

Rewolucja w Międzynarodowym Układzie Jednostek SI a Technologia Przemysłu 4.0

dr hab. Tadeusz Szumiata, prof. UTH Radom

t.szumiata@uthrad.pl



Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny
im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu



Wydział Mechaniczny

Katedra Fizyki



O rewolucji w międzynarodowym układzie jednostek SI i redefinicji wzorca masy, czyli dlaczego nowy kilogram jest lepszy?

Wzorzec kilograma, jako ostatni w całym międzynarodowym układzie miar SI, opierał się na artefakcie. Był nim walec z platyny i irydu (90% Pt i 10% Ir) o wysokości równej średnicy wynoszącej ok. 39 mm. Nadano mu dostojną nazwę *Le Grand K* („Wielki K”). Wzorzec ten przechowywany był w Międzynarodowym Biurze Miar BIPM (*Bureau International des Poids et Mesures*) w Sèvres pod Paryżem i obowiązywał od września 1889 roku, na mocy decyzji I Generalnej Konferencji Miar (*Conférence Générale des Poids et Mesures*, CGPM).

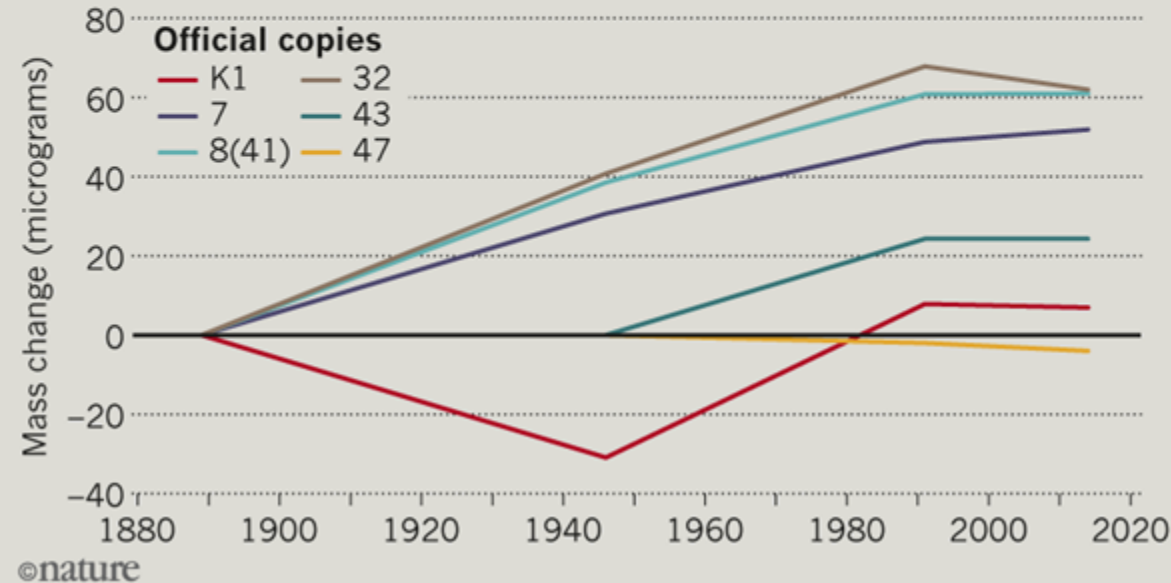
Przez dziesięciolecia nauka i technologia rozwijały się oraz rewolucjonizowały metrologię różnych wielkości fizycznych, ale wzorzec kilograma pozostawał bez zmian. Brakowało racjonalnych pomysłów na zmiany wzorca masy, jednak w końcu okazało się, że *Le Grand K* zaczął wykazywać odmienne trendy długoczasowych zmian masy w stosunku do kopii porównawczych. Przyczyną tych zmian były trudne do monitorowania zjawiska utraty lub absorpcji atomów na powierzchni poszczególnych wzorców.



Jak podało najbardziej prestiżowe czasopismo naukowe na świecie, NATURE, na przestrzeni stulecia różnica masy pomiędzy nadrzędnym wzorcem (*Le Grand K*) a kopiami referencyjnymi wyniosła **aż 50 mikrogramów**:

THE UNSTABLE KILOGRAM

The kilogram is currently defined by a lump of platinum-iridium, stored in a vault near Paris. Because objects can easily lose atoms or absorb molecules from the air, using one to define an SI unit is problematic. Compared to the prototype, some official copies have gained at least 50 micrograms over a century.

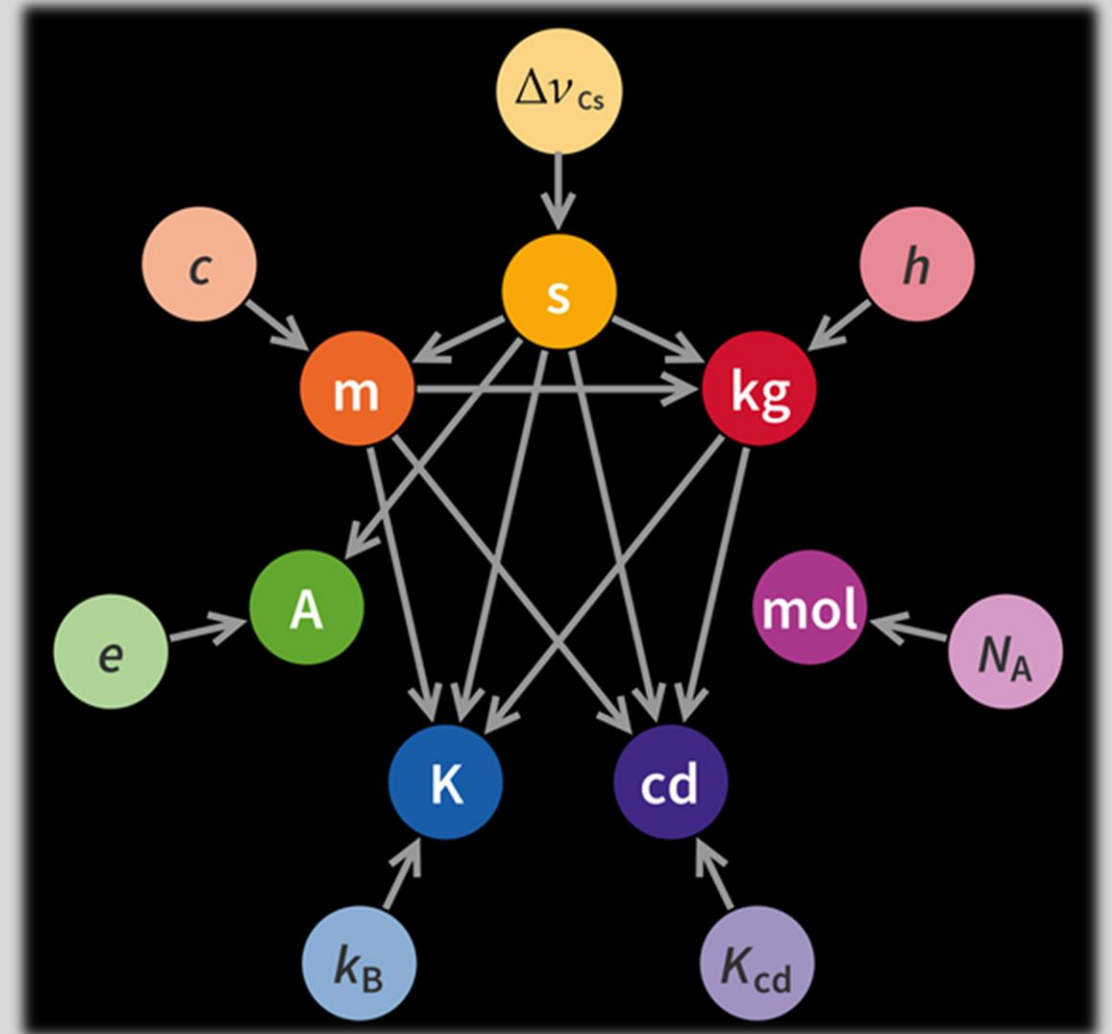


Stanowiło to poważny sygnał ostrzegawczy, ale zarazem silną motywację do pracy nad innowacyjnym wzorcem kilograma opartym nie na obiekcie materialnym, lecz na zjawiskach i stałych fizycznych. Pierwsze rekomendacje w tym zakresie sformułowała 23. Generalna Konferencja Miar CGPM w 2007 roku i CCM BIPM (*Consultative Committee for Mass and Related Quantities*) w 2010 roku. Jednak prawdziwą rewolucję w metrologii masy i całym układzie miar SI przyniosły lata 2018 i 2019.

Na czym polega rewolucja w międzynarodowym układzie jednostek SI?



Przedstawiciele narodowych instytucji metrologicznych z całego świata uczestniczący w 26 *Conférence Générale des Poids et Mesures* (CGPM) w Wersalu jesienią 2018 (13-16 listopada) roku zdecydowali w demokratycznym głosowaniu, że układ SI zostanie oparty na ustalonych wartościach liczbowych zbioru siedmiu stałych fizycznych, na podstawie których będą wyprowadzone definicje siedmiu jednostek podstawowych SI. Niniejsza zmiana uprawomocniła się 20 maja 2019 roku.



W zredefiniowanym układzie SI nie narzuca się konkretnych realizacji wzorców jednostek, ale wymaga się, by po ich wprowadzeniu podstawowe stałe fizyczne przyjmowały w pomiarach wartości możliwie zbliżone do przyjętych odgórnie i całkowicie ustalonych wartości definicyjnych, przy czym:

- częstotliwość nadsubtelnego przejścia w atomach cezu 133 w niezaburzonym stanie podstawowym, $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ wynosi 9 192 631 770 Hz,
- prędkość światła w próżni c wynosi 299 792 458 m/s,
- stała Plancka h wynosi $6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$ J s,
- ładunek elementarny e wynosi $1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$ C,
- stała Boltzmann k wynosi $1.380\,649 \times 10^{-23}$ J/K,
- stała Avogadra N_A wynosi $6.022\,140\,76 \times 10^{23}$ mol⁻¹,
- skuteczność świetlna monochromatycznego promieniowania o częstotliwości 540×10^{12} Hz, K_{cd} , wynosi 683 lm/W.

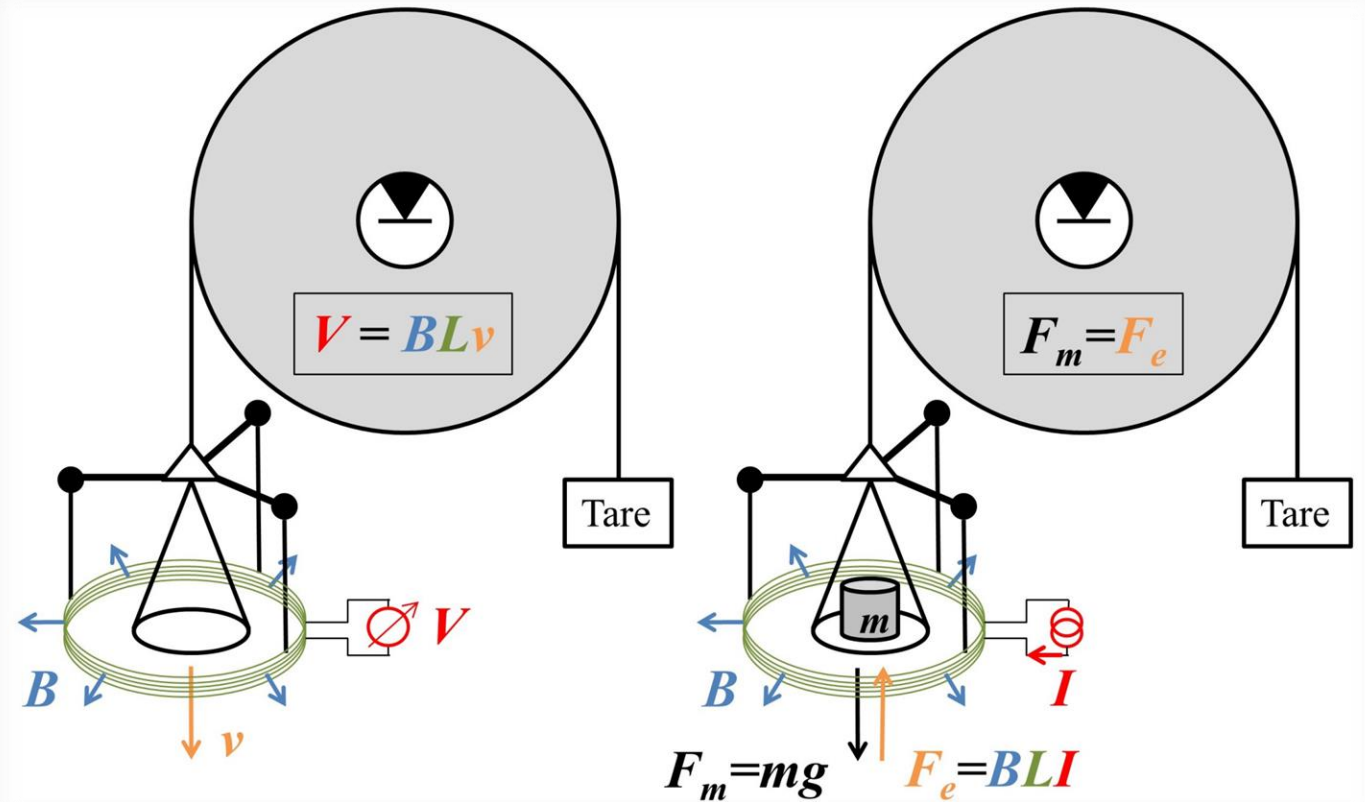


Jednostka masy została umownie powiązana ze stałą Plancka h (która jest podstawową stałą fizyki kwantowej), jednak w rzeczywistości konieczne było odniesienie jej również do dwóch innych stałych (prędkości światła c i częstotliwości $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ cezowego zegara atomowego). Formalnie nowa definicja kilograma brzmi:

„Kilogram, oznaczenie kg, jest to jednostka masy w SI. Jest ona zdefiniowana poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej stałej Plancka h wynoszącej $6,62607015 \cdot 10^{-34}$, wyrażonej w jednostce J·s, która jest równa $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, przy czym metr i sekunda zdefiniowane są za pomocą c i $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ ”.

Co to jest i jak działa waga Watta-Kibble'a?

Światowa społeczność metrologii masy wybrała spośród kilku rozważanych realizacji nowego wzorca masy tzw. wagę Watta-Kibble'a. Nazwa została nadana na cześć wynalazcy, Bryana Kibble'a z brytyjskiego National Physical Laboratory (NPL), który opracował pierwszą koncepcję już w 1975 roku (wówczas używał nazwy „waga Watta”). Jak każda współczesna waga laboratoryjna, jest ona zaprojektowana tak, by równoważyć ciężar masy testowej siłą elektrodynamiczną wytworzoną przez prąd elektryczny przepływający przez cewkę znajdującą się w zewnętrznym polu magnetycznym. Jego źródłem jest obwód magnetyczny złożony m.in. z silnych magnesów stałych lub z nieruchomego elektromagnesu. Ruchoma cewka, po przepuszczeniu przez nią prądu, staje się elektromagnesem siłownika o sile udźwigu proporcjonalnej do wartości zewnętrznego pola magnetycznego i natężenia prądu elektrycznego, którego wartość jest regulowana.



Waga Watta-Kibble'a pracuje w dwóch trybach:

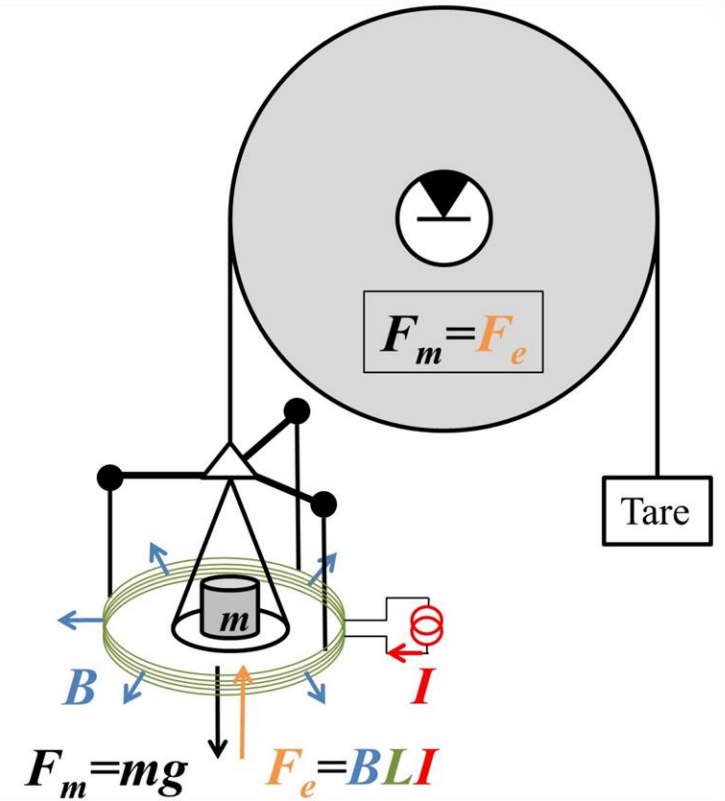
- w statycznym trybie ważenia
- i w dynamicznym trybie autokalibracji.

Tryb ważenia (tryb siły, tryb statyczny)

W tym trybie masę testową umieszcza się na szalce przymocowanej do cewki. Masa wywiera siłę skierowaną w dół będącą jego ciężarem równym iloczynowi masy (m) i lokalnego przyspieszenia grawitacyjnego (g). Prąd płynący przez cewkę jest tak regulowany, żeby siła elektrodynamiczna skierowana w górę dokładnie zrównoważyła siłę ciężkości. Gdy system osiągnie równowagę, rejestrowana jest wartość prądu. Siła elektrodynamiczna jest określona prostym równaniem:

$$F = I \cdot B \cdot L$$

gdzie I to natężenie prądu, B to indukcja pola magnetycznego, a L to długość drutu cewki. W stanie równowagi wartość siły F jest równa ciężarowi masy testowej $m \cdot g$. Niestety te proste relacje nie wystarczają do realizacji wzorca masy, ponieważ wartość iloczynu $B \cdot L$ jest niezwykle trudna do bezpośredniego pomiaru z niezbędną dokładnością. **Jednakże fizyka oferuje rozwiązanie tego problemu poprzez zastosowanie prawa indukcji Faradaya, które przewiduje powstawanie napięcia elektrycznego w przewodniku, gdy zmienia się strumień pola magnetycznego.** Będzie ono dokładnie proporcjonalne do natężenia pola magnetycznego, prędkości cewki względem magnesu i długości jej uzwojenia. To jest podstawowa motywacja do zrealizowania drugiego trybu pracy wagi Watta-Kibble'a.



Tryb kalibracji (tryb prędkości, tryb dynamiczny)

Cewka jest następnie poruszana w polu magnetycznym z precyzyjnie kontrolowaną, stałą prędkością v . Mierzone jest napięcie indukowane. Jego wartość z prawa indukcji Faradaya wynosi

$$U = v \cdot B \cdot L.$$

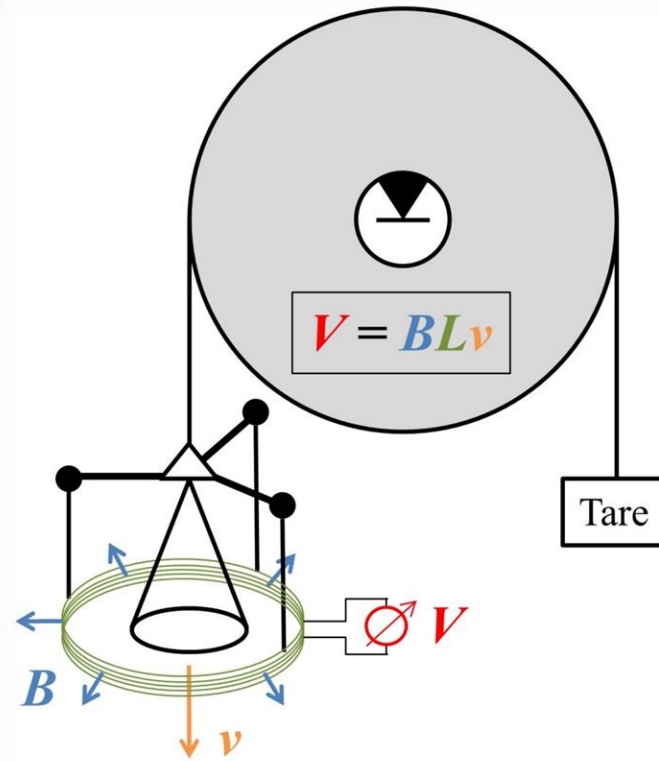
Równanie to łączymy z poprzednią formułą

$$m \cdot g = I \cdot B \cdot L$$

i otrzymamy zależność:

$$I \cdot U = m \cdot g \cdot v ,$$

co sugeruje, że moc elektryczna równa się mocy mechanicznej i korzy się z watom (stąd pierwotna nazwa „waga Watta”). To jednak tylko zbieg okoliczności, bo w trybie kalibracyjnym prąd nie płynie).



A zatem wyznaczamy masę:

$$m = I \cdot U / g \cdot v.$$

poprzez pomiar wielkości elektrycznych (I , U) oraz kinematycznych (g - grawimetrem absolutnym, v - interferometrem laserowym).

Jak fizyka kwantowa i stała Plancka zrewolucjonizowała metrologię masy?

Realizacja nowego wzorca masy sprowadza się do pomiarów wielkości elektrycznych oraz prędkości i przyspieszenia ziemskiego, a zatem dlaczego temu wzorcowi przypisuje się w zredefiniowanym układzie SI związek ze stałą Plancka h ?

Stała Plancka została wprowadzona na początku XX wieku w celu prawidłowego opisu najmniejszych porcji energii E promieniowania, czyli fotonów poruszających się z prędkością światła c . Wzór Plancka przewiduje, że kwant energii wynosi:

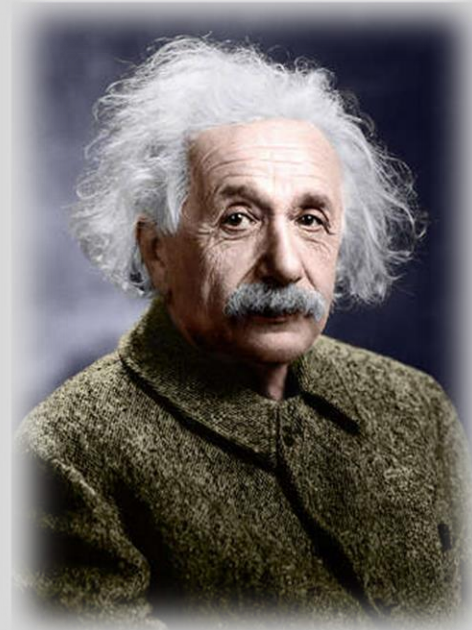
$$E = h \cdot \nu ,$$

gdzie ν to częstotliwość fali promieniowania.

Gdyby foton posiadał masę, to na podstawie najbardziej znanego na świecie wzoru Einsteina o równoważności masy i energii

$$E = m \cdot c^2 ,$$

można by w prosty sposób powiązać masę ze stałą Plancka, a metrologię masy sprowadzić do ultraprecyzyjnych pomiarów czasu (częstotliwości). Niestety fotony są cząstkami bezmasowymi, więc słynna formuła Einsteina ich nie dotyczy.



Masą obdarzone są elektrony będące elementarnymi nośnikami ładunku elektrycznego odpowiedzialnymi za wszystkie zjawiska elektromagnetyczne zarówno makroskopowe, jak i w skali atomowej, gdzie obowiązują prawa fizyki kwantowej.

Prąd w wadze Watta-Kibble'a jest mierzony za pomocą rezystora wzorcowego w obwodzie. Wartość oporu elektrycznego można określić z precyzją około 1 części na miliard, odnosząc się do tzw. stałej von Klitzinga, która opisuje elementarny skok (kwant) oporu poprzecznego występujący przy zmianie pola magnetycznego w zjawisku znanym jako **kwantowy efekt Halla**.

Napięcie elektryczne jest mierzone z dokładnością 1 części na 10 miliardów za pomocą tzw. efektu Josephsona, które przewiduje metrologicznie ścisłą proporcjonalność pomiędzy wartością napięcia przyłożonego do złącza nadprzewodnik-izolator-nadprzewodnik (złącze Josephsona) a częstotliwością generowanego promieniowania elektromagnetycznego.

W praktyce efekt Josephsona stanowi światowy standard kwantyfikacji napięcia, a kwantowy efekt Halla jest światowym wzorcem oporu elektrycznego, chociaż ani volt, ani om nie jest podstawową jednostką układu SI. Samodzielne Laboratorium Elektryczności i Magnetyzmu Głównego Urzędu Miar w Warszawie od wielu lat dysponuje profesjonalnymi realizacjami obydwu wzorców.

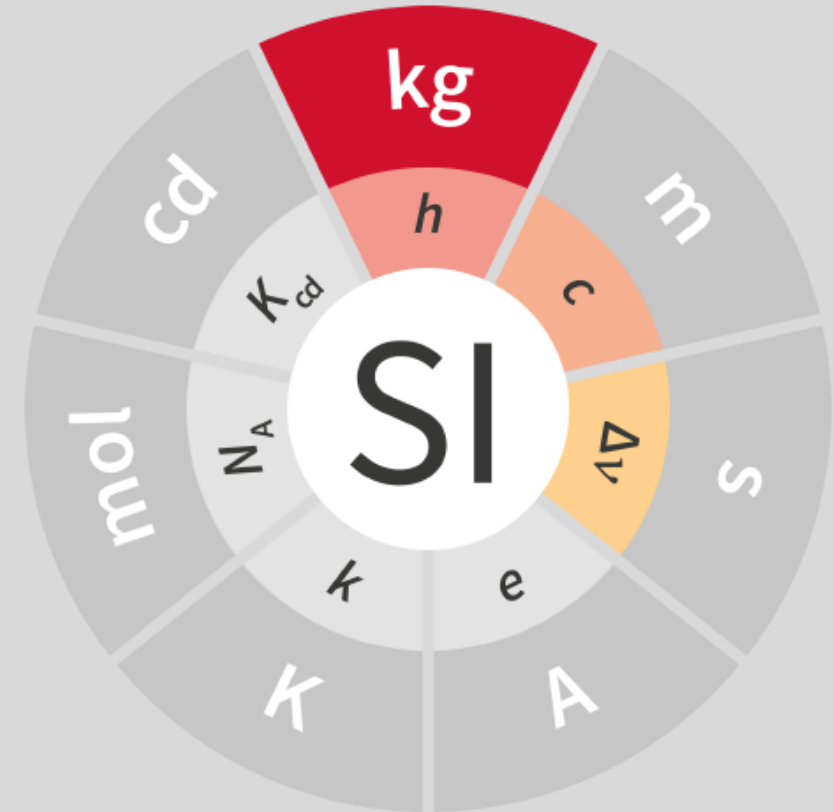


Związek między masą a stałą Plancka

Po połączeniu uprzednio wyprowadzonego wzoru do wyliczania masy testowanej w wadze Watta-Kibble'a ze wzorami opisującymi kwantowy efekt Halla i efekt Josephsona, otrzymujemy ścisłą proporcjonalność pomiędzy wartością masy m a wartością stałej Plancka h :

$$m = h \cdot (n^2/p) \cdot (f_f \cdot f_c) / (4 \cdot v \cdot g),$$

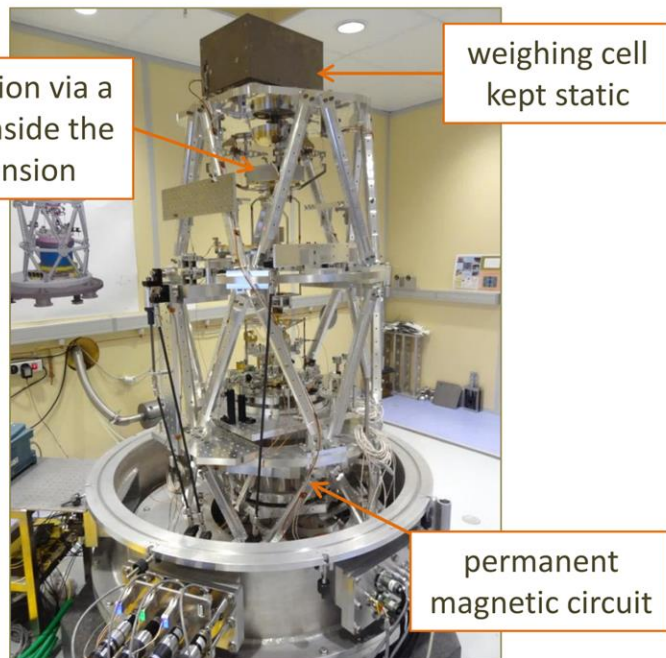
przy czym n oznacza liczbę złącz Josephsona we wzorcu napięcia, p – numer „schodka” oporu w kwantowym efekcie Halla, f_f – częstotliwość promieniowania ze złącza Josephsona wykorzystywanego do pomiaru napięcia na oporze wzorcowym w obwodzie wagi w trybie ważenia (*force mode*), a f_c – analogiczna częstotliwość odpowiadająca pomiarowi napięcia indukującego się w cewce wagi pracującej w trybie dynamicznym (*calibration mode*).



Jak wygląda realizacja wagi Watta-Kibble'a w BIPM (Sèvres)?

Konstruktorzy wagi Watta-Kibble'a w Międzynarodowym Biurze Miar w Sèvres pod Paryżem (*Bureau International des Poids et Mesures*, BIPM) zastosowali osiową, jednoramienną geometrię wagi Watta-Kibble'a, co upraszcza konstrukcję, ale powoduje problemy z mechanicznym zrównoważeniem układu – w porównaniu do klasycznej, dwuramiennej geometrii wag mechanicznych. W celu utrzymania ciężaru ruchomego elementu osiowego wagi użyto kompensacyjnego komparatora masy. Geometria jednoosiowa umożliwia łatwe umieszczenie wagi w komorze próżniowej, przy czym zapewnienie próżni jest warunkiem koniecznym do prawidłowego funkcjonowania Watta-Kibble'a w trybie zarówno ważenia, jak i kalibracji.

Experimental set-up (I)



BIPM – widok na wzgórze z Pont de Sèvres

20.11.2018 – 4 dni po konferencji w Wersalu



Bureau
International des
Poids et
Mesures





Dr Michael STOCK
Director of the
Physical Metrology
Department
Sèvres



METROLOGY
MOVING TOWARDS
FOUNDATION

APMF 2017

Asian-Pacific Symposium on Measurement of Mass, Force and Torque
Technical field: Mass, Force, Torque and Density
(Extended to Hardness, Pressure, Vacuum and Gravimetry)
19 – 23 November 2017
Krabi, Thailand



Dokładnie 100 lat

Analiza strategiczna
polskiego projektu
wagi Kibble'a

Bezpieczeństwo
cyfrowe a rzetelność
pomiaru

Projekty strategiczne
Laboratorium
Długości

Weryfikacja wpływu
wyników porównań

175-lecie OUP
w Krakowie

System Zarządzania
Jakością

Działalność KZM
ds. regulacji rynku

Od metra dawnego
do współczesnego

Przyszłość
w metrologii
kwantowej

Randka z metrolożką



Analiza strategiczna polskiego projektu wagi Kibble'a

Strategic analysis of the Polish project of Kibble balance

Tadeusz Szumiata, Maciej Dobieszewski, Andrzej Hantz, Wojciech Wiśniewski, Jerzy Szutkowski, Arkadiusz Podgórn

Biorąc pod uwagę przedstawione wyniki analizy strategicznej, Zespół jednoznacznie rekomenduje realizację polskiego projektu wagi Kibble'a na zakres małych mas oraz kilka mniejszych projektów komplementarnych.

Autorzy analizy żywią nadzieję, że niniejsza rekomendacja będzie czynnikiem skutecznie motywującym zarówno polskie środowisko metrologiczne, akademickie, jak i polski przemysł innowacyjny oraz polskie władze do podjęcia i wspierania prac związanych z projektem.

Oczywistym warunkiem powodzenia tego przedsięwzięcia jest zapewnienie odpowiednich środków finansowych (głównie budżetowych i unijnych).

Education on Watt-Kibble balance

A LEGO Kibble balance – from NIST to Poland

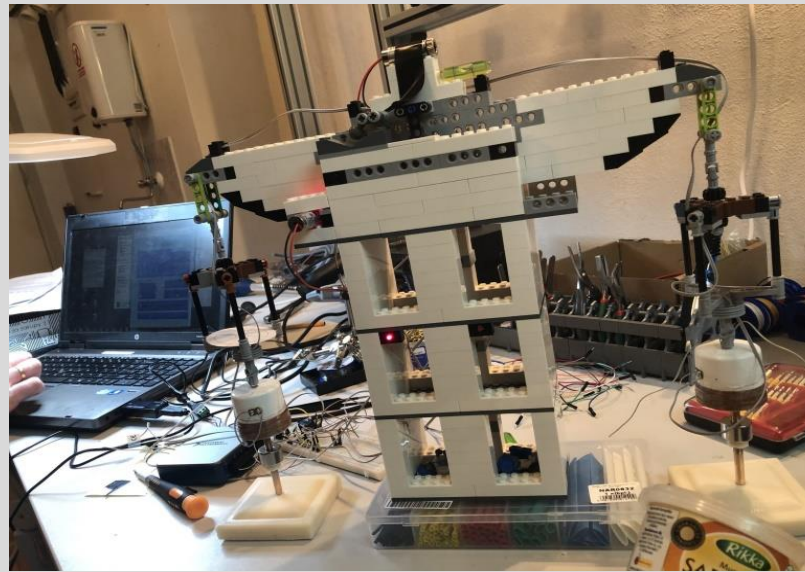
A LEGO Watt balance: An apparatus to determine a mass based on the new SI - Am. J. Phys. **83 (11)**, November 2015

/L. S. Chao, S. Schlamminger, D. B. Newell, and J. R. Pratt/

/Physical Measurement Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland 20899/

/F. Seifert, X. Zhang, G. Sineriz, M. Liu, and D. Haddad/

/Joint Quantum Institute, University of Maryland, College Park, Maryland 20742/



Sebastian Margalski, Manager of the GUM Promotion Office and a great weight enthusiast of LEGO Kibble balance: "The project was started in January 2019. The balance was launched in May 2019 during the Science Picnic. It was its first public presentation. During the tests it was shown that the coils were put on too shallow caps, which did not allow full, gentle movement. We are currently re-manufacturing coils wound on caps printed in 3D printing technology with PLA material. We plan to finalize the project by the end of this year. It should result in documentation – say – the article. In November 2019, we invited Radwag to cooperate with us in order to wind good coils".

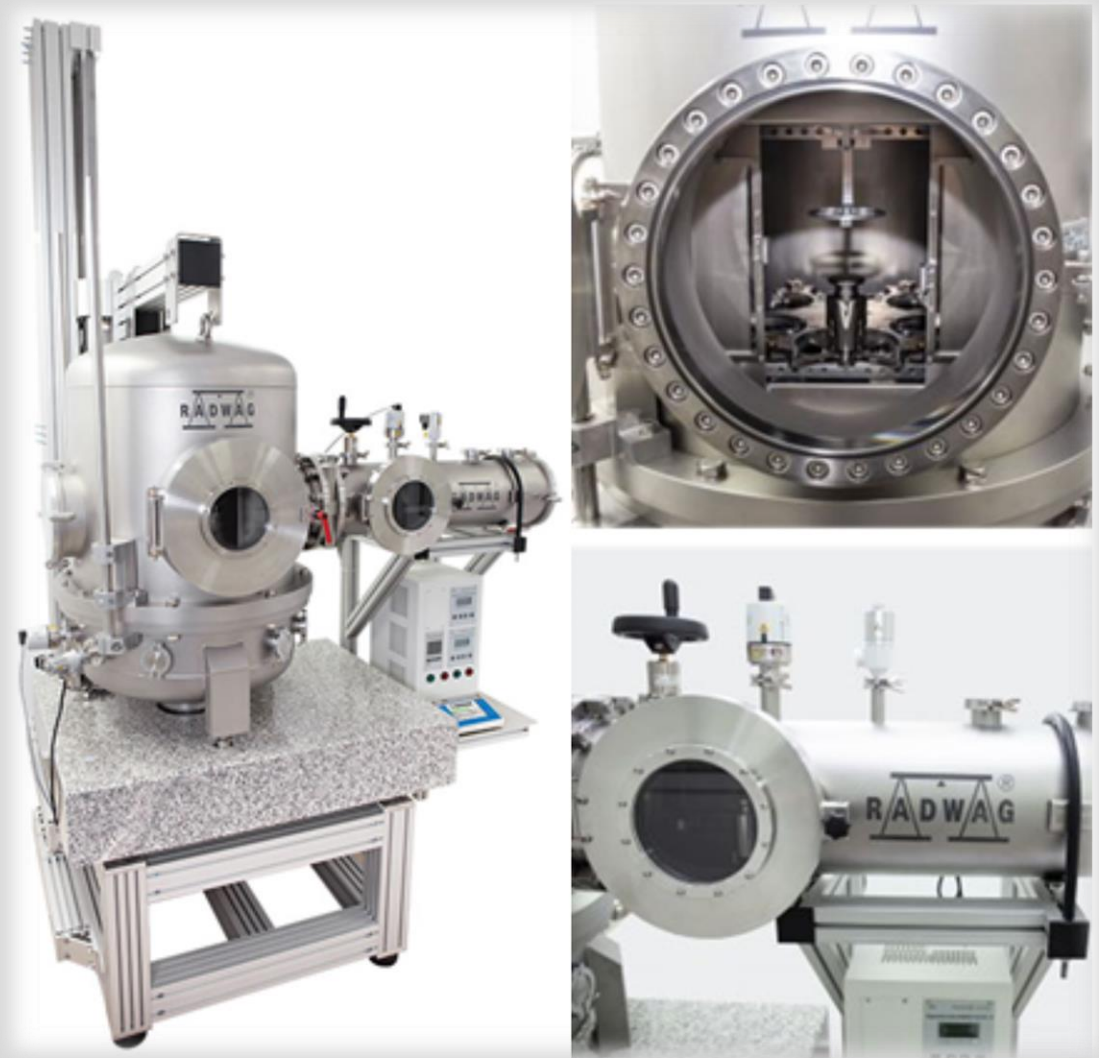
Jak oferta firmy RADWAG ułatwia transfer wzorców masy po redefinicji?

Wprowadzenie nowego wzorca masy w postaci wagi Watta-Kibble'a nie wyeliminowało potrzeby zastosowania materialnych artefaktów jako wzorców wtórnych i odważników kalibracyjnych. Wzrosły jednak wymogi odnoszące się do zapewnienia spójności masy w procesie transferu wzorców i ich dyseminacji.

Firma RADWAG wyszła naprzeciw temu zapotrzebowaniu i skonstruowała automatyczny, próżniowy komparator masy AVK-1000 o obciążeniu maksymalnym 1 kg, z działką elementarną 0,1 μg . Urządzenie oferuje **prowadzenie pomiarów w próżni o wartości 10^{-6} mbar** lub w atmosferze gazów szlachetnych i neutralnych. Próżnia lub zapewnienie stałego ciśnienia eliminuje błędy komparacji masy związane z niedoskonałym kompensowaniem siły wyporu. Urządzenie przeznaczone jest do komparacji tradycyjnych, cylindrycznych wzorców stalowych (o średnicy 22-95 mm) i kul krzemowych (o średnicy 40-100 mm), które były brane pod uwagę jako alternatywne (wobec wagi Watta-Kibble'a) wzorce masy po redefinicji układu SI, a ostatecznie zostały uznane za najlepszy, praktyczny wzorzec gęstości. Komparator próżniowy AVK-1000 wyposażony jest w system przenoszenia wzorca LOAD LOCK. **Dzięki niemu możliwa jest wymiana lub dołożenie artefaktów bez konieczności zmiany atmosfery wewnątrz komory głównej komparatora, co skraca czas pomiarów o 90%.**

Automatyczny próżniowy komparator masy AVK-1000 pracuje od kilku lat w Samodzielnym Laboratorium Masy Głównego Urzędu Miar w Warszawie. Precyzja pomiarów, jaką oferuje to urządzenie i zastosowane w nim rozwiązania technologiczne, mogą stanowić w przyszłości dobry punkt wyjścia do realizacji polskiego projektu wagi Watta-Kibble'a.

PRÓŻNIOWY KOMPparator MASY



W jaki sposób po redefinicji układu SI firma RADWAG stała się światowym liderem metrologii masy w zakresie nano?

RADWAG, jako pierwsza firma na świecie, wprowadziła na rynek automatyczny nano-komparator masy o symbolu NANO.AK-4/500N o **rekordowej dokładności odczytu 10 ng** i **udźwigu maksymalnym 510 mg**. Komparator ten cechuje się znacznie lepszymi charakterystykami niż inne urządzenia tego typu dostępne na rynku i stanowi przełom w światowej metrologii masy. Ulepszenia siłownika i cewki zminimalizowały wpływ warunków otoczenia na wyniki pomiarów, szczególnie w przypadku gradientu wilgotności powietrza. Odchylenie standardowe wyliczone na podstawie 20 powtórzonych cykli komparacji ABBA wyniosło **38 ng** w przypadku **odważnika 2 mg**. **Jest to obecnie najlepsza dostępna w metrologii małych mas powtarzalność pomiarów.**

Pojawienie się pierwszego na światowym rynku komparatora masy o rozdzielczości 10 ng pozwala na walidowanie materialnych wzorców masy do kalibracji mikrowag laboratoryjnych stosowanych w wielu gałęziach przemysłu, laboratoriach wzorcujących i w badaniach naukowych w ramach różnych dyscyplin.

Typowym obszarem zastosowań jest kalibracja mikrowag używanych w **przemśle farmaceutycznym** do przygotowywania nowych receptur. Bardzo istotnym przykładem zastosowań są wszelkie badania fizykochemiczne materiałów (**analitika chemiczna, spektroskopia**), w których mierzone wielkości fizyczne i zawartości pierwiastków są odnoszone do precyzyjnie wyznaczonej masy. Szczególnie ważną kwestią jest **kalibracja grawimetryczna mierników pyłu zawieszonego PM10 i PM2.5** mająca kluczowe znaczenie w monitoringu środowiskowym.

Innym obszarem zastosowań jest nowoczesny **przemysł elektroniczny i mechatroniczny**, gdzie szczególnie ważną kwestią staje się m.in. **kalibracja mikro- i nanosiłowników oraz sensorów.**



← to ważne filary technologiczne współczesnego i przyszłego przemysłu (w tym **Przemysłu 4.0**)



ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Precision Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/precision



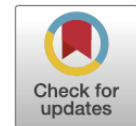
A novel automatic mass comparator with a resolution of 10 ng for calibration of masses below 2 mg

Michał Solecki^a, Tadeusz Szumiata^b, Mirosław Rucki^{b,*}

200 pkt.

^a RADWAG Wagi elektroniczne, ul. Toruńska 5, 26-600, Radom, Poland

^b Faculty of Mechanical Engineering, Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom, Poland



ARTICLE INFO

Keywords:
Mass comparator
Weight
Uncertainty
Accuracy

ABSTRACT

DOKTORAT: Konstrukcja komparatora masy o rozdzielczości 10 ng ze zmodyfikowanym elektromagnetycznym przetwornikiem siły.

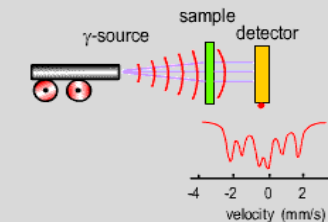
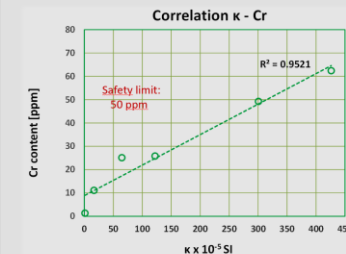
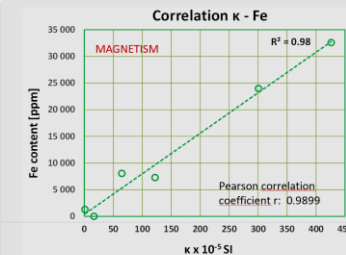
This paper presents a novel mass comparator designed for the purpose of measuring small weights of 2 mg and lower, with readability of 10 ng. The mass comparator was developed using new types of coil and actuator. The added protective ring decreased the average sorption-induced mass variation for the coil by 84%. The accuracy of the novel comparator was verified in terms of stability, Type A uncertainty, and repeatability. Compared to the device of the best available accuracy, the standard uncertainties of the novel-design comparator were approximately 70% narrower.



Magnetyczny susceptometr wagowy do zastosowań środowiskowych



ekonomiczna alternatywa wobec metod spektroskopowych (np. tzw. spektrometrii mössbauerowskiej) m.in. do wykrywania metali ciężkich



The main partners

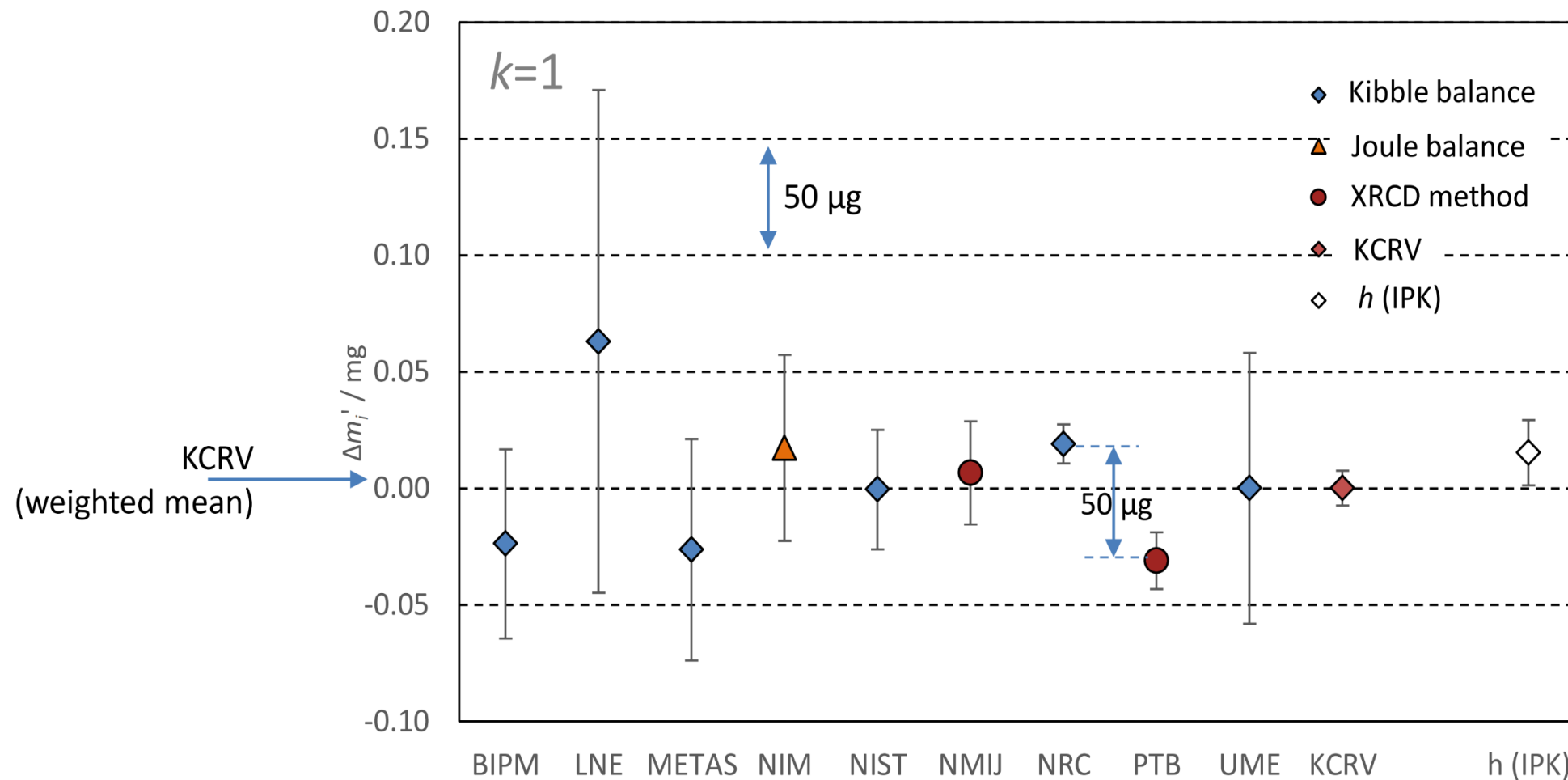
Bureau
International des
Poids et Mesures
Sèvres

European weighing
industry association

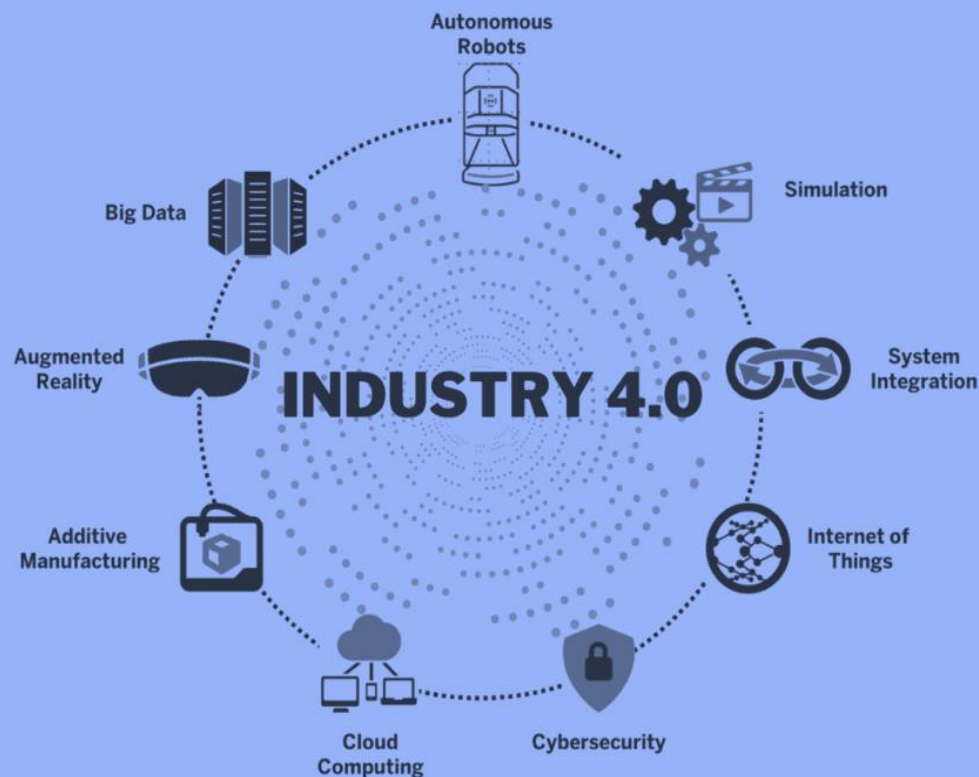


CCM.M-K8.2021: second key comparison of kilogram realizations

Differences between mass values attributed to a 1 kg weight (in mg)



Standardy PRZEMYSŁU 4.0 przenikają do metrologii masy i technik ważenia produktów

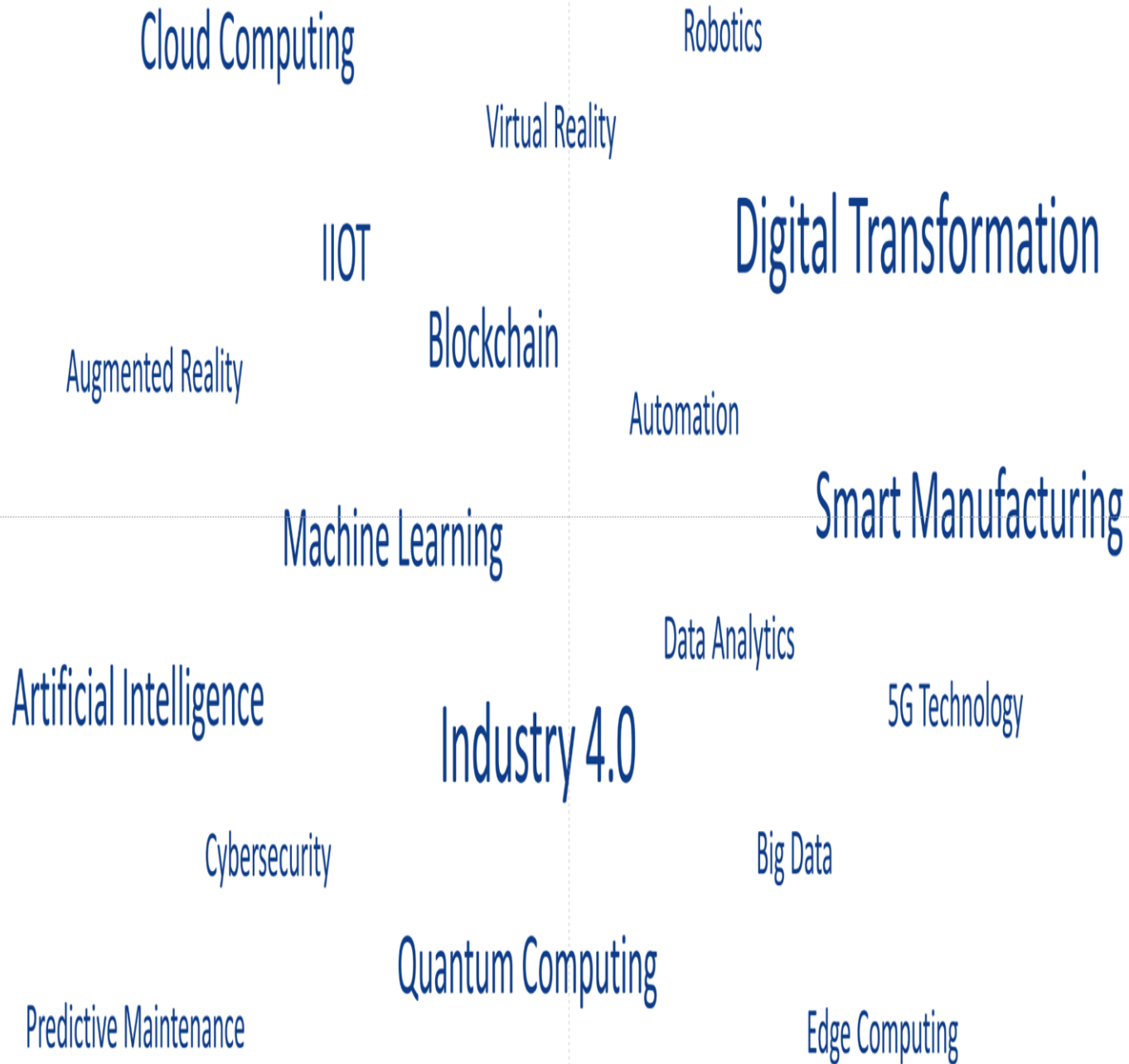


The laboratory world is changing while various processes and structures must be rethought.

The “laboratory 4.0”: revolutionises the entire lab world, from simple logistics to data management, novel approaches to personalized processes.

Indispensable for the beginning of the new era are:

- networked laboratory devices with intelligent and smart functions,
- complex holistic automation concepts and efficient interface solutions,
- data handling and secure data storage.



- Image recognition / visual inspection
 - Recognize objects under varying light conditions
 - Check product quality optically
- Smart SPC / Predictive Quality **IOT**
 - Correlate production data and quality data
- Predictive Maintenance **IOT**
 - Identify patterns in sensor data which points to imminent failures



Wagi kontrolne



Wagi kontrolne z detekcją zanieczyszczeń



Wagi kontrolne hermetyczne



Wagi kontrolne rotacyjne



Wagi sortujące



Wagi etykietujące



Wagi rolkowe



Wagi kontrolne



Wagi kontrolne z detekcją zanieczyszczeń



Wagi kontrolne hermetyczne



Wagi kontrolne rotacyjne



Wagi sortujące



Wagi etykietujące



Wagi rolkowe

[Strona główna](#) > [Produkty](#) > [Wagi automatyczne](#)

Wagi kontrolne

Dokładność [d]: **0,1 g - 5 - 200 g**Udźwig [Max]: **300 - 7500 g - 10 - 600 kg**[Obejrż wszystkie modele](#)

Wagi etykietujące

Dokładność [d]: **1 - 5 g**Udźwig [Max]: **3000 - 7500 g**[Obejrż wszystkie modele](#)

Wagi kontrolne



Wagi kontrolne z detekcją zanieczyszczeń



Wagi kontrolne hermetyczne



Wagi kontrolne rotacyjne



Wagi sortujące



Wagi etykietujące



Wagi rolkowe



Wagi kontrolne



Wagi kontrolne z detekcją zanieczyszczeń



Wagi kontrolne hermetyczne



Wagi kontrolne rotacyjne



Wagi sortujące



Wagi etykietujące



Wagi rolkowe

Wagi sortujące

Dokładność [d]: **0,5 - 2 g**Udźwig [Max]: **1500 - 6000 g**[Chcę zobaczyć](#)[Chcę zapytać eksperta](#)

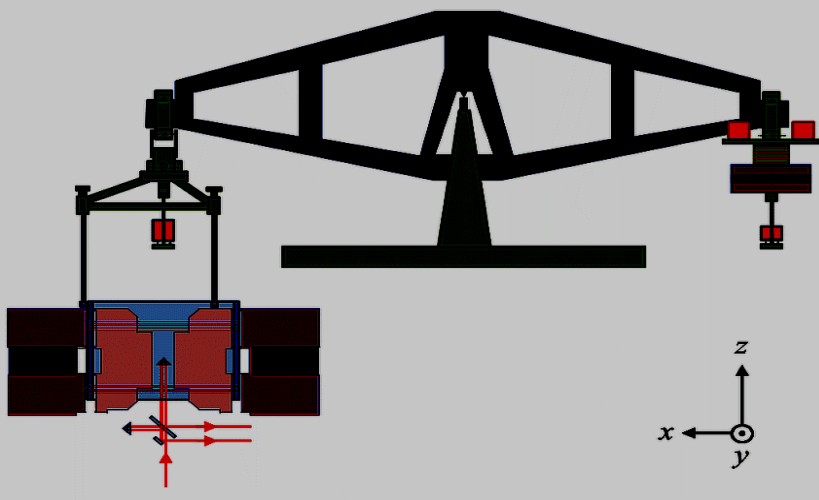
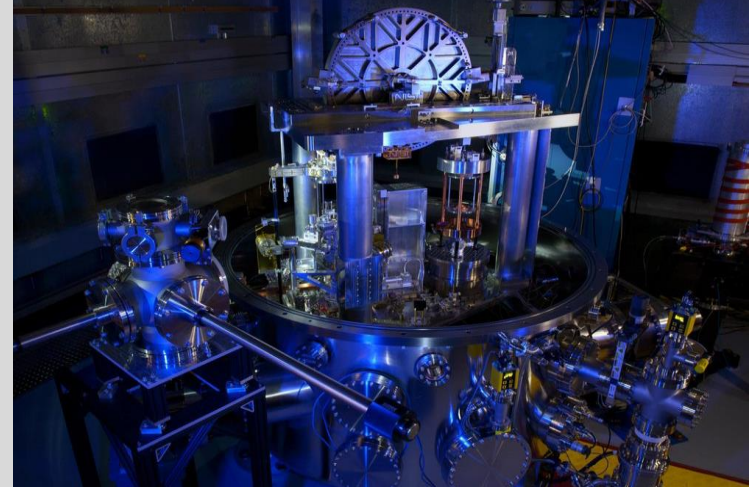
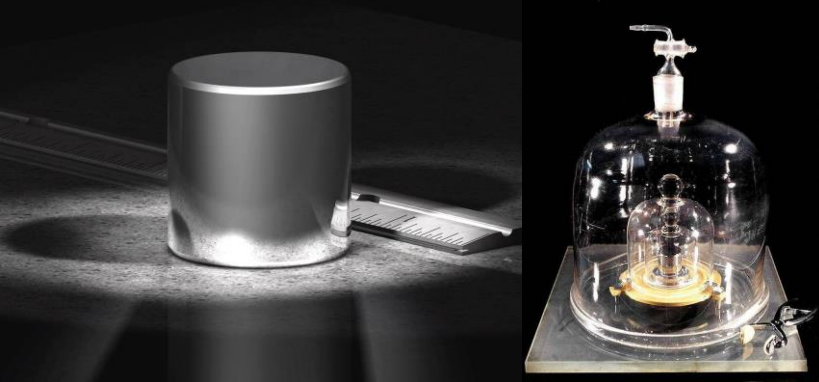
Wagi kontrolne z detekcją zanieczyszczeń

Dokładność [d]: **0,5 - 5 g**Udźwig [Max]: **1500 - 7500 g**[Chcę zobaczyć](#)[Chcę zapytać eksperta](#)

Wnioski końcowe:



- Nastąpiła prawdziwa rewolucja w Międzynarodowym Układzie Jednostek SI, dzięki odejściu od materialnego wzorca kilograma
- Nowy układ jednostek oparto na fundamentalnych stałych i zjawiskach fizycznych.
- Rewolucja w układzie SI stymuluje rozwój nowych technologii.
- Najnowsza technologia umożliwia organizację produkcji i zapewnia procedury metrologicznych (w tym procesy ważenia) wg. standardów Przemysłu 4.0.
- Należy jednak pamiętać, że sam rozwój najnowszych technologii (półprzewodniki, inżynieria materiałowa, mechanika precyzyjna, synteza chemiczna, AI) odbywa się sposobem tradycyjnym, w zaciszu laboratoriów i zależy od stopnia wykształcenia w zakresie przedmiotów podstawowych (matematyka, fizyka, chemia). Niestety pod tym względem Polska została w tyle za wieloma krajami. Najwyższa pora to zmienić.



Dziękuję
Państwu
za uwagę



Akademia Inżynierska w Polsce

Zgromadzenie Ogólne

Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny
im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu

Radom, 13.06.2023

