

世界名著

保健物理導論

Herman Cember 著

黃周 淑兆 珍芹 譯

國家科學委員會補助

國立編譯館出版
臺灣中華書局印行

世界名著
保健物理導論

Herman Cember 著

黃周 淑兆 珍芹 譯

國家科學委員會補助

國立編譯館出版
臺灣中華書局印行

中華民國六十四年十二月初版

世界名著
保健物理導論(全一冊)

精裝 基本定價 伍元柒角正
平裝 肆元伍角正

(郵運滙費另加)

Herman Cember

黃淑珍 周兆芹

國立編譯館

國家科學委員會

臺灣中華書局股份有限公司代表

熊鈍 生

臺北市重慶南路一段九十四號

臺灣中華書局印刷廠

臺北市重慶南路一段九十四號

郵政劃撥帳戶：三九四二一號

Chung Hwa Book Company, Ltd.
94, Chungking South Road, Section 1,
Taipei, Taiwan, Republic of China



本書局登 行政院新聞局局版
記證字號 臺業字第捌叁伍號

著者 譯者 譯權所有人 補助機關
發行人 印刷者 發行處

(臺總) 平辛華·精乙華

No. 7586

臺參(實)

保健物理導論

目 錄

第一章 緒 論	1
第二章 物理原理的複習	3
2.1. 力學	3
2.1.1. 單位與因次	3
2.1.2. 功與能	4
2.1.3. 相對性效應	5
2.2. 電	12
2.2.1. 電荷與靜庫侖	12
2.2.2. 電位與靜伏特	14
2.2.3. 電場	19
2.3. 能量的轉移	23
2.3.1. 彈性碰撞	23
2.3.2. 非彈性碰撞	26
2.3.3. 波	27
2.3.4. 電磁波	29
2.4. 量子論	31
2.4.1. 物質波	34
2.4.2. 測不準原理	37
第三章 原子及核子結構	41
3.1. 原子結構	41
3.1.1. 拉塞福 (Rutherford) 的核原子	41
3.1.2. 波耳 (Bohr) 的原子模型	42

2 保健物理導論

3.1.3. 激動及游離	46
3.1.4. 波耳原子模型的修正	47
3.1.5. 元素週期表	49
3.1.6. 特性 X 光	54
3.1.7. 波動力學原子模型	55
3.2. 原子核	56
3.2.1. 中子及核力	56
3.2.2. 同位素	56
3.2.3. 原子量單位	57
3.2.4. 結合能	58
3.2.5. 原子核模型	59
3.2.6. 核穩定	61

第四章 放 射 性

4.1. 放射性及衰變機構	65
4.1.1. α 放射	65
4.1.2. β 放射	69
4.1.3. 正子放射	72
4.1.4. 軌道電子捕獲	73
4.1.5. γ 射線	75
4.1.6. 內轉變	75
4.2. 衰變動力學	76
4.2.1. 半衰期	76
4.2.2. 平均壽命	80
4.3. 居里 (Curie)	82
4.3.1. 放射性比度	83
4.4. 天然發生之放射性	86
4.5. 順序衰變	94

第五章 放射線與物質之交互作用

5.1. 緒 論	107
5.2. β 射線	107
5.2.1. 射程與能量的關係	107
5.2.2. 能量消失機構	112
5.2.2.1. 游離及激動	112
5.2.2.1.1. 游離比度	114
5.2.2.1.2. 線性的能量轉移	116
5.2.2.1.3. 相對質量阻制本領	117
5.2.2.2. 制動輻射	117
5.3. α 射線	119
5.3.1. 射程與能量的關係	119
5.3.2. 能量的轉移	120
5.4. γ 射線	122
5.4.1. 指數吸收	122
5.4.2. 吸收機構	128
5.4.2.1. 成對產生	128
5.4.2.2. 康普吞 (Compton) 散射	129
5.4.2.3. 光電吸收	134
5.4.2.4. 光致蛻變	134
5.4.2.5. 聯合效應	135
5.5. 中子	136
5.5.1. 中子之產生	136
5.5.2. 分類	137
5.5.3. 相互作用	139
5.5.3.1. 散射	140
5.5.3.2. 吸收	143
5.5.3.3. 中子活化	144
第六章 放射線劑量測定術	151
6.1. 單位	151

4 保健物理導論

6.1.1. 吸收劑量：雷得 (Rad)	151
6.1.2. 照射劑量：侖琴 (Roentgen)	151
6.1.3. 照射量測量法：空氣游離腔	153
6.1.4. 照射量測量法：空氣壁腔	154
6.1.5. 雷得 - 侖琴 (Rad-Roentgen) 關係	158
6.1.6. 吸收劑量之測量：布勒格 - 格瑞 (Bragg-Gray) 原理	160
6.2. 源強度： γ 射線發射比度	163
6.3. 存於體內之放射性同位素	165
6.3.1. β 發射源	165
6.3.2. 有效半衰期	166
6.3.3. 總衰變劑量	167
6.3.4. γ 射源	168
6.4. 中子	172

第七章 輻射的生物效應

7.1. 劑量反應的特徵	179
7.1.1. 直接作用	180
7.1.2. 間接作用	181
7.2. 輻射效應	182
7.2.1. 急性效應	182
7.2.1.1. 血液的變化	183
7.2.1.2. 造血系統的徵候群	184
7.2.1.3. 腸胃徵候群	184
7.2.1.4. 中央神經系統的症候群	185
7.2.1.5. 其他急性效應	185
7.2.2. 遲延效應	185
7.2.2.1. 癌	186
7.2.2.2. 白血病	186
7.2.2.3. 骨癌	186
7.2.2.4. 肺癌	187

7.2.2.5. 災害及毒性	188
7.2.2.6. 生命的縮短	192
7.2.2.7. 白內障	192
7.3. 相對生物有效度 (RBE) 及性質因素 (QF)	193
7.4. 劑量等值：命目	194
7.4.1. 高能輻射	195
第八章 輻射防護原則	197
8.1. 設立標準之機構	197
8.1.1. 輻射防護之國際委員會	197
8.1.2. 國際原子能總署	197
8.1.3. 國際勞工組織	197
8.1.4. 輻射單位及測量之國際委員會	198
8.1.5. 輻射防護及測量之國家委員會	198
8.1.6. 聯邦輻射會議	198
8.2. 輻射防護之觀念	199
8.3. 基本輻射安全的準則	201
8.4. 內服貯存的放射性同位數	203
8.4.1. 根據危急器官量計算飲用水中的允許濃度值	214
8.4.2. 飲用水中濃度與鏷之比較	218
8.4.3. 空浮放射性	221
第九章 保健物理儀器使用	233
9.1. 放射線偵檢器	233
9.2. 粒子計數儀器	234
9.2.1. 充氣式粒子計數器	234
9.2.1.1. 游離腔計數器	235
9.2.1.2. 比例計數器	236
9.2.1.3. 蓋氏計數器	238
9.2.1.4. 蓋氏計數器之淬熄	239

6 保健物理導論	239
9.2.2. 鑑別時間	239
9.2.2.1. 鑑別時間之測量	241
9.2.3. 閃爍計數器	241
9.2.3.1. 閃爍光譜計	244
9.2.4. 契忍可夫 (Cerenkov) 探測器	246
9.2.5. 半導體探測器	246
9.3. 測量劑量儀器	248
9.3.1. 袖珍劑量計	249
9.3.2. 膠片佩章	251
9.3.3. 熱發光劑量計	255
9.3.4. 游子電流腔	258
9.4. 中子測量	261
9.4.1. 探測反應	261
9.4.2. 以比例計數器作中子計數	262
9.4.2.1. 長計數器	265
9.4.2.2. 質子回跳計數器	266
9.4.3. 中子劑量測定術	267
9.4.3.1. 快中子：罕斯特 (Hurst) 計數器	267
9.4.3.2. 熱中子及快中子劑量相當量：中子侖目 (rem) 計數器	268
9.5. 校準	270
9.5.1. γ 射線	270
9.5.2. β 射線	272
9.5.3. α 射線	272
9.5.4. 中子	272
9.6. 計數統計	275
9.6.1. 分佈狀態	275
9.6.2. 平均值間之差異	280

第十章 外用輻射之防護 285

10.1. 基本原則	285
------------	-----

10.2. 外用輻射防護的技術	285
10.2.1. 時間	285
10.2.2. 距離	286
10.2.3. 屏蔽	290
10.2.3.1. X射線屏蔽	296
10.2.3.2. β 射線屏蔽	309
10.2.3.3. 中子屏蔽	311
第十一章 體內輻射防護	319
11.1. 體內輻射危害	319
11.2. 控制的原則	319
11.2.1. 能源的控制：局限	320
11.2.2. 環境管理	322
11.2.3. 人的管理：防護衣着	324
11.2.4. 人的管理：呼吸系統的防護	325
11.3. 表面污染限度	326
11.4. 廢料之處理	329
11.4.1. 高放射性比度之液態廢料	330
11.4.2. 中間及低放射性比度之液態廢料	330
11.4.3. 氣浮廢料	332
11.4.3.1. 大氣層的考慮	340
11.4.4. 固態廢料	345
11.5. 災害的評估	348
第十二章 臨界狀態	359
12.1. 臨界災害	359
12.2. 核的分裂	359
12.3. 分裂產物	362
12.4. 臨界狀態	364
12.4.1. 增殖因素：四因素方程式	365

8 保健物理導論

12.5. 核子反應器	371
12.5.1. 反應度及反應器控制	371
12.5.2. 分裂產物清單	374
12.6. 臨界狀態的控制	379

第十三章 防護方法之評價 385

13.1. 醫學用的偵測	385
13.2. 估計體內儲存的放射性	385
13.3. 個人偵察	389
13.4. 輻射及污染偵察	391
13.4.1. 選擇保健物理工具	391
13.4.2. 表面污染	393
13.4.3. 密封能源漏洩的測驗	393
13.5. 空氣抽樣	394
13.5.1. 氣浮微粒	398
13.5.1.1. 濾板	399
13.5.1.2. 靜電沈澱器	401
13.5.1.3. 串級撞擊器	401
13.5.2. 天然氣浮輻射性	404
13.6. 持續環境偵察	406
附表 I 一些有用常數值	413
附表 II 元素表	414
附表 III 標準人	418
英中對照表	425
核能叢書中其他書目	441

第一章 緒 論

通常所稱保健物理或放射線衛生，是環境衛生工程的一部分，其內容涉及防護個人或群眾免於輻射危害有關的事物。保健物理人員，對於操作程序，設備，及使用輻射能源之設施等各項設計之安全性負有責任，期使曝露之人員所接受之輻射量減至最少，並且經常保持在可接受之安全限度內；保健物理人員並需使工作人員及工作環境經常處於監督狀況之下，以保證其各項安全設計確實有效。若一旦發現有關之控制措施失效時，他應能評核蕩害之程度並立即建議補救之道。

保健物理所涉及的科學與工程事項，主要的為：(1)對各種放射線及放射性物質之物理測量，(2)對放射線照射量與生物體損害之數量關係的建立，(3)環境中放射性的變移，(4)對放射線設施，操作程序及場地之安全設計。很顯然的，保健物理是一種專業學科，其領域涉及物理、生命和地球等基本科學，與應用科學中的毒物學、工業衛生學、醫學、公共衛生及工程學等。因此，保健物理專業人員，為了有效的履行其職務，必須具有多方面的知識，俾能使工業操作技術與現代衛生科學連貫。他們必須理解人與物理，生物學，甚至環境的社會因素間的複雜關係，以及用數量描述的詳體現象。除了上述的先決條件外，保健物理人員尚須具有專長技術，俾能勝任其專業職務。

本書的主要目的，在於奠定保健物理精湛技術之基礎。由於保健物理主題的特性及所包括的多種題材，作者希望，本書對從事環境衛生之工作者以及使用放射線為工具之人員能提供有用的資料。對後者而言，作者希望本書更能使他們對放射線安全以及環境衛生的哲學有所了解。

2 保健物理導論

第二章 物理原理的複習

2.1 力 學

2.1.1 單位與因次

保健物理是研究放射線對有機物和無機物交互作用的一種有系統的科學。十分顯然的，其內容必然涉及質與量的問題，因為所謂放射線傷害的控制，主要即在於探求放射線照射量與生物反應間的關係。

數量關係決定於量度，所謂量度就是將待測之某量與某標準量作比較。量度包括兩部份，即數量與單位。例如當量一個人的身高時，若用英制單位得結果為 70 吋 (inch)，而用公制單位，則為 177.8 公分 (centimeter)。“吋”與“公分”告訴我們比較時所使用的標準，而數字則告訴我們被測的量中包含多少個這些單位量。雖然，70 吋與 177.8 公分的長度完全一樣，但若“單位”不明，則顯然數字本身將毫無意義，通常在工程方面多使用英制單位，而在科學上則多使用公制單位。

在物理學上有三個基本量，即長度，質量與時間。在英制單位中，這些基本量分別用呎 (feet)，磅 (pound)，及秒 (second) 來量度。在公制單位中，一般又區分為兩種：一為 mks 制，分別以公尺 (或米，meter)，公斤 (或千克，kilogram)，及秒 (second) 來量度；另一為 cgs 制，分別以公分 (或厘米，centimeter)，克 (gram)，及秒量度之，在保健物理學中，最常用者為 cgs 制。

其他單位，如力、能、功率等，皆可由質量 (M)，長度 (L)，和時間 (T) 三個基本單位導出。故所有的導出單位，皆可由 M, L, T 之因次來表示。例如，力之單位在 cgs 制中為達因 (dyne)，其定義，為：

一達因為使質量為 1 克之物體，產生 1 厘米/秒²之加速度，所需之推力或拉力，若以數學式表示，則為：

力 = 質量 × 加速度

$$f = ma \quad (2.1)$$

而其單位爲：

$$\text{達因} = \text{克} \times \text{厘米} / \text{秒} / \text{秒}$$

因爲單位的運算與數學的運算一樣，所以加速度之單位可寫成厘米／秒²，因此，力之單位在 cgs 制中爲

$$\text{達因} = \text{克} \cdot \text{厘米} / \text{秒}^2$$

2.1.2 功與能(Work and Energy)

能即是作功的能力。因爲所有的功都需要消耗能量來完成，所以功與能的單位相同，亦即二者具有相同的因次。當一力 f 施於一物體，而使其在力的方向產生一位移 r 時，則此力對此物體所作之功爲

$$W = fr \quad (2.2)$$

在 cgs 制中，功與能的單位同爲爾格(erg)其定義爲：

當 1 達因之施力使一物體在此力的方向移動 1 厘米之距離時，此施力對此物體所作之功謂之 1 爾格。

因爲功係由力與距離之乘積而得，故功（或能）的因次爲：

$$\text{爾格} = \text{達因} \times \text{厘米} = \frac{\text{克} \cdot \text{厘米}}{\text{秒}^2} \times \text{厘米} = \text{克} \cdot \text{厘米}^2 / \text{秒}^2$$

雖然爾格是 cgs 制中能的基本單位，但在保健物理學中並不十分實用。因爲，在原子的微小世界中，爾格與常需測量的能量比較，實嫌過大。對多數問題，我們使用一個比較實用的單位，稱爲電子伏特(electron volt, 簡稱 ev)，電子伏特爲能的單位，其定義爲：

$$1 \text{ 電子伏特} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ 爾格}$$

當對一物體作功時，所消耗的能量即加入該物體之能中。例如將一質量由某一高度升高到另一高度時，作功所消耗的能量即變爲該物體的位能。另一方面，若對一物體作功，使其產生加速度，則所消耗的能量即變爲此運動物體的動能。當作功使一物體升高時，該物體在較高位置所具有之位能比其升高前所具有者爲高。這情形，係爲反抗重力而作功，其所增加的位能等於該物體的重量，乘以該物體所增加的高度。一物體之重量亦就是該物體所受的地球吸引力。位能是一個物體由於其在力場中所在位置之不同而具有的一種能量。動能則是運動物體由於其運動之結果而具有的一種能量。如一物體

的質量為 m ，運動速度為 v （設 v 遠小於 3×10^8 公分/秒），則該運動物體的動能為：

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad (2.3)$$

2.1.3 相對性效應(Relativity Effects)

根據牛頓 (Newton) 及文藝復興時代思想家們所創的古典力學的理論，質量是不變的。一物質的大小，形狀和狀態雖可改變，但其質量既不會增加也不會減少。雖然在我們的知覺世界中，此一質量守恆定律似乎是非常真實的，但此定律僅當物體之質量大而速度慢的情況下才能成立。在原子的微小世界中，質量是以 9×10^{-28} 克為單位，距離以 10^{-8} 厘米為單位，速度則與光速相比。在此情況下，古典力學的理論已不適用。愛因斯坦 (Einstein) 在其狹義相對論中，假定光在真空中的速度 3×10^{10} 厘米/秒，是實質物體速度的最高極限。也就是說，任何實質物體，其速度可趨近於光速，但不能達到光速。又根據愛因斯坦的理論，運動物體的質量，隨速度而變，而不是我們以前所認為的不變量，當速度增加時，其質量也隨之增加。而當其速度趨近於光速時，其質量則急劇增加而趨近於無窮大。設一物體在靜止時之靜止質量為 m_0 ，當其運動速度為 v 時之質量為 m ，則 m ， m_0 和 v 之關係可由下式表之：

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (2.4)$$

式中 c 為光速。

例 2.1

一個電子的靜止質量為 9.11×10^{-28} 克。試計算當其速度為光速之 10% 及 99% 時之質量各為若干？

當 $v = 0.1c$ 時，

$$m = \frac{9.11 \times 10^{-28} \text{ 克}}{\sqrt{1 - \frac{(0.1c)^2}{c^2}}} = 9.16 \times 10^{-28} \text{ 克}$$

當 $v = 0.99c$ 時,

$$m = \frac{9.11 \times 10^{-28} \text{ 克}}{\sqrt{1 - \frac{(0.99c)^2}{c^2}}} = 64.6 \times 10^{-28} \text{ 克}$$

此例說明，當該電子以光速的 10 % 運動時，其質量增加約為原質量的 $\frac{1}{2}$ %，但當其速度增加到光速的 99 % 時，其質量則增加到約為原來質量的七倍。

一運動物體的動能，可認為是該物體自靜止狀態到達最後速度，作功的收入或能的輸入。以數學式表示則為：

$$W = E_K = f r = \frac{1}{2} m v^2 \quad (2.5)$$

不過，以 (2.3) 或 (2.5) 式所表示的動能，僅為一特例：因為，此二式係基於物體由初速至末速之加速度過程中，質量為一常量的假設。假如其最終速度相當的大因而產生明顯的相對性效應時（此速度一般取為 $v = 0.1c = 3 \times 10^8$ 厘米/秒），(2.3) 及 (2.5) 式均將不能適用。

當一物體由於受一不平衡力之影響而被加速時，其質量將依據 (2.4) 式之關係，隨速度之增加而增加。某一質量之特殊值僅適用於該物體加速度時之某一瞬間，在加速度之過程中，不平衡力必須繼續增加，以抵償因質量之繼續增加而增大之物體慣性，在 (2.3) 及 (2.5) 式中，我們已假定力為常數，因此，若考慮及相對效應時，此等公式均不適用。為計算施力所作之功，我們可將全距離 r 分成許多段小距離 $\Delta r_1, \Delta r_2, \Delta r_3, \dots, \Delta r_n$ ，如圖 2.1 所示。每一小段距離與物體行經此一 small 距離時所受力之平均值的乘積，即為力在該一段距離對物體所作之功。總功為這些乘積之和，即：

$$W = f_1 \Delta r_1 + f_2 \Delta r_2 + \dots + f_n \Delta r_n, \quad (2.6A)$$

或

$$W = \sum_{n=1}^n f_n \Delta r_n \quad (2.6B)$$

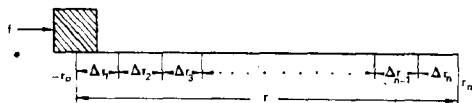


圖 2.1 力不為常數時功的計算法。