

高等学校交流讲义

生物物理学实验指导

SHENGWU WULIXUE SHIYAN ZHIDAO

星火 向峰 編

人民教育出版社

高等学校交流讲义



生物物理学实验指导

SHENGWU WULIXUE SHIYAN ZHIDAO

人民教育出版社

本书共分四編。第一編为电离辐射的生物学作用及其防护,第二編为放射性同位素在生物学中的应用,第三編为剂量测定与卫生防护,第四編为生物物理学实验技术。

本书可作为高等学校有关课程的教学用书。

本书因編写时间较为仓促,还有不少缺点。讀者如有意見請徑寄北京景山东街人民教育出版社轉致作者。

生物物理学实验指导

星火 向峰 編

北京市书刊出版业营业许可证出字第2号

人民教育出版社出版(北京景山东街)

人民教育印刷厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店經售

統一书号 K13010·941 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 5 $\frac{1}{2}$ /
字数 145,000 印数 6,001—10,000 定价 (6) 半 0.60
1961年7月第1版 1962年4月北京第3次印刷

目 录

第一編 射綫的生物学作用及其防护

一、射源

- 实验一, X—光机和鈾源的原理与操纵法 1
实验二, X—綫剂量测定 6

二、射綫对动物机体醅代謝的影响

- 实验三, X—綫全身一次大剂量照射后大鼠尿糖、血糖和糖耐量曲
綫的測定 12

三、射綫对腎臟和肝臟机能的影响

- 实验四, X—綫一次全身大剂量照射后腎功能試驗 18
实验五, X—綫一次全身大剂量照射后肝功能試驗 19

四、射綫对血液系統的影响

- 实验六, 放射病发病过程血液系統的变化 22

五、射綫对生殖系統的影响

- 实验七, 电离辐射对小鼠生殖腺的作用 27

六、射綫损伤的物理和化学防护

- 实验八, 局部屏蔽受照射动物的影响 28
实验九, 注射化学物质对受照射动物的保护作用 30

第二編 放射性同位素在生物学中的应用

一、物理学部分

- 实验一, 64 进位定标器和 G—M 計数管的应用 31
实验二, 計数管的合理选择 (示范) 40
实验三, 标准源的制作 45
实验四, β —射綫的測量 (一) 47
实验五, β —射綫的測量 (二) 52
实验六, β —射綫的測量 (三) 57
实验七, γ —射綫的測量 61
实验八, 定标器的电子学綫路及計数管的制做工艺过程 64

二、生物学部分

- 实验九, 放射性离子紙上色层分析法 69
实验十, 射綫自显影法 73

实验十一, 应用放射性 Zn^{66} 标记红血球以测定血容量及循环系统中的红血球总量	75
实验十二, 放射性蚕丝的生物合成	77
实验十三, 利用光合作用生物合成标记有 C^{14} 的淀粉	82
实验十四, 利用 P^{32} 测定植物吸收养料的速度和分布	87
附: 样品 P^{32} 的测定	91
实验十五, 磷在动物体内的分布	93
实验十六, 植物吸收磷的甄别系数的测定	94

第三編 剂量测定与卫生防护

实验一, 放射性污染的清除	97
实验二, 射线防护测量仪器	100
实验三, 皮肤除沾染	115
实验四, 放射性污水净化	116
实验五, X—光机室外、工作室及周围环境剂量水平的测定	119
实验六, 放射性实验室剂量测定	120
实验七, 放射性同位素开瓶分装	125
放射性同位素实验室工作规则	126

第四編 生物物理学实验技术

实验一, 恒温调节	134
实验二, 超滤作用	137
实验三, 用偏振光研究生物结构	142
实验四, 质谱仪	146
实验五, 光谱分析	151
实验六, 极谱分析	155
实验七, 微量电泳仪的应用	165
实验八, 电子示波器	170
实验九, 电子显微镜	172
实验十, 顺磁共振波谱仪在生物学中的应用	177
本书主要参考文献	182

第一編 射綫的生物学作用及其防护

一、射 源

照射源是进行放射生物学实验的必要条件之一。照射源分为外照射源(如 α -綫、 γ -綫、中子源等)和內照射源(引入体内的放射性物质)。为了能精确地进行放射生物学实验,对射源的要求很严格。例如,射源能够给出足够能量的射綫,射綫能量要在 200 千电子伏特以上,动物各种組織对射綫的吸收才能大体一致;照射野的剂量要均一,剂量强度可在較大范围内加以調节和变动;每次实验的照射条件容易重复。在实验室内最常用的外照射源为 α -光机和鈷源。它們能够在一定程度上满足上述照射条件的要求。

本部分实验目的,使学生了解 α -光机和鈷源的简单原理并初步掌握 α -光机的使用方法。

实验一 X-光机和鈷源的原理与操纵法

I. X-光机

一、原理: 茲以匈牙利 STABILIVOLT 深部治疗机为例,說明其原理及操纵法。該机为医用 α -綫治疗机,可用于中层及深层治疗。高压发生部分为裸綫式,治疗部分为防电击式。高压变压器和一个整流管灯絲变压器封閉在一个鉄箱內。另一整流管灯絲变压器和 α -綫管灯絲变压器、两个高压电容器和两个整流管全部裸露在外。 α -綫管装在一个防电击式鉛质管套內可防止 α -綫的散射。該机可輸出 200 千伏巔值接近恒定的直流, α -綫管最大电流为 15 毫安。整流方式是全波恒倍压整流。附有操纵台。

x -綫是电磁波的一种, 波长由 10^{-7} 至 10^{-9} 厘米, 速度与光速同 (3×10^{10} 厘米/秒)。 x -綫能影响照相底片, 能穿透普通光綫不能射透的物体, 能在某些物体上产生螢光。产生 x -綫的方法是用阴极射綫射在任何物体上面。被射击物体原子序数愈大, 产生的 x -綫愈多。阴极射綫的速度因加在管球两端电压的高低而增减, 速度愈高, 产生的 x -綫愈硬, 波长愈短, 穿透力愈强。一般 x -綫管是热阴极式(图 1)。

阴极灯絲在高真空中放射的电子, 由高压的吸引, 射击在阳极的靶面上。阴极射出的电子数与灯絲的热量成比例。阳极产生射綫的硬度或波长则由管电压的高低决定。

匈牙利STABILIVOLT x -光治疗机綫路由許多部分构成(图 2)。仅就高压綫路作簡單說明:

当高压变压器副綫圈

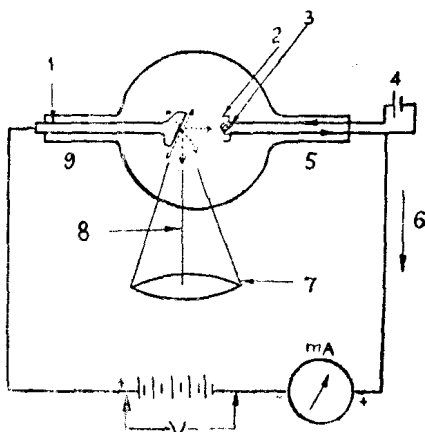


图 1 x -綫管与基本 x -綫管綫路图解:

1-阳极; 2-集射罩; 3-灯絲; 4-灯絲加热电源; 5-阴极; 6-管电源; 7-放射光錐; 8-光束主軸; 9-鎢靶。

(1) 为正(2) 为負时, 按电流方向, 电流从(1)端經 K_1 低压整流管 $\rightarrow$ mA 表 $\rightarrow C_2$ 电容器 $\rightarrow x$ -光管 $\rightarrow V_1$ 高压整流管而至高压变压器副綫圈之(2)端, 成一电路, 电流通过, x -綫发生。 x -光管电压即高压副綫圈之输出电压。与此同时, (1)端經 K_1 低压整流管 $\rightarrow C_1$ 电容器 $\rightarrow V_1$ 整流管, 因而 C_1 电容器充电, 充电电压相当副綫圈之输出电压。在第二半周时, (2) 为正(1) 为負。电流从(2)端經 $V_2 \rightarrow x$ -光管 $\rightarrow C_1 \rightarrow$ mA 表 $\rightarrow K_2$ 至高压副綫圈(1)端。此时加至 x -光管之电压为高压副綫圈之输出电压及 C_1 电容器放出之电压之和, 大于高压变压器次級电压之一倍, 故称倍压整流。同时(2)端 $\rightarrow V_2 \rightarrow (C_2 \rightarrow$

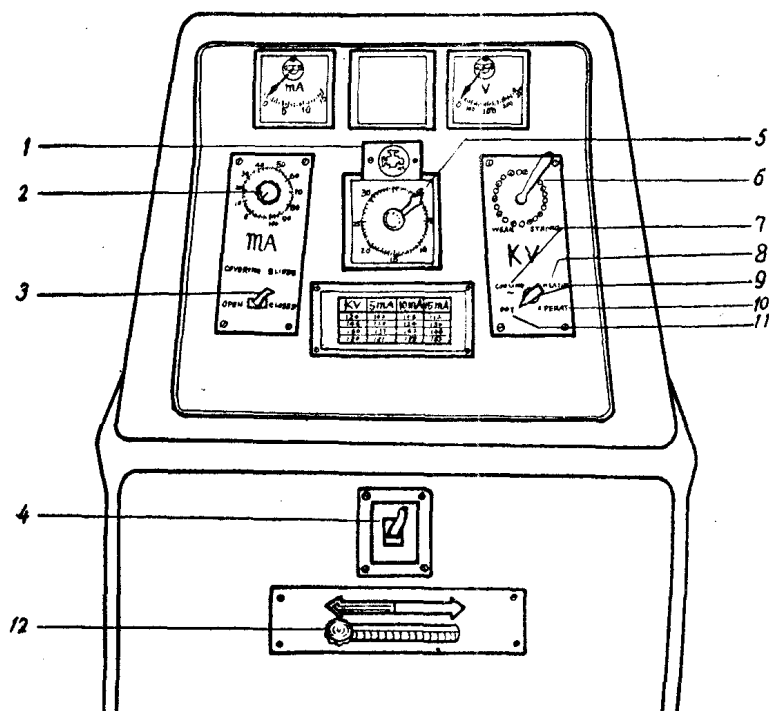


图3 匈牙利深部治疗机操纵台:

1-水循环指示灯; 2-mA 调节器; 3-遮光器及限时器开关; 4-过截
断路器; 5-限时器; 6-KV 调节器(粗调); 7-冷却; 8-灯丝加热;
9-运用闸; 10-x 线发生; 11-零点; 12-KV 细调器(左右滑动)。

高压初级换算表

KV	5mA	10mA	15mA
120	103	109	113
140	122	127	131
160	136	141	148
180	150	156	163
190	159	166	173
200	166	175	182

(2) 插入滤板, 如不需附加滤板也应插入空心滤板, 否则高压发生綫路不能接通。

(3) 千伏与毫安調节置于最低位置。

(4) 閉合电源, 水循环指示灯及滤板指示灯明亮。

(5) 撥运用閘經第一位“—”, 至第二位 (COOLING) (冷却), 在第一位停留不要超过 1 秒, 此时油泵电动机起动, 油循环开始 (冷却 x -光管的油循环)。

(6) 将运用閘撥至第三位 (HEATING), x -光管及整流管灯絲加热。

(7) 将运用閘撥至第四位 (OPERAT), x -綫閘閉合, x -綫发生, 高压指示灯明亮。

(8) 将限时器撥至所需时限, 遮綫器之 (CLOSED) 指示灯明亮。

(9) 根据操纵台之換算表, 将千伏調至所需值, 由“V”表讀出。

(10) 調节毫安至所需值, 由“mA”表讀出。

(11) 将“COVERING SLIDE”撥至“OPEN”位, 遮綫器打开, 同时限时器走动, 指示灯“OPEN”亮, “CLOSED”灭, 照射开始。如事先将一块螢光屏置于照射野, 通过观测窗可看到螢光屏发螢光, 证明 x -綫的存在。

(12) 时限将到时蜂鳴器响起, 时限到后遮綫器閉合, 指示灯“CLOSED”亮, “OPEN”灭, 将“COVERING SLIDE”撥至“CLOSED”位。

(13) 将千伏及毫安調节退至最低位。

(14) 将运用閘退至第二位, 使油循环 3—5 分钟, 待阳极冷却后, 再退至 0 位 (OUT)。

(15) 关闭水門。

(16) 拉下电閘。

(17)照射終了。

II. 鈷 源

一、原理： γ -綫也是一种电磁輻射，它比 x -綫波长短（0.001 至 0.1Å）、貫穿能力大。 γ -綫由原子核釋放，直綫傳播，遵守距离反平方定律。在生物学作用方面， γ -綫与 x -綫区别很小。天然放射性同位素如 U、Th、Ac 和人工放射性同位素如 Co^{60} 、 Ir^{192} 、 Na^{24} 、 I^{131} 等都放出 γ -綫。临床和放射生物学实验用的 γ -綫源为鈷或鈷彈。其放射源为 Co^{60} 。 Co^{60} 放出的 γ -綫光谱有两条能量各为 1.17 和 1.33 百万电子伏特的明綫。鈷源的額定放射性为 400 克当量鎘。这样大的鈷源是由数十个小的 Co^{60} 样品构成。鈷源外被以鉛制防护罩，可以远距离控制它的移动和位置。实验室用鈷源常常放在深 3.5 米的水井中。

鈷源照射剂量由下式計算：

$$D = \frac{140N_0}{R^2} e^{-0.0075t}$$

式中 N_0 ——鈷源原有放射性(微居里)，
 R ——焦点距离(厘米，射源至对象的距离)，
 e ——自然对数的底=2.7，
 t ——测定 N_0 至照射的时间(以星期計)。

二、鈷源的操纵(略)。

实验二 X-綫剂量測定

一、 x -綫量的測定：常利用 x -綫的电离作用，測出其所产生的离子量来間接表示 x -綫量。在一般治疗机中， x -綫产生的离子量与 x -綫量可成直綫比例。在 x -綫的电离作用中，用空气做为电离物质，因为空气的有效原子序数及对 x -綫的吸收与身体組織相

近。

(一)测量单位用侖(r)来表示,其定义为在标准状况下使1毫升空气产生正或负离子的电量为1静电单位时为1侖。

(二) x -綫量在临床治疗和放射生物学研究中,主要有以下几种表示方法:

(1)空气量:空气某一点所产生的离子量。

(2)皮肤量:除空气量外,再加上被照射物质或病人組織所产生的次級射綫量,此量常大于空气量,此量并依 x -綫的性质、照射面积以及被照物质的体积而改变。

(3)深度量:指在組織中某一点所受的量,可直接将电离室放入体腔测量,但一般都用与身体等密度的物质代替(如蜡、水、米等),用此类物质测出深度量以作参考。

(4)射出量: x -綫通过人体(或动物体)在对侧皮肤表面产生的量,一般用动物机体等厚度的模型测量。

(5)容积量:某一体积的吸收量,如肿瘤內或皮肤給以一定量后,其吸收量的多少与 x -綫的性质及所照射的体积有关。

(三)影响 x -綫量的因素:

(1)距离: x -綫的强度与距离平方成反比(反平方定律)。如图4, D_1 、 D_2 为 x -綫距离, I_1 、 I_2 表示 x -綫强度,其关系为:

$$\frac{D_2^2}{D_1^2} = \frac{I_1}{I_2}$$

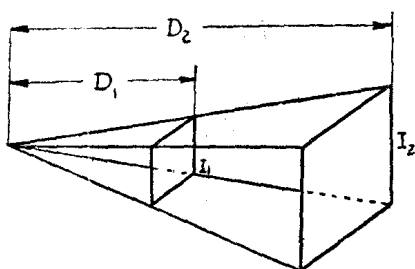


图4 x -綫距离与强度的关系

(2)管电流(mA): x -綫强度与管电流成正比。在单位时间内,阴极放射电子愈多,管电流愈大, x -綫也愈强,如管电流加倍,則所发生的 x -綫量亦加倍。

(3)管电压(KV):电压愈高,电子能力愈大,放射 x -綫愈强,

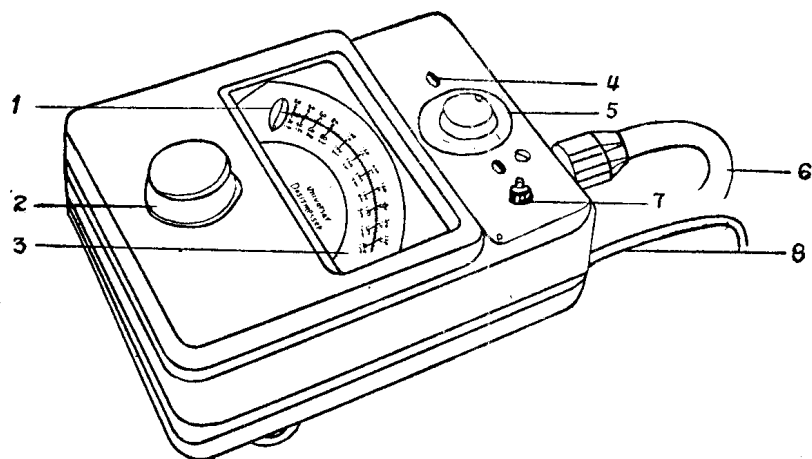


图 5a 命琴表外形正面:

1-光点; 2-零点调节钮; 3-刻度盘; 4-指示灯; 5-量程钮;
6-电缆(接电离室); 7-开关; 8-接电源。

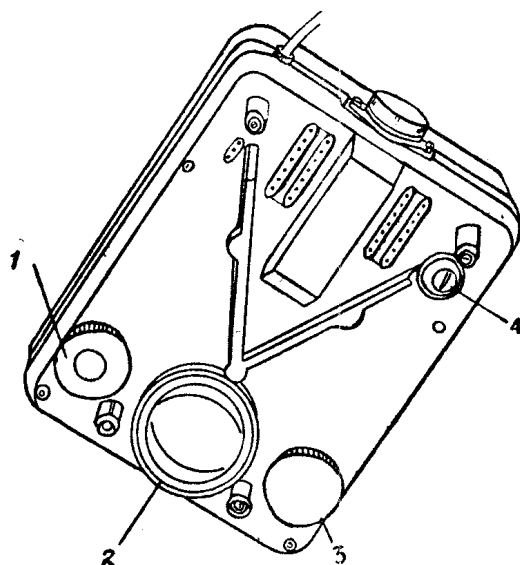


图 5b 命琴表外形背面:

1-光点亮度调节钮; 2-干燥器;
3-光点位置调节钮; 4-保险丝。

一般治疗 x -线管, 其强度约与 KV^2 成正比。

(4) 时间: x -线量的发生与时间并无直接关系, 但照射总量随时间而增加。

(5) 滤板: x -线量可随滤板密度与厚度的增加而减低。

(6) 照射野大小: 照射野面积较大时, 中心剂量比边缘的剂量要大。

(7) 其他因素如电源电压波动, x -光管的陈旧, 测量仪表准确度以及电离室的位置等都会影响 x -线剂量的准确测定。

(四) 侖琴計使用法: 茲以西門子万用侖琴計为例簡述其使用方法。

万用侖琴計包括电离室、电纜、侖琴表、标准源等主要部分。

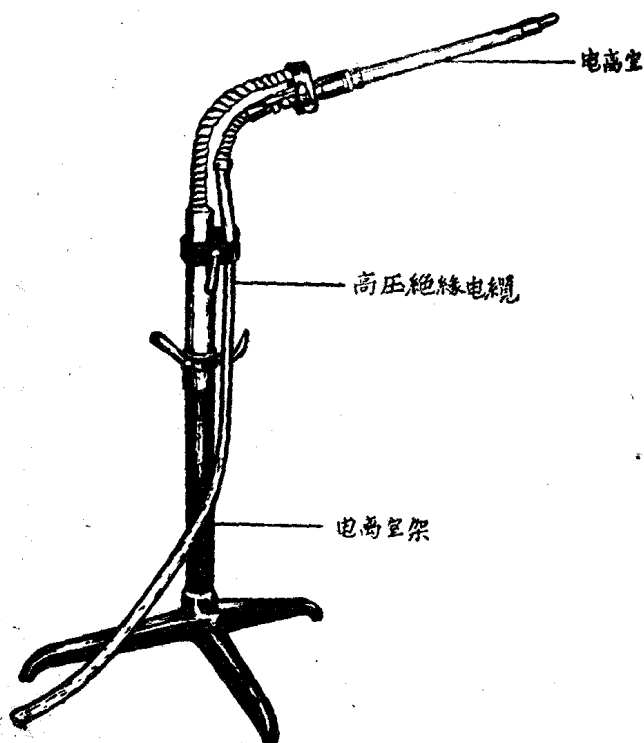


图6 电离室

使用步驟如下：

(1) 將電離室與電纜接好(注意千萬不要用手指摸電離室和電纜接頭處的塑料絕緣體)，並裝在支架上。將電離室置於 x -光管窗口下一定距離，和照射野的一定位置(一般為中心)。(注意電纜不要接近潮濕，即使沾極少量水份也會影響電纜的高度絕緣和測量結果)。此時電纜與侖琴表先不連接。

(2) 將侖琴表接通 220V 電源。按下開關，指示燈和光點亮。輕輕旋轉零點調節鈕使橢圓形光點中綫對準零刻度。如光點不夠亮可旋轉光點亮度調節鈕。

(3) 關閉侖琴表，將標準源(鐳源，10 侖/分)接在侖琴表上。將量程撥到劑率(侖/分)或累積劑量(劑量隨時間累積)標度上。打開侖琴表，如光點不在 10 侖刻度上，則輕輕旋轉左下方之光點位置調節鈕，對準粗細量程的刻度。

(4) 校正好侖琴表後，取下標準源，連接電離室電纜和侖琴表，即可準備測量。

二、 x -綫質的測定：

(一) x -綫的質： x -綫的質可用波長來表示。如加於 x -光管的高壓是從 10 千伏至 200 千伏，其波長變化可由 2Å 至 0.15Å ，在 1000 千伏時波長為 0.03Å 。短波為硬綫穿透力強，長波為軟綫穿透力弱。 x -綫的能量分布除與電壓有關外，還與陽極面的物質有關。一般醫療上都用鎢陽極，在一定範圍的高壓下，其綫譜為連續的。

(二) x -綫吸收曲綫：一般持用銅或鋁的吸收曲綫來表示 x -綫的性質。某一定的 x -綫皆可產生一吸收曲綫，反之，從此吸收曲綫可以推出此 x -綫的能量分布。將不同厚度的濾板(銅或鋁)，相繼放入 x -綫中，以侖琴計測其劑量即得一吸收曲綫，如圖 7。

(三)半價層：半價層是表示能使原 x -綫量透過一半時濾板厚度。如欲求得某一 x -綫的半價層，可用下述方法：

在160KV时
所产生的 x -綫，
經過另加 0.5 毫
米銅的滤波板，
然后用 0—3.0 毫
米不同厚度的銅
滤波板，依次放入
 x -綫中，求得透
过量的多少，繪
出曲綫图(图8)。
a 为无滤波板时 x -
綫强度，b 为用
0.2 毫米銅滤波板
时 x -綫强度。今

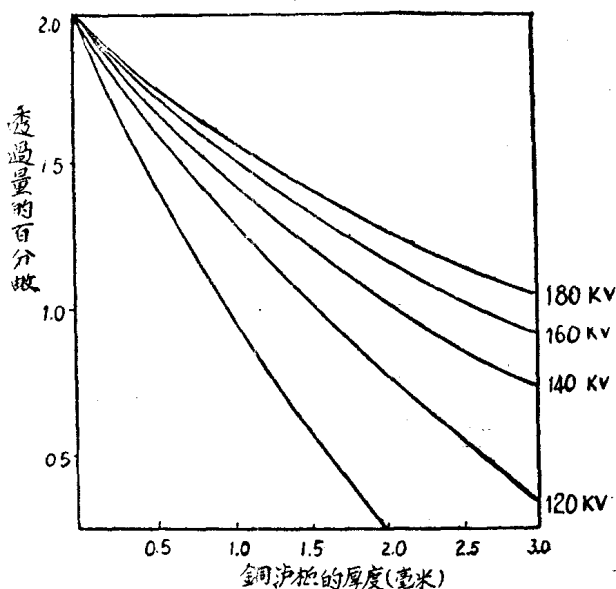
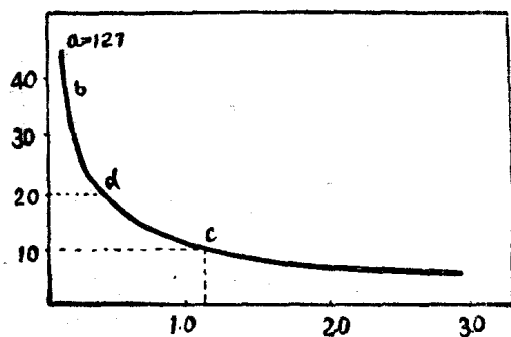


图 7 对数吸收曲綫

欲求得通过 0.5 毫米銅滤波板后 x -綫的半价层，从曲綫上可以查出
在 0.5 滤波板时， x -綫强度为 19，其一半当为 9.5，所以从横坐标查出
滤波板的总厚度为 1.2 毫米，1.2 毫米减去 0.5 等于 0.7 毫米銅，即为
所求得的半价层。

根据半价层值可以約略比較两种不同 x -光机所产生之射綫



銅滤波板厚度(毫米)

图 8 半价层曲綫

的性质。例如一部 x -光
机在 200KV，滤过值为
0.5 毫米銅时，其半价
层为 0.75 毫米銅，而另
一机器在同样滤过值和
半价层时，其电压只有
150KV。

三、实验训练:

(一) x -綫剂量測

量；

1. 空气量：按上述 x -光机及侖琴計操作法进行測量。列表記錄管电压(千伏)、管电流(毫安)、焦点皮肤距离(厘米)、滤板(毫米銅或鉛)、空气量(侖/分)。

2. 組織量：以米代替組織进行測量。列表記錄管电压、管电流、滤板、半价层、焦点皮肤距离、照射面积(平方厘米)、深度(厘米)。

二 射线对动物机体糖代謝的影响

在急性放射病初期及发病过程, 动物机体內糖代謝发生紊乱。調节糖代謝的酶系統的活性有变化, 肝糖的合成与分解也受到影
响, 可見到血糖过高和糖尿。

本部分实验目的, 使学生了解在致死剂量或半致死剂量的 x -
射线作用下, 动物机体內糖代謝的障碍。

实验三 X-射线全身一次大剂量照射后大鼠尿糖、 血糖和糖耐量曲线的測定

1. 尿中葡萄糖定性試驗

一、原理：葡萄糖含有醛基, 在热碱性溶液中, 能将高价銅还原为低价銅而出現紅色沉淀。其反应式如下：

