

X 線 物 理 學

人 民 衛 生 出 版 社

X 線 物 理 學

編著者 陳玉人 孟 炎

審查者 李書田 梁 鐸

人 民 衛 生 出 版 社

一九五六年·北京

內 容 提 要

本書共分九章，約八萬餘字，內容就 X 線物理學中有關醫學的幾個重要點分別敘述。首先對物理的基本知識——物質構造，就其形態及基本組成方面作簡略介紹，然後敘述功與能的意義及各種單位，對放射能的認識，繼之分別介紹 X 線發生原理、性質、在物質中的作用，以及在診斷治療中 X 線量與質的意義及測量，最後兩章詳細介紹 X 線的防禦及電擊預防法。全書敘述簡單明瞭，在應用方面，尤注重計算方法結合實際，既適合 X 線技士學校參考之用，亦適合從事 X 線工作者的使用。

X 線 物 理 學

書號：1933 開本：850×1168 毫米 / 32 印張：4 1/8 插頁：3 字數：109 千字

陳 玉 人 孟 炎 編 著

李 書 田 梁 鐸 審 查

人 民 衛 生 出 版 社 出 版

(北京審刊出版業營業許可證出字第〇四六號)

• 北京崇文區侯子胡同三十六號 •

新光明記印刷所印刷 • 新華書店發行

1956年3月第1版—第1次印刷

印數：1—6,600

(上海版) 定價：(7)0.61 元

目 錄

緒論	1
第一章 物質的構造	4
第一節 物質的存在形態	4
第二節 物質的基本組成	5
第二章 功與能	10
第一節 功與功率	10
第二節 能	11
第三節 功與功率的各種單位	12
第三章 對放射能的認識	16
第一節 微粒性放射	16
第二節 放射能的波動性	17
第三節 量子說	18
第四章 X射綫的發生原理	21
第一節 X射綫的發現	21
第二節 X射綫的發生	22
第五章 X射綫的性質	31
第一節 X射綫的一般效應	31
第二節 X射綫譜	32
第六章 X射綫在物質中的作用	38
第一節 X射綫的吸收過程	38
第二節 次級射綫	42
第三節 吸收的性質	44
第七章 X射綫的量與質	52
第一節 在診斷方面X射綫量與質的意義	52
第二節 在治療方面X射綫量與質的測量	57
第八章 X射綫的防禦	72
第一節 防禦的重要性	72
第二節 X射綫對人體的傷害	73
第三節 安全照射量	75
第四節 X射綫的來源	77
第五節 防禦物質	78

第六節	防禦物的鉛當量	81
第七節	鉛當量的測定	85
第八節	主防禦物厚度計算	87
第九節	副防禦物厚度計算	91
第十節	次級射綫電壓當量	95
第十一節	設計防禦物時的幾項原則	96
第十二節	防禦物計算實例	99
第十三節	X射綫機安置處所的防禦設備	102
第十四節	工作時應注意事項	106
第十五節	安全照射量的測定	108
第九章	電擊防禦法	112
第一節	電對於人體的作用	112
第二節	人體電阻	113
第三節	觸電致死原因	114
第四節	防止觸電的方法	116
第五節	預防火災	121
第六節	工作時應注意事項	123
第七節	觸電急救法	124

緒 論

在人類社會中，科學的發展是與實際需要互相聯繫的，也就是說，人類實際生活經驗的總結是科學發生的基礎，同時進一步推進技術，可給人類全面的實踐活動以極大的影響。反過來科學技術的進步，又促進着社會的發展。

在資本主義社會裏，開始時它的生產方式是促進科學發展的，但是隨着生產力的增長，生產的社會性與生產資料的私有形式之間的各種矛盾也增長起來，這些矛盾在帝國主義的時代中發展到了最尖銳的程度，而且變成了生產力繼續發展的障礙，因而阻礙了科學的繼續發展。

在今天的資本主義國家中，科學變成了維持帝國主義統治的工具，因而具有露骨的反動性質。例如我們這個時代中，在物理學上，最卓越的成就——原子能，却成為美帝國主義集團攫取霸權，用作大規模毀滅和殺傷的工具了。

但在社會主義國家中，科學却起着完全不同的作用，蘇聯的科學利用來保障和平和社會主義建設，沒有資本主義國家所特有的矛盾，因此科學在發展和成就上就獲得了順利而輝煌的成果。

從人手攝得的第一個X射綫照片上，可以看見X射綫通過感光片顯示出來不透明骨骼的陰影。說明了X射綫容易透過由氧、氫、氮等輕元素所構成的軟部組織，因而X射綫立即被醫學界應用於人體內部病狀變化的診斷，這些變化，從前僅在解剖的條件下才可以顯現出來。

醫學X射綫學的進步和新的要求，促使了X射綫在技術及機械構造上得以迅速發展。在X射綫技術和X射綫物理學的發展中，俄國科學家起了巨大的作用，在X射綫發現後不久，無綫電報發明人A.C.波波夫在俄國便製得了X射綫。

後來採用了高壓變壓器代替了舊式的感應圈，1910年俄國物理學家M.H.列別傑夫建議以白熾鎢絲作為陰極來製造X射綫管

用以代替離子式X射綫管。因此X射綫管的應用更廣泛地展開，例如用X射綫檢查金屬物件的缺陷，鑄件中的縮孔，氣孔，裂縫，銲接縫的質量等。X射綫探傷儀在蘇聯更廣泛地運用到機械製造廠和冶金工廠的現場檢驗，以促進生產質量的提高，和金屬加工技術操作的改進。

必須注意，X射綫在應用中遠不只限於X射綫檢驗（包括人體、金屬等），更特別應用於晶體的研究與微量化學的分析。

我國在解放後，人民取得政權，X射綫事業正在突飛猛進，X射綫管已經研究試製成功，並可生產X射綫機及X射綫機上的各種附屬機件，這說明我們有着更遠大的發展前途。

本書的範圍以X射綫物理學中有關醫學的幾個主要點為限。此外，X射綫管的構造及X射綫機的結構則詳見於X射綫機構造學，X射綫在醫學上的應用技術則詳見X射綫技術學，不屬本書範圍。

X射綫物理學是專門研究X射綫的發生原理及其性質與作用的，這裏所謂研究不過是一個初步的學習。X射綫從發現到現在已將近六十年，在現代科學中，它還算是比較年青的一個，但是它的進展是很突出的，特別是在醫學的應用上，X射綫在發現後，立即被應用為臨床骨折及異物診斷的工具。在使用期間，有人注意到皮膚經X射綫長時間照射後，則有紅斑發生，更嚴重的有皮膚炎及深部潰瘍，這些現象稱為X射綫照射反應。後來使用X射綫治療疾患，開始時因為對X射綫的物理性質及生物效應不甚瞭解，致使患者與醫師都受到很大傷害。現在我們已經掌握了一些X射綫的規律，測量方面也有了一定的標準，因之傷害已大為減少。在這一學習中，主要的是要瞭解X射綫的發生原理及其性能，為掌握X射綫技術打下基礎，內容方面主要分為下列幾個部分。

一、物質 學習物質的基本組成，及其結構方式，這對瞭解X射綫的發生及其作用是非常必要的。

二、能 X射綫是放射能的一種，首先研究能的不同變化及其作用，更進一步瞭解功與能的各種關係，為將來進一步的學習打下更好的基礎。

三、X射線的發生及必要條件 通過這一部分的學習，可以更清楚的知道X射線的本質及其來源。

四、X射線的性質 認識了X射線的性質，才能更好地來利用它，例如X射線有螢光作用，我們可以利用它來發生螢光，直接觀察人體內部的病變。X射線有感光作用，有穿透組織的能力，可以使膠片感光，攝出X射線照片可以分析病變。X射線有電離作用，可以利用它做成X射線量計，測量X射線量的多少。

五、X射線在物質中的作用 X射線照射到物質中究竟發生些什麼作用？X射線如何被物質所吸收？更進一步瞭解光電吸收與散射吸收（康普頓效應）的情況。

六、X射線的量與質 X射線的量如何決定以倫琴 γ 為量的單位，測量儀器的構造與測量的方法，在實際應用中如何決定X射線的質——半吸收層的求得方法。

七、X射線的危害性和防禦法 X射線對人體有着一定的破壞作用，根據蘇聯先進經驗此種破壞作用，對於神經系統尤為顯著，所以在X射線的操作中和安裝設計上，對於防禦方法應該特別注意，否則將造成巨大傷害。

八、X射線與電的關係 X射線的發生是與電分不開的，電有很大的危險性，尤其是高壓電，在X射線操作中技術人員應該特別注意。

第一章 物質的構造

重點要求：對物質的整體認識，它是在我們意識之外，永恆存在的，而同時是不斷變化着的。物質的基本組成——電子、質子、中子。熟悉原子週期表，進一步瞭解不同元素的組成情形。

第一節 物質的存在形態

一、宇宙間的一切都是在不斷的，隨着時間而變化，所有這些自然界的變化，總是互相有連系的，某一個現象的發生，一定受到周圍環境的影響。換句話說，就是周圍的環境，決定一個現象的發生，例如液體在一定的條件下可以變為氣體。X射線的發生也是有着它的一定的客觀條件。自然界是形形色色的，而同時由於互相的關係，它的所有變化又是統一的，這個統一的宇宙稱為物質宇宙，其中不斷變化着的一切就是物質。

物質是客觀存在於我們的意識之外，並不以我們的意識為轉移。它在過去任何時候沒有被任何人創造過，而將來也一定不會消滅。物質是永久的，它過去一直存在着，而且將來也永遠地存在着。

物質是處在不斷變化的狀態中，它在進行變化時是不會從無到有，也不可能從有到無的，這個思想由偉大的俄國科學家 M. B. 羅蒙諾索夫首先表述出來，它是自然界物質變化的基本規律，稱為羅蒙諾索夫物質質量不滅定律。

二、根據分子原子論，一切物質都是分子所組成的。分子是物質中保持原有的一切化學性質的最小的粒子，分子是由更小的粒子，即原子所組成的。原子是不能用化學方法再分解下去的最小粒，這些粒子組成了分子。原子和分子都是處於不斷運動之中的。一定種類的原子，具有相同的化學性質的，稱為元素。原子與原子中間，分子與分子中間，都有很大的空隙。例如100立方厘米水再加上100

立方厘米的酒精，則總共體積不是 200 立方厘米而是小於 200 立方厘米。在正常溫度下分子本身是在運動，並與鄰近的分子互相衝擊，熱就是由這些運動與衝擊而發生的。外在的熱能加在物體上，物體內分子的運動加大，物體溫度也增高。因為運動加大，分子與分子中間的衝擊力也加大，衝擊的結果，物體需要佔更大的空間，也就是物體的體積增大，這就是膨脹現象的原理。

三、物質有三種形態：固體，液體，氣體，這三種形態的存在與環境溫度有關。一般在低溫時，物質的形態是固體，溫度增高，則由固體變為液體，或直接由固體變為氣體，溫度再增高，則由液體變為氣體。固體的物質其分子在原位置上運動，其中分子與分子是互相靠近的，彼此間的作用力和吸引力也大，分子間的衝擊力也微弱，同時固體內的分子很難移動位置，所以固體佔固定的空間，保持一定的體形。溫度增高時，分子間的衝擊力加大，彼此間的作用力和吸引力因而相對地減小形成熔解現象。分子開始改變位置，好像一個挨一個的搖擺着滑動，於是物質則由固體變成液體。當溫度再增高時，分子間距離更加大，彼此間的吸引力近於消失。在彼此衝擊時，則有愈衝擊，間隙愈大的趨勢，於是形成氣體。氣體是不能保有自己的體形和自己的容積的，因為它的分子能自由地運動着，並且彼此之間相距甚遠，例如蒸氣、水、冰，是同一物質的三種不同狀態。

第二節 物質的基本組成

一個分子可能是由一種元素或幾種元素組成，若將其分成最小單位仍能保留各該元素的物理的化學的性質，此種最小單位稱為原子。依照門德雷耶夫的說法在一元素內，各個原子的組織與重量是完全相同的，原子是元素的最小的單位。所以原子一字來自希臘文，是不可再分的意思。有些分子可能是由一種元素組成，例如一個分子的氫 (H_2)；也有的分子包括兩種或更多的元素，例如一個分子的水，包括兩個原子的氫 (H)，一個原子的氧 (O)。近代物理學中指出原子也像分子一樣，是由一定的成分所組成，並非不可再分。在 1913 年，泊耳以原子模型說明原子的構造，除氫原子只有

一個質子和一個電子外，所有別的原子內均含有中子，質子和電子，這三種個體（電子，質子，中子）可以說是物質的基本組成單位。不論在任何原子中，電子都是一樣的，例如在氫中的一個電子與在氧中的一個電子是完全相同的。事實上一個電子在某一時間內，可以是在氫原子中，在另一時間內可以是在氧原子內或其它原子中，所有原子中的質子，中子，不能自由交換。各個元素的性質，完全由於電子，質子，中子的數目與安排的不同而有異，所以說所有原子都是由這些同樣基本成份所組成。

電子：它的電量是負電量的最小單位，電子有質量佔有空間，彼此間相斥的力與距離的平方成反比。

質子：它的電量是正電量的最小單位，質子的質量比電子的質量要大 1835 倍，它們也佔有空間，彼此相斥，但與電子則相吸。

中子：它與質子的質量幾相等，也佔有空間，唯不帶電性，或可說中子的負電量與正電量相等。

一個原子就如同太陽系一樣，它的核如同太陽，圍繞的電子就如同行星，在一定的軌道上旋轉（圖 1）。

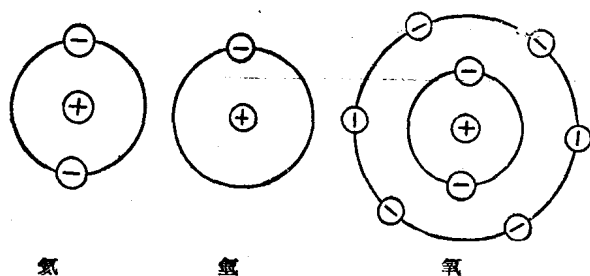


圖 1 泊耳原子構造模型

一個原子的核（氫除外）是由一個或更多的質子和中子所組成，因為一個質子或中子要比電子重 1835 倍，因此可以說一個原子的質量都集中於核內。核的體積較小，這些電子均依一定的軌道繞核旋轉，此時電子和核中間必產生一相互吸引力的力，此力不斷的改變電子運動方向，而恰使電子沿一圓軌道旋轉時，也就是電子所受的吸引力等於電子旋轉的離心力，則此電子即能在此圓軌道上穩定的旋轉着。只有外力才可以影響原子的穩定運動狀態而使原

子分散(放射性物質除外)。一個中性原子的原子序數是代表它的核周圍的電子數目,也可以說是表示核內陽粒子(即質子)的數目。電子可從一層軌道移向另一層軌道,或可完全脫離原子。此種原子的變換只是暫時的,這些原子很快的又恢復原狀。在核周圍各個不同軌道的電子,在輻射綫中有着很重要的位置。

一個正常元素的原子是電的中性,在其核內的質子與軌道上的電子數目相等。核內的質子和中子的和等於該元素的質量數。電子的電量是負電荷的最小單位,質子的電量是正電荷的最小單位。電子、質子、中子,組成原子,原子組成分子,分子組成各種物質,這就是物質的電組成。

根據泊耳的原子模型(見圖1),氫的原子序數是1,核內有一個質子,其外有一個軌道電子。氦的原子序數是二,核內有兩個質子,外圍有兩個電子。原子核內也有中子,它只影響原子量,並不影響原子序數,電子,質子兩者的帶電量相等而相反,故正負電相消呈電的中性。中子,質子,在原子核中的總數叫做原子的質量數,即原子量數值的整數部分。

中性的氦原子,序數是二,核內有兩個質子及兩個中子,外圍有兩個電子。氦原子核的本身叫 α 粒子,放射性物質的 α 射綫,即係此種粒子的放射。所有高序數的原子基本上都同樣是質子、中子和電子所組成。原子序數愈高,其組織情形愈複雜,如氧的核內有八個質子,八個中子,外圍有八個電子分為兩層軌道旋轉。

在原子核內質子與中子接近時,互相吸引,這種力很快的隨距離的增加而變小,所以只能够在核內出現。這種力的性質尚不明瞭,還需要進一步的研究,高原子序數的原子核內有較多的質子和中子,故其核內各力的作用亦極複雜。在週期表中,當原子序數為83,原子量為209的鉍時,核內作用力尚能維持平衡而成穩定狀態,但在83以上的元素,即變為不穩定而且繼續放射分裂,這些不穩定的元素都叫作放射性元素。

軌道電子: 週期表中的週期數(1,2,3,4,5,6,7,),表示原子核外圍電子軌道的數目。表中的組數(I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII),表示原子核外圍軌道上的電子數。最外層軌道上的電子亦稱

爲價電子，在原子組成分子時甚爲重要。所以不同原子有不同的化學特性，其原因即在於此。在軌道電子中，接近核的電子受到核的很大引力，因此與核連系很緊。只有丙射綫，X射綫或其它高能力的粒子，才能打亂此內層組織。外層軌道電子與核的距離較遠，因而與核的連系就很小，很易受低能力的射綫，如普通光綫的影響。軌道電子的數目，可以決定元素在週期表中的位置，最靠近原子核的一層軌道叫作[K]層軌道，至多有兩個電子，如鋰的原子序數是3，內層有兩個電子，而第二層有一個電子，此第二層軌道叫作[L]層。於是鋰是第二期的第一個元素，L層的軌道電子，最多是8個，所以第二週期原子序數是3—10。第三週期的元素又要另加一層叫[M]層，由鈉開始，原子序數爲11，直到氫原子序數爲18。更高的原子序數可有N，O，P，Q等層軌道，雖較複雜但其週期性依然存在。已知最重要的元素鈾共有七層軌道，K層有2個電子，L層有8個電子，M層有18個，N層有32個，O層有21個，P層有9個，Q層有2個，所以鈾共計有92個軌道電子，原子量是238，它的核內當有92個質子，146個中子。

此外幾乎每一種元素都有幾種僅是原子量不同，而化學性質相同的原子，在元素週期表上佔同一個位置的叫作同位素。目前已發現了八百多種同位素。

原子之間，是依靠其最外圍電子互相結合而成分子。許多元素的原子，都可以這樣結合起來，例如兩個原子的氫或兩個原子的氧，可結合成爲固定的氫氣或氧氣分子，一個氧原子與兩個氫原子結合而成爲一個分子的水(圖2)。

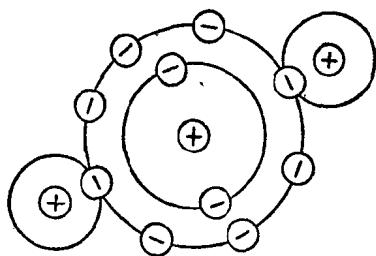


圖2 水分子

原子被X射綫照射後，失去了一個或數個外圍電子，所餘部分帶陽電的叫陽離子(或正離子)。如此失去的電子附着在其他中性原子上則成爲陰離子(或負離子)，這叫做電離作用，在X射綫的應用上甚爲重要。

總之，X射綫不僅在診斷治療上有一定的價值，並且在工業及物質研究中亦有很多貢獻。過去我們相信原子是元素的最小顆粒，且不可再分，現在的認識已經完全不同（表1）。

復 習 提 綱

1. 物質是什麼？爲什麼說它是不滅的？
2. 物質基本上是由哪些成份組成的？其結構情形怎樣？
3. 從元素週期表上指出鎢的原子量與原子序數並說出鎢原子的結構情形及其特性？
4. 何謂同位素？並舉例說明。

第二章 功 與 能

重點要求：瞭解功與能在物理學的意義。每單位時間內所做的功叫功率。電功率的單位叫瓦特，就是每秒一焦耳。電功率常用單位是千瓦特。電功的單位是千瓦特小時。

第一節 功與功率

從第一章中使我們對物質有了一個基本認識，再進一步要知道功與能在物理學中的意義。首先學習功是什麼？功與日常生活中所謂工作是不同的，任何體力或腦力活動，都叫做工作。但在物理學上功是有限制的，例如我們把重的物體自地面上提起，這叫作功，就是說我們所用的力克服了地心引力，經過了一定的距離。按數量上說功是等於力與沿力方向移動距離的相乘積。或者說，當摩擦力存在時，爲了移動物體則需作功，功是與克服阻力伴隨而生的，所以功是對於某一物體所使用的力與沿該力作用方向所走路程彼此相乘的積，即爲此力所做之功。如果用 F 表示作用力， S 表示進行的距離，所作的功即爲 $F \times S = \text{功}$ 。

所以說，功有兩個要素，一個是作用力，一個是在作用力方向所走的距離。例如一個人舉着一個重物不動，雖然他覺得很吃力，可是在物理學的意義上他並沒有作功，因爲物體沒有移動，甚至他舉着重物在水平方向上移動，對重力來說他還是沒有作功。這是因爲物體的重量是豎直向下的，可是它的移動是水平的，也就是說它的移動不發生在重力作用的方向上，或者說在作用的方向上的位移移動等於零。等量的功可以在很不同的時間內完成，每秒鐘作功多的功率大，做功少的功率小。也就是說在單位時間內所做的功叫做功率。如果用 W 表示功， t 表示時間， P 表示功率，那麼按照定義，即爲 $P = \frac{W}{t}$ 。

第二節 能

一個物體作功的本領，即是該物體所具有的能，一個物體能作一定量的功，即是該物體具有一定量的能，能與功的單位相同，能就是用其所作的功去量的。

一、能的種類 宇宙間有許多種不同方式的能，具體的說有下列幾種：1.機械能：(甲)位能，(乙)動能；2.熱能；3.電能；4.磁能；5.光能；6.聲能；7.化學能；8.原子能。

電能又分兩種，一為帶有正電荷或負電荷的物體在電場中所具有的靜電能；一為電流通過電綫時所具有的能，可以引起發熱或產生動力。前者係一種位能，後者則係一種動能。簡單地說，位能是由於物體所處的地位而來的，一個物體，因其對於其他物體的相對位置的變更，或因其自身各部分的相對位置的變更，而所得的能，稱為位能。與位能相對的是動能，例如用錘子釘釘子時，錘子揚起來然後落在釘子上，可以把它釘進去，這時所做的功，是由於錘子運動而來的。在一件物體作直綫移動時，其動能可用方程式表示如下：

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$

方程式中， KE 代表物體所具有的動能， m 代表物體的質量， v 代表其當時運動的速度。此式表示當物體初速度為零時，作用力使此物體得到速度為 v 時的功為 $\frac{1}{2}mv^2$ 。

二、質量與重量 在日常生活中，質量與重量易於混淆，在物理學定義上，質量是表示一個物體所含有物質的量，更嚴格的說，質量就是慣性的量度。牛頓運動第一定律指出：一切物體都具有保持其原來運動狀態（靜止的靜止，運動的永遠保持其等速直綫運動）的性質，這種性質叫做慣性。質量愈大的物體，愈不易改變其原來狀態，也就是它慣性大的原故。因此我們說質量就是慣性的量度。物體的重量就是物體被地球吸引向地面的力，重量不但和物體本身有關，並和地球的吸力有關。如果把一個物體帶到月球上去，

那麼它的重量將是月球的吸力，而和在地球上的重量完全不同。

第三節 功與功率的各種單位

功與能是同樣的單位，前已講過功是力與力所行路程的相乘積，能則是作功的本領。^①在實用單位制中，我們用千克或克作為力的單位，所以功或能的單位是[千克力]或[克力]。^②在厘米克秒制中，力的單位是[達因]，功的單位是[爾格]。力的單位達因是按照牛頓第二定律規定的。

$$F = ma$$

在此方程式中， F 為對物體所施的力， m 為該物體的質量， a 為其加速度，例如一個質量為1克的物體向地面自由降落時，其重量（即地球對該物體之吸力）亦為1克力，即 $F=ma$ 式中的 F ，在此種情況下，根據實驗所得結果，重力加速度 g 約為980厘米每秒每秒（此係在海平線上的大約平均數值，其確實數值則依據試驗地點經緯度的不同而略有差異）。假如另一力能使質量為1克的物體，得有1厘米每秒每秒的加速度，該力的大小，作為力的單位稱為1達因。所以1克的重力等於980達因。一達因的力作用在一個物體上，沿着此力的方向移動1厘米，其所作的功為1[達因厘米]，此功的單位稱為[1爾格]。在厘米、克、秒制中，達因為力的基本單位，爾格為功或能的基本單位（可以作為1爾格功的能稱為1爾格的能）。在平常實際應用時，以上單位均嫌太小，因此在說到能量時，多以其1千萬倍(10^7)的數值作為單位，此項單位稱為[焦耳]。

功率單位：功率在力學上即指作功的速率，將定義稍為放寬一點以包括熱能電能等。我們可以說，能量或功量用時間去除即得功率，功率為能或功變動的速率。功率單位可以從功率的公式

$$P = \frac{W}{t} \text{ 推算出來。}$$

例如 $W = 1 \text{ 爾格} \quad t = 1 \text{ 秒}$

因此 $P = \frac{1 \text{ 爾格}}{1 \text{ 秒}} = 1 \text{ 爾格/秒}$

如果 $W = 1 \text{ 焦耳} \quad t = 1 \text{ 秒}$