

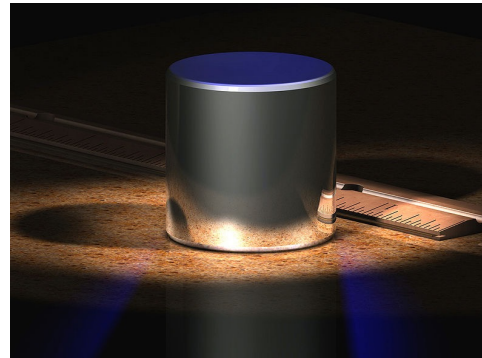
1793



litr wody



1889



stop platyny z irydium



2019



waga Watta

# "Polska metrologia wobec ewolucji Układu SI"

**dr inż. Włodzimierz Lewandowski**  
**Instytut Łączności PIB**

*Główny Fizyk w Międzynarodowym Biurze Miar w Sèvres w latach 1985 -2014*  
*Prezes Głównego Urzędu Miar w latach 2016-2018*



# Plan referatu

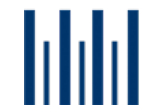
- **Przypomnienie redefinicji SI w 2018**
- **Metrologia światowa – przykład NIST**
- **Metrologia polska**
- **Wyzwania – Kampus GUM w Kielcach**

# MIĘDZYNARODOWY UKŁAD JEDNOSTEK MIAR (SI)

znormalizowany układ jednostek miar zatwierdzony w 1960 przez CGPM

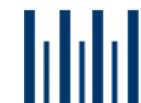
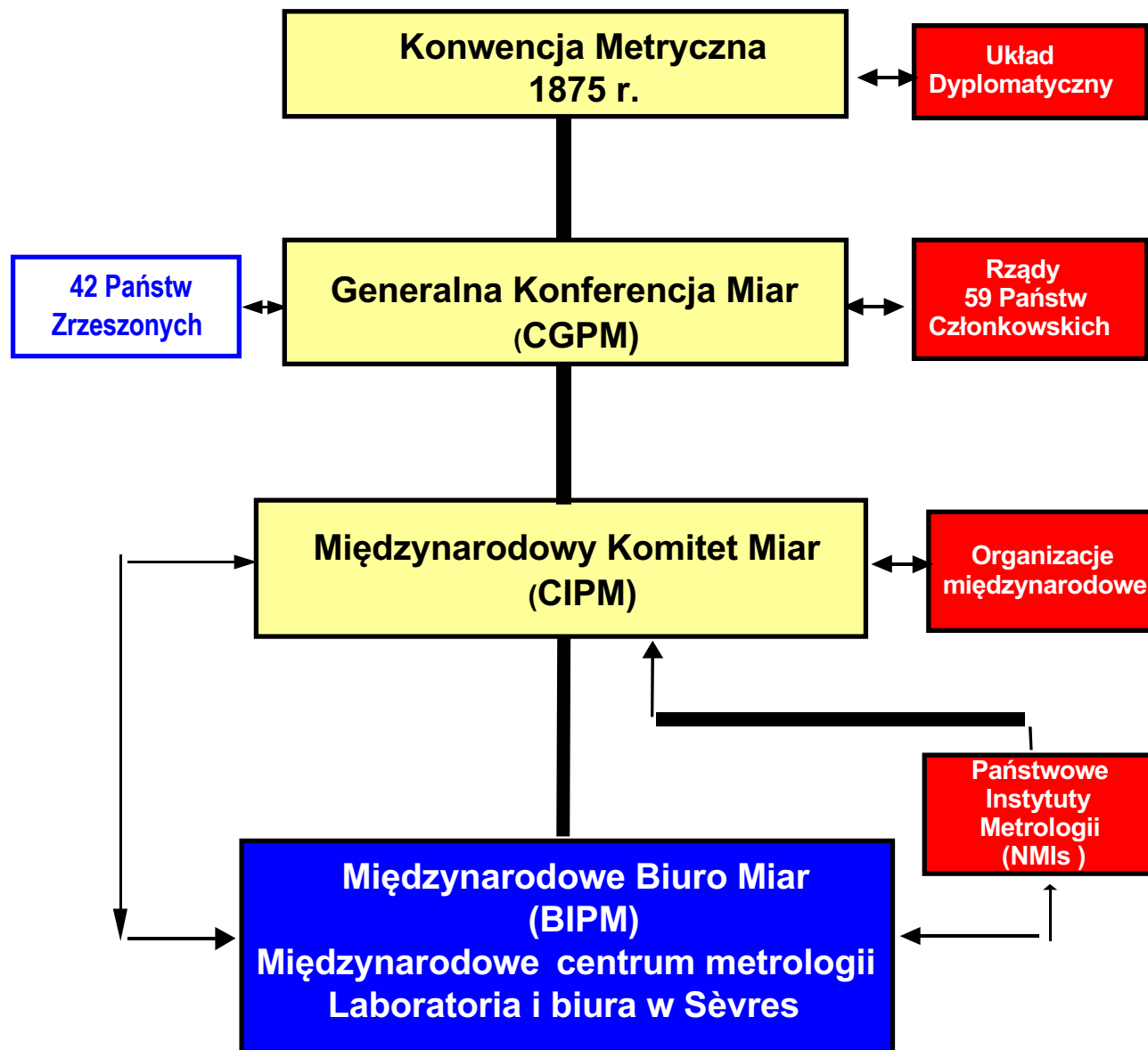


- definiuje siedem jednostek podstawowych: kilogram, metr, sekunda, mol, amper, kandela, kelwin;
- gwarantuje globalną jednolitość metrologiczną;
- umożliwia porównywanie i ułatwia interpretację wyników pomiarów;
- umożliwia i ułatwia wymianę handlową w skali całego świata;
- dba o nasze zdrowie i środowisko naturalne;
- wspiera obronność, naukę i technikę.



# Międzynarodowy Układ Jednostek Miar SI







*Międzynarodowe Biuro Miar w Sèvres pod Paryżem*



Rodzina Curie , Sevres, około 1904

# Pięć stałych fizycznych w służbie miar

atomic unit of mag. dipole mom	electron-deuteron mass ratio	natural unit of mass	Planck time
atomic unit of mag. flux densi	electron g factor	natural unit of mom.um	proton charge to mass quotient
atomic unit of magnetizability	electron gyromag. ratio	natural unit of mom.um in MeV/c	proton Compton wavelength
atomic unit of mass	electron gyromag. ratio over 2	natural unit of time	proton Compton wavelength over 2 pi
atomic unit of mom.um	electron-helion mass ratio	natural unit of velocity	proton-electron mass ratio
atomic unit of permittivity	electron mag. mom.	neutron Compton wavelength	proton g factor
atomic unit of time	electron mag. mom. anomaly	neutron Compton wavelength over	proton gyromag. ratio
atomic unit of velocity	electron mag. mom. to Bohr mag	neutron-electron mag. mom. ratio	proton gyromag. ratio over 2 pi
<b>Avogadro constant</b>	electron mag. mom. to nuclear	neutron-electron mass ratio	proton mag. mom.
Bohr magneton	electron mass	neutron g factor	proton mag. mom. to Bohr magneton ratio
Bohr magneton in eV/T	electron mass energy equivalen	neutron gyromag. ratio	proton mag. mom. to nuclear magneton ratio
Bohr magneton in Hz/T	electron mass energy equivalen	neutron gyromag. ratio over 2 pi	proton mag. shielding correction
Bohr magneton in inverse meter	electron mass in u	neutron mag. mom.	proton mass
Bohr magneton in K/T	electron molar mass	neutron mag. mom. to Bohr magnet	proton mass energy equivalent
Bohr radius	electron-muon mag. mom. ratio	neutron mag. mom. to nuclear mag	proton mass energy equivalent in MeV
<b>Boltzmann constant</b>	electron-muon mass ratio	neutron mass	proton mass in u
Boltzmann constant in eV/K	electron-neutron mass ratio	neutron mass energy equivalent	proton molar mass
Boltzmann constant in Hz/K	electron-neutron mass ratio	neutron mass energy equivalent	proton-muon mass ratio
Boltzmann constant in inverse	electron-proton mag. mom. ratio	neutron mass in u	proton-neutron mass ratio
characteristic impedance of va	electron-proton mass ratio	neutron molar mass	proton-neutron mass ratio
classical electron radius	electron-proton mass ratio	neutron-muon mass ratio	proton-neutron mass ratio
Compton wavelength	electron-tau mass ratio	neutron-proton mag. mom. ratio	proton-neutron mass ratio
Compton wavelength over 2 pi	electron to alpha particle mas	neutron-proton mass difference	proton-neutron mass ratio
conductance quantum	electron to shielded helion ma	neutron-proton mass difference	proton-neutron mass ratio
conventional value of Josephso	electron to shielded proton ma	neutron-proton mass difference	proton-neutron mass ratio
conventional value of von Klit	electron-triton mass ratio	neutron-proton mass ratio	proton-neutron mass ratio
Cu x unit	electron volt	neutron-proton mass ratio	proton-neutron mass ratio
deuteron-electron mag. mom. ra	electron volt-atomic mass unit	neutron-tau mass ratio	proton-neutron mass ratio
deuteron-electron mass ratio	electron volt-hartree relation	neutron to shielded proton mag.	proton-neutron mass ratio
deuteron g factor	electron volt-hertz relationsh	Newtonian constant of gravitatio	proton-neutron mass ratio
deuteron mag. mom.	electron volt-inverse meter re	Newtonian constant of gravitatio	proton-neutron mass ratio
deuteron mag. mom. to Bohr mag	electron volt-joule relationsh	nuclear magneton	proton-neutron mass ratio
deuteron mag. mom. to nuclear	electron volt-kelvin relations	nuclear magneton in eV/T	proton-neutron mass ratio
deuteron mass	electron volt-kilogram relatio	nuclear magneton in inverse mete	proton-neutron mass ratio
deuteron mass energy equivalen	<b>elementary charge</b>	nuclear magneton in K/T	proton-neutron mass ratio
deuteron mass energy equivalen	elementary charge over h	nuclear magneton in MHz/T	proton-neutron mass ratio
deuteron mass in u	Faraday constant	<b>Planck constant</b>	proton-neutron mass ratio
deuteron molar mass	Faraday constant for conventio	Planck constant in eV s	proton-neutron mass ratio
deuteron-neutron mag. mom. rat	Fermi coupling constant	Planck constant over 2 pi	proton-neutron mass ratio
deuteron-proton mag. mom. rati	fine-structure constant	Planck constant over 2 pi in eV	proton-neutron mass ratio
deuteron-proton mass ratio	first radiation constant	Planck constant over 2 pi times	proton-neutron mass ratio
deuteron rms charge radius	first radiation constant for s	Planck length	proton-neutron mass ratio
electric constant	hartree-atomic mass unit relat	Planck mass	proton-neutron mass ratio
electron charge to mass quotie	hartree-electron volt relation	Planck mass energy equivalent in	proton-neutron mass ratio
electron-deuteron mag. mom. ratio	Hartree energy	Planck temperature	proton-neutron mass ratio
	Hartree energy in eV		proton-neutron mass ratio

335 stałych fizycznych CODATA



# Podstawowe jednostki SI i stałe

sekunda	s	$\Delta\nu_{Cs}$	częstotliwość cezu
metr	m	$c$	prędkość światła
kilogram	kg	$h$	stała Plancka
amper	A	$e$	ładunek elementarny
kelwin	K	$k$	stała Boltzmannna
mol	mol	$N_A$	stała Avogadra
kandela	cd	$K_{cd}$	skuteczność świetlna



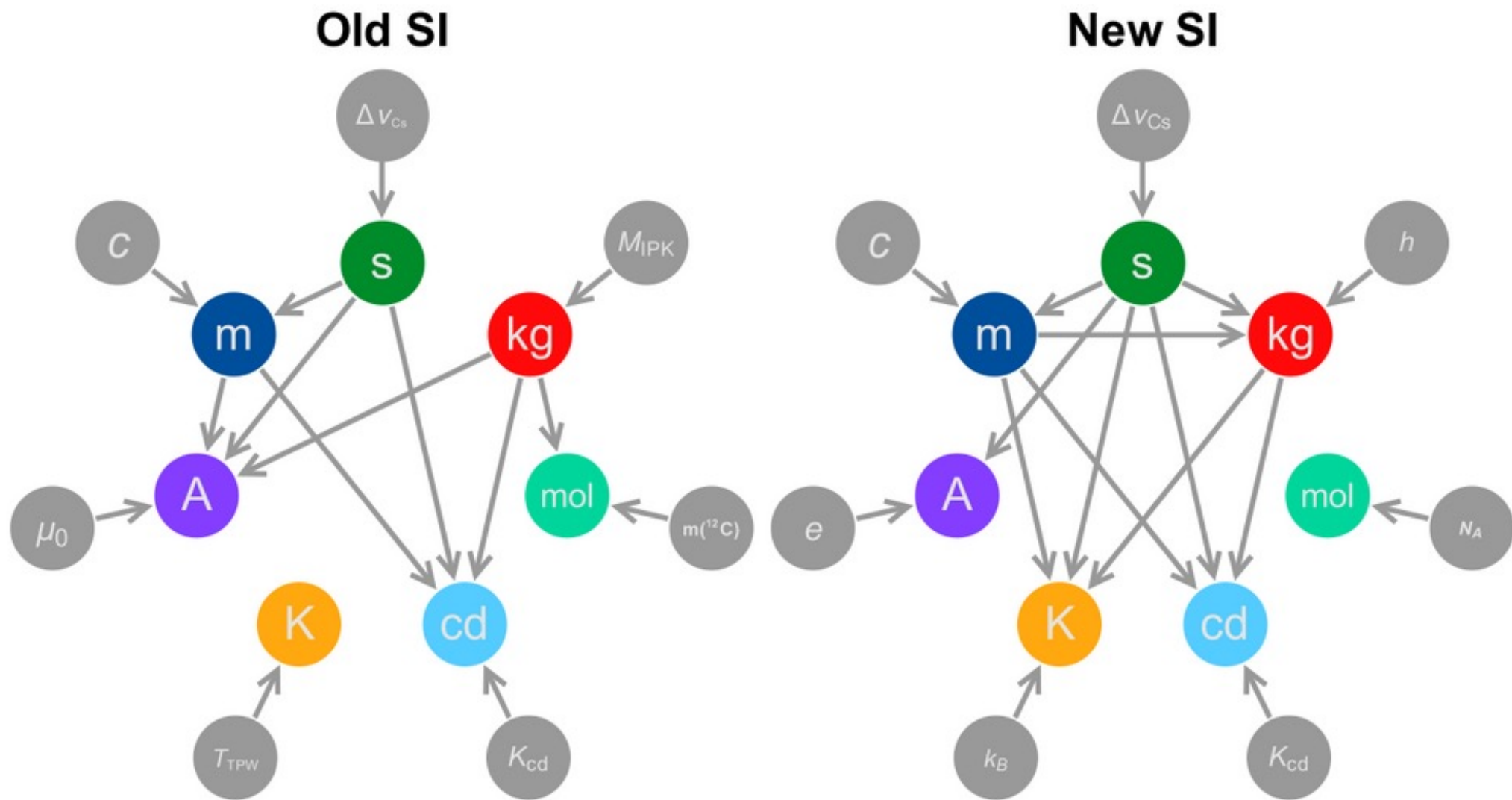


## 26th meeting of the General Conference on Weights and Measures (CGPM)

### New SI System

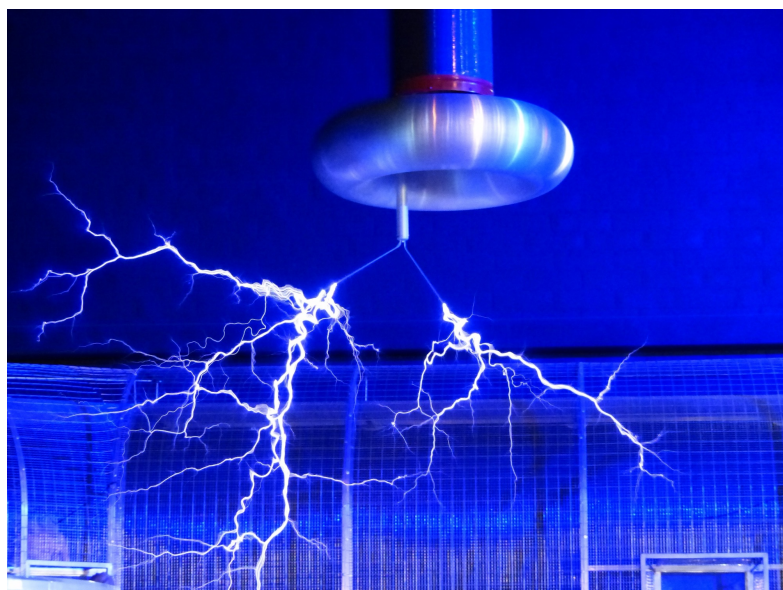


**„For all nations for all times”**



# REDEFINICJA SI – SKUTKI DLA NAUKI I TECHNIKI

- poprawa stabilności odtwarzania jednostek miar;
- ułatwienie porównań międzylaboratoryjnych;
- nowe definicje - uniwersalne w skali całego wszechświata;



- postęp technologiczny nie będzie wymuszał kolejnych redefinicji;
- zaawansowane technologicznie wzorce pomiarowe dadzą stabilne podstawy do rozwoju nowoczesnej nauki i techniki.
- milowy krok naprzód w historii nauki i techniki;



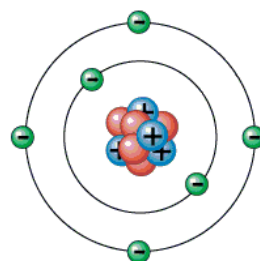
# EWOLUCJA JEDNOSTEK PODSTAWOWYCH SI - SEKUNDA

przed 1960



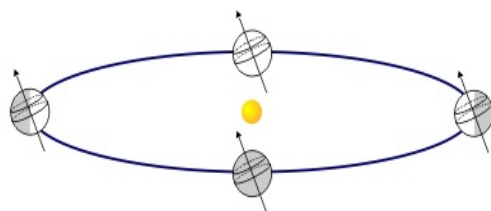
ułamek doby  
słonecznej

1967



wielokrotność okresu  
promieniowania cezu ( $^{133}\text{Cs}$ )

1960

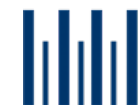


ułamek roku  
zwrotnikowego

2018

$$\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770\text{ s}^{-1}$$
$$1\text{ s} = 9\,192\,631\,770 / \Delta\nu_{\text{Cs}}$$

stała definiująca

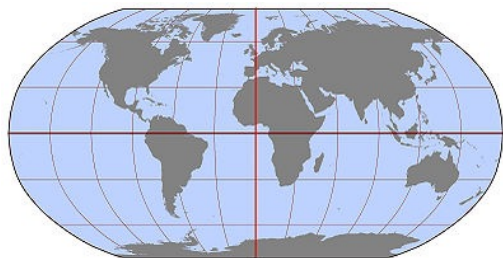


# SEKUNDA



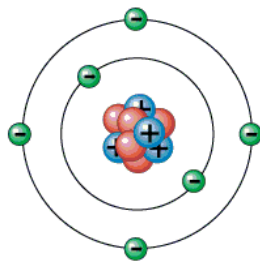
# EWOLUCJA JEDNOSTEK PODSTAWOWYCH SI - METR

1791



ułamek długości  
południka paryskiego

1960



wielokrotność długości  
fali promieniowania  
kryptonu ( $^{86}\text{Kr}$ )

2018

$$c = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$
$$\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770 \text{ s}^{-1}$$
$$1 \text{ m} = 30,663\,318\dots c/\Delta\nu_{\text{Cs}}$$

stałe definiujące

1889



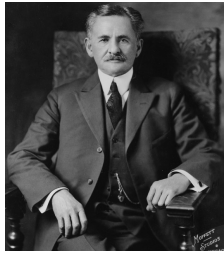
międzynarodowy  
wzorzec metra

1983

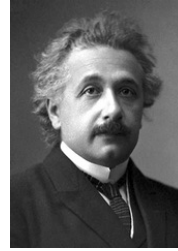


droga pokonana  
przez światło



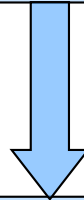


Albert Michelson

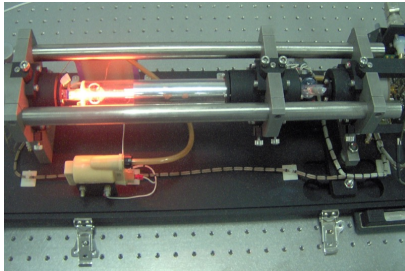


Albert Einstein

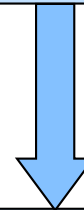
**Prędkość światła**



Praktyczna realizacja definicji metra w układzie grzebienia częstotliwości optycznych



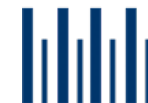
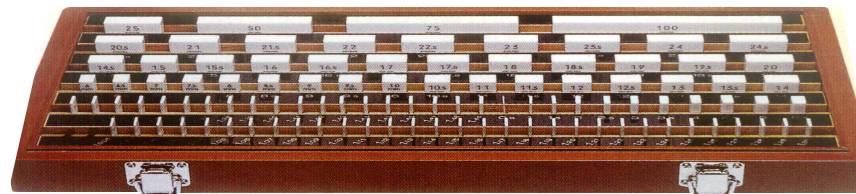
**Laser stabilizowany**



Przekazywanie jednostki długości poprzez interferometry laserowe



**Materialne wzorce długości, płytki wzorcowe**



# EWOLUCJA JEDNOSTEK PODSTAWOWYCH SI - KILOGRAM

1793



litr wody w jej punkcie zamarzania

2018

$$\begin{aligned}h &= 6,626\ 176\ 634 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \\c &= 299\ 792\ 458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \\ \Delta\nu_{\text{Cs}} &= 9\ 192\ 631\ 770 \text{ s}^{-1} \\ 1 \text{ kg} &= 1,475\ 521 \dots \cdot 10^{40} h \Delta\nu_{\text{Cs}}/c^2\end{aligned}$$

stałe definiujące

1889



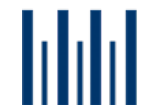
masa międzynarodowego wzorca kilograma



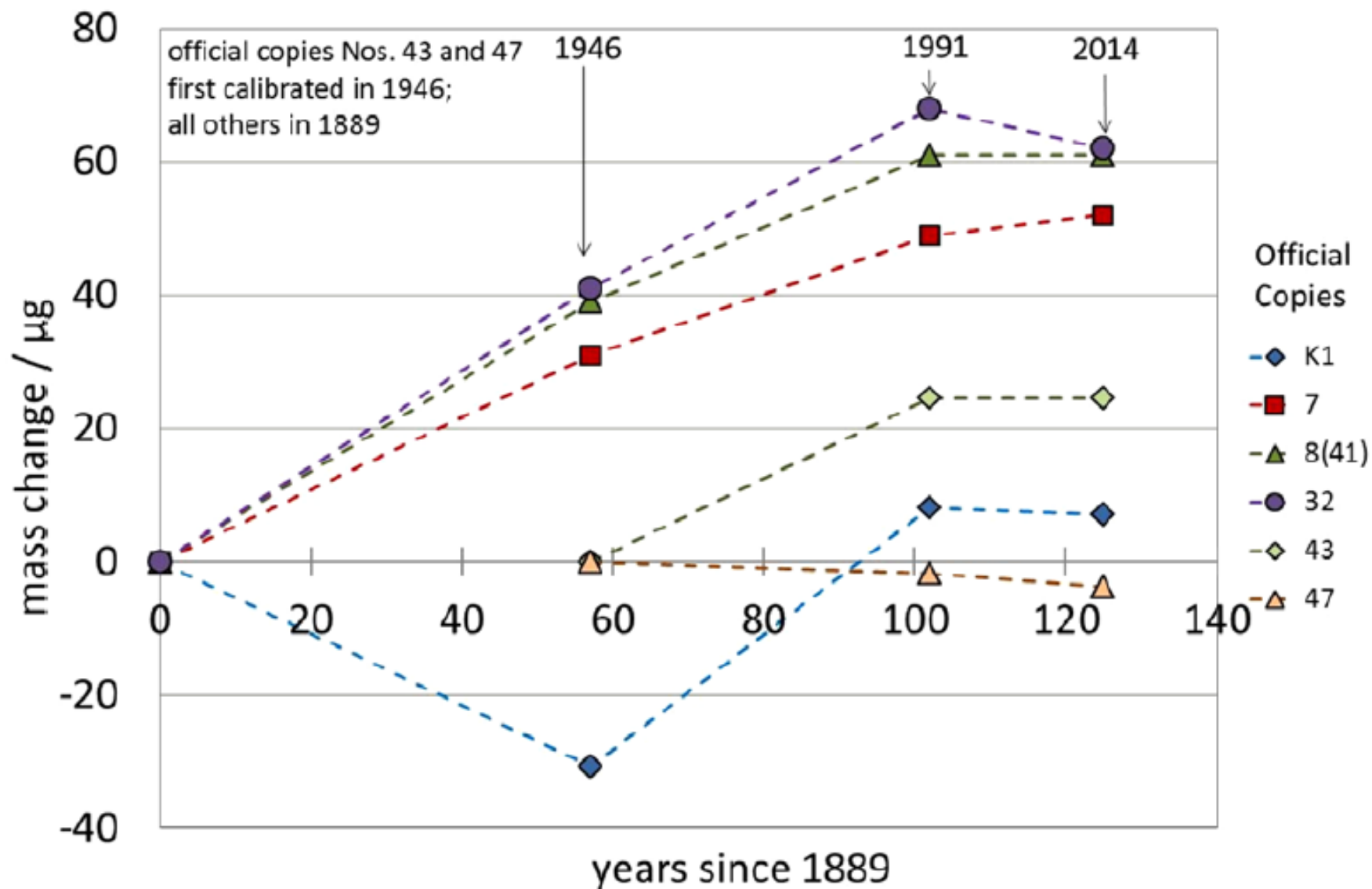
# KILOGRAM -> DEFINICJA KTÓRA OBOWIĄZYWAŁA PRZEZ 130 LAT OD 1889 DO 2019

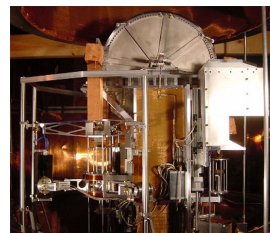


Kilogram jest jednostką masy, która jest równa masie międzynarodowego prototypu kilograma przechowywanego w Międzynarodowym Biurze Miar



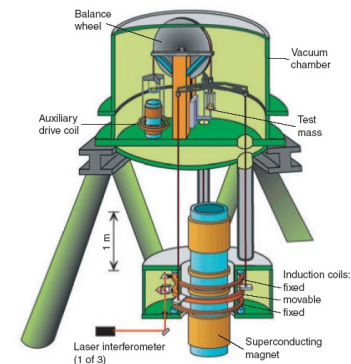
# Zmiana masy wzorców kilograma





**Stała  
Plancka**

Praktyczna realizacja  
definicji kilograma w  
układzie wagi wata



**12 pierwotnych  
międzynarodowych  
materialnych wzorców masy**

Przekazywanie jednostki  
masy poprzez próżniowy  
komparator masy



**Wtórne materialne wzorce masy,  
w tym państwowy wzorzec masy**



# Stała Plancka

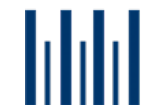
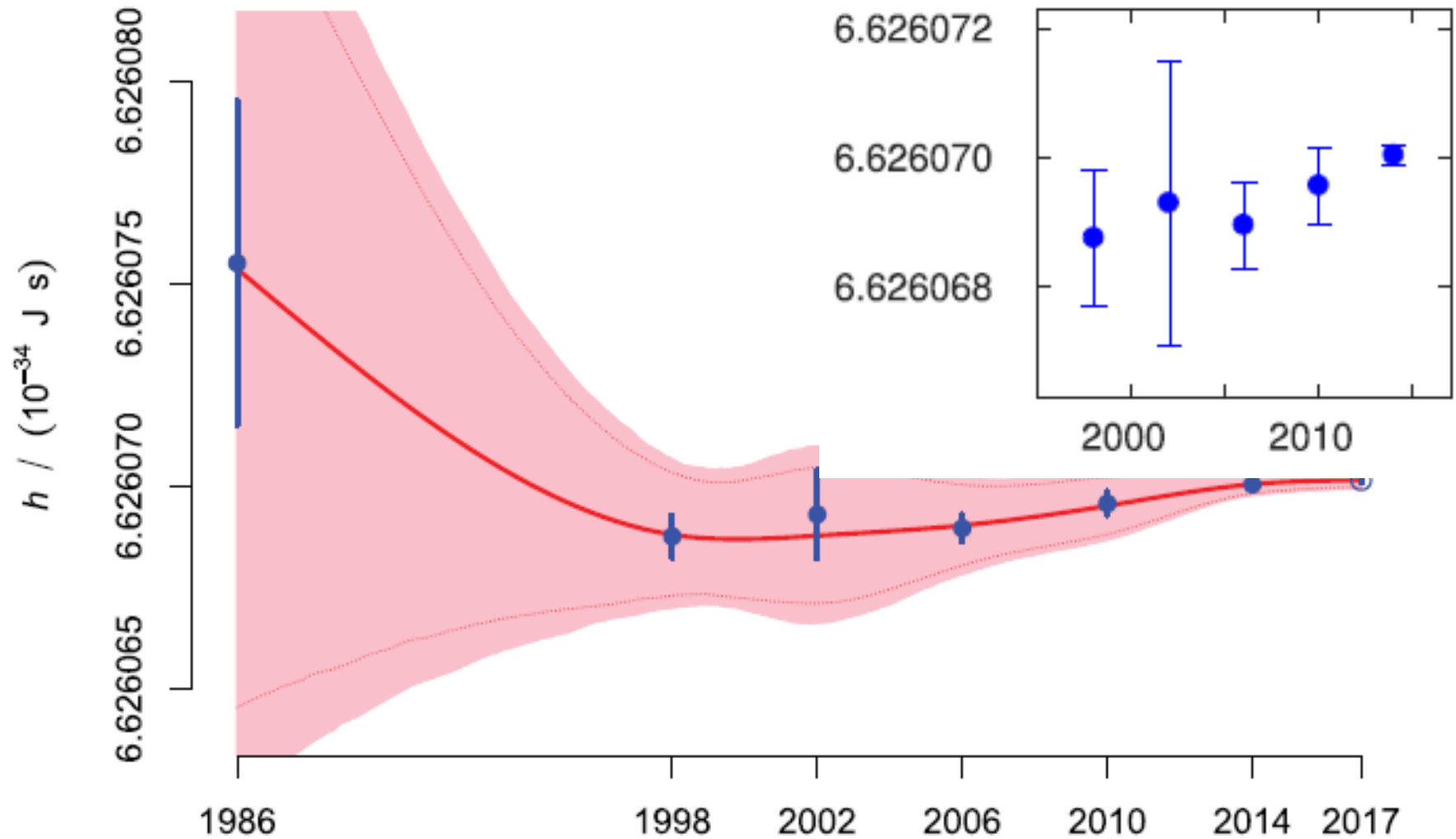
$$h = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$$

Stała fizyczna określająca relację pomiędzy energią kwantu a jego częstotliwością, wynikająca wprost z zasady Plancka mówiącej o najmniejszej wypromieniowywanej porcji energii, stanowiąca podstawę mechaniki kwantowej



# Wartości stałej Plancka

## CODATA



# KILOGRAM -> NOWA DEFINICJA

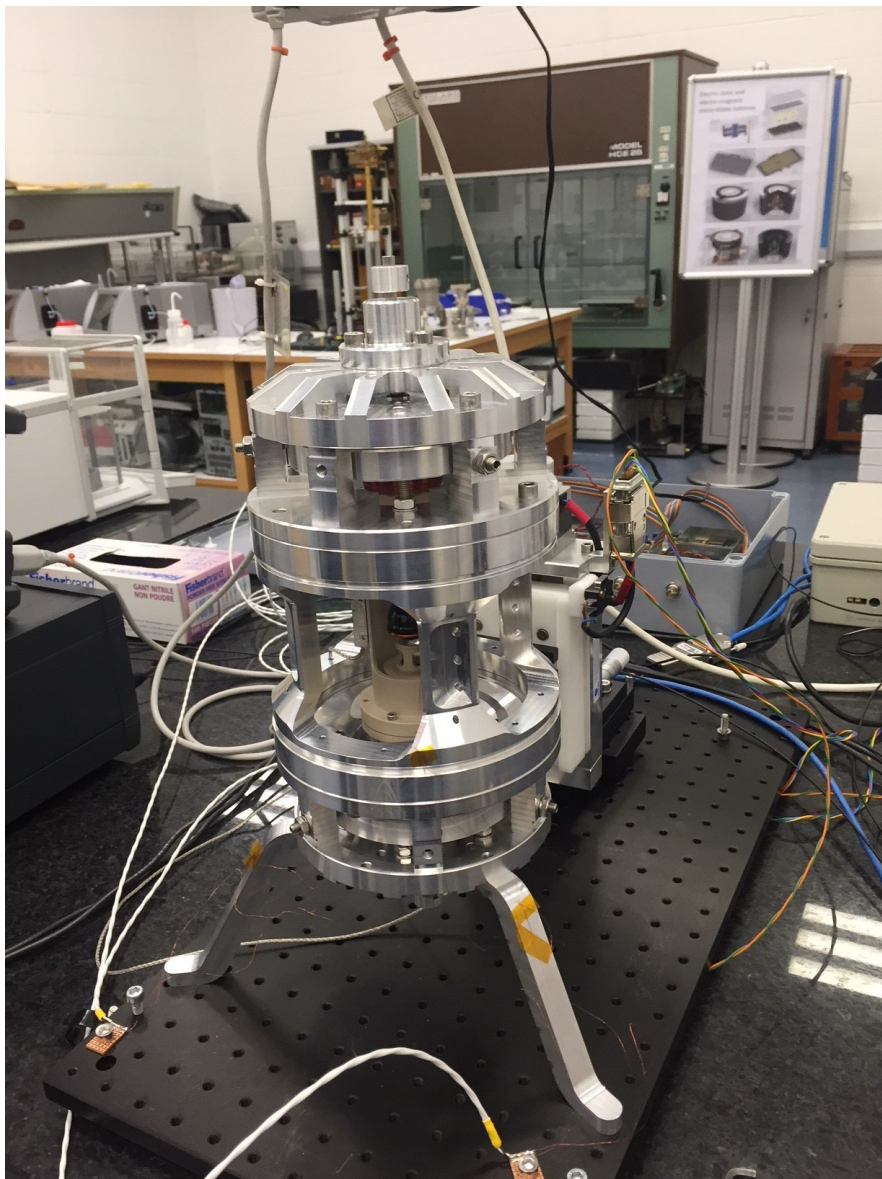
WESZŁA W ŻYCIE 18 MAJA 2019



Kilogram, oznaczenie kg, jest to jednostka masy w SI. Jest ona zdefiniowana poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej stałej Plancka  $h$ , wynoszącej  $6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ , wyrażonej w jednostce  $J\ s$ , która jest równa  $kg\ m^2\ s^{-1}$ , przy czym metr i sekunda zdefiniowane są za pomocą  $c$  i  $\Delta\nu_{Cs}$



# Projekt wagi wata w wykonaniu komercyjnym NPL



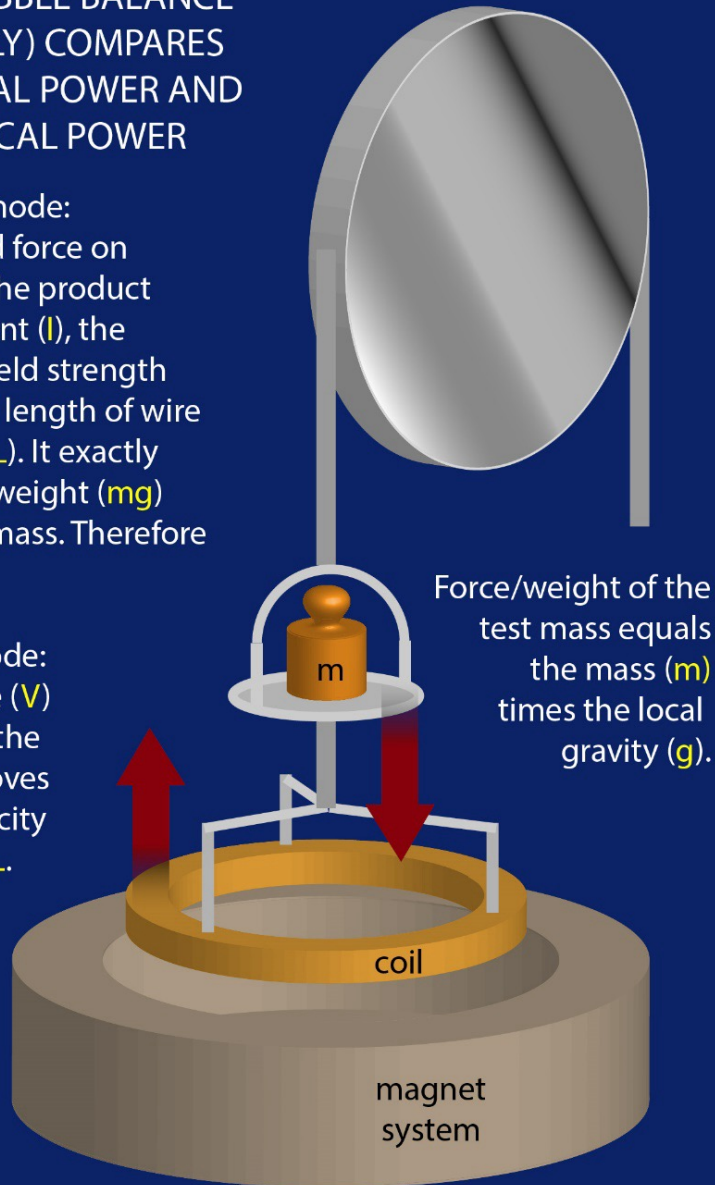
## HOW A KIBBLE BALANCE (VIRTUALLY) COMPARES ELECTRICAL POWER AND MECHANICAL POWER

### Weighing mode:

The upward force on the coil is the product of the current ( $I$ ), the magnetic field strength ( $B$ ), and the length of wire in the coil ( $L$ ). It exactly equals the weight ( $mg$ ) of the test mass. Therefore  $mg = IBL$ .

### Velocity mode:

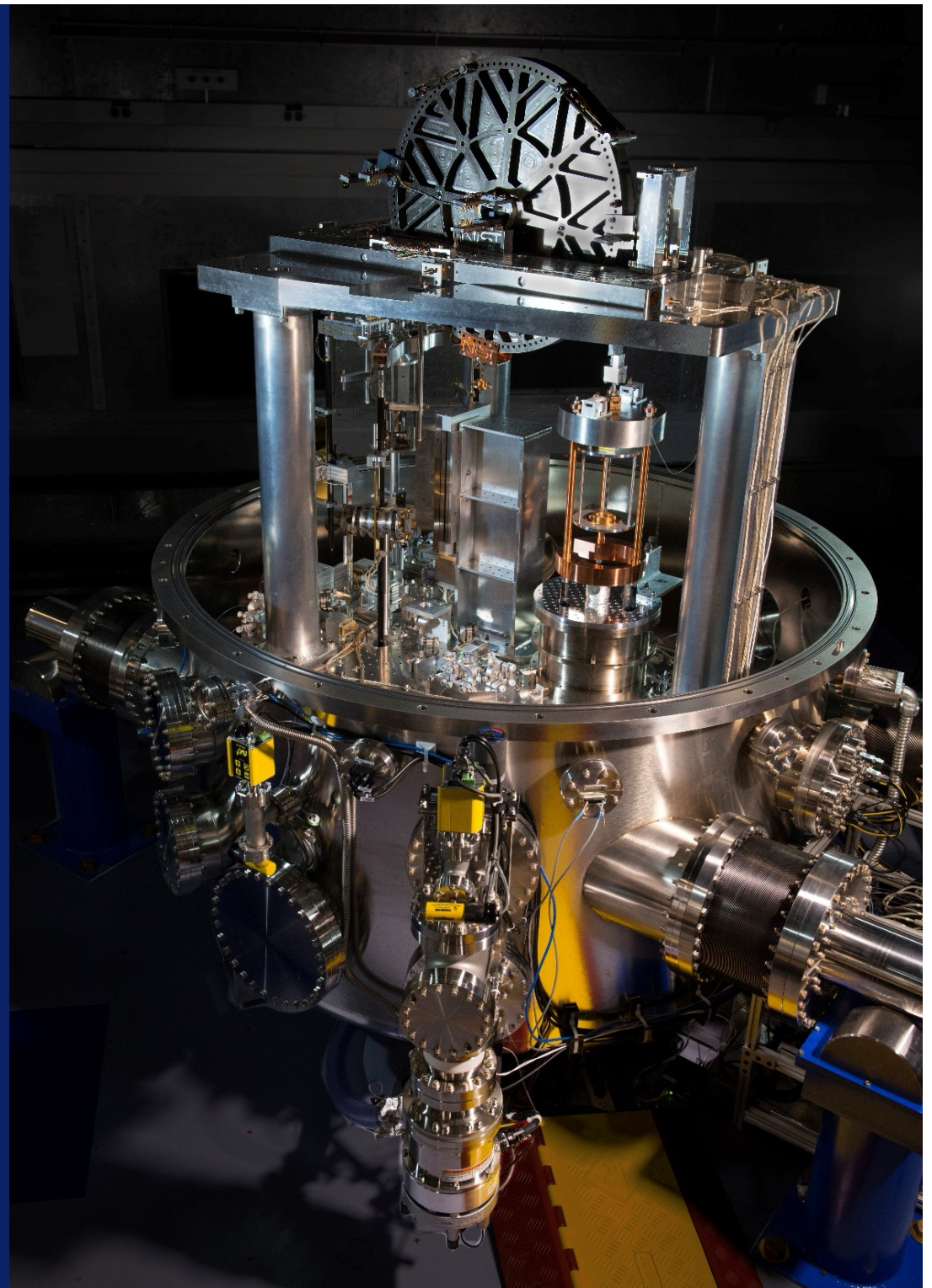
The voltage ( $V$ ) induced in the coil as it moves equals velocity ( $v$ ) times  $BL$ .

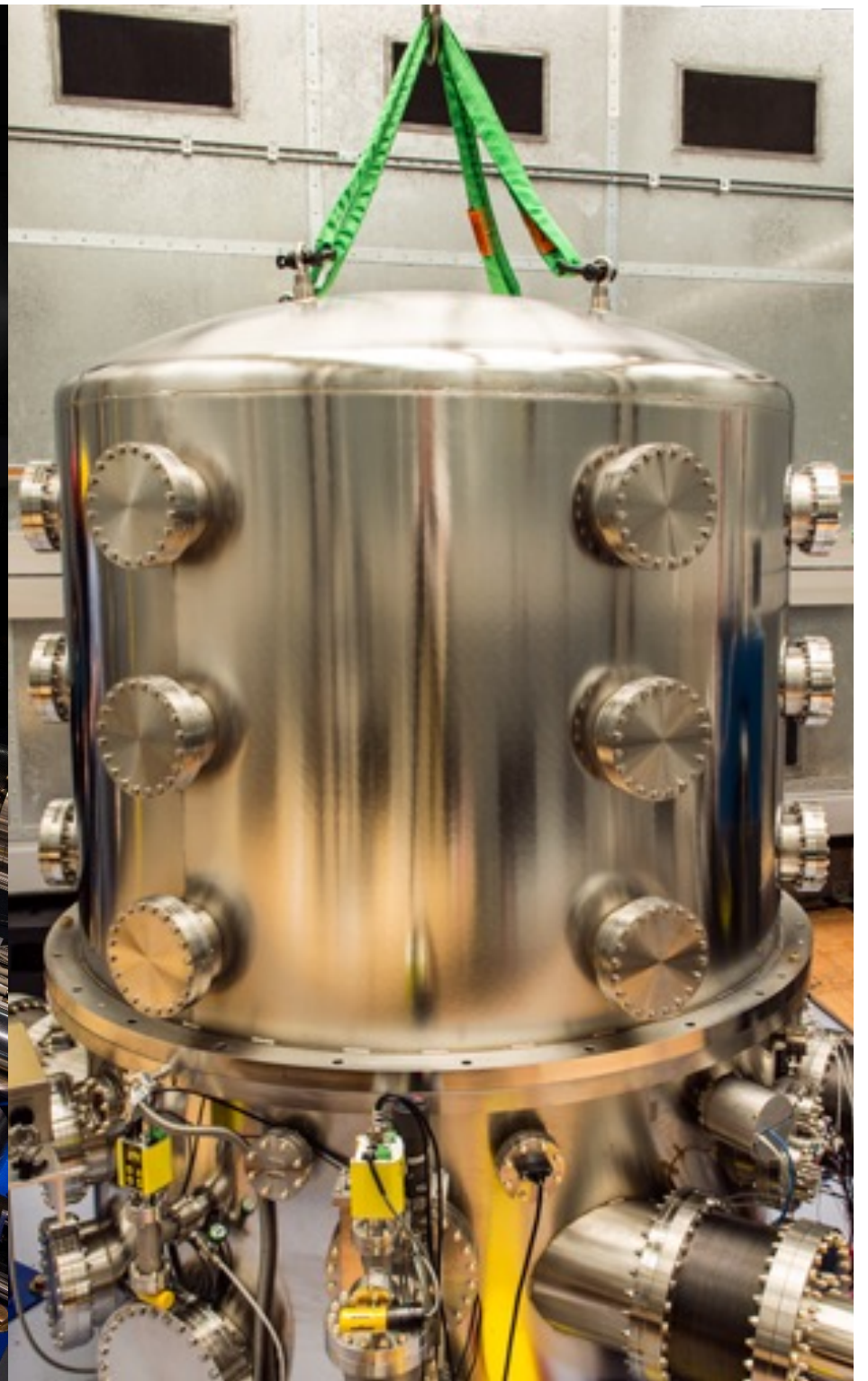
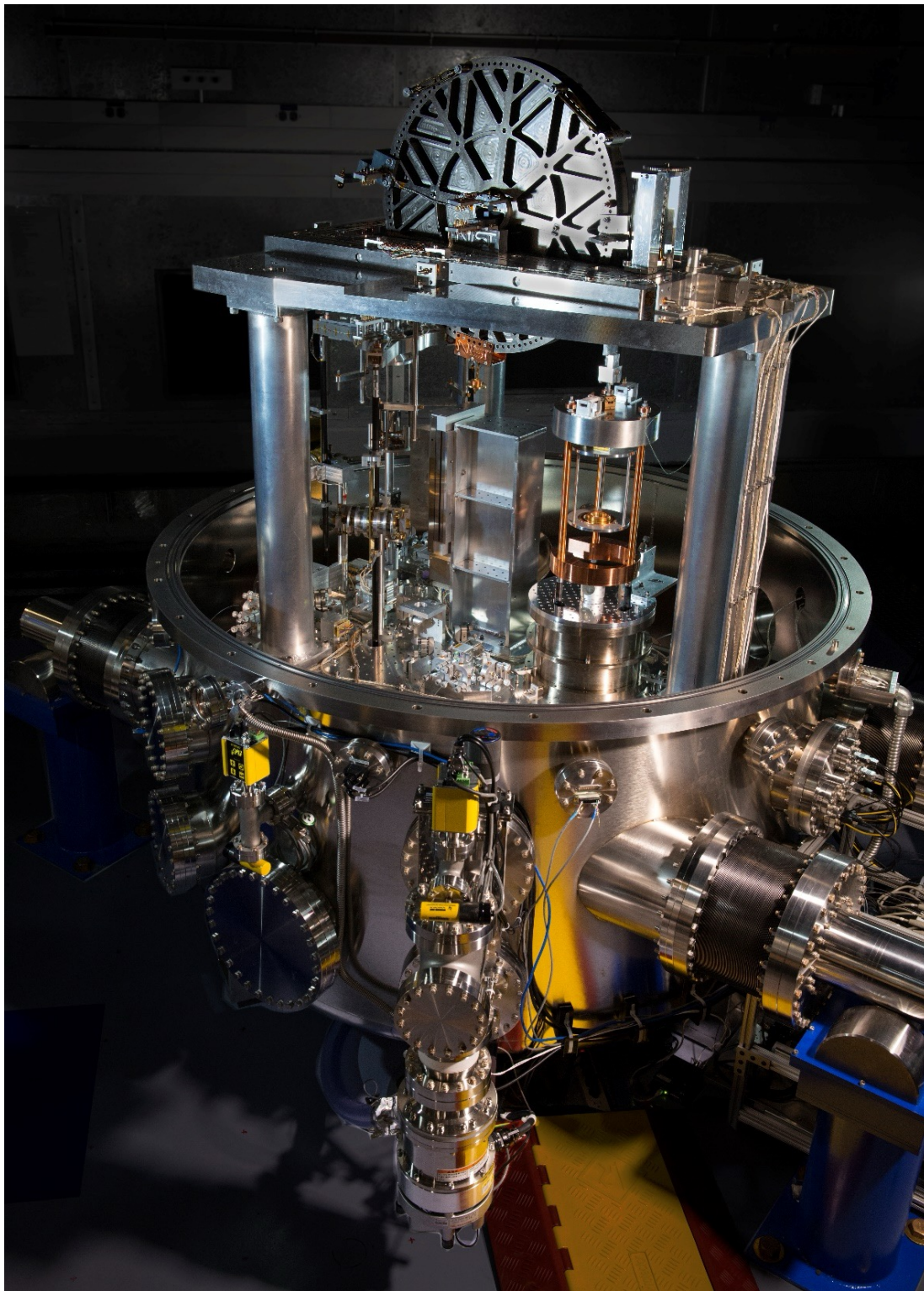


Force/weight of the test mass equals the mass ( $m$ ) times the local gravity ( $g$ ).

$$\text{Weighing Mode: } mg = IBL \quad \text{Velocity Mode: } V = vBL \\ \text{so } mg/I = BL \quad \text{so } V/v = BL$$

$BL$  is the same in each case and cancels out. Thus  $IV$  (watts elec. power) =  $mgv$  (watts mech. power)





# Video: Operating Principles of the NIST-4 Watt Balance

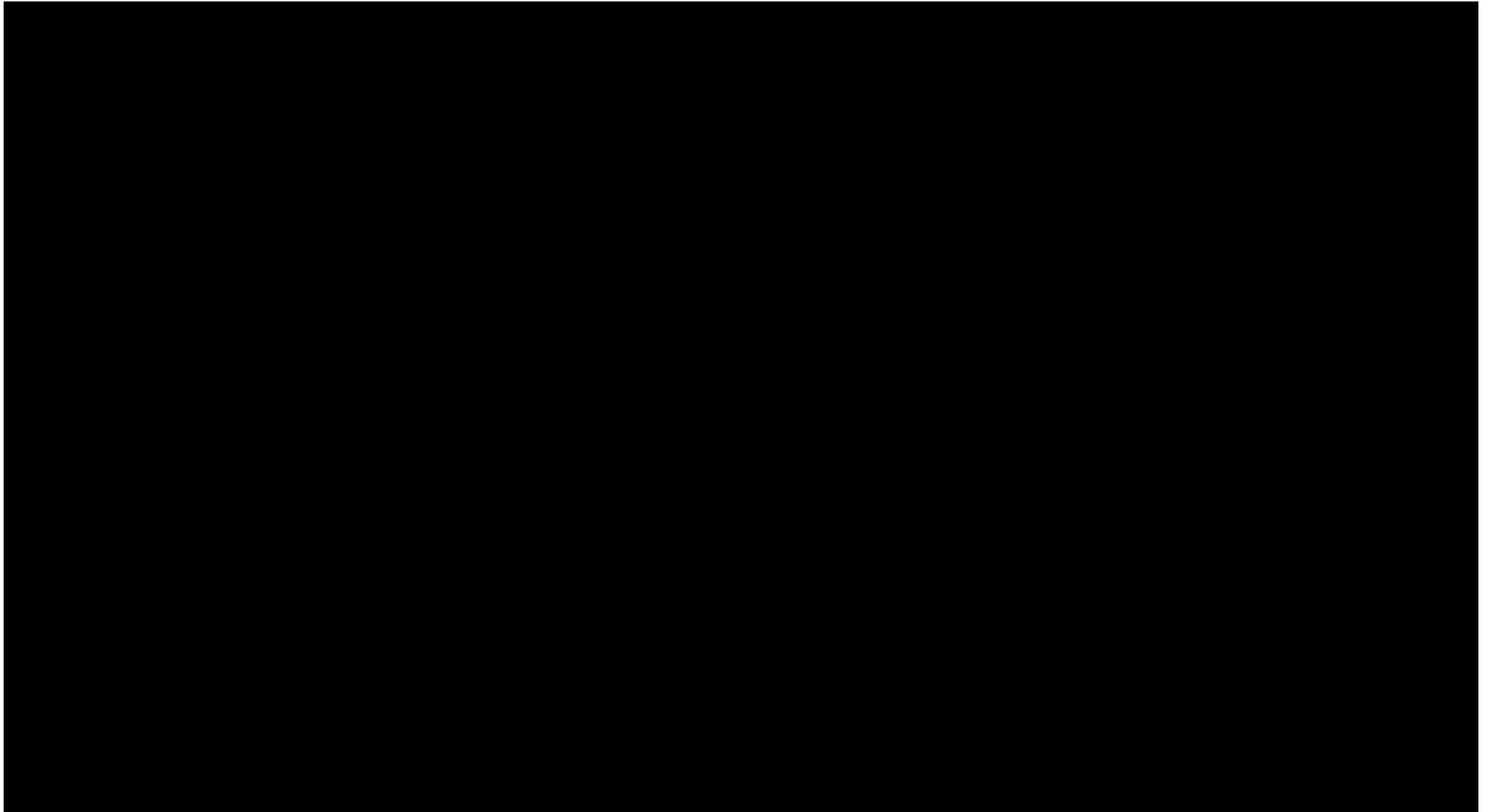
*Operating Principles of the NIST-4 Watt Balance*

---

**NIST** Physical Measurement Laboratory



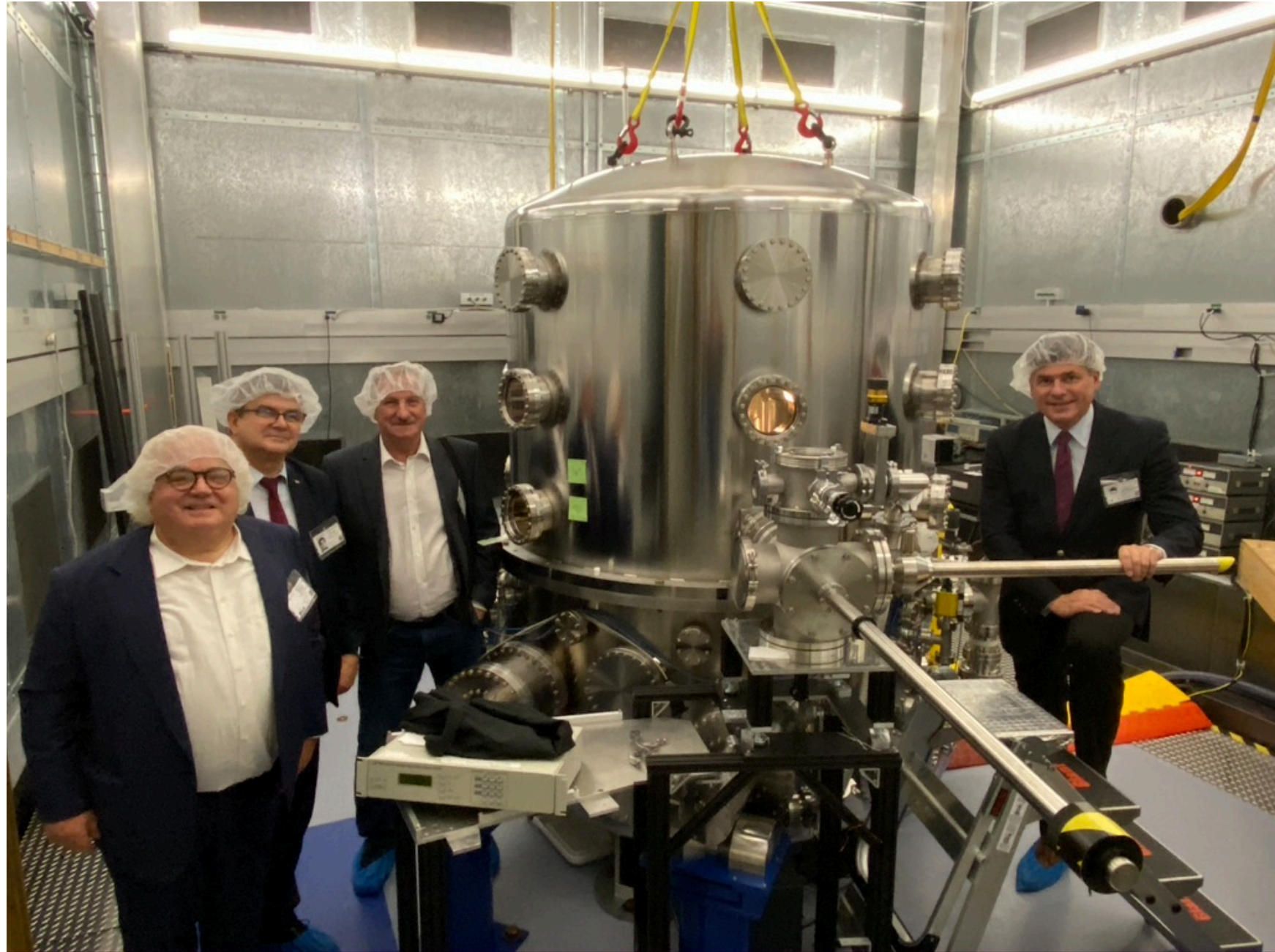
# Video: Vacuum Cover for Watt Balance



# NIST 2019



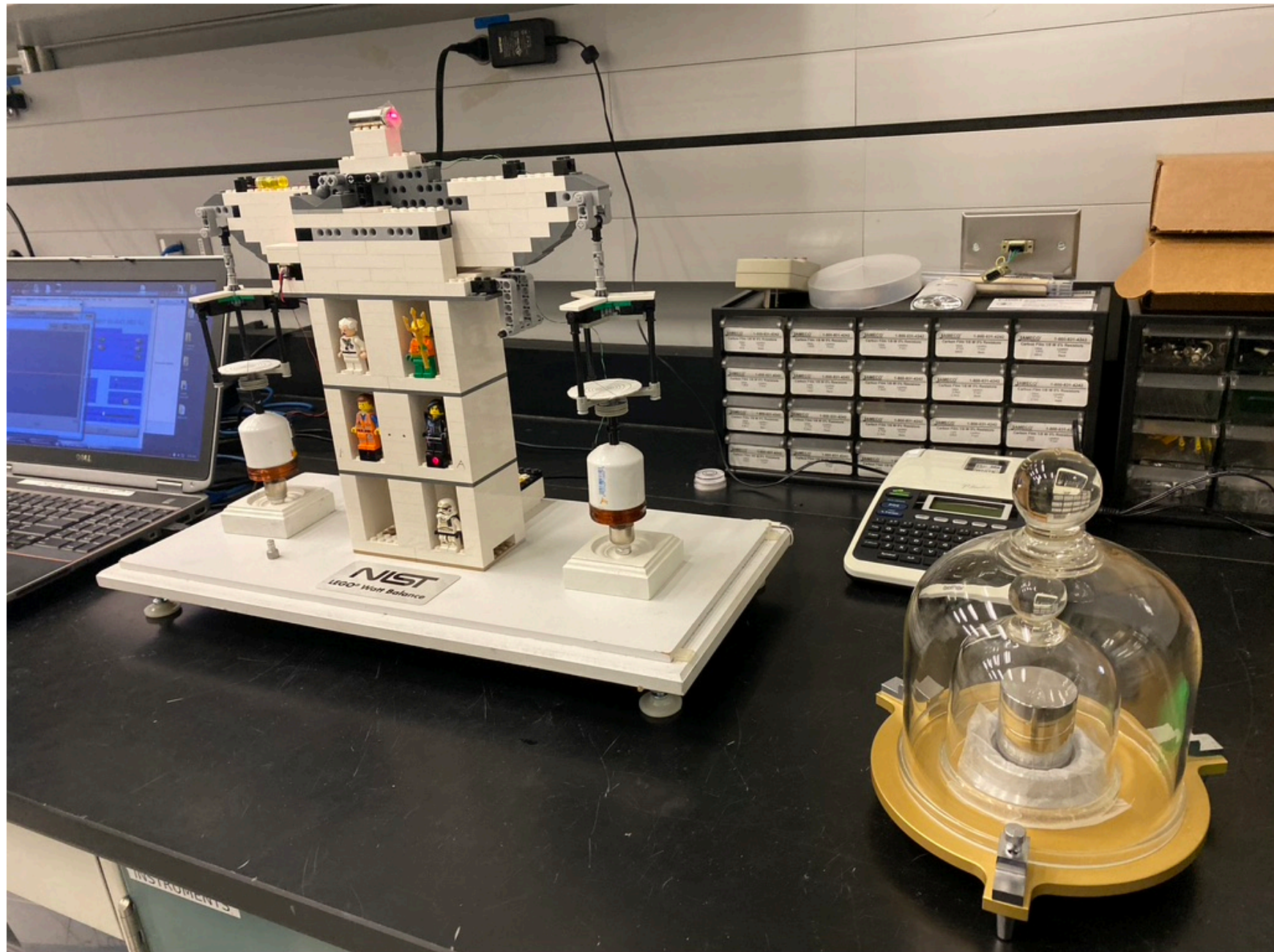
# NIST Waga Watta



# NIST Waga Watta



# NIST waga Watta z klocków LEGO



# PRZYCZYNY EWOLUCJI DEFINICJI JEDNOSTEK

- odkrycia naukowe;
- postęp techniczny;



- trudności w realizacji jednostki z definicji;
- niestałość wzorców materialnych.

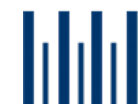


# WARUNKI REDEFINICJI

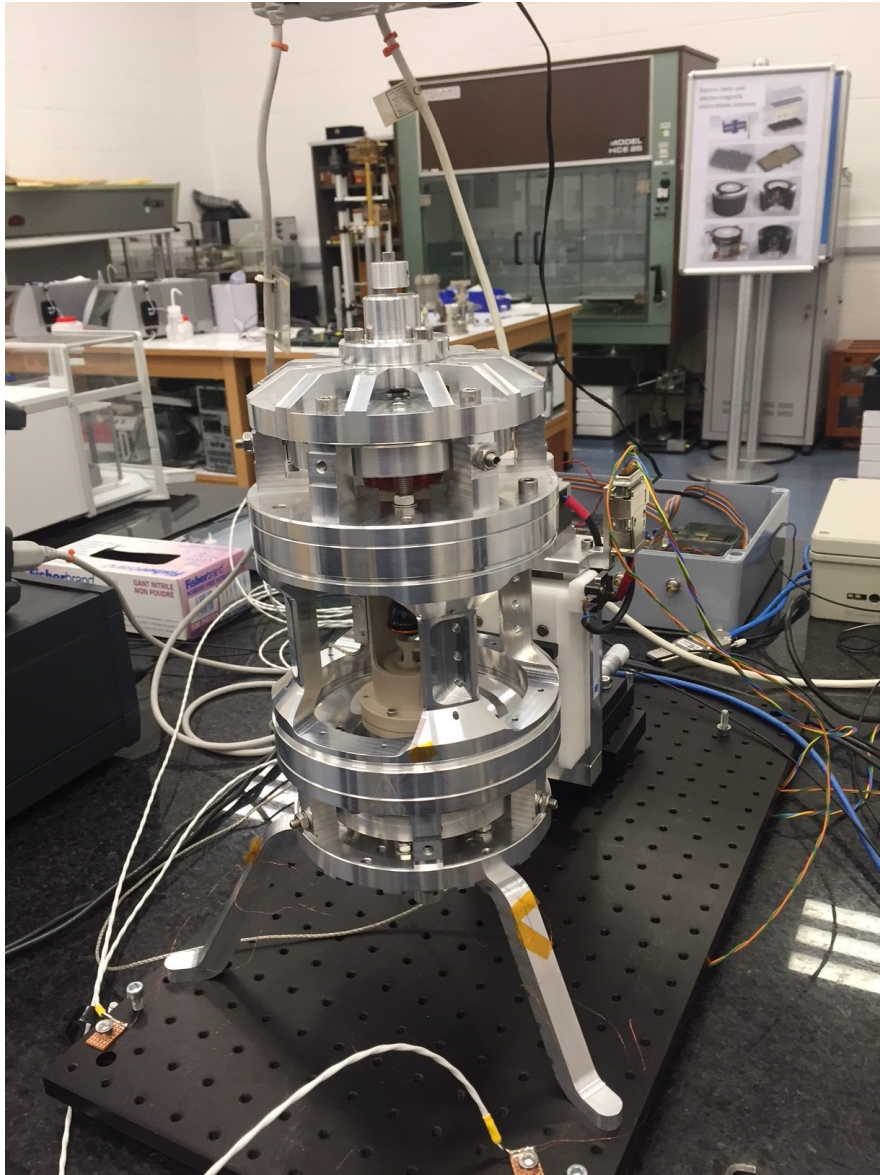
- stałe definiujące i ich dokładne wartości liczbowe;



- odpowiedni poziom niepewności.

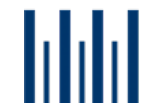
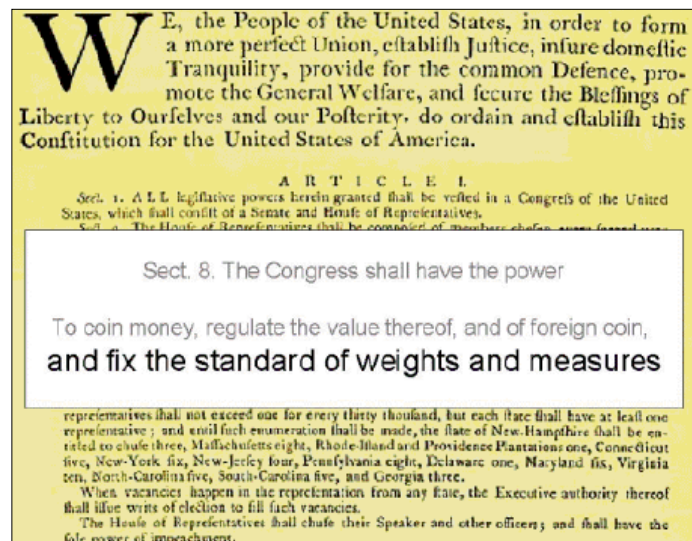


# Projekt wagi wata w wykonaniu komercyjnym NPL



# Konstytucja Stanów Zjednoczonych (17 września 1787)

**§8. Kongres ma prawo:** wprowadzać i pobierać podatki, cła, daniny i opłaty w celu spłacenia długów oraz zapewnienia wspólnej obrony i ogólnego dobrobytu Stanów Zjednoczonych, przy czym wszystkie cła, daniny i opłaty powinny być jednakowe na całym obszarze Stanów Zjednoczonych; zaciągać pożyczki na rachunek Stanów Zjednoczonych; regulować obrót z zagranicą, między poszczególnymi stanami i plemionami Indian; ustalać dla całego obszaru Stanów Zjednoczonych jednolite zasady nabywania obywatelstwa oraz jednolite prawo upadłościowe; bić monety, określać ich wartość oraz wartość walut zagranicznych, i **ustalać wzorce miar i wag; ...**



THE WHITE HOUSE  
WASHINGTON

October 19, 1939

My dear Professor:

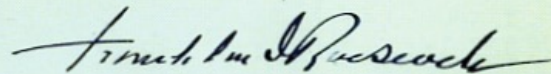
I want to thank you for your recent letter and the most interesting and important enclosure.

I found this data of such import that I have convened a Board consisting of the head of the Bureau of Standards and a chosen representative of the Army and Navy to thoroughly investigate the possibilities of your suggestion regarding the element of uranium.

I am glad to say that Dr. Sachs will cooperate and work with this Committee and I feel this is the most practical and effective method of dealing with the subject.

Please accept my sincere thanks.

Very sincerely yours,



Dr. Albert Einstein,  
Old Grove Road,  
Nassau Point,  
Peconic, Long Island,  
New York.



# Misja NIST

Promowanie amerykańskiej innowacji i przemysłowej konkurencyjności poprzez zaawansowaną naukę, wzorce i technologie, po to aby zapewnić wzrost gospodarczy i poprawiać jakość życia.

## Nagrody Nobla

**1997 – William Phillips** - za rozwój metod chłodzenia i pułapkowania atomów laserem



**2001 – Eric Cornell** - za uzyskanie nowego stanu materii, tzw. kondensat Bosego-Einsteina, oraz za przeprowadzenie doświadczeń nad zbadaniem jego właściwości



**2005 – John Hall** - za wkład w rozwój precyzyjnej spektroskopii laserowej, w tym technikę optycznego grzebienia częstotliwości



**2011 – Dan Szechtman** - za odkrycie kwazikryształów



**2012 – David Wineland** - za przełomowe eksperymentalne metody, które umożliwiają pomiar i manipulację pojedynczych układów kwantowych

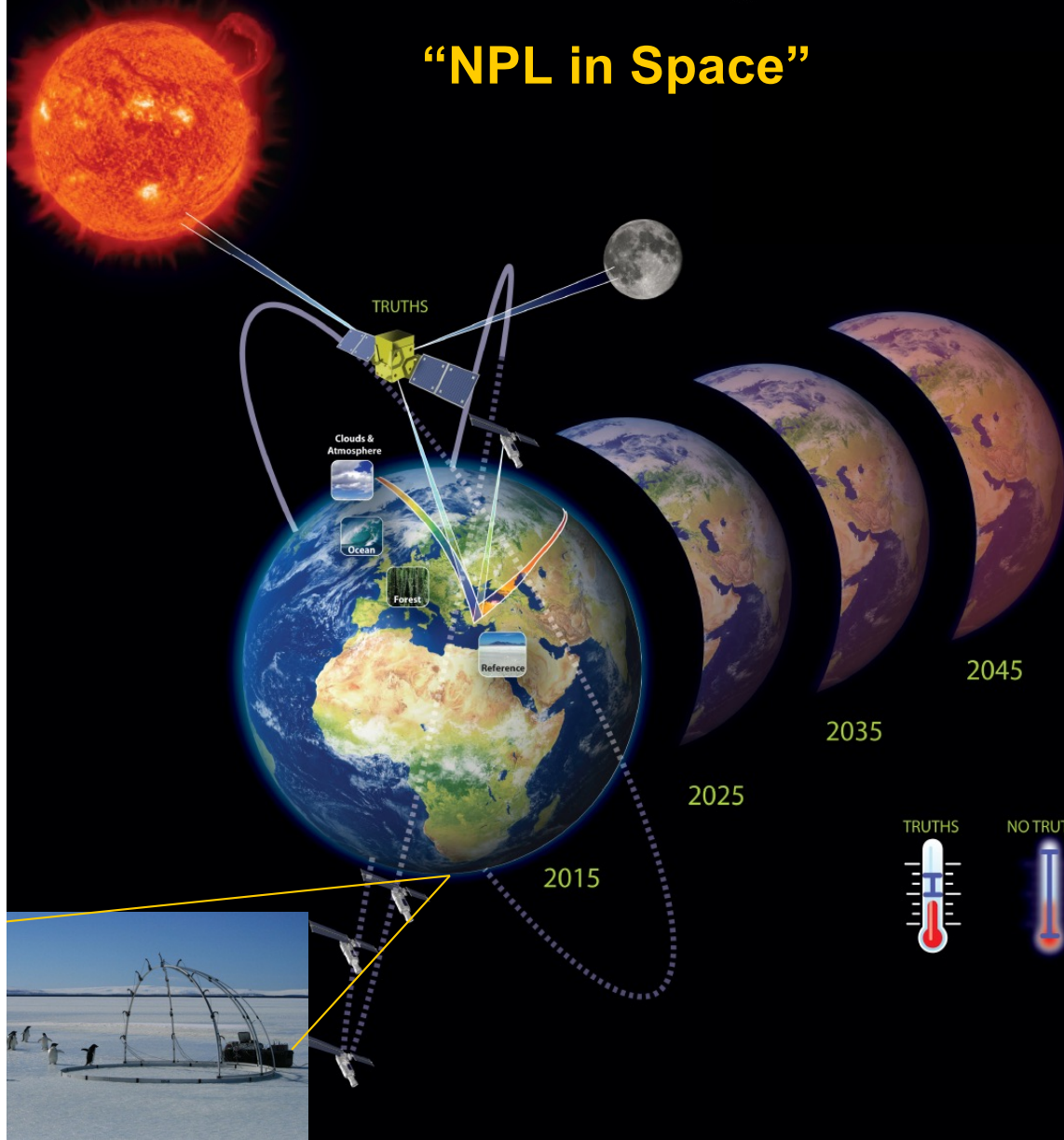


# TRUTHS:

Traceable Radiometry Underpinning Terrestrial- and Helio- Studies

## A Benchmark Mission for Climate Change and GMES

“NPL in Space”



Mitigation and adaptation to climate change require:

- Reliable, timely forecasting of temperature & impact
- Unequivocal data to constrain and test the models
- Detection of small changes out of natural variability in decadal time scales
- Uncertainties close to primary SI standards/realisations
- Must take standards into space

### UNCERTAINTY DRIVERS ( $2\sigma$ )

Total Solar Irradiance	- 0.02%
Spec solar Irradiance	- 0.2%
Earth spectral Radiance	- 0.3%

# Marża

# Metrologia jest sercem przemysłu

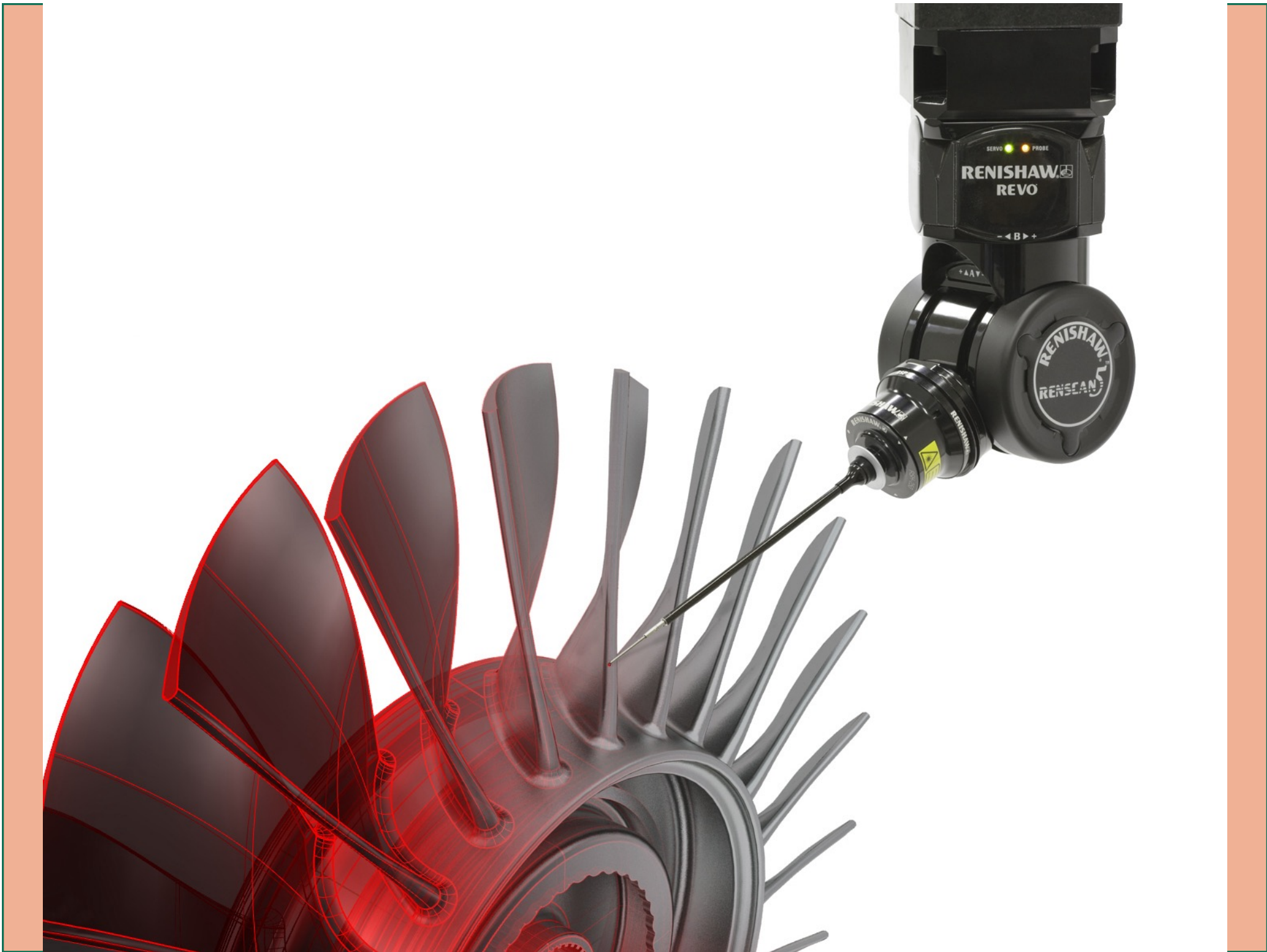




Photo TJQ

Air France Concorde over the Atlantic at Mach 2.03 and 18 km altitude on 7 March 1999 en route for New York

The Mutual Recognition Arrangement (MRA) set up by the Comité international des poids et mesures (CIPM) and originally signed on 14 October 1999 by the Directors of the National Metrology Institutes (NMIs) of 38 States signatories to the Metre Convention and two international organizations.

The CIPM MRA has now been signed by the representatives of 92 institutes – from 52 Member States, 36 Associates of the CGPM, and 4 international organizations – and covers a further 146 institutes designated by the signatory bodies.

TJQ 2013

## Reconnaissance mutuelle

des étalons nationaux de mesure  
et des certificats d'étalonnage et de mesurage  
émis par les laboratoires nationaux de métrologie

Paris, le 14 octobre 1999



Mutual recognition  
of national measurement standards  
and of calibration and measurement certificates  
issued by national metrology institutes

Paris, 14 October 1999

Comité international des poids et mesures

Bureau  
international  
des poids  
et mesures

Organisation  
intergouvernementale  
de la Convention  
du Mètre

# Redefinicja UTC: Reprezentanci metrologii czasu na WRC-2023 w Dubaju, główni architekci wywalczonego kompromisu



Włodzimierz Lewandowski – Instytut Łączności PIB – Ministerstwo Cyfryzacji, Polska  
Patrizia Tavella – Międzynarodowe Biuro Miar, Sevres  
Joseph Achkar – Paryskie Obserwatorium – reprezentant europejskich laboratoriów czasu  
Jean Pla – Agencja Kosmiczna CNES, Francja

# WRC 2023, Dubaj – sala plenarna

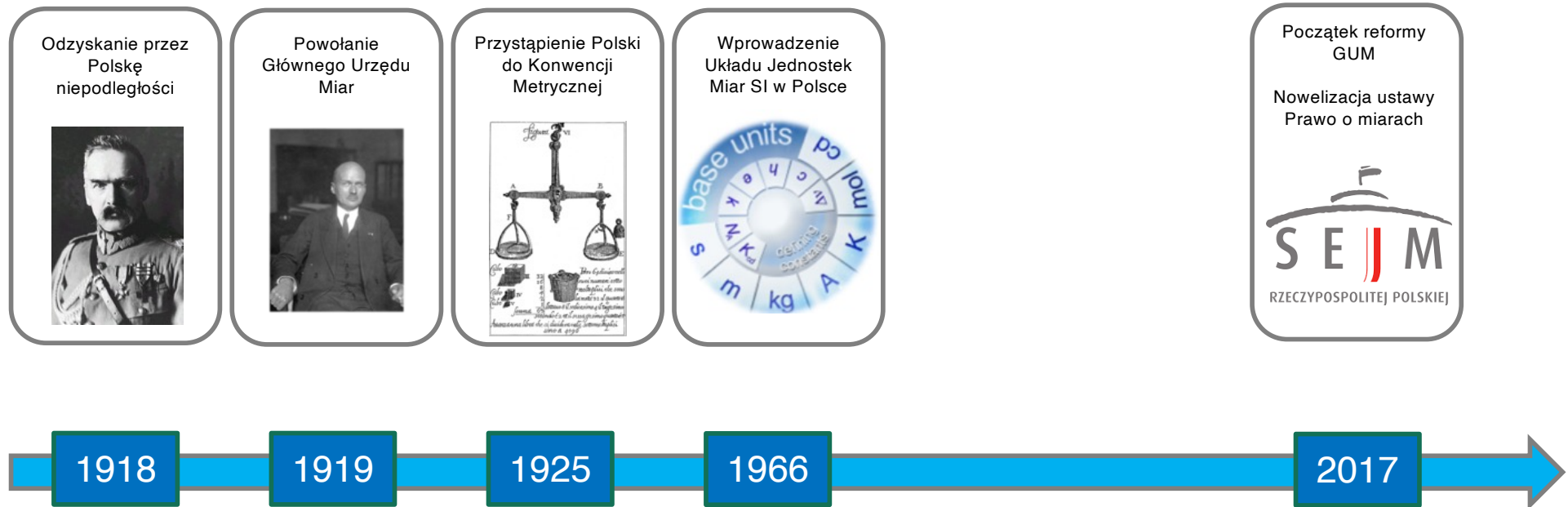


# Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny ITU w Szwajcarii



**„Les âmes des peuples sont unies  
par l'Union télégraphique internationale”**

# Historia polskiej metrologii



# Rok założenia NMI

**BIPM 1875**

**PTR 1887**

**NPL 1900**

**NBS 1901**

**GUM 1919**

# REDEFINICJA SI – ZADANIA GUM

## ROZWÓJ WZORCÓW POMIAROWYCH W KIERUNKU NOWEGO SI

- realizacji nowych jednostek miar po redefinicji SI
- określenie priorytetów dla realizacji kluczowych jednostek miar
- zakup niezbędnego wyposażenia
- szkolenia personelu
- porównania międzylaboratoryjne
- transformacja GUM w Państwowy Instytut Metrologii



PRÓŻNIOWY  
KOMPARATOR MASY



# Duże inwestycje w polskiej metrologii



**2017**  
**Próżniowy komparator masy**



**2024**  
**Fontanna cezowa**

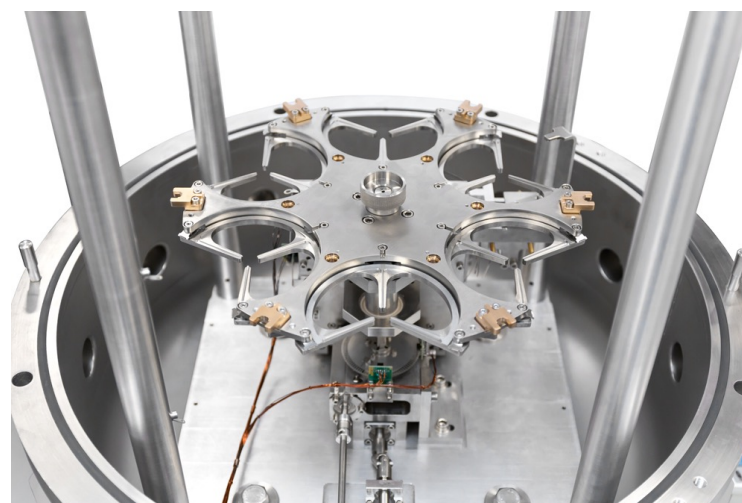
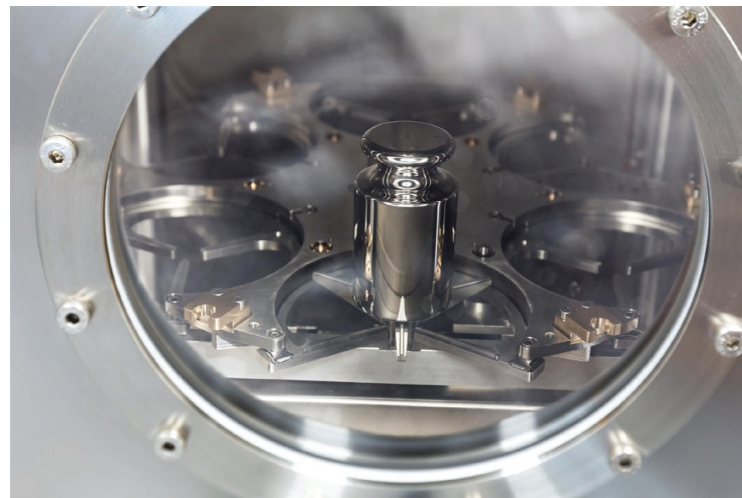
# Państwowy wzorzec kilograma



Prototyp kilograma  
nr 51 o masie  $1 \text{ kg} + 227 \mu\text{g}$



# Próżniowy komparator masy GUM



# Budowa Kampusu Laboratoryjnego



## Cele projektu:

budowa nowoczesnego metrologicznego ośrodka  
badawczo-rozwojowego  
wsparcie metrologiczne przemysłu, gospodarki  
nauki i życia społecznego



## Komponenty projektu:

innowacyjna baza laboratoryjna (biotechnologia,  
nanometrologia)  
ośrodek edukacyjno-konferencyjny  
wyspecjalizowana naukowa kadra metrologiczna



# Budowa Kampusu Laboratoryjnego

## **Partnerzy odpowiedzialni za realizację Projektu**

- Wojewoda Świętokrzyski
- Miasto Kielce, przy udziale Kieleckiego Parku Technologicznego

## **Finansowanie**

Regionalny Program Operacyjny – Urząd Marszałkowski Województwa Świętokrzyskiego

## **Instytucje współpracujące**

- Ministerstwo Przedsiębiorczości i Technologii
- Świętokrzyski Urząd Wojewódzki w Kielcach
- Urząd Miasta w Kielcach
- Politechnika Świętokrzyska
- Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach



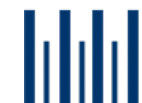
# Budowa Kampusu Laboratoryjnego



Planowany budżet projektu: ok. 200-300 mln PLN

Źródła finansowania:

Regionalny Program Operacyjny  
inne



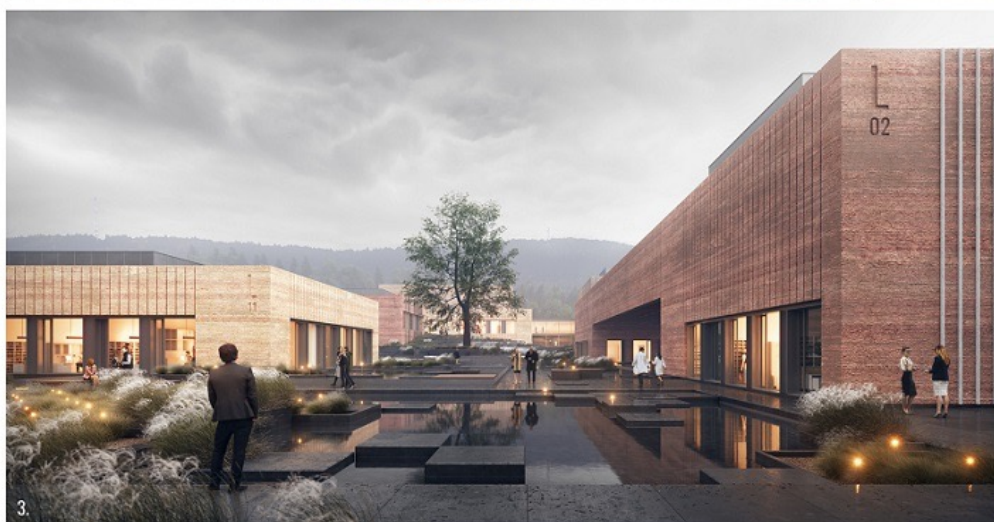
# Budowa Kampusu Laboratoryjnego

**Miejsce realizacji projektu:**  
miasto Kielce, podnóże  
Gór Świętokrzyskich  
złocze Góry Hałasa  
(wysokość 393 m n. p. m.  
należące do Pasma Dymińskiego)

**Obszar Kampusu:**  
ok. 14 ha (teren inwestycyjny  
Miasta Kielce oraz Lasów  
Państwowych)



# Kampus: zwycięski projekt architektoniczny





Kilogram po związaniu się ze stałą Plancka nie będzie musiał się już wstydzić, że traci na wadze

Dziękuję za uwagę !

dokładnie  
**100 lat**  
1919-2019

