

电离辐射生物学作用的 生物化学基础

Н. Ф. 薩尔瓦乔夫著

人民教育出版社



电离辐射生物学作用的生物化学基础

К. Ф. 薩尔瓦乔夫著

北京大学生物系生物物理教研室译

人民教育出版社

本书系根据北京大学生物系苏联专家克·菲·萨尔瓦乔夫(K. Ф. Сорватов)于1959年5月—7月期间在北京大学讲演的讲稿翻译出的。

全书共包括三部分：在扼要地叙述电离辐射在活组织中的物理化学过程后，详细地讨论了电离辐射生物学作用的生物化学基础。最后，对化学药物防护机体免受射线损伤方面的研究作了较详尽的介绍。讲稿中着重地引用了苏联学者们的许多研究成果。

本书可作为综合大学生物系师生放射生物学工作者的参考书。

电离辐射生物学作用的生物化学基础

K. Ф. 萨尔瓦乔夫著

北京大学生物系生物物理教研室译

人民教育出版社出版 高等学校生物系用 内部发行
北京宣武门外大街27号

(北京市书刊出版业营业登记证出字第2号)

中央民族印刷厂印装

北京科技发行所发行

各地新华书店经售

统一书号 18010·884 开本 850×1168 1/32 印张 7 7/16 插页 4
字数 183,000 印数 0001—8,000 定价 (7) 0.90
1960年12月第1版 1960年12月北京第1次印刷

目 录

緒論	1
----	---

第一部分 电离射线作用下在活組織中发生的物理 和化学过程

一、一般概念	4
二、电离射线引起的原子和分子的电离和激发	6
三、荷电粒子和物质以及电离原发机制的相互作用	7
I. β -射线	7
II. γ -射线和倫琴射线	8
III. α -射线	11
四、中子和物质的相互作用	12
五、激发的和电离的原子和分子的能量转变	16

第二部分 电离辐射生物学作用的生物化学基础

一、电离辐射生物学作用的原发机制	26
I. 一般概念	26
II. 三种加强途径	30
III. 原发机制的硫氢键学说	46
IV. 原发机制的“毒素”学说	54
V. 放射病的发病机制	61
VI. 結束語	67
二、电离辐射影响下組織中某些生物化学变化	70
I. 电离辐射影响下的核蛋白和核酸代謝	70
II. 电离辐射影响下的简单蛋白质的代謝	89
III. 电离辐射影响下的碳水化合物代謝	119
IV. 电离辐射影响下的拟脂-脂肪代謝	126
V. 放射性损伤原发过程的学说	140
VI. 电离辐射影响下的水-盐代謝	143
VII. 电离辐射影响下的氧化过程	151

第三部分 电离辐射损伤的化学防护

一、一般概念	159
二、含硫氨基酸的化学防护作用	161

三、半胱胺和胱胺的預防作用	179
四、某些不含SH-基的氨基酸及胺类預防作用	194
五、高铁血紅蛋白形成剂, 氰化物、腈、迭氮化合物和組織呼吸某些其他 抑制剂的防护作用	202
六、維生素、酶及其对放射病的預防作用	214
七、其他有防护作用的化学物質	226
八、电离輻射损伤的化学防护的某些发展远景	231

緒 論

本課程的系統講授在北京大學還是第一次。

放射生物學各個領域中所積累的事實材料是非常多的，但是這些材料分散在各個專門性出版物中，在各專著和雜誌文章中，所以不僅使許多在這領域工作的人難以得到，而且也不易於綜合和概括；現在文獻中還很少有這樣的文章，便於我們利用以前研究者的經驗，並為進一步的研究指出道路。目前，電離輻射對機體的作用以及與此緊密相連的使機體免於有害作用的化學防護的問題已經超越了只被少數研究者和放射學家所感興趣的範圍。

這首先由於在工業中大大地發展對原子能的利用，在科學研究實驗室中、在農業實驗站中，在食品工業、特別是在醫學、在生物學、在化學和物理學以及其他科學技術領域內廣泛地應用射線能和放射性同位素。

不久以前我們用的電離放射源還很有限，因為能得到的自然放射裝置和 X-光裝置還很小，而能利用它們的人也有限，在最近十年內創造了新的高伏特加速器（靜電加速器、迴旋加速器、直線加速器等）、大力地進行着人工放射元素的合成以及複雜的有機示踪化合物的合成；在分解的核反應和帶有形成放射性碎片的热核反應方面的有成效的研究使我們能得到大量核放射，上述的在科學和技術中的成就在放射生物學家面前不僅提出一系列新的任務和問題，而且也提出培養高水平的幹部的問題。

這一系列問題，無論在培養幹部，或在研究工作方面都要求新成立的莫斯科大学和北京大学的生物物理教研室以及科學院的專門的生物物理研究所去解決。

除了電離輻射對個別器官、組織和細胞的局部作用問題還遠

远沒有解决以外，輻射对高等有机体的全身照射，破坏协调机制和引起深远损伤的作用的問題也具有重大意义。

由于从事于原子能生产，以大剂量放射性进行工作，以及以某种形式接触到即使是少量放射性的人越来越多了，因此防护放射治疗和射线损伤的預防問題就获得特殊的意义。

新的电离輻射源的制造为医学，不論在诊断領域，或在恶性增生、白血病、皮肤的疾病以及一系列其他疾病的治疗方面打开了广阔的可能性，这就要求对輻射生物学作用的理論概念加以发展，穿透性射线的原生物学作用机制的知識特別需要，因此对这些机制的研究現在應該占有放射生物学中的中心地位之一。

射线损伤生物化学机制的知識对了解损伤的发病原因特別重要，譬如研究在一系列与新陈代谢破坏有关的疾病时的生物化学变动。

在农业方面利用輻射的生物学作用来提高产量和加速农作物的生长，在生物工业中利用它来获得新形式的微生物并提高生产力，这样的問題也具有相等重要的意义。

最后，基于发现电离輻射的高度灵敏的方法并对宇宙射线和自然放射性所进行的研究，新提出經常在自然界起作用的小剂量电离射线的生物学作用問題，現在有关放射性本底作用的問題引起研究者的注意，在大地上生命就在这本底上发展起来的，并且这本底是生物过程中經常和到处起着作用的因素；这里可指出分散在生物界的极微量的鐳、鈾、釷、錒以及其他放射性元素；按 B. N. 維尔納茲基院士及其学生們的观察，认为他們可以在活机体內集中起来，因此对机体发生作用，虽然这种作用可能不大，但却是經常的作用；动物和植物界經常遭受到从放射性鉀、宇宙线来的影响。在我們周圍的大气中，由于原子彈和氢彈的繼續試驗而逐渐增多放射性碳和其他射源的痕迹，所有这些射源經常作用于活机体。

小剂量电离辐射的激发作用以及大剂量的严重，破坏作用不断地启发这种思想，即所观察到的生物机能的变化是作为生命现象基础的，正常进行的生物化学过程的某些变动的后果。

从恩格斯的理论出发，认为生命是蛋白质存在的一种特殊形式，生命机体和外界环境之间的经常的新陈代谢是其重要特征，我们在研究作用于生命过程的任何因素时，不可避免地首先要极广泛地了解这一因素对新陈代谢过程发生的作用。

只有揭露了整个机体或其个别器官或组织中的生物化学和物理化学过程的破坏，才使我们能理解在穿透性辐射影响下发生的生物学变化的原因。

对最近几年内在放射生物学领域中所进行的大量研究加以总结，对它们的意义加以估计，为以后的实验工作提出工作的假设，这些对顺利地发展这些问题(研究)有着重大作用。

目前已积累相当多的实验材料，描述电离辐射对存在于活机体内的个别物质的作用，对活机体内进行的生物化学过程的作用，迫切地要求将所得的材料系统化和概括，从统一的观点来研究，并将它们和生物现象进行比较。关于这一问题苏联出版了许多文章和专著(库津、富兰克、利逊托夫、塔鲁索夫、伊凡诺夫、罗曼采夫、列伯津斯基等人)。因此开设一门专门化课程——放射生物学，尤其是系统地讲述电离辐射生物学作用的生物化学基础，对科学工作者、教员、生物物理学专业的学生来说是极其需要的。

该课程由三部分组成。

该课程的第一部分是研究在电离放射作用下在组织中发生的物理和化学过程；这些过程的知识对了解第二和第三部分的材料所不可缺少的，在第二部分中我们要讲电离辐射生物学作用的生化基础；第三部分讲那些能提高动物和植物对电离辐射作用的抗性的许多化学性质极其不同的化合物。

第一部分 电离射线作用下在活组织中发生的物理和化学过程

一、一般概念

关于电离射线作用下在活组织中发生的物理和化学过程的概念是远不完备的，在很大的程度上是因为这些过程十分复杂和多样化，照射后机体中发生的一切大量的形态学变化和生理机能的复杂变化，以及对放射病的综合概念是射线能量作用于活机体物质时发生的原发变动的后果。

为了理解辐射损伤作用的性质，就必须知道辐射对参与代谢过程的个别物质的作用，要知道辐射对调节活体内一切生化反应进行的酶系统的影响，对激素的影响。最后，即如上面已经强调过的，要特别注意在穿透辐射影响下生物化学过程进行的改变。

这里在所谓的放射敏感性组织中的生化变动特别有意义。这些组织的损伤无疑地引起放射病的发展。研究代谢中的这些变动之所以重要，是因为现代应用某些防护物质经常能对机体的继续生存发生良好作用。因此，知道上述的那些在射线能损伤时发生的过程对阐明化学防护机制特别重要。

一般把化学防护理解为在照射前或照射后用这种或那种方法将某些化合物引入机体，结果使电离射线对机体的影响减弱。

我们来看一下直接在辐射影响下进行的各种物质变化的可能性；这一可能性决定于两个因素：1) 被研究物质的化学性质；2) 该物质在受照射对象中的浓度。

这种或那种物质的浓度越大，则电离粒子和该物质分子的直接碰撞可能性越大，而因此由于穿透性辐射直接作用结果发生的变化越大；在浓度小的场合下这种碰撞的可能性较小，就从这样的

观点出发,活机体成分的数量对所研究的问题具有很大的意义。

高的含水量是处于强的生命活动状态中的一切活机体的特征。只有当机体转入安静状态(种子、孢子)时含水量才减少。

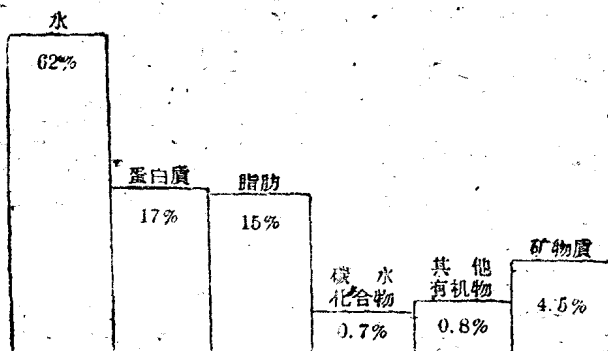


图1. 人体的一般化学成分。

高的含水量是一切积极参与代谢的组织的特点,只有在执行支持机能的组织中含水量不大。在积极进行代谢的组织中,水就是介质,活机体的一切其他物质都分布在其中。因此,落到机体的电离粒子首先和水分子相互作用,为什么穿透性辐射(首先对水的作用的特性)在电离辐射影响下机体内发生的生化变化一般景象的阐明方面提供特别的兴趣,其原因就在于此。

在电离射线作用下在活组织中发生的物理和化学过程究竟如何?

第一阶段,当射线和机体(组织、细胞)相互作用时发生射线能量的传递(传给中性分子和原子),然后以形成已激发的和电离的分子或原子而告终。

在第二阶段,激发的和电离的分子或原子的能量进一步传递,结果这能量或变为热,或变为化学反应,或以射线的形式释放出来(荧光现象)。

在第三阶段能量传递给辐射敏感性很高的生活系统,在那儿以聚合物构成的排列整齐的亚显微结构中将出现“加强的”机制。

目前,知道得最清楚的有三种加强的途径,物理的、化学的和生化的(生物学)途径。

第一种加强的物理途径是基于在空间排列整齐的巨分子系统中所吸收的能量的迁徙,以及巨分子长时期的激发状态的可能性。

第二种加强的化学途径在于发生链锁反应。

第三种,使辐射源能作用效果加强的生化和生物学途径,它和代谢过程以及生活装置结构的特性紧密有关。这一阶段中机体的损伤几乎涉及受神经系统管理的所有代谢环节。

二、电离射线引起的原子和分子的电离和激发

原子和分子的电离和激发的初步机制以及发生的离子和激发粒子的以后命运是极其不同的。这既取决于射源(其性质和能量),也取决于射线对之发生作用的物质的性质。

属于电离射线之列的有: γ -射线和伦琴射线以及各种放射性物质的射线的衰变形式。

γ -射线是一种电磁射线,与伦琴或X光线相似,这种射线是被核以个别部分,称作 γ -量子(或光子)的能量量子的形式释放出来。可以把 γ -射线看作是具有不同能量的中性粒子——光子束。 γ -射线经常伴随 α 和 β -衰变,在这场合下它是继发过程。一般 γ -射线是 α 或 β -粒子飞出后形成的新元素的激发核所释放的。

伦琴射线是在正向及旁侧打击电子时抑制它们而产生的,这一过程伴随着 γ -量子形式的能量的释放。

当放射性(核的)衰变以及在大多数场合下伙随着一种物质转化为另一种物质的核反应时发生射线,是各种不同核粒子束,属于此列的有:

α -射线——带有两个正电荷的氦核束。

β -射线——当中子转化为质子时飞出来的电子束。

n -中子——核的中性粒子束,粒子的重量等于氦核。

P-質子——氦核的荷正电粒子束。

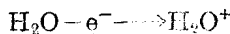
电离射线源可以处于机体外，而从外面对机体发生作用，各种具有强穿透力的电离辐射：伦琴硬线：铀弹的 γ -射线和中子(n)作用为电离辐射的外源的意义最大，穿透力弱的 α -射线以及 β -射线，当它们作用于机体表面复盖时(皮肤、粘膜)也能作为外源刺激，这种场合下它们主要引起不同的局部损伤，表现为不同程度的辐射性灼伤。伦琴软线和慢速中子被机体表面组织吸收时发生类似的损伤。此外，放射源可以处于机体内，即通过食物、血液、空气而将放射性物质引入体内，虽然当射线能以任何方法作用时放射病发展的一般规律都是一致的，但内照射有其特殊性，放射性物质内照射的病理作用的研究一般放在放射性物质的毒理学部门。

三、荷电粒子和物质以及电离原发机制的相互作用

所有电荷粒子当通过物质而和物质相互作用时，逐渐失去其能量。

I. β -线 这一带负电荷的电子束，其运动速度近似光速。 β -线的电子具有的质量十分微小($\frac{1}{1800}$ 氢质量)，当通过物质时，在原子的电场和磁场的影响下经常有偏转，因此 β -线的途径呈锯齿折线状。 β -粒子飞近电子层时，具有的能量比内轨道电子联系的能量高许多，因此把这些电子从原子和分子打出来，从而形成离子；从中性原子和分子形成离子的过程称为电离，这时 β -粒子的能量部分地传递给打出来的电子，这电子自己也能电离其他原子，所有电离原子中约有 $\frac{1}{3}$ 是原始 β -粒子电离的，而有 $\frac{2}{3}$ 是打出来的电子电离的。

对水来讲，这一初步的电离作用可表示如下：



因为和原子体积相比 β -粒子的体积如此微小,它和外轨道电子碰撞的机会不大,因此在 β -粒子行程上电离密度相当小,在一个微米组织中约7-9离子; β -粒子在组织中的射程等于 β -粒子在水中的射程; β -粒子在水和组织中的射程大小取决于 β -粒子的能量,电离密度也将取决于粒子的能量。正如从表1可知,粒子能量越小,粒子的射程也越小,而电离密度也非常小(电离比度)。从该表看出, β -粒子的整个行程上电离密度是不一样的;起初,当粒子能量大时,电离密度小,随着粒子失去其能量的程度,电离密度增加而在行程最终时电离密度最大。

表1 电离比度和比度对 β -粒子能量的依赖关系

粒子能量	在水中能量的丧失 (千电子伏特/厘米)	离子化的电离比度 (离子/伏/厘米)	水中的射程 (厘米)
0.1 千电子伏特	33.23	1030	0.003
1.0 千电子伏特	12.23	320	0.05
10.0 千电子伏特	2.3	71	2.5
100.0 千电子伏特	0.42	13	141
1.0 百万电子伏特	0.20	6.3	4.95 毫米
3 百万电子伏特	0.50	6.3	16.3 毫米

这种现象的原因在于,具有大能量的 β -粒子飞过的速度太大,而来不及象慢速 β -粒子那样引起强的效应。不同能量的 β -粒子在不同物质中的射程见表2。

表2 不同能量的 β -粒子在各不同物质中的射程长度

能量(百万电子伏特)	0.1	0.3	0.6	1.2	2.4	3.0
空气(厘米)	13	80	200	500	1100	14500
水(厘米)	0.11	0.7	1.7	4.3	9.6	12.5
铝(厘米)	0.046	0.30	0.75	1.75	3.8	4.9

II. γ -射线和伦琴射线 γ -射线是硬电磁射线的光子束,上面已经讲过, γ -射线伴随原子核内进行的放射性衰变过程而生; γ -射线和可见光及伦琴射线类似,但其波长较短,相应地其频率较

大,在表3中比較波長和振動頻率,可以更好地看到 γ -射線在電磁射線系統中的地位。

表3 某些電磁射線的波長和振動頻率

波長區域的名稱	波 長	頻率(赫芝)(每秒振動數)
1. 低頻波	∞ —15 千米	0 — $2 \cdot 10^4$
2. 輻射波	15 千米—10 厘米	$2 \cdot 10^4$ — $3 \cdot 10^9$
3. 超輻射波	10 厘米—0.1 毫米	$3 \cdot 10^9$ — $3 \cdot 10^{12}$
4. 紅內光波	100 微米—0.76 微米	$3 \cdot 10^{12}$ — $4 \cdot 10^{14}$
5. 可見光波	0.76 微米—0.38 微米	$4 \cdot 10^{14}$ — $8 \cdot 10^{14}$
6. 紫外光波	0.38 微米—5 毫微米	$8 \cdot 10^{14}$ — $6 \cdot 10^{16}$
7. X-光	5 毫微米—0.084 毫微米	$6 \cdot 10^{16}$ — $7 \cdot 510^{19}$
8. γ -射線	0.0040 毫微米—0.0001 毫微米	$7 \cdot 510^{19}$ — $3 \cdot 10^{21}$

非常短的波長以及相應的大頻率決定 γ -量子有大的穿透力,在空氣中 γ -量子通過的行程可以幾十公尺來計算,在金屬中其行程以幾十厘米計; γ -量子運動速度十分大,等於光速,也就是說 $3 \cdot 10^{10}$ 厘米/秒,因此帶有的能量很大, γ -量子在電學上是中性的在磁場中不偏轉,因為沒有電荷,所以 γ -量子不能直接使遇到的粒子電離而只有用和原子和分子迎頭相撞的方法使它們和所通過的物質相互作用。這時 γ -量子的能量被物質所吸收形成發生電離的次級電子,與此相關的 γ -射線的電離效應比 α 和 β^- 粒子的電離效應小得多,如果拿帶有同等能量例如2百萬電子伏特的 α 、 β 和 γ 粒子,則它們中的每種粒子似乎都應形成60,000對離子,因為形成一對離子需要33電子伏特, $2,000,000/33 \cong 60,000$ 對離子。

但是 α -粒子在很小的行程就能進行這一電離, β^- 粒子在大的行程上,而 γ -粒子要在十分大的行程才能進行這一電離, α^- 、 β^- 和 γ -射線引起的電離程度之比,為10000:100:1。同等能量(例如百萬電子伏特)的 α 、 β 和 γ -粒子的電離比值見表4。

由於 γ -量子和環境的原子和分子的電子撞擊的機率很小,所以 γ -射線的穿透力很強。 γ -量子和物質的相互作用的不同是取

表4 α 、 β 和 γ -粒子的射程以及它們引起的电离比度

带有2百万电子伏特能量的量子	在空气中的射程长度(米)	以在1厘米行程上形成的电子偶数测定的电离比度
α -粒子	0.01	6990
β -粒子	1.0	60
γ -量子	約 100	0.6

决于前者所固有的能量。相互作用基本上可分为三种方法以光电效应形式出现，以康普頓散射效应，以及形成电子偶过程，伴有随后的湮灭过程的形式。因为 γ -量子 and 物质的相互作用的这些方法很有意义，所以我們要較詳細地來談。

1. 光电效应 如果 γ -量子的能量儲藏相当小，則它接近原子时，只將原子外轨道的电子打出来，而將自己的能量傳遞給該电子。打出一个电子只消耗一部分能量从30-50电子伏特，其他大部的能量傳遞給被光电子所引起的电子，而它能进行电离，这一过程实现后 γ -量子不再存在了，因为它所固有的质量和能量傳遞給和它碰撞的系統。

2. 康普頓散射效应 具有相当大的能量的 γ -量子 and 物质相互作用时可看到这种方式；这場合下，光子象精致的小台球一样的活动，当和原子相撞时它只將其部分能量傳給打出来的电子（“反冲”电子），而在撞击以前，它自己繼續帶着較小的能量运动着；表现出它变成具有大波长的光子，而頻率相应地低了，打出来的“反冲”电子其行动和光电子相似，它能进行电离。

3. 电子偶的形成 γ -量子 and 物质相互作用的这一方式，就能量很大（大于百万电子伏特）的光子來說，能观察到。带有如此大能量的光子从原子核打出一对电荷相反的 β -粒子，也就是說，一个电子和一个阳电子（ β^+ ）。阳电子几乎一瞬就消失，而和电子結合，因此能量給两个 γ -量子，其中每一个 γ -量子的能量为0.5百万电子伏特；二者飞向相反方向。从一对粒子形成二个 γ -量子的

一过程称为湮灭过程。

Ⅲ. α -射线 α -射线是正电荷粒子束，就是经过两次电离的氮原子，也就是说失去电子层的氮原子核。

在放射衰变过程中从某些放射元素的原子核中抛出。

α -粒子，其运动速度为 $1.40 \times 10^9 - 2.06 \times 10^9$ 厘米/秒/粒子（约为光速的 $\frac{1}{30}$ ）。每个 α -粒子由 2 个质子和 2 个中子所组成。它带的电荷相等于 2 个单位电荷（或 $2.48 \times 10^{-10} - 9.60 \times 10^{-10}$ 绝对电子单位），质量为 4。 α -粒子具有相当大的质量和能量，以直线传播而很少离开其行程。 α -粒子的射程取决于其能量，取决于它在其中运动的物质性质，在大多数场合下，按照 α -粒子的射程来判断其能量，不同放射元素的 α -粒子是以不同的射程来鉴定。带电荷的 α -粒子在静电上和所遇的原子和分子相互作用，它们从原子和分子打掉电子，因此它们所飞过的那一环境发生强电离。例如在空气中，1 个 α -粒子能形成 11,600—25,400 对离子；这就决定 α -粒子的电离比度十分高，也就是说决定在一单位行程长度上形成的离子偶数， α -粒子在空气中在 1 厘米行程上这数值可达 40,000 对离子，在动物机体组织中，在相当小的一段行程上，这一电离强度可达 3,000—4,500 离子/微米组织（组织密度比空气密度大 770 倍）。可以计算 α -粒子的能量。我们知道在空气中形成一对离子需要 33 电子伏特，那么 α -粒子形成 116,000 对离子场合下其能量将等于： $33 \text{ 电子伏特} \times 116,000 = 3,828,000 \text{ 电子伏特} \approx 3.8 \text{ 百万电子伏特}$ 。

如果 α -粒子在其行程上形成 254,000 对离子，则其能量等于： $33 \text{ 电子伏特} \times 254,000 = 8,382,000 \text{ 电子伏特} = 8.38 \text{ 百万电子伏特}$ 。

从这些资料可看出， α -粒子所固有的能量是巨大的。在水中，一个 α -粒子平均能电离一个分子的 $\frac{1}{3}$ ，而 β -粒子只能电离一个

分子的 $\frac{1}{1000}$ ，因此， α -粒子被物質吸收的程度要比 β -粒子大得多；也就是說， β -射綫比 α -射綫的穿透力大。 β -射綫能穿透硬體、金屬片、紙等。但是 α -粒子的穿透力很小，例如，約0.05毫米（更正地講40微米）厚的鋁層能將 α -綫（鏷C'）全部吸收。

應該特別談一下 α -粒子對機體的有害作用，正如以前已說，應將外照射和內照射區分開。所有 α -粒子都能被衣服或覆蓋表皮的角質細胞所吸收。如果 α -粒子通過胃腸道或呼吸道而落入機體內，則情況完全不一樣，這時 α -粒子的電離效應十分強，而對機體發生傷害作用。

四. 中子和物質的相互作用

中子不帶電荷，所以不能在空間和帶電粒子相互作用，而只能在撞擊時將其能量傳遞給帶電粒子。

這裡遵守的規律和撞擊兩個彈球的規律是一樣的。飛行的球和一個重量相等的球相撞時，損失的能量最大。當中子撞擊時，將其能量傳遞給核，由於物質內中子的能量而形成快速飛行的核，它們稱為反沖核。後者也如其他荷電粒子一樣，將其能量消耗於電離。當中子和氫核-質子相撞時能量消失最多，因為中子和質子的重量實際上是相等的，這種氫核稱為反沖質子。

當和質子撞擊時中子平均失去其能量的50%，而在和重核相撞時它們只失去極小部分能量。因此中子能很好地被含有許多氫原子（水、石蠟等）的輕物質所吸收，並且自由地通過厚的重物質（鉛）。因此，和物質相互作用時快速中子將其能量傳遞給核而速度變慢。為了使帶有百萬電子伏特能量的快速中子完全變慢需要和氫核撞擊25次，和重核相撞需要更多次。譬如，和氫核需50次撞擊、和炭核需125次撞擊、和鎢核需2,500次撞擊，當快速中子和含氫物質（石蠟、水組織）相互作用時中子能量的90%消失在和氫核相撞時。慢速中子與快速中子的區別是前者被原子核攔截，