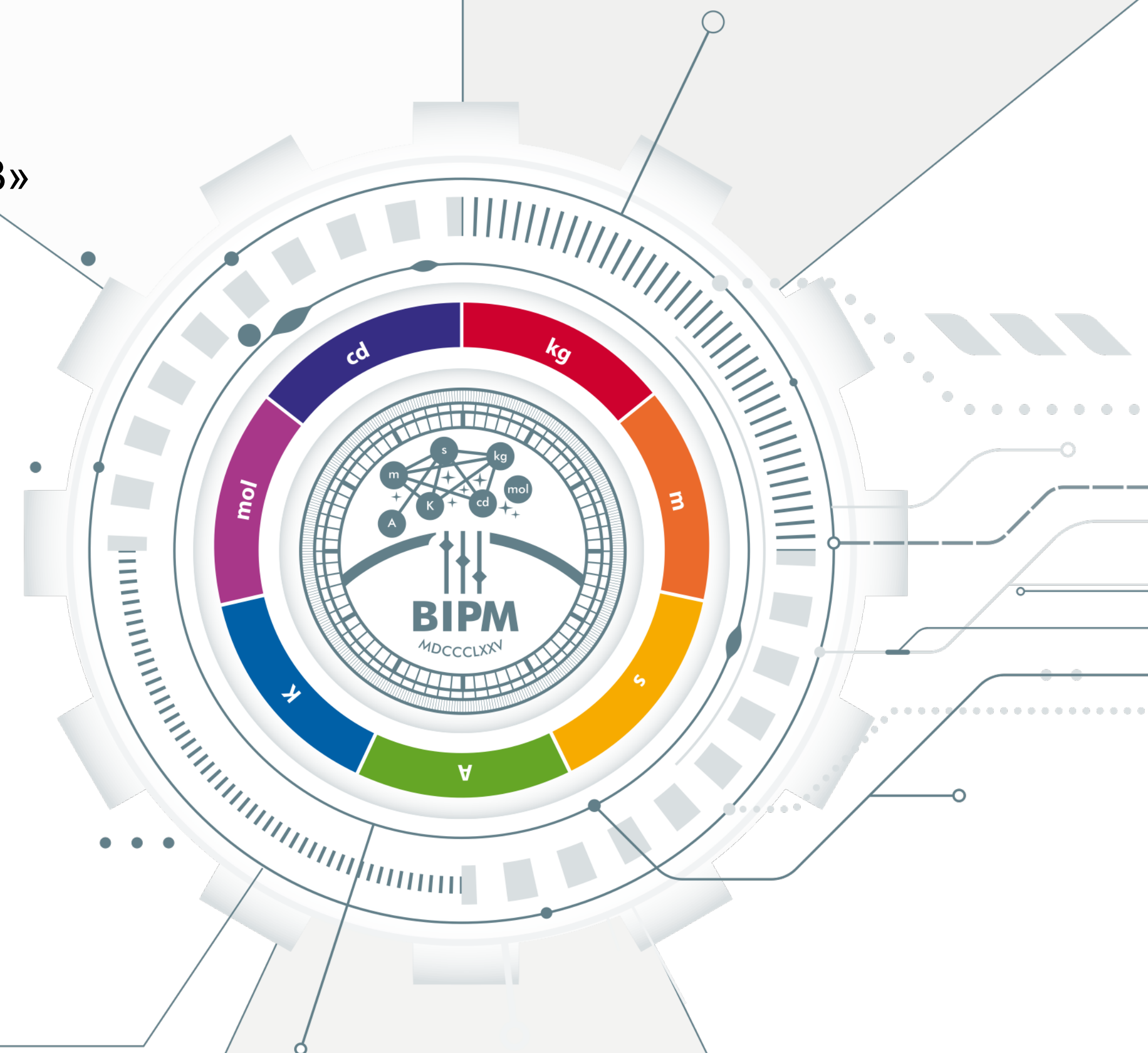


МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ И ВЫСТАВКА «МЕТРОЛОГИЯ БЕЗ ГРАНИЦ»

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ
«МЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НА ВСЕ ВРЕМЕНА, ДЛЯ ВСЕХ НАРОДОВ»

**ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА,
МАССЫ, ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ
И ТЕПЛОВИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН.
ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ.**

Генеральный директор
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»
А.Н. Пронин



“

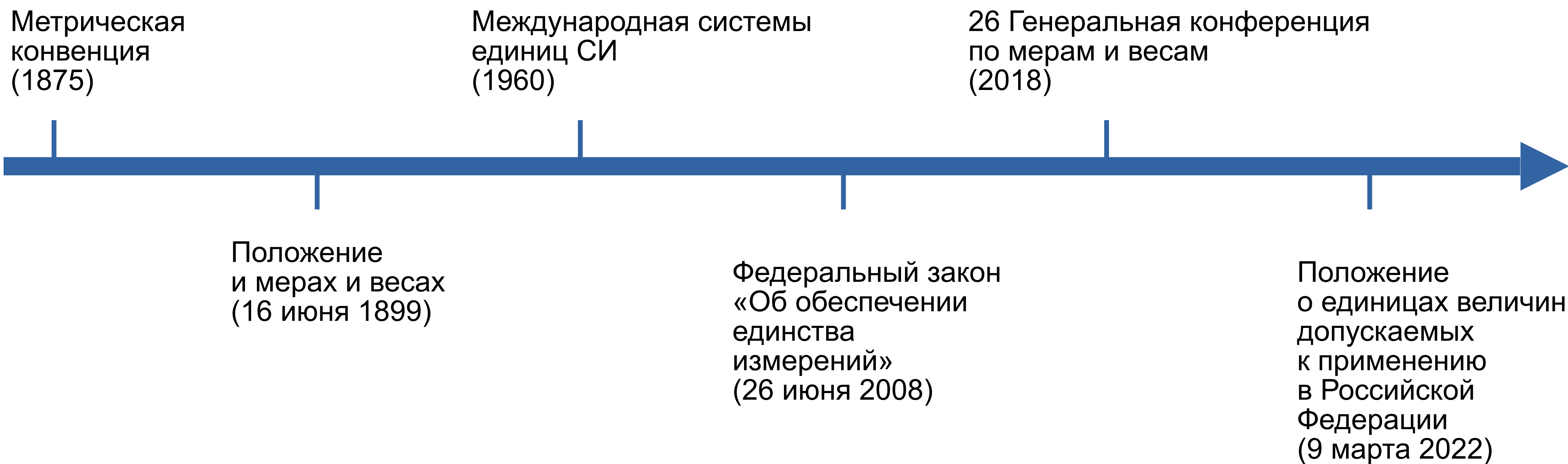
Отставание – вот главная угроза
и вот наш враг...

Дело в том, что скорость
технологических изменений
нарастает стремительно, идёт
резко вверх. Тот, кто использует
эту технологическую волну,
вырвется далеко вперёд.
Тех, кто не сможет этого
сделать, она, эта волна –
просто захлестнёт, утопит

*Президент Российской Федерации,
Владимир Владимирович Путин*



НА ВСЕ ВРЕМЕНА И ДЛЯ ВСЕХ НАРОДОВ



ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ НЕ ИМЕЮТ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

kg
h

m
c

s
 Δv

A
e

K
k

mol
 N_A

cd
 K_{cd}



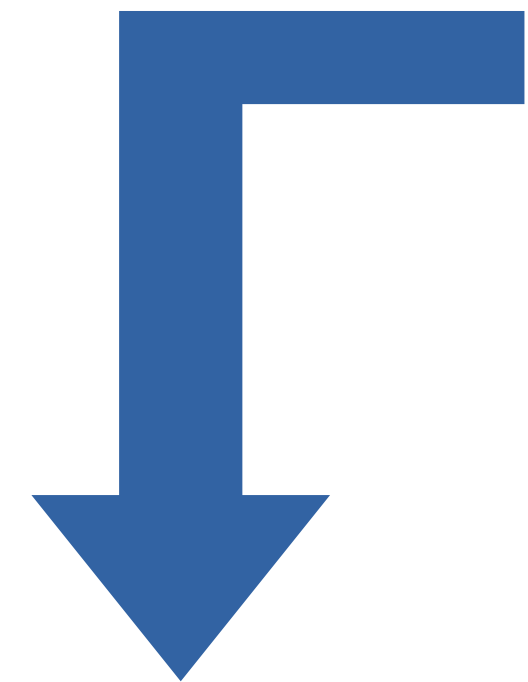
МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ (SI)
ИЗДАНИЕ 9-е, 2019 г.

ПЕРВИЧНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЕДИНИЦА МАССЫ

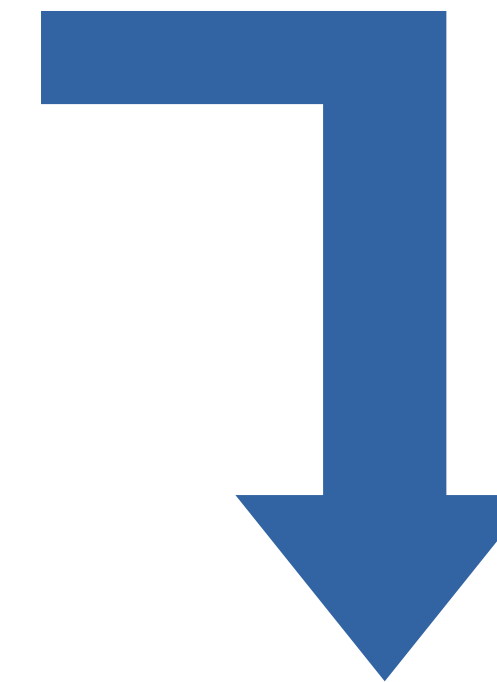


KILOGRAM

Mise en pratique
for the definition of the kilogram (2021)



Метод сравнения
электрической и механической
мощности (watt balances, and, more
recently, as Kibble balances)



Рентгенокристаллический
метод определения
плотности (XRCD)

Условия вакуума

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ЭТАЛОН ЕДИНИЦЫ МАССЫ



РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА СРАВНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И МЕХАНИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ - РАЗРАБОТКА ВАТТ-ВЕСОВ

Закон Фарадея

$$U_d = BLv_d$$

Закон Ампера

$$mg = BLI_s$$

$$U_d I_s = mgv_d$$

где U_d - ЭДС индукции; I_s - ток, протекающий через обмотку при вывешивании массы m в точке с УСП g ; v_d - скорость проводника

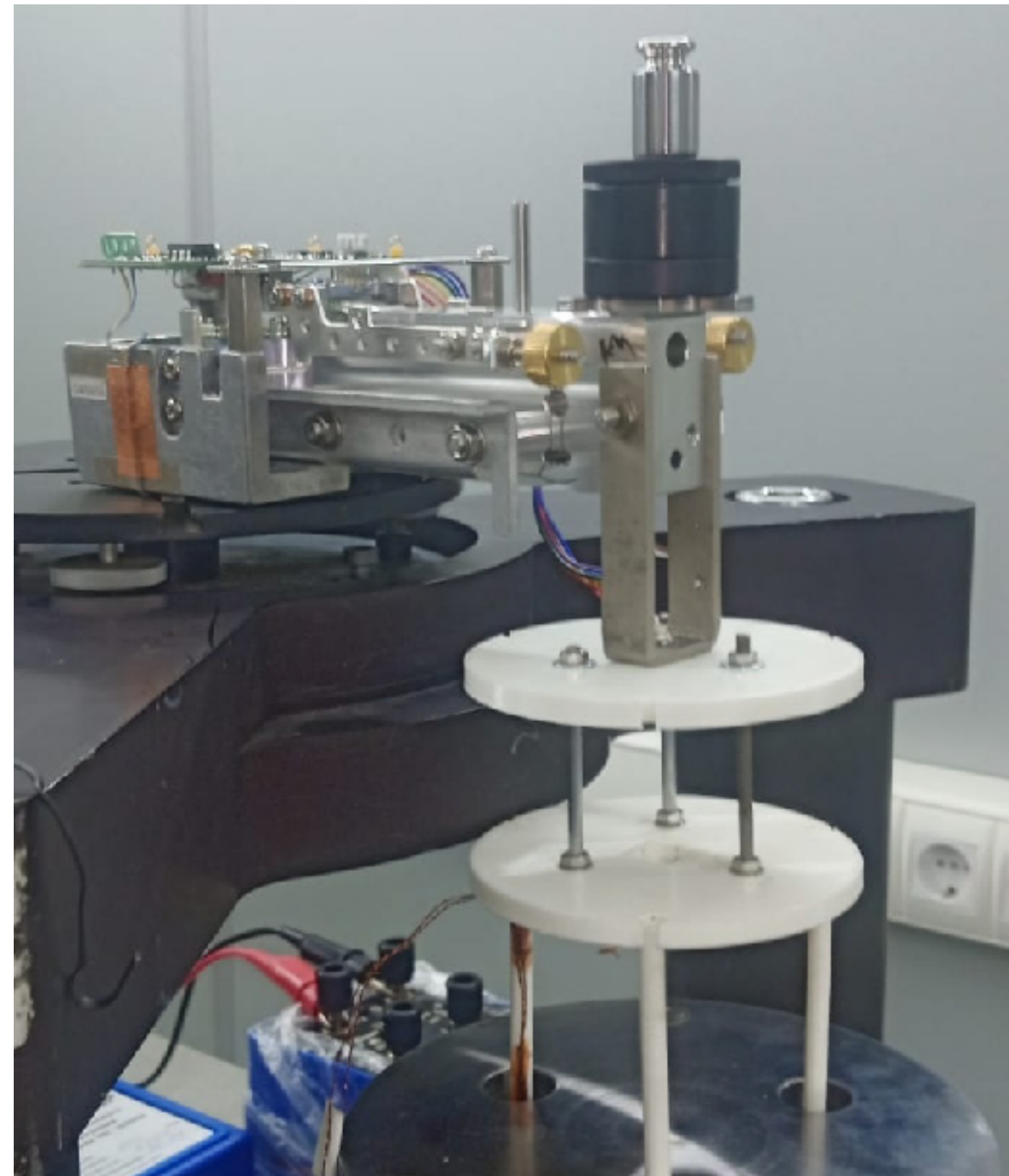
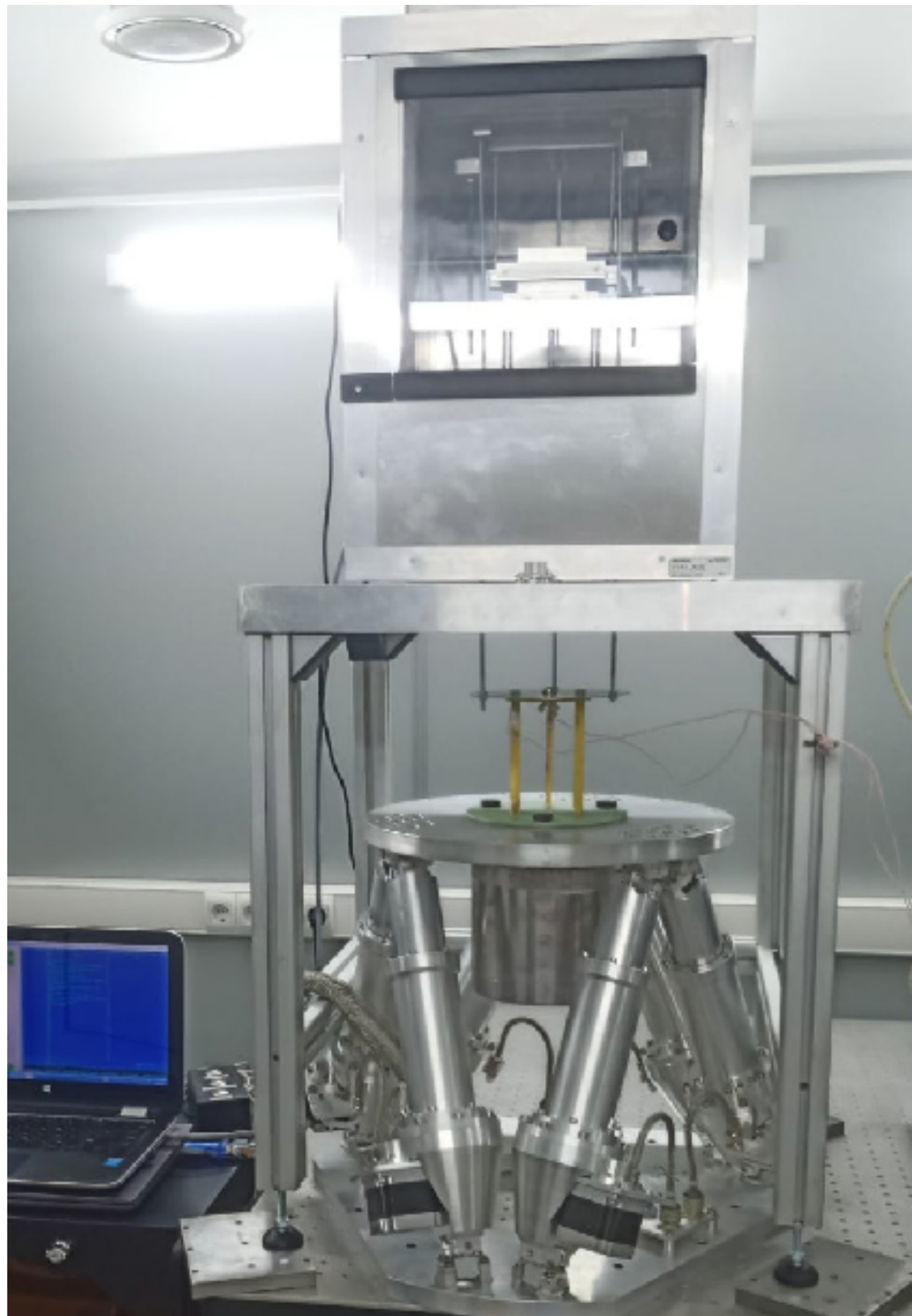
НАЧАЛО РАЗРАБОТКИ РОССИЙСКИХ ВАТТ-ВЕСОВ

ФОРМИРОВАНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЗАДЕЛА ДЛЯ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ, МЕХАНИЧЕСКОЙ И ВАКУУМНОЙ СИСТЕМ ВАТТ-ВЕСОВ

НИР «БАЛАНС»
2021 ГОД

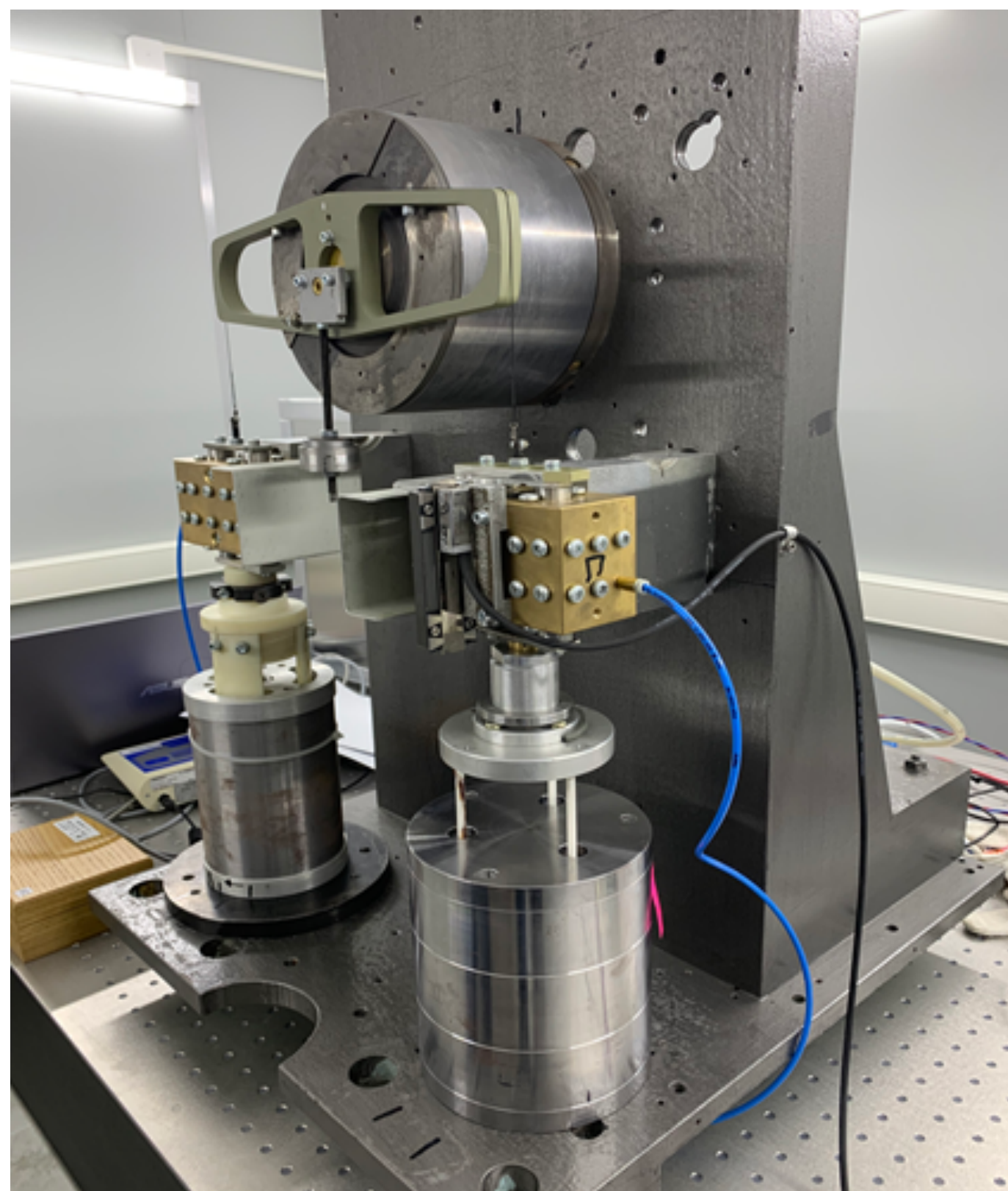
НИР «ПРОГРЕСС»
2022 ГОД

МАКЕТЫ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ БАТТ-ВЕСОВ, СОЗДАННЫЕ В РАМКАХ НИР



Общий вид макета
на основе весовой
ячейки

МАКЕТЫ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ БАЛЛ-ВЕСОВ, СОЗДАННЫЕ В РАМКАХ НИР



Общий вид макета на основе
равноплечной рычажной системы
и аэростатической опоры

МЕТР – ЕДИНИЦЫ ДЛИНЫ

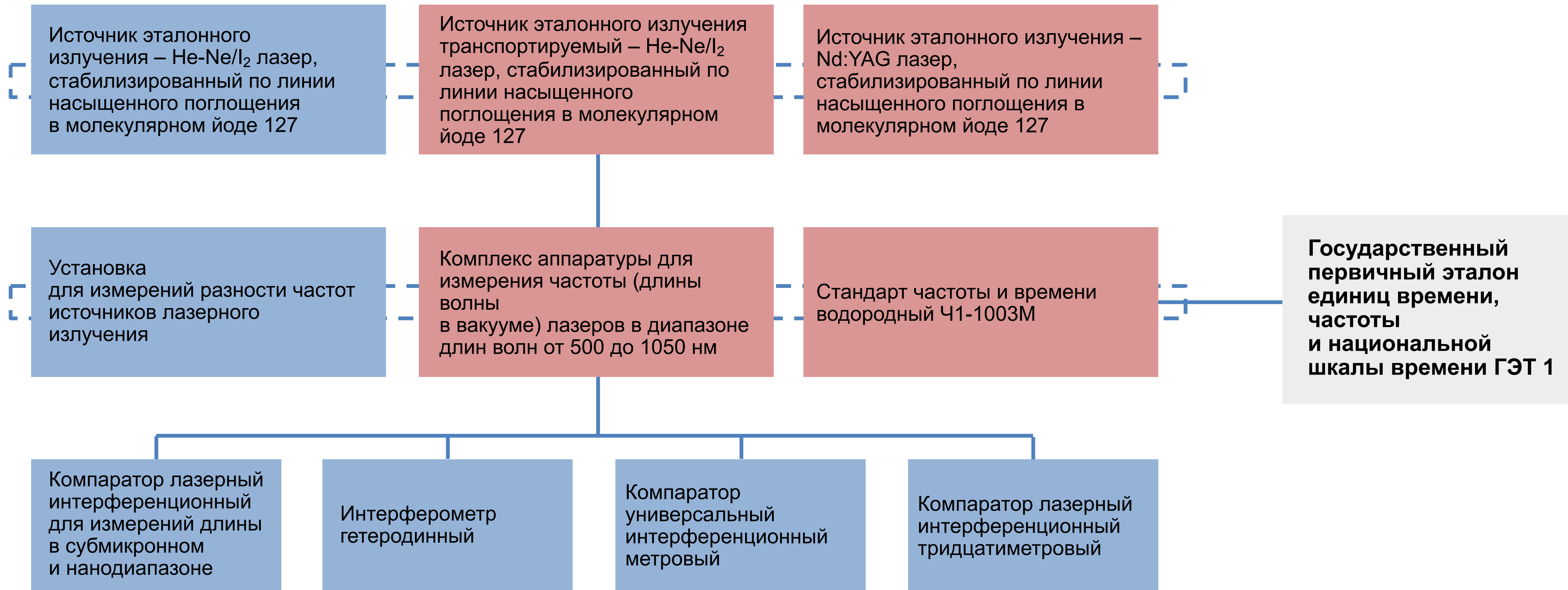
С 1983 г. было принято следующее определение метра:

- Метр есть длина пути, проходимая светом в вакууме за интервал времени равный $1/299\,792\,458$ секунды

На 26-ом заседании Генеральной Конференции по мерам и весам в ноябре 2018 г. был представлен новый подход к формулированию определений единиц в целом через фиксирование числовых значений для семи «определяющих» констант. Среди них природные фундаментальные константы, такие как скорость света, постоянная Планка и другие. Изменения вступили в силу 20 мая 2019 г. Теперь определение метра выглядит следующим образом:

- Метр, обозначение м (m), есть единица длины в SI. Он определяется путем принятия фиксированного числового значения скорости света в вакууме с равным 299 792 458 при выражении в единице $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$, где секунда определяется через частоту перехода в цезии $\Delta\nu_{\text{Cs}}$

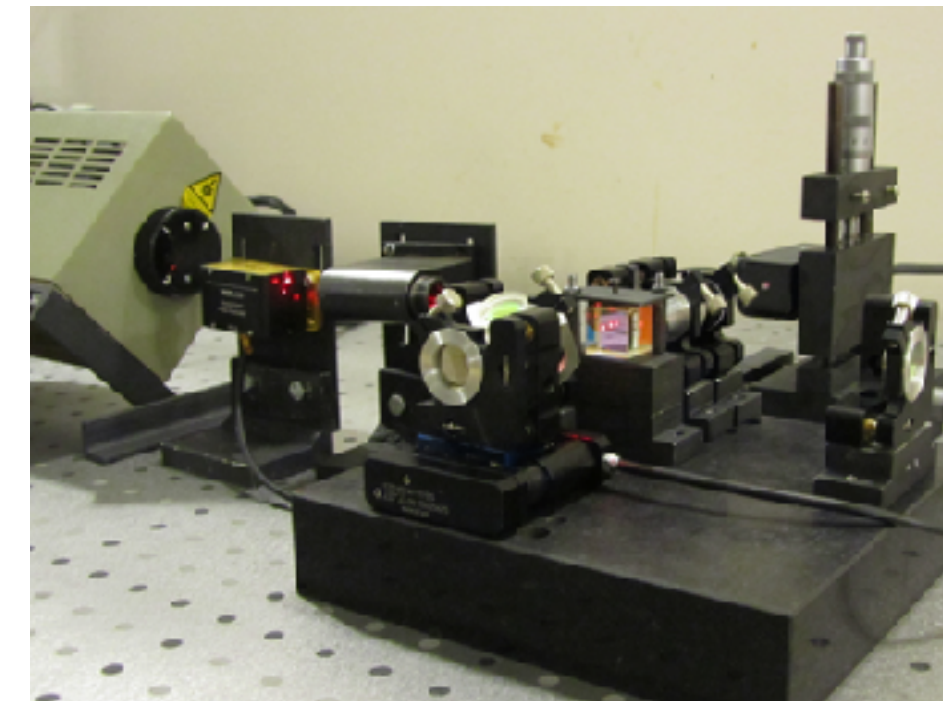
СОСТАВ ГЭТ 2



КОМПАРАТОРЫ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ЕДИНИЦЫ ДЛИНЫ



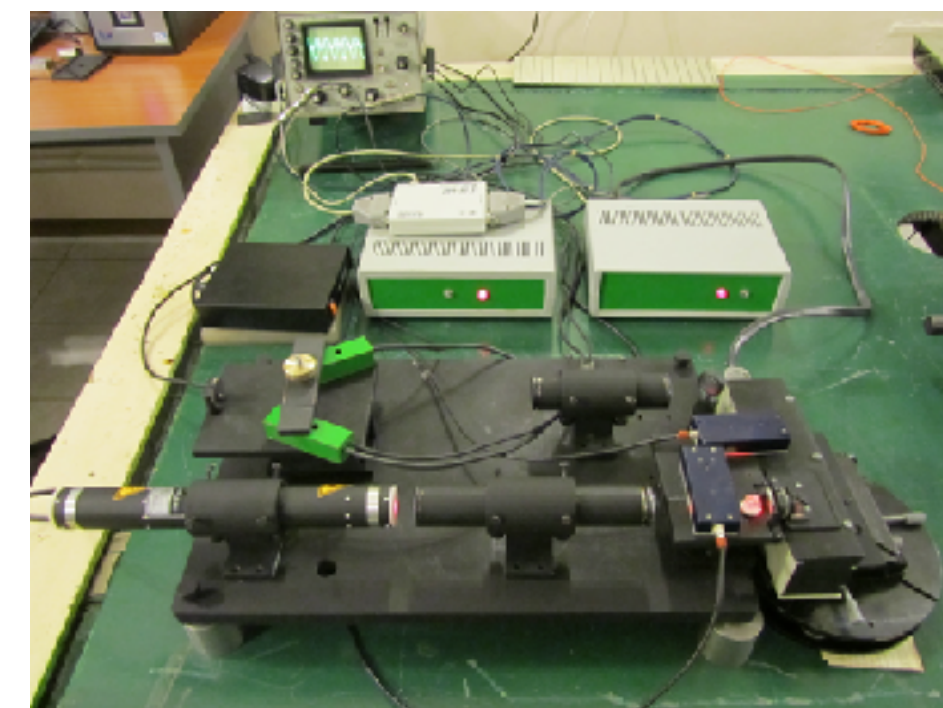
Компаратор
универсальный
интерференционный
метровый



Компаратор
лазерный
интерференционный
для измерений длины
в субмикронном
и нанодиапазоне



Компаратор
лазерный
интерференционный
тридцатиметровый



Интерферометр
гетеродинный

ИСТОЧНИКИ ЭТАЛОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 633 НМ



He-Ne/I₂ лазер, стабилизированный по линии насыщенного поглощения в молекулярном йоде 127



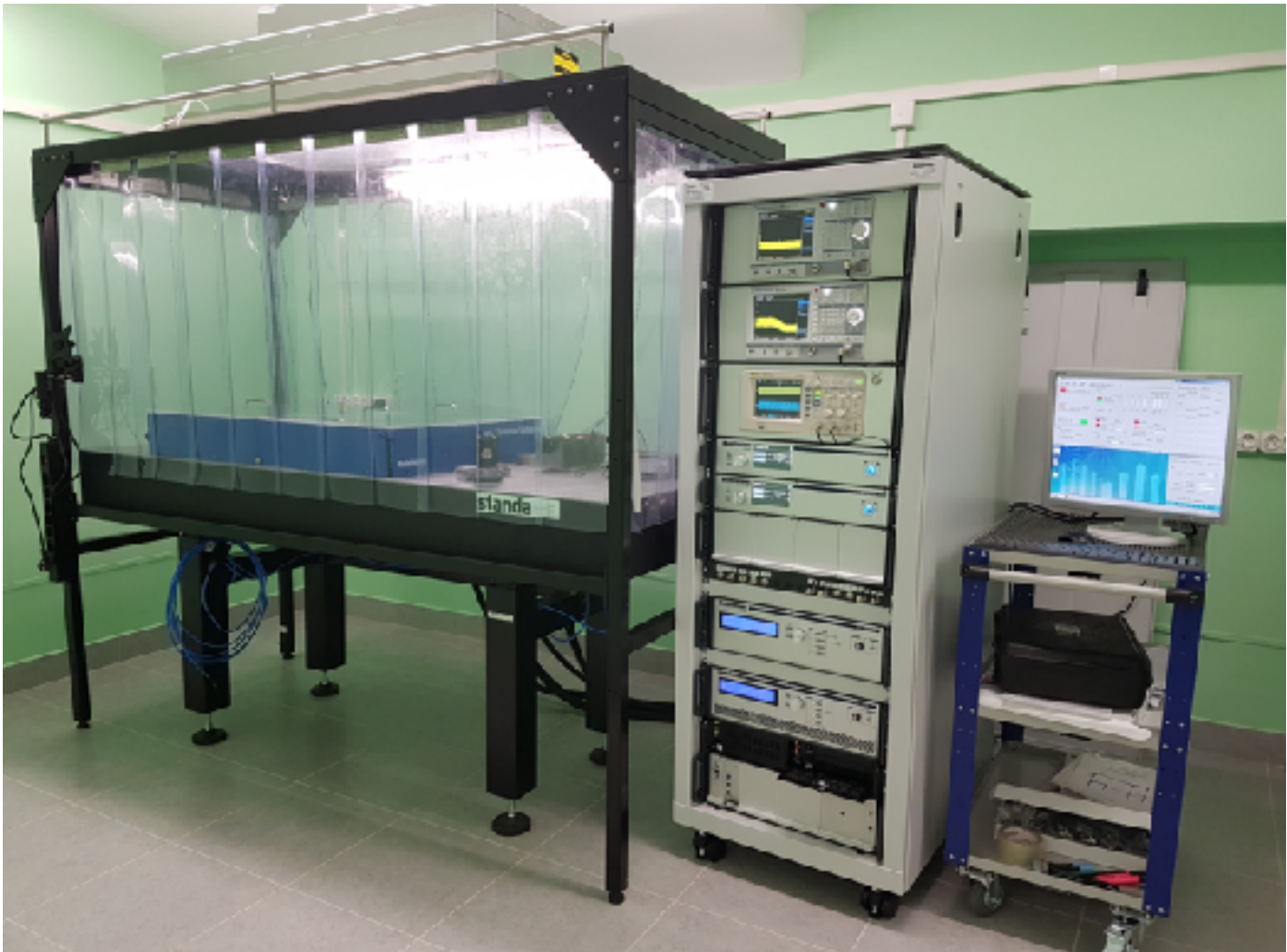
He-Ne/I₂ транспортируемый лазер, стабилизированный по линии насыщенного поглощения в молекулярном йоде 127

ИСТОЧНИК ЭТАЛОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 532 НМ



Nd: YAG лазер, стабилизированный по линии насыщенного поглощения в молекулярном йоде 127 (разработчик – Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИЛФ СО РАН))

КОМПЛЕКС АППАРАТУРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ (ДЛИНЫ ВОЛНЫ В ВАКУУМЕ) ЛАЗЕРОВ В ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН ОТ 500 ДО 1050 НМ И СТАНДАРТ ЧАСТОТЫ И ВРЕМЕНИ ВОДОРОДНЫЙ Ч1-1003М



Комплекс аппаратуры для измерения частоты (длины волны в вакууме) лазеров в диапазоне длин волн от 500 до 1050 нм



Поверка стандарта частоты и времени водородного Ч1-1003М



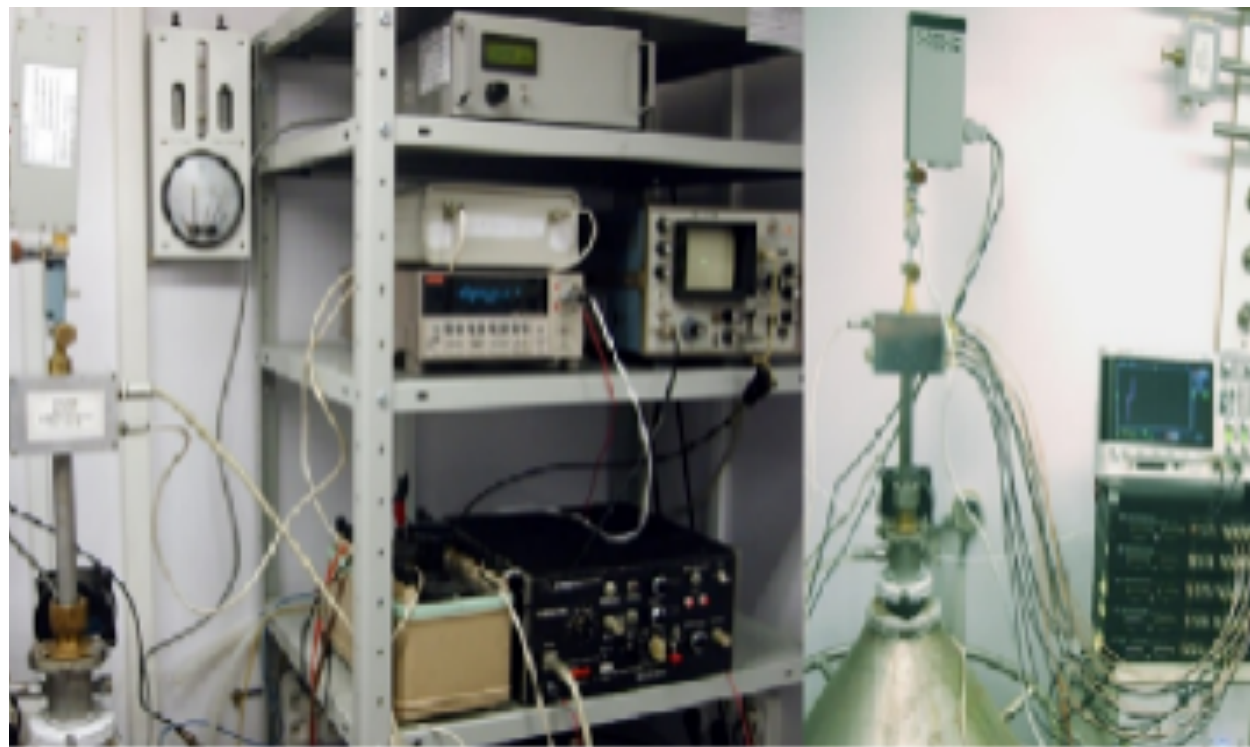
АМПЕР - ЕДИНИЦА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

определенная путём фиксации численного значения элементарного заряда равного $1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ Кл

КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ КОМИТЕТ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ И МАГНЕТИЗМУ РЕКОМЕНДУЕТ:

- Использование закона Ома
- Использование эффекта туннелирования
- Использование методов электрометрии

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКОНА ОМА



Эталон вольты
на эффекте
Джозефсона



Эталон ома
на квантовом
эффекте Холла



Эталон
ампера
через вольт и ом

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОМЕТРИИ

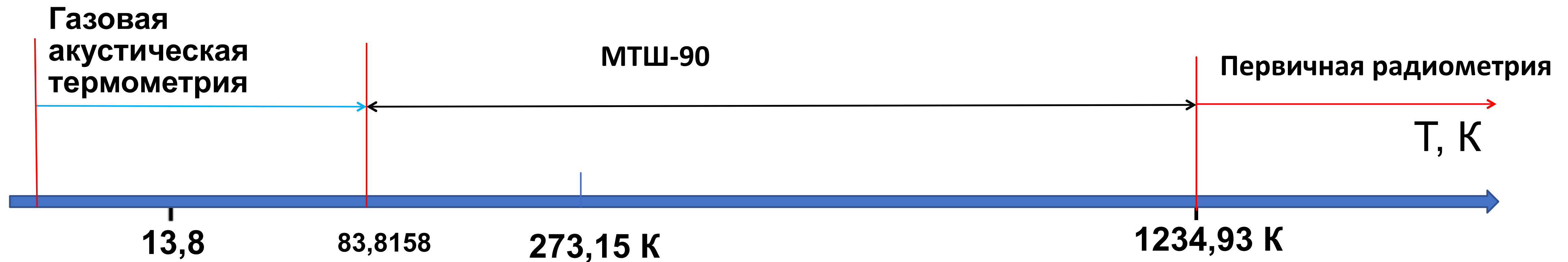


Эталон ампера в области
малых токов (10^{-16} – 10^{-9} А)

КЕЛЬВИН - ЕДИНИЦА ТЕМПЕРАТУРЫ

при которой, постоянная Больцмана
равна точно значению $1,380\,649\,03(51) \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$

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

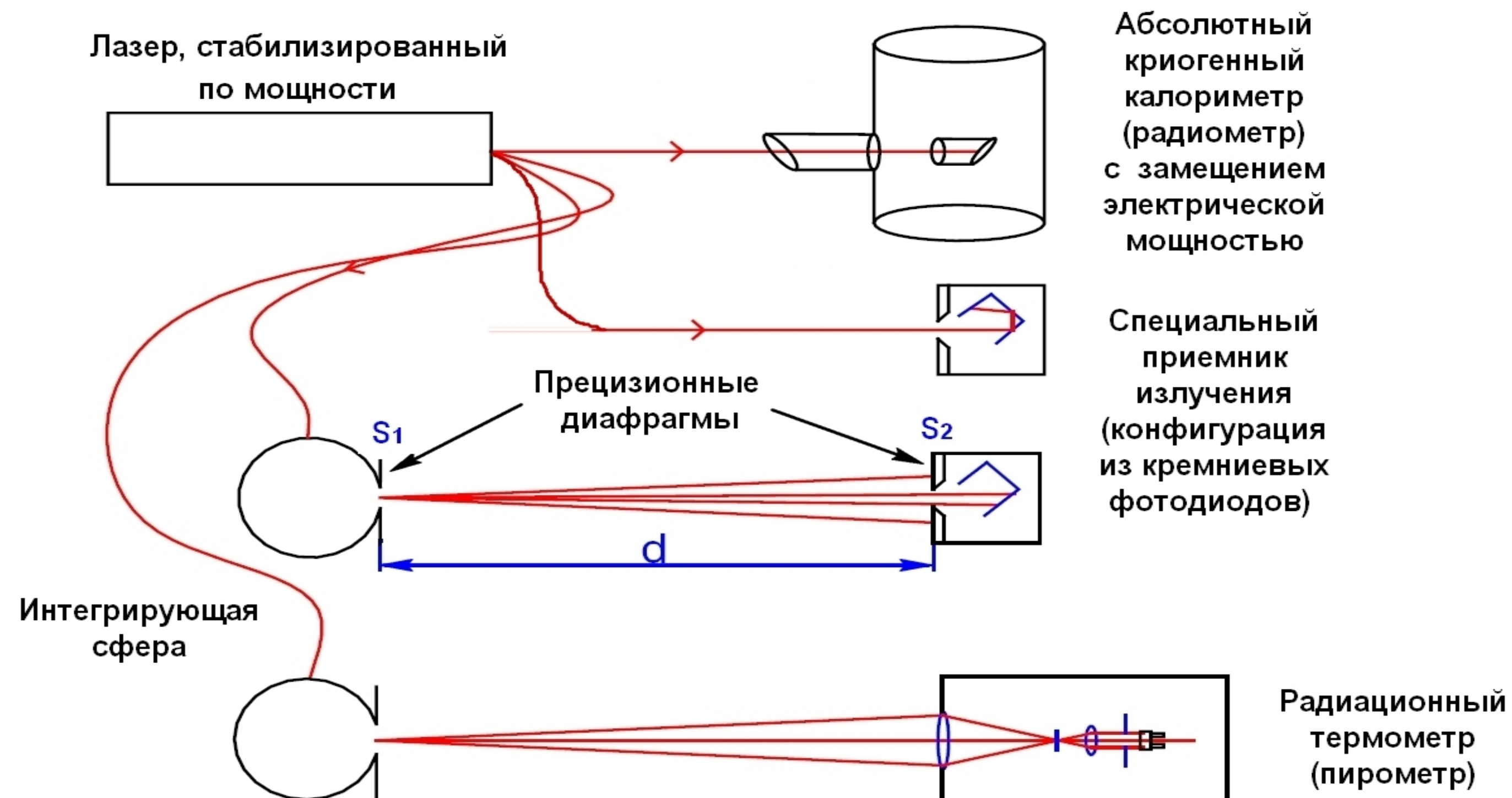
Спектральная плотность яркости (спектральная яркость), $L_{b,\lambda}$, представляет собой мощность, излучаемую черным телом в единице телесного угла на интервале длины волны $d\lambda$, и описывается законом Планка:

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

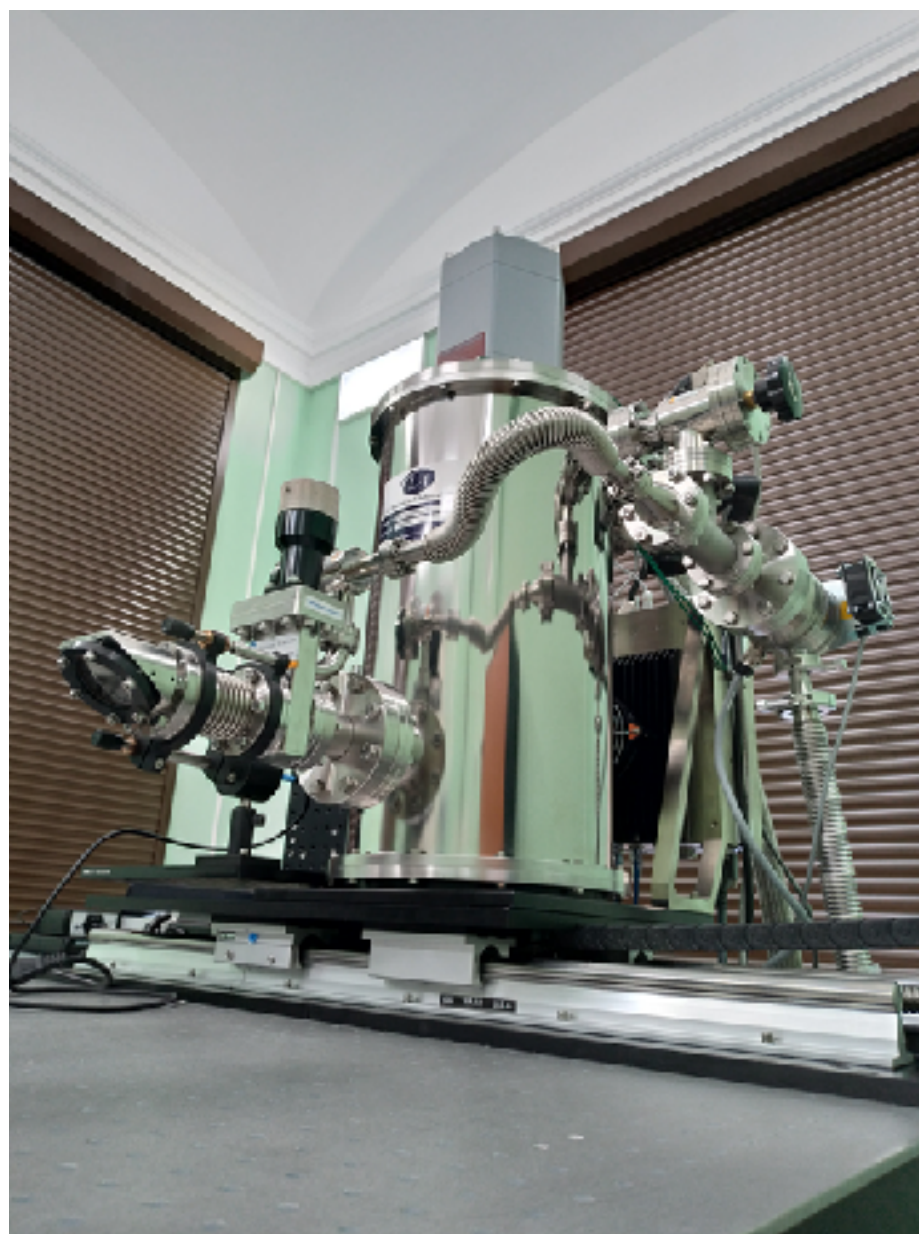
где:

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.

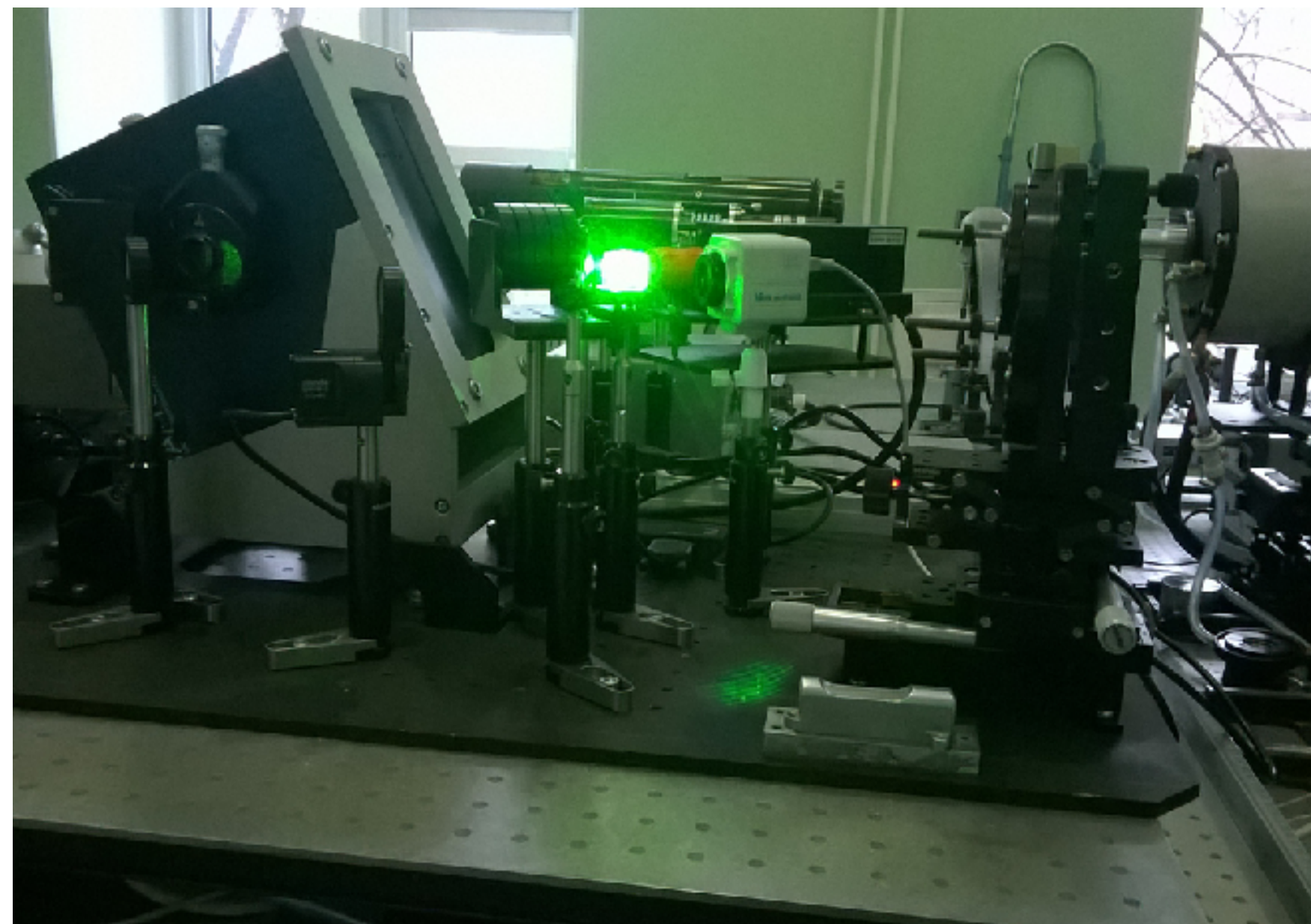
ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ И ПЕРЕДАЧА ЕДИНИЦЫ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ТЕПЛОВОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ ПРЯМЫМ МЕТОДОМ



АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ КРИОГЕННОГО РАДИОМЕТРА (РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЯМОГО МЕТОДА)



Криогенный
радиометр



Аппаратура
передачи

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ И ВЫСТАВКА «МЕТРОЛОГИЯ БЕЗ ГРАНИЦ»

ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ
«МЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НА ВСЕ ВРЕМЕНА, ДЛЯ ВСЕХ НАРОДОВ»

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

