

姓名	学号	班级	选题	论述	结论	总分
周辉	2013301020171	天眷班				

电子的磁聚焦

作者：周辉 学号：2013301020171 班级：天眷班

摘要：

本文简要介绍了电子在磁场中的运动，磁聚焦和磁透镜原理及应用，介绍了用磁透镜作为主要器件的电子显微镜的基本原理及应用。

背景介绍

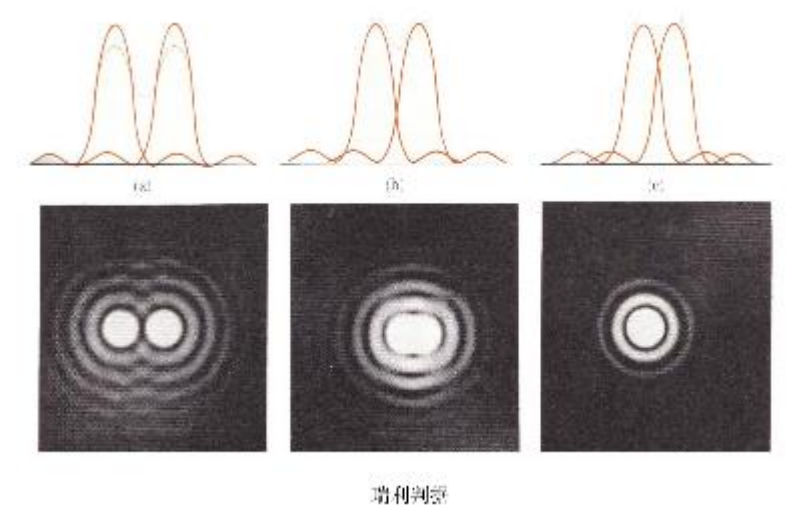
随着人们对微观领域研究的深入，光学显微镜已经不能满足我们的需求，电子显微镜应运而生。光学显微镜中光学元件透镜将光线聚焦从而成像。然而透镜并不能将电子聚焦。联系到运动的电子在磁场的作用下速度大小不变，只发生方向上的改变，可以用磁场来会聚电子成像。电子显微镜便是在这一基础上建造的。

正文

1.电子显微镜诞生的意义

瑞利判据：

按几何光学，物体上的一个发光点经透镜成像后得到的应是一个几何像点。而由于光的波动性，一个物点经透镜后在象平面上得到的是一个以几何像点为中心的衍斑。如果另一个物点也经过这个透镜成像，则在像平面上产生另一个衍射圆斑。当两个物点相距较远时，两个像斑也相距较远，此时物点是可以分辨的，若两个物点相距很近，以致两个象斑重叠而混为一体，此时两个物点就不能再分辨了。



当两个物点刚能分辨时，其对透镜中心的张角 成最小分辨角，由上图可知，它正好与艾里斑对透镜中心的张角相等，即有 对某种光学仪器而言，一个物点通过其成的象斑应越小，其分辨率才越高。最小分辨角：

$$\phi_0 = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

可见光的波长范围为 450~750nm, 用可见光来成像, 最小分辨角有限, 当我们要研究更微小的物体时, 达不到我们的要求。

德布罗意关系式: $\lambda = \frac{h}{p}$

可知: 电子的动量可以加速到很大, 由德布罗意关系式, 此时的电子波长很小, 用电子来成像, 可以达到很小的分辨角, 提高分辨率, 从而满足我们对更为微观的世界的探索。

当然近场光学显微镜也能满足我们的要求, 这里不作介绍。

2. 电子在磁场中的运动

(1) 电子在磁场中受到洛伦兹力, 其表达式为:

$$\vec{f} = q \vec{v} \times \vec{B}$$

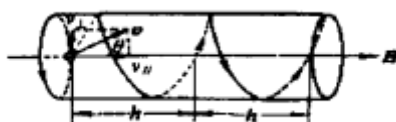
式中: q -运动电荷

\vec{v} -电子的速度

\vec{B} -电子所在处的磁场的磁感应强度

由该式可以看出, 洛伦兹力永远垂直于电子的运动方向, 即洛伦兹力在电子的运动方向上的分量始终为 0, 洛伦兹力不做功, 只改变电子的速度方向, 不改变电子的速度大小。

(2) 磁聚焦现象



在均匀磁场中, 电子的速度 \vec{v} 和磁感应强度 \vec{B} 成一任意的夹角 θ , 这时我们可以把 \vec{v} 分解为 $v_{//} = v \cos \theta$ 和 $v_{\perp} = v \sin \theta$ 两个分量, 它们分别平行和垂直于 \vec{B} 。若只有垂直分量, 粒子将在垂直于磁场的平面内作圆周运动; 若只有平行分量, 磁场对粒子没有作用力, 粒子将沿磁场的方向作匀速直线运动。当两个分量都存在时, 粒子的轨迹将成为一条螺旋线, 其螺距为:

$$h = v_{//} T = \frac{2\pi m v_{//}}{qB}$$

它与垂直分量无关。

我们假设从磁场某点发射出一束很窄的带电粒子流, 其速率 v 差不多相等, 且与磁场方向的

夹角都很小。

$$v_{//} = v \cos \theta \approx v$$

有: $v_{\perp} = v \sin \theta \approx v\theta$

由于速度的垂直分量不同, 在磁场的作用下, 粒子将沿不同半径的螺旋线前进, 但由于它们

的速度的平行分量近似相等, 经过 $h = v_{//}T = \frac{2\pi m v_{//}}{qB} \approx \frac{2\pi m v}{qB}$ 距离后, 它们又会重新会聚。

这与光线经透镜后的现象有些类似, 所以称为磁聚焦现象。

3. 模拟磁聚焦现象

用 Euler 方法来分析:

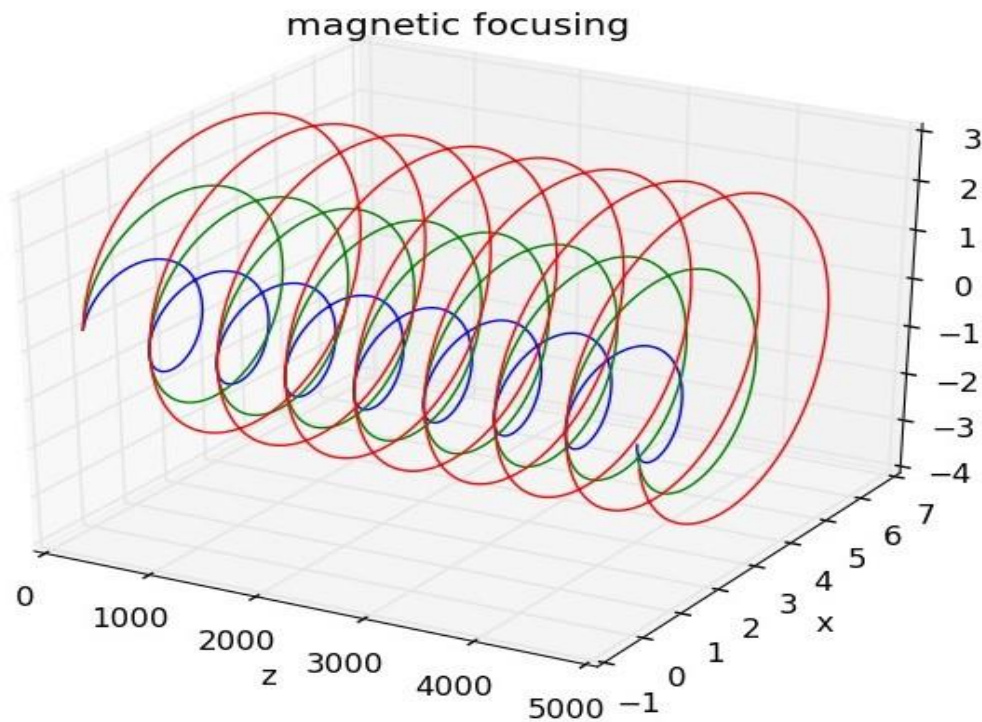
$$a_{x,i} = -qv_{y,i}B, \quad a_{y,i} = qv_{x,i}B$$

$$v_{x,i+1} = v_{x,i} + a_{x,i}\Delta t, \quad v_{y,i+1} = v_{y,i} + a_{y,i}\Delta t$$

$$x_{i+1} = x_i + v_{x,i}\Delta t, \quad y_{i+1} = y_i + v_{y,i}\Delta t$$

$$z = v_z t \quad t_{i+1} = t_i + \Delta t$$

代码已经上传, 画出的图像如下图:



我们假设从磁场某点发射出一束很窄的带电粒子流, 其速率 v 差不多相等, 且与磁场方向的

夹角都很小时，经过距离一段后又会重新会聚。

4.磁透镜

上述磁聚焦现象要靠长螺线管来实现。实际中我们使用得更多的是短线圈产生的非均匀磁场的聚焦作用，这里线圈的作用与透镜相似，故称为磁透镜。

电磁透镜的焦距可用下式计算：

$$f \approx K \frac{U_r}{(IN)^2},$$

K 是常数， U_r 是经相对论修正后的电子的加速电压， $U_r = U(1 + 0.9788 \times 10^{-6})$ ， IN 是透镜的激磁安匝数。

电磁透镜的成像公式与光学显微镜一致，表达公式如下：

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

透镜的放大倍数：

$$M = \frac{b}{a}$$

正是利用以上的基本原理制作出了电子显微镜的主要部件。电子显微镜在 100KV 的加速电压下，放大倍数能达到几十万倍，能提供样品的微观组织，结构情况的信息。如果利用特殊样品对样品进行动态观测，便能揭示样品在相变和形变过程中组织结构的变化规律。电子显微镜仍然处在研究更新的状态，是我们实验的一个重要工具。

结论

(1)本文介绍了电子在磁场中的运动，磁聚焦和磁透镜原理及应用，介绍了用磁透镜作为主要器件的电子显微镜的基本原理及应用。

(2)模拟了磁聚焦的现象，验证了粒子在均匀磁场中将螺旋前进。

论文引用

[1]赵凯华，陈熙谋. 电磁学[M]. 北京：高等教育出版社

[2]王世中，臧鑫士. 电磁显微技术[M]. 北京：高等教育出版社

[3]游璞，于国萍. 光学. 北京：高等教育出版社