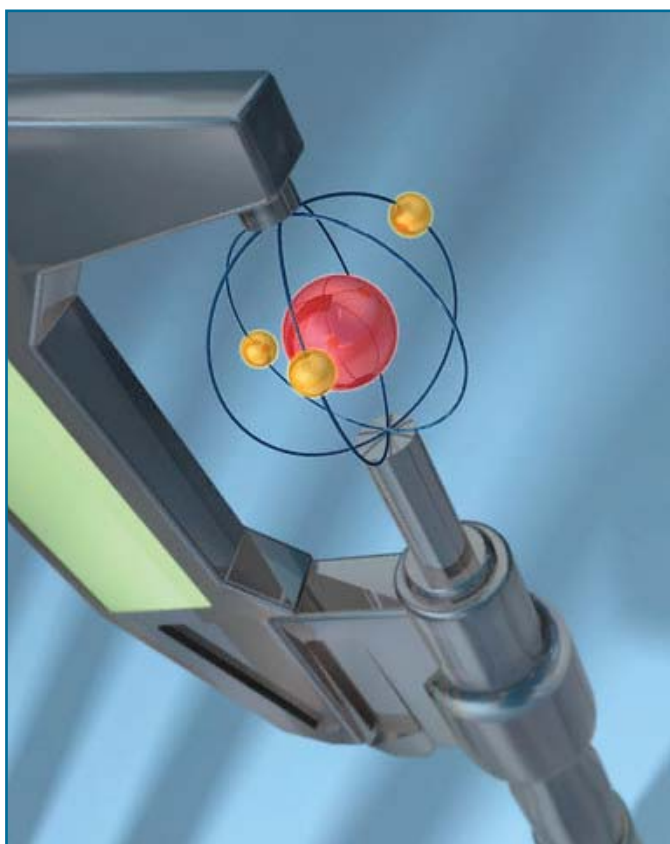


НАНОМЕТРОЛОГИЯ (Nanometrology)

«Мерка дело красит».
Поговорка



Любой человек в повседневной жизни встречается с необходимостью измерения – чтобы приготовить вкусный обед, нужно смешать ингредиенты строго по рецепту, а чтобы расплатиться за потраченную электроэнергию или объем скопированной информации, нужно правильно определить их количество. Любая покупка в магазине, например, одежды подразумевает, что вы знаете ее размер, мяса – его массу, сока – его объем и платите вы соответственно. Часто человек даже не задумывается, что все эти измерения производятся с помощью устройств, которые созданы трудом ученых, занимающихся метро-

логией. Итак, метрология (от греч. *métron* – мера и *lógos* – учение) – это наука о том, с помощью каких методов и какими средствами надо проводить различные измерения, чтобы обеспечить их единство и добиться требуемой точности.

С древних времен человечество пытается принять однозначную систему *единиц измерения* – этим вопросом занимались правители и ученые в Древнем Китае, Греции, Персии, Риме, Англии, феодальной Европе и на Руси. В то время эталоны единиц измерения были нехитрые – размеры частей тела королей, любимых музыкальных инструментов императоров и пр. Развитие науки, торговли и мореплавания требовало постоянных пересчетов одних мер в другие – только в Европе в XVII в. использовалось около 100 различных фунтов и 50 различных миль. Привести к порядку единицы измерения первыми решились французы. В 1791 году Национальное собрание Франции приняло решение повсеместно перейти на метрическую систему, базирующуюся на метре и грамме, причем метр определили как одну десятиmillionную долю участка земного меридиана от Северного полюса до экватора. С помощью имеющихся на тот момент астрономических и механических приспособлений первый эталон метра («метр архива») был изготовлен французским мастером Ленуаром в виде платиновой линейки шириной около 25 мм, толщиной около 4 мм. В 1872 г. Международная метрическая комиссия решила отказаться от «естественного» (привязанного к длине меридиана) эталона длины и приняла «метр архива» в качестве исходной меры длины. По нему изготовили и распространили между странами 31 эталон в виде бруса специальной формы из сплава Pt (90%)–Ir (10%). Долгое время эти эталоны обеспечивали опреде-

ление метра с ошибкой $\sim 0,2$ мкм и удовлетворяли нуждам науки и техники. Новое определение метра приняли лишь в 1960 г., приравняв его к $1\ 650\ 763,73$ длины волны излучения атома криптона в вакууме. Старые, «архивные метры» стали экспонатами музеев, а новое определение метра позволило уменьшить ошибку при измерении метра с $0,2$ мкм до 30 нм.

В России международные стандарты начал внедрять Д.И. Менделеев, который в 1893 году основал и возглавил Главную палату мер и весов, в дальнейшем преобразованную во Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии и стандартизации его имени (ВНИИМС). Этим институтом разрабатываются специальные документы – ГОСТы, призванные регламентировать все методики измерения, технологии производства и свойства измерительных инструментов. С 1960 года в России было принято решение о создании ГОСТов только в соответствии с системой СИ, в которой основными единицами измерения являются метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, кандела и моль. Однако в повседневной жизни оказывается удобнее производить измерения в несистемных единицах – объем измерять в литрах, а не кубических метрах, а температуру в градусах Цельсия, а не Кельвина.

А вы знаете, что с метрологическими инструментами мы регулярно сталкиваемся в повседневной жизни – это линейки, угольники, весы, электро-, тепло- и газовые счетчики? Полезно знать, что обычные весы в магазине могут измерять вес с точностью до 5 г, если масса продукта превышает 100 г. Поэтому нельзя взвешивать на весах продукты меньшей массы, а чтобы измеренная масса совпадала с показанием «контрольных весов», надо все весы устанавливать согласно определенным правилам.

Каждой единице измерения соответствует свой эталон, для каждого случая создается свой измерительный элемент – согласитесь, никому и в голову не придет измерять ткань в магазине микрометром – для этого подойдет деревянная метровая линейка с точностью в 1 см, а вот для измерения диаметра подшипника придется воспользоваться специальным инструментом – штангенциркулем с ценой деления $0,05$ мм. А как

же быть, если нужно определить размеры, скажем, «углеродной нанотрубки», длина которой несколько микрон, а толщина не превышает десятка нанометров? Ее «увидеть» не просто, не то что измерить – линейкой тут не обойдешься. Так в метрологии появился новый раздел, который получил название нанометрологии, изучающий способы измерения параметров объектов, линейные размеры которых лежат в интервале $0,1$ – 100 нм. Кстати, 1997 г. Консультативный комитет по длине рекомендовал принять за новый эталон измерения длины длину волны излучения стабилизированного He–Ne/ J_2 лазера $\lambda = 632,99139822$ нм. Такой эталон позволяет определить метр с ошибкой, не превышающей $0,02$ нм, т.е. с точностью до одного атомного слоя.

Однако механически изготовленные приборы не позволяют измерять длину наноотрезков. Это делают с помощью сложных приборов – электронных и атомно-силовых микроскопов, однако для их применения нужно провести калибровку, то есть создать специальные «нанолинейки». Создавать «нанолинейки» с использованием интерферометров начали в начале 90-х годов прошлого века. Современный интерферометр позволяет измерять перемещение тел с точностью до долей диаметра атома, это достигается детектированием изменения картин интерференции 3-х световых потоков от одного источника лазерного излучения. Пожалуй, наибольшего успеха в области создания «нанолинеек» добились исследователи Массачусетского технологического института, которые методом растровой интерференционной литографии на пластине с фоторезитом диаметром 300 мм нанесли периодические насечки, создав таким образом своеобразную линейку с ошибкой измерения длины в $1,1$ нм. Не отстает от мирового прогресса и Россия, где производятся аналогичные «линейки» для измерения длин наноотрезков с ошибкой от $0,5$ до 3 нм. Поддалась измерению и масса наночастиц: с развитием масс-спектропии оказалось возможным зарегистрировать массы отдельных нанокластеров и макромолекул. На сегодня уже разработаны ГОСТы и технические условия, которым должны соответствовать коммерческие наноматериалы.

Литература:

1. Тоуа П.А. Метрология в нанотехнологии // Российские нанотехнологии. 2007. Т. 2. № 1–2. С. 61–69.