

超导体中磁场的效应

(总分: 20)

电子是一种基本粒子。电子不仅带有电荷，而且因为自旋角动量而具有内禀的磁矩。由于库仑作用，真空中的电子彼此排斥。但是，在一些金属里，因为晶格的振动，电子可以变得彼此吸引。当金属的温度低于临界温度 T_c 时，具有相反动量方向和相反自旋方向的电子可以形成电子对，这种电子对叫做“库珀对”。金属中自由运动的电子具有能量 $\frac{p^2}{2m_e}$ ，其中 p 为电子动量， m_e 为电子质量。形成库珀对后每个电子的能量与自由电子的能量相比减少了 Δ 。库珀对可以在金属中不受阻力地运动，有库珀对的金属处于超导状态。

但是，即使金属的温度低于 T_c ，超导状态仍然可以被加在金属上的外磁场所破坏。外磁场可以通过两种效应破坏金属的超导状态。在本题中，你将计算这两种效应。

第一种效应是“顺磁效应”。超导状态下库珀对中的两个电子具有相反的自旋方向，但是在外加磁场中，所有电子自旋方向相同并且平行于外磁场方向，因而具有更低的能量，此时不能形成库珀对。

第二种效应是“抗磁效应”：增加磁场强度将改变库珀对的运行轨道，进而增加其能量。当外加磁场的强度大于一个临界值 B_c 时，库珀对增加的能量多于 2Δ 。于是，电子不再倾向于形成库珀对。

最近，物理学家发现了一种叫做伊辛超导体的新型超导体。即使外磁场强至 60 特斯拉（大约是目前实验室可以实现的最强磁场），这种超导体仍然可以维持超导状态。你将通过本题的计算理解伊辛超导体能够克服顺磁效应和抗磁效应的原因。

A 磁场中的电子

考虑一个半径 r ，电荷 $-e$ ，质量 m 的圆环。电荷和质量在圆环上均匀分布（如图 1 所示）。

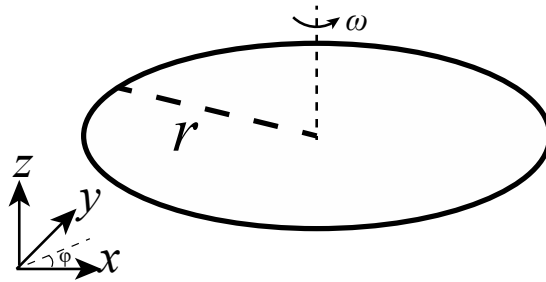
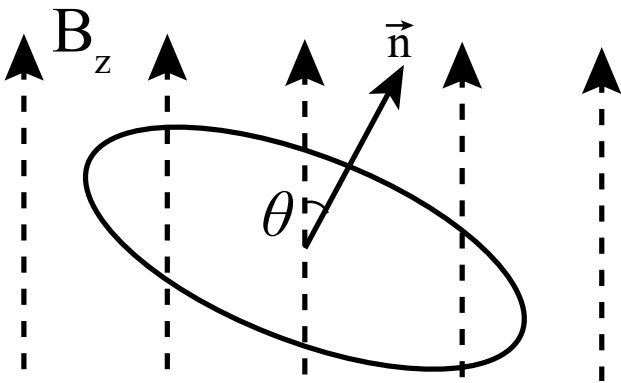


图 1

A1	当圆环以角速度 ω 转动，求圆环的角动量 \vec{L} （包括大小和方向）。	2 分
A2	圆环磁矩的大小为 $ \vec{M} = IA$ ，其中 I 是电流， A 是圆环的面积。求圆环的磁矩 \vec{M} 和角动量 \vec{L} 之间的关系。	2 分

设圆环的法向为 \vec{n} ，且 \vec{n} 与外磁场之间夹角为 θ ，如图 2 所示。

A3	<p>设外磁场是均匀的，方向是 z 方向。对(A1)部分中所讨论的圆环，将之放在外磁场 B_z 中，求圆环的势能 U。（设 $\theta = \pi/2$ 时，系统势能为 0。）</p>  <p style="text-align: center;">图 2</p>	2 分
----	--	-----