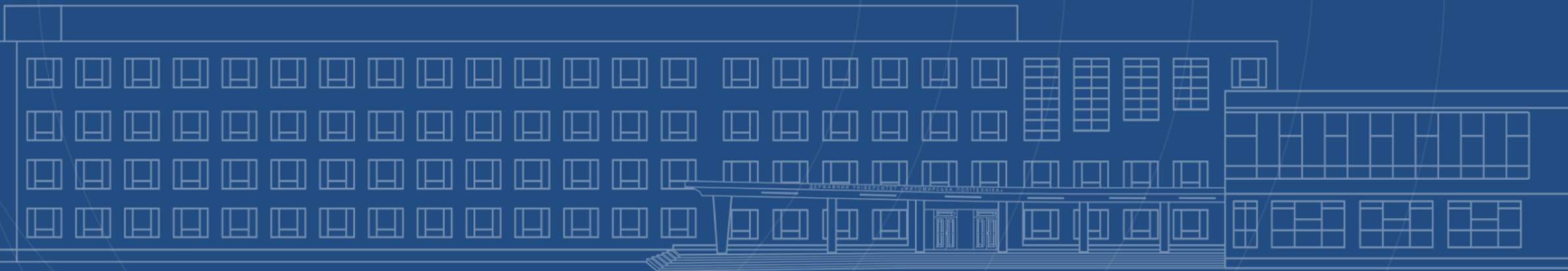


Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки

Лекція 8

Тема: Еталони



Лекція 8

Тема: Еталони

1. Еталон одиниці сили електричного струму.
2. Еталон одиниці температури.
3. Еталон одиниці сили світла.
4. Еталони додаткових та похідних СІ.



1. Еталон одиниці сили електричного струму

Відповідно до встановлення IX генеральної конференції з мір та ваг прийнято наступне визначення ампера:

«Ампер - сила вимірюваного струму, який, пройшовши по двом паралельним прямолінійним провідникам нескінченної довжини і дуже малого круглого перетину, розташованим на відстані 1 м один від іншого в вакуумі, рівну $2 \cdot 10^{-7}$ Н на кожен метр довжини».

В основу визначення ампера покладено закон ампера про взаємодію струмів.

Це визначення дає лише теоретичне вказівку на розмір одиниці. Найбільшого поширення для відтворення одиниці струму отримав пристрій, який називається струмовими вагами. Вагами цей пристрій названо в силу того, що взаємодія двох провідників (у вигляді соленоїдів) врівноважується вагою гир (ватажків).

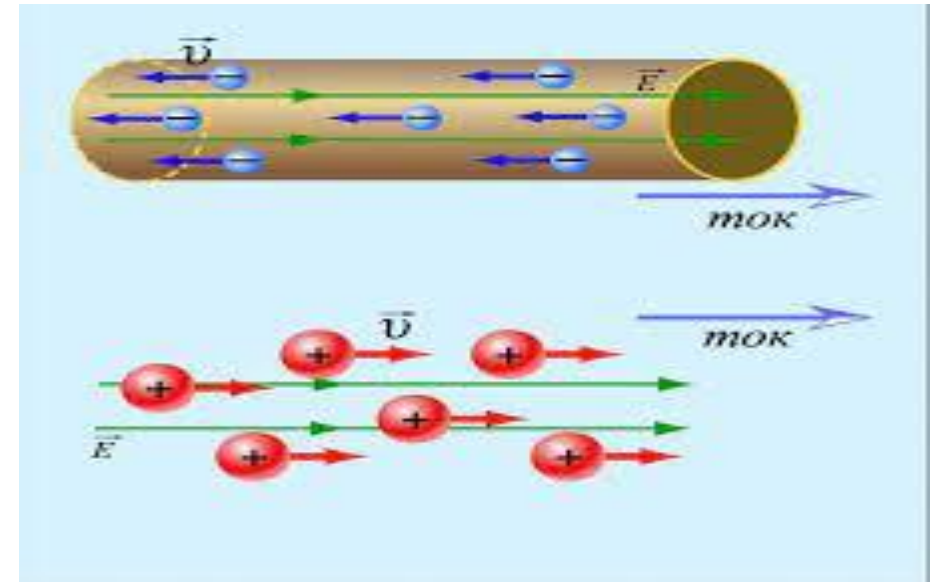


Схема пристрою токових ваг

Установка складається з вельми точних і чутливих рівноплечих ваг. До сережок коромисла ваг підвішені два однакових соленоїда. Один з них є робочим, інший служить для створення симетричного навантаження на коромисло. Робочий соленоїд розміщується всередині нерухомого соленоїда. Через ці два соленоїда пропускається один і той же струм. В результаті взаємодії соленоїдів на рухомий соленоїд впливає сила, пропорційна квадрату сили струму.

Ця сила вирівнюється силою тяжіння гир. Сила струму визначається формулою 8.1.

$$I^2 = \frac{mg}{F},$$

де m - маса гир, що врівноважують силу взаємодії;

g - прискорення сили тяжіння;

F - постійна струмових ваг, що залежить від геометричних розмірів соленоїдів, числа витків, кроку намотування та інших параметрів, що піддаються розрахунку.

В даний час найбільш точний результат вимірювання сили струму виражається числом з п'яти цифр; ведуться дослідні роботи з пошуків інших, більш точних способів відтворення одиниць електричних величин.

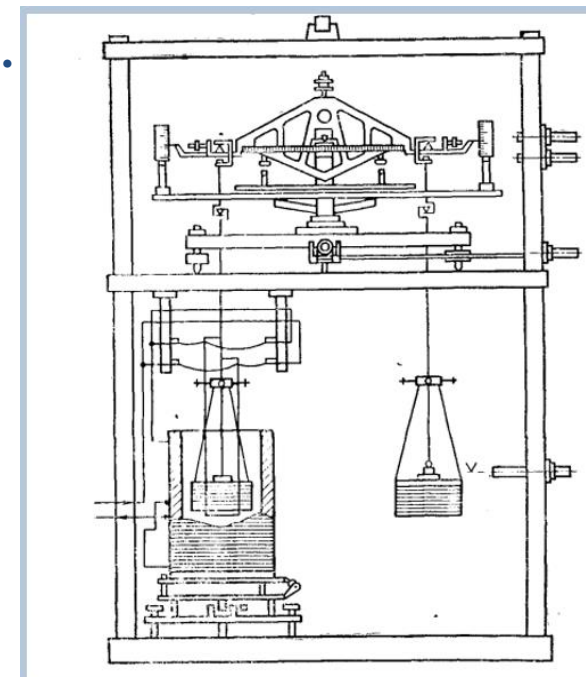


Рисунок 8.1

2. Еталон одиниці температури.

- XIII генеральна конференція з мір та ваг визначила кельвін як одиницю термодинамічної температури, що дорівнює $1 / 273,16$ частини термодинамічної температури трійної точки води.
- Термодинамічна температурна шкала (шкала кельвіна) була запропонована кельвіном ще в 1848 р на підставі висновку, що впливає з другого закону термодинаміки. Згідно цьому висновку відношення кількості тепла Q_1 , отриманої від нагріву будь-яким тілом, до кількості тепла Q_2 , що віддається їм холодильнику при зворотньому циклі Карно дорівнює відношенню температур T_1 і T_2 нагрівача і холодильника 8.2:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$



Якщо одній температурі надати будь-яке значення, наприклад, температурі T_2 - значення потрійної точки води, і якщо буде відомо співвідношення кількості теплоти Q_1/Q_2 то можна вичислити температуру T_1 .
Потрійна точка води - точка рівноваги води в твердій, рідкій і газоподібних фазах.

Схема посудини, що застосовується для здійснювання потрійної точки води

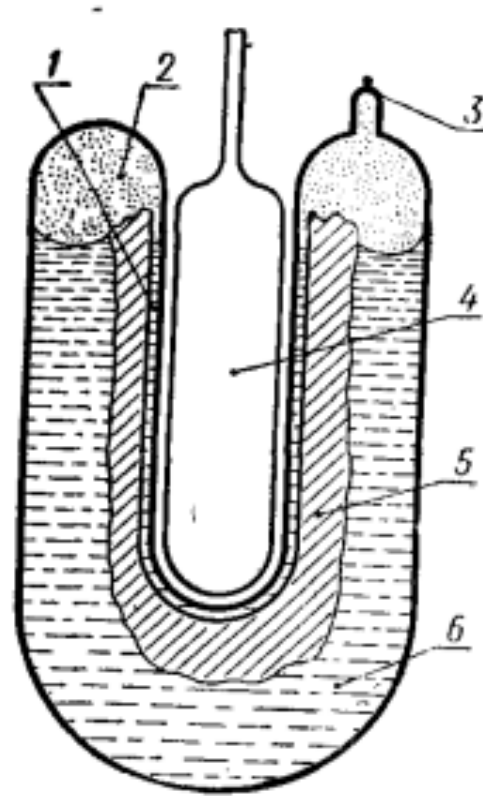


Рисунок 8.2. Посудина для потрійної точки води: 1 – шар води, 2 – пара, місце запайки посудини, 4 – колба термометра, 5 – крига, 6 - вода

Термодинамічна температура може бути виражена і в градусах Цельсія (С) по співвідношенню формула 8.3:

$$t = T - 273,15 \text{ К}, \quad 8.3$$

де t - температура Цельсія;

T - температура Кельвіна;

273,15 К - температура точки танення льоду за шкалою Кельвіна.

- Відтворення термодинамічної шкали являє собою великі труднощі. Тому VII генеральна конференція з мір та ваг в 1927 р прийняла, а IX генеральна конференція в 1948 р затвердила міжнародну практичну температурну шкалу, відтворену за певними постійним реперними точками.
- Надалі числові значення реперних точок уточнювалися в цілях максимально можливого узгодження її з термодинамічної шкалою.
- У 1968 р міжнародним комітетом мір і ваг відповідно до повноважень XII генеральної конференції з мір та ваг прийнята Міжнародна практична температурна шкала 1968р. Ця шкала замінила собою Міжнародну практичну температурну шкалу 1948 року (редакція 1960 року).
- *Температури за міжнародною шкалою виражаються в градусах Цельсія (°С), але вони можуть бути виражені і в Кельвінах.*

МІЖНАРОДНА ПРАКТИЧНА ТЕМПЕРАТУРНА ШКАЛА(МПТШ-68) - встановлена в 1968 році Міжнародним комітетом з мір і ваг, заснована на 11 реперних точках (табл.). У МПТШ-68 розрізняють міжнародну практич. темп-ру Кельвіна (T_{68}) та міжнародну практич. темп-ру Цельсія (t_{68}).

Таблиця 8.1

Основні реперні (постійні) точки МПТШ-68

Стан рівноваги	Присвоєне значення міжнародні практичні температури	
	T_{68}, K^*	$t_{68}^{\circ}C$
Потрійна точка водню	13,81	-259,34
Рівновага між рідкою та газоподібною фазами водню при тиску 33330,6 Па (25/76 нормальної атмосфери)	17,042	- 256,108
Точка кипіння водню	20,28	-252,87
Точка кипіння неону	27,102	-246,048
Потрійна точка кисню	54,361	-218,789
Точка кипіння кисню	90,188	- 182,962
Потрійна точка води	273,16	0,01
Точка кипіння води	373,15	100
Точка затвердіння цинку	692,73	419,58
Точка затвердіння срібла	1235,08	961 ,93
Точка затвердіння золота	1337,58	1064,43

* За винятком потрійних точок та однієї точки рівноважного водню (17,042 K) присвоєні значення температур дійсні для станів рівноваги при тиску 101325 Па (1 нормальна атмосфера).

Визначальні постійні (реперні) точки відтворюють реалізуючи стан рівноваги між фазами чистих речовин. В табл.8.1 наведено стани рівноваги і присвоєні їм значення Міжнародної практичної температури. Інтерполяція між температурами постійних точок проводиться за формулами, що служать для встановлення зв'язку між показаннями специфікованих атестованих інтерполяційних приладів, і значеннями Міжнародної практичної температури.

В якості постійних точок використовуються рівноваги між двома фазами чистих речовин, а саме: між рідкою і газоподібною фазами (точки кипіння) або між твердою і рідкою фазами (точки затвердіння).

У трьох випадках використовуються так звані потрійні точки, що характеризуються рівновагою між твердою, рідкою і газоподібною фазами водню, кисню і води. Точність відтворення Кельвіна і градусів Цельсія різна в різних інтервалах температур. Найбільша точність відтворення досягається в потрійній точці води 273,16 К (або +0, 1 ° С) $\pm 0,0002$ К (або С).

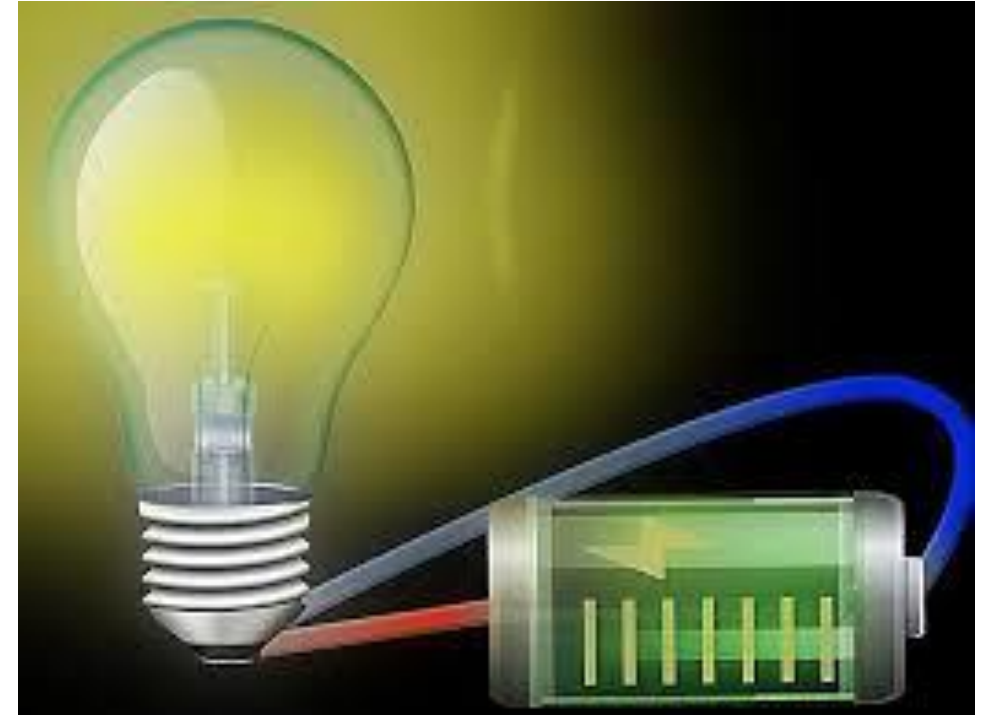
В якості еталонів приладів застосовується платиновий термометр опору в діапазоні температур 13,81 К і 630,74 ° С; термонара платинородий-платина в діапазоні між 630,74 і 1064,43 ° С.

3. Еталон одиниці сили світла

Кандела - сила світла, не пропускнуго з площі $1/600000$ м² перерізу повного випромінювача, в перпендикулярному до цього перерізу напрямку при температурі випромінювача, що дорівнює температурі затвердіння платини при тиску 101325 Па.

Кандела найбільш точно відтворюється за допомогою еталонного пристрою - повного випромінювача.

Повний випромінювач, що називають іноді абсолютно чорним тілом (рис. 8.3), являє собою невелику трубочку з окису торію внутрішнім діаметром близько 2,5 мм, занурену в чисту платину. Платина в свою чергу знаходиться в ємності спресованій з порошку плавеного окису торію, оточеному порошком з окису торію. Все це розміщено в зовнішню ємність з плавеного кварцу. Зовнішня ємність оточена невеликим числом витків мідної охолоджувальної водою трубки. По трубці пропускається струм високої частоти (близько 250 кГц), який нагріває платину до її розплавлення.



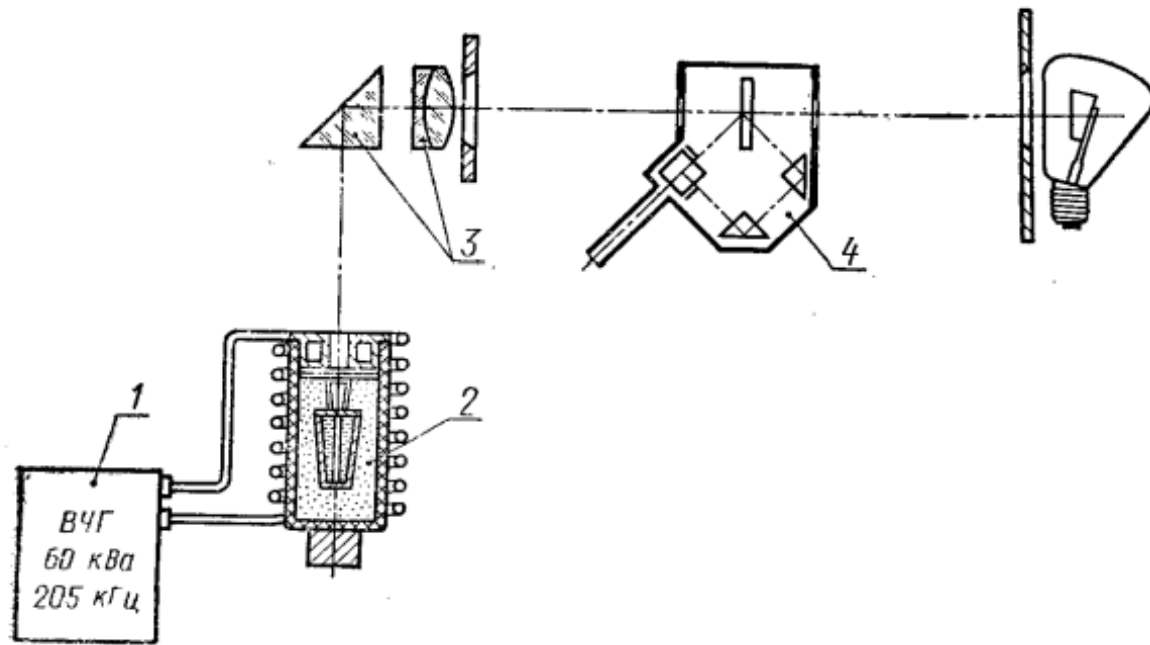


Рисунок. 8.3. Повний випромінювач: 1 – високочастотний генератор, 2 – повний випромінювач, 3 – призма повного внутрішнього відображення, 4 – фотометр, 5 – еталонна лампа накаливання

- Разом з платиною нагрівається і трубочка з торію. Світло випромінюється з порожнини трубочки через отвір у верхній її частині. Яскравість повного випромінювача при температурі затвердіння платини порівнюється за допомогою фотометра з яскравістю особливих ламп розжарювання, які використовуються в якості вторинних еталонів.
- Відтворення кандели приписана похибка $\pm 0,5\%$ за результатами міжнародних звірень.

4. Еталони додаткових та похідних СІ

З двох додаткових одиниць СІ (радіана і стерadiana) відтворюється за допомогою еталона одиниця плоского кута - радіан.

Відтворення радіана здійснюється методом калібрування з того, що сума всіх центральних суміжних кутів багатогранної призми дорівнює 2π рад. (360°).

Державний первинний еталон складається з 36-гранної призми, еталонної кутовимірної автоколімаційної установки, що включає фотоелектричні автоколіматори з електронним цифровим відліковим пристроєм, що дозволяє виконувати вимірювання в межах від $-6''$ до $+6''$, і системи для установки і повороту багатогранної призми.

Ціна відлікового пристрою автокаліматора $0,01''$. Середнє квадратичне відхилення результату вимірювання не перевищує $0,02''$.

Державний комітет стандартів Ради та Міністрів СРСР затвердив наступні державні первинні еталони похідних виробничих одиниць СІ:

1. Густина рідини кілограм на кубічний метр ($\text{кг} / \text{м}^3$) – у вигляді набору скляних пікнометрів (5 шт.), набору скляних поплавків установки для гідростатичного зважування і необхідної допоміжної апаратури.
2. Кінематична в'язкість - квадратний метр на секунду ($\text{м}^2 / \text{с}$), що складається з набору з 30 скляних капілярних вискозиметрів з висячим рівнем, апаратури для підтримки і вимірювання температури рідини в вискозиметрах, апаратури для вимірювання часу витікання рідин.
3. Кількість теплоти - джоуль (Дж), що складається з калориметричної установки ЕКУ-1 з водяним калориметром В-0, 6М № 4 і установки для визначення калориметра, що складається з засобів вимірювання часу, сили струму і падіння напруги на електричному опорі.
4. Індуктивність - Генрі (Г), що складається з чотирьох котушок індуктивності ПБ-1, КБ-1, КБ-2, КБ-3 і мостової вимірювальної установки УМІЕ-1.
5. Електрорушійна сила, електрична напруга - вольт (В), що складається з 20 насичених нормальних елементів і компаратора для нормальних елементів КНЕ-56.
6. Електричний опір - ом (Ом), що складається з 10 манганінованих герметизованих котушок опору і мостової вимірювальної установки УМКС-1.
7. Магнітний потік - вебер (Вб), що складається з еталонної котушки магнітного потоку КЕМП-2 і вимірювальної баллістичної установки УЕМП-1.

8. Звуковий тиск - паскаль (Па), що складається з вимірювальної установки «Пістонфон» на діапазон частот 2-125 Гц і вимірювальної установки «Камера малого обсягу і заглушена камера» на діапазон частот по тиску 29-100 кГц по вільному полю 1-10 кГц.

9. Спектральна щільність потужності шумового радіовипромінювання - ват на герц (Вт / Гі), що складається з комплекту теплових і газорозрядних генераторів, а також комплекту компараторів радіовипромінювання в діапазоні частот 2,6-17,4 ГГц.

10. Поглинута дози бета- і нейтронного випромінювання - джоуль на кілограм (Дж/Кг) і потужності поглиненої дози-ват на кілограм (вт / кг), що складається з еталонної установки УЕДБ-1 для відтворення поглиненої дози бетта-випромінювання, еталонної установки УЕДН-1 для відтворення поглиненої дози нейтронного випромінювання і апаратури для передачі розміру одиниці в діапазоні енергій 3-500 фДж (20-3000 кеВ). Те ж в діапазоні 0,05-2 пДж (0,3-12 МеВ).

11. Експозиційна доза рентгенівського і гамма-випромінювання - кулон на кілограм (Кл/Кг) і потужності експозиційної дози ампер на кілограм (А/Кг), що складається з комплексу чотирьох еталонних установок: УЕДЕ-5 - 20 для рентгенівського випромінювання з енергією фотонів 0,8- 3 фдж (5-20 кеВ); УЕДЕ-20 - 60 для рентгенівського випромінювання з енергією фотонів 3-10 фДж (20-60 кеВ); УЕДЕ-60 - 250 для рентгенівського випромінювання з енергією фотонів 10-40 фдж (60-250 кеВ)%; УЕДЕ-250 - 3000 для гамма-випромінювання з енергією фотонів 40 - 500 фДж (250-3000 кеВ).

12. Активність нуклідів – секунда в мінус першій степені (с-1), що складається з п'яти еталонних установок: УЕА-1 для рідин; УЕА-2 для джерел з металевих підкладок; УЕА-3 для рідких зразків і твердих джерел; УЕА-4 для гамма-джерел; УЕА-5 для гамма-джерел і альфа- і бета- активних зразків.

13. Поток нейтронів - секунда в мінус першому ступені (с-1), що складається з трьох установок: УЕН-1, УЕН-2 і УЕН-3.

14. Щільність потоку нейтронів - секунда в мінус першій-метр в мінус другому ступені (с-1-м-2), що складається з еталонної установки УЕПН-66, що включає шість плутонево-берилевих джерел нейтронів і сповільнювач до енергії нейтронів нижче 0,4 еВ.

15. Тиск-паскаль (па) у вигляді групи п'яти грузопоршневих манометрів, спеціального набору мір маси і установки для підтримки тиску при звіреннях манометрів.

16. Одиниці температурного коефіцієнта розширення твердих тіл - Кельвін в мінус першому ступені (К-1), відтворюваний на еталонних інтерференційних дилатометрах.

17. Електрична ємність - фаради (Ф) - в вигляді комплексу засобів вимірювань, що складається з розрахункового конденсатора, інтер-ферометра, що служить для вимірювання зміни довжини електродів розрахункового конденсатора і мостової вимірювальної установки, а також групи еталонних конденсаторів.

На найближчий час заплановано затвердження і інших державних первинних і спеціальних еталонів.