

ГОРДИЕВЫ УЗЛЫ МЕТРОЛОГИИ

GORDIAN KNOTS OF METROLOGY

Брянский Л.Н. (N. Bryanskiy)

Рассказывают, что некая дама однажды спросила Альберта Эйнштейна: «Скажите, профессор, как Вы записываете свои гениальные мысли?» «Мадам, — ответил Эйнштейн, — гениальные мысли приходят в голову так редко, что их нетрудно и просто запомнить».

В истории метрологии мы встречаем и гениальные озарения (к сожалению, нечастые), и тупиковые ситуации, и нестандартные пути выхода из них.

Безусловно, гениальной была идея объединить разрозненные меры в систему. Ее автор остался неизвестным.

К гениальным озарениям можно отнести методики Аристарха Самосского и Эратосфена Киренского, позволившие раздвинуть пределы Вселенной и определить размеры Земли.

Были и другие гениальные идеи и открытия, используемые в метрологии, но здесь я сосредоточусь на тупиках и выходах из них.

Древнегреческая легенда гласит, что некогда фригийский царь Гордий привязал ярмо к дышлу колесницы чрезвычайно сложным узлом и пожертвовал эту колесницу храму Зевса. Предсказание оракула гласило, что тот, кто развяжет этот узел, овладеет всей Азией (в тогдашнем смысле этого понятия).

Долгие годы никто из царей и полководцев не мог его развязать. Наконец, очередь, дошла до Александра Македонского. Он не стал тратить время и силы на развязывание узла, а вынул меч и разрубил его. С тех пор выражение «разрубить гордиев узел» означает найти нетривиальное, смелое и простое решение сложного, запутанного вопроса.

Не миновали гордиевы узлы и метрологию. Первый гордиев узел в современной, активной метрологии (годом ее рождения принято считать 1791 г., год принятия французской академией метрической системы) завязал, отнюдь не желая этого, знаменитый астроном, математик и метролог Ф. Бессель. В 1837 г. он повторил измерение длины четверти парижского меридиана и установил, что она равна не 10000000, а 10000856 м. Метр оказался короче метра 1799 г. почти на 0,1 мм. Это очень много для точных линейных измерений. Последующие измерения затягивали этот узел все туже и туже — каждое из них давало все новый и новый размер метра. Узел нужно было разрубить. И международная комиссия, созданная по инициативе Петербургской академии наук, в 1872 г. принимает решение: отныне метр не связан с длиной земного меридиана, а просто

равен архивному метру, концевой мере из ковanej платины, изготовленной еще в 1799 г. Чтобы оценить всю нетривиальность принятого решения, вспомним формулировку основных принципов, которым должна была соответствовать метрическая система. Кстати, эта формулировка вполне может претендовать на оценку «гениальная». Система должна была быть «основанной на неизменном прототипе взятом из природы, с тем, чтобы ее могли применять все нации». Решение 1872 г. означало, таким образом, отказ от прототипа (эталоны), взятого из природы и замену его «рукоотворным» изделием, подверженным всем перипетиям весьма нестабильного бытия.

Около 1870 г. метрологи убедились, что каждое новое определение размера килограмма как массы 1 дм воды при температуре ее максимальной плотности тоже дает разный результат. Традиционный путь — ужесточение условий измерений, учет все новых и новых источников погрешности, явно вел в тупик (а ведь в то время еще не подозревали о том, что «разная» вода имеет разный изотопный состав). Требовалось нестандартное решение. И оно было найдено, узел разрублен.

В том же самом 1872 г., той же самой международной комиссией было принято новое определение: килограмм стал просто равен массе архивного килограмма (гири, изготовленной еще в 1799 г.) и потерял связь с метром. Пришлось отказаться от второго основного принципа, сформулированного в 1791 г., построения системы единиц с опорой на один прототип, на одну единственную основную единицу — метр. Теперь их оказалось две. И от основной идеи творцов метрической системы не осталось ровным счетом ничего. К ней удалось вернуться только во второй половине XX века.

Появление третьей основной единицы — секунды — не вызвало, по видимому, каких-либо потрясений. Во-первых, ее наличие подразумевалось. Это следует хотя бы из того, что одним из претендентов на роль метра был секундный маятник, точнее, его длина. К тому времени существовала хорошо налаженная астрономическая служба единого времени. Такие величины, как скорость, ускорение, число оборотов, измерялись весьма квалифицированно. «Внесистемность» секунды никого не беспокоила. Во-вторых, после того, как пришлось отказаться от построения системы с опорой на одну единственную основ-

ную единицу, увеличение их числа уже не было принципиальным.

В то же время включение секунды в число основных единиц всех систем, от абсолютной системы Ф. Гаусса до СИ, послужило материалом для последующих гордиевых узлов, завязывавшихся вокруг метра.

Как известно, в 1960 г. было принято новое определение: один метр равен 1650763,7300 длин волн в вакууме одной из линий излучения криптона-86. Метр перестал зависеть от каких-либо случайностей, даже одновременное исчезновение всех платино-иридиевых эталонов не привело бы к утрате метра. Но! Новый метр был «проградуирован» по-старому и получил в наследство ряд свойственных ему погрешностей. Выигрыш в точности оказался не столь уж большим, всего в 10 раз.

В это же время метрологические специалисты в области измерения времени и частоты успешно справились со своим собственным гордиевым узлом — выяснившейся непригодностью на роль эталона времени суточного вращения Земли и длительности тропического года и перешли на так называемую равномерную шкалу атомного времени (пришлось, правда, чтобы не потерять связи с астрономическими процессами, ввести еще и шкалу координированного времени). В результате точность эталона времени и частоты стремительно выросла и стала превышать точность любых других эталонов почти на 5 порядков, в 100000 раз. Поэтому возродилась старая, как мир, и тоже гениальная идея определить метр через время и скорость. Впервые она была реализована еще в древнем Вавилоне. Значение большой меры длины — стадия (около 185 м) определялось как путь, проходимый специальным жрецом за время выката диска Солнца над горизонтом (около 2 минут в день равноденствия, на широте Вавилона). Место жреца занял свет, поскольку скорость света в вакууме является одной из основных физических констант. Но эту скорость нельзя было в принципе измерить точнее, чем позволял существующий эталон метра, т.е. с относительной погрешностью 10^{-8} . Опять завязался гордиев узел. Разрубили его очень оригинальным, невиданным ранее способом. Было решено считать наиболее достоверное значение измеренной скорости света абсолютно точным, не имеющим погрешности. Результатом этого решения явилось принятие в 1983 г. новое определение метра как длины пути, проходимого светом в вакууме за $1/299792458$

долю секунды, что позволило уменьшить погрешность его воспроизведения на два порядка.

Свой гордиев узел существовал и в термометрии. С тех пор, как в 1702 г. Амонтон предсказал существование абсолютного нуля температуры (и даже довольно точно по тем временам определил его значение: -242°C), а Дж. Томсон в 1848 г. ввел понятие термодинамической температуры, возник вопрос: как совместить термодинамическую шкалу с широко распространенными в практике температурными шкалами Цельсия, Реомюра и Фаренгейта. Решение было найдено в духе Александра Македонского — термометрию, фигурально выражаясь, «разрубили пополам». Было решено пользоваться одновременно и параллельно термодинамической и практической шкалами температур. В 1889 г. 1-я ГКМВ утвердила шкалу водородного газового термометра постоянного объема, основанную на двух реперных точках — плавления льда (0°C) и кипения воды (100°C). Она была названа практической, так как не учитывала поправок на отклонения свойств водорода от свойств идеального газа. С тех пор метрологи постоянно совершенствуют практические шкалы, уменьшая и уменьшая расхождения между ними и термодинамической шкалой. Действующая сейчас международная практическая шкала

МТШ-90 даже «потеряла» из своего названия букву «П» (предыдущая шкала называлась МПТШ-68), поскольку ее расхождения с термодинамической в диапазоне наиболее употребительных температур пренебрежимо малы.

Нечто похожее на злключения метра происходило и еще с одной основной единицей СИ — канделой (свечой). Надо сказать, что ей особенно не повезло с определениями. Они принимались в 1860, 1869, 1881, 1893, 1915, 1921, 1948, 1967 и 1979 годах. Но, самое главное, каждый раз изменялся и размер канделы. Причиной изменений определений в 1948, 1967 и 1979 годах была необходимость сделать однозначной связь световых и энергетических величин, связать канделу с ваттом. Эта связь осуществляется через величину, называемую «максимальной световой эффективностью» с размерностью люмен на ватт. Как и в свое время, размер метра, ее значение изменялось с каждым новым измерением. Поэтому в 1979 году было принято решение, аналогичное принятому в отношении скорости света.

Наиболее достоверное значение этой величины, равное 683 люмен на ватт, было возведено в ранг абсолютно точных, не имеющих погрешности метрологических констант. Был разрушен еще один гордиев узел.

Все сказанное относится к основным единицам СИ. Вряд ли кто-нибудь

скажет, сколько возникало гордиевых узлов в практической метрологии, особенно при разработке государственных эталонов единиц и шкал измерений.

Каждое «ноу-хау», предложенное и осуществленное при этом, — очевидной развязанный гордиев узелок. Да и с основными единицами вряд ли все позади. Метрологов беспокоит невозпроизводимость в техническом устройстве определения ампера (при возможности определения его значения через «квантовые» вольт и ом), отсутствие связи размера килограмма с какой-либо физической константой, неопределенность статуса радиана и стерадиана, так как они формально не подпадают под определение производных единиц СИ. Так что жизнь продолжается и еще не раз будет преподносить нам сюрпризы. ☑

The expression «cut the Gordian knot» means to find a non-trivial, bold and simple solution to a complex, confusing issue. It is unlikely that someone could say how many Gordian knots arose in practical metrology, especially in the development of national standards of units and scales of measurement. Each «know-how» — proposed and implemented — is another Gordian knot untied. The author tells about these «knots» in this article.



СИБПОЛИТЕХ

Всесибирский промышленный форум

18-21 ОКТЯБРЯ 2011

НОВОСИБИРСК, РОССИЯ



СИБЭНЕРГИЯ. ЭНЕРГО- И РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЕ

XVIII международная специализированная выставка в области энергетики

ЭЛЕКТРОСИБ

XIX международная специализированная выставка в области электротехники

СИБЭНЕРГОМАШ

XVIII международная специализированная выставка в области энергетического машиностроения

ГАЗИФИКАЦИЯ СИБИРИ

XIII выставка в области газификации промышленных и бытовых потребителей

СИБГОРОД. ЖКХ

Международная специализированная выставка оборудования, материалов и техники для жилищно-коммунального хозяйства

ЭКОСИБ

Международная специализированная выставка в области охраны окружающей среды, воспроизводства природных ресурсов, мониторинга экологической безопасности, утилизации и переработки промышленных и бытовых отходов; охраны труда

НАУКА СИБИРИ

XIX специализированная выставка в области научных исследований и новых технологий



ИТЕСИБИРСКАЯАРМАКА

Россия, 630049, Новосибирск, Красный проспект, 220/10, тел.: (383) 363-00-63, 363-00-36

Факс: (383) 220-97-47; www.sibpolytech.ru; vik@sibfair.ru