

量和单位丛书

8

徐大刚 编

# 光及有关电磁辐射的量和单位

量出版社

量和单位丛书(8)

# 光及有关电磁辐射 的量 and 单位

徐大刚 编

孙祖宝 麦伟麟 夏学江 审定

计 量 出 版 社

1983·北京

量和单位丛书 (8)

**光及有关电磁辐射的量和单位**

徐大刚 编

孙祖宝 麦伟麟 夏学江 审定

♦♦

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

北京计量印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

♦♦

开本  $787 \times 1092 \frac{1}{32}$  印张  $3 \frac{1}{8}$

字数 69 千字 印数 1—31 000

1983年5月第一版 1983年5月第一次印刷

统一书号 15210·267

定价 0.44 元

## 说 明

为了贯彻 1981 年 7 月 14 日经国务院批准的、由中国国际单位制推行委员会颁布的《中华人民共和国计量单位名称与符号方案(试行)》,“全国量和单位标准化技术委员会”提出了有关量和单位的 15 项国家标准(即 GB 3100, GB 3101 及 GB 3102. 1—13),并已于 1982 年 5 月至 7 月先后经国家标准局批准发布(1983 年 7 月 1 日起实施)。我们现在组织上述国家标准的起草人员编写了这套《量和单位丛书》,供各有关科学研究、文化教育、新闻出版、国防建设、国内外贸易、工农业生产、经济管理 & 政府机关人员使用参考。

对本丛书的意见,请寄北京市邮政 2112 信箱 SI 办公室。

中国国际单位制推行委员会办公室

1982 年 11 月

# 目 录

|                                                                                                            |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 一、国家标准《光及有关电磁辐射的量 and 单位》的<br>性质、范围和制定过程.....                                                              | (1)  |
| 二、编写标准时遵循的原则.....                                                                                          | (2)  |
| 三、标准内容的重点说明.....                                                                                           | (5)  |
| 附录.....                                                                                                    | (33) |
| 附录 1 量的名称对照和单位换算表.....                                                                                     | (33) |
| 附录 2 电磁辐射波谱图.....                                                                                          | (46) |
| 附录 3 CIE 1931 标准色度观察者 (从 $\lambda = 360 - 830\text{nm}$<br>按 $1\text{nm}$ 间隔的光谱三刺激值和 相应的色品坐<br>标) .....    | (47) |
| 附录 4 CIE 1964 补充标准色度观察者 (从 $\lambda = 360 -$<br>$830\text{nm}$ 按 $1\text{nm}$ 间隔的光谱三刺激值和相应的<br>色品坐标) ..... | (71) |

# 一、国家标准《光及有关电磁辐射的 量和单位》的性质、范围和制定过程

## 1. 性 质

本标准是我国关于量和单位的国家标准之一。它在国家标准中的统一编号为 GB 3102.6—82。全套国际单位制的量和单位的国家标准共有15份。这套标准是科学技术中的基础性标准。各项国家标准或部颁标准、各种出版物等，今后都要采纳、贯彻使用。各级生产、建设、科研、管理部门和企业、事业单位都必须贯彻执行”（《国家标准化管理条例》）。

## 2. 范 围

本标准主要规定辐射度量和光度量，也规定了少量的色度量和其它量。总计 33 项 43 条。为了便于了解，可将其分类如下：

(1) 基本量：频率，波长，辐射能，辐射功率，发光强度，光通量。

(2) 常数量：电磁波在真空中的速度，斯忒藩-玻耳兹曼常数，第一辐射常数。第二辐射常数。

(3) 可见光和辐射的联系量：光视效能，最大光谱光视效能，光视效率，光谱光视效率。

(4) 辐射的空间特性量：辐射能密度，辐射能流率，辐射强度，辐射亮度，辐射出射度，辐射照度。

(5) 光度的空间特性量：光照度，光出射度，光亮度。

(6) 时间特性量：曝光量，光量。

(7) 光谱特性量：辐射能密度的光谱密集度，各种光

谱辐射量。

(8) 颜色特性量: CIE 光谱三刺激值, 色度坐标。

(9) 材料特性量: 吸收比, 反射比, 透射比, 发射率, 辐亮度系数, 摩尔吸收系数, 折射率。

从上面列出的量可以看出, 它们不仅涉及到光度学、辐射度学、色度学, 还涉及到材料光学、成象光学及现代光学的其它领域。

此外, 从四个常数量可以知道, GB 3102.6 的频谱或波长范围, 不仅限于可见光, 还包括光学辐射以至其它电磁辐射。但光或可见光是该标准的一个重点。在附录中, 详细列出国际公布的明视觉的光谱光视效率说明了这一点。

本资料的附录给出了包括光学波段在内的整个电磁波谱图。

### 3. 制定过程

本标准是由全国量和单位标准化技术委员会的第三分委员会提出的。该分委员会由 11 名委员组成, 于 1981 年 5 月在北京成立。他们根据全国量和单位标准化技术委员会总的要求和精神, 确定编写原则, 拟出 GB 3102.6—82《光及有关电磁辐射的量 and 单位》的标准草案, 于 10 月寄发给全国各地有关专家和同行中征求意见。总共发送 115 份征求意见稿, 收到 112 条成文的意见, 在充分考虑各方意见和遵守编写原则的基础上, 修改草案, 完成报批稿。最后于 1982 年 4 月由全国量和单位标准化技术委员会审查通过。

## 二、编写标准时遵循的原则

### 1. 本标准的依据

本标准以《中华人民共和国计量单位名称与符号方案

(试行)》(以下简称《方案》)为依据。

“贯彻国家有关法令和法规”是编写标准时的基本要求之一,《方案》是国务院批准,于1981年向全国颁布的具有法令和法规性质的文件。它是根据国务院1977年颁发的《中华人民共和国计量管理条例(试行)》中“我国的基本计量制度是米制,逐步采用国际单位制”的规定,以国际单位制为基础,结合我国实际情况制定的。该文件包含光及有关电磁辐射在国际单位制中的量、基本单位、导出单位、符号等,总计12个,如发光强度,频率和波数,能和功率,光通量和光照度,光亮度,辐射照度,辐射强度和辐射亮度,能量密度等。本标准将方案中这些量的单位、符号、定义的全部内容完全列入。但它所包括的学科范围更广一些,内容更详细和具体。

## 2. 本标准主要参照 ISO 31/6—1980 国际标准

目前,世界各国都在“向国际标准靠拢”。ISO 是国际标准化组织(The International organization for standardization)的简称,我国已参加了ISO,应当采用ISO标准。我国在《条例》中规定“对国际上通用的标准和国外先进标准,要认真研究,积极采用”。国际标准化组织制订的国际标准《光及有关电磁辐射的量和单位》,初版发行于1973年,新版发表于1980年底,该国际标准得到美、苏、英、法、西德、加拿大、日本等32个国家的赞同。国家标准 GB 3102.6—82 等效采用了国际标准 ISO 31/6,二者在项目、符号和格式上完全一致。国家标准主要就量和单位的中文名称给予定名,对其定义的中文表述作了适当推敲,对有关部分作了少量增删,使国家标准既能贯穿国际标准的基本原则和内容,又能符合我国的国情和习惯。本标准今后再版时,将增加国内需要的其它的量和单位。

### 3. 标准力求与国家标准(GB1434—78)《物理量符号》一致

遵照“编写国家标准……应与现行上级、同级有关标准协调一致”的原则(GB 1.1—81), 本标准的量的名称参照了1978年公布的国家标准《物理量符号》, 二者量的名称和符号是基本协调一致的, 但也有少量不同。因为, 国家标准GB 1434—78仅包含22项28条, 比本标准少11项15条。在已颁布的国际标准ISO 31/6—1980和国家标准GB 1434—78之间, 发生矛盾和差异时, 本标准主要遵循前者, 因为它新一些, 齐全一些, 反映了目前国际上在这一领域的动向。因而, GB 3102.6—82未列入GB 1434—78中原有的色散系数和散射系数。国际标准ISO 31/6的1973和1980年两个版本, 都没有这两个量。它们和已列入的量相比, 实际使用要少一些。

### 4. 关于新出现的量

对国际标准中新近出现的量, 本标准将其酌译为中文, 并附英文原名。

在ISO 31/6—1980年版本中, 出现三个新的量的名称, 即6-4.1项的“repetency”、6-4.2的“circular repetency”和6-10.1的“radiant energy fluence rate”。前两项是和“wave number”、“circular wave number”并列的, 参照英文原词的意义, 将它们分别定名, 译为波率和圆波率。至于第三个新词, 则译为辐射能流率。在本标准中, 上述三个新词的英文原名, 都附注于该量出现的相应页的底部, 以便读者参考。

### 5. 本标准力求准确、简明, 兼顾习惯

在本标准中, 一个物理量只有一个概念和定义。同时对于大多数物理量, 力求做到一个物理量只有一个名称, 一个符号。但是考虑到国际标准的原本, 我国目前的实际情况和

人们的习惯，本标准也同时并列了一些量的名称和符号。统一或择优确定单一的名称和符号，需要有一个时间和过程，还要防止来回变动，以免降低国家标准的严肃性。需要指出，带圆括号的量的名称是允许使用的。不过，它和不带圆括号的名称不是处于并列地位。本标准推荐使用后者（不带圆括号的）这是为了促进物理量的术语名称早日标准化、单一化。

### 三、标准内容的重点说明

“标准是对标准化对象的某些特征的统一规定”，至于统一规定本身的来由、意义以及某些折衷情况是不便直接写入标准以内的。因此，有必要通过这个材料择要地加以说明。为了便于大家对照使用，现按本标准的顺序，择要地将内容介绍于下：

#### 1. 主要内容

本标准的主要内容是它所列出的表格及引言。附录A是标准的参考件。

本标准的表格是给出量的名称、符号、定义，单位的名称、国际符号、定义和换算系数。大多数情况下，给出了量的“定义”，它是一种区别性质的定义，简捷说明性质的定义，它从概念上描述表格中的相应物理量。列出这些定义只是为了鉴别。因此，它有定义的性质，但并不完整。使用时，可以补充说明或按情况有所变化。对基本量和其它一些代表日常生活基本概念的量，没有给出定义。单位的名称按《中华人民共和国计量单位名称与符号方案（试行）》规定。单位定义是确切的定义。本标准给出了所述量应该使用的SI单位及其名称。为演算和书写方便，可使用表示单位的

10 进倍数或分数的词头。国际单位制中, SI 词头共有 16 个 ( $10^{-18} - 10^{18}$ )。词头的符号一律使用国际符号。在词头和单位符号之间注意不要留间隔。不应使用复合词头, 例如, 应该写 nm (纳米) 来代替 m $\mu$ m (毫微米) (参阅 GB 3100—82)。

## 2. 作为波长函数的光辐射量的描述

### (1) 波长的一般函数

本标准中定义的光辐射量的数值, 大多是随波长而变化的。若某量是波长 (或频率或波数) 的函数, 则在该量的名称前面冠以形容词“光谱 (的)”, 在该量的符号后面尾以带圆括号的  $\lambda$ 。例如, 作为波长函数的发射率, 称作光谱发射率, 其符号写作  $\varepsilon(\lambda)$ ; 若强调它是频率或波数的函数, 则将符号写作  $\varepsilon(f)$  或  $\varepsilon(\sigma)$ 。

### (2) 光谱密集度

若  $A$  量是波长的函数, 而  $B$  量具有  $A$  量除以波长的单位, 则称呼  $B$  量是  $A$  量的光谱密集度。在  $A$  量的符号右下方附以小写的  $\lambda$ , 便构成代表  $B$  量的符号。比如  $A$  量是辐射能密度, 它的符号是  $W$ , 那么,  $W_\lambda$  便代表辐射能的光谱密集度。辐射能密度的单位是  $\text{J}/\text{m}^3$  (焦耳每立方米), 辐射能密度的光谱密集度的单位便是

$$\frac{\text{J}/\text{m}^3}{\text{m}} = \text{J}/\text{m}^4 \text{ (焦耳每四次方米)}$$

在标准中, 从辐射通量到辐射照度和发光强度到光照度的 13 个量, 在它们的备注栏中, 均有各自的光谱密集度

$$\text{辐射功率 } \phi = \int \phi_\lambda d\lambda$$

$$\text{辐射强度 } I = \int I_\lambda d\lambda$$

$$\text{辐射亮度 } L = \int L_{\lambda} d\lambda$$

$$\text{辐射出射度 } M = \int M_{\lambda} d\lambda$$

$$\text{辐射照度 } E = \int E_{\lambda} d\lambda$$

$$\text{光量 } Q = \int Q_{\lambda} d\lambda$$

.....

由此可见，这些量都可通过它们各自的光谱密集度对波长进行积分而求得。为简便起见，“光谱密集度”可用形容词“光谱（的）”代替。例如，“辐射通量的光谱密集度”可以叫作“光谱辐射通量”。应当注意形容词“光谱（的）”也用来单纯地代表某一个量是波长的函数，它们之间的区别易于从变量 $\lambda$ 在符号中的部位或是否带有圆括号看出。

### 3. 频率

频率 $f$ 是本标准的第一个量。它定义为“周数除以时间”。我们可以把它解释为单位时间内的次数或周数。如果我们先定义周期( $T$ )，并用它来定义频率，则可表示为，频率 $f = 1/T$ （见GB 3102.5和GB 3102.7—82）。由于光波在不同介质内传播时的频率都保持不变，与之相反，光波的波长却随介质的折射率不同而发生变化，因此，近年来，频率这一物理量越来越受到人们的重视。

### 4. 圆频率，角频率

角频率在ISO 31/6—1980版本中是没有的，但这个量的名称在电学和声学的相应标准中，都和同一量的名称圆频率同时列出。考虑到GB 3102的各个标准之间的协调一致，而在ISO 31/6—1973版本中也有角频率这个名称，同时照顾照明工程使用角频率的习惯，因此本标准也将其列入。不过，

今后应优先使用圆频率的名称。

## 5. 波长

本标准关于波长的单位是米和埃。目前，光谱测量中常用纳米 (nm) 作为单位，n 是国际单位制中的分数词头，它代表  $10^{-9}$ 。关于波长各单位之间的关系，也可参阅本资料附录 1 中的波长单位换算表。

## 6. 波数，波率；圆波数，圆波率

前面已经提到，波率和圆波率是国际标准中新近出现的名称，它们和波数、圆波数是并列使用的。

请注意，波率 (repetency) 和频率 (frequency) 的词尾相同。实际上，前者也含有频率的意思。然而，它是从空间意义上而不是从时间意义上反映这一物理概念的。显然，它是与近代光学的“空间频率”概念相联系的。

用符号  $\kappa$  标示的圆波数，在声学量和单位的标准中 (GB 3102.7—82) 中，也称周波数。

使用中，要注意防止混淆作为波数符号的  $\sigma$  与作为斯忒藩-玻耳兹曼常数符号  $\sigma$ 。由于需要标记的物理量比可使用的符号要多，同时又要照顾人们使用的习惯，因而，有时难免出现“一符双意”的情况。

单位备注栏的倍数单位  $\text{cm}^{-1}$ ，是实际红外光谱学的常用单位。注意，cm 是厘米，其中 c 是 SI 的分数词头，c 表示  $10^{-2}$  的意义。

## 7. 电磁波在真空中的传播速度

在光学波段，“电磁波在真空中的传播速度”，就是光波在真空中的传播速度，或简称真空中的光速。由于本标准的标题是“光及有关电磁辐射的量和单位”。加之，电学和磁学的标准 (GB 3102.5—82) 中有同样的“电磁波在真空中的传播速度”这一物理量和单位，因此在本标准中只保留

这一名称，而不列出其它的名称。ISO 31/6—1980也只有“电磁波在真空中的传播速度”这一名称。该量属于基本量，没有给出定义。

该量的数值  $c = (2.997\,924\,58 \pm 0.000\,000\,012) \times 10^8$  m/s, 取自 CODATA Bulletin 11(1973), 国际计量大会 1975 年推荐使用, CODATA 是 Committee on Data for Science and Technology 的缩写。

需要说明的是, 1982 年 6 月召开的国际米定义咨询委员会会议, 通过了新的米定义的建议。新的米定义将表达如下:

“米是光在  $1/299\,792\,458$  s (秒) 的时间间隔内在真空中运行距离的长度”。

这一新的米定义, 是基于光速不变的原理, 从上述的  $c$  值出发来定义米的。这一定义的  $c$  值不存在不确定度问题。然而, 该建议尚待 1983 年第 17 届国际计量大会批准。

## 8. 辐〔射〕能

“辐〔射〕能”和它的单位名称: “焦〔耳〕”, 都带有方括号“〔 〕”而它的符号  $Q, W, (U, Q_e)$ , 又带有圆括号“( )”, 应当了解和区分国际单位制中这两种不同性质的括号。通常, 方括号“〔 〕”内的字是指在不致产生混淆的场合下可省略的字, 圆括号“( )”内的符号是备用符号。凡属推荐符号都不加圆括号。量的符号右下角的小写  $e$ , 表示该量是辐射量。 $e$  是 energetic (能量的) 第一个字母。

辐能单位的定义是

$$1\text{J} = 1\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2$$

这是用 SI 基本单位表示的式子。

我们可以根据功或能的定义和动力学的基本定律, 导出

上述单位的定义。大家知道，1J（焦耳）是当1N（牛顿）力的作用点在力的方向上移动1m距离时的作用的功。功是力 $F$ 乘以力的方向上的位移 $L$ ，（GB 3102.3—82）量的方程为

$$W = FL$$

而由动力学基本定律知道，力与质量 $m$ 和加速度 $a$ 的量的方程为

$$F = ma$$

所以，总的量的方程表述如下

$$W = maL$$

在米制单位中，功或能的单位是焦耳（J）；质量的单位是千克（kg）；加速度的单位是米每二次方秒（ $\text{m/s}^2$ ），位移的单位是米（m）。代入上式，得到数值方程。

$$\begin{aligned} 1\text{J} &= 1(\text{kg}) \cdot (\text{m/s}^2) \cdot (\text{m}) \\ &= 1\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

### 9. 辐射能流率

辐射能流率（radiant energy fluence rate）是一个新使用的物理量。ISO 31/6—1980版把ISO 31/VI—1973版6—10.1项的辐（射）通量密度（radiant flux density）改为辐射能流率。按照定义，辐射通量面密度是入射到空间一给定点面积上的辐射功率除以该面积（见国际照明工程辞汇05—155项），而本标准的辐射能流率的定义是，入射到空间一给定点小球上的辐射功率除以球的横截面积。所以，二者的概念是不相同的。假定，前者的面积即为小球的横截面积，那么，显然，通过该单位面积的辐射通量总是小于通过同一横截面的小球的辐射通量，因为辐射通量通过后者，却不一定通过前者。因而，辐射能流率总是大于辐射通量密度。例如，在图1中，辐射能从四面八方汇流进入小球。显然，与

oo'截面平行的辐射束是不能到达oo'截面而被其接收的。

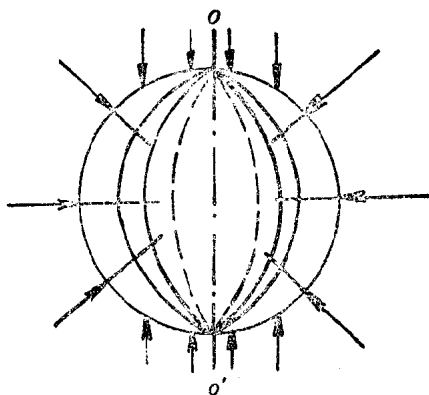


图1 辐射能从四面八方汇流而来

“fluence”系国际放射单位与测量委员会于1962年提出的一个新术语。人们在光辐射领域引进这一术语是为了描述光辐射与物质的作用。例如在激光核裂变和光化学的实验中，光辐射往往是从四面八方射向靶丸或目标物，总的效应取决于总的能流率。它和辐照度的单位相同，但概念不同。人们关心的，是注入单位截面积球体内的通量。所以在电离辐射测量领域，把“fluence rate”称为注量率，或许叫汇流率更为贴切。

还应当补充说明的是，在这一量的概念中，辐射的接受者是“体元”，而不是“面元”。比如，上面提到的激光核聚变就是将激光集射到小球上。因此，在均匀平行的辐射场中，这一接收体不论处于何种位置，它的“能流率”都是一样的（见图2）。如果用通量密度，接收面法线与辐射方向一致时得到最大值，而与辐射方向垂直时等于零。就是说，通量密度与接收方向有关，而能流率则与方向无关。如果是

在另一种如图 3 所示的辐射场, 则小球处的能流率最大, 能集中最多的能流, 有如透镜焦点处的情况。

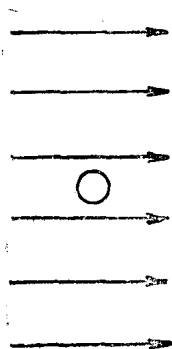


图2 在均匀平行的辐射场

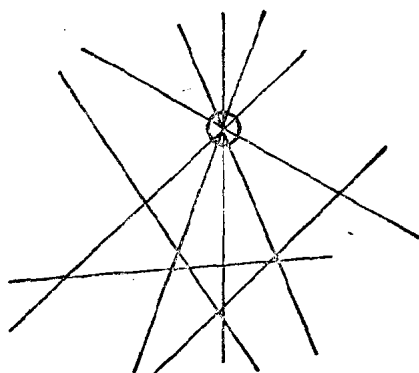


图3 在交叉的辐射场

由此可见, 该辐射量颇具特色, 它是为描述现代光辐射科学技术中的客观物理现象而引入的。

## 10. 辐射强度

光及有关电磁辐射是在一定的空间内传播并受其制约和影响的。所以, 不少的光辐射量都与某个空间量有关。辐射强度这个量就是一例。它定义为单位立体角元离开点辐射源的辐射功率。它的单位是瓦特每球面度。球面度是立体角的单位。一个锥体的立体角被定义为球面(球心位于锥体的顶点)上截取的面积与以球半径为边所形成的正方形的面积之比。按此定义, 立体角是一个无量纲量(GB 3101—82)。国际计量大会曾把 SI 单位的球面度定为“辅助单位”, 可任意将它们当作基本单位或导出单位, 因此立体角可当作基本量或导出量。然而, 在 1980 年 10 月, 国际计量委员会决定把它解释为无量纲导出单位, 不过允许在单位表示式中保留