

苏联 IO. B. 柯斯狄科夫 著

程 丰 宇 译



管象显

无线电知识
丛书

人民邮电出版社

显 象 管

苏联 IO. B. 柯斯狄科夫著

程 丰 宇 译

人 民 邮 电 出 版 社

Ю. В. КОСТЫКОВ
ПРИЕМНЫЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ТРУБКИ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1962

内 容 提 要

本书通俗地叙述显象管中所发生的物理过程，介绍了电子光学的基本原理。书中讲到显象管符号的组成、结构特点、技术参数和特性以及使用时的注意事项。

本书可供无线电系师生，电视接收和修理人员 and 无线电爱好者阅读，也可作为显象管的简明手册。

显 象 管

著 者：苏联 Ю. В. 柯 斯 狄 科 夫

译 者：程 丰 宇

出版者：人 民 邮 电 出 版 社

北京东四 6 条 13 号

(北京市书刊出版业营业许可証出字第〇四八号)

印刷者：北 京 市 印 刷 一 厂

发行者：新 华 书 店

开本 787×1092 1/32

印张 2 16/32 页数 40

印刷字数 56,000 字

1963 年 10 月北京第一版

1963 年 10 月北京第一次印刷

印数 1—4,650 册

统一书号：15045·总 1363—无 371

定价：(9) 0.30 元

DS89/12

目 录

第一章 电子光学的基本原理	1
1. 电子和离子	1
2. 电子在电场中的运动	2
3. 电子在磁场中的运动	5
4. 静电聚焦	7
5. 磁聚焦	14
6. 光学与电子光学的差别	18
7. 电子透镜的象差	19
8. 静电偏转	24
9. 电磁偏转	28
10. 聚焦线圈与聚焦磁铁	30
第二章 电子束显象管	34
11. 电子束的获得与控制	34
12. 被扫描的表面的平衡电位	45
13. 阴极发光	49
14. 荧光屏的参数和特性	56
15. 金属化荧光屏	64
16. 中性滤光器	66
17. 电子束管符号的组成	68
18. 显象管的结构特点	69
19. 显象管的参数和特性	73
20. 显象管的说明	73

第一章 电子光学的基本原理

为了了解电视显象管中所发生的现象与过程，必须先介绍一下电子光学的基本原理。

电子光学，是电子学中的一部分，是研究带电微粒在电场和磁场中的运动。

所以称为电子光学，是因为所发生的过程与电子的运动有关，并且电子束在电场和磁场中的行径在许多方面与光学中所研究的光线在不同的透明介质中的行径颇为相似。由于电子束与光线行径的相似，使得光学中许多早已熟知并已研究成熟的定律可挪用于电子光学中，甚至光学中的术语也被广泛地用于电子光学。

1. 电子和离子

电子是物质中的微粒，具有负电荷 e ，等于 1.592×10^{-19} 库仑。

静止电子的质量 m_0 ，等于 9×10^{-28} 克。运动电子的质量根据下式增长：

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (1)$$


式中 v ——电子运动的速度；

c ——光速。

实际上，运动着的电子，仅在速度接近于光速时，它的质量与静止电子的质量才有所不同。甚至 $v = 0.1c$ 时，电子质量的增加也小于0.5%。在很多公式中，电子的质量和电荷之

比 $\frac{e}{m}$ 等于 1.769×10^8 克/庫侖。

除电子外，在电视显象管中还会形成离子。所谓离子就是任何物质的原子得到了，或者相反地，失去了一个或几个电子，而分别带正电或负电，其大小等于电子的电荷，或者是电子电荷的数倍。最简单的离子（氢离子）的质量几乎比电子大1840倍。其它物质的离子还要重些。

2. 电子在电场中的运动

处于电场中的电子上作用着力 F ，它的大小等于电子电荷与电场强度的乘积，方向与电场力的方向相反，也就是

$$F = -eE. \quad (2)$$

同时，根据牛顿第二定律，这个力又等于

$$F = ma, \quad (3)$$

式中 m ——电子的质量；

a ——力 F 所产生的加速度。

由式(2)及(3)可看出，电场使电子得到的加速度等于：

$$a = -\frac{eE}{m}. \quad (4)$$

假如电子的初速为零，并且电场是均匀的，则在力 F 的作用下，电子作直线等加速运动，并获得速度 v ，它与电子通过的电位差 U 有关。这时，电子所具有的动能将等于：

$$\frac{mv^2}{2} = eU \quad (5)$$

从上式即可求得电子所获得的速度

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}. \quad (6)$$

在电视技术中，电子的速度远小于光速，因此比值 $\frac{e}{m}$ 可认为是常数。这时 U 以伏特表示，速度以米/秒表示，于是

$$v = 5.93 \times 10^5 \sqrt{U} \quad (7)$$

这就是电子在电场中所获得的速度，它仅与电子所通过的电位差有关。这样，就可以很方便地用伏特来计算电子的速度。

当加速电压超过 20 千伏时，电子的速度实际上比式(7)所得的数值略小。这是由于电子的质量有所增加。电子实际的速度与按式(7)算得的速度间的偏差如图 1 所示。

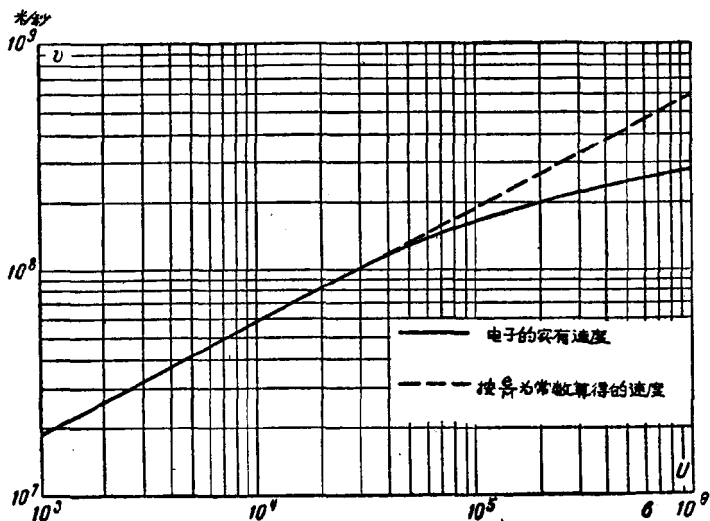


图 1 电子的速度与加速电压的关系

当电子初速不等于零时，则应将电子的初速与它在电场中

* 如 v 用公里/秒表示，并取整数，则简化成 $v = 600\sqrt{U}$ 公里/秒。

获得的速度作几何相加。

設电子初速为 v_0 ，并且在 $t=0$ 瞬間电子处于坐标的原点，而电场的方向平行于 y 軸(图 2)，則电子的运动方程如下：

$$y = \frac{v_{0y}}{v_{0x}}x - \frac{eE}{2mv_{0x}^2}x^2. \quad (8)$$

为了便于想象电子在电场中运动的情况，必須記住：电子在电场中运动的軌迹与物体在引力場中运动的軌迹是一样的。它們的軌迹都是拋物綫。图3所示，就是在初速同为 v_0 ，但方向不同的情况下，根据式(8)所画出的电子軌迹。

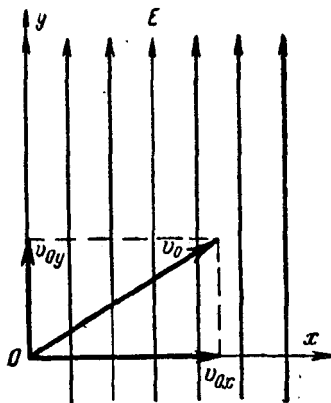


图 2 說明电子在电场中的运动方程的图

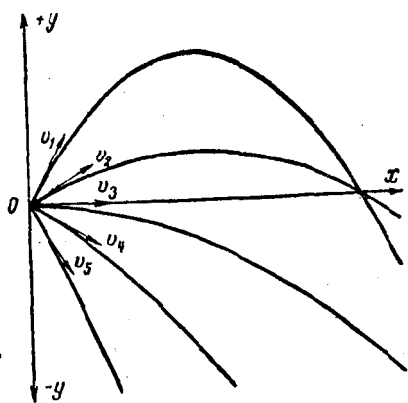


图 3 当初速为不同方向时电子在电场中的軌迹

在电视技术中，我們特別感到兴趣的是下列一些特殊情况：

1) $v_{0x}=0$, $v_{0y}=-v_0$ ，也就是电子初速与电场力綫的方向相反。这时，作用于电子的力 F 与初速的方向相同。电子的速度和动能随着在电场中运动而逐渐增加。电场使电子的运动

加速。电子則从电场中取得能量。电子的軌迹是一条直线，它的方程式可表示如下：

$$y = -v_0 t + \frac{at^2}{2} = -\sqrt{\frac{2eU}{m}}t - \frac{eE}{2m}t^2. \quad (9)$$

2) $v_{0x}=0$, $v_{0y}=v_0$, 也就是电子的初速与电场力线的方向相同。

作用于电子的力 F , 与初速的方向相反。随着电子在电场中运动, 它的动能和速度将逐渐下降。电场使电子的运动减速, 而电子則将能量交给电场。当电子所儲有的动能完全耗尽以后 (当 $y = \frac{U}{E}$ 时), 电子就改变方向, 并开始作反向运动。这时, 电子的运动方程如下:

$$y = v_0 t + \frac{at^2}{2} = \sqrt{\frac{2eU}{m}}t - \frac{eE}{2m}t^2. \quad (10)$$

3) $v_{0x}=v_0$, $v_{0y}=0$, 也就是电子初速的方向与电场的方向垂直。

这时, 电子的运动方程如下:

$$y = -\frac{eE}{2m} \frac{x^2}{v_0^2} = -\frac{E}{4U} x^2. \quad (11)$$

上式指出, 电子的初速愈大, 則电子在电场的作用下所走过的路程就愈短。

3. 电子在磁场中的运动

作用于在磁场中运动的电子的力

$$F = 4\pi evH \sin \alpha (10)^{-7}, \quad (12)$$

式中 e ——电子的电荷;

v ——电子运动的速度;

H ——磁場强度；

α ——矢量 $\vec{v}$ 与 $\vec{H}$ 間的夹角。

这个力的方向总与通过矢量 $\vec{v}$ 和 $\vec{H}$ 的平面垂直 (图 4)。

从式 (12) 中可看出：

1) 假如电子是静止的 ($v=0$)，或者沿磁場的方向运动 ($\alpha=0$)，則磁場对电子沒有影响。

2) 作用于电子的力，仅是由电子速度的法向分量 (垂直于磁場) $v_n = v \sin \alpha$ 引起的。电子速度的切向分量 (对磁場來說) $v_\tau = v \cos \alpha$ 对电子的运动不起任何作用 (图 4)。

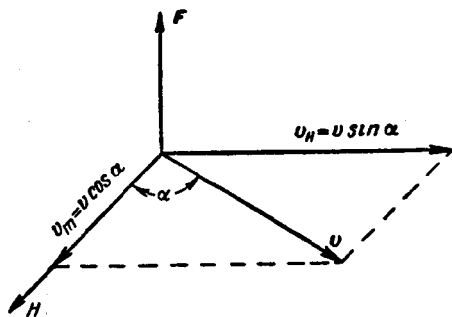


图 4 在磁場中运动的电子所受的力的方向
(磁場只会使电子的軌道弯曲)。

在均匀的磁場中，由于磁場强度 H 和电子运动的速度 v 都是恒定不变的，因此，在电子軌跡上各点的曲率都是相同的。于是，在垂直于磁場的平面內运动的电子，将作圆周运动。这个圆周的半径决定于下式：

$$r = \frac{mv}{4\pi eH} (10)^7 = \sqrt{\frac{2}{4} \frac{m}{e}} \frac{\sqrt{U}}{H} (10)^7 = 2.69 \frac{\sqrt{U}}{H}. \quad (13)$$

电子沿这个圆周旋轉的周期决定于公式

由于作用于电子的力总是与它的速度垂直，所以这个力所作的功也等于零。磁場并不改变电子的动能，所以电子速度的大小保持不变，只是使它的方向改变 (磁

$$T = \frac{m}{2e} \frac{1}{H} \times 10^7 = 2.84 \times 10^{-5} \frac{1}{H}, \quad (14)$$

也就是电子的旋轉周期只和磁場强度有关，而与电子的初速无关。磁聚焦系統的作用就是基于这个特点。

假如速度为 v_0 的电子，沿角 α 进入均匀磁場，那末，正如上面已指出的，速度的切向分量 $v_{\tau} = v_0 \cos \alpha$ 与磁場不起作用，电子就以这个速度沿磁場运动。

这时，速度的法向分量 $v_n = v_0 \sin \alpha$ 迫使电子作圆周运动。这两种运动綜合的结果，将使电子沿螺旋綫运动

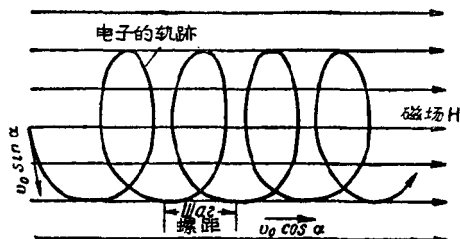


图 5 方向与磁場方向成 α 角的电子以初速 v_0 进入磁場的軌跡

螺距 S ，也就是电子在速度的切向分量的作用下，旋轉一周所走的路程，可按下面公式求出：

$$S = T v_0 \cos \alpha = \frac{m \times 10^7}{2eH} v_0 \cos \alpha. \quad (15)$$

由于电视用的电子束管中，电子总是以不大的扩散角进入磁場，所以可以认为 $\cos \alpha \simeq 1$ ，这时螺距

$$S \simeq \frac{10^7}{H} \sqrt{\frac{m}{2e}} U = 16.9 \frac{\sqrt{U}}{H}. \quad (15a)$$

4. 静电聚焦

一般规律 用电場来使电子束聚焦的设备，称为静电透鏡，它是以电子通过电場时，軌道将被弯曲这一现象为基础的。只

有在沒有場（不論電場或磁場）的地方，電子才作直線等速運動，軌道才不彎曲。例如，以細金屬網做的無場室就是這種沒有電場的等位空間的實例。

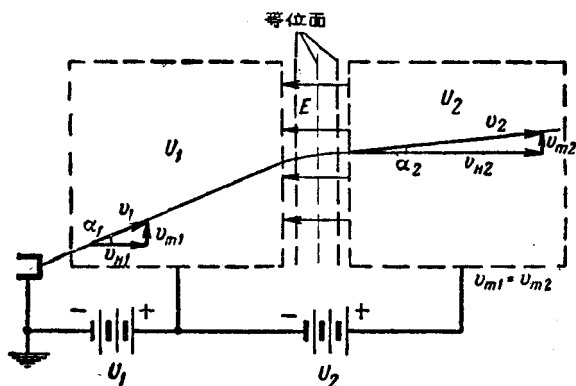


圖 6 在兩個等電位區域之間電子束的折射

當電子從電位為 U_1 的這樣一個空間，向電位為 $U_2 (> U_1)$ 的另一空間過渡時（圖 6），電子在過渡區域內必然進入電場。這個電場的作用力是沿分界面的法線方向，而等位面則與分界面平行。因此，當電子從這一區域過渡到另一區域時，電子速度的法向分量逐漸增長，而速度的切向分量仍保持不變，也就是 $v_{m1} = v_{m2}$ ，或 $v_1 \sin \alpha_1 = v_2 \sin \alpha_2$ ，由此得

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\sqrt{U_2}}{\sqrt{U_1}}. \quad (16)$$

所得的表示式與光線在兩個折射系數不同的媒質的分界處的折射律 $\left(\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1}\right)$ 相類似。在此情況下，與 $\sqrt{U}$ 成比例的某一數值就相當於折射系數。

準確地按照光學透鏡，也就是折射系數突變的透鏡，來製造靜電透鏡（例如，由兩層細金屬網構成的球形透鏡，網上加

有适当的电压), 看来是不恰当的。这样得到的透镜将不够“光滑”和“透明”。同时, 发现: 等位面接近球形的电场, 可看作是无数很薄的球面透镜, 电子束在其中的折射是连续而平滑地进行的。

由式(16)可得出对实践有用的规则: 电子在电场中由低电位向高电位运动而穿过等位面时, 在穿过等位面的那一点上, 电子偏向等位面的法线。与此相反, 依靠初速由高电位向低电位运动的电子, 将偏离法线。这一规则, 对任何形状的等位面都是正确的。

孔阑 最简单的静电透镜——孔阑, 是中心有小孔的金属圆片, 它将不同电场强度的电场隔开。在这个情况下, 等位面穿

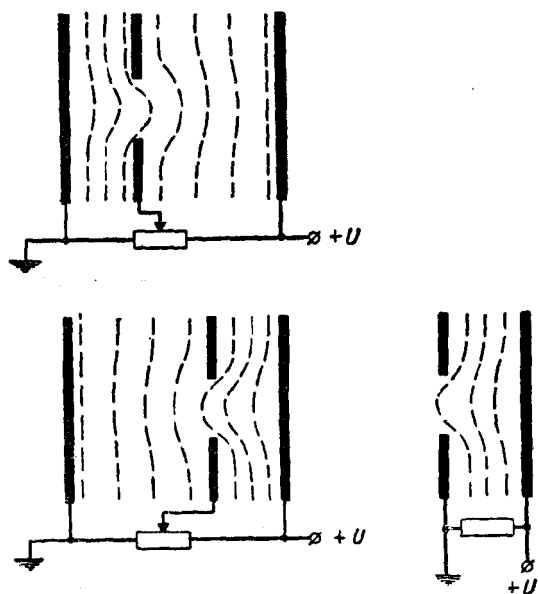


图 7 被孔阑分开的电场的等位面的形状

过小孔，从电场强度较大的区域向电场强度较小的区域“凸”出（图7）。这样凸出的等位面，将使电子会聚或发散，这要看它凸向那一面（电位降低的一面，还是电位增加的一面）而定。作用不同的孔阑的例子如图8所示。

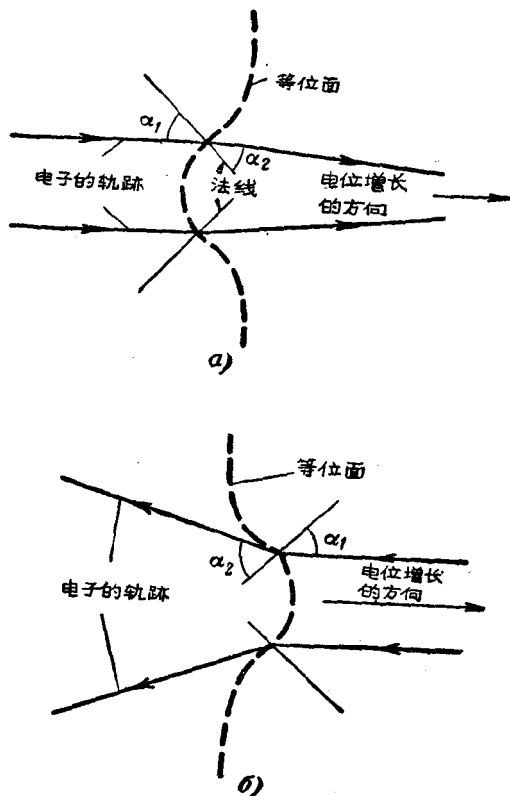


图8 电子运动时，在孔阑中偏转的情形
 α —向电位增长的那面运动（在加速场中）； β —向电位减少的那面运动（在减速场中）

在搞清該透鏡是聚焦透鏡还是发散透鏡时，除了可用上述規則外，还可以使用光学类比。向电位增加的方向行进并穿过等位面的电子束，将象光綫通过同样形状的光学折射面那样偏轉(图9)。

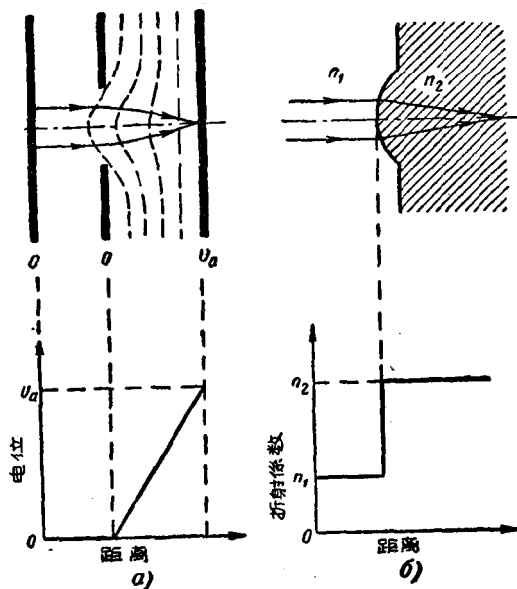


图9 孔閘型的会聚静电透鏡(a)和它的光学类比(b)

加速(偶电位)透鏡 这种透鏡广泛用于显象管中。它是由两个共軸的金属圓筒构成。圓筒的直径可以相同，也可以不同。有时，其中一个圓筒是用涂在管壳內壁的导电涂层来代替。由两个不同直径的圓筒組成的静电透鏡如图10,a所示。第一个圓筒(直径較小)的电位要比第二个圓筒低些。圍繞两圓筒軸綫发散的电子束的电子从第一圓筒那边进入而碰上起会聚

作用的一些凸出等位面。电子经过两个圆筒之间的间隙后，就进入起发散作用的凹进的一些等位面。虽然电场是对称的，但是透镜第一部分的聚焦作用大于第二部分的发散作用，因为在第一部分中，电子运动较慢，而在第二部分中速度较快。所以，整个透镜还是起会聚作用。这种“聚焦-发散”系统的光学类比如图10,6所示。

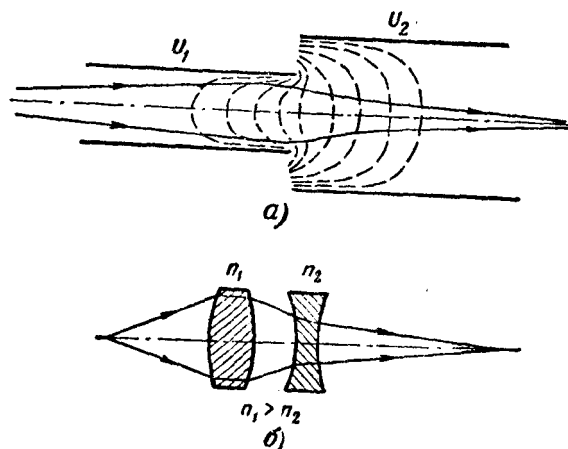


图 10 由两个圆筒构成的加速透镜(a)和它的光学类比(b)

这种偶电位透镜的焦距决定于：

- 1) 电位的大小和比值 $\frac{U_1}{U_2}$ (当电位增高时焦距将缩短)；当电位 U_1 和 U_2 成比例地改变，而比值 $\frac{U_1}{U_2}$ 保持不变时，焦距改变，但它们的比值仍保持不变；
- 2) 圆筒直径的比值 $\frac{d_2}{d_1}$ (当 $\frac{d_2}{d_1}$ 增加时，焦距也随着增加)；
- 3) 圆筒间的距离(焦距随圆筒间距离的增加而增大)。

在电子束管中，利用焦距与电位的大小和电位的比值的关系，来使电子束聚焦。通常，第二圆筒（第二阳极）的电位是固定不变的，而第一圆筒（第一阳极）的电位可以变化，以实现聚焦。

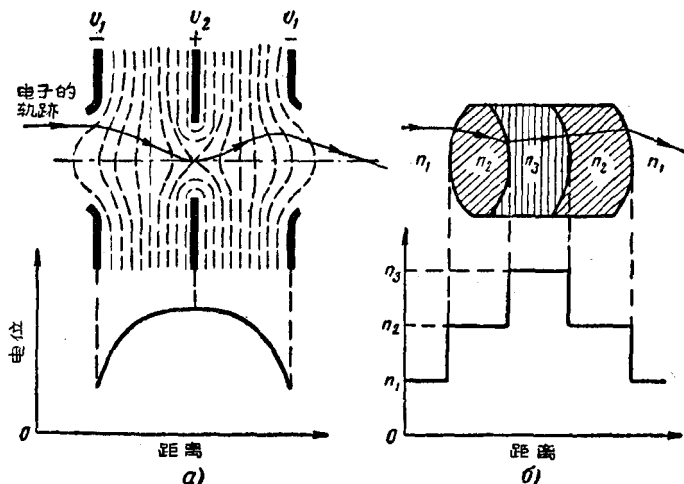


图 11 对称静电透镜(a)和它的光学类比(b)

对称透镜 对称透镜通常由三块平行的金属圆片构成，圆片的中心都开有小孔(图11)。两边的圆片联接在一起，并加有电位 U_1 。中间的圆片上加有电位 U_2 。显然，当 $\frac{U_2}{U_1} = 1$ 时，透镜的电场强度等于零，于是，电子穿过透镜时，不会受到偏转。这种透镜的焦距等于无穷大。当比值 $\frac{U_2}{U_1}$ 的大小不等于 1 时，焦距便为有限值。引用上述电子在电场中的折射规律，将不难观察到：在穿过透镜的一部分路程中，电子会聚，而在另一部分路程中，电子发散。但是，总的来说，对称透镜对电子起会聚作用，而与电位的比值 $\left(\frac{U_2}{U_1} > 1 \text{ 或 } \frac{U_2}{U_1} < 1\right)$ 无关。