

高等学校教学用书

# 专门物理实验

第二卷

Г. В. 斯皮瓦克主编  
冯志超等译

人民教育出版社

高等学校教学用书



專 門 物 理 實 驗

第 二 卷

Г. В. 斯皮瓦克主編

馮志超等譯

人 民 教 育 出 版 社

---

ное издательство технико-теоретической литературы) 出版的斯皮瓦克 (Г. В. Спивак) 主編的“專門物理实验”(Специальный физический практикум) 第一卷 1945 年版譯出。原書經苏联人民委员会的全苏联高等学校委员会审定为大学教学参考書。

原書分两卷,第二卷包括四篇:第一篇为倫琴射綫物理学和倫琴射綫結構分析;第二篇为鉄磁学;第三篇为低温物理学;第四篇为照相过程。

参与本卷翻譯及校閱工作的有馮志超、王子輔、朱志沂、黃燧基、方心东、杜正弥、楊勳、謝汉德、曾德璋、吳家藩、楊明照等。以及成都电訊工程学院 7602 班同学。

## 专门物理实验

### 第二卷

Г. В. 斯皮瓦克主編

馮志超等譯

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)

中央民族印刷厂印裝

新华書店北京发行所發行

各地新华書店經售

統一書号 K13010·728 开本 850×1168 1/32 印张 10 8/16

字数 450,000 印数 7,501—11,500 定價(6) ¥1.00

1960年3月第1版 1962年3月北京第3次印刷

## 序

編写“专门物理实验”第二卷的主要目的，与本书第一卷的相同。

国立莫斯科大学物理系物理教研组的多年工作经验证明，专门物理实验是培养学生实验技能的基本环节；能够训练学生运用精密的和复杂的物理仪器，教学生利用专业物理的科学文献，并培养学生从事毕业论文和研究工作。

跟第一卷一样，本卷不但打算作为培养大学和高等师范学校物理专业学生用的参考书，而且也作为其他专业(化学、生物、高等工业学校学生)用的参考书。

国立莫斯科大学物理系的几位教授和教师参加了第二卷的编写工作。

(编写人员分工名单四段从略)

物理系的三位教授介绍了本卷前三篇的内容，——C. T. 科诺别耶夫斯基(第一篇)，H. C. 阿库洛夫(第二篇)，П. И. 卡皮查(第三篇)，他们的宝贵意见对我有极大的帮助。

Г. В. 斯皮瓦克

# 目 录

## 序

### 第一篇 倫琴射綫物理学和倫琴射綫結構分析

緒論	353
倫琴射綫工作方法上的几个問題	357
实验 1. 倫琴射綫技术	359
实验 2. 倫琴光譜分析	367
实验 3. 莫塞莱定律	376
实验 4. 天然的边界完整的晶体的測角术研究和 倫琴射綫照相研究(劳厄法)	385
实验 5. 利用劳厄照相決定單晶体中晶軸的配置	397
实验 6. 根据劳厄照相研究晶体的結構	406
实验 7. 旋轉倫琴射綫照相	413
实验 8. 倫琴射綫在多晶体中的衍射	421
实验 9. 測定晶体点陣常数的精密方法和倫琴射綫分析应用于状态图的研究	431
实验 10. 倫琴射綫結構分析(在金屬絲和在压延金屬中的晶粒位向的測定)	440
实验 11. 电子的衍射	449

### 第二篇 鉄磁学

緒論	454
实验 12. 冲击电流計	463
实验 13. 用冲击法測定鉄磁物質的磁感应强度曲綫和磁滯回綫	480
实验 14. 无定向磁强計	493
实验 15. 鉄的磁滯損耗和傅科电流損耗的測量	499
实验 16. 單晶体磁性各向异性的研究	507
实验 17. 彈性肋强对磁化曲綫行径的影响	519
实验 18. 磁致伸縮与彈性肋强	525
实验 19. 測量巴克好森跳变的傳播速度	532
定驗 20. 研究热处理对碳素鋼的显微結構及其性質的影响	539
实验 21. 过冷奥氏体等溫轉变过程的研究	544

## 第三篇 低温物理学

緒論	550
§ 1. 低温技术的一般知識	552
§ 2. 溫度的測量	574
§ 3. 一般低温实验	603
实验 22. 磁場对鉍的电阻的影响	603
实验 23. 铂电阻与溫度的关系	606
实验 24. 液态氧蒸发热的确定	608
实验 25. 銅-康銅温差电偶到 $-190^{\circ}$ 的定标	610
实验 26. 青銅溫度計的特性	612
§ 4. 超导电性. 实验 27, 28, 29 的緒論	614
实验 27. 超导体的近斯納效应	627
实验 28. 錫的超导电性	629
实验 29. 超导电性和居間态	631

## 第四篇 照相过程

緒論	633
感光材料及其选择	635
§ 1. 照相影象的形成	635
§ 2. 研究感光材料的定量方法	638
§ 3. 溴化銀感光材料的加工	645
§ 4. 照相显影动力学	649
§ 5. 显影物質和显影剂	655
§ 6. 显影剂合理配方原則	658
§ 7. 定影物質和定影剂	660
§ 8. 显影后影象的物理性質	662
§ 9. 負片的减薄和加厚	663
§ 10. 正片感光材料	666
实验 30. 感光图的获得	669
实验 31. 負片和正片过程	670
实验 32. 在一定的显影液中对指定的感光材料确定 $\gamma_m$	672
一些規則和提示	173
附录 I.	676
附录 II.	677

# 第一篇 倫琴射綫物理学 和倫琴射綫結構分析

## 緒 論

倫琴射綫是短的电磁波。倫琴射綫中超軟射綫部分包括从几百埃到 2.5—3 埃这一范围；这部分射綫强烈地被正常压强下的空气所吸收。波长从 2.5 到 0.7—1 埃的倫琴射綫为通常的玻璃所吸收，因此这些射綫要通过特殊材料所制成的小窗，才可以从倫琴射綫管中发射出来。这些射綫称为軟倫琴射綫。波长为 0.5 埃或更短的倫琴射綫具有較强的貫穿本领，可以透过金屬和别的物体。这些射綫称为硬倫琴射綫。在长波方面，倫琴射綫与短的紫外波接界；在短波方面，則与鐳的  $\gamma$ -射綫接界。

当速度足够大的电子对阴极撞击时，就产生倫琴射綫。无论是由于电子运动突然受到减速（輟止）而发送电磁脉冲的电子本身，或是由于受电子碰撞而过渡到受激状态的对阴极原子，都是輻射源。当原子由受激状态跃迁到正常状态时，便同时发出标識輻射。輟致輻射产生連續光譜，标識輻射則产生綫光譜。在通过各种材料所制成的滤色器的情况下，輟致輻射的連續光譜給出吸收光譜。从标識倫琴射綫光譜的研究，可以得到关于原子的不連續能級的概念。这是因为根据下列的玻尔頻率条件的緣故：

$$\Delta E = h\nu,$$

式中  $\nu$  是輻射譜綫的頻率，此頻率正比于原子的初态和末态的能量差  $\Delta E$ ； $h$  是普朗克常数，等于  $6.61 \times 10^{-27}$  尔格·秒。由此可见，我們可以用倫琴射綫測定原子的能級。

莫塞萊定律是關於光譜結構的基本定律。它以下列方程式建立起光譜項的頻率和元素的原子序數之間的關係：

$$\sqrt{\frac{\nu}{R}} = (Z - \sigma)A,$$

式中  $\nu$  是頻率， $R$  是里德伯常數， $Z$  是元素的原子序數， $\sigma$  是屏蔽常數，它表示電子的空間分布特性。

因為倫琴射綫光譜在某種程度上依從於原子的化學鍵，所以我們也可以用倫琴光譜學來研究原子在化合成為固體或液體時所起的变化。如果說，在傳播方面倫琴射綫以波的形態出現，那麼，當倫琴射綫與物質相互作用時，便顯出其另一特性：當它與物質的粒子交換能量時，倫琴射綫在一個單元過程中只傳送一定份量的能量和動量。例如，在倫琴光電效應中便發生這種事實，這時倫琴射綫的能量按照下列方程式轉變為激發能量或光電子能量：

$$h\nu = \varepsilon + \frac{mv^2}{2},$$

式中  $\varepsilon$  是逸出功， $\frac{mv^2}{2}$  是電子的動能。這時，倫琴射綫表現為粒子——光子。

連續倫琴光譜有短波邊界，這一事實也表明倫琴輻射的量子性，當陰極射綫的電子的全部動能按下列公式轉變為光子的能量  $h\nu$  時，便產生短波邊界：

$$\frac{mv^2}{2} = eU = h\nu.$$

由此，短波邊界可以這樣確定：

$$\lambda_{\text{最小}} = \frac{hc}{e} \cdot \frac{1}{U} \quad [\text{杜安-亨脫定律}],$$

式中  $\lambda$  是光波的波長， $c$  是光速， $e$  是電子的電荷， $U$  是倫琴射綫管中的電勢降。



在康普頓效應中，倫琴光子將自己的部分能量和動量傳給電子，因此，偏轉（“散射”）輻射的頻率便會發生改變，康普頓效應的研究提供出有關原子中電子動量分布的知識。

倫琴射線的干涉和衍射現象最容易表露出倫琴射線的波動性。由於倫琴射線的波長很短，只有用極狹的縫和特別軟的倫琴射線，才能實現狹縫的衍射。在倫琴射線從晶面反射的情況下，顯示出干涉現象。在晶體中存在有交替的原子面（面網），這些面間的距離很小，可以與倫琴射線的波長相比擬；由於這些面網的存在，反射線彼此發生干涉。結果是這樣：反射只能在某些角 $\theta$ 下才能發生，這些角滿足布喇格-烏利夫方程：

$$n\lambda = 2d \sin \theta,$$

式中 $n$ 是反射級次， $\lambda$ 是波長， $d$ 是面網間的距離。

對不同的晶面算出 $d$ ，就有可能對晶體的結構進行分析。

勞厄法是上述方法的另一形式，此法用連續光譜來照射晶體，於是能夠同時得到很多反射；對於外表沒有顯明對稱性的晶體，既可以測定晶體的對稱性質，又可以測定晶體的位向。

第三種方法是德拜法，此方法能夠測定多晶物體的結構，因而使倫琴射線結構分析的領域大大地擴大。曾用德拜法研究過很多種物質，並且得到了關於固體的晶體結構的證明。此後，在德拜法的基礎上，提出了測量晶體點陣的精確方法，倫琴射線分析法便成為研究合金結構和合金中的轉變的有力工具。近代理論冶金學是以倫琴射線結構分析所得到的結果作為基礎的。借助於精密的倫琴射線結構分析，也可以測定彈性物體的協變（協強）、熱膨脹等等。

倫琴射線干涉的強度既依從於原子在晶體中的排列（結構因素），也依從於原子的結構（原子因素）和原子振動（溫度因素）。由原子因素的測定，便能夠找出電子在原子中的空間分布，而由溫度

因素的測定則得出热振动的性質和强度。

倫琴射綫結構分析也可应用于液体的和气态分子的結構分析。

在方法上，电子結構分析或电子照相分析也是很接近于倫琴射綫結構分析的。在此处，均匀电子束起着倫琴射綫的作用，这些电子由处在真空中的阴极发射出来，并且在高压(10—50 千伏特)的电場中增加速度。根据德布罗意的理論，以速度  $v$  飞行的电子束表現得与波长为  $\lambda$  的倫琴射綫相类似；而波长  $\lambda$  与动量  $mv$  之間有下列关系：

$$mv = \frac{h}{\lambda}$$

电子束通过結晶物質的薄膜(数量級为  $10^{-6}$  厘米)之后，所造成的图样与德拜法中所得到的图样相类似。应用阴极射綫来研究晶体便是以此为基础的。在表面現象的研究中，电子照相术起着特殊的作用。

倫琴射綫在理論物理中的作用决定于这样的情况，就是倫琴射綫始終是研究原子、分子和晶体点陣的最重要的实验手段。整个原子物理学在二十世紀的发展都与在倫琴射綫物理学領域中所作出的一些最重要的发现有关。原子結構、門得雷也夫周期律的基础、輻射的量子性、輻射与物質的相互作用定律、晶体結構、凝聚状态的物質中原子的相互作用定律，所有这些都是借助于倫琴射綫建立起来的。

以上所述倫琴射綫在各个領域內的应用并不能完全說明倫琴射綫的实际意义。倫琴射綫光譜术也被应用于元素的化学分析，特别是稀有元素的分析中(新元素的发现，如 Hf, Re 等等)。在地質学、在化学的各部門，特别是在冶金学和合金的制造以及金屬的加工中，倫琴射綫結構分析都得到了应用。在医学上起着很大作用

的倫琴射綫透視，近来也广泛地运用到工业中，作为探伤术和产品質量檢查的有力方法。

## 倫琴射綫工作方法上的几个問題

### (a) 一般安全問題

在倫琴射綫實驗室中工作，因为牵涉到高电压和倫琴射綫，所以必須有特殊的預防措施，以保証工作人員的安全。近代的倫琴射綫設備，对于倫琴射綫管的全部控制工作都集中在特設的控制台上。加到控制台中所有各零件的电压必須不超过 220 伏特。变压器、整流器和設備的处在高电压下的其他部分，必須与其余的装置分隔开(用接地的金屬网或其他某种方式)。高电压或者是由能絕對保証电气安全的特殊高压電纜来饋給到倫琴射綫管，或者是由架空明綫来饋給。在用架空綫的情况下，采用汇流条<sup>④</sup>(直徑为 10—15 毫米的金屬管)作为导綫，并用絕緣子架到天花板上。借助于小滑輪将倫琴射綫管联接到汇流条上，在断路的时候，滑輪中的导綫立刻向上升高到安全标准所需的高度(3 米)。

倫琴射綫的长久照射或时常重复的照射，对有机体是有害的。为了使工作人員免于遭受直射射綫和散射射綫的作用，应采用各种防护設備。防护是不难實現的，例如采用金屬倫琴射綫管，或采用置于吸收倫琴射綫的套(套上有供狹窄射綫束出口用的小窗)中的倫琴射綫管。对电压低于 100 千伏特这一情况下的倫琴射綫，厚度为 2 毫米的鉛便足以作防护之用。在以玻璃倫琴射綫管来工作的情况下，宜于将倫琴射綫管和照相机一起置于披复鉛板的小室中，以實現倫琴射綫的防护。在用可拆卸的金屬管来工作的情况下，将照相机的出口孔和空着的小窗，用鉛来加以遮盖便足

<sup>④</sup> 取汇流条以代替导綫，为的是要减小漏电。

够了。此外，在小窗和照相机光闌之間的原倫琴射綫束的通道上，必須圍以吸收散射射綫的金屬屏風。

### (6) 照相机的調整

在以通常的无防护的热阴极玻璃倫琴射綫管来工作的情况下，就必須在沒有倫琴射綫时調整照相机，并通过光闌观察倫琴射綫管的焦点。只有在仔細地初步調整好照相机(根据灯絲)之后，才接通高电压，并使荧光屏在通过光闌的倫琴射綫的作用下发光，根据屏的发光来进行最后的調整。同时必須記住，不要太长久地处在倫琴射綫的作用下；因此，只有在檢查調整所必需的短時間內，才可以接通高电压。在用离子倫琴射綫管或具有不透可見光的小窗的倫琴射綫管来工作的情况下，在調整照相机之前，先以荧光屏来測定射綫最强的方向，知道了射綫的方向后，切断高电压，并調整照相机，然后在有倫琴射綫时对調整加以檢驗和确定。用寬光闌进行照相机的粗略調整，只有在最后的精細調整时才装上窄光闌(工作光闌)。

### (B) 輻射的單色化

常用的鎢阳极倫琴射綫管发出所謂“白色”輻射，即是說，发出具有連續光譜的輻射。光譜在短波方面的边界决定于电压，由下列关系式来决定：

$$\lambda_{\text{最小}} = \frac{12.34}{U},$$

式中  $\lambda$  以埃計， $U$  以千伏計；在长波方面的边界則决定于倫琴射綫管玻璃壁的吸收(对于我們常用的工程技术倫琴管，此边界大概是 0.9 埃)。

为了获得单色輻射，采用这样的倫琴射綫管，这种管的阳极是以前能在低于 50 千伏特的情况下获得标識輻射的物質来造成。标識輻射光譜由不同强度的几个波长(譜綫系)所构成。最常用的为

$K$  綫系, 在此綫系中,  $\alpha$  綫 (更正确地說是  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  的双重綫) 和  $\beta$  綫是最强的。使射綫束通过选择吸收滤色器就能获得单色射綫束。通常使用吸收  $\beta$  輻射的滤色器。制成滤色器的物質應該包含有这样的元素, 此种元素的原子序数比較阳极物質的原子序数小 1。  $K_\alpha$  射綫通过滤色器时减弱得比較小; 而  $K_\beta$  射綫則激起滤色器的固有标志輻射, 并且在射出时减弱了許多倍。在下面的表中列出特別常用的阳极物質和相应的滤色器。在应用滤色器的情况下, 如欲获得尽量均匀的輻射, 宜于采用超过临界电压  $1\frac{1}{2}$ —2 倍的电压。当輻射的严格均匀性和底影的呈現都关系不大时, 則可采用超过临界电压 3—4 倍的电压; 此时輻射强度会增大。

阳极物質	临界电压① (千伏特)	譜綫的 $\lambda$ (埃)	滤色器物質	滤色器厚度 (毫米)	在 1 厘米 <sup>2</sup> 中物質的量 (克)
鉄	7	1.932	鈺	0.005	0.004
銅	9	1.537	鎳	0.007	0.0067
鋅	20	0.708	鋅	0.033	0.020

## 实验 1. 倫琴射綫技术

研究倫琴射綫高压設備、設備的各組成部分的相互作用和倫琴射綫管 (电子式和离子式的)。对倫琴射綫的本性作初步了解。

### 緒 言

現代的倫琴射綫設備 (图 1、2、3 表示 4K-110-CO 型設備的电

① 产生相应的標識光譜綫的最小电压。

路)通常由下列各部分所組成: 將电压为 110—220 伏特的市电轉变为高压电的高压变压器; 將高压交流电轉变为直流电的設備(图 4); 集中控制倫琴射綫管工作所必需的全部設備的控制台。將高压交流电轉变为直流电的电路是多种多样的。最常用两极整流管来进行整流。对于超过 110 千伏特的电压, 就要采用同时包括有两极整流管和电容器的电路。

在 1895 年倫琴的发现之后, 不久又发现了倫琴射綫具有通过不透可見光的物体的本領。各种物体对倫琴射綫的透明度是不同的, 既决定于物質本身, 也决定于倫琴射綫的性質。具有較大貫穿本領的倫琴射綫称为硬倫琴射綫, 具有較小貫穿本領的則称为軟倫琴射綫。

根据倫琴射綫的吸收現象, 人們曾制备出各种硬性計来測定倫琴射綫的硬性。劈片是最簡單的硬性計, 此劈片由不同厚度的鋁片所构成, 并且披复以在倫琴射綫作用下就会发光的屏。

輻射的硬性决定于倫琴射綫的波长。波长愈短, 則射綫愈硬。倫琴射綫的硬性决定于加到倫琴射綫管上的电压值。为了改变硬性, 我們改变从自耦变压器供給到高压变压器原繞組上的电压。自耦变压器是只有一个繞組的变压器, 具有大量的抽头, 分別接到繞組的一定匝数上。在任何两个抽头之間的电压正比于其間的匝数和和在每一匝中的感应电动势。自耦变压器的各抽头均接到換擋器上。所需的电压將从換擋器送到高压变压器的原繞組。

电子倫琴射綫管的倫琴輻射强度决定于通过倫琴射綫管的电流值, 此电流又决定于阴极灯絲的加热程度。借助于改变灯絲降压变压器原繞組中的电流来調节灯絲电流。在灯絲变压器中, 要根据高压电压来考虑原繞組和副繞組間的絕緣。

通常利用球形放电器来測量高电压。根据火花所击穿的放电

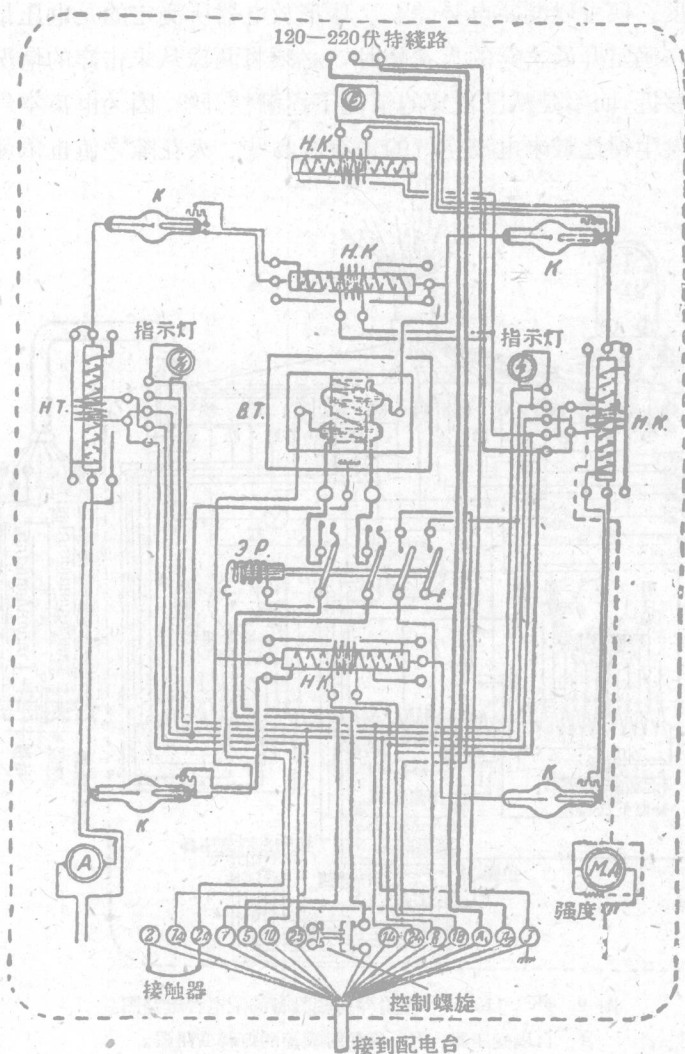


图 1. 4K-110-00 型倫琴射綫设备的电路图。

H. K. — 两极整流管的灯絲变压器；H. T. — 倫琴射綫管的灯絲变压器；K — 两极整流管；B. T. — 高压变压器；3. P. — 高压变压器的电磁开关。

隙长度，便可以測定电势差<sup>①</sup>。球形放电器所測定的是电压最大值。在确定开始击穿火花隙时，必須将两球从未击穿的情况下逐漸移近，而不是从已击穿的情况下逐漸拉开<sup>②</sup>，因为电离空气的击穿发生得比較未电离空气的击穿容易些。火花隙之值也依赖于

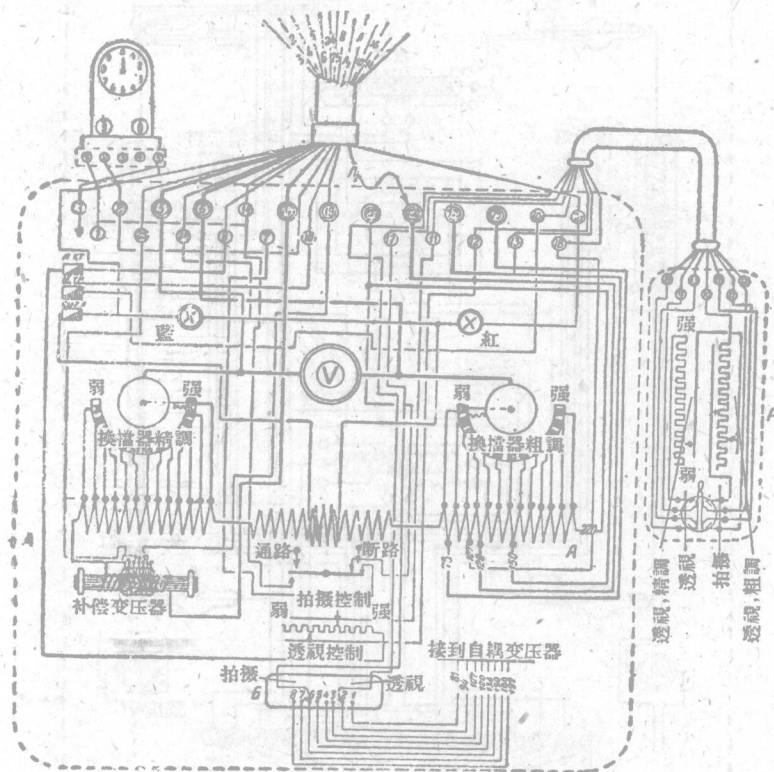


图 2. 4K-110-CO 型倫琴射綫设备的配电台电路图。

A—自耦变压器；P—倫琴射綫管的灯絲变阻器。

① 在标准状况的空气中，当电場强度为 30 千伏特/厘米时，便发生击穿。

② 原文此句太簡略，为了方便讀者起見，作了适当补充——譯者注。



球的直徑。为了使两球之間不致有电弧出現，必須在放电器中串接一个高电阻(盛着蒸餾水的玻璃管)。

倫琴射綫管的电压通常是根據与高压变压器原繞組并联的伏特計的讀数来确定。知道了变压系数，便可以根据伏特計的讀数来确定高电压(副繞組的)的值。严格地說来，只有变压器处在空載(即是說未加上負載)的情况下，根据变压系数来求定副电压才是正确的。为了将倫琴射綫设备的伏特計的讀数轉化为  $kV_{最大}$ ，可利用球形放电器来进行測定，并以此作出副电压对原电压的依从关系曲綫图 [ $kV_{最大} = f(U)$ ]。此曲綫图必須針对所給定的两极整流管并在放电电流工作值(通过倫琴射綫管的电流)的情况下所作出。

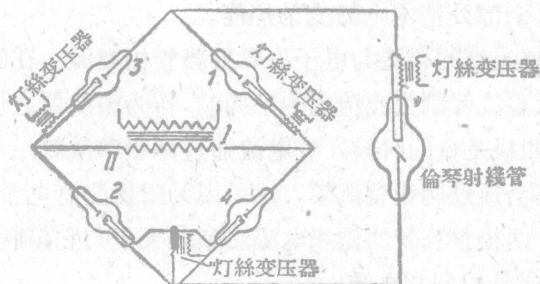


图 3. 4K-110-00 型倫琴射綫设备的高压电路原理图。

也可以用靜电伏特計来进行高电压的測定。此仪器的作用是以靜电吸引力为基础的，因此，它所指出的不是电压最大值，而是有效值。

电子倫琴射綫管的构造如下：在一个达到技术上抽气极限 ( $10^{-5}$  毫米



图 4. 电压和电流曲綫。

汞柱或更高的真空)的玻璃泡中，封入两个电极——阴极和阳极。阴极是灼热的鎢絲。灼热的灯絲发射电子，当有电压加到倫琴射綫管的阴极和阳极之間时，便产生电流。在一般情况下，电流强度决定于所釋出的自由电子数量(就是說，决定于灯絲的溫度)和