



Конкурс для школьников «Гениальные мысли» Автореферат проекта призера II степени среди 8 классов

Название работы – Разработка программного обеспечения для измерения объектов при nanoисследованиях.

Автор – Литвиненко Анастасия Павловна (8 класс, МБОУ "Гимназия № 117", г. Ростов-на-Дону).

Руководитель – Бозаджиев Вадим Юрьевич, учитель биологии, МБОУ "Гимназия № 117", г. Ростов-на-Дону.

Основная идея работы, цели, задачи

Начатое мною исследование имеет *цель* попытки создания удобного для исследования инструмента, дающего возможность точного измерения частиц наноразмерной величины.

Актуальность и новизна работы

На платформе «Стемфорд.ру» я прошла некоторые курсы, из которых узнала, что на сегодняшний день одной из актуальных вопросов в нанотехнологиях является определения международного стандарта нанометра. Это на сегодняшний день одна из основных задач нанометрологии, так как от него зависит точность определения размеров изучаемых объектов. Этим и определяется *актуальность* настоящего исследования.

Согласно действующему определению, метр есть длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени $1/299792458$ секунды. Это определение международного стандарта метра было принято в 1983 году на XVII Генеральной конференции по мерам и весам.

Однако, скорость света, слишком большая величина, чтобы с ее помощью попытаться определить нанометр (1×10^{-9} метра).

Изучив доступную мне литературу я изучил информацию о Системе измерений и о том каким образом в настоящее время физики и метрологи определяют размеры нанометра. Однако, эти методы весьма громоздки и сложны в реализации.

В этой связи предлагаю для определения нанометра использовать константу меньшего размера, а именно, скорость звука в воздухе при нормальных условиях. Это принятая всеми физиками величина может считаться международной константой, или постоянной величиной, используемой при решении различных вычислений. В воздухе при нормальных условиях скорость звука составляет 343.3 метра в секунду или 1224 км/ч. Эта постоянна более удобна при определении нанометра. В предложении использовать для определения нанометра величину скорости звука при нормальных условиях и заключается *новизна* моего исследования.

Основные результаты

В ходе литературного поиска по данной теме я узнал следующее.

История Международной системы единиц

Каждый из нас часто что-то измеряет: метры, килограммы, унции, футы и фунты, мили, дюймы, градусы. Есть ли принципиальная разница между этими нашими ежедневными измерениями и измерениями, которые проводят ученые? По каким правилам следует проводить измерения, чтобы они считались корректными и достоверными? Ответы на эти вопросы дает наука о мерах и весах метрология.

Система единиц (СИ) является развитием метрической системы мер, которая была создана французскими учеными и впервые широко внедрена после Великой французской революции. До введения метрической системы единицы выбирались независимо друг от друга, поэтому пересчет из одной единицы в другую был сложным. К тому же в разных местах применялись разные единицы, иногда с одинаковыми названиями. Метрическая система должна была стать удобной и единой системой мер и весов.

В начале 1790-х годов во Франции были изготовлены временные эталоны метра и килограмма. Копии эталонов были отправлены, в частности, в США, но корабль с копиями был захвачен британскими каперами, так что они не дошли до Америки: возможно, это сыграло роль в том обстоятельстве, что СИ плохо приживается в США тогда и до сих пор.

В 1799 году во Франции были изготовлены два эталона – для единицы длины (метр) и для единицы массы (килограмм).

В 1832 году немецкий математик Карл Гаусс разработал научные основы построения систем единиц и создал новую систему. В качестве основных физических величин он принял длину, массу и время, а в качестве основных единиц – миллиметр, миллиграмм и секунду. Впоследствии эта система послужила базой для разработки системы СГС.

В 1874 году британскими физиками Джеймсом Максвеллом и Уильямом Томпсоном была представлена система СГС, основанная на трех единицах – сантиметр, грамм и секунда – и десятичных приставках от микро до мега.

В 1875 году представителями семнадцати государств (Россия, Германия, США, Франция, Италия и др.) была подписана Метрическая конвенция, в соответствии с которой были созданы Международный комитет мер и весов (фр. Comité International des Poids et Mesures, CIPM) и Международное бюро мер и весов (фр. Bureau International des Poids et Mesures, BIPM), а также предусмотрен регулярный созыв Генеральных конференций по мерам и весам (ГКМВ) (фр. Conférence Générale des Poids et Mesures, CGPM). Были начаты работы по разработке международных эталонов метра и килограмма.

В 1889 году ГКМВ приняла систему единиц МКС, сходную с СГС, но основанную на метре, килограмме и секунде, так как эти единицы были признаны более удобными для практического использования.

В последующем были введены основные единицы для физических величин в области электричества и оптики.

В 1948 году Международный союз теоретической и прикладной физики и французское правительство обратились к IX ГКМВ со своими предложениями о международной унификации единиц. Приняв во внимание эти обращения, ГКМВ поручила Международному комитету мер и весов выработать рекомендации по созданию единой практической системы единиц измерения, пригодной для принятия всеми государствами участниками Метрической конвенции [9]. В развитие данного решения X ГКМВ в 1954 году приняла в качестве основных единиц вновь разрабатываемой системы следующие шесть единиц: метр, килограмм, секунда, ампер, градус Кельвина, кандела.

В 1956 году Международный комитет мер и весов рекомендовал, чтобы системе единиц, базирующейся на основных единицах, принятых X ГКМВ, было присвоено наименование «Système International d'Unités».

В 1960 году XI ГКМВ приняла стандарт, который впервые получил название «Международная система единиц», и установила международное сокращенное наименование этой системы «SI». Основными единицами в ней стали метр, килограмм, секунда, ампер, градус Кельвина и кандела.

С 1 января 1963 года ГОСТом 9867-61 «Международная система единиц» СИ была введена в СССР в качестве предпочтительной во всех областях науки, техники и народного хозяйства, а также при преподавании.

XIII ГКМВ (1967-1968) приняла новое определение единицы термодинамической температуры, присвоила ей имя «кельвин» и обозначение «K» (ранее единица называлась «градус Кельвина», а ее обозначением был «°K»).

XIII ГКМВ (1967-1968) приняла новое определение секунды.

В 1971 году XIV ГКМВ внесла изменения в СИ, добавив, в частности, в число основных единиц единицу количества вещества (моль).

В 1979 году XVI ГКМВ приняла новое определение канделы

В 1983 году XVII ГКМВ дала новое определение метра.

В мае 2019 года вступили в действие новые определения основных единиц СИ, окончательно удаляющие материальные предметы из определений.

История измерения метра

Метр (русское обозначение: м; международное: m; от др.-греч. μέτρον «мера, измеритель») – единица измерения длины в Международной системе единиц (СИ), одна из семи основных единиц СИ. Также является единицей длины и относится к числу основных единиц в системах МКС, МКСА, МКСА, МКСГ, МСК, МКСЛ, МСС, МКГСС и МТС. Кроме того, во всех упомянутых системах метр – единица коэффициента трения качения, длины волны излучения, длины свободного пробега, оптической длины пути, фокусного расстояния, комптоновской длины волны, длины волны де Бройля и других физических величин, имеющих размерность длины.

Согласно действующему определению, метр есть длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени $1/299\,792\,458$ секунды.

Современное определение метра в терминах времени и скорости света было принято XVII Генеральной конференцией по мерам и весам (ГКМВ) в 1983 году: «Метр – длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени $1/299\,792\,458$ секунды».

Из этого определения следует, что в СИ скорость света в вакууме принята равной в точности $299\,792\,458$ м/с. Таким образом, определение метра, как и два столетия назад, вновь привязано к секунде, но на этот раз с помощью универсальной мировой константы.

Измерения определений основных единиц СИ 2018 – 2019 годов не затронуло метр с содержательной точки зрения, однако из стилистических соображений было принято формально новое определение, полностью эквивалентное предыдущему:

Метр, обозначение «м», является единицей длины в СИ; его величина устанавливается фиксацией численного значения скорости света в вакууме равным в точности $299\,792\,458$, когда она выражена единицей СИ $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$, где секунда определена через частоту перехода в цезии.

В Европе со времен распада империи Карла Великого не существовало общих стандартных мер длины: они могли быть стандартизированы в пределах одной юрисдикции (которая зачастую имела размеры одного торгового городка), но единых мер не было, и каждый регион мог иметь свои собственные. Причиной этого служило в какой-то мере то, что меры длины использовались в налогообложении (налог, например, мог измеряться в определенной длине полотна), а поскольку каждый местный правитель вводил свои налоги, то для соответствующей местности законами устанавливались свои единицы измерений.

С развитием науки в XVII веке стали раздаваться призывы к введению «универсальной меры» (universal measure, как назвал ее английский философ и лингвист Джон Уилкинс в своем эссе 1668 года) или «католического метра» (metro cattolico) итальянского ученого и изобретателя Тито Ливико Бураттини из его работы Misura Universale 1675 года), меры, которая бы основывалась на каком-либо естественном явлении, а не на постановлении власти держащей персоны, и которая была бы десятичной, что заменило бы множество разнообразных систем счисления, например, распространенную двенадцатеричную, одновременно существовавших в то время.

Метр – длина маятника

Идея Уилкинса заключалась в том, чтобы выбрать для единицы длины длину маятника с полупериодом колебаний равным 1 с. Подобные маятники были незадолго до этого продемонстрированы Христианом Гюйгенсом, и их длина была весьма близка к длине современного метра (так же, как к единицам длины, использовавшимся в те времена, например, ярду). Однако, вскоре было обнаружено, что длина, измеренная таким способом, различается в зависимости от места измерений. Французский астроном Жан Рише во время экспедиции в Южную Америку (1671 – 1673) обнаружила увеличение периода колебаний секундного маятника по сравнению с тем, который наблюдался в Париже. Выверенный в Париже маятник в процессе наблюдений им был сокращен на 1,25 французской линии ($\sim 2,81$ мм), дабы избежать отставания во времени на 2 минуты в день. Это было первое прямое доказательство уменьшения силы тяжести по мере приближения к экватору, и это дало разницу в 0,3% длины между Кайенной (во французской Гвиане) и Парижем.

Вплоть до французской революции 1789 года в вопросе установления «универсальной меры» не было никакого прогресса. Франция была озабочена вопросом распространения

единиц измерений длины, необходимость реформы в этой области поддерживали самые различные политические силы. Талейран возродил идею о секундном маятнике и предложил ее Учредительному собранию в 1790 году, с тем уточнением, что затлон длины будет измерен на широте 45° N (примерно между Бордо и Греноблем). Таким образом, метр получал следующее определение: метр – это длина маятника с полупериодом колебаний на широте 45° , равным 1 с (в единицах СИ эта длина равна $g/\pi^2 \cdot (1\text{ с})^2 \approx 0,994\text{ м}$).

Первоначально за основу было принято это определение (8 мая 1790, Французское Национальное собрание). Но несмотря на поддержку собрания, а также поддержку Великобритании и новообразованных Соединенных Штатов, предложение Талейрана так и не было осуществлено.

Метр – часть Парижского меридиана

Вопрос реформы единиц измерения был отдан на рассмотрение Французской академии наук, которая создала специальную комиссию, возглавляемую инженером и математиком Жаном-Шарлем де Борда. Борда был ярким приверженцем перехода на десятичную систему исчисления: он усовершенствовал лимб повторительного теодолита, который позволял намного улучшить точность измерения углов на местности, и настаивал, чтобы инструмент калибровался в градах ($1/100$ четверти круга), а не в градусах, чтобы градус делился на 100 минут, а минута – на 100 секунд. Для Борда метод секундного маятника был неудовлетворительным решением, поскольку он основывался на существовавшей в то время секунде – недесятичной единице, которая не подходила для предлагавшейся к внедрению системы десятичного времени – системе, когда в одних сутках 10 часов, в часе 100 минут, а в минуте 100 секунд.

Вместо метода секундного маятника комиссия – среди членов которой были Жозев Луи Лагранж, Пьер-Симон Лаплас, Гаспар Монж и Кондорсе – решила, что новая единица измерения должна быть равна одной десятиmillionной расстояния от Северного полюса до экватора (четверть земной окружности), измеренного вдоль меридиана, проходящего через Париж. Помимо той выгоды, что это решение давало легкий доступ для французских геодезистов, существовало такое важное достоинство, что часть расстояния от Дюнкерка до Барселоны (около 1000 км, то есть одна десятая от общего расстояния) могла быть проложена от начальных и конечных точек, расположенных на уровне моря, а как раз эта часть находилась в середине четверти окружности, где влияние формы Земли, которая не является правильным шаром, а сплюснута, было бы наибольшим.

30 марта 1791 предложение определить метр через длину меридиана было принято следующим: одна сорокmillionная часть Парижского меридиана (то есть одна десятиmillionная часть расстояния от северного полюса до экватора по поверхности земного эллипсоида на долготе Парижа). Интересно, что в современных единицах это метра. Идея привязать единицу измерения длины к меридиану Земли была не нова: аналогичным образом ранее были определены морская миля и лье. Вновь определенная единица получила наименование «метр подлинный и окончательный» (фр. *Metre vrai et définitif*).

7 апреля 1795 Национальный Конвент принял закон о введении метрической системы во Франции и поручил комиссарам, в число которых входили Ш.О.Кулон, экспериментальному определению единиц длины и массы. В 1792 – 1797 годах по решению революционного Конвента французские ученые Деламбр (1749 – 1822) и Мешен (1744 – 1804) за 6 лет измерили дугу парижского меридиана длиной в $9^\circ 40'$ от Дюнкерка до Барселоны, проложив

цепь из 115 треугольников через всю Францию и часть Испании. Впоследствии, однако, выяснилось, что из-за неправильного учета полюсного сжатия Земли эталон оказался короче на 0,2 мм: таким образом, длина меридиана лишь приблизительно равна 40 000 км.

Первый прототип эталона метра был изготовлен из латуни в 1795 году.

Следует отметить, что единица массы (килограмм, определение которого было основано на массе 1 дм³ воды), тоже была привязана к определению метра.

В 1799 году был изготовлен из платины эталон метра, длина которого соответствовала одной сорокамиллионной части Парижского меридиана.

Во время правления Наполеона метрическая система распространилась по многим странам Европы. Выгода от ее применения была столь очевидна, что и после отстранения Наполеона от власти принятие метрических единиц продолжалось:

- 1816 – Бельгия и Голландия;
- 1832 – Португалия;
- 1849 – Испания и Греция;
- 1870 – Германия;
- 1873 – Австрия;
- 1875 – Швейцария.

К концу XIX века из крупных стран только в Великобритании (и ее колониях), США, России, Китае и Османской империи остались традиционные меры длины.

На метре как единице длины и килограмме как единице массы была основана метрическая система, которая была введена «Метрической конвенцией», принятой на Международной дипломатической конференции 17 государств (Россия, Франция, Великобритания, США, Германия, Италия и др.) 20 мая 1875 года.

В 1889 году был изготовлен более точный международный эталон метра. Этот эталон изготовлен из сплава 90% платины и 10% иридия и имеет поперечное сечение в виде буквы «X». Его копии были переданы на хранение в страны, в которых метр был признан в качестве стандартной единицы длины.

Дальнейшее развитие

В 1960 было решено отказаться от использования изготовленного людьми предмета в качестве эталона метра, и с этого времени по 1983 год метр определялся как число 1 650 763,73, умноженное на длину волны оранжевой линии (6 056 Å) спектра, излучаемого изотопом криптона ⁸⁶Kr в вакууме. После принятия нового определения платино-иридиевый прототип метра продолжают хранить в Международном бюро мер и весов в тех условиях, что были определены в 1889 году. Однако теперь его статус стал иным: длина прототипа перестала считаться в точности равной 1 м и ее фактическое значение должно определяться экспериментально. По своему первоначальному назначению прототип больше не используется.

К середине 1970-х годов был достигнут значительный прогресс в определении скорости света. Достаточно сказать, что если в 1926 году погрешность наиболее точных на то время измерений, выполненных А. Майкельсоном, составляла 4000 м/с, то в 1972 году сообщалось

о снижении погрешности вплоть до 1,1 м/с. После многократной проверки полученного результата в различных лабораториях XV Генеральная конференция по мерам и весам в 1975 году рекомендовала использовать в качестве значения скорости света в вакууме величину, равную 299 792 458 м/с с относительной погрешностью $4 \cdot 10^{-9}$, что соответствует абсолютной погрешности 1,2 м/с. Впоследствии в 1983 году именно это значение XVII Генеральная конференция по мерам и весам положила в основу нового определения метра.

По результатам проведенного литературного поиска была составлена следующая таблица исторических изменений определения метра.

Определение метра с 1795 года

Основа	Год	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность
1/10000000 часть четверти Парижского меридиана, определенная по результатам измерений, проведенных Деламбром и Мешеном	1795	0,5 – 0,1 мм	10^{-4}
Первый этаплон Metre des Archives из платины	1799	0,05 – 0,01 мм	10^{-5}
Платино-иридиевый профиль при температуре таяния льда (1-я Генеральная конференция по мерам и весам)	1889	0,2 – 0,1 мкм	10^{-7}
Платино-иридиевый профиль при температуре таяния льда и атмосферном давлении, поддерживаемый двумя роликами (VII Генеральная конференция по мерам и весам)	1927	неизв.	неизв.
1650763,73 длины волны оранжевой линии (6056 Å) спектра, излучаемого изотопом криптона ^{86}Kr в вакууме (XI Генеральная конференция по мерам и весам)	1960	4 нм	$4 \cdot 10^{-9}$
Длина пути, проходимого светом в вакууме за (1/299792458) секунды (XVII Генеральная конференция по мерам и весам)	1983	0,1 нм	10^{-10}

Измерение нанометра

Но что насчет того, что никто никогда не видел? Как вести себя с длинами, меньшими длины волны видимого света? Этим занимается нанометрология, ее интересуют измерения в области очень маленьких размеров: наноразмеров.

Нанометрология работает почти по тем же законам. Но тут есть пара нюансов, которые нельзя не учитывать. Чтобы их понять, нужно разобраться в процессах наномира и понять, в чем, собственно, их особенность. Иначе говоря, что такого особенного в нанотехнологиях.

Начать, конечно, надо с размеров: один нанометр в метре – это примерно как один китаец в населении Китая. Такого масштаба размеры (меньше 100 нм) делают возможной целую серию новых эффектов. Здесь и эффекты квантовой физики, включая туннелирование, и взаимодействие с молекулярными системами, и биологическая активность и совместимость, и сверхразвитая поверхность, объем которой (точнее, приповерхностного слоя) сопоставим с суммарным объемом самого нанобъекта. Такие свойства – кладезь возможностей для нанотехнолога и в то же самое время – проклятие нанометролога. Почему?

Дело в том, что из-за наличия особых эффектов нанобъекты требуют к себе совершенно новых подходов. Их нельзя разглядеть оптически в классическом понимании из-за фундаментального ограничения на разрешение, которого можно добиться. Потому что оно строго привязано к длине волны видимого излучения (можно использовать интерференцию и прочее, но все это уже экзотика). Основных решений для этой проблемы придумано несколько.

Началось все с автоэлектронного проектора (1936 год), который позднее был модифицирован в автоионный (1951 год). Принцип его работы основан на прямолинейном движении электронов и ионов под действием электростатической силы, направленной от наноразмерного катода до анода-экрана уже нужных нам макроскопических размеров. Картина, которую мы наблюдаем на экране, образована на катоде или около него в силу тех или иных физико-химических процессов. Прежде всего это вытягивание автоэлектронов с атомарной структуры катода и поляризация атомов «изображающего» газа вблизи иглы катода. Образовавшись, картина в виде некоторого распределения ионов или электронов проецируется на экран, где проявляется силами флюоресценции. Таким элегантным способом можно посмотреть на наноструктуру острий, сделанных из некоторых металлов и полупроводников, но элегантность решения здесь завязана на слишком жестких ограничениях того, что мы можем посмотреть, поэтому такие проекторы не стали особо популярными.

Другим решением стало в буквальном смысле ощупывание поверхности, впервые реализованное в 1981 году в виде сканирующего зондового микроскопа, что в 1986 году было удостоено Нобелевской премии. Как можно догадаться по названию, исследуемая поверхность сканируется зондом, который представляет собой заостренную иглу.

Между иглой и структурой поверхности возникает взаимодействие, которое можно с высокой точностью определить хоть по силе, действующей на зонд, хоть по возникающему отклонению зонда, хоть по изменению частоты (фазы, амплитуды) колебаний зонда. Исходное взаимодействие, которое определяет возможность исследовать практически любой объект, то есть универсальность метода, основано на силе отталкивания, возникающей при контакте, и на дальнедействующих ван-дер-ваальсовых силах. Можно использовать и другие силы, и даже возникающий туннельный ток, картируя поверхность не только с точки зрения пространственного расположения на поверхности нанобъектов, но и других их свойств. Важно, чтобы зонд сам был наноразмерным, иначе не зонд будет сканировать поверхность, а поверхность – зонд (в силу третьего закона Ньютона взаимодействие определяется обоими объектами и в некотором смысле симметрично). Но в целом этот метод оказался одновременно и универсальным, и обладающим широчайшим набором возможностей, так что стал одним из главных в изучении наноструктур. Его главный недостаток – он исключительно времязатратный, особенно в сравнении с электронными микроскопами.

Электронные микроскопы, кстати, также являются зондовыми, только зондом в них выступает сфокусированный пучок электронов. Использование системы линз делает его концептуально схожим с оптическим, хотя не без серьезных отличий. Первое и главное: электрон обладает меньшей длиной волны, нежели фотон, благодаря своей массивности. Разумеется, длины волн здесь не принадлежат собственно частицам электрону и фотону, а характеризуют поведение соответствующих им волн. Другое важное отличие: взаимодействие тел с фотонами и с электронами довольно сильно разнится, хотя и не лишено общих черт. В каких-то случаях информация, полученная от взаимодействия с электронами, даже содержательнее, нежели от взаимодействия со светом, – впрочем,

нередка и обратная ситуация.

И последнее, на что следует обратить внимание, – это различие оптических систем: если для света линзами традиционно выступают вещественные тела, то для пучков электронов – это электромагнитные поля, что дает большую свободу манипулировать электронами. В этом и кроется «секрет» растровых электронных микроскопов, изображение на которых хоть и выглядит так, словно получено в обычный световой микроскоп, но сделано таким лишь для удобства оператора, а получается из компьютерного анализа характеристик взаимодействия электронного пучка с отдельным растром (пикселем) на образцах, которые последовательно сканируются. Взаимодействие электронов с телом позволяет картировать поверхность с точки зрения рельефа, химического состава и даже люминесцентных свойств. Через тонкие образцы электронные пучки способны проходить насквозь, что позволяет видеть внутреннюю структуру таких объектов – вплоть до атомных слоев.

Это основные методы, позволяющие различать и исследовать геометрию объектов на наноразмерном уровне. Есть и другие, но они работают с целыми системами нанобъектов, высчитывая их параметры статистически. Здесь и рентгеновская дифрактометрия порошков, позволяющая узнать не только фазовый состав порошка, но и кое-что о распределении кристаллов по размерам: и эллипсометрия, которой характеризуют толщину тонких пленок (вещь, незаменимая в создании электроники, в которой архитектуру систем создают в основном послойно); и газосорбционные методы анализа удельной площади поверхности. На названиях некоторых методов язык можно сломать: динамическое светорассеяние, электроакустическая спектроскопия, ядерная магнитная резонансная релаксометрия (ее, впрочем, называют просто ЯМР-релаксометрией).

Но и это еще не все. Например, наночастице, движущейся в воздухе, можно передать заряд, после чего включить электростатическое поле и, смотря, как будет отклоняться частица, вычислить ее аэродинамический размер (от размера частицы зависит ее сила трения о воздух). Схожим, кстати, образом определяется размер наночастиц в уже упомянутом методе динамического светорассеяния, только анализируется скорость в броуновском движении, причем еще и косвенно, по флуктуациям рассеяния света. Получается гидродинамический диаметр частицы. И таких «ухищренных» методов не один.

У такого изобилия методов, измеряющих вроде бы одно и то же – размер, есть одна интересная деталь. Значение размера одного и того же нанобъекта часто различается, бывает даже, что в разы.

Какой размер правильный?

Здесь самое время вспомнить обыкновенную метрологию: результаты измерения, помимо собственно измеренной величины, задаются еще точностью измерений и методом, которым измерение проведено. Соответственно, различие в результатах может объясняться как разной точностью, так и разной природой измеряемых величин. Тезис о разной природе различающихся размеров одной и той же наночастицы может показаться диким, но так и есть. Размер наночастицы с точки зрения ее поведения в водной дисперсии не то же самое, что ее размер с точки зрения адсорбции газов на ее поверхности и не то же самое, что ее размер с точки зрения взаимодействия с электронным пучком в микроскопе. Не говоря уже о том, что для статистических методов и об определенном размере нельзя говорить, а можно лишь о величине, размер характеризующей. Но, несмотря на эти различия (или даже благодаря им) все эти результаты можно считать одинаково истинными, просто говорящими немножко о разном, смотрящими в разных сторон. Сравнить же эти результаты можно

лишь с точки зрения адекватности опоры на них в тех или иных ситуациях: для прогнозирования поведения наночастицы в жидкости адекватнее использовать значение гидродинамического диаметра и так далее.

Все сказанное верно и для обычной метрологии, и даже для любой фиксации фактов, но это часто упускается из виду. Можно сказать, что нет фактов более истинных и менее истинных, более соответствующих реальности и менее (исключая разве что подлог), а есть лишь факты более и факты менее адекватные для использования в той или иной ситуации, а также использующие в своей основе более и менее корректную для этого интерпретацию. Философы это со времен позитивизма хорошо усвоили: любой факт теоретически нагружен.

Таким образом, из проведенного литературного поиска видно, что современная метрология, включая и нанометрологию, использует нематериальные эталоны. Все современные единицы измерений в системе СИ в настоящее время выводятся из физических постоянных. Международная система единица, СИ, – это система единиц, в которой:

- частота сверхтонкого расщепления основного состояния атома цезия – $133 \Delta\nu_{Cs}$ в точности равна 9 192 631 770 Гц;
- скорость света в вакууме c в точности равна 299792458 м/с;
- постоянная Планка в точности равна $6,62607015 \cdot 10^{-34}$ кг·м²·с⁻¹;
- элементарный электрический заряд e в точности равен $1,602176634 \cdot 10^{-19}$ А·с;
- постоянная Больцмана k в точности равна $1,380649 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;
- постоянная Авогадро N_A в точности равна $6,02214076 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹;
- световая эффективность K_{ed} монохроматического излучения частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц в точности равна 683 лм/Вт.

Начатое мною исследование имеет цель попытки создания удобного для исследования инструмента, дающего возможность точного измерения частиц наноразмерной величины. С этой целью в качестве эталона была выбрана скорость звука в воздухе при нормальных условиях, которая составляет 343,3 метра в секунду или 1224 км/ч. При несложном расчете можно найти величину доли секунды, при которой звук при нормальных условиях проходит расстояние в 1 нм. Эта величина равняется 0,0000003433 с.

В воздухе при нормальных условиях скорость звука составляет примерно 343,3 метра в секунду или 1224 км/ч. Таким образом, за 0,0000003433 с звук пройдет расстояние в 1 нм. Почему я выбрала в качестве постоянной именно скорость звука? Как выше было показано, скорость света – это очень большая величина.

Так, расстояние в 1 нм свет пройдет за $3,33 \cdot 10^{-18}$ с. Это неуловимо малый промежуток времени, не поддающийся регистрации современными компьютерами. Достаточно сказать, что современный процессор делает одну операцию, например, на сложение 2+2 тратит от двух до четырех наносекунд ($2 \cdot 10^{-9}$ с). При выборе в качестве константы скорости звука мы будем оперировать промежутками времени в $3,4 \cdot 10^{-7}$ с, то есть это 34 микросекунды, это достаточный промежуток времени, чтобы современный быстродействующий процессор обработал данную задачу.

Так как все сканирующие зондовые микроскопы, действующие на туннельном принципе, своей составной частью имеют мощный компьютер с экраном высокого разрешения, на который выводится изображение, то нет никаких препятствий программно наложить на этот экран сетку, возможно и с изменяемым масштабом, для объектов разных размеров.

Ядром этого нанометрического блока является небольшая программа, которая по циклическому принципу будет через равный программнозаданный промежуток, равный 0,0000003433 с отмечать на сетке деления, равные 1 нм. Отдельный блок программы будет отвечать за изменение масштаба сетки.

Таким образом, мы сможем точно определять размеры изучаемого объекта в наноразмерном диапазоне исследований.

К настоящему времени данная работа перешла в практическую стадию разработки. В настоящее время разрабатывается блок-схема и алгоритм будущей программы.

Выводы, заключение, перспективы

Таким образом, итогом данного исследования станет программа, с помощью которой исследователи изучающие объекты наноразмерных величин, изображение которых обрабатывается на компьютерах, смогут точно определять размеры изучаемого объекта в наноразмерном диапазоне исследований.

В настоящее время данное исследование находится на стадии создания блок-схемы и алгоритма программы.

В перспективе возможно совершенствование кода данной программы для достижения необходимой точности исследования и удобства ее использования.

Список цитированных источников

1. Определение метра (англ.). Резолюция 1 XVII Генеральной конференции по мерам и весам (1983).
2. Положение о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации. Основные единицы Международной системы единиц (СИ). Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. Росстандарт.
3. Гевара И., Карлес П. Измерение мира. Календари, меры длины и математика. – М.: Де Агостини, 2014. – С. 125 – 126. – 160 с. – (Мир математики: в 45 томах, том 38). – ISBN 978-5-9774-0733-5.