

大学物理实验补充讲义

2009.3

目录

实验一 Investigation of the Relationship between the Resistance
and the Applied Voltage for an Electric Lamp

实验二 金属电子逸出功的测定

实验三 碰撞打靶实验

实验一 Investigation of the Relationship between

the Resistance and the Applied Voltage for an Electric Lamp

1. Apparatus

6.3 V , 2.5W lamp bulb; rheostat (0-30 Ω), capable of carrying 2 A ; voltmeter (0-15 V); ammeter (0-2 A); switch; 16 V supply-if this is a. c. make sure that instruments designed to measure a. c. are used.

2. Theory

Ohm's law is only true if the temperature of the conductor through which the current is flowing remains constant. As the current passed by the filament of the lamp, the temperature rises and thus a graph of applied voltage against current flowing will not be a straight line. The departure from the linear relationship between current and voltage when the temperature varies can thus be demonstrated by this experiment.

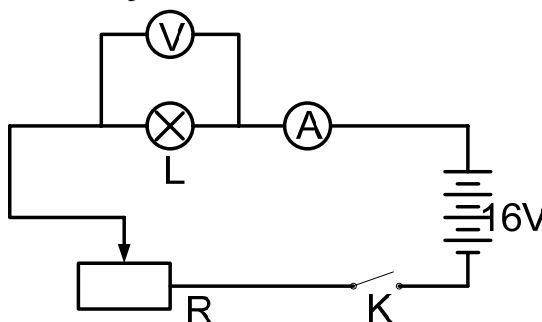


Fig. 1

The resistance of the filament of a tungsten lamp increases with rising temperature. In some current range the relationship between the current flowing a lamp and the applied voltage for the lamp is

$$V = KI^n$$

which K and n are constants related the bulb.

3. Procedure

Set up the circuit shown in Fig. 1 in which L is the lamp; V is the voltmeter; A is the ammeter; R is the rheostat; and K is the switch.

Adjust R until it has its maximum value and switch on the current. Note the readings of A and V. Reduce R by suitable amounts so that a series of corresponding values of current and potential difference for the lamp is obtained. It is safe to "over-run" the lamp for shot periods so that higher temperatures than those at which it would normally operate can be investigated. In selecting the values of the current for which to observe the potential difference remember that the temperature changes considerably before the filament begins to glow and therefore several readings should be taken in that range.

4. Record and Calculation

Tabulate the observations as follows.

Current I (A)	Potential difference V (V)	Resistance(V/ I) R (Ω)	Power(V I) P (W)

Plot a graph of I against V and on the same axes plot a graph of resistance against voltage. Discuss the results.

Plot the power (in Watt) dissipated against voltage, making the latter the abscissa. Discuss the results.

Calculate K and n. Find the resistance of tungsten filament lamp in room temperature.

5. Discussion:

- 1. How to decide the adjustment range and the fine adjustment rang of the rheostat?
- 2. How to judge the significant figures of the parameters after calculation?
- 3. How to find out the resistance of voltmeter in order to amend the lamp’s resistance that is acquired on the outside connecting of ammeter?

进阶实验：研究光电二极管的光电特性

目的要求：

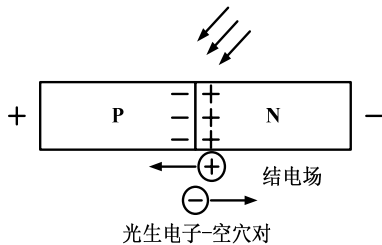
观察和测量光电二极管的光电特性；

仪器用具：

光电二极管，直流电源，小灯泡（6V，0.15A），数字万用电表两只（其中一只表有直流电源 200 μA 量程），电阻箱（电位器），电学实验板等。

实验原理：

1. 光伏效应



当光照射在 PN 结上时，由光子所产生的电子和空穴... 图 1 PN 结光伏效应原理图 PN 结两端产生电动势。这一现象称为光伏效应。如图 1 所示。利用半导体 PN 结光伏效应可制成光伏探测器，常用的光伏探测器有光电池、光电二极管、光电三极管等。

2. 光电二极管

光电二极管的结构与一般二极管相似，管子封装在透明玻璃外壳中，它的 PN 结装在管顶，便

于接受光的照射。光电二极管的光照特性主要有伏安特性、入射光强-电流（电压）特性。没有光照时，光电二极管的反向电阻很大，反向电流很小（一般为纳安数量级），光电二极管处于截止状态；受光照射时光电二极管处于导通状态，光电流的方向与反向电流一致，光线越强，光电流越大。

3. 光照下的 PN 结特性

光照下 PN 结的伏安特性曲线如图 2 所示。无光照时，伏安特性曲线和普通二极管的一样。有光照时，PN 结吸收光能，产生反向电流。光照越强，光电流越大。

光伏器件用作探测器时，需要加反偏压或是不加偏压。不加偏压时，光伏器件工作在图 2 的第四象限，称为光伏工作模式。加反偏压时，光伏器件工作在图 2 的第三象限；

无光照时电阻很大，电流很小；有光照时，电阻变小，电流变大，而且电流随光照变化，光照特性类似于光敏电阻，称做光电导工作模式。但是，光伏器件和光敏电阻的工作机理不同，特性也有很大差别。

光电二极管按照光伏模式工作在图 2 的第四象限，有光照时光电二极管的电流为

$$I = I_L - I_s (e^{qU/kT} - 1) \quad (1)$$

式中 q 为电子电荷量， k 为玻尔兹曼常数， T 为结温（单位为K）， I 为总电流， U 为光电二极管的输出电压， I_s 为反向饱和电流， I_L 为光电流。光生电流 I_L 与光照有关，随光照的增大而增大，呈线性关系。

4. 光电二极管的开路电压和短路电流

在PN结开路时，总电流为零，光电二极管的输出电压称为开路电压 U_{∞} ，将 $I = 0$ 代入式（1），就可以得到开路电压与光照的对数成正比。如果将PN结短路，输出电压为零，将 $U = 0$ 代入式（1），即可得到短路电流 I_{∞} ，与入射光照度成正比。从图 2 的伏安曲线上也可以得到 U_{∞} 和 I_{∞} ，伏安曲线与电压轴的交点为开路电压 U_{∞} ，与电流轴的交点为短路电流 I_{∞} 。

光电二极管可以按照光光伏型模式工作（即不加外偏压），也可以按光电导型模式工作。硅光电二极管通常用作检测元件，工作在负偏压下，其光电线性好，而且响应快，基本的应用电路如图 3 所示。

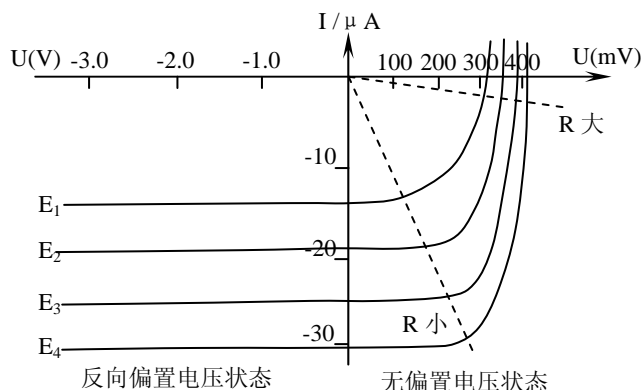


图 2 光伏探测器的伏安特性曲线

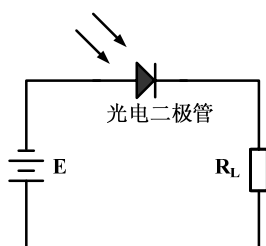


图 3 光电二极管基本应用电路

实验内容：

1. 观察光电二极管的光电特性。

- (1) 用数字万用电表二极管测试档确定光电二极管的正负极；
- (2) 使用数字万用电表直流电压量程测量开路电压 U_{∞} ，改变光照条件，观察 U_{∞} 的变化。用数字万用电表直流电流 200 μ A 量程（200 μ A 档内阻约为 1000 Ω ）粗测光电流 I ，改变光照条件，观

察光电流 I 的变化。

2. 测量光电二极管处于光伏型模式的光电特性。

令光电二极管工作在零偏压下，用电阻箱作为负载电阻，光源用小灯泡（6V，0.15A）。固定小灯泡的工作电流，使灯泡的发光强度不变。改变小灯泡和光探测器的距离，利用照度与成反比的关系，测量光电二极管的光电线性（相对）。

（1） 测量光电二极管的短路电流与入射光照度的关系

（2） 测量光电二极管的开路电压与入射光照度的关系

3. 测量光电二极管处于光电导模式的光电特性

光电导型工作模式的电路原理如图。请设计电路，用来测量光电二极管的光电特性。

思考题：

什么是光伏器件的开路电压？和通常说的二极管的正向导通电压有何不同？什么是短路电流？

实验二 金属电子逸出功的测定

金属电子逸出功(或逸出电位)的测定实验,综合性地应用了直线测定法、外延测量法和补偿测量法等基本实验方法。在数据处理方面有比较好的技巧性训练。因此,这是一个比较有意义的实验。对工科学生阅读理论部分有困难时,可以在承认公式的前提下进行实验。

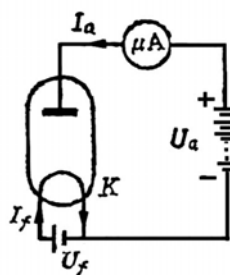
〔实验目的〕

1. 用里查孙直线法测定金属(钨)电子的逸出功。
2. 学习直线测量法、外延测量法和补偿量法等基本实验方法。

3. 进一步学习数据处理的方法。

〔实验原理〕

若真空二极管的阴极(用被测金属钨丝做成)通以电流加热,并在阳极上加以正电压时,在连接这两个电极的外电路中将有电流通过,如图一所示。这种电子从热金属灯丝发射的现象,称为热电子发射。从工程学上说,研究热电子发射的目的之一是用以选择合适的阴极材料。通过对阴极材料物理性质的研究,掌握其热电子发射的性能,这是物理实验的一个测试项目。



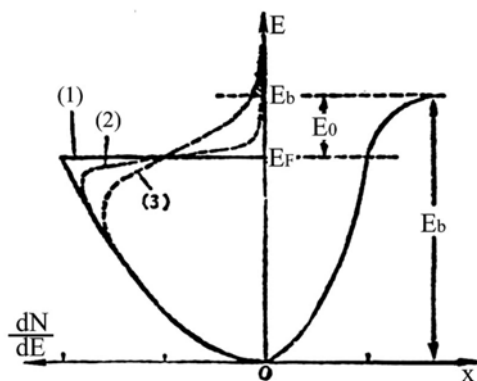
图一 真空二极管外电路图

1. 电子的逸出功

根据固体物理学中金属电子理论,金属中的传导电子能量的分布是按费米—狄拉克能量分布的。即

$$f(E) = \frac{dN}{dE} = \frac{4\pi}{h^3} (2m)^{\frac{3}{2}} E^{\frac{1}{2}} [\exp(\frac{E - E_F}{kT}) + 1]^{-1} \quad (1)$$

式中, E_F 称费米能级。



图二 费米-狄拉克能量分布图

在绝对零度时电子的能量分布如图二中曲线(1)所示。这时电子所具有的最大能量为 E_F 。当温度 $T > 0$ 时,电子的能量分布曲线如图二中曲线(2)、(3)所示。其中能量较大的少数电子具有比 E_F 更高的能量,其数量随能量的增加而指数减少。

在通常温度下由于金属表面与外界(真空)之间存在一个势垒 E_b , 所以电子要从金属中逸出,至少具有能量 E_b 。从图二中可见,在绝对零度时电子逸出金属至少要从外界得到的能量为

$$E_0 = E_b - E_F = e\phi$$

E_0 (或 $e\phi$) 称为金属电子的逸出功 (或功函数), 其常用单位为电子伏特 (eV), 它表征要使处于绝对零度下的金属中具有最大能量的电子逸出金属表面所需要给予的能量。 ϕ 称为逸出电势, ϕ 与电量 e 的乘积等于以电子伏特为单位的电子逸出功。

可见, 热电子发射须用提高阴极温度的办法来改变电子的能量分布, 使其中一部分电子的能量大于势垒 E_b 。这样, 能量大于势垒 E_b 的电子就可以从金属中发射出来。因此, 逸出功 $e\phi$ 的大小, 对热电子发射的强弱, 具有决定性作用。

2. 热电子发射公式

根据费密—狄喇克能量分布公式 (1), 可以导出热电子发射的里查孙—热西曼公式

$$I = AST^2 \exp\left(-\frac{e\phi}{kT}\right) \quad (2)$$

式中 I —热电子发射的电流强度, 单位为 A。

A —和阴极表面化学纯度有关的系数, 单位为 $A \cdot m^{-2} \cdot K^{-2}$ 。

S —阴极的有效发射面积, 单位为 m^2 。

T —发射热电子的阴极的绝对温度, 单位为 K。

K —玻尔兹曼常数, $k=1.38 \times 10^{-23} J \cdot K^{-1}$ 。

原则上我们只要测定 I 、 A 、 S 和 T , 就可以根据 (2) 式计算出阴极材料的逸出 $e\phi$ 。但困难在于 A 和 S 这两个量是难以直接测定的, 所以在实际测量中常用下述的里查孙直线法, 以设法避开 A 和 S 的测量。

3. 里查孙直线法

将 (2) 式两边除以 T^2 , 再取常用对数得

$$\lg \frac{I}{T^2} = \lg AS - \frac{e\phi}{2.30kT} = \lg AS - 5.04 \times 10^3 \phi \frac{1}{T} \quad (3)$$

从 (3) 式可见, $\lg \frac{I}{T^2}$ 与 $\frac{1}{T}$ 成线性关系。如以 $\lg \frac{I}{T^2}$ 为纵坐标, 以 $\frac{1}{T}$ 为横坐标作图, 从所得直线的斜率, 即可求出电子的逸出电势 ϕ , 从而求出电子的逸出功 $e\phi$ 。该方法叫里查孙直线法。其特点是可以不必求出 A 和 S 的具体数值, 直接从 I 和 T 就可以得出 ϕ 的值, A 和 S 的影响只是使 $\lg \frac{I}{T^2} \sim \frac{1}{T}$ 直线产生平移。类似的这种处理方法在实验和科研中很有用处。

4. 从加速电场外延求零场电流

为了维持阴极发射的热电子能连续不断地飞向阳极, 必须在阴极和阳极间外加一个加速电场 E_a 。然而由于 E_a 的存在会使阴极表面的势垒 E_b 降低, 因而逸出功减小, 发射电流增大, 这一现象称为肖脱基效应。可以证明, 在阴极表面加速电场 E_a 的作用下, 阴极发射电流 I_a 与 E_a 有如下的关系

$$I_a = I \exp\left(\frac{0.439\sqrt{E_a}}{T}\right) \quad (4)$$

式中 I_a 和 I 分别是加速电场为 E_a 和加速电场为零时的发射电流。对 (4) 式取对数得

$$\lg I_a = \lg I + \frac{0.439}{2.30T} \sqrt{E_a} \quad (5)$$

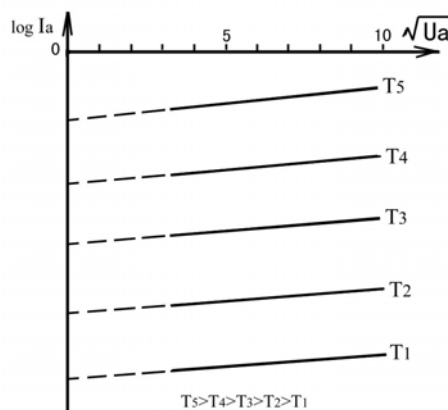
如果把阴极和阳极做成共轴圆柱形，并忽略接触电势差和其它影响，则加速电场可表示为

$$E_a = \frac{U_a}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (6)$$

式中 r_1 和 r_2 分别为阴极和阳极的半径， U_a 为阳极电压，将(6)式代入(5)式得

$$\lg I_a = \lg I + \frac{0.439}{2.30T} \frac{\sqrt{U_a}}{\sqrt{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}}} \quad (7)$$

由(7)式可见，对于一定尺寸的管子，当阴极的温度 T 一定时， $\lg I_a$ 和 $\sqrt{U_a}$ 成



图三 图解法求零场电流

线性关系。如果以 $\lg I_a$ 为纵坐标，以 $\sqrt{U_a}$ 为横坐标作图，如图三所示。这些直线的延长线与纵坐标的交点即为在一定温度下加速电场为零时的发射电流 I 的对数值 $\lg I$ 。

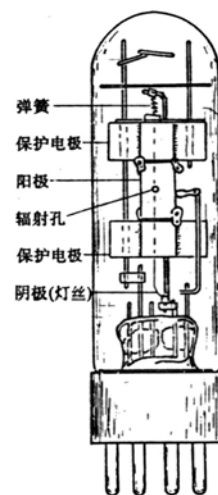
综上所述，要测定金属材料的逸出功，首先应该把被测材料做成二极管的阴极。当测定了阴极温度 T ，阳极电压 U_a 和发射电流 I_a 后，通过上述的图解法，得到零场电流 I 的对数值 $\lg I$ 。再根据(3)式，即可求出逸出功 $e\phi$ (或逸出电位 ϕ)。

【实验仪器】

全套仪器包括理想(标准)二极管、温度测量系统、专用电源、测量阳极电压、电流等的电表。以下分别加以介绍。

1. 理想(标准)二极管

为了测定钨的逸出功，我们将钨作为理想二极管的阴极(灯丝)材料。所谓“理想”是指把电极设计成能够严格地进行分析的几何形状。根据上述原理，我们设计成同轴圆柱形系统。“理想”的另一含义是把待测的阴极发射面限制在温度均匀的一定长度内和近似地能把电极看成是无限长的，即无边缘效应的理想状态。为了避免阴极的冷端效应(两端温度较低)和电场不均匀等的边缘效应，在阳极两端各装一个辅助(保护)阳极，它们在管内相联后再引出管外，但阳极和它们绝缘。因此保护阳极虽和阳极加相同的电压，但其电流并不包括在被测热电子发射电流中。在阳极上还开有一个小孔(辐射孔)，通过它可以看到阴极，以使用光测高温计测量阴极温度。理想二极管的结构如图四所示。



图四 理想二极管结构

2. 阴极(灯丝)温度 T 的测定

阴极温度 T 的测定有两种方法：一种是用光测高温计通过理想二极管阳极上的小孔，直接测定。但用这种方法测温时，需要判定二极管阴极和光测高温计灯丝的亮度是否相一致。该项判定具有主观性，尤其对

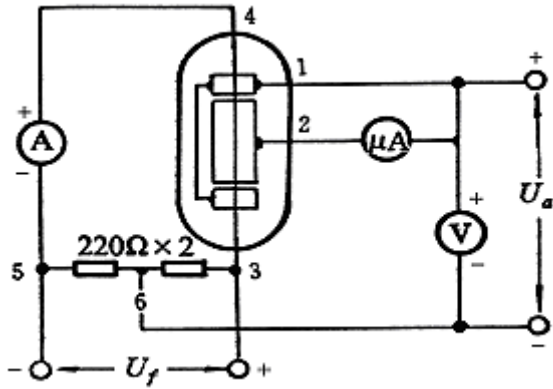
初次使用光测高温计的学生，测量误差更大。另一种方法是根据已经标定的理想二极管的灯丝（阴极）电流 I_f ，查下表得到阴极温度 T 。相对而言，此种方法的实验结果比较稳定。但测定灯丝电流的安培表，应选用级别较高的，例如 0.5 级表。

理想二极管灯丝电流与温度的关系

灯丝电流 I_f/A	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
灯丝温度 $T/10^3K$	1.72	1.80	1.88	1.96	2.04	2.12	2.20

3. 实验电路

根据实验原理，实验电路如图五所示。



图五 实验电路图

〔实验步骤〕

1. 熟悉仪器装置，并连接好安培表和微安表、电压表，测量灯丝电流和阳极电流及阳极电压。接通电源，预热 10 分钟。连接电路时，切勿将阳极电压 U_a 和灯丝电压 U_f 接错，以免烧坏管子。

2. 将理想二极管灯丝电流 I_f 从 0.55~0.75 安培，每间隔 0.05 安培进行一次测量。对应每一灯丝电流，在阳极上加 25, 36, 49, ...144V 诸电压，各测出一组阳极电流 I_a 并算出其对数值 $\lg I_a$ 。记录数据于表一，并换算至表二。

3. 根据表二数据，在坐标纸上作出 $\lg I_a \sim \sqrt{U_a}$ 图线。其中纵坐标为阳极电流 I_a 的对数值 $\lg I_a$ 。再根据坐标图上 $\lg I_a \sim \sqrt{U_a}$ 直线的延长线与纵坐标上的截距，从图上直接读出不同阴极温度时的零场电流 I ，并换算成表三。

4. 根据表三数据，并以 $\frac{1}{T}$ 为横坐标，以 $\lg \frac{I}{T^2}$ 为纵坐标，据此作出 $\lg \frac{I}{T^2} \sim \frac{1}{T}$ 图线。根据直线斜率求出钨的逸出功 $e\phi$ (或逸出电位 ϕ)。

[实验数据处理]

表一 在不同阳极电压和灯丝温度下的阳极电流

$I_a (10^{-6}\text{A})$ $U_a (\text{V})$ $I_f (\text{A})$	25	36	49	64	81	100	121	144
0.55								
0.60								
0.65								
0.70								
0.75								

表二 在不同阳极电压和灯丝温度下的阳极电流的对数值

$\lg I_a$ $\sqrt{U_a}$ $T(10^3\text{K})$	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
1.80								
1.88								
1.96								
2.04								
2.12								

表三

$T/10^3\text{K}$	1.80	1.88	1.96	2.04	2.12
$\lg I$					
$\lg \frac{I}{T^2}$					
$\frac{1}{T}(10^{-4} K^{-1})\text{K}$					

根据表三作 $\lg \frac{I}{T^2} \sim \frac{1}{T}$ 图，用图解法求直线斜率 m

直线斜率: $m = \frac{\Delta(\lg \frac{I}{T^2})}{\Delta(\frac{1}{T})} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$

逸出电势 $\phi = \frac{m}{-5.04 \times 10^3} = \underline{\hspace{2cm}} (\text{V})$

逸出功 $e\phi = \underline{\hspace{2cm}} \text{eV}$

与逸出功公认值 $e\phi = 4.54\text{eV}$ 相比的相对误差: $E_r = \underline{\hspace{2cm}} \%$

[注意事项]

1. 实验前要仔细预习实验原理和步骤, 并把实验的接线图弄清楚。
2. 画坐标图时一定要仔细选好坐标并把坐标纸上的格子数清楚。

[参考文献]

1. 潘人培 董宝昌 物理实验 (教学参考书), 高等教育出版社, 1990. 10. 348-351
2. 潘人培 物理实验, 东南大学出版社, 1990. 6. 282-284

附录 I

最小二乘法 and 线性拟合

由一组实验数据找出一条最佳的拟合直线, 常用最小二乘法, 所得的变量之间的相关函数关系称为回归方程。最小二乘法的原理是: 若能找到最佳的拟合直线, 那么拟合直线上各相应点的值与测量值之差的平方和在所有直线中应是最小的。

若回归方程的形式为两个变量 x 与 y 之间存在的线性关系, 表示为:

$$y = a + bx$$

是一条直线, 则 a, b 为

$$a = \frac{\sum x_i \sum y_i - \sum x_i \sum (x_i y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$
$$b = \frac{n \sum (x_i y_i) - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

根据以上原理, 本实验计算的拟合公式为:

$$\log I = \frac{\begin{vmatrix} \sum \log I_a & \sum \sqrt{U_a} \\ \sum (\log I_a) \sqrt{U_a} & \sum U_a \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 8 & \sum \sqrt{U_a} \\ \sum \sqrt{U_a} & \sum U_a \end{vmatrix}}$$
$$m = \frac{\begin{vmatrix} 5 & \sum \log \frac{I}{T^2} \\ \sum \frac{1}{T} & \sum (\log \frac{I}{T^2}) (\frac{1}{T}) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 5 & \sum \frac{1}{T} \\ \sum \frac{1}{T} & \sum (\frac{1}{T})^2 \end{vmatrix}}$$

附录 II

欧文·威廉斯·里查孙

里查孙是“里查孙定律”的创立者, 1879年4月26日生于英国约克郡的杜斯伯里。1904年获

剑桥大学硕士学位，毕业后留卡文迪许实验室从事热离子的研究工作。1906 年赴美任普林斯顿大学物理学教授，著名物理学家 A.H. 康普顿(Arther Holly Compton, 1892-1962, “康普顿效应”的发现者，1927 年获诺贝尔物理学奖)是他的研究生。1913 年回英国，受聘于伦敦大学任物理学教授和物理实验室主任。1921 年至 1928 年间，他还兼任英国物理学会会长等社会职务。1939 年被封为爵士。第二次世界大战期间他致力于雷达、声纳、电子学实验仪器、磁控管和速调管等的研究。1944 年从伦敦大学退休。

1901 年 11 月 25 日里查孙在剑桥哲学学会宣读的论文中称“如果热辐射是由于金属发出的微粒，则饱和电流应服从下述定律

$$I = AT^2 \exp(-\frac{b}{T})$$

这个定律已被实验完全证实。当时年仅 22 岁里查孙就这样一鸣惊人地为 27 年后获得诺贝尔物理学奖打下基础。

1911 年里查孙提出了、之后又经受住了 20 年代量子力学考验的热电子发射公式(里查孙定律)为

$$I = AST^2 \exp(-\frac{e\phi}{KT})$$

里查孙由于对热离子现象研究所取得的成就，特别是发现了里查孙定律而获得 1928 年度诺贝尔物理学奖。

实验三 碰撞打靶实验

物体间的碰撞是自然界中普遍存在的现象，从宏观物体的一体碰撞到微观粒子的碰撞都是物理学中极其重要的研究课题。

本实验通过两个体的碰撞、碰撞前的单摆运动以及碰撞后的平抛运动，应用已学到的力学定律去解决打靶的实际问题，从而更深入地了解力学原理，并提高分析问题、解决问题的能力。

一. 实验原理

1.碰撞：指两运动物体相互接触时，运动状态发生迅速变化的现象。（“正碰”）是指两碰撞物体的速度都沿着它们质心连线方向的碰撞；其他碰撞则为“斜碰”。

2.碰撞时的动量守恒：两物体碰撞前后的总动量不变。

3.平抛运动：将物体用一定的初速度 v_0 沿水平方向抛出，在不计空气阻力的情况下，物体所作的运动称平抛运动，运动学方程为 $x=v_0t$ ， $y=\frac{1}{2}gt^2$ （式 t 中是从抛出开始计算的时间， x 是物体在时间 t 内水平方向的移动距离， y 是物体在该时间内竖直下落的距离， g 是重力加速度）。

4.在重力场中，质量为 m 的物体在，被提高距离 h 后，其势能增加了 $E_p=mgh$

5.质量为 m 的物体以速度 v 运动时，其动能为 $E_k=\frac{1}{2}mv^2$ 。

6.机械能的转化和守恒定律：任何物体系统在势能和动能相互转化过程中，若合外力对该物体系统所做的功为零，内力都是保守力（无耗散力），则物体系统的总机械能（即势能和动能的总和）保持恒定不变。

7.弹性碰撞：在碰撞过程中没有机械能损失的碰撞。

8.非弹性碰撞：碰撞过程中的机械能不守恒，其中一部分转化为非机械能（如热能）。

二. 实验仪器

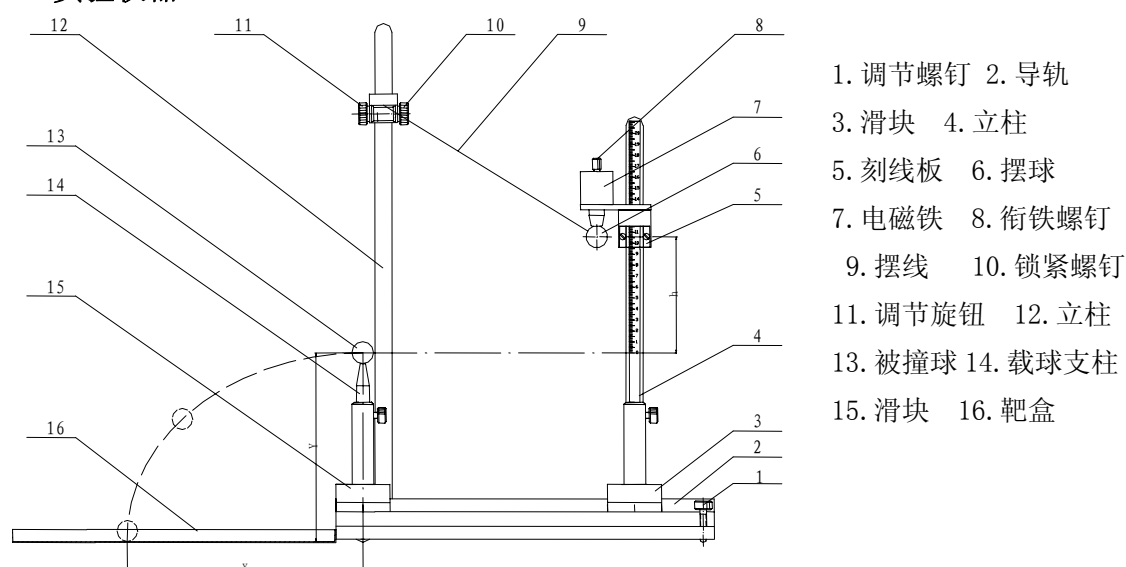


图1 碰撞打靶实验仪

碰撞打靶实验仪如图1所示，它由导轨、单摆、升降架（上有小电磁铁，可控断

通)、被撞小球及载球支柱,靶盒等组成。载球立柱上端为锥形平头状,减小钢球与支柱接触面积,在小钢球受击运动时,减少摩擦力做功。支柱具有弱磁性,以保证小钢球质心沿着支柱中心位置。

升降架上装有可上下升降的磁场方向与杆平行的电磁铁,杆上的有刻度尺及读数指示移动标志。仪器上电磁铁磁场中心位置、单摆小球(钢球)质心与被碰撞小球质心在碰撞前后处于同一平面内。由于事前二球质心被调节成离导轨同一高度。所以,一旦切断电磁铁电源,被吸单摆小球将自由下摆,并能正中地与被撞球碰撞。被撞球将作平抛运动。最终落到贴有目标靶的金属盒内。

小球质量可用电子天平称衡(电子天平公用)。

三. 实验内容

(一) 必做内容:

观察电磁铁电源切断时,单摆小球只受重力及空气阻力时运动情况,观察二球碰撞前后的运动状态。测量二球碰撞的能量损失。

1.调整导轨水平(为何要调整?如何用单摆铅直来检验?)如果不水平可调节导轨上的两只调节螺钉。

2.用电子天平测量被撞球(直径和材料均与撞击相同)的质量 m ,并以此也作为撞击球的质量。

3.根据靶心的位置,测出 x ,估计被撞球的高度 y (如何估计?),并据此算出撞击球的高度 h_0 。(预习时应自行推导出由 x 和 y 计算高度 h_0 的公式)

4.通过绳来调节撞击球的高低和左右,使之能在摆动的最低点和被撞球进行正碰。

5.把撞击球吸在磁铁下,调节升降架使它的高度为 h_0 。(如何测量)细绳拉直。

6.让撞击球撞击被撞球,记下被撞球击中靶纸的位置。(可撞击多次求平均),据此计算碰撞前后总的能量损失为多少?应对撞击球的高度作怎样的调整,才可使击中靶心?(预习时应自行推导出由 x' 和 y ,及计算高度差 $h-h_0=\Delta h$ 的公式。)

7.对撞击球的高度作调整后,再重复若干次试验,以确定能击中靶心的 h 值;请老师检查被撞球击中靶纸的位置后记下此 h 值。

8.观察二小球在碰撞前后的运动状态,分析碰撞前后各种能量损失的原因。

(二) 选做内容

观察二个不同质量钢球碰撞前后运动状态,测量碰撞前后的能量损失。用直径、质量都不同的被撞球,重复上述实验,比较实验结果并讨论之。(注意:由于直径不同,应重新调节升降台的高度,或重新调节细绳。)

四. 思考题

1.如两质量不同的球有相同的动量,它们是否也具有相同的动能?如果不等,哪个动能大?

2.找出本实验中,产生 Δh 的各种原因(除计算错误和操作不当原因外)。

3.在质量相同的两球碰撞后,撞击球的运动状态与理论分析是否一致?这种现象说明了什么?

- 4.如果不放被撞球，撞击球在摆动回来时能否达到原来的高度？这说明了什么？
- 5.此实验中，绳的张力对小球是否做功？为什么？
- 6.定量导出本实验中碰撞时传递的能量 ϵ 和总能量 E 的比 $\epsilon = \epsilon/E$ 与两球质量比 $\mu = m_1/m_2$ 的关系。
- 7.本实验中，球体不用金属，用石蜡或软木可以吗？为什么？
- 8.举例说明现实生活中哪些是弹性碰撞？哪些是非弹性碰撞？它们对人类的益处和害处如何？
- 9.据科学家推测，6500 万年前白垩纪与第三纪之间的恐龙灭绝事件，可能是由一颗直径约 10km 的小天体撞击地球造成的。这种碰撞是否属于弹性碰撞？

五．实验拓展

- 1.*本实验中，即使操作完全正确，撞击球高度的计算值 h_0 与实际值 h 仍然是不同的，请分析其主要原因（如空气阻力、摩擦力、非正碰、非弹性碰撞等等），并设计实验来验证你的结论。
- 2.用石蜡、软木或其他软材料自制被撞球，重复上述实验，比较实验结果，并讨论之。
- 3.有一个长方体七球实验架如图 2 所示，球体是用实心硬塑料制成，直径 8cm，质量约为 140g，悬挂在框架两横梁对应的挂钩上，每一相邻挂钩相距恰好等于塑料球的直径，球心处在同一水平线上，球与球之间刚好接触，球体在运动时能保持在一个铅垂平面内。用该实验架做质量相等和质量不等的弹性碰撞和完全非弹性碰撞实验，并找出其规律。（用黑封泥可以将两个或数个球粘接在一起，还可以增加球的质量。）

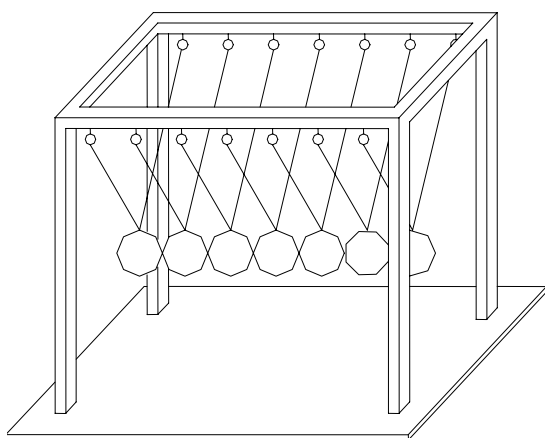


图 2 七球碰撞架