

高等学校教学参考书

电磁学思考题解答

下 册

四川师范学院物理系电磁学教研组编

一九八〇·四

高等学校教学参考书

电磁学思考题解答

下 册

主 编: 张茂柏 封小超
编 者: 车士琦 邓永元 方华先 文道友
王满华 李纯一 邹昌淑 杨能富
易良雨 敖福生 熊 湘
审 閱: 王忠亮

一九八〇·四

内 容 提 要

本书共解答电磁学思考题700余个，题目主要选自各类高等院校《电磁学》统编教材，一部分国外较流行的《电磁学》教材以及一部分结合教学的自编思考题。全书分上、下两册。上册包括真空中的静电场、静电场中的导体、介质中的静电场、稳恒电流；下册包括稳恒磁场、电磁感应和暂态过程、磁介质、电磁波、电磁学单位制。

本书可供基础物理课教师和理工科院校大学生参考。

序

如果你是一名基础物理课教师或理工科大学生，也许有这样的体会：

关于思考题的讨论，无论在教或学的过程中，都是一件比较困难的任务。但是，它对于深入理解物理学的基本概念和规律，提高分析问题和解决问题的能力，是很有帮助的。正因为如此，教师和学生们都希望能有一点这方面的参考书籍。

遗憾的是，至今为止，我们尚未见到一本以思考题的讨论为主要内容的参考书。原因之一，可能是思考题灵活多变，对其解答的具体方式和深浅程度的掌握，都容易引起争论；稍微考虑不周道，还会出现错误。为了避免留下辫子，人们往往比较谨慎。

谨慎是必要的，但该做的事总得要有人去作。更何况不同意见的争论，可以促进大家思考更多的问题。为此，我们愿意在这个问题上作一点抛砖引玉的工作。由于意识到任务的严峻性，我们注意了尽量不犯或少犯错误。然而，正如读者们可以理解的是，砖毕竟是粗糙的，难免有一些裂纹和孔洞。我们的心愿是，粗糙的砖仍然可以用来铺路，踏在它的上面往前走，或许可以引出一些纯净无瑕的玉石。

本来，对每个思考题反复推敲的时间，应当充分一些。但不少读者来信，希望能够尽快得到本书。任务艰巨，水平有限，加之时间仓促，缺点错误在所难免，希望读者们谅解和指正。

编 者 一九八〇、四 于狮子山

目 录

上 册

第一章	真空中的静电场.....	(5—65)
第二章	静电场中的导体.....	(66—139)
第三章	介质中的静电场.....	(140—181)
第四章	稳恒电流.....	(182—256)

下 册

第五章	稳恒磁场.....	(261—340)
第六章	电磁感应和暂态过程.....	(341—423)
第七章	磁介质.....	(424—455)
第八章	电磁波.....	(456—473)
第九章	电磁学单位制.....	(474—480)

第五章 稳恒磁场

5—1. 在一磁场中, 放入试验线圈以测定磁感应强度的大小, 如果在二个不同的点上放入两个相同的试验线圈, 放入的那一瞬时测出的力矩大小相等, 能否断定这两点的磁感应强度大小一定相等?

答: 由定义式 $B = \frac{L_{\text{最大}}}{m}$ 知, 磁场中某点磁感应强度的大小 B , 取决于试验线圈(磁矩为 $\vec{m}$) 在该点所受的最大力矩的值 $L_{\text{最大}}$. $L_{\text{最大}}$ 为试验线圈的法线 $\vec{n}$ 的方向(即 $\vec{m}$ 的方向) 与该点 $\vec{B}$ 的方向垂直时, 试验线圈所受的力矩。要比较磁场中两点 $\vec{B}$ 的大小, 两相同试验线圈($\vec{m}$ 同) 都应放在 $\vec{n}$ 与 $\vec{B}$ 垂直的方位, 测出这时它们受的力矩, 然后进行比较。若二力矩大小相等, 则两点 $\vec{B}$ 的大小相等; 否则, 就不相等。虽然题设两试验线圈放入的那一瞬时力矩大小是相等的, 但是, 这一瞬时两试验线圈的方位, 不一定满足 $\vec{n}$ 与 $\vec{B}$ 垂直这一条件, 故这两点 $\vec{B}$ 的大小不一定相等。

5—2. 在无限长载流导线的周围任一点, 如果不放试验线圈或磁针进去, 该点上是否存在磁场? 该点有否磁感应强度? 有没有磁力?

答: 电流在它周围空间激发磁场。电流的强弱、指向和

分布恒定，磁場就恒定，因而描写磁場的磁感应强度 $\vec{B}$ 的分布也恒定。换句话说，稳恒磁場的存在与否各点 $\vec{B}$ 的大小方向如何，只决定于它的源（稳恒电流）的存在与否和强弱、指向、分布如何，与试验线圈或磁针的存在与否完全无关。试验线圈的引入只是为了下面的目的：（1）从试验线圈是否受到力矩来反映该点有无磁場；（2）测量它受的最大力矩来量度该点 $\vec{B}$ 的大小，由它的稳定平衡位置来确定该点 $\vec{B}$ 的方向。磁针的引入也可达到这两个目的。所以在无限长直导线周围任一点，不放试验线圈或磁针，它在该点产生的磁場和磁感应强度仍然存在，但磁力反映不出来。

5—3. 用试验线圈检验空间有无磁場存在时，如果把试验线圈放在空间某处，线圈一动也不动，该点是否一定没有磁場存在？

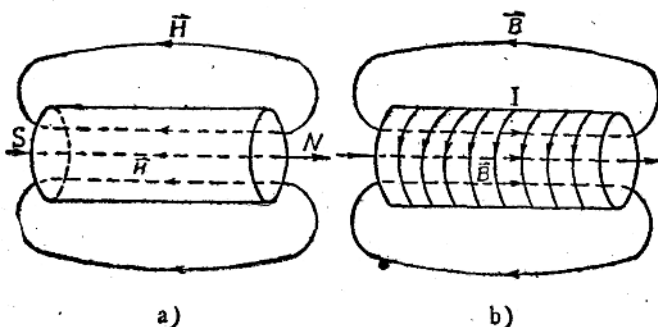
答：不一定。磁矩为 $\vec{m}$ 的试验线圈所受的磁力矩 $\vec{L} = \vec{m} \times \vec{B}$ ，当线圈所在处的磁場 $\vec{B} = 0$ 时 $\vec{L} = 0$ ，线圈不动，这是一种情况。还有一种情况：当线圈的磁矩 $\vec{m}$ 的方向与它所在处 $\vec{B}$ 的方向一致或相反时，线圈受的磁力矩也为零，线圈仍处于静止状态。但这时线圈所在处的 $\vec{B}$ 并不为零，有磁場存在。

5—4. 磁铁产生的磁場与电流产生的磁場本质上是否相同？有何区别？

答：磁铁和电流的磁場本质上是相同的，都是由于电荷的运动而产生。只不过前者是由于电荷的微观运动产生，后者是由于电荷的宏观运动产生。

人们最早认为,磁铁的磁场是它的正、负两极(N和S极)上的正、负磁荷产生的。这个观点叫磁荷观点。现在,我们知道磁铁产生磁场,是因为具有剩磁化强度。剩磁化强度是由于保留下来的磁畴的定向排列造成的,而磁畴的形成主要与电子的自旋磁矩有关;但定性讨论问题时,可以认为剩磁化强度的发生是由于保留下来的分子电流的定向排列。因此磁铁的磁场是分子电流产生的。这又是一种观点,叫分子电流观点,它符合实际情况。所以磁铁的磁场和电流的磁场,从本质上说,它们的源都是一个,即运动电荷。从分子电流观点看,不仅磁场的源可以统一于运动电荷,而且磁场的性质也是相同的。磁铁(分子电流)产生的磁场和电流产生的磁场,都可用磁感应强度矢量 $\vec{B}$ 来描写, $\vec{B}$ 是基本物理量,磁场强度 $\vec{H}$ 是辅助量, $\vec{B}$ 线是与电流套连的闭合曲线。

如果从磁荷观点看,磁铁与电流的磁场又有区别。这不仅表现在磁场的源不同,也表现在磁场的性质上。磁铁(正、负磁荷)产生的磁场,用磁场强度矢量 $\vec{H}$ 来描写, $\vec{H}$ 是个基



题5—4图

本物理量，磁感应强度矢量 $\vec{B}$ 是辅助量， $\vec{H}$ 线起于正磁荷，止于负磁荷(见图a)，即 $\vec{H}$ 线不闭合。但电流产生的磁场，其 $\vec{B}$ 线(和 $\vec{H}$ 线)则是闭合的(见图b，它是一个螺线管电流)。

顺便指出，磁荷观点和分子电流观点，虽然微观模型不同， $\vec{B}$ 和 $\vec{H}$ 的物理意义不同，但它们服从的宏观规律完全一样，即

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0,$$

$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \Sigma I_0,$$

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M},$$

用两种观点计算所得的具体结果也相同。在这个意义上讲，两种观点是等效的。还要指出，“磁荷”并非客观存在，至今尚未发现，但从计算方法上看，磁荷观点简便，故今天还有其实用价值。

5—5. 磁感应线和电力线在表征场的性质方面有哪些相似之处？

答：电场和磁场都是矢量场，表征它们性质的基本物理量分别是 $\vec{E}$ (电场强度矢量)和 $\vec{B}$ (磁感应强度矢量)。我们可以用 $\vec{E}$ 线(电力线)使电场形象化，用 $\vec{B}$ 线(磁感应线)使磁场形象化。这两种力线相似之处是：电力线上任一点的切线方向表该点 $\vec{E}$ 的方向，通过该点的电力线数密度(即垂直于 $\vec{E}$ 方向单位面积上通过的 $\vec{E}$ 线数目)等于该点的 $\vec{E}$ 的大小；同样，磁

感应线上任一点的切线方向表该点 $\vec{B}$ 的方向,通过该点的磁感应线数密度等于该点 $\vec{B}$ 的大小。

5—6.有一无限长载流直导线在空间产生磁场,在磁场中作一封闭面,此封闭面是一个圆环的表面,载流直导线刚好在通过环心的轴线上,问通过这个封闭面的磁通量是否为零?

答:无限长载流直导线在周围空间产生的磁场具有轴对称性,它的磁力线是在与长直电流垂直的平面内,而且以导线为心的一系列同心圆,力线的方向与电流方向成右手螺旋关系。可见,磁力线是与圆环闭合面的表面平行的,并不穿过闭合面,所以通过该闭合面的磁通量为零。

5—7.均匀磁场与非均匀磁场的力线分布有何不同?举例说明怎样的电流能产生均匀磁场?

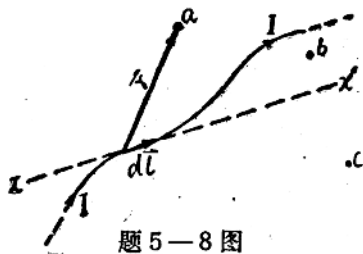
答:所谓均匀磁场是指场中各点(或考虑的某空间范围内各点), $\vec{B}$ 的方向一致大小相等的场;反之,就是非均匀场。很明显,在均匀磁场中的 $\vec{B}$ 线应相互平行,而且疏密程度也相同;在非均匀磁场中,或者 $\vec{B}$ 线平行但疏密度不同,或者 $\vec{B}$ 线既不平行疏密又不相同。

绕得很密的细长螺线管电流在它的内部产生的磁场是均匀的(只在两端附近场要减弱),一对同轴载流圆线圈,当它们之间的距离等于它们的半径时,在两线圈轴线上中点附近的磁场是近似均匀的。

5—8.在5—8图中,那个特定的电流元在a、b、c三点处建立起的磁场的方向如何?(a、b、c和 $d\vec{l}$ 在同一平面内)

答：电流元 $I d\vec{l}$ 在距它 r 远处所建立的元磁场 $d\vec{B}$ 由毕奥—沙伐尔定律确定，该定律为

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3},$$



题 5—8 图

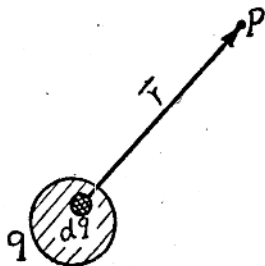
式中 $\vec{r}$ 表示从电流元 $I d\vec{l}$ 到场点的位置矢量。在场点 a ，特定电流元 $I d\vec{l}$ 所建立的磁场 $d\vec{B}$ 的方向是 $d\vec{l} \times \vec{r}$ 的方向，即垂直纸面指向读者。同理可得，特定电流元在 b 点建立的磁场方向也是垂直纸面指向读者，在 c 点则是垂直纸面离开读者。

5—9. $d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$ 是毕奥—沙伐尔定律的矢量形式，试写出与它相应的静电定律的矢量形式。

答：相应的静电定律的矢量形式为

$$d\vec{E} = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{r}}{r^3}.$$

式中 dq 为电荷元（它满足点电荷条件）， $\vec{r}$ 为从电荷元 dq 到欲求场强的点（简称场点） p 之矢径（见附图）， r 则为 $\vec{r}$ 的大小， $d\vec{E}$ 就是 dq 在距它 r 远处的 p 点产生的场强。



题 5—9 图

5—10. 试比较库仑定律

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{q\vec{r}}{r^3} \quad (A)$$

与毕奥—沙伐尔定律

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0\mu_r}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \quad (B)$$

的类似与差别之点。

答：类似之处：

①都是元场源产生场的公式：(A)式是电荷元(点电荷)的场强公式；(B)式是电流元的场强公式。

②场强都与 r^2 成反比：从(A)式看出，点电荷的 $\vec{E}$ ，其大小与距点电荷的距离 r 的平方成反比；由(B)式看出，电流元的 $d\vec{B}$ ，其大小与距电流元的距离 r 的平方成反比。

③都是计算场的理论基础：(A)是计算不能视为点电荷的带电体产生的 $\vec{E}$ 的基础；(B)是计算任意形状和分布的电流产生的 $\vec{B}$ 的基础。

不同之点：

①(A)式是直接实验总结出来的；(B)式是概括闭合电流情况下的实验数据，间接得到的，因为客观上不存在稳恒电流元，稳恒电流必须是闭合的。

② $\vec{E}$ 的方向与 $\vec{r}$ 方向相同(当 q 为正)或相反(q 为负)； $d\vec{B}$ 方向，既非 $Id\vec{l}$ 方向，又不是 $\vec{r}$ 方向，而是垂直于 $d\vec{l}$ 与 $\vec{r}$ 组成的平面，由右手螺旋法则确定。

③ $\vec{E}$ 的大小，与 q 成正比； $d\vec{B}$ 的大小不只与 $Id\vec{l}$ 成正比，还与 $Id\vec{l}$ 和 $\vec{r}$ 的夹角 θ 的正弦(即 $\sin\theta$)成正比。

5—11. 一个电荷能在它的周围空间中任一点激起电场；
一个电流元是否也能在它周围空间任一点激起磁场？

答：不能。由毕奥—沙伐尔定律
$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

看出，当 $I d\vec{l}$ 与 $\vec{r}$ 的夹角 θ 为 0 或 π 时， $\sin\theta=0$ ，则 $d\vec{B}=0$ 。

故在电流元 $I d\vec{l}$ 的延线上各点，电流元并不激起磁场。

5—12. 根据毕奥—沙伐尔定律，可得到有限长载流直导线 $\overline{AB}$ 在空间 P 点（图 5—12）所产生的磁感应强度公式，

$$B = \frac{\mu I}{4\pi a} (\sin\beta_2 - \sin\beta_1).$$

(1) $\vec{B}$ 的方向怎样？

(2) 哪一个角是 β_1 ？哪一个角是 β_2 ？

(3) 角 OPA 能否取正号？又能否取负号？

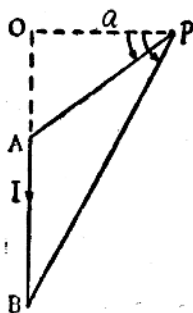
(4) 角 OPB 和角 OPA 是同角还是异号？

答：(1) 由右手螺旋法则确定，
 P 点 $\vec{B}$ 的方向垂直纸面指向读者。

(2) $\angle OPA = \beta_1$ ， $\angle OPB = \beta_2$ 。

(3) 如从 O 点起算，向下的距离为正，则 $\overline{OA}$ 为正，由 $\overline{OA} = a \tan\beta_1$ 得角 OPA 取正号；如从 O 起算，向上的距离为正，则 $\overline{OA}$ 为负，由 $\overline{OA} = a \tan\beta_1$ 得角 OPA 取负号。

(4) 角 OPB 和角 OPA 应是同号。若从 O 点起算向下为正，



题 5—12 图

则两角均为正号；若从O点起算向上为正，则两角均为负号。

5—13. 从毕奥—沙伐尔定律能导出无限长直电流的磁场公式：

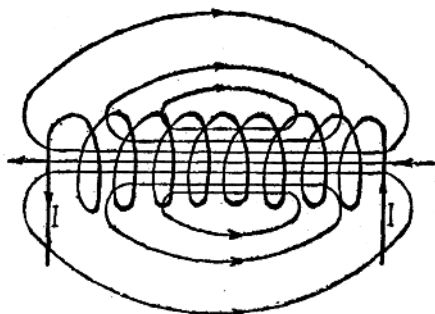
$$B = \frac{\mu I}{2\pi a}.$$

当考察点无限接近导线时($a \rightarrow 0$)，则磁感应强度 $B \rightarrow \infty$ ，这是没有物理意义的，如何解释？

答： $B = \frac{\mu I}{2\pi a}$ 只对线电流才适用。所谓“线电流”是指满足下面条件的电流：即电流任一截面的大小比起从这截面到场中所研究的点的距离来为充分小。当然，只有在我们研究距电流充分远的场中各点磁感应强度 B 的那种情形下，电流 I 才满足上述条件。很明显，对长直电流来说，当 $a \rightarrow 0$ 时，长直电流就不能视为线电流，这时公式 $B = \frac{\mu I}{2\pi a}$ 已经不适用了。我们指出：当电流不能视为线电流时，可将此电流视为若干线电流的集合。可以证明，对长直电流来说，即使在 $a \rightarrow 0$ 的点，磁场 $\vec{B}$ 仍为一有限值（如果电流密度 $\vec{j}$ 到处有限的话），并不会成为无限大。这一结论对任何形状的电流来说都是正确的。

5—14. 长螺线管中从管口进去的磁感应线数目是否等于管中部磁感应线的数目？为什么管的中部磁感应强度比管口处为大？

答：由于有漏磁，长螺线管中从管口进去的磁感应线数目少于管中部的磁感应线数目，即 $\Phi_{\text{口}} < \Phi_{\text{中}}$ 。 $\vec{B}$ 线的分布



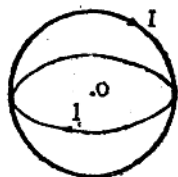
题 5—14图

情况见图 5—14。

由 $B = \frac{\Phi}{S}$, 因 S (螺线管的横截面) 各处相等, 而 $\Phi_{\text{中}} > \Phi_{\text{口}}$, 故得 $B_{\text{中}} > B_{\text{口}}$, 即管中部的磁感应强度比管口的要大。

5—15. 在球面上铅直和水平的两个圆中, 通以电流强度相等的电流, 电流方向如附图中的箭头所示, 问球心 O 处磁感应强度是怎样的方向?

答: O 点的磁感应强度是两个圆电流在该点分别产生的磁感应强度的矢量和。由于两圆电流的强度相等, 两圆半径相等, 故在 O 点两个分磁场的大小相等。由右手螺旋法则知, 铅直圆电流磁场的方向是垂直纸面向里, 水平圆电流磁场方向是沿直向下, 即两者相互垂直, 所以它们的合磁场方向与水平方向和铅直方向都成 45° 的角。

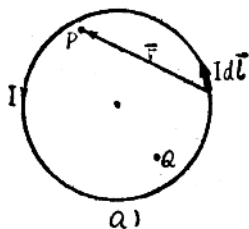


题 5—15图

5—16. 圆电流在其环绕的平面内, 产生的磁场是不是均匀场?

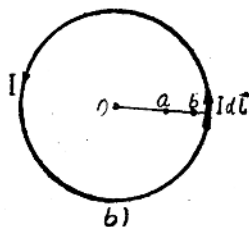
答: 不是均匀场。在圆电流环绕的平面内各点, $\vec{B}$ 的方向虽然相同; 但 $\vec{B}$ 的大小却不等, 距电流愈近的点 B 值愈大, 圆心处 B 值最小。前一结论容易得到。根据毕奥—沙伐尔定律, 对于圆电流上任一电流元 $I d\vec{l}$ 在圆平面内某点 P (见图 a) 所产生的元磁场 $d\vec{B} = \frac{\mu}{4\pi} \frac{I d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$, 可见 $d\vec{B}$ 的方向为垂

直于 $I d\vec{l}$ 与 $\vec{r}$ 组成的平面指向读者。同理可得圆电流上其他各电流元在 P 点元磁场也是这个方向。故整个圆电流在 P 点的磁场方向为垂直于圆电流平面指向读者。对于圆平面内另一任意点 Q , 仿照上面的讨论仍可得到 $\vec{B}$ 的方向与 P 点 $\vec{B}$ 的方向一致的结论。



题 5—16 图

至于平面内 $\vec{B}$ 的大小问题, 可作如下讨论。我们将圆电流划分成若干电流元, 由毕奥—沙伐尔定律明显看出, 各电流元在圆心 O 点产生的磁场 $d\vec{B}$ 是相等的。现在考虑另一点 a (见图 b) 的磁场, 这时各电流元对 a 点磁场的贡献便不等了, 距 a 点最近的电流元贡献最大, a 点的磁场主要由它决定。这是因为最近的电流元到 a 点的距离比其他

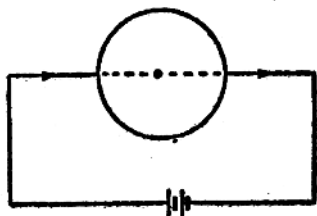


题 5—16 图

电流元到 a 点的距离小，而由毕奥—沙伐尔定律知，电流元的磁场是与距离平方成反比的。同理可得 b 点的磁场也主要由距 b 最近的电流元决定。由于毕奥—沙伐尔定律的平方反比关系， b 点的磁场 B_b 必然大于 a 点的磁场 B_a ， a 点的磁场又必大于圆心 O 点的磁场 B_o ，所以从圆心沿半径方向磁场 B 逐渐增强。当然，与圆心等距离的点（同一圆周上的点）的磁场 B 是相等的。

5—17. 有两根长导线接在电源上，并使它们对称地接到一个铁环上，如附图所示。此时在环心的磁感应强度等于什么？

答：对环心来说，电流分布是对称的，故上、下半环在环心产生的磁感应强度数值相等；但二者的方向却相反：上半环在环心的磁场方向是垂直纸面向里，而下半环的则是垂直纸面向外。所以，整个铁环在环心产生的磁感应强度等于零。



题 5—17 图

5—18. 园电流中心处的磁感应强度

$$B = \frac{\mu NI}{2R},$$

直螺线管内部的磁感应强度

$$B = \frac{\mu NI}{L}.$$

两者的 B 都与磁导率 μ 、总匝数 N 和电流强度 I 成正比，但为什么常把电磁铁做成螺线管状，而不做成园电流状？