

## Redefinição do Kilograma I: Motivações e Justificativas

### Kilogram Redefinition I: Motivations and Justifications

**F L Cacais**<sup>1</sup>, **V M Loayza**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro – Brasil

E-mail: facacais@gmail.com

**Resumo:** Invariavelmente a deriva do Protótipo Internacional do quilograma é indicada como a motivação para o processo de redefinição do quilograma, no entanto como é apresentado neste trabalho, a redefinição do quilograma foi motivada principalmente por necessidades conceituais do SI em redefinir as unidades de base a partir de constantes fundamentais.

**Palavras-chave:** constantes fundamentais e atômicas, unidade de massa, quilograma.

**Abstract:** Invariably the drift of the International Prototype of the kilogram is indicated as the motivation for the process of redefinition of the kilogram, however as it is presented in this work, the redefinition of the kilogram was motivated mainly by conceptual needs of the SI in redefining the base units from fundamental constants.

**Keywords:** fundamental and atomic constants, SI mass unit, kilogram.

### 1. INTRODUÇÃO

A definição da unidade de massa do Sistema Internacional de Unidades (SI), o quilograma, é a massa do protótipo internacional do quilograma (IPK) [1] e será substituída por uma definição baseada em uma constante fundamental, a constante de Planck, em 2018 [2]. Diversos fatores favoreceram o processo de redefinição do quilograma:

- Vulnerabilidade da definição atual baseada em objeto físico;
- Maior estabilidade das unidades do SI ao serem definidas a partir de constantes fundamentais;
- Universalidade da realização da unidade a partir de experimentos que podem ser

executados a qualquer momento, em qualquer lugar e com a maior exatidão possível;

- Interesse de redefinição de unidades em função de constantes fundamentais;
- Viabilidade de redefinir outras unidades de base implementando assim o novo SI, figura 1 [3].

Historicamente estes fatores se apresentaram como uma motivação, como uma justificativa, como consequência de uma decisão de alguma autoridade de metrologia ou como requisito para aceitação redefinição do quilograma. A deriva do IPK detectada na Terceira Verificação Periódica dos protótipos nacionais do quilograma [4] é apresentada, invariavelmente, como motivação para redefinição do quilograma, assim este trabalho apresenta evidências de que a deriva foi

a justificativa para a redefinição e não a motivação que está relacionada ao interesse de redefinir unidades de base do SI a partir de constantes fundamentais e que foi suportada por necessidades conceituais do SI associadas a metrologia elétrica e a metrologia de massa.



Figura 1 *SI Illustration* Representação gráfica do SI incluindo as unidades de medida e as correspondentes constantes fundamentais que as definem [3].

## 2. MOTIVAÇÃO

### 2.1. Constantes fundamentais no SI

Constantes fundamentais são verdadeiros invariantes da natureza que compõem muitas das equações que descrevem fenômenos físicos e químicos [5] e cujos valores são determinados experimentalmente por diversos métodos de medição.

No SI, estabilidade de longo prazo com o mais alto nível de exatidão é um requisito para definição de unidades de medida que deve ser cumprido pelas realizações experimentais que ligam as unidades SI às constantes fundamentais [6]. Assim, acompanhando o desenvolvimento de realizações experimentais cada vez mais precisas das unidades SI [1], a Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) desde a primeira redefinição do metro na década de 60 [7] tem decidido substituir as definições de unidades baseadas em padrões físicos ou experiências não reprodutíveis por constantes fundamentais ou atômicas que

permitam realizações experimentais das unidades que cumprem os requisitos mencionados.

A relação entre unidades SI e constantes atômicas e fundamentais aparece, por exemplo, nas definições do segundo, do ampere e do metro. O segundo desde 1963 é definido em função da frequência da radiação emitida pelo césio 133 e fixa este valor. A definição do ampere, fixa o valor da constante magnética  $\mu_0$  em  $4\pi \times 10^{-7}$  H/m e desde 1983 o metro fixa o valor da velocidade da luz no vácuo  $c_0$  em 299 792 458 m/s. Ainda, a partir da física básica estas constantes estão relacionadas à constante elétrica  $c_0^2 \mu_0 \epsilon_0 = 1$ , desta forma a constante elétrica  $\epsilon_0$  também tem seu valor fixado.

As constantes fundamentais e atômicas que definem as unidades do SI apresentam valores sem incerteza [8] e apenas as constantes fundamentais que definem unidades SI são fixadas dentre o conjunto completo de constantes fundamentais que compõem as teorias científicas e cujos valores e incertezas figuram como dados de referência em diversos *handbooks*. A atribuição de valores numéricos e incertezas de medição aos dados de referência é realizada desde 1969 pelo Grupo de Trabalho sobre Constantes Fundamentais (TGFC) do Committee on Data for Science and Technology (CODATA).

### 2.2. Ajuste de valores das constantes pelo CODATA

O objetivo do CODATA é fornecer periodicamente um conjunto de valores auto-consistente para constantes e fatores de conversão da física e química com base no ajuste das equações em relação a todos os dados relevantes disponíveis naquele momento. Este ajuste é realizado para todas as constantes fundamentais, exceto para a constante gravitacional  $G$  que não está relacionada com as demais e é ajustada separadamente [9] e também para as constantes que definem unidades do SI

porque apresentam valores fixos, portanto não são ajustadas periodicamente.

O ajuste das constantes fundamentais é realizado pelo método dos mínimos quadrados ponderados e a análise de dados discrepantes considera o teste do Qui-Quadrado, o teste da Razão de Birge, o coeficiente de auto-sensibilidade, os resíduos normalizados e as diferenças bilaterais [10]. Como resultado, valores numéricos e incertezas de medição são definidos para as constantes.

### **2.3. Fixação do valor numérico de constantes relacionadas as unidades SI**

As constantes usadas para definir unidades do SI têm seus valores numéricos fixados e recomendados pelos Comitês Consultivos (CCs) do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (CIPM), como ocorreu com o comprimento de onda da radiação do Kriptônio 86 em 1960 [11] e a velocidade da luz em 1973 [12] utilizadas para definir o metro e também ocorreu em 1963 [13] com a frequência da radiação emitida pelo césio 133.

A frequência ou comprimento de onda de uma radiação de um elemento químico específico são exemplos de constantes naturais, no entanto não são consideradas constantes fundamentais e, portanto não são ajustadas pelo CODATA. Da mesma forma, a densidade do mercúrio ou da água [14] sob certas condições podem ser consideradas também constantes naturais e por este motivo a água foi utilizada como referência para o quilograma no sistema métrico até 1799, quando serviu de referência para definição da unidade de massa baseada em um cilindro de platina (Pt), o quilograma dos *archives*, o qual serviu de referência para definição atual da unidade de massa baseada no cilindro de platina-irídio (Pt-Ir) [15].

O valor de uma constante a ser fixada é um valor de consenso obtido a partir dos valores de maior exatidão das determinações experimentais

da constante. Embora o número de dígitos no valor fixado seja escolhido pelo CIPM e seus CCs, em geral, corresponde ao número de dígitos decimais da incerteza com um ou dois dígitos significativos. Uma vez fixado, o valor da constante é considerado como um número aonde os dígitos não especificados a direita são preenchidos com zeros e a incerteza antes atribuída a constante é passada para o valor da unidade obtido experimentalmente.

O valor fixado da constante pelo CIPM é adotado pelo CODATA em seus ajustes das demais constantes fundamentais, como ocorreu por exemplo com a velocidade da luz recomendado em 1973 [16].

### **2.4 Necessidades Conceituais do SI relacionadas à Metrologia Elétrica.**

Até a década de 60 tanto o metro quanto o segundo eram definidos a partir de grandezas mecânicas ou macroscópicas. O segundo era definido como o período de rotação da terra em torno de seu eixo e requeria para sua medição observações astronômicas de alta exatidão que não estavam disponíveis a todos. O metro era definido como o comprimento entre linhas no protótipo internacional do metro, uma barra feita em Pt-Ir, mantido na França no Bureau Internacional de Pesos e Medidas (BIPM) e desta forma também não era de fácil acesso a qualquer usuário.

Com a primeira redefinição do metro e do segundo ocorreu a substituição destas definições de natureza mecânica por outras de natureza atômica ou quântica e que permitiram realizar as unidades com alta exatidão, estabilidade e, a princípio, em qualquer lugar e por qualquer um habilitado com o nível de conhecimento adequado. Estas definições conferiram praticidade às medições de tempo com alta exatidão e, em conjunto com a segunda definição do metro a partir de uma constante fundamental, evidenciaram vantagens significativas na

substituição das antigas definições e que, portanto este deveria ser o caminho seguido dentro SI no futuro [17].

Embora seja uma característica desejável que as unidades do SI se relacionem a constantes fundamentais ou atômicas é necessário que sejam projetados experimentos que permitam relacionar suas definições, em geral macroscópicas, a tais constantes. Assim, estes métodos de medição devem ser capazes de amplificar efeitos atômicos ou quânticos para a escala macro mantendo a continuidade em relação à definição anterior, portanto não causando descontinuidade na cadeia de rastreabilidade previamente existente. Esta condição se junta às já mencionadas melhor estabilidade, realização com a mais alta exatidão disponível a todos e em qualquer lugar e no mínimo a mesma exatidão prévia na realização da unidade.

Dois métodos de medição que amplificam os efeitos quânticos são as realizações do volt e do ohm, respectivamente a partir dos efeitos Josephson e Hall Quântico, os quais relacionam as respectivas unidades às constantes Josephson  $K_J$  e Von Klitzing  $R_H$  que por sua vez dependem de constantes fundamentais como carga elementar  $e$  a constante de Planck  $h$ , a equação (1) [18].

$$K_J = 2 \frac{e}{h} \quad R_H = \frac{h}{e^2} \quad (1).$$

No SI o ampere é a unidade de base para grandezas elétricas e no início dos anos 90 era realizado no melhor caso com incertezas relativas da orde de  $4 \times 10^{-7}$  [19] (mesmo hoje a melhor realização no SI é de  $2 \times 10^{-8}$  [20]) e as constantes Josephson  $K_J$  e Von Klitzing  $R_H$  e as correspondentes medições de voltagem e resistência a partir dos efeitos Josephson e Hall Quântico podiam ser executadas no SI respectivamente com incertezas relativas de  $4 \times 10^{-7}$  e  $2 \times 10^{-7}$ . No entanto, as

reprodutibilidades das representações (realização sem rastreabilidade as definições de unidades do SI) do volt e do ohm por padrões Josephson e Hall Quântico eram nesta época da ordem respectivamente de  $5 \times 10^{-9}$  e  $2 \times 10^{-8}$ , quando as constantes eram consideradas fixas, portanto, sem considerar incerteza proveniente da rastreabilidade no SI [20-21]. A fim de aproveitar estas melhores reprodutividades, que permitiriam representar também o ampere com maior exatidão, o CIPM recomendou a implementação de constantes elétricas convencionais (fixadas fora do SI) para representar o volt e o ohm, respectivamente, a partir dos efeitos de Josephson e Hall Quântico devido à sua melhor reprodutibilidade do que qualquer realização experimental a partir da definição do ampere [23]. Os valores convencionais escolhidos para fixar as constantes, respectivamente  $K_{J-90} = 483\,597,9$  GHz/V e  $R_{H-90} = 25\,812,807 \, \Omega$  foram baseados em determinações experimentais das constantes no SI [24].

A representação de unidades elétricas do SI por unidades convencionais não acarreta em qualquer perda de confiabilidade para medições que estejam baseadas nestas unidades, portanto suas definições não são um problema para as áreas de metrologia elétrica técnica, entretanto é um problema da área de metrologia elétrica conceitual, parte da metrologia que desenvolve e mantém os conceitos que suportam o SI garantindo assim que o sistema de unidades seja consistente e coerente.

Um problema no SI ocorreria apenas se fosse possível realizar outras unidades de grandezas de outra natureza a partir das unidades elétricas convencionais, o que implicaria, devido a relação entre as unidades de base depender de constantes fundamentais (figura 2 [25]), em fixar outras constantes e, se isso ocorresse, um crescimento de unidades convencionais poderia colocar sob questão a estrutura do SI o qual para chegar ao

nível de desenvolvimento atual demandou muito trabalho [26].

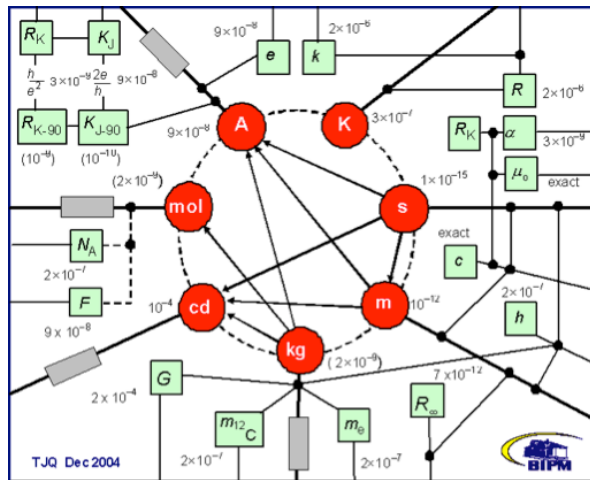


Figura 2 Relacionamento entre as unidades de base do SI e constantes fundamentais [25].

Outros fatores conceituais dizem respeito ao que se espera do desenvolvimento tecnológico futuro para a metrologia elétrica com o uso mais amplo de padrões elétricos de mais alta exatidão fora dos Institutos Nacionais de Metrologia (INMs) para prover rastreabilidade a equipamentos que requeiram maior exatidão de calibração e o consequente aumento por parte dos usuários de serviços de maior especialização por parte dos INMs [27]. Ainda, como foi mencionado é uma hipótese que as constantes Josephson e Von Klitzing sejam definidas pela equação (1), como toda teoria física esta hipótese requer comprovação que seria realizada pela medição de uma corrente padrão que seria definida em função da carga elementar [28].

Todos estes problemas de origem conceitual da metrologia elétrica nos anos 90 levaram a consideração sobre a necessidade de fixar as constantes Josephson e Von Klitzing no SI.

Para que as constantes Josephson e Von Klitzing sejam fixadas no SI e seja possível aproveitar a reprodutibilidade dos efeitos Josephson e Hall Quântico ligados a definição do ampere é necessário fixar a carga elementar  $e$  a constante de Planck. No entanto, como foi

mencionado na seção 2.1, para fixar constantes fundamentais é necessário que elas definam unidades do SI, que passam a ser realizadas experimentalmente com algum valor de incerteza, portanto para fixar a carga elementar e a constante de Planck duas unidades de medida deveriam ser redefinidas e passariam a ser realizadas com a incerteza das determinações experimentais destas constantes, que nos anos 90 eram em valores relativos da ordem de  $10^{-7}$  [10].

Nesta época, a primeira balança de watt (de agora em diante referida como balança Kibble [29]) desenvolvida pelo National Physical Laboratory (NPL) do Reino Unido, já estava operacional. A balança Kibble utilizada para realização do watt permite determinar a constante de Planck a partir da unidade de massa e, portanto poderia ser utilizada para monitorar a estabilidade da massa do IPK em relação a esta constante fundamental como foi sugerido por Kibble [30] e, em algum momento, poderia também ser utilizada para fixar o valor da constante de Planck e atender as necessidades conceituais da área de metrologia elétrica.

### 2.5 Estabilidade do IPK a partir de constantes fundamentais

Seguindo a sugestão de Kibble, Davis verificou a estabilidade da definição de quilograma contra constantes fundamentais e naturais. Neste momento os experimentos da balança Kibble, do Eletrometro Líquido e de cristalografia por raios-X (XRCD) poderiam ligar o quilograma a, respectivamente, a constante de Planck, a densidade do mercúrio e a constante Avogadro. Assim, os resultados dos primeiros dois experimentos (mais exatos, distanciados no tempo por 30 anos e realizados pelo NPL) foram usados para avaliar a estabilidade do IPK indiretamente por meio do protótipo do NPL. Como resultado, a deriva relativa do IPK foi  $1 \times 10^{-9}$  por ano (1  $\mu$ g em massa) dentro de um limite superior de  $2 \times 10^{-8}$  por ano. Contudo, se o monitoramento fosse realizado apenas pelo

balança Kibble, levaria um período de mais de 10 anos para conhecer a deriva do IPK dentro do mesmo limite superior. Assim, não fazia sentido naquele momento monitorar o IPK quando já se conhecia sua deriva anual em relação às constantes fundamentais [31].

### 3. JUSTIFICATIVA

#### 3.1. A deriva do kilograma determinada a partir da Terceira Verificação Periódica

Durante a terceira verificação periódica dos protótipos nacionais (1989 - 1992), os protótipos nacionais, os padrões de trabalho e de uso especial do BIPM e as seis cópias oficiais, todos feitos em Pt-Ir, foram comparados direta ou indiretamente com o IPK após a limpeza e lavagem (conforme é definida a unidade de massa) [4]. Na figura 3 é mostrada a cadeia de rastreabilidade dos padrões do BIPM.

Protótipo Internacional (IPK)						8
Cópias Oficiais	K1	7	8(41)*	32	43	47
Protótipos para uso especial						25
Protótipos para uso rotineiro						9 31 67

Figura 3 Estrutura hierárquica dos protótipos do BIPM em 1992.

As seis cópias oficiais e o IPK são mantidos, cada um, em uma campânula de vidro tripla e em condições controladas do ar ambiente (sem vácuo), juntos dentro de um cofre. As comparações das seis cópias oficiais evidenciaram uma diminuição na massa do IPK de 50  $\mu\text{g}$  desde o seu estabelecimento um século antes (figura 4 [32]).

Considerando que o IPK e suas cópias são usados apenas para verificações periódicas, que eles são feitos a partir do mesmo material e processo de fabricação, e que o método de lavagem e limpeza do BIPM é altamente reproduzível, foi assumida uma redução anual de massa para o IPK de 0,5  $\mu\text{g}$  ou em termos

relativos  $5 \times 10^{-10}$  e devido a efeitos de interações do ar com a superfície e/ou desgaste [33].

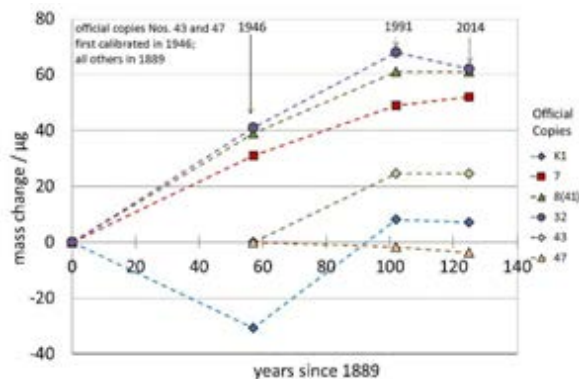


Figura 4 Deriva da massa das seis cópias oficiais do IPK desde 1889. A massa do IPK é o eixo horizontal [32].

#### 3.2. Considerações sobre a deriva do IPK

A frequência de calibração da ordem de 10 anos dos protótipos nacionais contra os padrões de trabalho do BIPM acarretaria em uma deriva máxima na massa dos protótipos nacionais de 5  $\mu\text{g}$ . A fim de contornar este problema o BIPM aumentou a incerteza de calibração dos protótipos nacionais para cerca de 6  $\mu\text{g}$  [34]. Este aumento de incerteza não representou aumento significativo da incerteza na transferência da unidade de massa entre os protótipos nacionais e os padrões de aço-inox dos INMs, visto que o maior componente de incerteza é devido ao efeito de empuxo do ar da ordem de 15  $\mu\text{g}$ . Portanto, o efeito da deriva do IPK não se refletiria sobre a cadeia de rastreabilidade aos INMs.

É importante ressaltar que a deriva de redução anual do IPK obtida a partir de comparações foi estimada assumindo que as cópias oficiais eram estáveis, em unidades de massa, desta forma este deriva é relativa. Enquanto isso, a deriva crescente anual de IPK como obtida por realizações elétricas é tomada em relação às constantes, portanto, diz respeito ao valor

absoluto da unidade de massa e aplica-se tanto ao IPK quanto a suas cópias.

Mesmo não havendo sido constatado impacto sobre a cadeia de rastreabilidade ao IPK oriunda da deriva relativa dos protótipos, as considerações sobre as derivas (relativa e absoluta) do IPK somadas às motivações por definições de unidades SI em termos de constantes fundamentais ou atômicas e ainda ao inconveniente de cunho conceitual de a massa do IPK ser ainda a única definição de unidade não realizada experimentalmente (unidade definida sem incerteza) [35] resultaram na recomendação do Comitê Consultivo de Massa e Grandezas Correlatas CCM G1 (1993) [36] e na resolução 5 da CGPM (1995) [37] que recomenda que os laboratórios prossiguam seus trabalhos com o objetivo de monitorar a estabilidade do protótipo internacional, o primeiro passo para a redefinição de kilograma [38].

#### 4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizada uma breve revisão das considerações e decisões sobre definições das unidades de base do SI baseadas em constantes fundamentais ou atômicas até a década de 90 onde se iniciou o movimento em prol do processo de redefinição do kilograma, com o objetivo de indicar claramente a motivação para este processo. Como pôde ser avaliado a partir das referências, a redefinição do kilograma foi motivada principalmente por necessidades conceituais do SI em redefinir as unidades de base a partir de constantes fundamentais e não pela deriva detectada no IPK, a qual não teve qualquer impacto sobre a cadeia de rastreabilidade da grandeza massa ao longo de mais de um século de uso do IPK como a definição do kilograma .

#### AGRADECIMENTOS

Um dos autores gostaria de agradecer ao Pronametro/Inmetro pelo auxílio financeiro (bolsa) no desenvolvimento deste trabalho.

#### REFERÊNCIAS

- [1] INMETRO 2012 *Sistema Internacional de Unidades SI 1ª Edição Brasileira da 8ª Edição do BIPM*
- [2] CCM 2018 RECOMMENDATION G 1 (2017) For a new definition of the kilogram in 2018 **1**
- [3] Book B 2014 Brand book 1–16
- [4] Girard G 1994 The Third Periodic Verification of National Prototypes of the Kilogram (1988-1992) *Metrologia* **31** 317–36
- [5] Taylor B N and Mohr P J 2001 The role of fundamental constants in the international system of units (SI): Present and future *IEEE Trans. Instrum. Meas.* **50** 563–7
- [6] Quinn T J 1995 Base units of the Système International d'Unités, their accuracy, dissemination and international traceability *Metrologia* **31** 515
- [7] Terrien J 1965 Scientific Metrology on the International Plane and the Bureau International des Poids et Mesures *Metrologia* **1** 15–26
- [8] Inmetro 2012 *Avaliação de dados de medição - Guia para a expressão d e incerteza de medição – GUM 2008 Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement*
- [9] Cohen E R, Taylor B N and Newell D B 2016 CODATA recommended values of the fundamental physical constants: 2014\* *Rev. Mod. Phys.* **88** 1–73
- [10] Mohr P J and Taylor B N 2000 CODATA recommended values of the fundamental physical constants: 1998 *Rev. Mod. Phys.* **72** 351–495
- [11] CCDM 1957 PHOCJ1S-YERiLAUX DES
- [12] CCDM 1973 SESSION DE 1973
- [13] CCDS 1963 SESSION DE 1963

- [14] Davis R S 2001 Mass metrology *Recent Advances in Metrology and Fundamental Constants - Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi"*
- [15] Davis R 2003 The SI unit of mass *Metrologia* **40** 299–305
- [16] Cohen E R 1973 *The 1973 Least-Squares Adjustment of the Fundamental Constants* \*
- [17] Cook A H 1972 Quantum metrology - standards of measurement based on atomic and quantum phenomena *Reports Prog. Phys.* **35** 463
- [18] Petley B W 1995 Electrical Units - the Last Thirty Years *Metrologia* **31** 495
- [19] Kibble B P, Smith R C and Robinson I A 1983 The NPL Moving-Coil Ampere Determination *IEEE Trans. Instrum. Meas.* **32** 141–3
- [20] Stock M 2013 Watt balance experiments for the determination of the Planck constant and the redefinition of the kilogram *Metrologia* **50** R1
- [21] Pöpel R 1992 The Josephson Effect and Voltage Standards *Metrologia* **29** 153
- [22] Hartland A 1992 The Quantum Hall Effect and Resistance Standards *Metrologia* **29** 175–90
- [23] Quinn T J 1989 News from the BIPM *Metrologia* **26** 69–74
- [24] Taylor B N and Witt T J 1989 New International Electrical Reference Standards Based on the Josephson and Quantum Hall Effects *Metrologia* **26** 47–62
- [25] BIPM  
[http://www.bipm.org/en/si/si\\_constants.html](http://www.bipm.org/en/si/si_constants.html)
- [26] Quinn T 2017 From artefacts to atoms - A new SI for 2018 to be based on fundamental constants *Stud. Hist. Philos. Sci. Part A* 1–13
- [27] Petley B W 1993 Some problems in basic metrology *Meas. Tech.* **36** 1184–93
- [28] Zimmerman N M 1998 A primer on electrical units in the Système International *Am. J. Phys.* **66** 324
- [29] CCU 2016 Consultative Committee for Units (CCU) Minutes 2016
- [30] Kibble B P, Robinson L A and Belliss J H Re-defining the kilogram via a moving-coil apparatus *Conference on Precision Electromagnetic Measurements (IEEE)* pp 178–9
- [31] Davis R S 1989 The Stability of the SI Unit of Mass as Determined from Electrical Measurements \* **76** 75–6
- [32] BIPM  
<http://www.bipm.org/en/bipm/mass/ipk/>
- [33] T. Quinn 1991 The kilogram: The present state of our knowledge **40** 81–5
- [34] Gläser M, Borys M, Ratschko D and Schwartz R 2010 Redefinition of the kilogram and the impact on its future dissemination *Metrologia* **47** 419–28
- [35] Kose V and Wöger W 1986 Fundamental Constants and the Units of Physics *Metrologia* **22** 177–85
- [36] CCM 1993 *CCM - Rapport de la 5è session (1993)*
- [37] CGPM 1995 *20e CONFÉRENCE GÉNÉRALE DES POIDS ET MESURES*
- [38] Davis R S and Davis R S 2008 Redefining the Kilogram: How and Why? *MAPAN - J. Metrol. Soc. India* **23** 131–8