

## ТЕЗИСЫ

### к докладу А.И.Походуна «Новое определение единицы температуры и возможные пути дальнейшего совершенствования международной температурной шкалы»

Измерения температуры стали возможными только после изобретения температурной шкалы в начале XVIII века. Развитие температурных шкал шло по двум направлениям.

Первое направление, основоположником которого считают Фаренгейта, основано на использовании свойств некоторых веществ, которые определенным образом зависят от температуры и могут быть использованы для построения эмпирической температурной шкалы.

Другое направление основано на законах молекулярной физики и не связано с использованием каких-либо артефактов или свойств веществ. Основоположником этого направления считают Амонтона и Томпсона (лорда Кельвина).

Ввиду невозможности построения температурной шкалы в широком диапазоне температур, используя свойства одного какого-либо вещества, первый путь оказался тупиковым. Второй путь оказался невозможным с точки зрения сложности его практической реализации.

В начале XX века было найдено компромиссное решение этого вопроса. Было предложено создать шкалу на основе законов молекулярной физики (термодинамическую температурную шкалу), обеспечив возможность ее практической реализации с помощью термометров, принцип действия которых предусматривает использование зависимости каких-либо свойств веществ от температуры.

Такая шкала была создана в 1927 году и получила название Международной температурной шкалы 1927 года (МТШ-27). Шкала представляла собой метод аппроксимации к термодинамической температурной шкале с точностью, обусловленной знаниями и техническими возможностями того времени.

В дальнейшем международная температурная шкала периодически усовершенствовалась примерно через каждые 20 лет. Основными направлениями совершенствования были:

- расширение диапазона температуры, охватываемого шкалой;
- более точное приближение к термодинамической температурной шкале;
- повышение гладкости шкалы.

В 1990 году была принята ныне действующая международная температурная шкала МТШ-90, которая охватывает диапазон от 0,8 К и распространяется вверх без ограничения. В 2000 году была принята Временная международная низкотемпературная шкала ВМНШ-2000, которая охватывает диапазон от 0,001 до 1 К.

В 2010 году истекает очередной 20-летний цикл и стоит вопрос дальнейшего совершенствования международной температурной шкалы.

Современная ситуация характеризуется тем, что не существует четких представлений о путях дальнейшего совершенствования шкалы, а также недостаточно экспериментальных данных для принятия решений, касающихся совершенствования шкалы даже в тех случаях, когда такие представления имеются.

В настоящее время рассматриваются следующие возможные направления работ:

1. Создание новой международной температурной шкалы.
2. Сохранение и небольшая модернизация МТШ-90
3. Отказ от практических шкал и воспроизведение термодинамической температурной шкалы с помощью первичных термометров.
4. Новое определение единицы температуры.

Многие годы международный комитет по мерам и весам имел долговременную цель определения всех основных единиц через фундаментальные физические константы, чтобы исключить зависимость от свойств каких-либо артефактов или материалов и обеспечить долговременную стабильность единиц.

В Рекомендации 1 от 2005 года, МКМВ утвердил подготовку шагов по направлению к новому определению килограмма, ампера, кельвина и моля через фундаментальные физические константы.

Единица температуры  $T$ , кельвин, может быть определена через единицу энергии системы СИ, джоуль, фиксируя величину постоянной Больцмана  $k$ , которая является константой пропорциональности между температурой и тепловой энергией:

$$E = 3/2 NkT,$$

где:  $E$ —средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул,  $T$ —термодинамическая температура,  $N$ — полное число молекул в газе.

Предложены для обсуждения следующие формулировки определения кельвина:

**Кельвин** - изменение термодинамической температуры, которое приводит к изменению тепловой энергии  $kT$  точно на  $1,380\ 65X\ X \cdot 10^{-23}$  джоуля.

**Кельвин** - изменение термодинамической температуры  $T$ , которое приводит к изменению тепловой энергии  $kT$  точно на  $1,380\ 65X\ X \cdot 10^{-23}$  джоуля, где  $k$  – постоянная Больцмана.

**Кельвин** - термодинамическая температура, при которой средняя поступательная кинетическая энергия атомов в идеальном газе в равновесии равна точно  $(3/2) \cdot 1,380\ 65X\ X \cdot 10^{-23}$  джоуля.

**Кельвин** - такая единица термодинамической температуры, при которой, постоянная Больцмана равна точно значению  $1,380\ 65X\ X \cdot 10^{-23}$  джоуля на кельвин.

В 2005 году в Консультативном комитете по термометрии была сформирована рабочая группа TG-SI, целью которой является оценкой последствий введения нового определения кельвина. Рабочая группа TG-SI уже представила некоторые свои результаты в Международный комитет по термометрии и Консультативный комитет по единицам для их обсуждения. В настоящее время идет дискуссия по вопросу целесообразности введения нового определения.

Основным аргументом в пользу нового определения кельвина является то, что изменение обобщит определение, делая его независимым от какой-либо материальной субстанции, технической реализации, а также температуры или температурного диапазона. В частности, новое определение будет совершенствовать температурные измерения в диапазоне, далеком от тройной точки воды.

Вместе с тем, сторонники нового определения единицы температуры соглашаются, что это приведет к потере точности воспроизведения кельвина.

В настоящее время практическая воспроизводимость температуры тройной точки воды (основы современного определения единицы температуры) национальными эталонами разных стран составляет  $\pm 20$ мкК.

Вместе с тем, если бы рекомендованное CODATA в 2002 году значение постоянной Больцмана было бы сейчас принято равным  $k = 1.380\ 650\ 5 \cdot 10^{-23}$  Дж  $\cdot$  К<sup>-1</sup> при относительной неопределенности  $1.8 \cdot 10^{-6}$ , и было бы использовано для определения кельвина, то температура тройной точки воды осталась бы равной 273,16 К. Однако, вместо точного значения по определению, это значение имело бы стандартную неопределенность  $u(TTPW) = 0.49$ мК. Таким образом, новое определение кельвина приведет к увеличению погрешности измерений.

Кроме того, переход на новое определение кельвина предполагает в обозримом будущем использование первичных термометров в качестве государственных первичных эталонов единицы температуры. Такие приборы чрезвычайно сложны и дороги поэтому до настоящего времени они использовались в нескольких странах и только для научных исследований (оценки отклонения международной температурной шкалы от термодинамической, определения постоянной Больцмана). При этом рассматривались и сопоставлялись результаты нескольких разных лабораторий, так как оценить систематическую погрешность таких измерений чрезвычайно сложно.

Определение единицы температуры через энергию поступательного движения молекул идеального газа представляется достаточно абстрактным и требует, на мой взгляд, дополнительных исследований для того, чтобы оценить его целесообразность и последствия.

Представляется целесообразным не форсировать переход на новое определение кельвина в 2012 году, а продолжить исследования до следующей Генеральной конференции по мерам и весам.