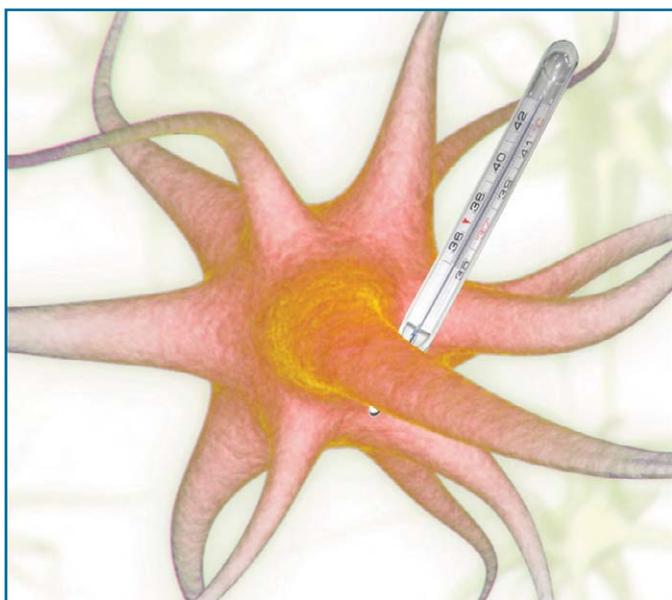


## НАНОТЕРМОМЕТР (Nanothermometer)

*«...множество мелких частиц, движущихся с той или иной скоростью, которые, встречаясь с нашим телом, проникают в него с величайшим проворством, их прикосновение ... и есть то воздействие, которое мы называем теплом (температурой)...».*

*Пробирных дел мастер, Галилео Галилей*



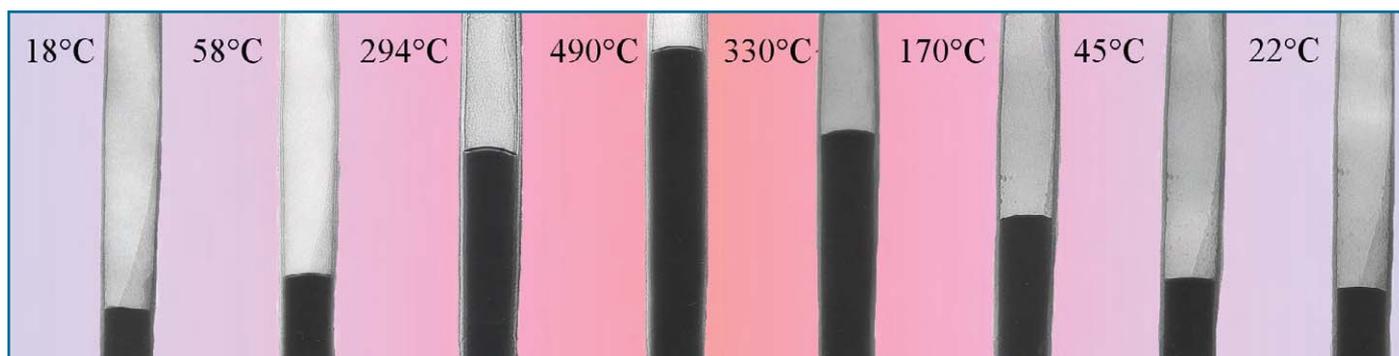
Одной из наиболее важных и часто измеряемых физических величин, с которыми мы сталкиваемся повсеместно, помимо длины, массы и времени, является температура – она характеризует любой живой или неживой объект, а также окружающую его среду. Температура отражает внутреннюю энергию любого тела, т.е. кинетическую энергию составляющих его атомов или молекул.

С момента, когда в 1593 году Галилео Галилей изобрел первый ртутный термометр с удобной для использования числовой шкалой, ни у кого не возникает вопроса – как определять температуру. Однако, не каждый, измеряя, к примеру, температуру собственного тела, задумывается о физическом процессе, лежащем в основе действия обычного медицинского термометра. Речь идет об одном из уникальных свойств некоторых материалов – высоком коэффициенте

термического расширения, который приводит к значительному изменению объема даже в результате небольшого, на десятую долю градуса, изменения температуры окружающей среды. Для измерения температуры можно использовать не только эффект изменения объема материала с температурой, но и любые другие температурно-чувствительные свойства веществ, а также диагностируя испускание телами электромагнитного излучения. Единственным требованием является строгая обратимость в режиме многократного нагревания–охлаждения. Так, созданы высокоточные электрические термометры, принцип работы которых основан на изменении сопротивления проводника, или изменении контактной разности потенциалов между проводниками с различной плотностью носителей заряда (термопара). Температурная чувствительность оптических свойств некоторых материалов (изменение оптического спектра) позволяет их использовать для создания оптических термометров. Именно так измеряют температуру недостижимых для нас звезд.

Итак, уже давно стало возможным, используя различные свойства веществ, создавать разнообразные макроскопические термометры. Но наука не стоит на месте – бурное развитие нано- и биотехнологий привело к разработке и миниатюризации новых высокоточных технологий измерения температуры применительно к объектам нанометровых масштабов, например, электронным или биологическим (отдельные клетки, интегральные схемы).

Традиционным стало использование биметаллических наносенсоров, полученных нанесением тонкого слоя одного металла на поверхность



**Рис. 1.** Нанотермометр на основе заполненной галлием углеродной нанотрубки

другого методами литографии или осаждения из газовой фазы. Такие наносистемы обладают очень высокой чувствительностью к изменению температуры, что позволяет с их помощью фиксировать даже очень слабые ее изменения (например, температурный коэффициент Pt/W наносенсора, равный  $5,4 \text{ мВ}/^\circ\text{С}$ , в 130 раз превышает чувствительность традиционных термопар и способен зафиксировать изменение температуры в  $0,001 \text{ }^\circ\text{С}$ ). Биосовместимые квантовые точки и флуоресцентные наночастицы с модифицированной поверхностью успешно используются в качестве оптических нанотермометров для градуирования биологических систем.

Однако самым интересным из всех известных сегодня нанометровых термометров является созданное японскими инженерами устройство на основе многостенной **углеродной нанотрубки**, напоминающее по своей конструкции и принципу действия уменьшенный в миллиарды раз обычный ртутный термометр. Многостенная углеродная нанотрубка, представляющая собой ряд замкнутых с одного конца концентрических цилиндров, длиной порядка  $10 \text{ мкм}$  и диаметром около  $75 \text{ нм}$ , служит корпусом нанотермометра. В качестве температурно-чувствительного элемен-

та выступает металлический галлий, заполняющий часть внутреннего пространства нанотрубки (рис. 1). Прецизионные измерения показали, что в интервале  $50\text{--}500 \text{ }^\circ\text{С}$  зависимость высоты столбика галлия от температуры строго линейна как при повышении, так и при понижении температуры (рис. 1). Кроме того, поскольку углеродная нанотрубка открыта с одного конца, то при нагревании нанотермометра на воздухе на поверхности столбика галлия образуется слой оксида, обладающего хорошей адгезией к поверхности трубки. В результате длина металлического столбика остается фиксированной «оксидным маркером» даже после охлаждения системы до комнатной температуры, что дает возможность считать данные спустя несколько часов после проведения измерений. Единственным недостатком нанотермометра является его миниатюрность: для считывания показаний и определения температуры необходим **электронный микроскоп**. В 2004 году изобретение японских инженеров было занесено в книгу рекордов Гиннеса как самый маленький в мире термометр.

#### Литература:

1. Lee J., Kotov N.A. Nanotoday. 2007. Vol. 2. P. 48.