
“ 千克 ” 的新定义正式生效！安培、摩尔、开尔文的定义同样改变了

作者：戚译引 来源：科研圈

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/topnews/5218.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

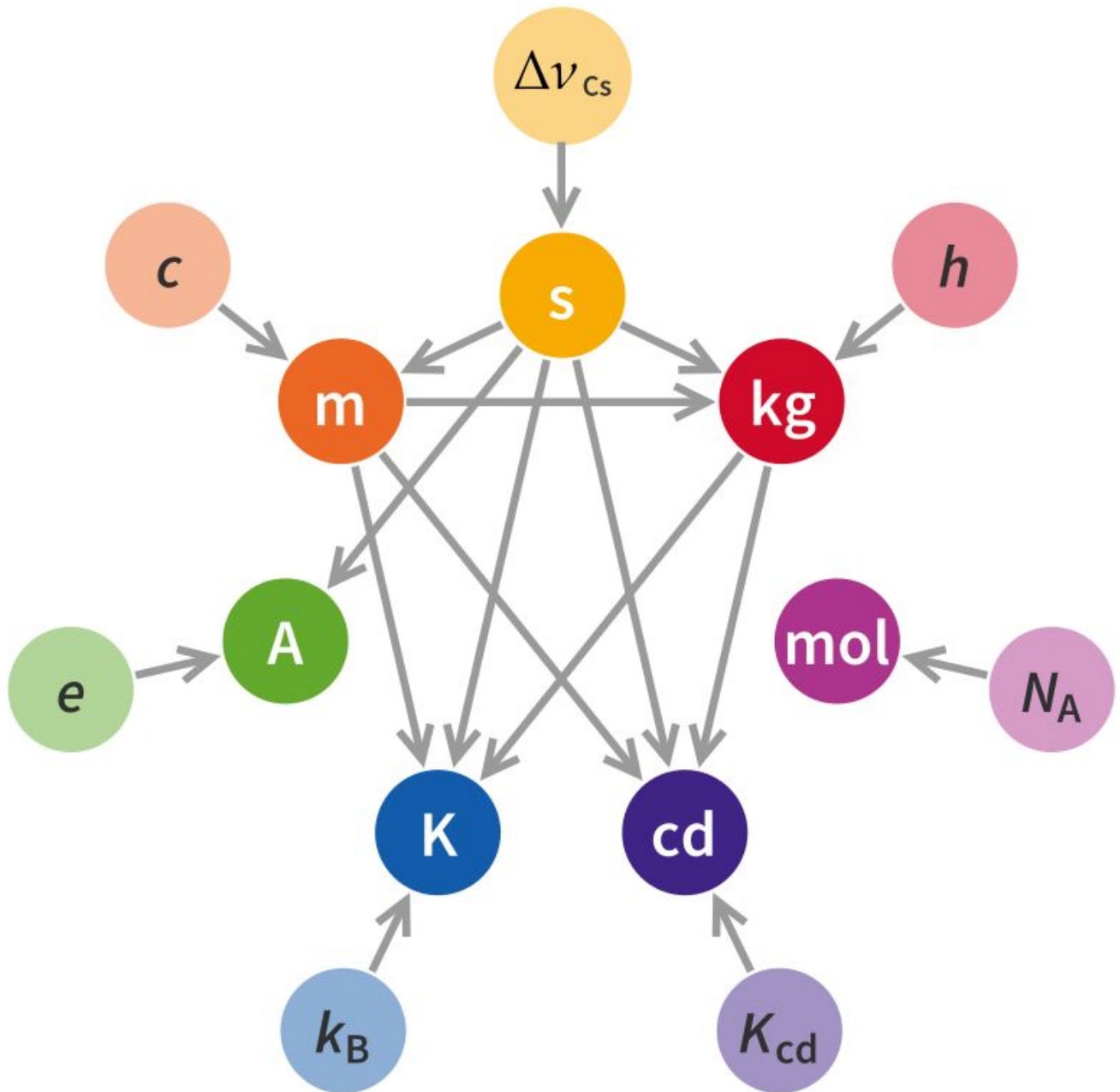
“ 千克 ” 的新定义正式生效！安培、摩尔、开尔文的定义同样改变了。2011 年，第 24 届国际计量大会的 55 名与会代表一致同意，开启重新定义千克的工作，采用普朗克常数来作为基准。7 年后，在第 26 届国际计量大会正式投票决定，改变千克(kg)、安培(A)、开尔文(K)和摩尔(mol)这4个基本单位的定义，新定义将全部采用基本物理常数来定义，分别以普朗克常数(h)、基本电荷(e)、玻尔兹曼常数(k)和阿伏伽德罗常数(N_A)的固定数值来实现。

历经 8 年的讨论与修订，今天，这四个单位的定义正式改变了。

今天是第 20 个国际计量日，主题为“ 国际单位制(SI)—— 根本性飞跃(Fundamentally better) ”。千克、安培、开尔文和摩尔的新定义将从今天开始生效，这是 SI 自从 1960 年以来最大的一次调整。

计量学家们所追求的“ 圣杯 ”，就是一套适用于“ 万世万民 ” 的计量体系。经过这次修订，我们离这个目标又近了一步：各种基本单位的定义不再受限于任何实体，而取决于事物的基本性质和人类技术的测量能力。

New SI



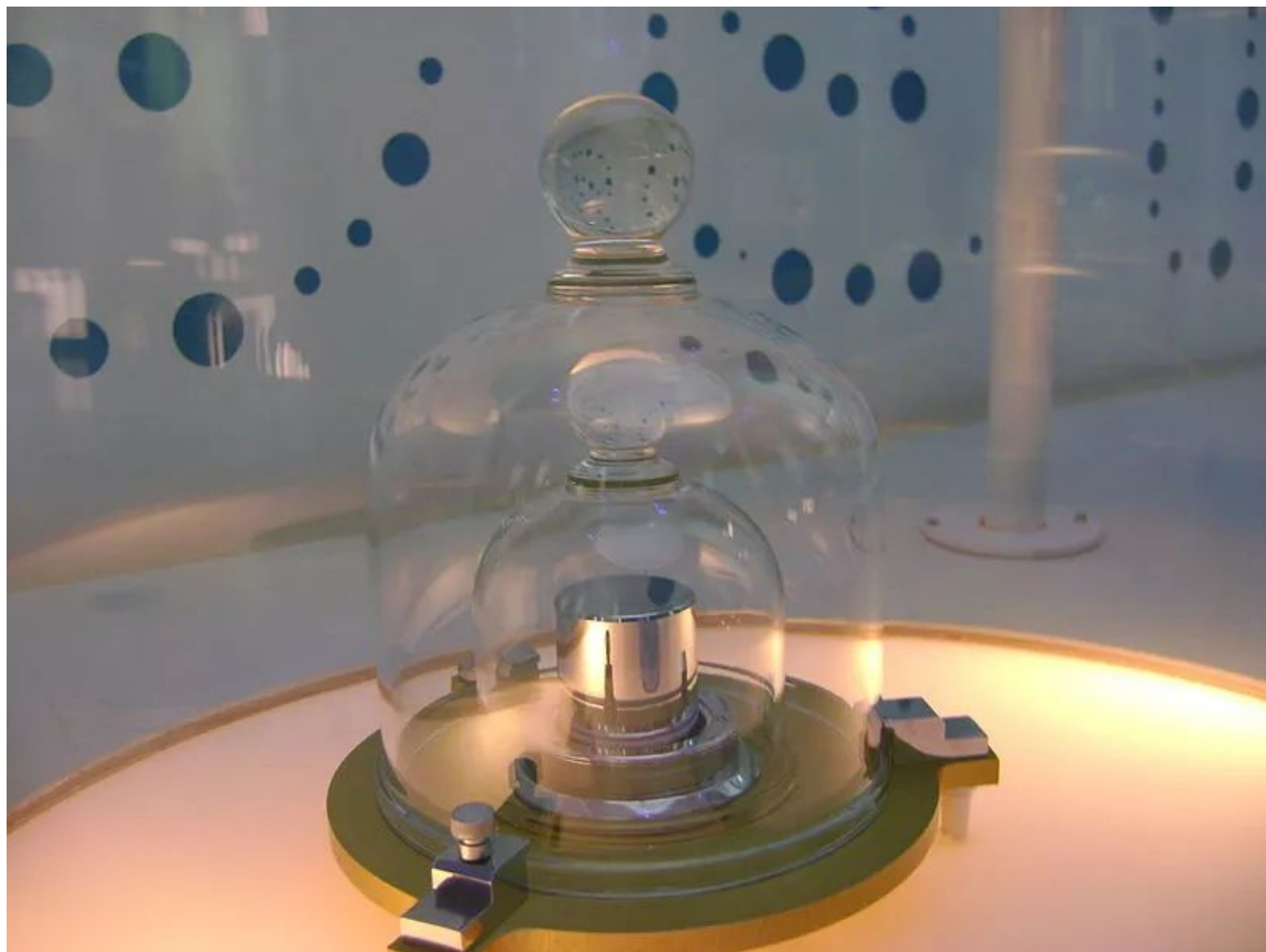
本次更新后 SI 中七个基本单位的关系，以及决定它们的七个基本常数。| 图片来源：Wikipedia

千克

从“大K”到普朗克常数

这一次更新的定义中，最受关注的就是千克的重新定义，它曾经是最后一个依赖于物理实体的测量单位。

千克曾经被定义为国际千克原器“大K”的质量。“大K”是一个铂-铱合金圆柱体，被保存在位于巴黎的国际度量衡局(BIPM)总部。尽管受到严密的保护，“大K”的质量一直在神秘丢失，而千克定义的改变也将波及其他相关定义，甚至一些基本物理常数的值。这些因素都让修改千克定义变得越发迫切。



在法国科学工业城(Cit é des Sciences et de l'Industrie)展出的大 K 复制品。| 图片来源：Wikipedia

新的千克定义以普朗克常数为基准

。普朗克常数反映了一个光子携带的能量与频率之间的关系，光子能量等于频率与普朗克常数的乘积。所以，普朗克常数反映了量子物理中“一份”能量的大小，它决定着量子效应，并在所有尺度、所有环境中对所有的粒子施加同样的影响，这让它成为一个理想的测量标准。

由于普朗克常数的数值极小，测算工作也十分困难。1975年，英国物理学家布莱恩·基布尔(Bryan Kibble)发明了基布尔秤

，将电磁相互作用和引力、宏观尺度与微观尺度巧妙地联系起来，让普朗克常数的精确测算成为可能。又经过了近半个世纪的研究，普朗克常数才被确定。与埃菲尔铁塔同岁的“大K”也可以退休了。

根据新定义：

$$1 \text{ kg} = (h / 6.62607015 \times 10^{-34}) \text{ m}^{-2} \text{ s}$$

代入米和秒的新定义，换算后得到：

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

图片来源：Draft of the ninth SI Brochure, 6 February 2019, BIPM

(公式中的 $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ 为铯原子精细跃迁频率， c 为真空中光速。)

摩尔

新定义你没准已经学过了

摩尔这个单位有些特殊，它的定义更改确实是最近的事情，但是你很可能早就开始使用它的新定义了——1 摩尔物质中含有的基本粒子数量为 $6.022\,140\,76 \times 10^{23}$ ，这个数值就是阿伏伽德罗常数的值。

在官方文件中，自从 1971 年起，1 摩尔被定义为“所含基本微粒个数与 0.012 千克碳 12 的原子数相等的系统中物质的量”。这个旧定义直接取决于千克的定义。

摩尔定义的演变简直就像阿伏伽德罗本人命运的重演：在提出理念与得到承认之间差了许多年。阿米迪奥·阿伏伽德罗(Amedeo Avogadro, 1776 – 1856)最初是一名律师，却对化学有着强烈的兴趣。当时学界对原子、分子的概念还不太了解，然而阿伏伽德罗最先意识到，在温度和压强相同的情况下，体积相同的气体中含有同样数目的粒子。

科学界花了半个世纪才跟上阿伏伽德罗的脚步，在 1900 年确定了“物质的量”这个概念，其单位“摩尔”(mole)来自于德语中“分子”(Molekül)一词的缩写。又过了一个多世纪，科学家才确定了阿伏伽德罗常数的值。这项工作由国际阿伏伽德罗协作组织(International Avogadro Coordination)的科学家们完成，他们借助 X 光计算一个重 1 千克的高纯度硅球中硅 28 原子的数量。当千克的定义被重新确立后，阿伏伽德罗常数的值也就得以确定下来。



用来计算阿伏伽德罗常数的高纯度硅球差不多是这样子。它经历过多次同位素分离，去除天然硅中的硅 29 和硅 30，使硅 28 的纯度最终达到 99.995%。图片来源：NIST

安培

告别“理想实验”

安培(A)的旧定义确立于 1946

年，它依赖一个理想实验：两根无限长、忽略横截面积的导线在真空中相距 1 米平行放置，使真空磁导率(vacuum magnetic permeability, 记作 μ_0)为 $4 \times 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$ 时(其中 N 为力的单位牛顿)，导线中的电流为 1 安培。这样的定义为实验室中的精确测量造成了困难。

新的提案使用基本电荷常数 e 对安培进行定义。当导线中每秒通过的电子数量为 $1/(1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19})$ 的时候，导线中的电流为 1 安培。

开尔文

遇见玻尔兹曼

开尔文是热力学温度的单位，它的旧定义确立于 1967 年，指“水的三相点温度的 $1/273.16$ ”。在三相点温度和特定的压强下，水的气、固、液三态可以共存。

开尔文的新定义将由玻尔兹曼常数导出。玻尔兹曼常数代表了系统的熵(S)与热力学几率(记作或 W)之间的关系，热力学几率越大,即某一宏观态所对应的微观态数目越多，系统内的分子热运动的无序性就越大,熵值越大。具体而言， $S = k \ln W$ (这个公式也被刻在玻尔兹曼的墓碑上)。

根据最新测算结果，玻尔兹曼常数为：

$$k = 1.380\ 649 \times 10^{-23} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ K}^{-1}$$

而开尔文的定义为：

$$1 \text{ K} = \left(\frac{1.380\ 649}{k} \right) \times 10^{-23} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2}$$

经过换算得到：

$$1 \text{ K} = \frac{1.380\ 649 \times 10^{-23}}{(6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34})(9\ 192\ 631\ 770)} \frac{\Delta \nu_{\text{Cs}} h}{k} \approx 2.266\ 6653 \frac{\Delta \nu_{\text{Cs}} h}{k}$$

图片来源：Draft of the ninth SI Brochure, 6 February 2019, BIPM

玻尔兹曼常数将气体分子的平均动能与其绝对温度联系起来。根据新定义，当系统热能的改变为 $1.380\ 649 \times 10^{-23} \text{ J}$ 的时候，温度的变化为 1 开尔文。

重新定义开尔文有利于提高在极端低温或极端高温下的测量精度。水的三相点温度的数值也将被实验重新测量，得到更加精确的结果。

“万世万民”的测量

在这次修订之前，米、秒和坎德拉就已经使用物理常数定义了。来复习一下：

铯 133 原子基态的两个超精细能级间跃迁对应辐射的 9 192 631 770 个周期的持续时间为 1 秒；

真空中的光在 1/299 792 458 秒内所传播的距离为 1 米；

若一频率为 540×10^{12} 赫兹的单色辐射光源，在某方向上的辐射强度为 1/683 瓦特每球面度，则在此方向上的发光强度为 1 坎德拉。

坎德拉

(candela)是发光强度单位，这个词来自于拉丁语的“蜡烛”，它最初的定义就是一支普通蜡烛发出的光亮。

坎德拉将人眼对光线的感知和光的物理特性联系在一起

。尽管它的定义中使用了时间单位秒和能量单位瓦特(由千克、米和秒导出)，它仍然是一个基本计量单位。

总的来说，这次更新对日常生活没什么直接影响，但它无疑将促进一些科学领域的发展，就像高精度铯原子钟让我们得以证明广义相对论一样。当然，如果你愿意，你可以联想一下——光是近视体重秤上的数字，你便和量子效应、铯原子和光速发生了联系，这是多么妙不可言的事情。

更多 科研头条 请访问 <https://www.iikx.com/news/topnews/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发