



ปัจจุบันและอนาคต ของหน่วยกิโลกรัม

รังสียา สุกนธ์

สโมสรรอัลไพน์กอล์ฟ คลองห้า คลองหลวง ปทุมธานี

วันอังคารที่ 28 พฤษภาคม 2562

เวลา 10.45-11.00 น.



เนื้อหา

ประเด็นแนวทางที่ควรพิจารณา

จุดแข็งจุดอ่อน และผลกระทบที่เกิดขึ้น

นิยามของหน่วยกิโลกรัม



reference

until 2018

measured

IPK

h

measured

From May 2019

reference

IPK อีกชื่อหนึ่งคือ K อ่านว่า Le Grand K



อดีต



มวล (IPK) มีค่า 1 kg และ ความไม่แน่นอนเป็น 0



“End over” for the Paris kilogram

Definition of the kilogram

The kilogram is the unit of mass; it is equal to the mass of the international prototype of the kilogram.

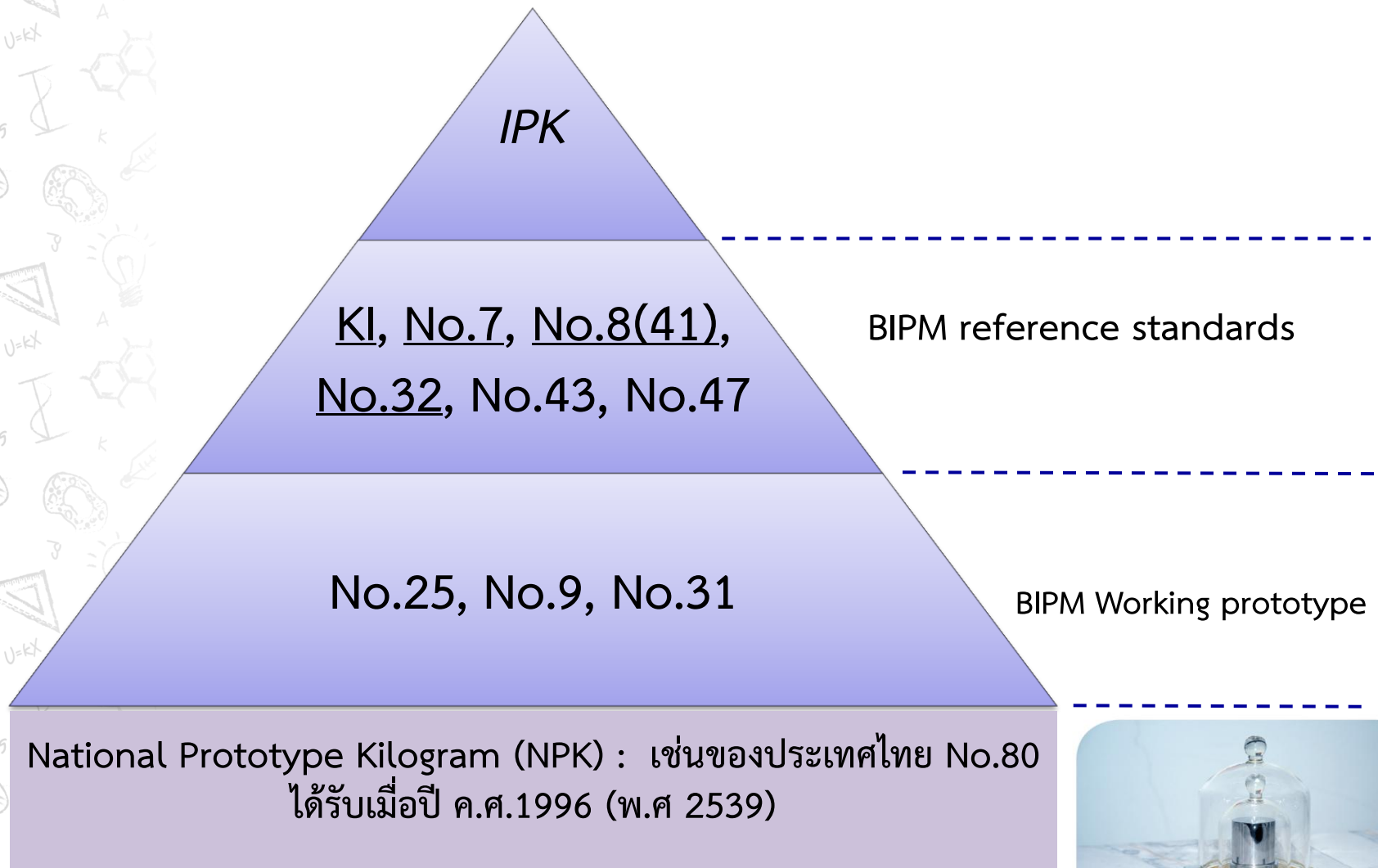
(It is in Bureau International des Poids et Mesures at Sevres, Paris)

The international prototype of the kilogram (*IPK*) is a cylinder 39 mm in height and 39 mm in diameter, made of an alloy consisting of 90%(Pt) and 10%(Ir)

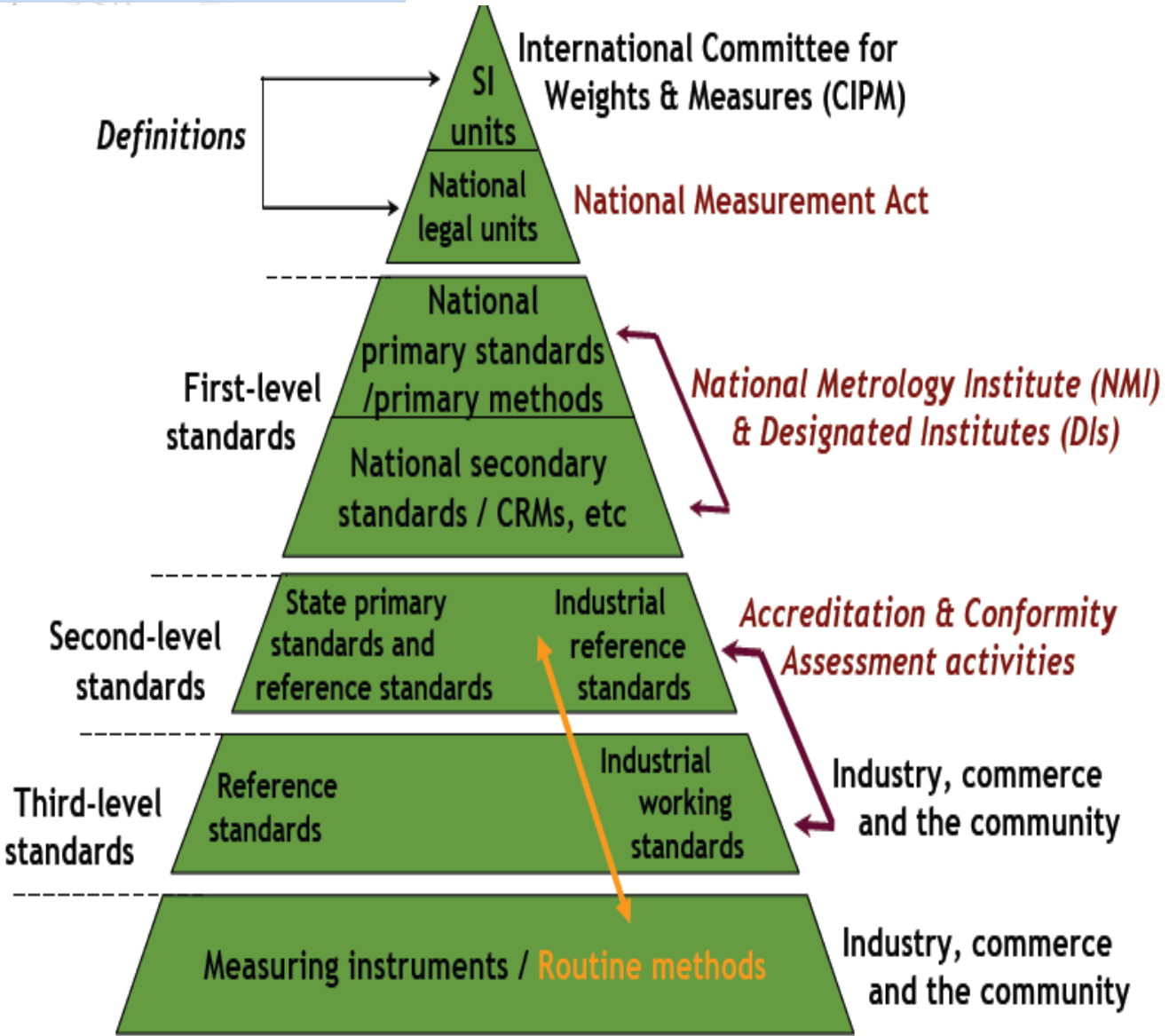
[Density = 21500 kg.m^3]



Traceability chain

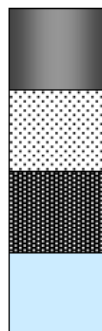
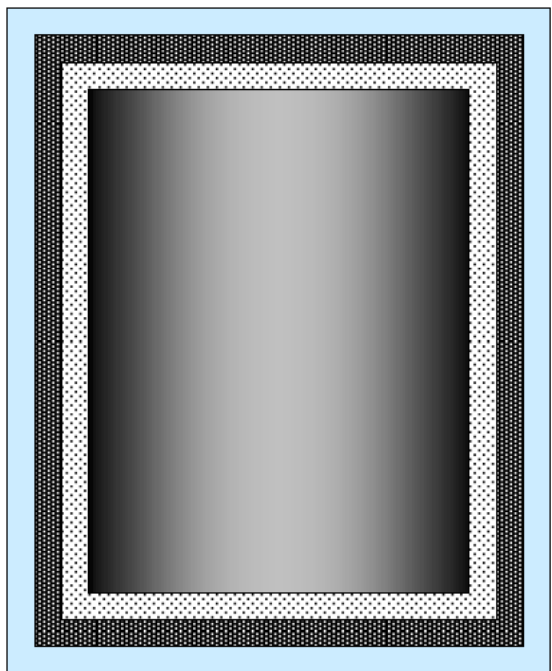


เพิ่มเติมเพื่อให้เห็นภาพชัดขึ้น



NIMT

เหตุที่ต้องเปลี่ยน นิยามใหม่



The kilogram (platinum-iridium)

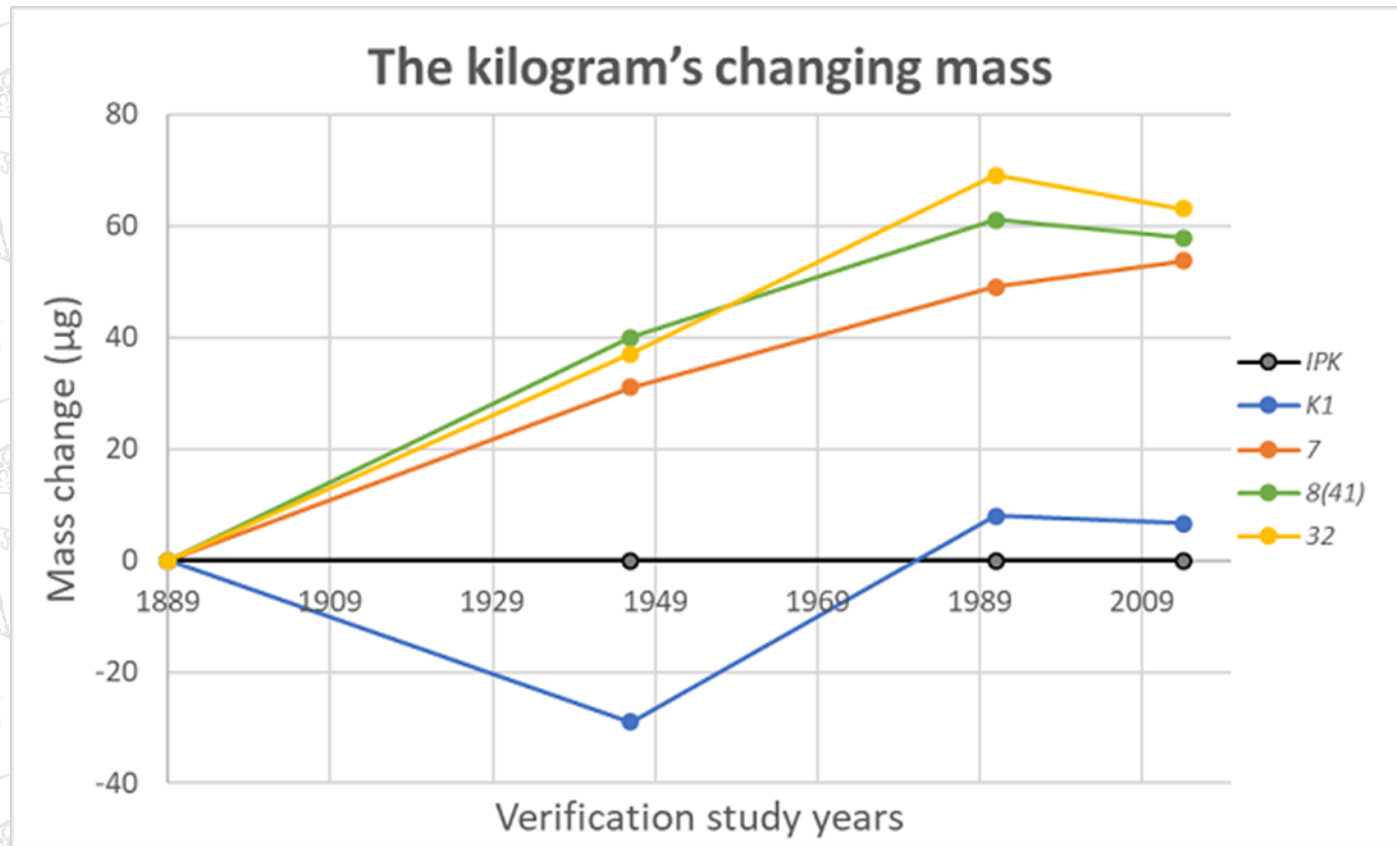
Pt and Ir oxide

Carbonaceous contamination (H-C)

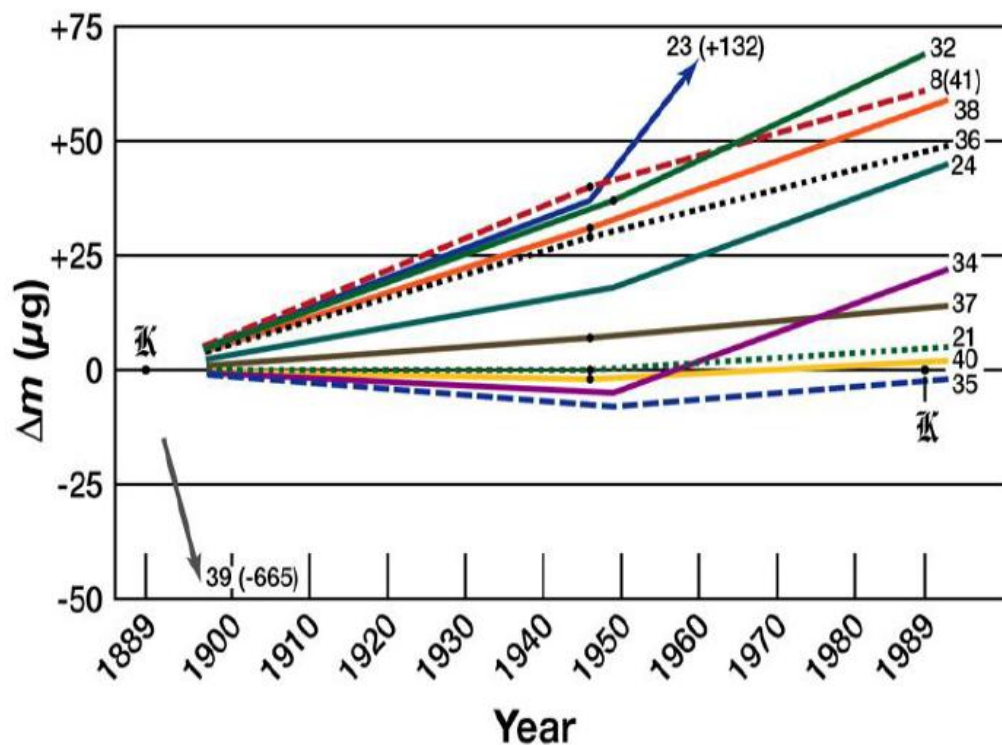
Water

- Water layer acts as a buffer but gradually hydrocarbon contamination increases
- Storage in vacuum removes the water and (therefore) doesn't improve stability

ส่วนหนึ่งของ BIPM Reference Standard

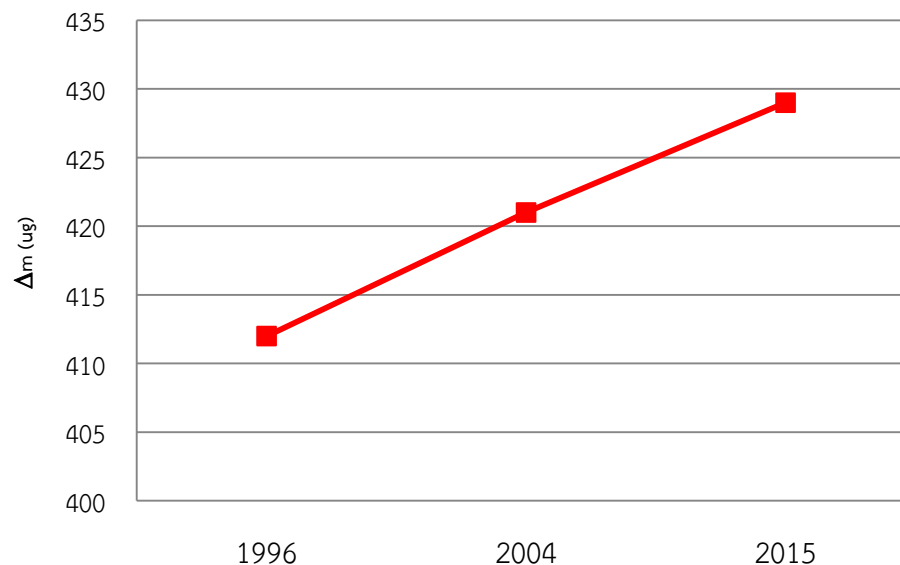


- Only three periodic verifications have ever taken place
- All copies cleaned before comparison with IPK
- Some copies (national standards) have changed by up to $50\mu\text{g}$



Changes in the values of kilogram copies with relation to IPK, at the 2nd and 3rd periodic verifications

National Prototype of Thailand



Pt-Ir No. 80 : P80

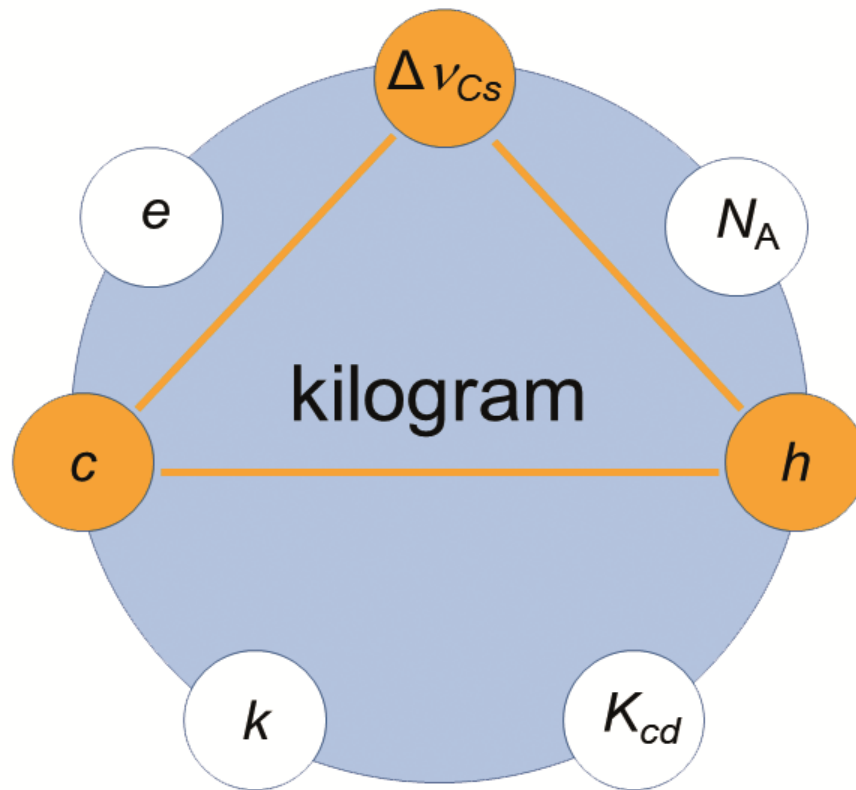
ล่าสุด 1kg + 0.429 mg

with combined standard uncertainty

Uc ($k=1$) of 0.005 mg(ก่อน 2019)



ปัจจุบัน เมื่อ 20 พค 2562 เป็นต้นมา



**Definition agreed by the 26th CGPM
(November 2018), implemented 20 May 2019:**



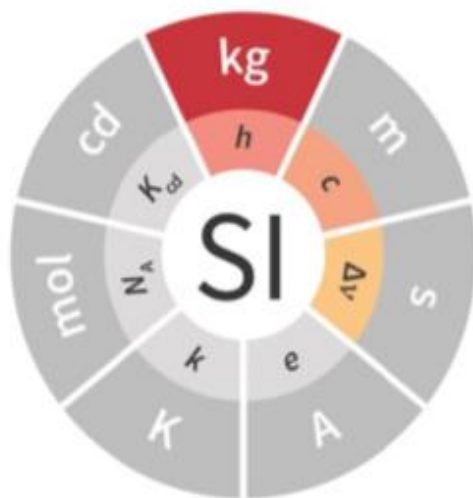
$$1 \text{ kg} = \left(\frac{h}{6.626\,070\,15 \times 10^{-34}} \right) \text{ m}^{-2} \text{ s}$$

$$1 \text{ kg} = \frac{(299\,792\,458)^2}{(6.626\,070\,15 \times 10^{-34})(9\,192\,631\,770)} \frac{h \Delta\nu_{\text{Cs}}}{c^2} \approx 1.475\,5214 \times 10^{40} \frac{h \Delta\nu_{\text{Cs}}}{c^2}$$



The kilogram

The kilogram, symbol kg, is the SI unit of mass. It is defined by taking the fixed numerical value of the Planck constant h to be $6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$ when expressed in the unit J s, which is equal to $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$, where the metre and the second are defined in terms of c and $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.



This definition implies the exact relation $h = 6.626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ kg m}^2 \text{s}^{-1}$. Inverting this relation gives an exact expression for the kilogram in terms of the three defining constants h , $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ and c :

$$1 \text{ kg} = \left(\frac{h}{6.626\,070\,15 \times 10^{-34}} \right) \text{ m}^{-2} \text{s}$$

which is equal to

$$1 \text{ kg} = \frac{(299\,792\,458)^2}{(6.626\,070\,15 \times 10^{-34})(9\,192\,631\,770)} \frac{h \Delta\nu_{\text{Cs}}}{c^2} \approx 1.475\,5214 \times 10^{40} \frac{h \Delta\nu_{\text{Cs}}}{c^2}$$

The effect of this definition is to define the unit $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$ (the unit of both the physical quantities action and angular momentum). Together with the definitions of the second and the metre this leads to a definition of the unit of mass expressed in terms of the Planck constant h .



จากการประชุม 17th meeting of the CCM (2019)



20 May 2019 - World Metrology Day

The new definitions of the SI base units
have now come into effect!



President: Dr P. Richard
Executive Secretary: Dr H. Fang



Consultative Committee for Mass and Related Quantities (CCM)

President:

Dr P. Richard
Director, member of the CIPM
Federal Institute of Metrology METAS
Switzerland

Executive Secretary:

Dr H. Fang
Bureau international des poids et mesures
France

Member(s):

- Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen [BEV], Vienna
- Central Office of Measures [GUM], Warsaw
- Centro Español de Metrología [CEM], Madrid
- Centro Nacional de Metrología [CENAM], Querétaro
- CSIR National Physical Laboratory of India [NPLI], New Delhi
- D.I. Mendeleyev Institute for Metrology [VNIIM], St Petersburg
- Danish Fundamental Metrology Ltd [DFM], Hørsholm
- Federal Institute of Metrology METAS [METAS], Bern-Wabern
- Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica [INRIM], Turin
- Korea Research Institute of Standards and Science [KRISS], Daejeon
- Laboratoire National de Métrologie et d'Essais [LNE], Paris
- Measurement Standards Laboratory of New Zealand [MSL], Lower Hutt
- National Institute of Metrology [NIM], Beijing
- National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg
- National Measurement Institute, Australia [NMIA], Lindfield
- National Metrology Institute of Japan, AIST [NMIJ/AIST], Tsukuba
- National Metrology Institute of South Africa [NMISA], Pretoria
- National Physical Laboratory [NPL], Teddington
- National Research Council of Canada [NRC], Ottawa
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig
- RISE Research Institutes of Sweden AB [RISE], Borås
- Slovak Institute of Metrology/Slovenský Metrologický Ústav [SMU], Bratislava
- VSL B.V. [VSL], Delft

Official observer(s):

- Agency for Science, Technology and Research [NMC, A*STAR], Singapore
- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia [INMETRO], Rio de Janeiro
- Instituto Português da Qualidade [IPQ], Caparica
- Laboratorio Tecnológico del Uruguay [LATU], Montevideo



Consultative Committee for Mass and Related Quantities (CCM)

1) CCM Task Group on the Phases for the Dissemination of the kilogram following redefinition (CCM-TGPfD-kg)

2) CCM Working Group on the Realization of the kilogram (CCM-WGR-kg)

3) CCM Working Group on the Dissemination of the kilogram (CCM-WGD-kg)



1) CCM Task Group on the Phases for the Dissemination of the kilogram following redefinition (CCM-TGPfD-kg)

- How will kg be defined?

- $h = 6.626\ 0715 \times 10^{-34} \text{ kgm}^2\text{s}^{-1}$



2) CCM Working Group on the Realization of the kilogram (CCM-WGR-kg)

- How will the kg materialized?

- ☐ Avogadro Experiment (XRCD method)
- ☐ Watt balance/ KB

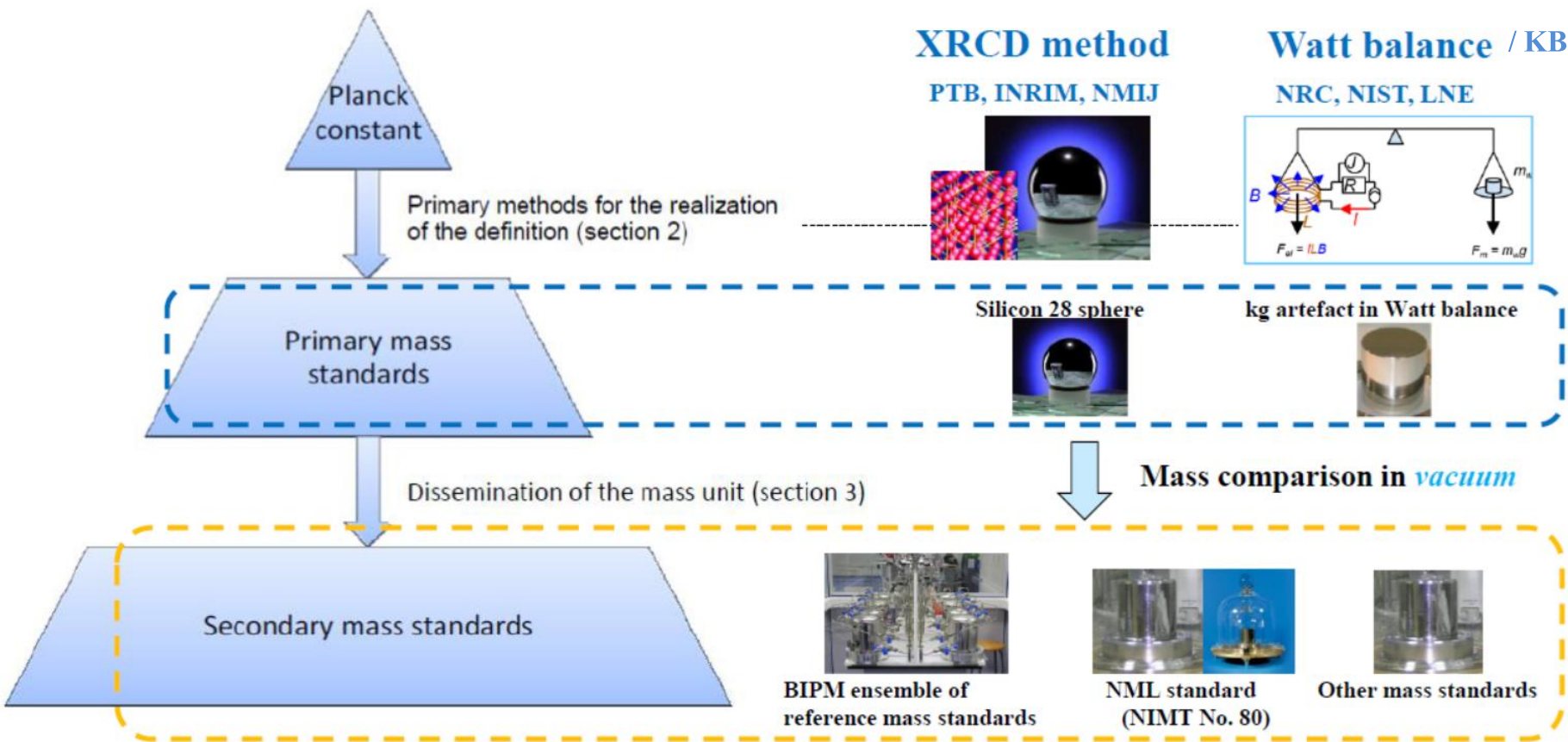


3) CCM Working Group on the Dissemination of the kilogram (CCM-WGD-kg)

- What will be the primary mass standard?
- Traceability



Traceability chain after kilogram redefinition

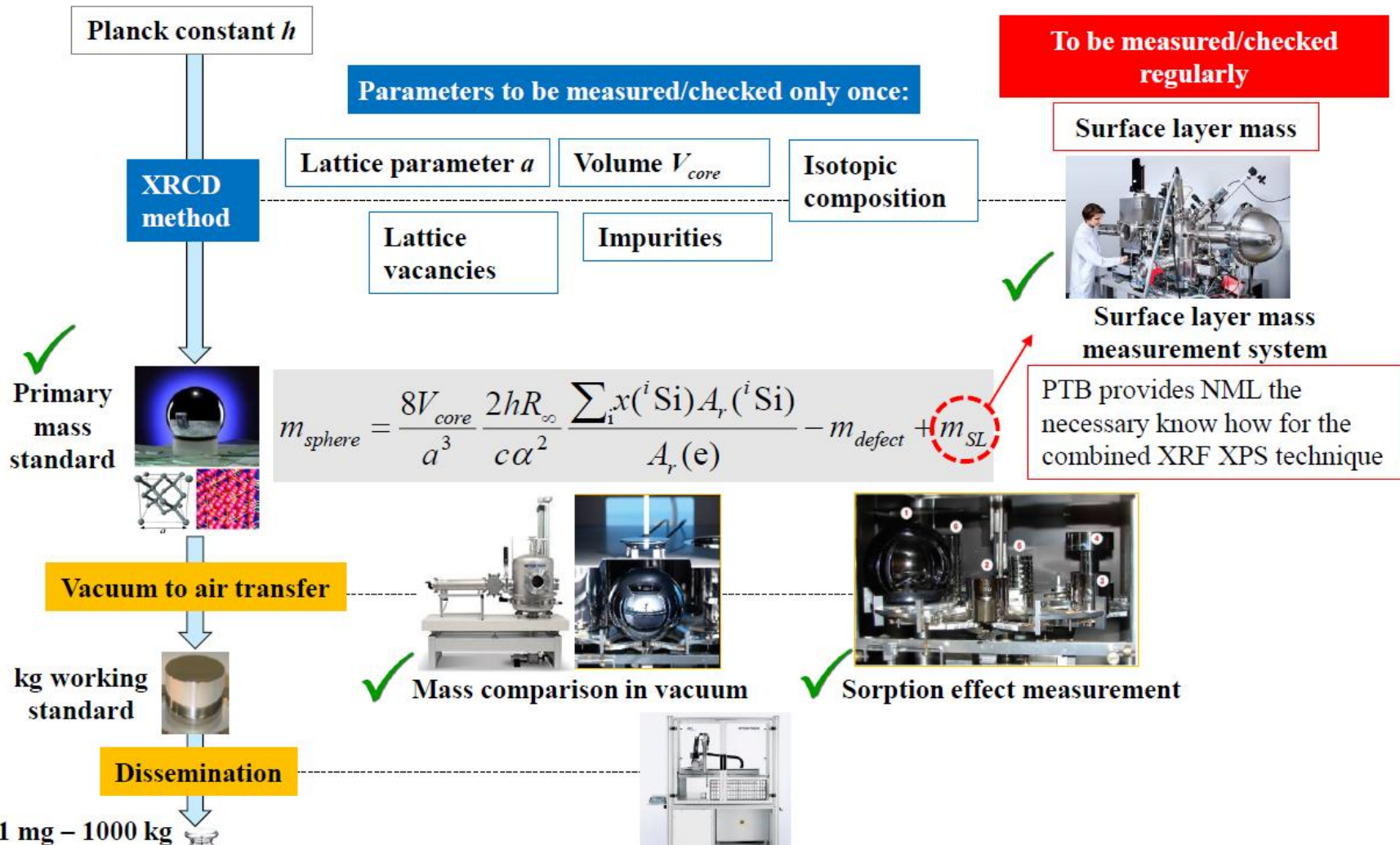


Reference

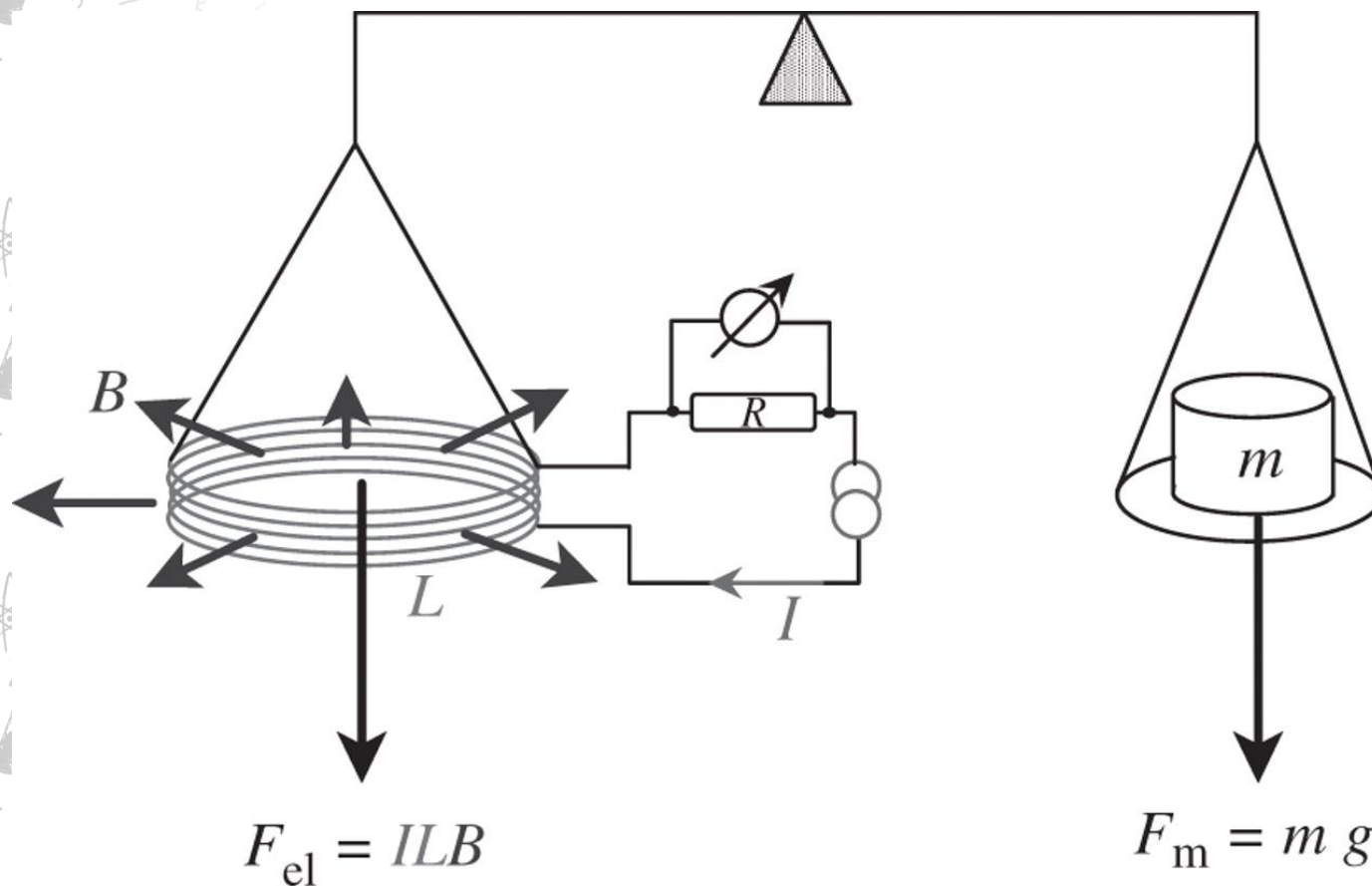
- 1) Mise en pratique of the definition of the kilogram MeP-kg, v.9.0, 2014.10.22
- 2) APMP 2017 TCM meeting, New Delhi, India, Sheng-Jui Chen, CMS/ITRI



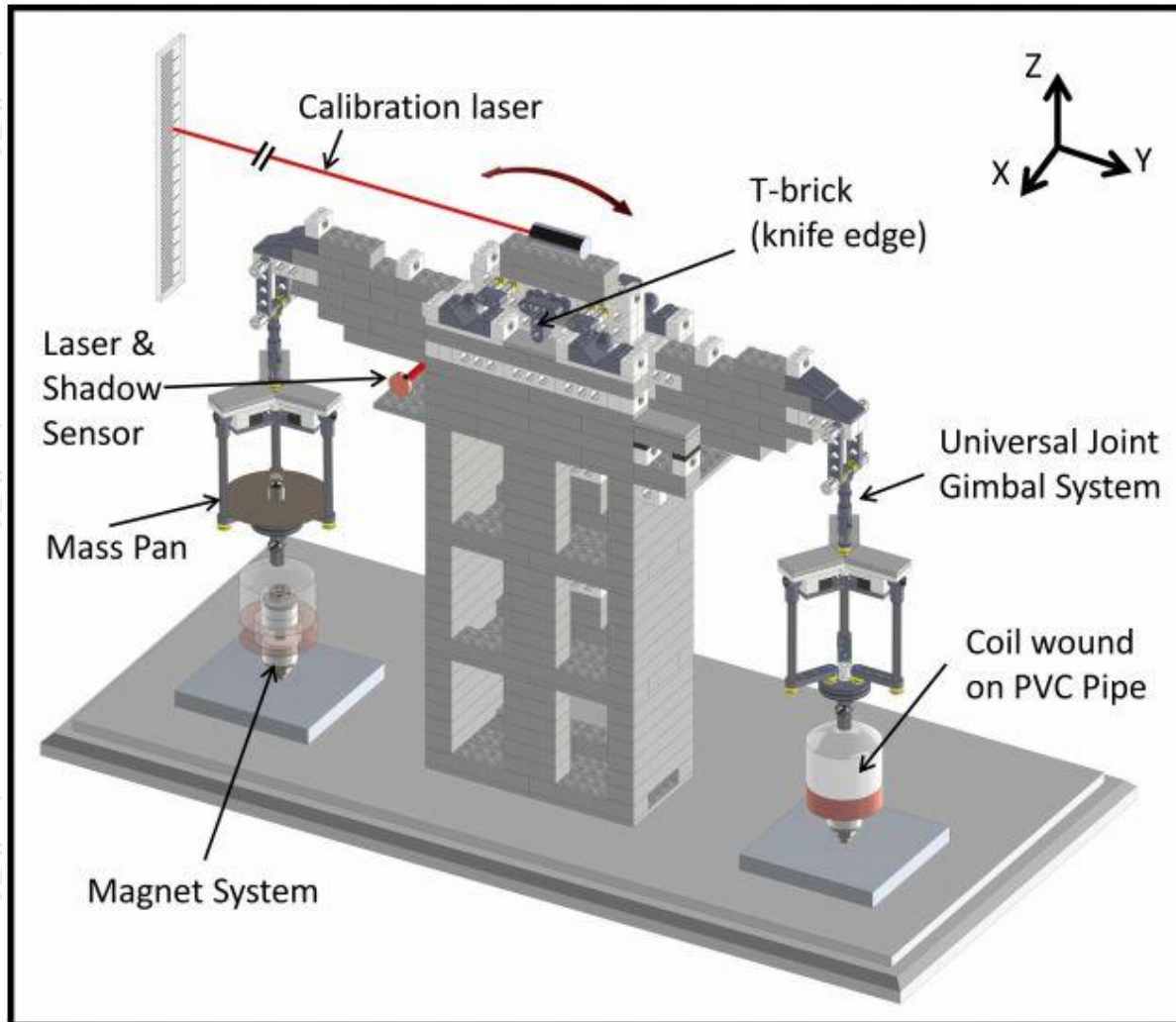
XRCD Method



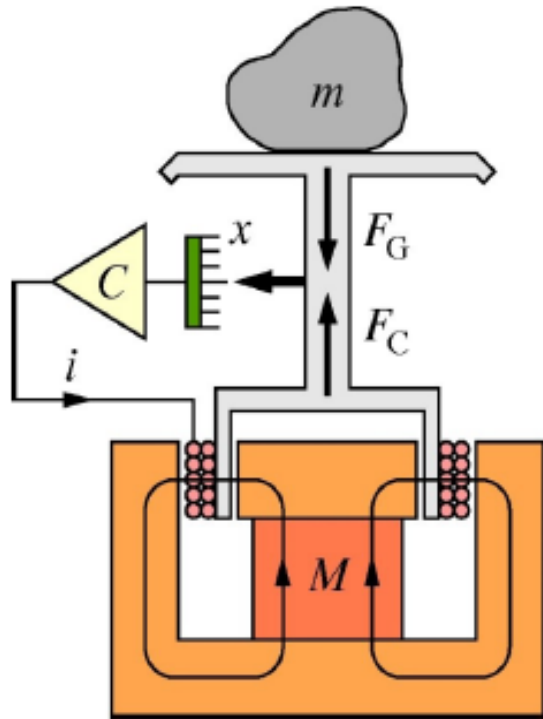
Watt balance / Kibble balance



ตัวอย่างโครงสร้างสมดุลวัตต์ NIST



The Planck constant h from a watt balance – Step 1



Gravitational force

$$F_G = mg$$

Electro-magnetic force

$$F_C = i (BL)$$

$$mg = i (BL) = \frac{V'}{R} (BL)$$

from Mettler-Toledo
documentation describing servocontrol
of an analytical balance.

An analytical balance is calibrated by
an internal or external mass standard
traceable to $m(\text{IPK})$

watt balance – Step 2

- Move the coil of wire (length L) vertically through the magnetic field (B) at a controlled velocity (v).
- A voltage difference V appears across the ends of the wire:

$$V = v(BL)$$

$$mg = \frac{V'}{R}(BL) \quad (\text{from previous slide})$$

- Combining equations, **mechanical power = electrical power**

$$mgv = V \frac{V'}{R}$$



watt balance – the link to the Planck constant

- Measure V , V' and R with **quantum electrical devices**, first discovered in the last century and now widely used:

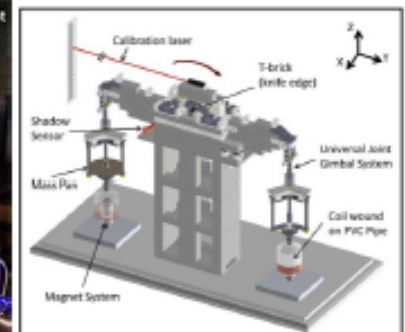
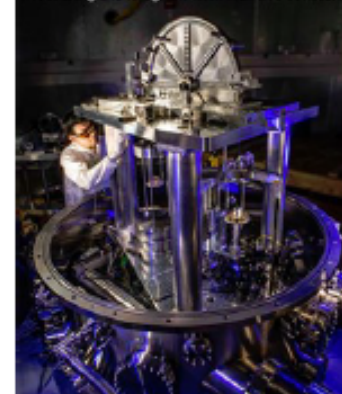
$$mgv = V \frac{V'}{R} \longrightarrow h = \left[4b \frac{gv}{f \cdot f'} \right] \cdot m = Q_{wb} \cdot m$$

f and f' are **microwave frequencies** associated with the voltage measurements;

b is a product of integers and dimensionless scaling factors;

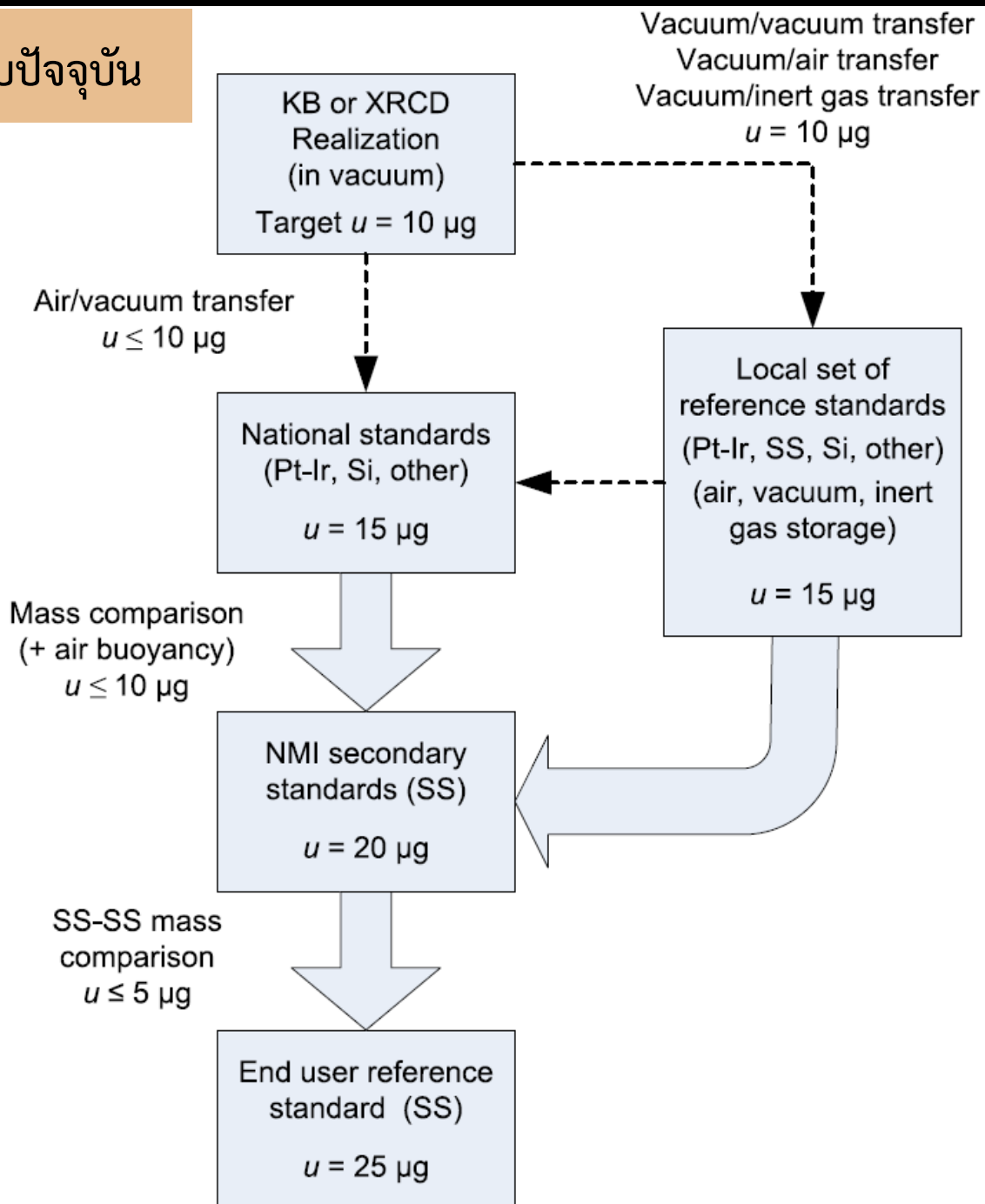
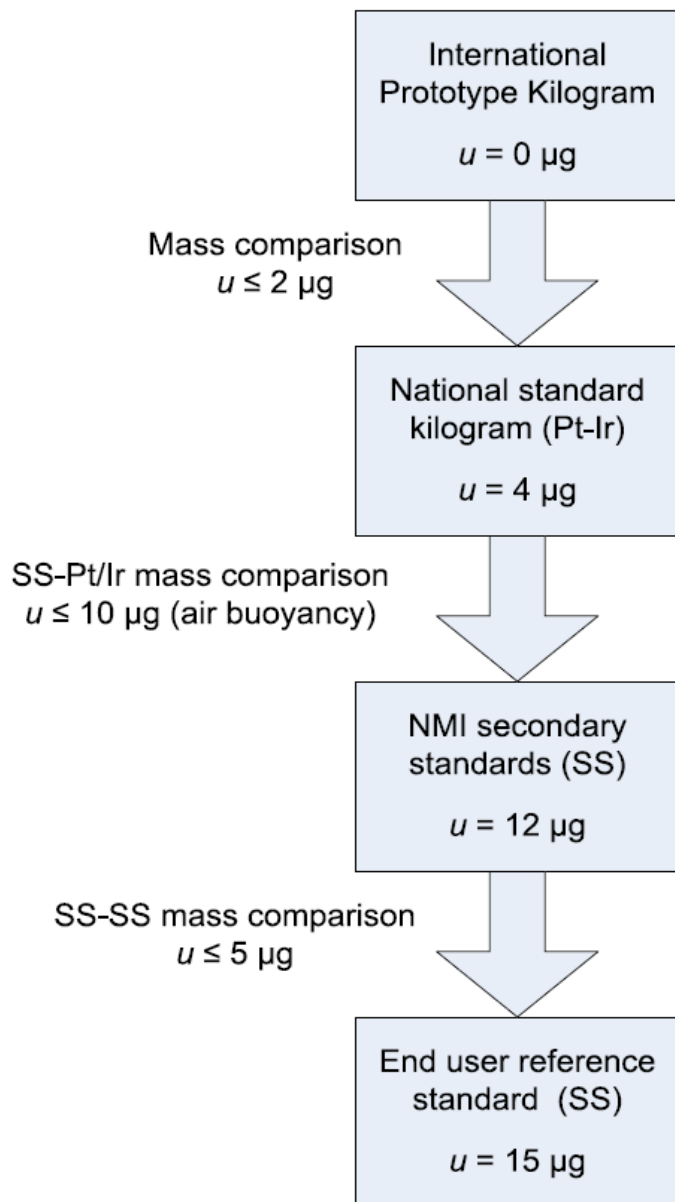
$$Q_{wb} = \left[4b \frac{gv}{f' \cdot f} \right]$$

Measuring the kilogram with Planck's constant



watt balance made of Lego
<http://arxiv.org/pdf/1412.1699v4>

เปรียบเทียบความไม่แน่นอนของอดีตกับปัจจุบัน



Note on the impact of the redefinition of the kilogram on BIPM mass calibration uncertainties

This note provides information on the impact of the redefinition of the kilogram, which takes place on 20 May 2019, on mass calibration uncertainties stated on BIPM calibration certificates issued before this date.

สาระสำคัญคือ ค่ามวลของ NPK เท่าเดิม ค่าความไม่แน่นอนเพิ่มขึ้นจากเดิมอีก 0.010 mg

Adjustment of the mass uncertainty of BIPM calibration certificates issued before 20 May 2019

Prior to the decision to redefine the kilogram, all NMIs took traceability, directly or indirectly, from the IPK. This will continue to be the case immediately after 20 May 2019. The mass of the IPK will then have an associated uncertainty of 10 μg .

NMIs will need to review and, where necessary, adjust their uncertainty budgets for measurements made after 20 May 2019 by:

1. Adding 10 μg in quadrature to the existing uncertainty given by the BIPM for those standard(s) by which they achieve traceability to the BIPM
2. Updating their uncertainty budgets with the new uncertainty for the standard(s)



ดังนั้น National Prototype of Thailand



1kg + 0.429 mg
with combined standard
uncertainty

***uc* (*k*=1) of 0.005 mg** เพิ่มอีก
0.010 mg

เป็น 0.015 mg



■ ผลกระทบใน KCDB และแผนงานในภายหน้า

Calibration and Measurement Capabilities



Mass and Related Quantities, Thailand, NIMT (National Institute of Metrology (Thailand))

Calibration or Measurement Service			Measurand Level or Range			Measurement Conditions/Independent Variable		Expanded Uncertainty					Comments	NMI Service Identifier
Class	Instrument or Artifact	Instrument Type or Method	Minimum value	Maximum value	Units	Parameter	Specifications	Value	Units	Coverage Factor	Level of Confidence	Is the expanded uncertainty a relative one?		
Mass	Mass standards	Comparison in air	1	1	kg			0.16	mg	2	95%	No	Approved on 20 August 2013	10010-10101
Mass	Mass standards	Comparison in air	1	100	mg			0.6 to 1.6	µg	2	95%	No	Approved on 20 August 2013	10010-10101
Mass	Mass standard	Comparison in air	0.1	1	g			1.6 to 3	µg	2	95%	No	Approved on 20 August 2013	10010-10101
Mass	Mass standard	Comparison in air	1	10	g			3 to 6	µg	2	95%	No	Approved on 20 August 2013	10010-10101
Mass	Mass standard	Comparison in air	10	100	g			6 to 16	µg	2	95%	No	Approved on 20 August 2013	10010-10101
Mass	Mass standards	Comparison in air	0.1	1	kg			16 to 160	µg	2	95%	No	Approved on 20 August 2013	10010-10101
Mass	Mass standard	Comparison in air	1	10	kg			0.16 to 1.7	mg	2	95%	No	Approved on 20 August 2013	10010-10101 to 10010-10104
Mass	Mass standard	Comparison in air	10	100	kg			1.7 to 270	mg	2	95%	No	Approved on 20 August 2013	10010-10104 to 10011-10402

■ ประเทศไทย (28 พ.ค 2562) ยังไม่มีผลกระทบ
กับงานให้บริการลูกค้าตามปกติ



จุดแข็งจากการกำหนดนิยามกิโลกรัมใหม่ ในรูปแบบของค่าคงที่พื้นฐาน

1) หน่วยการวัดสากลของมวลจะมีเสถียรภาพ

นั่นคือการเปลี่ยนมวลต้นแบบมาตรฐาน (*IPK* หรือ *NPK*) สามารถตรวจสอบได้โดยตรงกับนิยามใหม่ของกิโลกรัม (โดย *XRCD method* หรือ *Watt balance/KB*)

2) ด้วยการสอบกลับได้ ...สุดท้ายไม่ได้อ้างอิงไปที่ *IPK* อีกต่อไปทำให้ *NMIs* สามารถทำการทดลองการวัดมวลของตนเองได้จากสองวิธีดังกล่าว (ภายใต้หลักฐานการเปรียบเทียบผลการวัดที่สอดคล้องกัน)

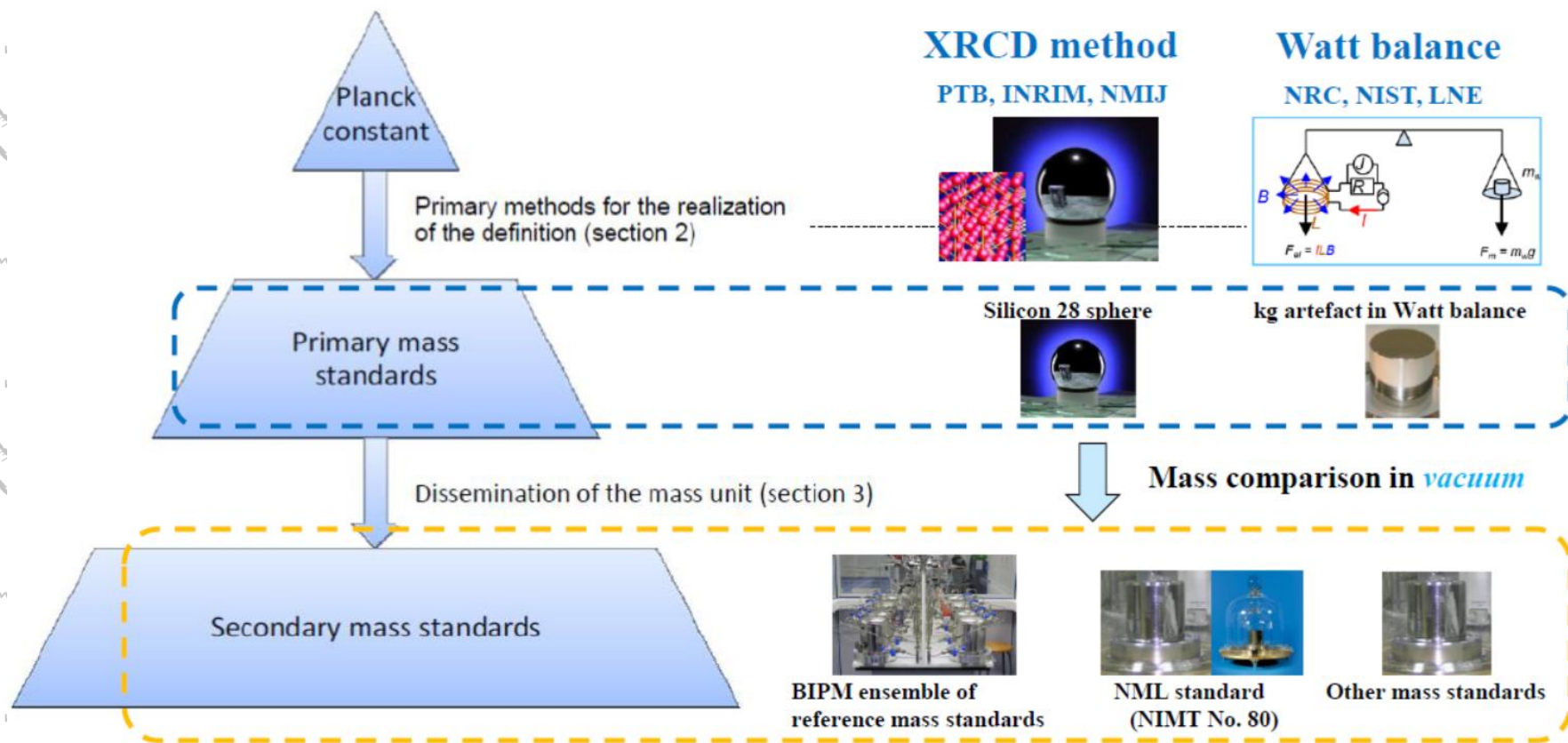


จุดอ่อนมีหรือไม่ ? จากการกำหนดนิยามกิโลกรัมใหม่ ในรูปแบบของค่าคงที่พื้นฐาน

- 1) ความไม่แน่นอนมีค่าเพิ่มขึ้น (เป็นจุดอ่อน?)
- 2) จากการทดลองทั้งสองวิธี XRCD method หรือ Watt balance/(KB) ทำในระบบการวัดสูญญากาศ ในขณะที่การวัดมวลโดยปกติวัดในอากาศ ดังนั้นปัจจัยที่สำคัญในเรื่ององค์ความรู้ทักษะ และ เครื่องมือที่เหมาะสม จึงจำเป็นต้องพิจารณา



แนวทางและแผนงาน



แนวทางและแผนงาน ที่ มว. ควรพิจารณา

1) เป้าหมาย : ให้ความรู้กับคน

ระดับใดเพื่อใคร แผนงาน

2) เป้าหมาย : ในระดับของงาน.... วางแผนงาน

Realization, สองวิธี XRCd method หรือ Watt balance/(KB)

ตัดสินใจทางเดียวเริ่มทำเองแต่ต้น หรือร่วมมือทางวิชาการ

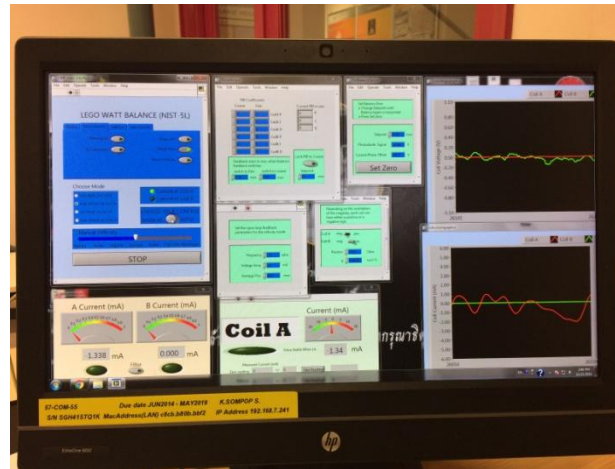
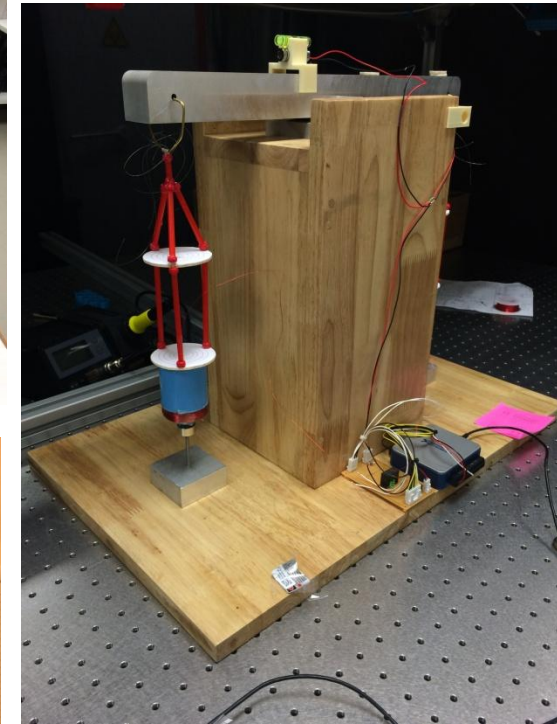
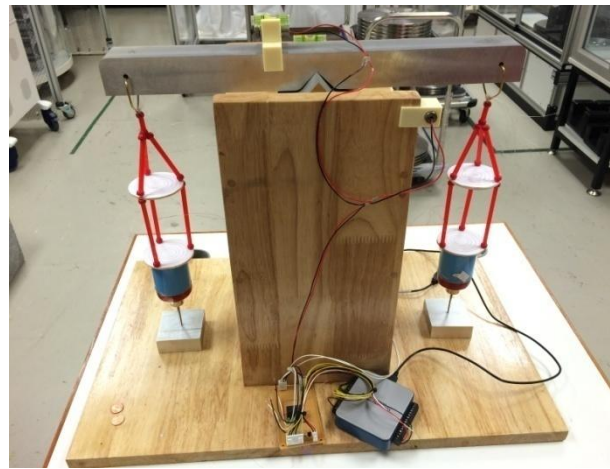
(มีที่พร้อมจำหน่ายด้วยแล้วของ NPL (KB)

ราคา 300,000 ยูโร หรือ ประมาณ 13 ล้านบาท ปี 2017)

Disseminationเรื่องการศึกษ พัฒนา วิจัย ร่วมกับ NMI (เป้าหมาย)



ตัวอย่างการจัดทำสมดุลวัตต์ : ดร.สมภาพ แสงผึ่ง และนักศึกษาฝึกงานสองรุ่น (KMITL และ KMUUT)



เชิญร่วมฟังการบรรยาย

“

THE NEW KILOGRAM DEFINITION

‘ความรู้ด้านมาตรวิทยา นิยามใหม่ของกิโลกรัมด้วยหลักการของสมดุลวัตต์ (Watt balance) และการวัดมวลด้วยเครื่องสมดุลวัตต์’



16 สิงหาคม 2560

เวลา 10:00 – 12:00 น.

ณ Science Learning Space



สอบถามข้อมูล

ภาควิชาฟิสิกส์

โทร 02-4708876



วิทยากร

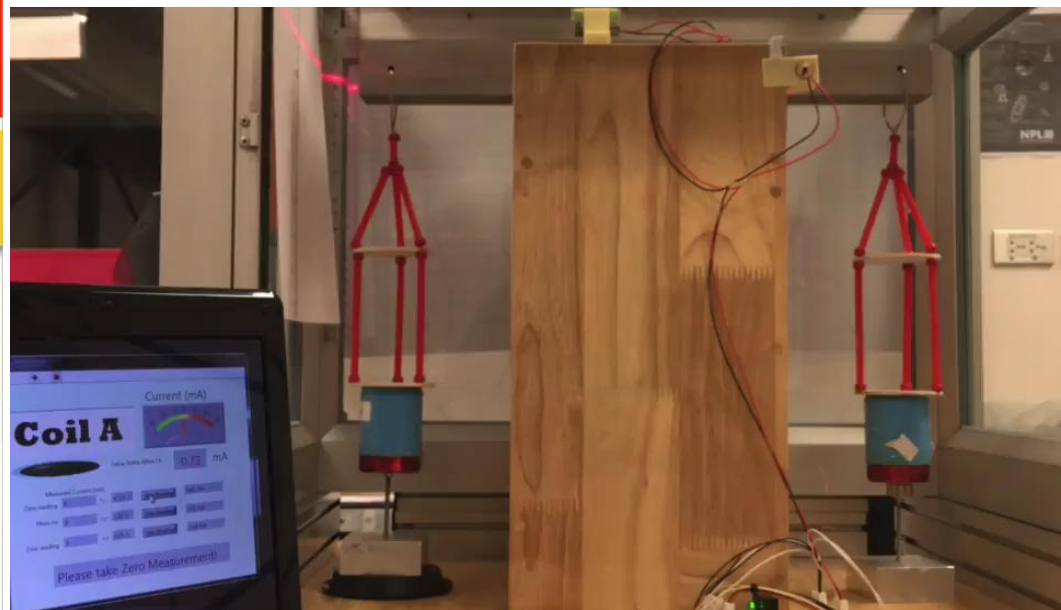


รังสียา สุขนธ์

กลุ่มงานมาตรฐานปฐมนิเทศและปริมาณที่เกี่ยวข้อง
ฝ่ายมาตรวิทยาเชิงกล สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ



สมภพ แสงดิ่ง



ขอบคุณค่ะ



- [1] BIPM - principles. (n.d.). Retrieved August 23, 2016, from http://www.bipm.org/en/bipm/mass/watt-balance/wb_principle.html
- [2] The watt balance: An experiment to redefine the kilogram. (n.d.). Retrieved August 23, 2016, from <http://www.metas.ch/metas/en/home/fue/forschungsprojekte/wattwaage.html>
- [3] Sompop S. , Rungsiya S., An Experiment on Identification of Planck Constant Using NIMT Do-It-Yourself Watt Balance Model to Realize the New Definition of Kilogram, *Proceedings of Asia-Pacific Symposium on Measurement of Mass, Force & Torque (APMF 2017), Nov. 19 - 23, 2017.*
- [3] R. Steiner, D. Newell, and E. Williams, “Determining the Planck Constant,” *J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol.*, vol. 110, no. 1, pp. 1–26, 2005.
- [4] L. S. Chao, S. Schlamminger, D. B. Newell, J. R. Pratt, F. Seifert, X. Zhang, G. Sineriz, M. Liu, D. Haddad, L. S. Chao, S. Schlamminger, D. B. Newell, and J. R. Pratt, “A LEGO Watt balance : An apparatus to determine a mass based on the new SI A LEGO Watt balance : An apparatus to determine a mass based on the new SI,” *Am. J. Phys.*, vol. 91, no. 1, pp. 1–10, 2013.

