



ВНИИМ

ФГУП "Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И.Менделеева"

ПЕРЕОПРЕДЕЛЕНИЕ КЕЛЬВИНА И ЕГО ПОСЛЕДСТВИЯ В ПРАКТИКЕ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

www.vniim.ru

Докладчик:

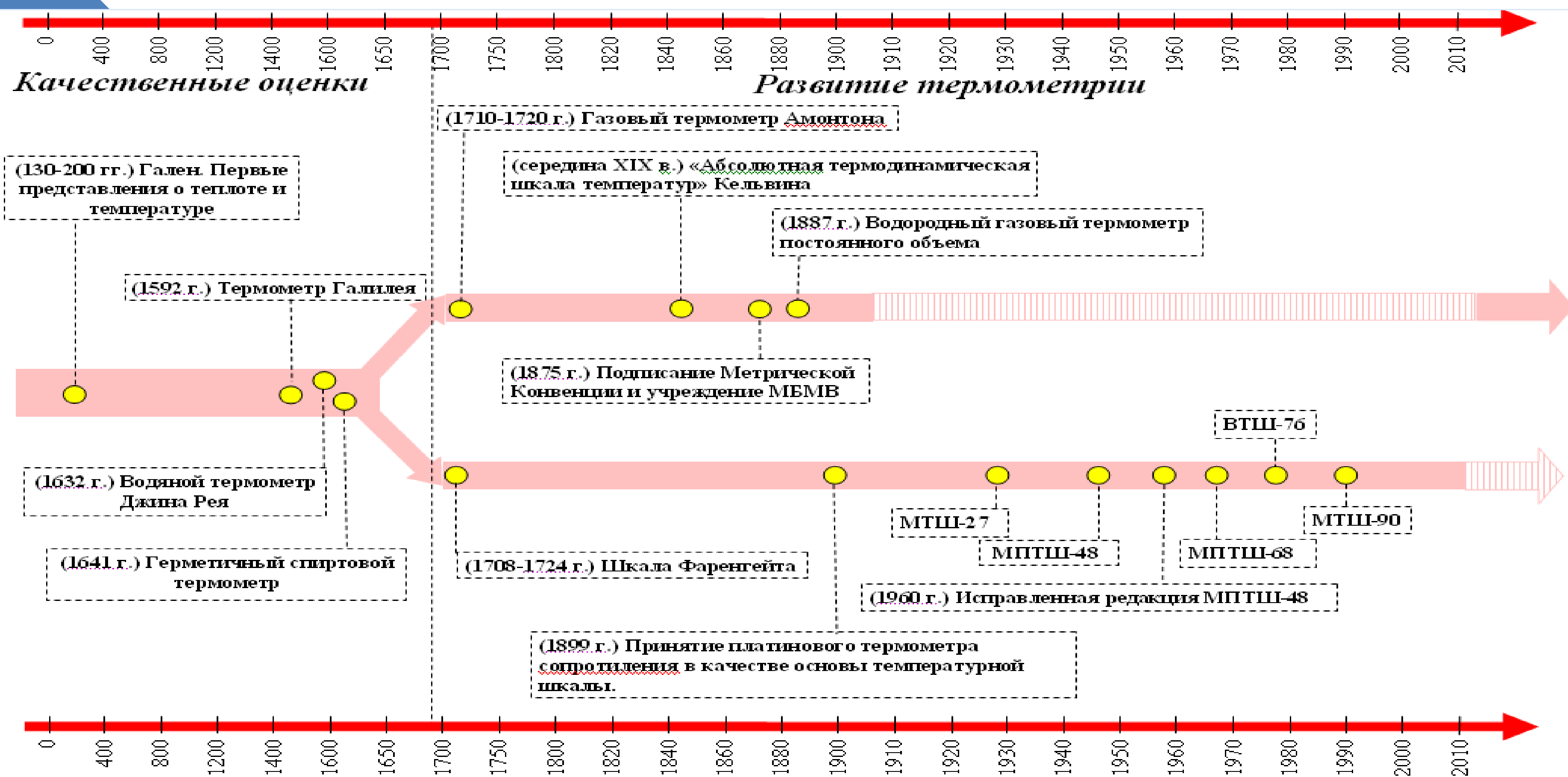
Походун А.И., ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»



ВНИИМ

им. Д.И.Менделеева

История развития термометрии

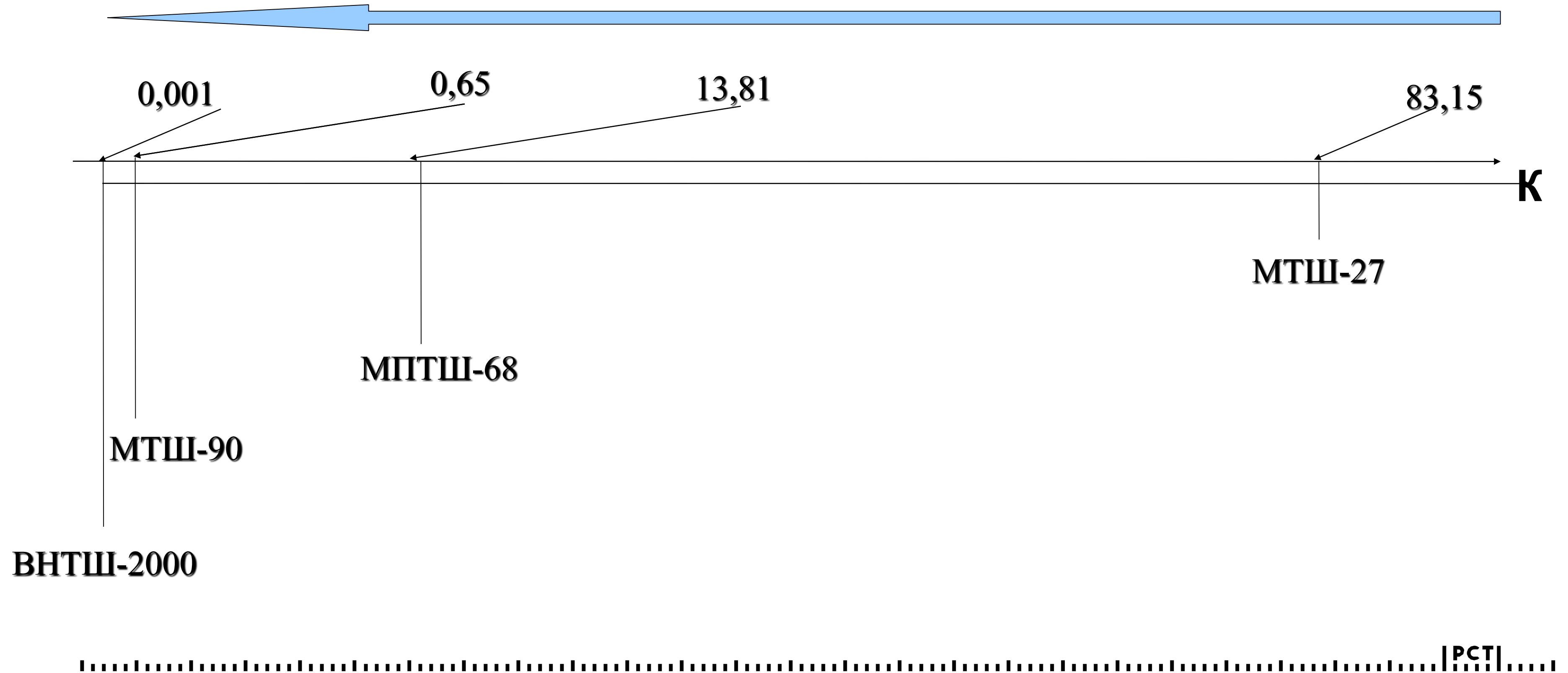




ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ШКАЛЫ

- 1. Расширение диапазона температуры,
охватываемой шкалой**
- 2. Приближение к термодинамической
температурной шкале.**
- 3. Повышение гладкости шкалы**

Основные направления совершенствования международной температурной шкалы (расширение диапазона температуры)



Повышение гладкости шкалы

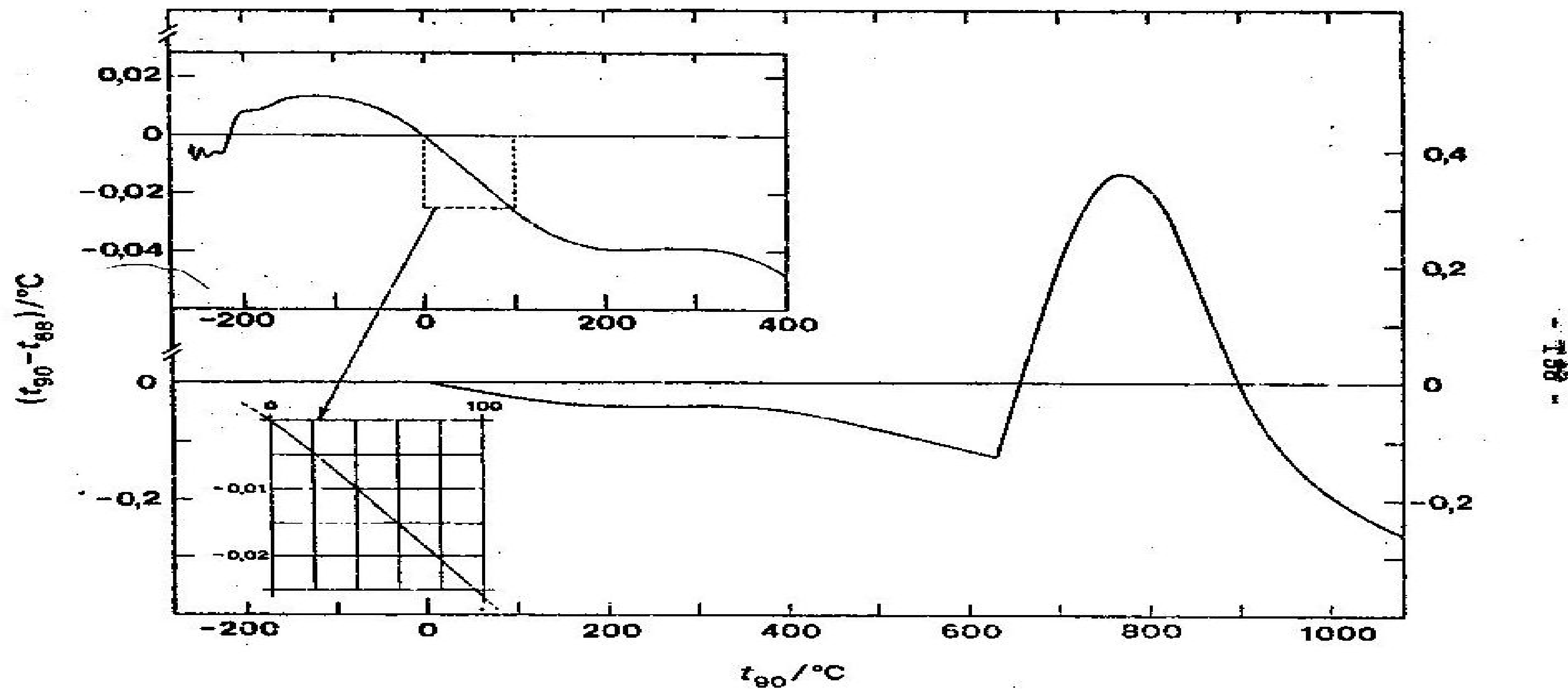
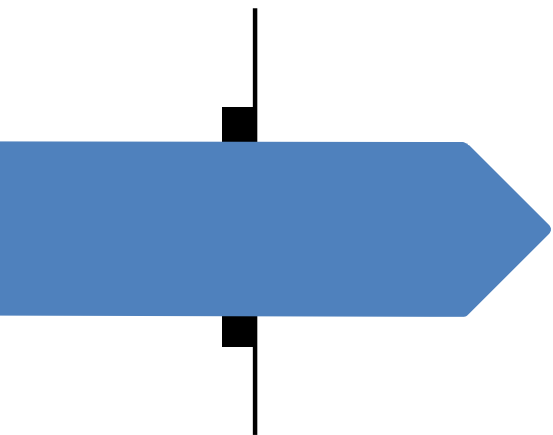


Рис.1. Разница между МТЦ-90 и МГТЦ-68



ЧТО ДАЛЬШЕ ???

1927 г. МТШ-27

1948 г. МПТШ-48

1968 г. МПТШ-68

1989 г. МТШ-90

2000 г. ВНТШ -2000



Возможные пути дальнейших работ

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

Переопределение кельвина

Многие годы Международный комитет по мерам и весам (МКМВ) имел долговременную цель определения всех основных единиц через фундаментальные физические константы, чтобы исключить зависимость от свойств каких-либо артефактов или веществ и обеспечить инвариантность единиц в пространстве и времени.

Существовавшее ранее определение единицы температуры - кельвина как $1/273,16$ температуры тройной точки воды подразумевает использование артефакта – ячейки для реализации тройной точки воды (ТТВ), свойства которой зависят от целого ряда трудно контролируемых параметров.

Кроме того, выявлено наличие долговременного дрейфа температуры ТТВ вследствие частичного растворения применяемых для изготовления ячеек боросиликатного и кварцевого стекла, а также из-за вариаций изотопного состава применяемой воды.

В 2005 году в Консультативном комитете по термометрии была сформирована рабочая группа **TG-SI**, целью которой являлась оценка последствий введения нового определения кельвина.

.....|PCT|.....

Новое определение кельвина

Рабочая группа TG-SI обобщив результаты всех исследований, относящихся к возможному новому определению кельвина, рекомендовала переопределение этой единицы через единицу энергии системы SI, джоуль, фиксируя величину постоянной Больцмана k , которая является константой пропорциональности между температурой и тепловой энергией:

$$E = \frac{3}{2} NkT,$$

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

Первичные термометры, которые были использованы для определения постоянной Больцмана

CVGT

AGT

DCGT

RIGT

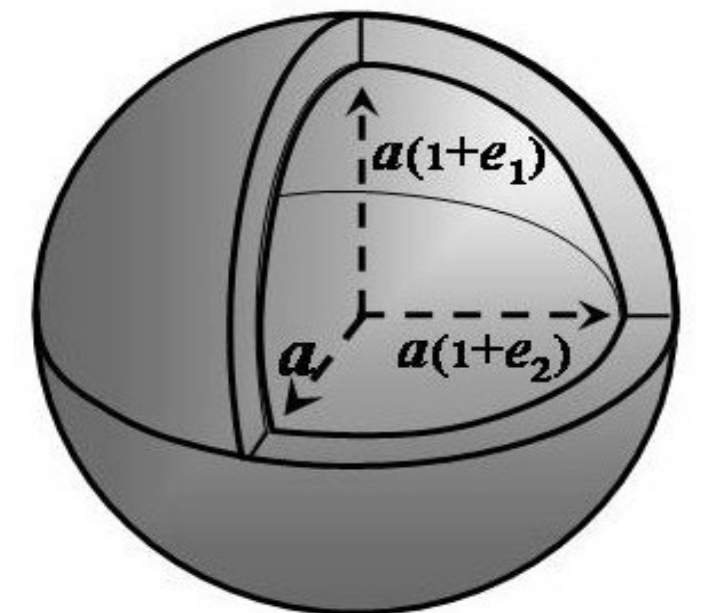
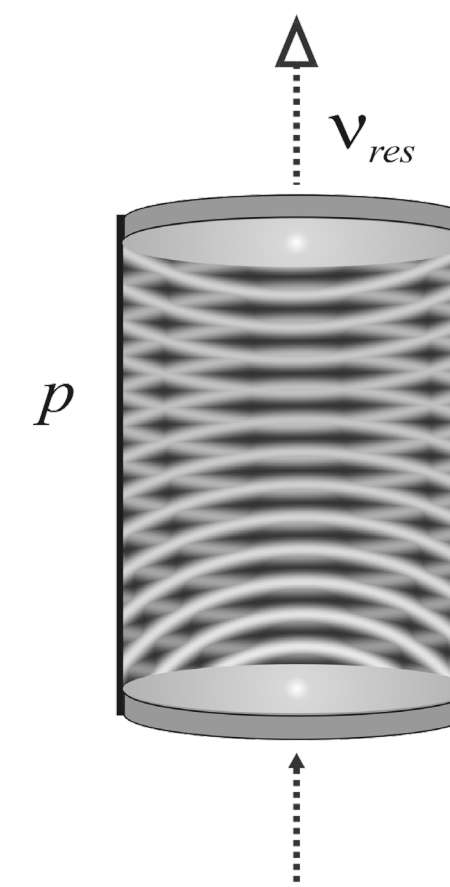
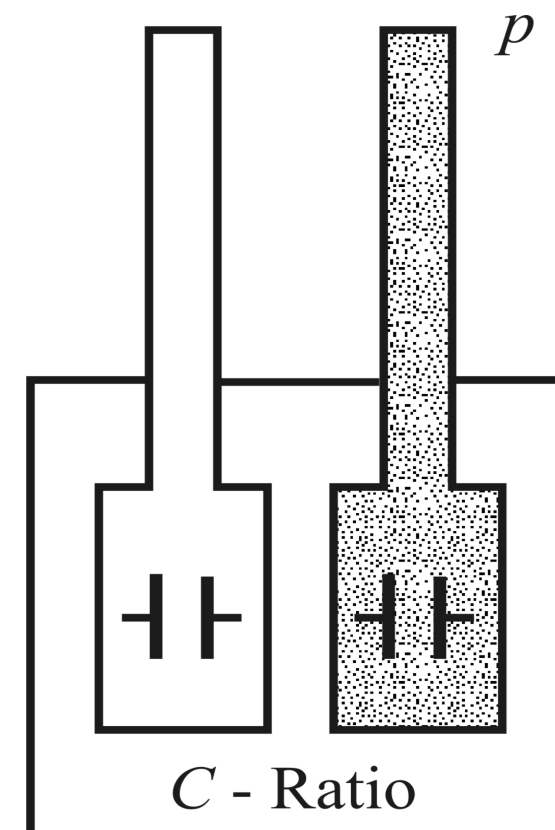
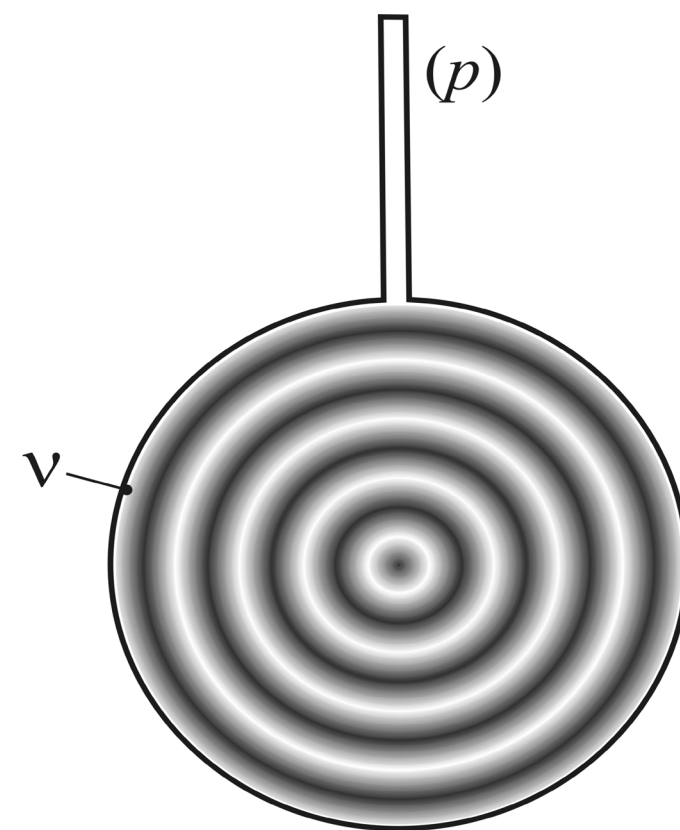
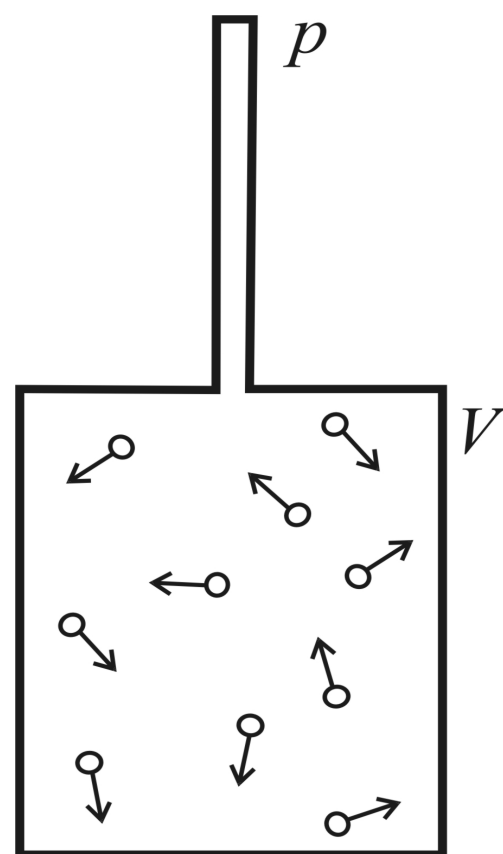
QSCR

$$p V_m = N_A k T$$

$$u_0 = (\gamma_0 R T / M)^{1/2}$$

$$p = k T (\varepsilon - \varepsilon_0) / \alpha_0$$

$$p = k T (n^2 - 1) \varepsilon_0 / \alpha_0$$



CVGT — газовый термометр постоянного объема

AGT - акустический газовый термометр

DCGT - диэлектрический газовый термометр

RIGT — газовый термометр показателя преломления

QSCR — термометр на основе квазисферического резонатора

РСТ



ТОЧНОСТЬ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСТОЯННОЙ БОЛЬЦМАНА

Метод измерения.	Погрешность, ppm
CVGT	-
AGT	1
DCGT	2
QSCR	10
RIGT	30

CVGT — газовый термометр постоянного объема

AGT — акустический газовый термометр

DCGT — диэлектрический газовый термометр

RIGT — газовый термометр показателя преломления

QSCR — термометр на основе квази-сферического резонатора

Определения кельвина

26-ая Генеральная конференция по мерам и весам одобрила обновленную международную метрическую систему единиц SI.

Эта система предусматривает новые определения четырех основных единиц физических величин на основе фундаментальных физических констант. Одной из единиц, получивших новое определение, является кельвин.

Определение кельвина, одобренное 13th CGPM meeting in 1967, Resolutions 3 and 4, имело следующую формулировку:

КЕЛЬВИН, символ K., является единицей термодинамической температуры СИ.

Кельвин равен 1/273,16 части термодинамической температуры тройной точки воды.

В соответствии с решением 26-й Генеральной конференции по мерам и весам новое определение кельвина имеет следующую формулировку:

Кельвин, символ K, является единицей термодинамической температуры. Он определяется путем принятия фиксированного числового значения постоянной Больцмана k которое должно составлять $1,380\ 649 \times 10^{-23}$ и которое выражено в единицах Дж K^{-1} , что эквивалентно $kg\ m^2\ s^{-2}, K^{-1}$

.....|PCT|.....

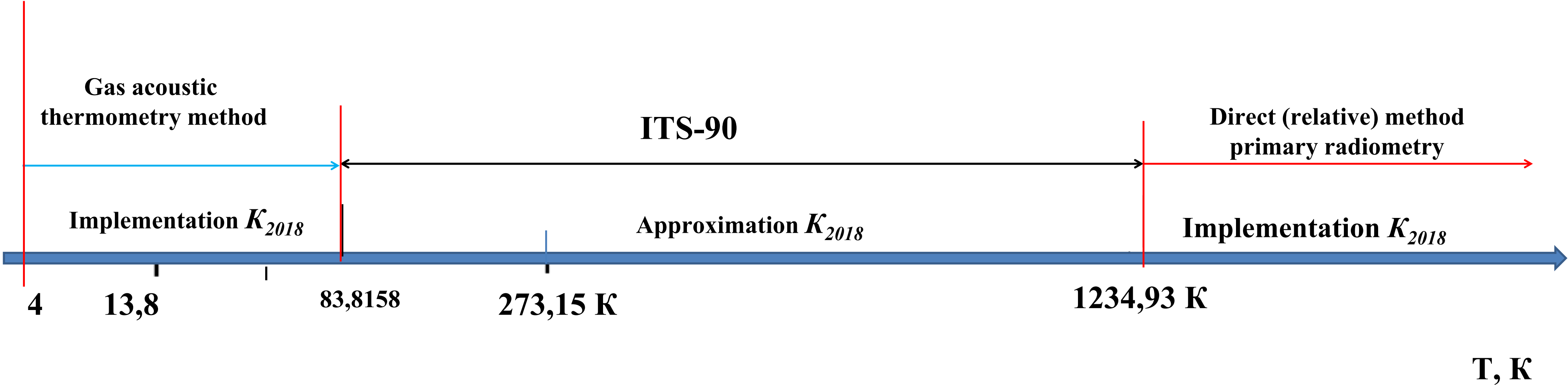
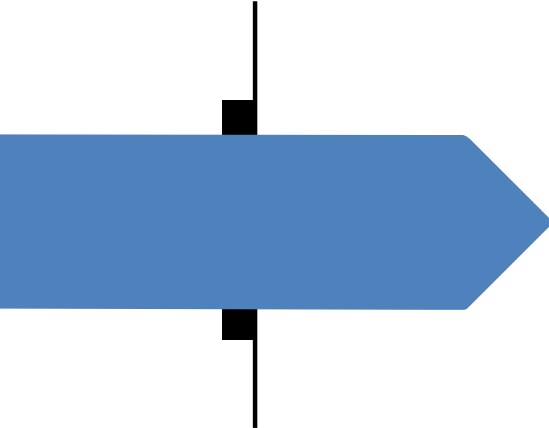
Последствия переопределения кельвина

1) Новое определение кельвина не влияет непосредственно на статус МТШ-90 или ВНТШ-2000, однако имеются значительные преимущества для измерения термодинамической температуры (акустический газовый термометр), особенно – ниже 20 К и выше 1300 К (радиационный термометр), где первичные термометры могут обеспечить более низкую неопределённость, чем доступную в настоящее время по МТШ-90.

2) Предполагается, что в обозримом будущем МТШ-90 и ВНТШ-2000 по-прежнему будут использоваться как точные, воспроизводимые и удобные аппроксимации к термодинамической температуре. В частности, наиболее точные измерения температуры в основном диапазоне – приблизительно от 13 до 1235 К – будут по-прежнему прослеживаться к эталону единицы температуры через платиновые термометры сопротивления, откалиброванные по МТШ-90». . Поскольку МТШ-90 не изменится и сохранит определенные значения T_{90} для всех реперных точек»,

3) Долговременным следствием нового определения является то, что поскольку первичные термометры постоянно совершенствуются и их погрешность снижается, они будут все более широко использоваться и постепенно заменят МТШ-90

Provisional international thermodynamic temperature scale





Работы, планируемые для совершенствования международной температурной шкалы

1. Продолжение анализа опубликованных работ, касающихся величин разностей $T - T_{90}$, а также определение областей необходимых дальнейших исследований.
2. Совершенствование интерполяционных приборов для диапазона температур от точки затвердевания Al до точки затвердевания Ag , более надежных, чем высокотемпературный термометр сопротивления (возможно Au/Pt термопара).
3. Исследование возможности использование новых математических методов для построения новых интерполяционных функций.
4. Завершение исследований, касающихся существующих в МТШ-90 реперных точек (например влияние изотопного состава неона) и проведение исследований с целью создания новых реперных точек ввиду ограничений в использовании точки ртути.
5. Исследования высокотемпературных термопар (Pt/Pd выше $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ и других выше $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$) и высокотемпературных реперных точек (например эвтектик M(C)-C) для неконтактной и контактной термометрии.



ВНИИМ

ФГУП "Всероссийский научно-
исследовательский институт
метрологии им. Д.И.Менделеева"

**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!**

www.vniim.ru



ВНИИМ

им. Д.И.Менделеева

2. Возникшие проблемы

- 1) Как совместить МТШ-90 и введение в практику новое определение кельвина?**
- 2) Наличие двух определений кельвина - одновременное использование в практике измерений двух международных систем единиц физических величин SI.**
- 2) Куда должна быть прослеживаемость измерений температуры?**
- 3) Статус и значение тройной точки воды .**
- 4) Отмена статуса ТТВ и температура Цельсия.**

Предыдущее определение кельвина установило температуру тройной точки воды $T_{\text{ТТВ}}$ равной $273,16\text{ K}$. Поскольку новое определение фиксирует числовое значение k , $T_{\text{ТТВ}}$ должна теперь определяться экспериментально. На момент принятия этого определения $T_{\text{ТТВ}}$ была равна $273,16\text{ K}$ с относительной погрешностью $3,7 \times 10^{-7}$, полученной на основе измерений k , предшествующих переопределению.

Различие и эквивалентность определений кельвина

Основой старого определения кельвина, K_{68} , является температурная шкала, масштаб которой является единицей температуры.

Новое определение единицы температуры, K_{2018} , не связано с построением шкалы. Его основой является константа Больцмана, численное значение которой равно точно $1,380\,649 \times 10^{-23}$ Дж/К.

Константа Больцмана измерена при температуре тройной точки воды, значение которой было принято равным $273,16\text{ K}$. То есть, значение константы Больцмана определено таким образом, что единица температуры, K_{68} , определенная 13-ой Генеральной конференцией по мерам и весам (Резолюция3), эквивалентна единице температуры K_{2018} при условии, что константа Больцмана, k_B , равна точно значению $1,380\,649\,03(51) \cdot 10^{-23}$ Дж \cdot К⁻¹). То есть:

$$K_{68} \leftrightarrow K_{2018}$$

Вследствие сказанного можно сделать вывод о том, что если константа Больцмана, k_B , равна точно значению $1,380\,649\,03(51) \cdot 10^{-23}$ Дж \cdot К⁻¹, то новое определение кельвина, K_{2018} , не противоречит его определению K_{68} .

То есть $K_{2018} = K_{68} = 1/273,16$ часть температуры тройной точки воды в соответствии с Resolutions 3 and 4 of 13th CGPM meeting in 1967.

Difference and equivalence of definitions of kelvin

The basis of the old definition of kelvin, K_{68} , is a temperature scale whose scale is a unit of temperature.

The new definition of the unit of temperature, K_{2018} , is not related to the construction of the scale. Its basis is the Boltzmann constant, the numerical value of which is exactly $1.380\,649 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

The Boltzmann constant is measured at the temperature of the triple point of water, the value of which was taken to be 273.16 K. That is, the value of the Boltzmann constant is defined in such a way that the unit of temperature, K_{68} , defined by the 13th General Conference on Weights and Measures (Resolution 3), is equivalent to temperature unit K_{2018} , provided that the Boltzmann constant, k_B , is exactly equal to the value $1.380\,649\,03(51) \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$). That is:

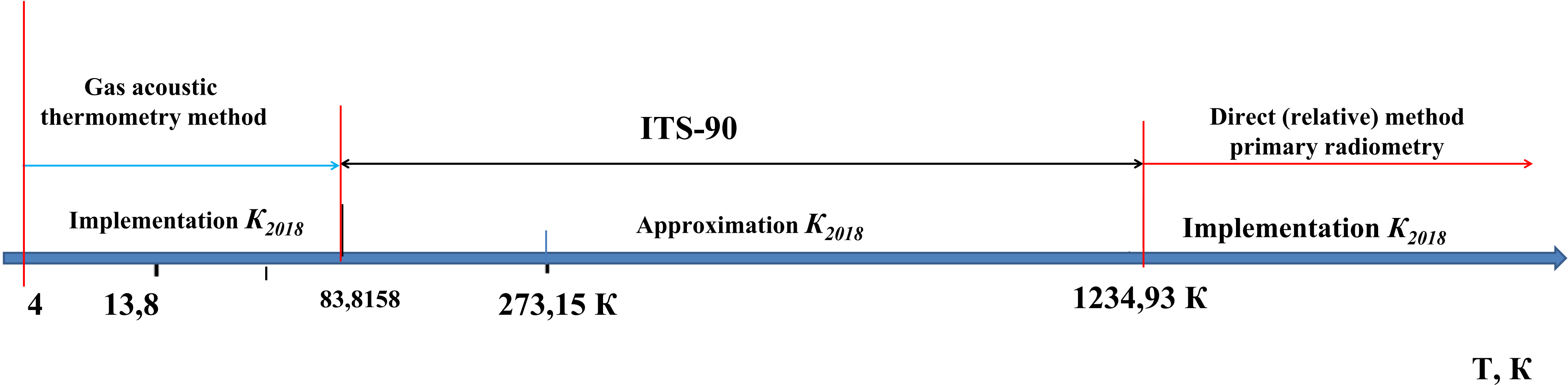
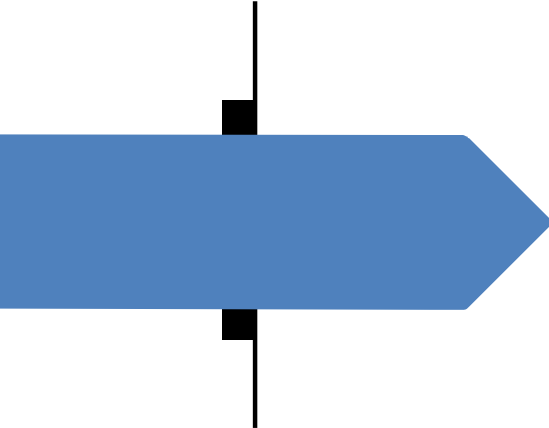
$$K_{68} \leftrightarrow K_{2018}$$

As a result of the above, we can conclude that if the Boltzmann constant, k_B , is exactly equal to the value of $1.380\,649\,03(51) \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$., then the new definition of kelvin, K_{2018} , his definition of K_{68} . That is, $K_{2018} = K_{68} = 1/273.16$ of the triple point temperature of water according to Resolutions 3 and 4 of the 13th CGPM meeting in 1967.

Переопределение кельвина и статус тройной точки воды.

Температуру тройной точки воды можно рассматривать как физическую константу, поскольку равновесие между твердой, жидкой и газовой фазами воды существует при единственных значениях температуры и давления, а не в каком-либо интервале значений этих физических величин.

Provisional international thermodynamic temperature scale



Аппаратура для реализации реперных точек температурной шкалы в диапазоне 0,01-961,78 °C



Термостаты для реализации реперных точек МТШ-90



Компаратор сопротивления и эталонные меры сопротивления



Ампулы с металлами

Реализации прямого метода измерения - измерение спектральной мощности излучения абсолютно черного тела, прослеживаемого к единицам из СИ.

Спектральная плотность яркости (спектральная яркость), $L_{b,\lambda}$, представляет собой мощность, излучаемую черным телом в единице телесного угла на интервале длины волны $d\lambda$, и описывается законом Планка:

$$L_{b,\lambda}(\lambda, T)d\lambda = \varepsilon(\lambda, T) \cdot \left(\frac{2hc^2}{n^2\lambda^5} \right) \cdot \frac{d\lambda}{\exp(hc/n\lambda kT) - 1}$$

где:

k – постоянная Больцмана;

h – постоянная Планка;

c – скорость света;

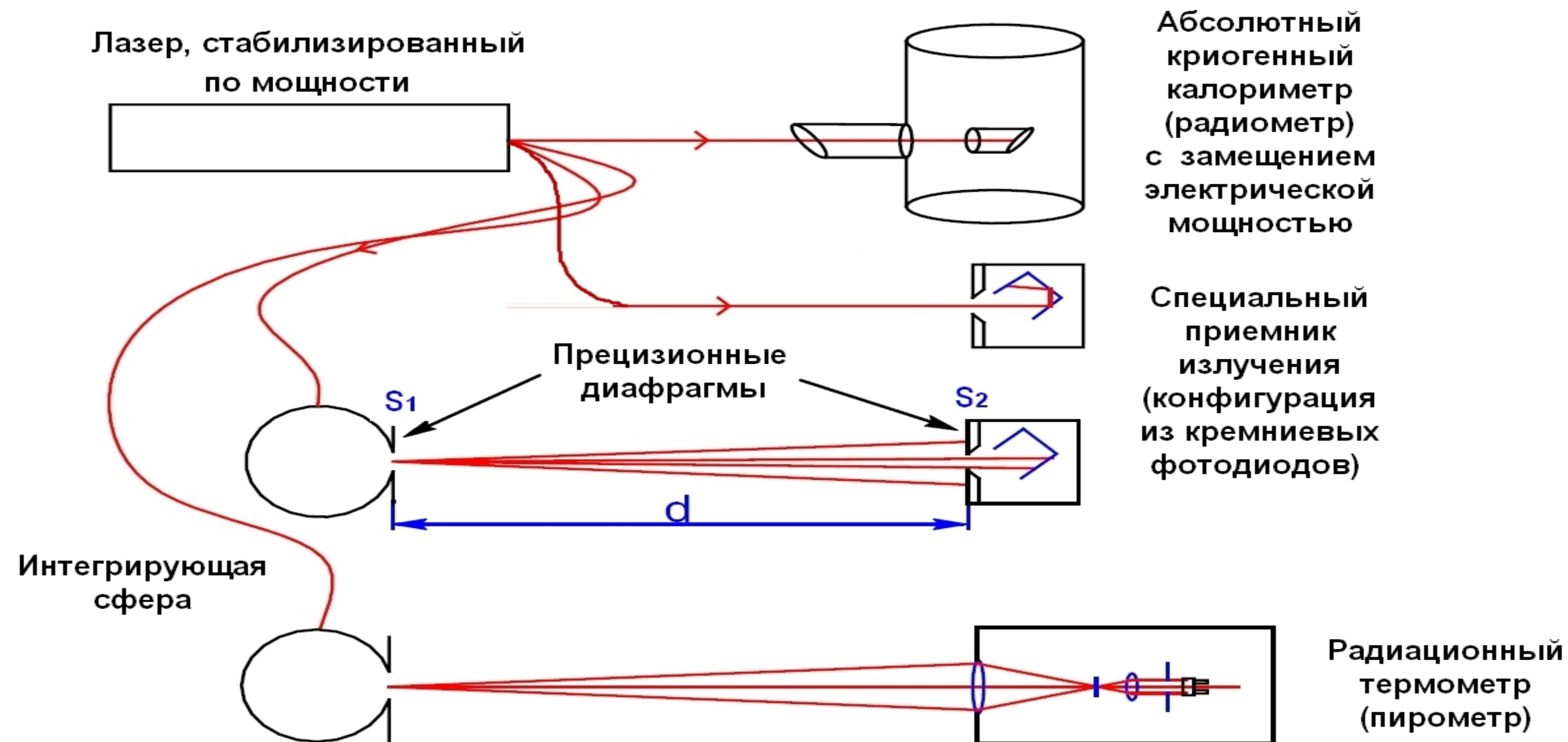
n - показатель преломления газа в оптической оси;

λ - длина волны в газе;

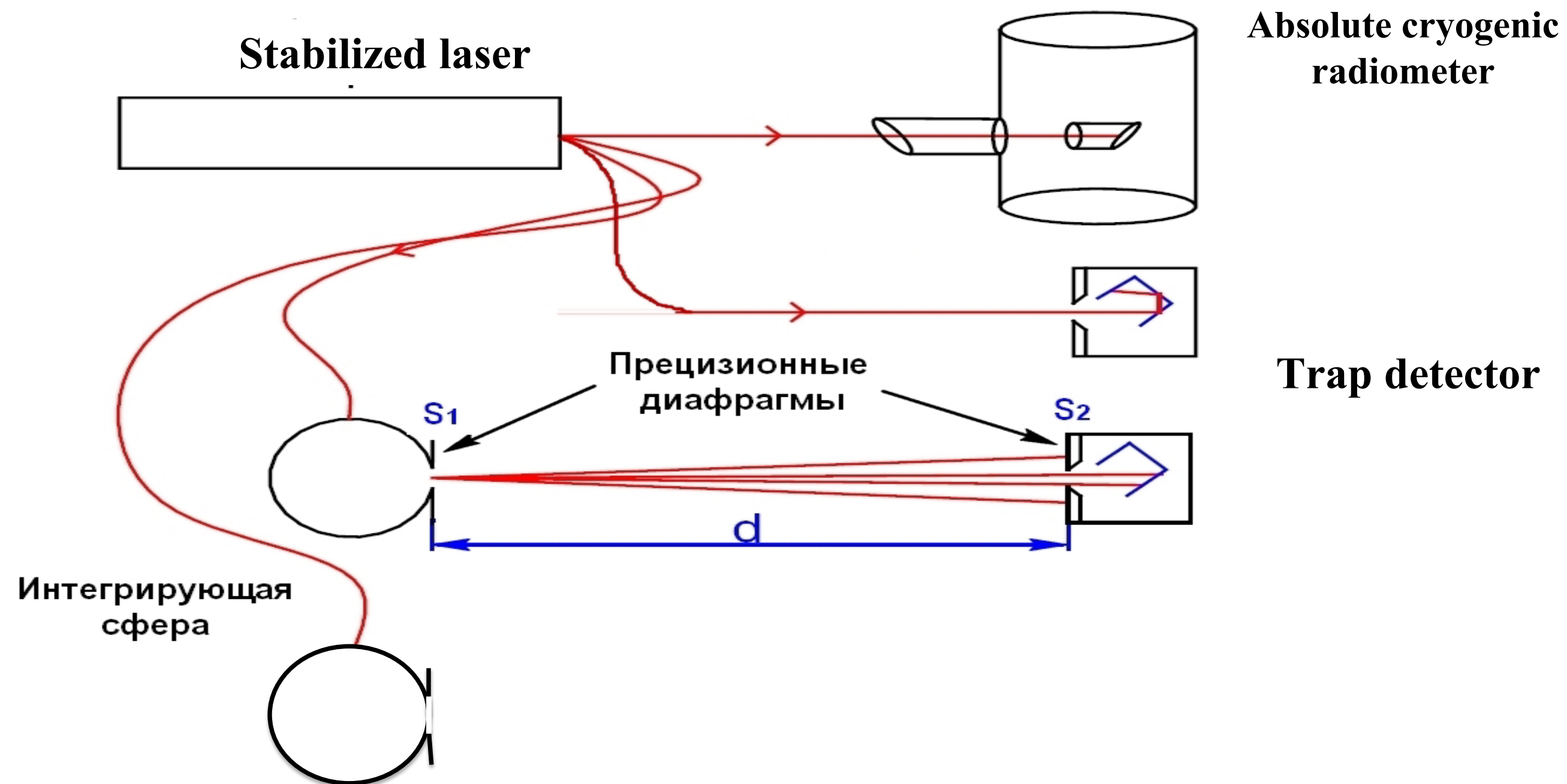
$\varepsilon(\lambda, T)$ – излучательная способность (коэффициент черноты);

T – термодинамическая температура.

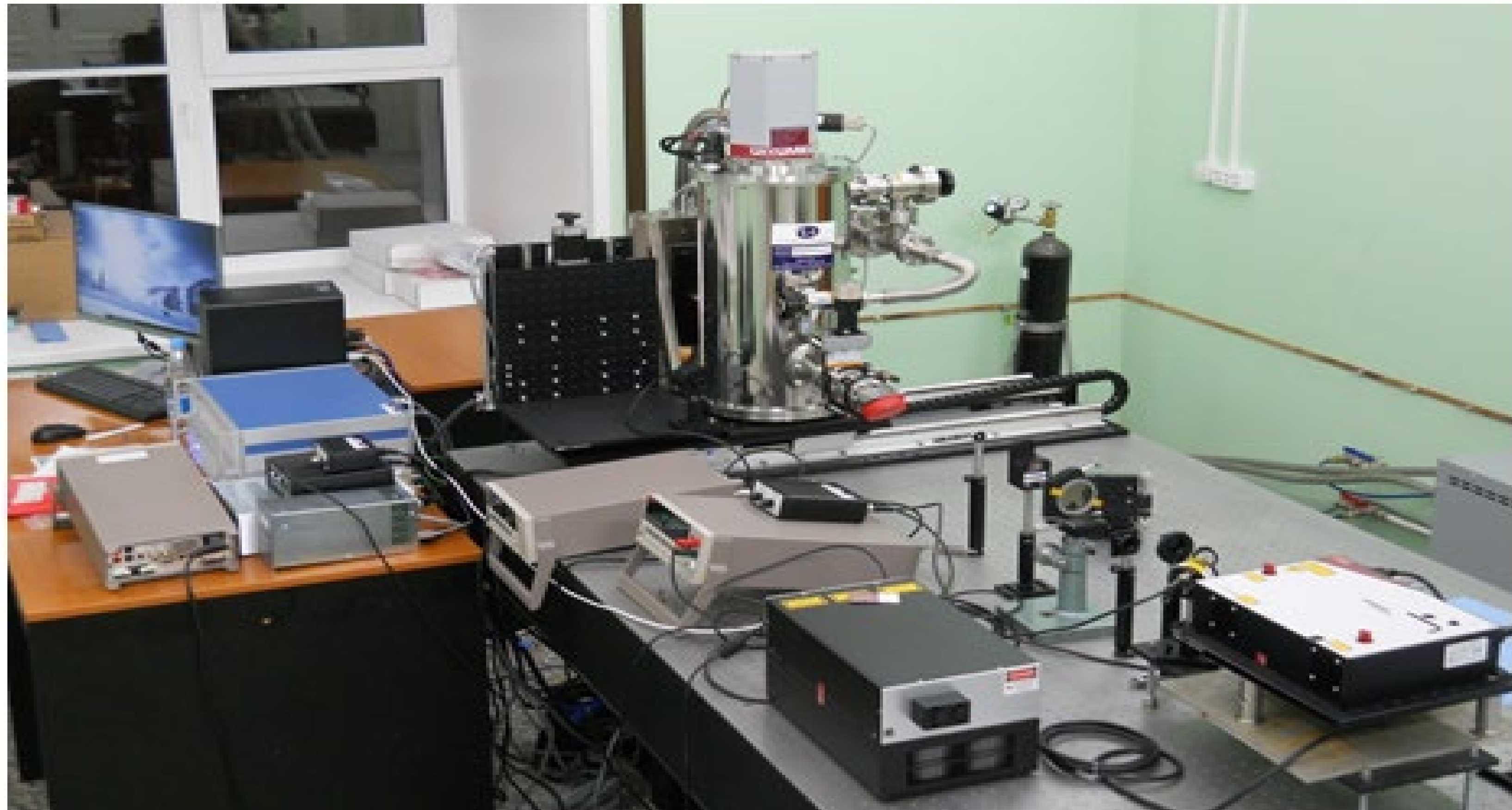
Воспроизведение и передача единицы температуры по тепловому излучению прямым методом



Воспроизведение и передача единицы температуры по тепловому излучению прямым методом



Аппаратура для измерения мощности теплового излучения на основе криогенного радиометра (реализация прямого метода)



Воспроизведение кельвина методом условной первичной термометрии

1. Метод предлагает использование высокотемпературных реперных точек на основе фазовых переходов эвтектик металл-углерод. Реперным точкам, используемым для реализации этого метода должны быть уже присвоены значения термодинамической температуры и неопределенность, имеющая место при реализации метода условной первичной термометрии.
2. Ожидается, что этот метод даст неопределенность, подобную (или немного выше), чем первичная радиометрия, но будет значительно легче осуществим.
3. Рассматриваются три варианта реализации метода условной первичной термометрии :
 - экстраполяция, основанная на одной реперной точке;
 - интерполяция между двумя или тремя реперными точками;
 - подбор методом наименьших квадратов, если больше чем три реперных точки используются.

Аппаратура для реализации фазовых переходов реперных точек

(реализация прямого и косвенного методов)



Ампулы с эвтектиками Co-C, Re-C и W-C с температурами плавления 1324 °C, 2474 °C и 2749°C соответственно (реализация косвенного метода)



Результаты оценки соответствия ОКР «Кельвин-2а», требованиям технического задания на ОКР «Кельвин-2а», сделанной по результатам приемочных испытаний

Наименование вида испытаний и проверок	Номер пункта ТЗ	Номер пункта ПМИ	Основание для оценки соответствия характеристик требованиям ТЗ	Отметка о соответствии характеристик требованиям ТЗ
Проверка соответствия номенклатуры представленной на испытания рабочей конструкторской документации нормативным документам	-	A.1	Протокол № 1 приемочных испытаний от 17.10.2019 г.	-
Рассмотрение актов и протоколов предварительных испытаний с целью оценки пригодности эталона к испытаниям	-	A.2	Протокол № 2 приемочных испытаний от 17.10.2019 г.	-
Рассмотрение материалов предварительных испытаний для принятия протоколов ПИ в зачёт категории приемочных испытаний	-	A.3	Протокол № 2 приемочных испытаний от 17.10.2019 г.	-
Проверка состава и комплектности эталона	3.1.1	A.4	Протокол № 3 приемочных испытаний от 17.10.2019 г.	соответствует

Выполнение технического задания на ОКР «Кельвин 2а»

Проверка требований назначения	3.2.1	A.5	Зачтено протоколами предварительных испытаний (протокол №241/1-2019-П от 07.08.2019 241/14-2019-П от 22.08.20 от 20.08.2019; Протокол №4 приемочных испытаний от 15.10.2019 г. Протокол №5 приемочных испытаний от 17.10.2019 г.	соответствует
Проверка требований стойкости к внешним воздействиям	3.3	A.6.1	Протокол №6 приемочных испытаний от 17.10.2019 г.	соответствует
Проверка требований надежности	3.4	A.6.2	Протокол №7 приемочных испытаний от 18.10.2019 г.	соответствует
Проверка требований эргономики и технической эстетики.	3.5	A.7	Протокол №8 приемочных испытаний от 18.10.2019 г.	соответствует
Проверка требований к эксплуатации, хранению, удобству технического обслуживания и ремонта	3.6.1	A.8	Протокол №9 приемочных испытаний от 18.10.2019 г.	соответствует
Проверка требований транспортабельности	3.7	A.9	Протокол №10 приемочных испытаний от 18.10.2019 г.	соответствует

Выполнение технического задания на ОКР «Кельвин 2а»

Проверка требований безопасности	3.8	A.10	Протокол №11 приемочных испытаний от 18.10.2019 г.	соответствует
Проверка требований стандартизации, унификации и каталогизации	3.9	A.11	Протокол №12 приемочных испытаний от 18.10.2019 г.	соответствует
Проверка требований технологичности	3.10	A.12	Протокол №13 приемочных испытаний от 18.10.2019 г.	соответствует
Проверка конструктивных требований	3.11	A.13	Протокол №14 приемочных испытаний от 18.10.2019 г.	соответствует
Проверка требований к нормативно- техническому обеспечению	4.1	A.14	Протокол №15 приемочных испытаний от 18.10.2019 г.	соответствует
Проверка требований к метрологическому обеспечению	4.2	A.14.2	Протокол №16 приемочных испытаний от 18.10.2019 г.	соответствует
Проверка требований к диагностическому обеспечению	4.3	A.14.3	Протокол №17 приемочных испытаний от 18.10.2019 г.	соответствует
Проверка маркировки	5.1	A.15	Протокол №18 приемочных испытаний от 18.10.2019 г.	соответствует
Проверка требований обеспечения режима секретности	6.1	A.16.1	Протокол №19 приемочных испытаний от 18.10.2019 г.	соответствует
Требования защиты от ИТР	6.2	A.16.2	Протокол №20 приемочных испытаний от 18.10.2019 г.	соответствует
Проверка требований по обеспечению конфиденциальности	7	A.17	Протокол №21 приемочных испытаний от 18.10.2019 г.	соответствует
Проверка требований в части достижения целевых индикаторов	11	A.18	Протокол №21 приемочных испытаний от 18.10.2019 г.	соответствует

Выполнение требований к техническим характеристикам эталона

Наименование метрологических и технических характеристик	Требования ТЗ к метрологическим характеристикам	Метрологические характеристики, полученные в результате испытаний
Диапазон воспроизводимой температуры	от 0 °С до 3200 °С	от 0 °С до 3200 °С
СКО	от $0,3 \cdot 10^{-4}$ °С до 1,0 °С	от $0,2 \cdot 10^{-4}$ °С до 0,95 °С
НСП	от $0,4 \cdot 10^{-4}$ °С до 0,3 °С	от $0,03 \cdot 10^{-3}$ °С до 0,3 °С
Расширенная неопределенность при k=2	от $0,8 \cdot 10^{-4}$ °С до 2,0 °С	от $0,06 \cdot 10^{-3}$ °С до 2,0 °С

В соответствии с ТЗ технические характеристики модернизируемого эталона не уступают характеристикам аналогичных эталонов зарубежных промышленно развитых стран

Результаты ключевых сличений К9-1 модернизированного первичного эталона в диапазоне от 0,01К до 692,687 К

Реперная точка	Расширенная неопределенность (K=2) $U_{\Sigma}(FP)$, мК		Разность $\Delta T(PTB-VNIIM)$, мК
	РТВ	ВНИИМ	К9-1
Ga	0.27	0.134	-0,02
In	0.86	0.52	0,55
Sn	0.90	0.60	0,55
Zn	1.30	0.92	0,44

Результаты измерения термодинамической температуры фазовых переходов меди и эвтектик прямым методом

Металл	$T_{\text{ВНИИМ}}, \text{ К}$	$T, \text{ К}$	$\Delta T, \text{ К}$
Cu	1357,77	1357,77 *	0,001
Co-C	1597,23	1597,36 **	0,126
Re-C	2746,82	2747,00 **	0,184
WC-C	3020,93	3021.00***	0,070

* - значение по МТШ-90

** - Woolliams ER et al. 2016 Thermodynamic temperature assignment to the point of inflection of the melting curve of high-temperature fixed points. Phil. Trans. R.

*** - M. Sadli, B. Khlevnoy, et al. 2016. Comparison and determination of the melting temperature of WC-C cells developed at VNIIOFI and LNE-CNAM. Tempmeko 16

Сравнение эталонов единицы температуры ведущих национальных метрологических институтов в диапазоне выше 962 °С

Параметр	НМИ					
	ВНИИМ (Россия)	PTB (Германия)	NIST (США)	LNE-CNAM (Франция)	NMIJ (Япония)	NIM (Китай)
Диапазон температуры, °С	от 962 до 3200	от 962 до 3000	от 962 до 4200	от 962 до 3200	от 962 до 2800	от 962 до 3000
Способность воспроизводить Международную температурную шкалу в диапазоне, рекомендованном Консультативным комитетом по термометрии	да	да	да	да	да	да
Способность воспроизводить единицу температуры в соответствии с ее новым определением методом условной первичной термометрии в диапазоне выше 1235 К	да	да	да	да	да	да
Способность воспроизводить единицу температуры в соответствии с ее новым определением прямым методом в диапазоне выше 1235 К	да	да	да	да	да	да
Высокотемпературная реперная точка	Значение неопределенности измерения температуры фазового перехода, К					
Cu	0,09	0,09	0,18	0,07	0,13	0,07
Co-C	0,12	0,22	0,21	0,10	0,18	0,15
Pt-C	0,21	0,29	0,27	0,15	0,28	0,23
Re-C	0,27	0,34	0,36	0,28	0,52	0,36



ОКР «Совершенствование эталона единицы температуры
ГЭТ 35-2010 в соответствии с новым определением кельвина и
исследование его метрологических характеристик»
Шифр «Кельвин-2б».

Исполнитель:
ФГУП «ВНИИФТРИ»

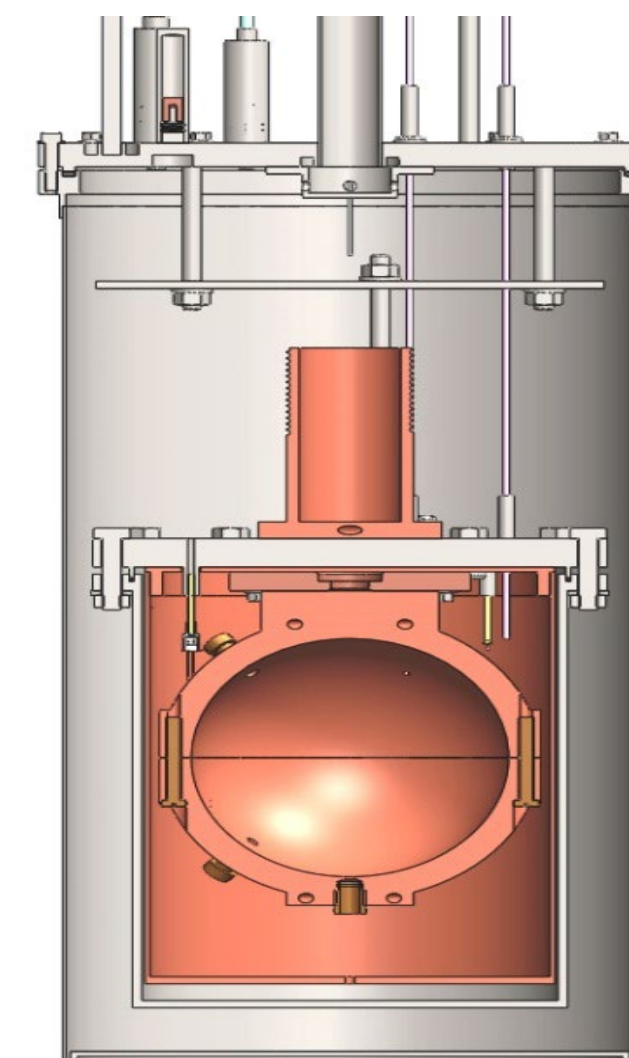
«ОКР «Совершенствование эталона единицы температуры ГЭТ 35-2010 в соответствии с новым определением кельвина и исследование его метрологических характеристик»

Шифр «Кельвин-2б»

В рамках ОКР «Кельвин-2б» создан опытный образец эталона единицы температуры, который в соответствии с техническим заданием включает в себя следующую аппаратуру:

1. Установка для измерения акустическим методом термодинамической температуры должна обеспечивать воспроизведение единицы температуры в диапазоне от 4,2 К до 80 К в соответствии с ее новым определением;
2. Установка для измерения акустическим методом термодинамической температуры должна обеспечивать воспроизведение единицы температуры в диапазоне от 79 К до 273,16 К в соответствии с ее новым определением;
3. Установка для абсолютного измерения термодинамической температуры должна обеспечивать воспроизведение значения единицы температуры в диапазоне от 268,16 К до 273,16 К в соответствии с ее новым определением;
4. Аппаратура для реализации реперных точек должна обеспечивать реализацию реперных точек температурной шкалы МТШ-90 в диапазоне от 24,5 К до 234,3 К.

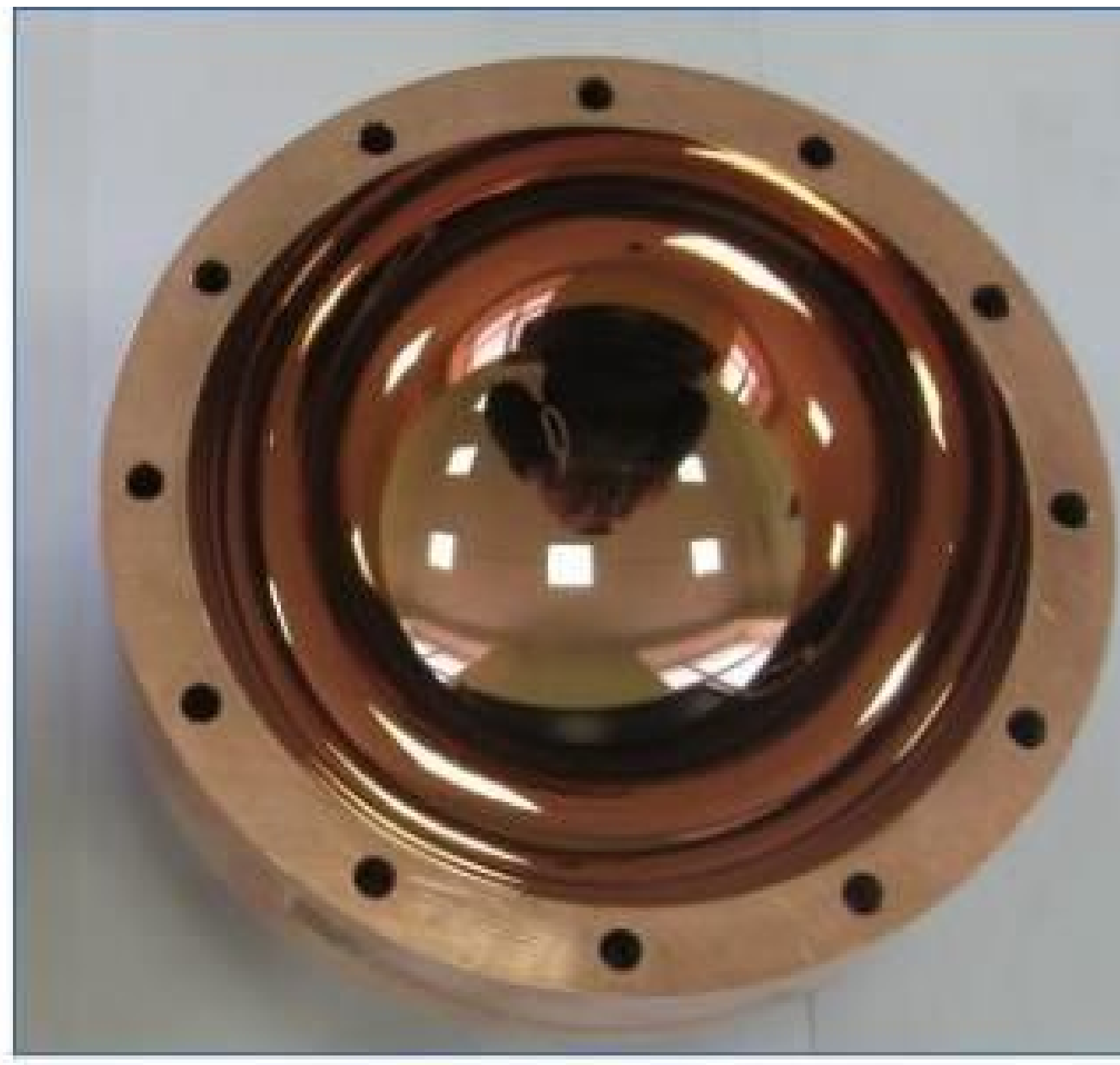
Установка для **абсолютного** измерения термодинамической температуры методом акустической газовой термометрии в диапазоне от 268,16 К до 273,16 К (ВНИИФТРИ)



$$T = \frac{12\pi^2}{5} \frac{M r^2 f_{0(l,n)}^2}{k_B N_A Z_{(l,n)}^2}$$

где M — молярная масса газа, $f_{0(l,n)}$ частота акустического резонанса моды (l,n) , r — радиус резонатора, $Z_{a(l,n)}$ — численный коэффициент, соответствующий моде (l,n) акустического резонанса k_B — постоянная Больцмана, N_A — число Авогадро

Внутренняя поверхность резонатора



Аппаратура относительной акустической газовой термометрии (ВНИИФТРИ)

(Измерение частоты акустического резонанса в газе относительно частоты акустического резонанса при температуре тройной точки воды)



Установка для измерения акустическим методом
термодинамической температуры в диапазоне
от 79 до 273,16 К



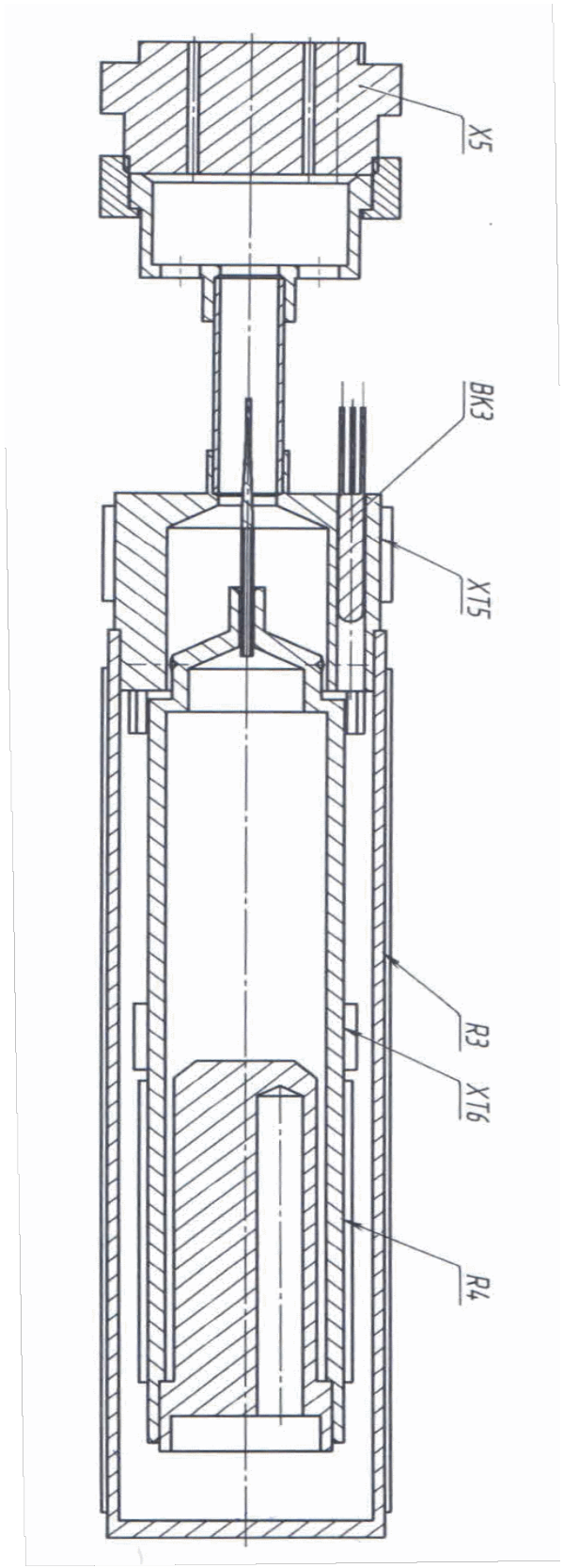
Установка для измерения акустическим методом
термодинамической температуры в диапазоне
от 4,2 до 80 К

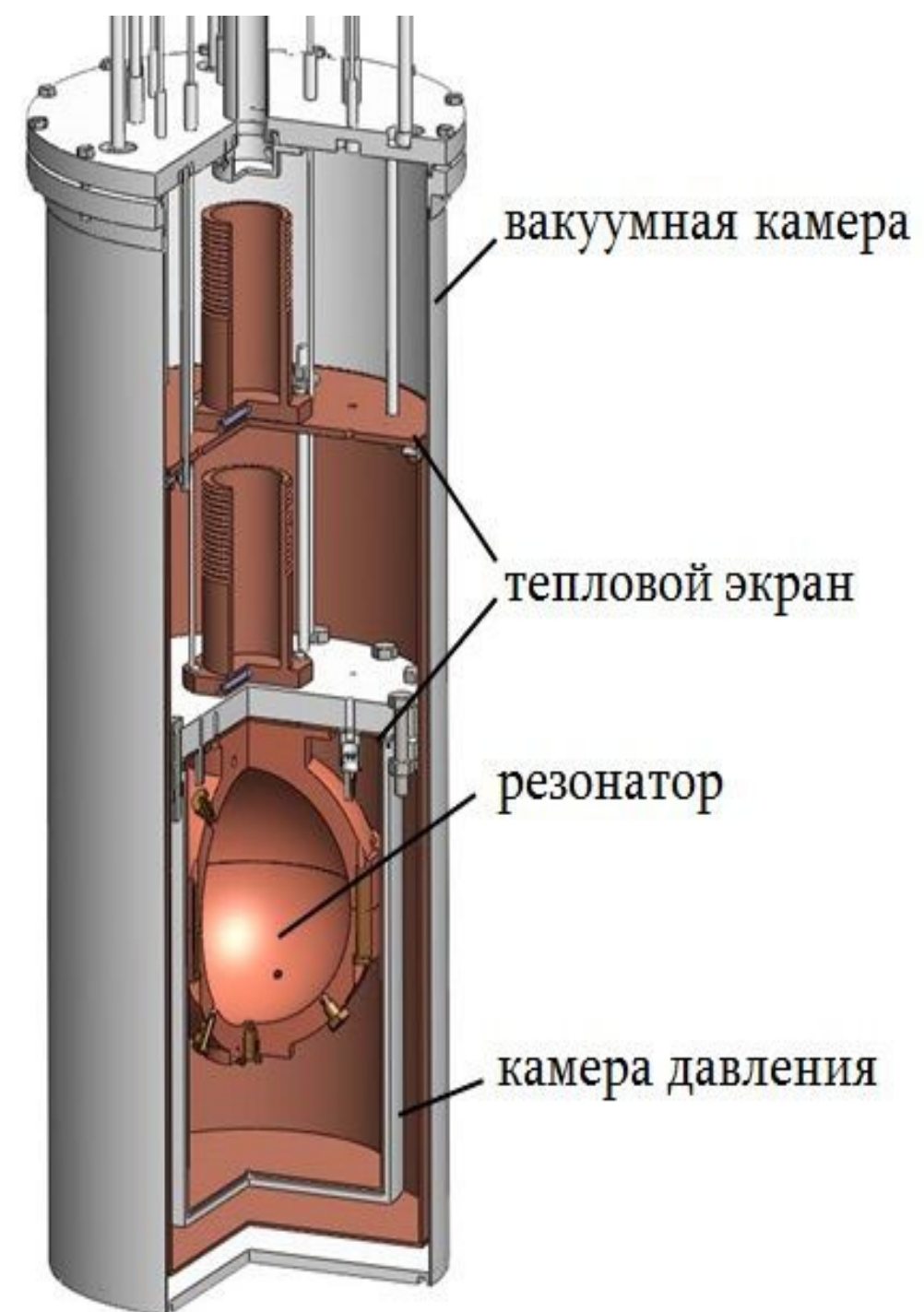


$$T = T_0 \frac{f_{ao}^2(T) f_{mo}^2(T_0)}{f_{ao}^2(T_0) f_{mo}^2(T)}$$

T_0 — температура реперной точки, $f_{ao}(T)$, $f_{ao}(T_0)$ — частоты акустического резонанса при T и T_0 , $f_{mo}(T)$, $f_{mo}(T_0)$ — частоты электромагнитного резонанса в резонаторе при T и T_0 , соответственно. |PCT|

Аппаратура для реализации криогенных реперных точек температурной шкалы в диапазоне от 24,5 до 273,16 К (ВНИИФТРИ)





**Резонатор, камеры давления,
тепловой экран и вакуумная камера**



Ампула тройной точки ртути

Оценка выполнения технического задания на ОКР «Кельвин 2б» по результатам приемочных испытаний

Наименование вида испытаний и проверок	Номер пункта ТЗ	Номер пункта ПМИ	Основание для оценки соответствия характеристик требованиям ТЗ	Отметка о соответствии характеристик требованиям ТЗ
Проверка опытного образца на соответствие составу изделия	3.1	3.1	Протокол №1 от 08.10.2019 приемочных испытаний	соответствует
Проверка опытного образца на соответствие требованиям назначения	3.2.1	3.2	Протокол №2 от 08.10.2019 приемочных испытаний	соответствует
Проверка опытного образца на соответствие требованиям к техническим характеристикам	3.2.2	3.3	Протокол №3.1-3.11 от 08.10.2019 приемочных испытаний	соответствует
Проверка опытного образца на соответствие требованиям надежности	3.4	3.4	Протокол №4 от 08.10.2019 приемочных испытаний	соответствует
Проверка опытного образца на соответствие требованиям по эксплуатации, хранению, удобству технического обслуживания и ремонта	3.6	3.5	Протокол №5 от 08.10.2019 приемочных испытаний	соответствует
Проверка опытного образца на соответствие требованиям безопасности	3.8	3.6	Протокол №6 от 08.10.2019 приемочных испытаний	соответствует
Проверка опытного образца на соответствие конструктивным требованиям	3.11	3.7	Протокол №7 от 08.10.2019 приемочных испытаний	соответствует
Проверка разрабатываемой документации	9	-	Протокол №8 от 08.10.2019 приемочных испытаний	соответствует

Выполнение требований технического задания к
метрологическим характеристикам модернизированного
эталоны ГЭТ 35-2010

Наименование метрологических и технических характеристик	Значение по ТЗ	Полученное значение	Соответствие
Установка для измерения акустическим методом термодинамической температуры			
Диапазон воспроизведения единицы термодинамической температуры	от 4,2 К до 80 К	От 4,2 до 80 К	Соответствует
Стандартная неопределенность воспроизведения единицы температуры, не более: в диапазоне от 4,2 К до 5,0 К в диапазоне от 5,0 К до 80 К	5,0 мК 1,4 мК	3,6 мК 1,4 мК	Соответствует
Установка для измерения акустическим методом термодинамической температуры			
Диапазон воспроизведения единицы термодинамической температуры	от 79 К до 273, 16 К	от 79 К до 273, 16 К	Соответствует
Стандартная неопределенность воспроизведения единицы температуры в диапазоне от 79 К до 273,16 К, не более	1,4 мК	1,3 мК	Соответствует
Установка для абсолютного измерения термодинамической температуры			
Диапазон воспроизведения единицы температуры	от 268,16 К до 273,16 К	от 268,16 К до 273,16 К	Соответствует
Стандартная неопределенность воспроизведения единицы температуры, не более	0,5 мК	0,39 мК	Соответствует
Аппаратура для реализации реперных точек			
Диапазон воспроизводимой температуры	от 24,5 К до 234,3 К	От 24,5 до 234,3 К	Соответствует
СКО	от 0,0001 К до 0,0002 К	от 0,0001 К до 0,0002 К	Соответствует
НСП	от 0,0002 К до 0,0005 К	от 0,0002 К до 0,0005 К	Соответствует

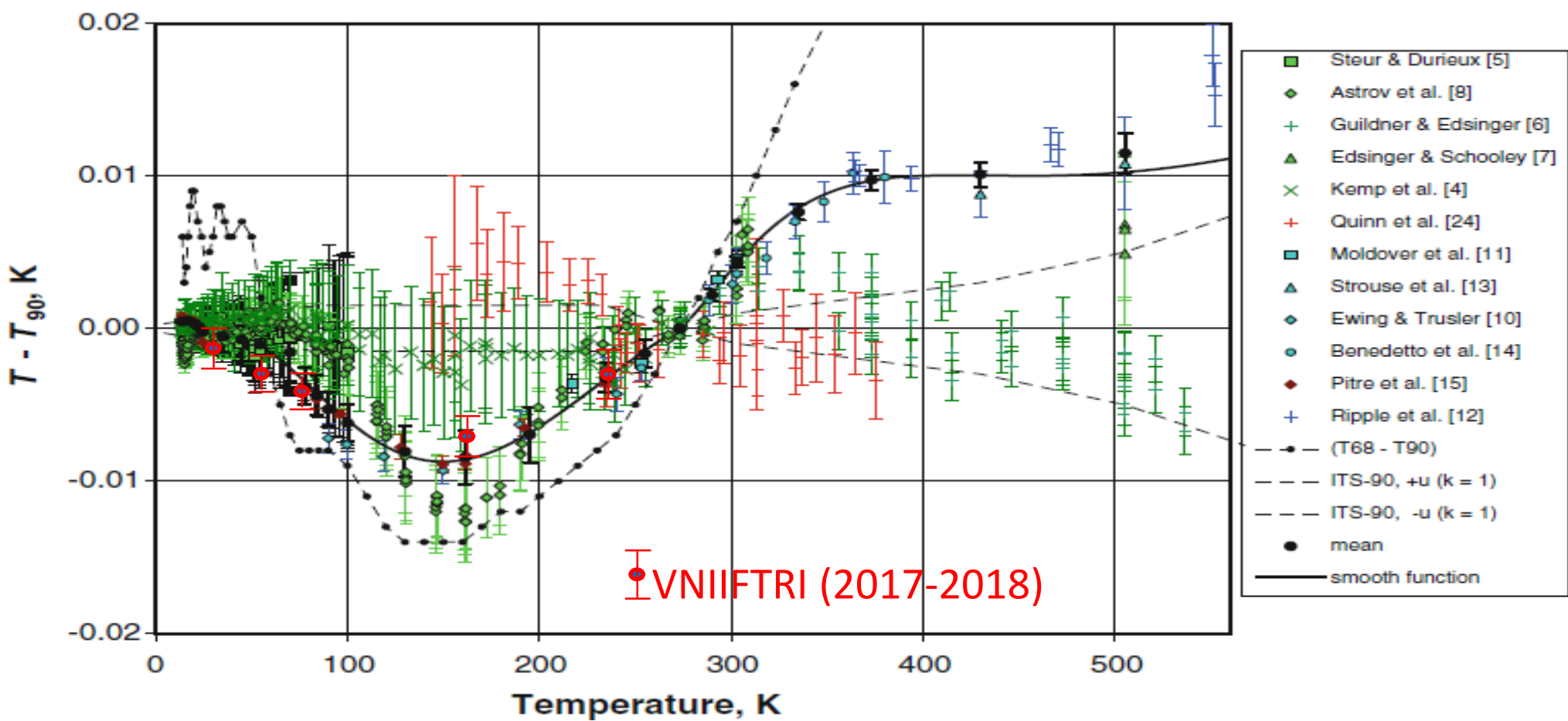
Результаты измерения отклонения температуры по шкале МТШ-90 от термодинамической температуры

$T_{90}=54,3584\text{ K}$

Мода акустического резонанса	$T-T_{90}, \text{ мК}$	$\delta(T-T_{90}), \text{ мК}$
(0,2)	-2,7	0,88
(0,3)	-2,4	0,86
(0,4)	-2,8	0,84

$T_{90}=79\text{ K}$

Мода акустического резонанса	$T-T_{90}, \text{ мК}$	$\delta(T-T_{90}), \text{ мК}$
(0,2)	-4,4	0,87
(0,3)	-4,4	0,84
(0,4)	-2,7	0,82
(0,6)	-4,8	0,82



$T_{90}=162\text{ K}$

Мода акустического резонанса	$T-T_{90}, \text{ мК}$	$\delta(T-T_{90}), \text{ мК}$
(0,2)	-6,8	1,2
(0,3)	-6,8	1,1
(0,4)	-7,9	1,4
(0,6)	-6,5	1,3



ВНИИМ

ФГУП "Всероссийский научно-
исследовательский институт
метрологии им. Д.И.Менделеева"

**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!**

www.vniim.ru



ВНИИМ
им. Д.И.Менделеева