

国际辐射单位与测量委员会第 19、25 号报告

辐射量和单位

原子能出版社

辐 射 量 和 单 位

〔国际辐射单位与测量委员会第19、25号报告〕

于耀明 姬婉华 译

果 行 校

原 子 能 出 版 社

内容简介

本书包括了国际辐射单位与测量委员会(ICRU)第19号报告《辐射量和单位》、第19号报告的补编《剂量当量》、ICRU第25号报告《剂量当量测定中的基本概念》和果行同志的文章《若干辐射量和单位的沿革》以及关于剂量当量的两篇译文《剂量当量》、《国际辐射单位与测量委员会所定义的“指数量”》。第一篇资料给物理辐射量和辐射防护中使用的量规定了更为严格的定义并引入了一些新的量。第二篇资料是对第一篇资料中的“剂量当量”的补充说明。第三篇资料进一步阐明了实际测定剂量当量中的一些基本概念。第四篇文章介绍了辐射量和单位历次改变的情况以及同一名称在不同时期的不同含义;文章还介绍了国际计量委员会第十五届计量大会上决定采用的放射性强度的国际制单位“贝柯勒尔”和吸收剂量的国际制单位“戈瑞”;列出了几个辐射量的新旧单位的关系。最后两篇译文是文章作者对“剂量当量”、“吸收剂量指数”和“剂量当量指数”所作的解释。

本书可供辐射防护的专业人员,放射生物、放射医学研究人员,大专院校有关专业师生及其他有关人员参考。

辐射量和单位

〔国际辐射单位与测量委员会第19、25号报告〕

于耀明 姬婉华 译

果 行 校

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092 1/32·印张3 1/8·字数 71 千字

1979 年 6 月北京第一版·1979 年 6 月北京第一次印刷

印数001—8000 · 定价: 0.42元

统一书号: 15175·157

26101

目 录

辐射量和单位 (ICRU第19号报告).....	(1)
--------------------------	-------

引 言	(1)
-----------	-------

第一部分 基本量和单位

一、关于物理辐射量的细节的探讨	(3)
-----------------------	-------

1. 随机量和非随机量	(3)
-------------------	-------

2. 谱和平均值	(5)
----------------	-------

二、定 义	(6)
-------------	-------

第二部分 辐射防护中使用的量和单位

一、概 述	(23)
-------------	--------

二、剂量当量	(23)
--------------	--------

三、周围辐射水平的表述方式	(25)
---------------------	--------

附录一 国际辐射单位与测量委员会 (ICRU)

简介	(31)
----------	--------

附录二 国际辐射单位与测量委员会 (ICRU)

历次报告一览表	(32)
---------------	--------

附录三 英汉名词对照表 (35) |

剂量当量 (ICRU第19号报告补编).....	(38)
--------------------------	--------

剂量当量测定中的基本概念 (ICRU第25号报告)	(43)
---------------------------	--------

1. 引 言	(43)
--------------	--------

2. 剂量当量	(46)
---------------	--------

2.1 剂量当量的概念	(46)
-------------------	--------

2.2 剂量当量的有关数值	(47)
3. 各种辐射量及其相互关系	(50)
4. 指数量及其使用	(51)
4.1 指数量的概念	(51)
4.2 指数量的应用	(53)
5. 剂量当量指数的测定	(55)
附录 A 辐射量的序次	(58)
附录 B 对吸收剂量的说明	(65)
附录 C 入射辐射的角分布效应	(68)
译后记	(71)

* * *

若干辐射量和单位的沿革	(74)
剂量当量	(84)
国际辐射单位与测量委员会 所定义的“指数量”	(91)

辐 射 量 和 单 位

〔 国际辐射单位与测量委员会 (ICRU) 第
19 号报告 〕

(1971 年发表)

引 言

本报告用以替换国际辐射单位与测量委员会 (ICRU) 第 11 号报告。主要的变动是:

(a) 引入了一些新的量,尤其是在微剂量学和辐射防护领域内;

(b) 给予各个量以更为严密的定义,因而定义的形式稍有更改,但并未改变它们的含义和适用范围。

表 1 和表 2 列出了所定义的量。

本委员会认识到,这里所定义的某些术语还与其他科学领域有关,而且在别处也早已有了各式各样的定义。在将来的某一个时候,假如同其他有关的科学团体的代表进行讨论,能就共同的定义和符号取得一致的意见,那末,这里所给出的任何一个量的定义的精确措词,甚至这个量的名称和符号,都可能会有所改变。虽然现在的定义表现了某种程度的折衷,但是可以相信这些定义能够满足辐射测量领域的需要。

本委员会认为概念和量的定义是根本问题,而单位的选取则是次要的。如果对于所考察的量给予明晰的表述,就能很好地避免含糊不清。这里推荐的单位制是国际单位制 (SI)。

然而,在这个领域内,如同在其他领域一样,也存在着一些专用单位。举例来说,根据惯例,赫兹只用于度量时间性频率,而居里只用于度量一定量核素的放射性。虽然这两个量有着相同的量纲,可是我们决不以赫兹为单位来量度放射性,也决不以居里为单位来量度时间性频率。

本委员会认为,除了继续承认现存的这些专用单位外,不希望在辐射剂量学领域内建立另外的专用单位,建议对这些专用单位的使用作如下的限制:

拉德——用于比能、吸收剂量、吸收剂量指数和比释动能;

伦琴——用于照射量;

居里——用于放射性;

雷姆——用于剂量当量和剂量当量指数。

本委员会意识到有必要对辐射防护用的量和单位做系统的阐述。它还注意到对这方面的看法很不统一。不过,意见的分歧在实质上只是涉及这些量的概念和解释,而在如何确定和应用有关的那些量方面,一般的意见都是一致的。因为强调的只是这些量的运用,所以本委员会决定提供一些从实用角度考虑的定义。例如,尽管剂量当量这个量的性质在很大程度上还没有详细地加以阐述,但是从有效的应用方面来说,它的定义还是足够明确的。正因为这种处理方法与本报告在定义大多数的量的时候所采用的方法有很大不同,所以有关辐射防护的建议便单独编入本报告的第二部分。在这第二部分中还引进了两个新的量和有关的解释性资料。

第 一 部 分

基 本 量 和 单 位

一、关于物理辐射量的细节的探讨

1. 随机量和非随机量

由于辐射以及它们同物质的相互作用具有不连续的单个的性质，所以某些辐射量只能用统计学术语来描述。对于此种描述方式，此处要略为仔细地加以分析，以便为随后推荐的定义体系打下基础。不过，就第二节所给定义的实际使用来说，研究这些分析并非是不必要的。

统计涨落在物理学中是经常遇到的，而在辐射的场合下这种涨落可以达到极大的程度。因为在任一情况下辐射所起的作用是由某些量的实在值确定，而不是取决于这些量的平均值(即期望值)，所以需要对其实在值予以特别的注意。因此，除了非随机量以外，有必要考虑随机量。这两类量之间的差别以及它们之间的关系最好举例来说明。

授与能量 ϵ (参阅定义 5) 是遵从随机涨落的。如果被研究的体积较小或带电粒子的注量较低，则此种随机涨落便很大。随机量比能 z (参阅定义 7) 是授与能量 ϵ 除以该体积内包含的质量 m 而得的商，这一随机量比能 z 可以和非随机量吸收剂量 D (参阅定义 8) 偏离很大。重复测定 z ，就可得到一种实验分布。这是 z 的几率分布的一种估计。同样， z 的实验平均值是期望值 $\bar{z}$ 的一种估计，当质量趋于零时 $\bar{z}$ 的极

限就等于 D 。

因而，比能 z 是一个具有下列特性的随机量：

1) 它只是在有限域内才有定义。它的值在空间和时间上的改变是不连续的，所以人们无法谈论它的改变率。

2) 它的值不能预示。然而，任一特定值的几率可由几率分布来确定。

3) 原则上，可以以任意小的误差来测定它的值。

如同其他非随机量一样，吸收剂量 D 具有下述特性：

a. 一般地说，它是空间与时间的连续可微函数，因此，人们可以论述它的梯度和改变率。

b. 对于给定的条件，原则上可以算出它的值。

c. 可以按照相应的随机量的平均观测值来估算它。就空间不均匀的辐射场而论，我们必须对无限小质量求出这一平均值的极限。通常实验误差大于这里所考虑的统计变化，但是后者总是存在的。

上述考虑用以取代国际辐射单位与测量委员会(ICRU)第11号报告中题为“极限方法”的那一节。随机量概念的引入使得吸收剂量的定义更为严格了。本报告中只定义了三个随机量 e ， z 和 y (关于 y ，请参阅定义23)，而其余的量都是非随机量。在国际辐射单位与测量委员会(ICRU)第11号报告中，在定义时使用了差商，现在与该报告采用的办法不同，凡是点函数的非随机量的定义都以微分形式来表达。

按照物理学中的习惯，不言而喻，微商的宗量总是非随机量。举例来说，假如微商 $\frac{dN}{da}$ 称之为“ dN 除以 da 而得的商，其中 dN 为进入截面积为 da 的球体内的粒子数”，那末就应当把 dN 理解为粒子数的期望值 N 的微分。对这种期望值的

特征的详细分析要根据相应的随机量及其几率分布来考虑。但是，在不少应用中，可以抛开这些考虑，无需涉及随机涨落，也能充分理解所有非随机量的定义。

2. 谱和平均值

下文将定义一些量，用来表征辐射场及其同物质的相互作用。其中有许多量在实际工作中是用于具有能量分布的辐射的。在这种情形下，能够定义出一个量对另一个量的分布*。例如，注量 Φ （参阅定义10）是进入无限小体积的球体内的诸能量的粒子数除以该球体的截面积而得的商。总和分布 $\Phi(E)$ ，是能量在零和 E 之间的粒子所构成的那部分注量。注量对粒子能量 E 的微分分布 Φ_E 是 $\Phi(E)$ 对 E 的导数：

$$\Phi_E = \frac{d\Phi(E)}{dE}$$

这一微分分布对于从零至 ∞ 范围内的所有的粒子能量的积分便是注量 Φ ：

$$\Phi = \Phi(\infty) = \int_0^{\infty} \Phi_E dE$$

独立变量不一定非用能量不可；例如，我们可以指定吸收剂量对传能线密度的谱分布。

在本报告中， $\Phi(E)$ 型的谱分布命名为积分分布或总和分布，而 Φ_E 型的谱分布命名为微分分布。因为某一个量对另

* 在本报告中，在两种意义上使用术语“分布”一词：(a)用以表示谱分布，如同在本节中那样；(b)用以表示几率分布。在本报告中，所有的几率分布都假定是归一化了的，这和谱分布不同；为了区别这两类分布，我们还使用了不同的符号。此外，为了明确表示所涉及的是几率分布，我们使用了专门的数学术语“几率密度”与“分布函数”，来分别代替常用的术语“(微分)分布”与“总和(或积分)分布”。后面两个术语保留下来作为区分不同类型的谱分布之用。

一个量的微分分布的量纲等于两个量之商的量纲，所以 $\Phi(E)$ 的量纲和 Φ_E 的量纲有所不同。

相互作用系数例如阻止本领 S (参阅定义21) 或衰减系数 μ (参阅定义18) 都是粒子能量的函数。对于具有复合能谱的辐射场来说，有时要使用按照相关量的谱分布加权而求得的平均值，如 $\bar{\mu}$ 和 $\bar{S}$ 之类。例如：

$$\bar{\mu} = \frac{\int_0^{\infty} \mu \Phi_E dE}{\int_0^{\infty} \Phi_E dE} = \frac{1}{\Phi} \int_0^{\infty} \mu \Phi_E dE$$

就是 μ 按注量加权的平均值。

二、定 义

本节采用的一般体裁是，先给出每个量的简明定义，然后在定义后附加的解释性注解中指出所用的任何特殊措辞或术语的精确含义。这里只包括对于辐射量和单位的考察有重要关系的那些定义，而没有试图罗列一切可能有关的定义。

至于量的符号，在本节中不再用作足标，如同我们在国际辐射单位与测量委员会(ICRU)第11号报告中所做的那样，从而消除了它同微分分布(参阅第一，2)相混淆的可能性。

1. 直接致电离粒子是那些具有足够大的动能以致能由碰撞产生电离的带电粒子(如电子、质子、 α 粒子等)。

2. 间接致电离粒子是能够释放出直接致电离粒子或引起核变化的非带电粒子(如中子、光子等)。

3. 致电离辐射是由直接或间接致电离粒子组成或由两

者混合组成的任何辐射。

4. **能量沉积事件**是指相关的致电离粒子在被研究的一块物质中的能量沉积。

注：(a) 术语“相关的”一词的意思是指统计依赖性。

(b) 能量沉积事件的实例包括：一个 α 粒子和(或)它的 δ 射线所引起的能量沉积，来自一次电子对的生成过程中的一个或两个电子¹⁾所引起的能量沉积，以及在核蜕变中形成的一个或一个以上的产物所引起的能量沉积等等。

(c) 在一次能量沉积事件中所交给的能量与注量率或吸收剂量率无关。

5. **随机量授与能量 ϵ** 是指致电离辐射授与某一体积中的物质的下列能量：

$$\epsilon = \sum \epsilon_{\lambda} - \sum \epsilon_{\text{出}} + \sum Q$$

式中

$\sum \epsilon_{\lambda}$ = 进入该体积内的一切直接和间接致电离粒子的能量总和(不包括静止能)，

$\sum \epsilon_{\text{出}}$ = 离开该体积的一切直接和间接致电离粒子的能量总和(不包括静止能)，

$\sum Q$ = 在该体积内发生的任何核变化和基本粒子变化所释放出来的总能量，减去这些变化所消耗的总能量。

6. **平均授与能量 $\bar{\epsilon}$** 是授与能量的期望值。

注：有时把 $\bar{\epsilon}$ 叫做该体积中的“积分剂量”。

1) 在这里，原文“电子”(electron)一词是“负电子”(negatron)和正电子(positron)的统称。——译者注

2) 在这个量有可能同热力学量比能相混淆的情况下，使用术语“**比授与能量**”更为适宜。

7. 随机量比能或比授与能量²⁾ z 定义为 ε 除以 m 而得的商, 其中 ε 是由致电离辐射授与某一体积元中的物质的能量, 而 m 为该体积元中的物质的质量, 即:

$$z = \frac{\varepsilon}{m}$$

比能的专用单位是拉德(rad)¹⁾,

$$1 \text{ 拉德} = 10^{-2} \text{ 焦耳} \cdot \text{千克}^{-1}$$

注: (a) 因为 z 是个随机量, 故必须利用几率分布。分布函数 $F(z)$ 的值是由比能 z' 等于或小于 z 的几率给出的:

$$F(z) = P(z' \leq z)$$

几率密度 $f(z)$ 是 $F(z)$ 对 z 的导数:

$$f(z) = \frac{dF(z)}{dz}$$

$f(z)$ 在 $z = 0$ 处(对于不出现能量沉积的几率而言)总包含着一个不连续成分(狄拉克 δ 函数)。

(b) 平均比能 $\bar{z}$ 是个非随机量。

$$\bar{z} = \int_0^{\infty} z f(z) dz$$

(c) 比能可以是一次或一次以上的能量沉积事件造成的。在单次事件中沉积下来的比能的分布函数 $F_1(z)$ 由下述的条件几率给出: 即在出现一次能量沉积事件的情形下沉积的比能 z' 小于或等于 z 的条件几率。即:

$$F(z) = P(z' \leq z | \nu=1)$$

¹⁾ 当拉德(rad)有可能同弧度的记号(rad)相混淆时, 可以用rd作为拉德的记号。

式中

ν 代表能量沉积事件的次数。

几率密度 $f_1(z)$ 是 $F_1(z)$ 对 z 的导数:

$$f_1(z) = \frac{dF_1(z)}{dz}$$

8. 吸收剂量 D 定义为 $d\bar{\epsilon}$ 除以 dm 而得的商, 其中 $d\bar{\epsilon}$ 是由致电离辐射授与某一体积元中的物质的平均能量, 而 dm 是该体积元中的物质的质量, 即:

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$$

吸收剂量的专用单位是拉德 (rad)*,

$$1 \text{ 拉德} = 10^{-2} \text{ 焦耳} \cdot \text{千克}^{-1}$$

注: 吸收剂量是当我们所考察的区域内的质量趋于零时平均比能的极限, 也就是:

$$D = \lim_{m \rightarrow 0} \frac{d\bar{\epsilon}}{m}$$

这个关系式指出了 D 和 z 之间的联系, 它可以当做 D 的又一个定义。

9. 吸收剂量率 $\dot{D}$ 定义为 dD 除以 dt 而得的商, 其中 dD 是时间间隔 dt 内吸收剂量的增量, 即:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

吸收剂量率的专用单位是拉德 (rad) 或者倍数或其分倍数除以适当的时间单位而得的商 (拉德·秒⁻¹、毫拉德·小时⁻¹等)。

* 1975年引进新的单位名称“戈瑞”(gray, 记做Gy)。1戈瑞 = 1焦耳·千克⁻¹ = 100拉德。参阅本书所附《沿革》一文。——校者注。

10. 粒子的注量¹⁾ Φ 定义为 dN 除以 da 而得的商, 其中 dN 是进入截面积为 da 的球体内的粒子数, 即:

$$\Phi = \frac{dN}{da}$$

11. 粒子的通量密度或注量率 φ 定义为 $d\Phi$ 除以 dt 而得的商, 其中 $d\Phi$ 是粒子注量在时间间隔 dt 内的增量, 即:

$$\varphi = \frac{d\Phi}{dt}$$

12. 粒子的能量注量 Ψ 定义为 dE_{Π} 除以 da 而得的商, 其中 dE_{Π} 是进入截面积为 da 的球体内的所有粒子在扣除静止能后的能量总和, 即:

$$\Psi = \frac{dE_{\Pi}}{da}$$

13. 能量通量密度或能量注量率 $\dot{\Psi}$ 定义为 $d\Psi$ 除以 dt 而得的商, 其中 $d\Psi$ 为时间间隔 dt 内能量注量的增量, 即:

$$\dot{\Psi} = \frac{d\Psi}{dt}$$

14. 比释动能^{*} K 定义为 dE_{tr} 除以 dm 而得的商, 其中 dE_{tr} 是在某一体积元的特定物质中由间接致电离粒子释放出来的全部带电粒子的初始动能的总和, 而 dm 为该体积元中的物质的质量, 即:

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

比释动能的专用单位是拉德(rad),

$$1 \text{ 拉德} = 10^{-2} \text{ 焦耳} \cdot \text{千克}^{-1}$$

1) 这个量与中子物理学中常用的量 nvt 相同。

* 原文为 Kerma 是根据 “Kinetic energy released in material (在物质中释出的动能)” 几个单词的第一个字母缩写而成。参阅《译后记》。——译者注

注：(a) dE_{tr} 代表由间接致电离粒子所释放出来的带电粒子的初始动能的总和，所以它也包括这些带电粒子在韧致辐射过程中辐射出来的能量。在该体积元内发生的次级过程所产生的任何带电粒子的能量也包含在内。因此，俄歇电子的能量也是 dE_{tr} 的一部分。

(b) 往往为了方便要说到某一特定物质在自由空间中或在另一种物质内部某一点处的比释动能或比释动能率的值。在这种情况下，它的值是指假如在所研究的那一点上放置少量特定物质时所得到的值。所以，允许这样的提法：“在水模型内某一点 P 处的空气比释动能为……”。

(c) 在实际测定时，所取的质量元应当足够小，使得它的引入不致显著地扰乱间接致电离粒子的场。如果所要测定比释动能的那种介质不同于周围介质，这一条件是很重要的。假如有显著的扰乱，那末必须施加适当的修正。

(d) 只要指出所有有关各点处的能量通量密度（能量注量率），便能够对辐射场作出基本的物理描述。然而，就剂量学目的而言，用适当的物质中的比释动能率来描述间接致电离粒子的场是更为方便的。对中等能量的电磁辐射来说，这种物质可以是空气；对医学或生物学上应用的一切间接致电离辐射来说，可以是组织；而对辐射效应的研究来说，可以是任何有关材料。

(e) 假如在物质内部在所研究的一点处存在着带电粒子的平衡而且韧致辐射损失可以忽略，那么

比释动能这个量在剂量学中也是一个很有用的量。那时它就等于该点上的吸收剂量。在X或 γ 射线束或中等程度的高能中子的情形下，能够出现带电粒子的准平衡；这时的比释动能通常要比吸收剂量稍微小一些。

15. 比释动能率 $\dot{K}$ 定义为 dK 除以 dt 而得的商，其中 dK 是时间间隔 dt 内比释动能的增量，即：

$$\dot{K} = \frac{dK}{dt}$$

比释动能率的专用单位是拉德或其倍数或其分倍数除以适当的时间单位而得的商（拉德·秒⁻¹、拉德·分⁻¹、毫拉德·小时⁻¹等）。

16. 照射量 X 定义为 dQ 除以 dm 而得的商，其中 dQ 是当光子在质量为 dm 的某一体积元内的空气中释放出来的全部电子（负电子和正电子）被完全阻止于空气中时，在空气中形成的一种符号的离子总电荷的绝对值。即：

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

照射量的专用单位是伦琴（记做R），

$$1 \text{ 伦琴} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ 库仑} \cdot \text{千克}^{-1} \quad (\text{精确值})$$

注：（a） dQ 内并不包括吸收韧致辐射而产生的电离，这一切致辐射是在所研究的体积内释出的次级电子发射出来的。这种差额仅在高能时方为重要，除了这一差额以外，上面定义的照射量就是空气中的比释动能的电离当量。

（b）就现有的技术来说，当光子能量高于几兆电子伏或低于几千电子伏时，测量照射量是很困难