

磁感应强度 **B**，磁场强度 **H** 的区别和关联

GROUP III

2021.9.29

设若你已知道磁场是由磁铁产生，知道牛顿力学，但不知道如何在物理上定义“磁场”，那末，有一天你用电流做实验——你惊讶地发现：通了电的导线，能使它附近的小磁针扭转。从而，你得出了“电流产生磁场”的结论。

进一步，你通过力学(如平行电流线，扭转力矩等)的测量，你发现

1. 长直导线外，到导线距离相等的点，磁针感受到的“磁场”强度相同
2. 距离不同的点，“磁场”强度随着距离成反比。这样，你便想要通过力学测量和电流强度定义一个物理量 H ， $2\pi r H = I$ 。对形状稍稍推广，你就得到了安培环路定理的一般积分形式。

注意这时候不需要用到真空磁导率 μ_0 ，因为你只要知道电流 I 就足以定义 H 这个物理量，没有理由知道 μ_0 这回事儿。

现在，你有了 H ，有了“电流能够产生磁场”这个概念，有了安培环路定理。你心满意足，转移了研究兴趣，开始研究带电粒子的受力。

对于一定速度的粒子，加上刚才的磁场，通过几何轨道，牛顿力学，你可以测出粒子受的力。你发现受的力和电荷数 q 以及速度成正比，也和 H 成正比，但是力 F 并不直接等于 qvH ，而是还差一个因子： $F = A * q * v \times H$ ， A 只是个待定因子，暂未赋予物理意义。

这个公式多了个外加因子，不好看。现在你开始考虑构建“磁导率”这个概念，因为 H 只是电流外加给的磁场，你希望通过粒子受力，直接定义一个粒子感受到的磁场——叫它 B ，使得 $F = qv \times B$ 成立。现在你理解的磁导率，就是一个粒子对外界磁场的受力响应程度：磁导率大，那么同样大的外加磁场 H 使得粒子受力的响应（如偏转）也越大；磁导率如果为零，那么多大的磁场也不会使得粒子有偏转等力学反应，磁导率如果近乎无限大，你只要加一丁点外磁场 H ，粒子就已经偏转的不亦乐乎了。

你开始管这个磁导率叫 μ ，并且定义 $\mu = B/H$ 。其中 H 是（通过电流）外来的， B 是使得粒子偏转的响应。这样，磁导率=粒子的响应/外加的场。这个式子有着深刻背景，正是理论物理里线性响应理论的雏形。此外，你发现，粒子处于真空中的时候，这个 μ 是一个与任何你能想到的物理量都无关的常数，这正是真空磁导率。

目前你已经很有成就了：你通过得到了一个外磁场 H ，并在真空环境下，把这个

磁场作用于带 q 电荷的粒子，你测量粒子受力 $F = qv \times B$ ，并且把测量力 F 和速度 v 得到的 B 值与测量电流 I 得到的 H 值相除，你便得到了真空磁导率。

现在你已经知道了， H 与 B 单位的不同，仅仅是由于你最开始研究力学用的单位，和开始研究电荷、电流的单位的不同，导致的一种单位换算。 H 从 I 得来， B 从 F 得来，所以看到的是“施 H ”与“受 B ”的关系。（实际过程还要复杂些，因为先研究的是电场的情形，然后导出了磁场下的情况，所以你看到的 μ_0 是个漂亮的严格值，而真空介电常数作为另一种线性响应确是一个长长的实验数字）。

既然知道了 B 与 H 单位不同只是由于电流和牛顿力学导致的，现在你为了简化，将二者单位化为相同单位： $B=H$ ；这样你就得到了电磁学里更常用的高斯单位制。如果需要换算，随时添加磁导率即可。

你开始进一步研究了。你已经研究了电流产生磁场的效应，以及单个粒子在磁场中的运动。那么，有着大量粒子的各种材料介质，从铁块，到石墨，到玻璃，它们对于磁场的相应是如何呢？

现在你通过电流 I ，把磁场 H 加到某种材料当中，你所要研究的粒子，不再活在真空，而在材料里活动，它可以是金属里本身自带的电子，也可以是通过外界射束打入的。这都无妨，只需记住现在你要研究的粒子不再在真空，而在介质里。一个粒子受到的力学上的响应，当然是与这个点的总磁场有关。因此， B 的意义就变得丰富了，它代表在该点处的总磁场。为什么说“总”磁场呢？考虑空间里的一点，没有材料的时候磁场值为 H 。现在有了材料，这一点处于材料中，外加场 H 穿进材料后，材料受 H 影响产生了一些附加场，在该点处的磁场不再是 H 了。受外界磁场影响使得材料里也有内部额外磁场的过程，我们叫它“磁化”。我们希望一事物更加具体，就说把它具体化，希望一个企业有规模，就说把它规模化，同样希望一块材料里面有更多额外磁场，就说把它“磁化”。

我们管产生的额外磁场大小叫做 M 。与磁导率一样，为了研究这个额外的磁场 M 与外加场 H 的关系，我们定义磁化率 $\chi = M/H$ 。磁化率大，说明同样大的外磁场，能产生更多的内在额外磁场；磁化率为很小，说即使外加磁场很大，里面的材料也“懒得理它”，只有微弱的响应。这里要注意两点。这是你不难发现，磁化率也是线性响应的过程。所谓线性响应，好比我们有五块钱，就能从售货机里买一罐可乐，我们有十块，根据线性响应，就能买两罐，15 块买三罐；如果买得多给打折，20 块给五罐，那么输入（钱）和输出（可乐瓶数）就不符合线性响应了。磁场情形也一样，太强的外加场 H （输入），感生场 M 作为输出，就不符合现行响应了。此外还要注意一点，磁化率可正可负。所谓正磁化率 $\chi > 0$ ，就是说产生的内部磁场 M 方向与外加磁场 H 相同；负磁化率 $\chi < 0$ ，就是材料内部由于 H 产生的额外磁场 M 和外加场 H 方向相反。

进一步， $\chi > 0$ 但是数值不太大的，你命名他为顺磁介质，它顺从的跟着磁场方向嘛； $\chi > 0$ 数值比较大的，就是铁磁介质，由于其他机制（超过深度不加以介绍），外加的磁场产生了很大的内磁场，比用用制造永磁铁的过程； $\chi < 0$ ，就是 H 给材料产生的外加磁场 M 与 H 方向相反，所以就是反磁介质，或叫抗磁介质；如果是第一类超导体，它所谓的完全抗磁性，就是这个意思：外加场 H ，总有感生的内场 M ，把外场抵消，使得超导体内部磁场为零。物理上看，好像磁场穿不进来一样。

这样，总场 B 在某点的值，应该是该处的外场值 H ，与 H 的感生下产生的额外

场 \mathbf{M} 在该点的值的和。写成 $\mathbf{B}(\mathbf{r})=\mathbf{H}(\mathbf{r})+\mathbf{M}(\mathbf{r})$, \mathbf{r} 表示空间处注意这是对任何一点都成立; 实际上, 如果使用高斯单位制, 由于需要考虑了麦克斯韦方程电和磁的对称性, 以及球面的立体角, 正确的式子是 $\mathbf{B}(\mathbf{r}) = \mathbf{H}(\mathbf{r}) + 4\pi\mathbf{M}(\mathbf{r})$ 。如果要换成 SI 单位制, 则是 $\mathbf{B} = \mu_0[\mathbf{H}(\mathbf{r}) + \mathbf{M}(\mathbf{r})]$ 。

这个式子的正确解释是: 总磁场等于外加磁场和感生的磁场(就叫它磁化)的矢量和。既然 \mathbf{B} 表示总场, 已经考虑了感应产生的磁化 \mathbf{M} , 就叫做 \mathbf{B} 为磁感应强度; \mathbf{H} 来源于外场, 就叫它磁场强度; \mathbf{M} 是 \mathbf{H} 磁化感生的, 就叫它磁化强度。注意这个式子是普遍的。在线性响应的额外前提下, 我们有 $\mathbf{M} = \chi\mathbf{H}$ 成立。