前言

本章节开始学习电磁学，电磁学看似有别于其他物理但其实还是没有脱离出牛顿力学那一套，还是愿意按照物质的角度来剖析这些问题，并且一切的一切都愿意建立在物质之间的相互影响上的，有别于广义相对论，这个东西自然也是特定情境特定使用，自然也谈不上“放之天下而皆准”。

牛顿物理学（一作经典物理学）的经典思想：认为世界是由运动着的粒子构成，而粒子间存在符合因果关系的关联（也称相互作用）。牛顿等老一派物理学家传承了古希腊自然哲学的理念，一定意义上信奉经验主义，尽管与笛卡尔类似的，牛顿也是个有名的有神论者，但是他对笛卡尔主义下的“我思故我在”明显是不屑一顾的，他认为真理广泛的存在于世界上，而非诞生于脑海间，相较之下，牛顿是明显的有点唯物了，不过身为一个物理学家，如果不能客观而现实的观察和思考，那迟早有一天就会成为一个有趣的神棍，爱因斯坦说上帝不掷骰子的时候，明显还是信任了上帝，但上帝懒得回应。

接着讲回电磁学，整个电磁学，建立在电场理论之下，（即电子与电子之间的作用并不是直接接触，而是基于一种力场，只要在一定空间范围就会受到影响），后发现电磁感应规律，仿照电场解释了磁场，最后随着相对论的建立，人们逐渐理解电磁一体两面的性质，即电子流动的时候的，正负电子相互依照光速运动，产生的库仑力造就了磁场，这也就是没有磁单极子的正确解释。讲到这里，你可能很难听懂，但无所谓，当我们了解了库仑定律和最基本的相对论效应后其实就能够简单讲解一下这个过程，同样的，当我们彻底了解了电场和磁场之后也就能完全理解这其中的奥妙了。

电磁场的分别建立其实还是蛮早的，1785 年库仑定律被提出，1820 年，电磁感应被发现，诞生到了 1865 年，一代电磁奇才麦克斯韦才横空出世，一扫之前的迷雾，大笔一挥，统一了电磁理论，提出了著名的麦克斯韦方程组。至此电磁学有关于粒子的部分开始结束，波粒二象性的发现更是验证了麦克斯韦的猜想，电磁波的概念被证实，光也被慢慢的纳入到讨论范围内，最后催生出了爱因斯坦、波尔等一众近代物理学神人，大大的推进了物理系学生学习的难度。

不过还好，所谓真理是越辩越明，学习是越学越精，我们还是遵循之前数学

笔记的老规矩，先打个预防针，解释一下经典电磁理论的集大成者——麦克斯韦方程组：

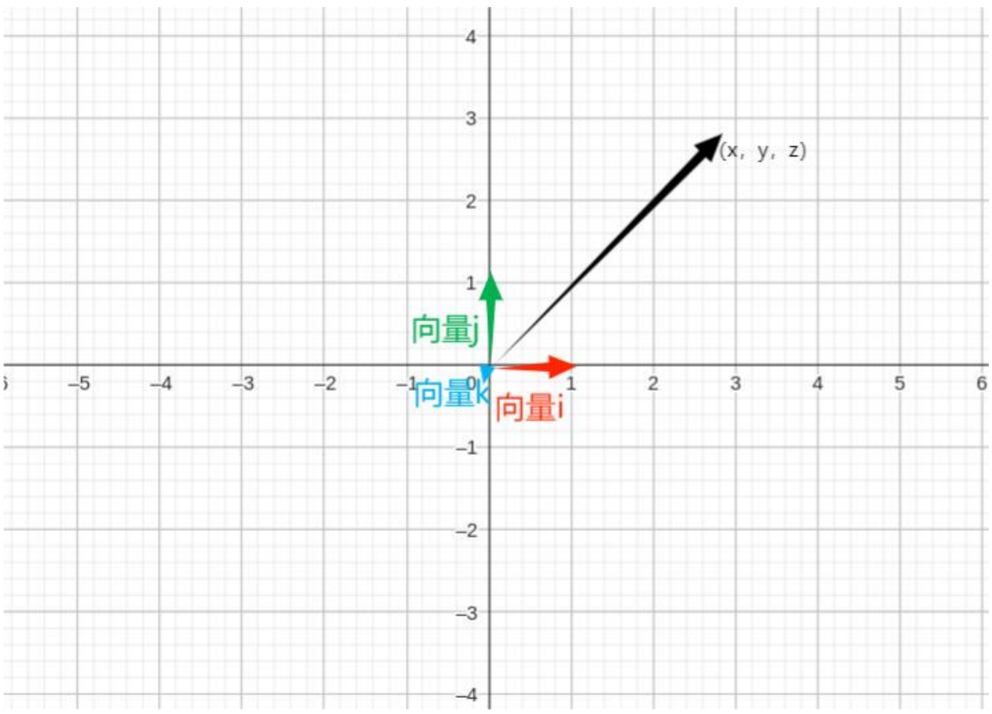
写出其微分形式：

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\varepsilon_0}(\text{高斯定理})$$

这个∇的符号称之为哈密顿算子，也可以叫 del，其实也就是哈密顿为了使得计算简便自己随手画个三角然后指代一种运算，算子的完整表达为：

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x}i + \frac{\partial}{\partial y}j + \frac{\partial}{\partial z}k$$

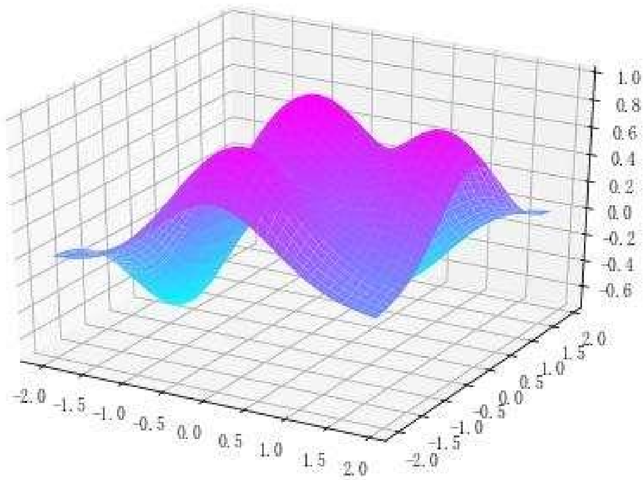
我们都知道向量可以被写成(x,y,z)的形式，而印象里这个是代表一个从原点出发指向点(x,y,z)的箭头，它的大小为$\sqrt{x^2+y^2+z^2}$，那么我们为他规定三个完全不同的单位向量也就是分别与x,y,z三轴相互平行且长度为 1 的向量并且命名为(i,j,k)，此时此刻原本的向量就可以被写为$xi+yj+zk$，而i,j,k又被常常省略写为$x+y+z$。

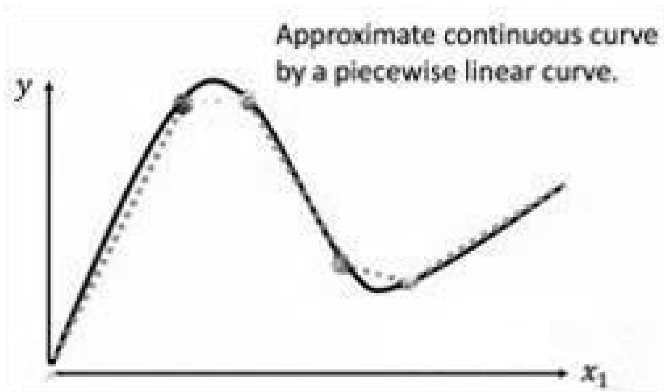


此时此刻想必你应该可以理解这个算符的本质了，它本质上其实就是一个向量，所以在计算上也遵循向量的运算法则，但又由于其包含了导数成分，所以又只能作为一个运算作用在其他函数上而不能单独存在，所以你可以将它理解为一种类似于加减法的运算。

接着说等式右半边的意思，$\frac{\partial}{\partial x}$意为求偏导，在具备多个变量的函数中我们直

接求导是会对一切自变量求导，而在一些特殊情况下，我们只希望得到自变量其中一部分的变化，所以偏导应运而生；如适才的$x+y+z$，我们对它完全求导，就是 1，原因是三个方向被合成为了一个方向，而这个方向的就是直接指向(x,y,z)方向上的单位向量。但如果我们只想看 x 方向上的变化呢，你可能想到只对x求导，你说对了，那么$\frac{\partial(x+y+z)}{\partial x}=1$,在这个过程中我们不在考虑$y,z$方向，所以直接将他们当成一个常数，也就是原本是下面这样一个完整的形状，你在y,z的固定时刻开始观察x，也就得到下下面的图像，就是纯粹的x的变化率了。





聊回$\nabla\cdot E$，这个运算称之为求电场 E 的散度，意义就是对电场（电场是有方向的）作点乘，也即单纯的计算电场 E 有关于三个方向的变化量，然后相加，即：

$$\nabla\cdot E=\frac{\partial E_x}{\partial x}+\frac{\partial E_y}{\partial y}+\frac{\partial E_z}{\partial z}$$

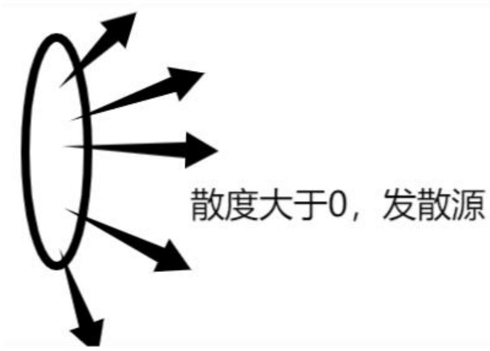
由于是点乘，也就是以投影的形式，所以得到的其实是一个标量，导数的定义其实就是针对于之前的变化：

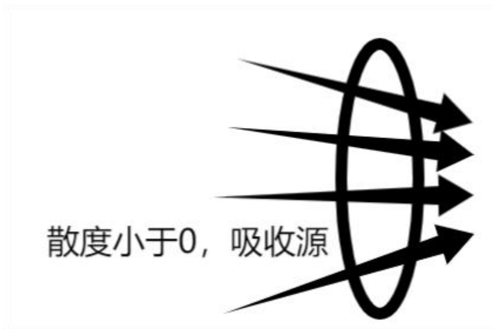
$$f'(x) = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{f(x+\Delta x) - f(x)}{\Delta x}。$$

所以便可以发现当散度大于 0 时，其后面的邻域内就发生了增长，就好像这个点是往外在吐东西的（直观观察，不要想吐了东西内部东西变少了，如果你要这么理解就把他理解为一个喷管，里面的东西是无限的，喷管内部是不变化的但是在喷口处画上x, y, z三个轴，就明显的发现x, y, z均发生了增大，所以类似的这种结果也就是该点位是一个发散源）。

而在散度小于 0 时，我们就发现它相较于之前就明显的下降了，也就是开始向内收缩，此时此刻它就像是一个洞，开始吸收周围的东西，所以我们就说他是一个吸收源头。（注意：你并不能将它完全认为是一节水管，由于只是变化趋势，所以最多看洞口。）

那么等于 0 的情况呢？也就是它既不吸取也不放出，也就是无源。





接着说回这个式子：

$$\nabla \cdot E = \frac{\rho}{\varepsilon_0}(\text{高斯定理})$$

那么我们就不难理解左边的意思了，左边的意思就说要算电场的源，到底是吸收还是发散，此时我们再注意右边，ρ是电荷密度，也就是单位体积里的电荷量，ε_0是真空介电常数，众所周知，物理中的常数一般往往就说用来完成凑数的，再相对论思想下，随着我们认定的坐标系的不同，这些常数都会发生相应的变化，但是物理定律不会发生改变，换句话说就是，发生再这个世界里的事情其实是一个事，但是由于我们两个人认为的 1 不一样场，所以我们计算出来的大小其实不一样。

如此说来这个式子其实就是，电场的发散与否，看空间内电荷量的多少，

要是正电子多，那么电场发散，指向；而负电子多，电场就指向内，表现为吸收。

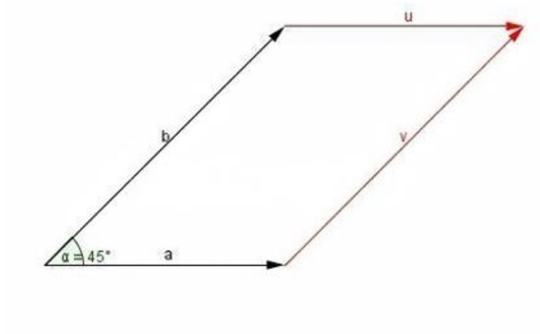
可能有些许复杂，但是你只要记住电场其实是有源的，它的变化受到它源头（正负电子）的影响。

$$\nabla \cdot B = 0\left(\text{安培环路定理}\right)$$

于此相对的是磁场，通过上面的式子我们可以看出磁场其实是无源的。没有磁荷，所以磁场并不能单独存在，如果你看到一个磁场，那么它要么是从无穷远来到无穷远去，要么就是首尾相连，有南极有北极，遥相呼应。

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}\left(\text{法拉第感应定律}\right)$$

我们知道向量的叉乘，即$a \times b$，会产生一个与向量a，b均垂直的大小为$|a||b|\sin\angle\left(a, b\right)$的向量，不难理解的，也就是会产生一个大小为$a$，$b$所构成的平行四边形面积的垂直于它们所构成的平面的向量。



接着我们将∇考虑进来，由于$a \times b$可以写为行列式的形式：

$$a \times b = \begin{vmatrix} i & j & k \\ a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \end{vmatrix}$$

$$= \left(a_y \cdot b_z - a_z b_y\right)i + \left(a_z \cdot b_x - a_x b_z\right)j + \left(a_x \cdot b_y - a_y b_x\right)k$$

所以旋度$\nabla \times$也可以写为：

$$\nabla \times E = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & E_y & E_z \end{vmatrix}$$

$$= \left(\frac{\partial E_z}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial z}\right)i + \left(\frac{\partial E_x}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial x}\right)j + \left(\frac{\partial E_y}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial y}\right)k$$

此时此刻你注意到，它的三个方向上都是取相互垂直的偏导，也就是E的z分量在y方向上的变化和E的y分量在z方向上的变化构成了这个向量的x分量，与之对应的也就是E的x分量在z方向上的变化和E的z分量在x方向上的变化构成了这个向量的y分量，E的y分量在x方向上的变化和E的y分量在x方向上的变化构成了这个向量的z分量。