что «самая древняя из дошедших до нас книг... по этому вопросу» — это книга Менелая, и сообщает, что Менелай в своей книге приводит легенду об Архимеде, узнавшем количество золота и серебра в короне сицилийского царя Гиерона, не разрушая короны². «Эта хитрость Архимеда, — пишет ал-Бируни, — не дошла до нас по своей сущности, но то, что мы узнали, не составит ни препятствия, ни затруднения, чтобы повторить то, что сделал Архимед» (с. 24)³. Автор подчеркивает, что у арабоязычных ученых по этому вопросу «имеется лишь по одному трактату у Сида ибн Али, Юханны ибн Юсуфа, Ахмада ибн ал-Фадла ал-Бухари и Мухаммада ибн Закарии ар-Рази, но все они оставляют без рассмотрения один вопрос..., а именно — об отношении между чистым телом и каким-нибудь сплавом одинакового объема» (с. 25). Впрочем, «исключением является лишь Ахмад ибн Фадл, который в своем сочинении упоминает танбук», т. е. изложницу, форму для литья.

Далее ал-Бируни переходит к описанию исследования металлов. Он изучает их способом, указанным Ахмадом ибн Фадлом, — с помощью танбука. Ал-Бируни изготовил из железа чечевицу весом в 40 мискалей и, помещая ее в танбук, наполненный песком, получил форму, в которой отливались чечевицы того же объема из других металлов — золота, серебра, олова, меди и свинца⁴. С помощью специального приспособления, которое состояло из двух стальных плит с отверстиями и двух железных цилиндров между ними, он изготовлял проволоку из испытываемых металлов, разрубал эту проволоку и бросал полученные куски металла в «конический прибор» — сосуд, наполненный водой. Вода, вытесненная металлом, выливалась по специальной трубке в чашу весов и взвешивалась (описание этого прибора имеется у ал-Хазини и часто упоминается в литературе)⁵. Вслед за описанием операций, предшествующих опытам, ал-Бируни приводит результаты исследования шести металлов и латуни: 1) веса этих металлов, заполняющих ту же форму, что и 40 мискалей железа; 2) веса этих металлов, имеющих объем 100 мискалей золота; 3) результаты исследования тех же шести металлов, а также ртути, латуни и бронзы с помощью конического прибора. Там же приводятся таблицы весов воды, вытесненной 100 мискалями металла. В бейрутской рукописи имеется еще таблица тел «по обратному подсчету», в которой этот вес подсчитан по таблице весов вытесненной воды.

Важное место в бейрутской рукописи занимает раздел «Упоминание о полученных нами отношениях металлов друг к другу». Название и содержание его перекликаются с названием самого трактата, где приведены веса воды, вытесненной 100 мискалями металла в тасуджах⁶, сокращенных на общий множитель с числом тасуджей металла

² Это введение к книге Менелая, не дошедшей до нас, было воспроизведено в начале книги ал-Хазини.

³ Ал-Бируни приводит также название книги Менелая — «О том, что называется при определении разрежения и плотности тел», не сохранившееся в других источниках.

⁴ Этот раздел почти полностью приведен ал-Хазини, однако он выпустил строки о «харсини, упоминаемом авторами книг по химии и алхимии». Слово «харсини» (буквально «китайский металл» или «китайское железо») переводят и как «мышьяк», и как «цинк».

⁵ Описание исследования металлов при помощи конического прибора в бейрутской рукописи изложено подробнее, чем у ал-Хазини. Например, о меди в книге ал-Хазини сказано: «Я подвергал ее проверке несколько раз», а в бейрутской рукописи: «Я подвергал ее проверке 19 раз». Приведены и более подробные сведения о металлах, например о латуни: «Так как она похожа по цвету на золото, латунь называют „подобной золоту“. Это сплав меди с цинком. При обжиге ее блеск затмевается и желтизна снижается, огонь уменьшает ее до состояния меди» (с. 35).

⁶ 1 мискаль равен 24 тасуджам.

($100 \times 24 = 2400$). В нем приводится «таблица уменьшения чисел, обладающих общей мерой».

В конце раздела даны четыре таблицы: «таблица отношений более легкого к более тяжелому, если они равны по весу и желательнее найти соотношение между ними по объему», «таблица отношений более тяжелого к более легкому, если они равны по весу и желательнее найти соотношение между ними по объему», «таблица отношений более легкого к более тяжелому, если они равны по объему и желательнее найти соотношение между ними по весу», «таблица отношений более тяжелого к более легкому, если они равны по объему и желательнее найти соотношение между ними по весу». В таблицах даны отношения весов воды, вытесненной 100 мискалями металла, и отношения весов металлов, имеющих объем 100 мискалей золота (поскольку эти веса обратно пропорциональны, данные 1-й таблицы совпадают с данными 4-й, а данные 2-й таблицы — с данными 3-й таблицы). Отношения ал-Бируни записывает с помощью арабских «главных дробей» $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, ..., $\frac{1}{10}$, которые в рукописи выражены специальными словами.

Приведем две первые из этих таблиц, для удобства читателя совместив их в одну квадратную таблицу⁷, заменив словесные обозначения дробей у ал-Бируни цифровыми.

Все простые дроби, с помощью которых в этих таблицах выражены отношения ал-Бируни, могут быть записаны в виде $a + \frac{b}{60}$, где $a = 0, 1, 2, \dots$, а $b < 60$. Тот факт, что ал-Бируни вычислял свои отношения в виде «сумм главных дробей» и «главных дробей от главных дробей», т. е. произведений «главных дробей», следуя Абу-л-Вафе ал-Буджани (940—998) [7, с. 262—277], и ал-Бируни выражал отношения весов в шестидесятеричных дробях, с которыми, как астроном, был хорошо знаком: шестидесятеричная дробь округлялась до дроби с одним шестидесятеричным знаком, из которой выделялись «главные дроби» в единственном или двойственном числе.

Вторая часть бейрутской рукописи «Денсиметрии» посвящена драгоценным камням. В начале этой части ал-Бируни сравнивает драгоценные камни и драгоценные металлы. Большая часть этого начала уже известна по изложению ал-Хазини, однако в бейрутской рукописи имеются некоторые детали, пропущенные ал-Хазини, в частности рассказ ал-Бируни о его кошке, которая гонялась за золотыми динарами, хватала их зубами и тащила в свой угол. Автор подробно рассказывает о яхонте, бадахшанском лале, изумруде, хризолите, сердолике, ониксе, лазурите, горном хрустале, стекле, жемчуге и коралле⁸. Затем следуют таблицы веса воды, вытесненной драгоценными камнями, весами 100 мискалей, и весов драгоценных камней, равных по объему 100 мискалям голубого яхонта, имеющиеся у ал-Хазини, и «таблица уменьшения чисел, обладающих общей мерой», аналогичная упомянутой выше таблице для металлов.

Ал-Бируни останавливается и на свойствах воды, необходимых для исследования металлов и драгоценных камней. Он пишет, что все исследования производились им в «Джурджании Хорезма, расположенной вблизи устья реки Балха, недалеко от ее впадения в озеро»⁹ (с. 53), и подчеркивал при этом, что вода этой реки в наибольшей степени отвечает требуемым условиям.

Упомянув в работе воск, битум, солому, глину, эмаль, янтарь и древесину некоторых деревьев, из которых вытачивают формы и образцы для ювелиров и других мастеров, ал-Бируни указывает на различное отношение к драгоценностям в разных странах. Для приобретения их, пишет автор, аббасидские халифы «применяли силу „во имя ислама“ к целым странам: так появились у Аббасидов драгоценности и камни, кото-

⁷ Ал-Бируни приводит эти таблицы в виде двух треугольников, на которые квадрат делится диагональю.

⁸ Здесь также наряду с текстом, приведенным ал-Хазини, имеются детали, пропущенные им, например фрагмент об ониксе с изображением существующих или несуществующих животных, о ношении жемчужин на лбах или украшении ими ручек копий или о том, что красный коралл при извлечении из глубины имеет цвет померанца, или греческого вина «расатун».

⁹ Сейчас р. Амударья и Аральское море. «Джурджания Хорезма» (ныне Куля-Ургенч Ташаузской области Туркменской ССР) — столица Хорезма в конце X — начале XI в.

| | Золото | Ртуть | Свинец | Серебро | Бронза | Медь | Латунь | Железо | Олово |
|---------|---|--|--|--|---|---|---|--|---|
| Золото | 1 | $2 \frac{1}{3} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{10}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{10}$ | $\frac{1}{3} + \frac{1}{5}$ | $\frac{1}{3} + \frac{1}{10} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{10}$ | $\frac{1}{4} + \frac{1}{5}$ | $\frac{1}{4} + \frac{1}{5}$ | $\frac{2}{5}$ | $\frac{1}{3} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{10}$ |
| Ртуть | $2 \frac{1}{5}$ | 1 | $\frac{1}{2} + \frac{1}{3}$ | $\frac{2}{3} + \frac{1}{10}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{10} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{10}$ | $\frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \frac{1}{10}$ | $\frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \frac{1}{10}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{5}$ | $\frac{1}{3} + \frac{1}{5}$ |
| Свинец | $2 \frac{1}{3} + \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{10}$ | $1 \frac{1}{5}$ | 1 | $\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{10}$ | $\frac{2}{3} + \frac{1}{10}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{4}$ | $\frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{10}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{10} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{10}$ |
| Серебро | $1 \frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{10}$ | $1 \frac{1}{4} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{5}$ | $1 \frac{1}{10}$ | 1 | $\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{10}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{3}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{3}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{4}$ | $2 \frac{1}{3} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{10}$ |
| Бронза | $2 \frac{1}{6}$ | $1 \frac{1}{3} + \frac{1}{5}$ | $\frac{1}{4} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{10}$ | $1 \frac{1}{6}$ | 1 | $\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{10} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{10}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{5} + \frac{1}{6} + \frac{1}{10}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{10}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{3}$ |
| Медь | $2 \frac{1}{5}$ | $1 \frac{1}{2} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{5}$ | $\frac{1}{5} + \frac{1}{10}$ | $1 \frac{1}{6} + \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{10}$ | $1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{10}$ | 1 | $\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{10} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{10}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{5}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{10}$ |
| Латунь | $2 \frac{1}{6} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{10}$ | $1 \frac{1}{3} + \frac{1}{4}$ | $\frac{1}{4} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{5}$ | $1 \frac{1}{5}$ | $1 + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{10}$ | $1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{10}$ | 1 | $\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{5}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{10}$ |
| Железо | $2 \frac{1}{3} + \frac{1}{10} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{10}$ | $1 \frac{1}{2} + \frac{1}{4}$ | $\frac{1}{4} + \frac{1}{5}$ | $1 \frac{1}{5}$ | $1 \frac{1}{3} + \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{10}$ | $\frac{1}{10} + \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{10}$ | $1 \frac{1}{10}$ | 1 | $\frac{1}{2} + \frac{1}{3} + \frac{1}{10}$ |
| Олово | $2 \frac{1}{2} + \frac{1}{10} + \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{10}$ | $1 \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{10}$ | $\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{10}$ | $2 \frac{1}{5}$ | $1 \frac{1}{5}$ | $\frac{1}{6} + \frac{1}{6} \cdot \frac{1}{10}$ | $1 \frac{1}{6}$ | $1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{10}$ | 1 |

рые покоряют сердца богатых и превращают богатых в бедных из-за скупости, жадности и замены одежды неприхотливости на грех» (с. 55).

Рукопись завершается словами: «Здесь заканчивается то, что было найдено из этой книги» (с. 55). И если бейрутская рукопись неполна, то, исходя из названия трактата, можно сделать предположение: в оригинальном тексте ал-Бируни имелись таблицы отношений весов драгоценных камней при равном объеме и их объемов при равном весе, аналогичные описанным нами таблицам для металлов, а также приведенные ал-Хазини таблицы весов воды, вытесненной 100 мискалями глины, соли, агата, сандарака, янтаря, эмали, битума, воска, слоновой кости, перламутра и древесины эбенового и сандалового дерева и ивы; таблицы веса жидкостей, заполняющих сосуд, вмещающий 50 мискалей ключевой воды, для воды — ключевой, горячей, талой, соленой, морской, сока огурца, индийской дыни и дыни мутлак, винного уксуса, масла сезамового и оливкового, меда и т. д. Кроме того, как можно предполагать, в них были и приведенные Аллами вместе с таблицами воды, вытесненной 100 мискалями металла и драгоценного камня, «кажущиеся веса» этих веществ, т. е. их вес в воде, равный разности между 100 мискалями и весом вытесненной воды.

В целом «Денсиметрия» ал-Бируни представляет собой один из интереснейших трактатов великого хорезмийца. Помимо решения основной задачи — определения удельных весов важнейших металлов и минералов трактат представляет большой интерес заметками ал-Бируни о свойствах металлов и минералов, позже получившими развитие в его «Минералогии», разъяснениями ал-Бируни физических процессов, происходящих при экспериментах в танбуке и коническом приборе, детально разработанной им технологией наблюдений и их обработки, а также решаемыми им в этом трактате арифметическими задачами.

Литература

1. *Épître de Beruni contenant le répertoire d'ouvrages de Muhammad b. Zakariya ar-Razi.*, publiée par P. Kraus. Paris, 1936.
2. *Clément-Mullet J. J.* Recherches sur l'histoire naturelle et la physique chez les Arabes. Pesenteur spécifique de diverses substances minérales procédé pour l'obtenir d'après Abou'l-Rihau Albirouny. Extrait de l'Ayin Akbery.—*J. asiatique*, 1858, 5ème série, v. 11, p. 379—406.
3. *Khanykoff N.* Analysis and extracts of Kitab mizan al-hikma (Book of the balance of wisdom) written by al-Khazini in the twelfth century.—*J. Amer. Orient. Soc.*, 1859, v. 6, p. 1—128.
4. *Абд ар-Рахман ал-Хазини.* Книга мизан ал-хикма. Хайдарабад, 1359 х. (1940).
5. *Абу-р-Райхан ал-Бируни.* Собрание сведений для познания драгоценностей (Минералогия)/Пер. Беленникого А. М. Л.: Изд-во АН СССР, 1963.
6. *Булгаков П. Г.* Жизнь и труды Бируни. Ташкент: Фан, 1972.
7. *Медовой М. И.* Об арифметическом трактате Абу-л-Вафы.—*Историко-математ. исслед.*, 1960, вып. 13, с. 253—324.
8. *Бируни.* Памятники минувших поколений/Пер. Салье М. А.—В кн.: Избр. произведения. Т. 1. Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1957.