

电磁波理论新进展

杨发成

(实验检测研究院, 中国 新疆 克拉玛依市 834000)

摘要: 研究认为, 电磁波分近场响应与远场辐射两种。近场响应——实为电磁感应, 发送与接收, 相当于电磁互感。远场辐射, 是感应圈导体向外辐射的一种强度随时间周期变化的物质(不可见光), 是从原子或原子核中辐射出来的一种具有能量的物质——光子。光子: 是光能量的载体, 它的成份跟电场、磁场没有关系。为此, 本文列举出诸多事实, 如赫兹实验, 伦琴射线, 高频交变电流下的电磁感应以及电偶极子辐射等等, 并对各项实验深入剖析。光、热辐射, 都是原子、原子核受(刺)激后, 表现为向外泻能的一种方式。生产与实践中, 人们使用多种方法, 使原子辐射出不同能量的光子, 虽然能量大小不同, 其光物质之成分都相同。目前, 受科技局限, 对光量子之成分还没有得到更进一步的认知。本文从已有的实验事实出发, 对法拉第电磁感应定律也进行了修正。

[杨发成. 电磁波理论新进展. *Academ Arena* 2026;18(7):228-244]. ISSN 1553-992X (print); ISSN 2158-771X (online). <http://www.sciencepub.net/academia>. 06. doi:10.7537/marsaaj180726.06

关键词: 电波; 振荡电路; 低能辐射; 磁场

1. 引言

电磁波, 由交变、间断或振荡电路中发出的两种波: **近场响应**——实为电磁感应, 发送与接收, 相当于电磁互感。**远场辐射**: 在感应圈导体向外辐射一种密度随时间周期变化的物质(不可见光), 这种波就是人们通常称谓的不可见(低频)光。关于电磁波到底是什么? 作者为了弄清楚这个问题, 经过多年的思考, 并以过去成熟的实践为依据, 对实验进行分析归纳和总结, 从而对无线电波的发射、传播和接收做了相关解析。

2. 无线电波的发射与接收

2.1 赫兹实验

图1为赫兹实验示意图。图1(a)中, 将两段铜杆沿同一直线架设, 在其相邻的两端端点上均焊有一个光滑的铜球。两球间留有小的(约0.1mm)空隙(空隙电阻 $R \rightarrow \infty$)。

实验方法与过程: 图1(a)中, 一个由多节电池组成的电源, 一个手工开关(I)造成一个电脉冲, 经过变压器T升压后, 感应圈在两铜球之间产生很高的电势差, 铜球间隙被击穿时, 火花隙S上产生一个电闪光——这就是简易电报机的发报原理。

如果把铜球之间的空隙增大, 空隙S处, 不再

产生火花。当手动开关(I)制造一个电脉冲, 电路中同样有变化的电流, 也有变化的磁场, 铜球间再也没有电闪光, 接受线圈中也没有火花产生。

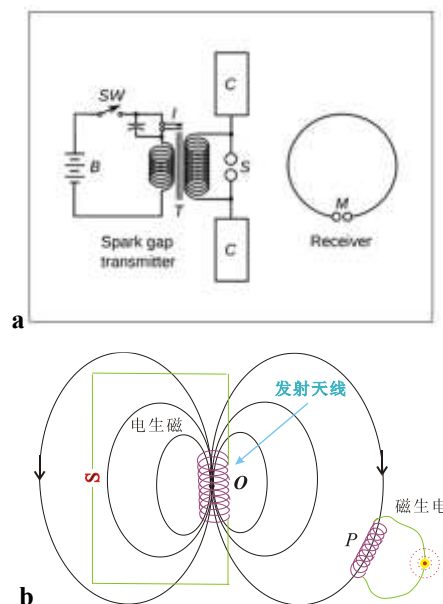


图1. 赫兹实验示意图(a)图片来源网络, (b)近场响应示意图

2.1.1 实验简析:

近场效应: 实验室中, 赫兹电波实验, 属于电磁感应下的近场互感。感应圈中磁通量瞬间变化, 感应

电动势在缺口“S”处产生的高电压，电场击穿现象。在互感器 M 处：感应圈（T-S）中磁通量瞬间变化引起互感器 M 产生高电压，电场击穿间隙时闪现火花，这是近场响应——实为电磁感应，图 1（a），就是一个互感器。

图 1（b）为近场，看成是一理想变压器的工作原理。发射端天线的电场变化，引起了感应圈或直导体中磁场的变化，变化的磁场，引起接收器（手机）天线产生感应电动势，感应电流又引起接收器天线的磁场变化，这就是基站附近的近场效应。在互感过程中，发射天线跟手机感应圈中磁通量瞬间变化，天线跟手机互感，理想地认为是同时进行，如图 2 所示。所以，发射天线中，变化的电场（实为时变电流）产生磁场；发射天线的磁场在接收器端，引起接收天线中电场（实为电流）对应变化。

在发射器的发射天线内，通过天线内变化的电场形成电流，电流产生了向外的磁场。也就是说，在近场范围，发射天线中变化的磁场，引起了接收端接收器（比如手机或无线充电器）的副线圈里磁通量变化，于是产生感应电流→形成时变电场。其实，发射器和接收器天线间，组成了一个理想变压器——发射天线为原线圈，接收端为副线圈。所以，近场是接收器功率大小影响着发射端功率损耗的多少。远场，发射端功率，影响着接收器效果。

图 1（b）中，OP 为近场范围。实践中，近场范围的磁感应强度随距离增大衰减很快。

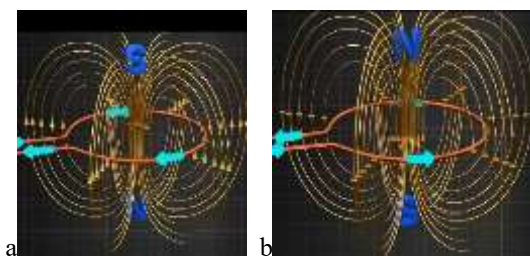


图2. 近场互感效应（来源于网络）

2.1.2 实验简析

远场辐射：在感应线圈导体中（包括缺口 S）闪现的电火花——电波辐射——低频（包括不可见光）。发射天线中，一飞千里（ $C=3.0 \times 10^8 \text{m/s}$ ）的这个电波，就是不可见光辐射，其强度衰减为平方反比律。其传播速度为光速 C，球面波方程为：

$$x^2 + y^2 + z^2 = (ct)^2。$$

由于发射天线感应圈提供的是高频交变电流，天线、感应圈、空隙处等被反复振荡、“击穿”，从而向外发射一道道电波——主要是低频不可见光。当这个电波传播到远处的接收器（手机）天线上引起内光电效应，电流往复振荡，这种振子就是一个振荡电偶极子。

图 3 中，在远场 OQ 情况下，发射端天线飞出去的低能光，在接收端天线中引起内光电效应。从而使电路产生相对应的周期振荡。

半波天线（即发射天线）长度，是辐射波面从强度从 0→最大→0 的过程中，一个完整波形长度的一半，时间是振荡周期 T 的一半。

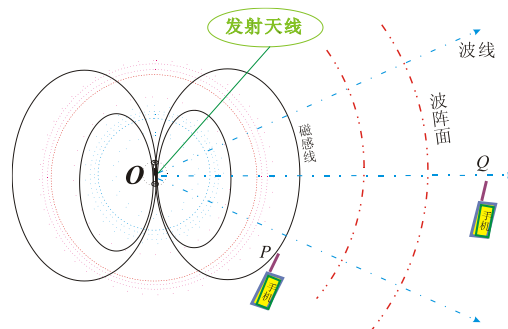


图3. 电波辐射示意图

2.2 综述

远场和近场的区分，不单是距离的远近，而是电波的传播、工作模式。近场和远场，只是其行为模式不同。在城市区域内，各个基站都是近场互感。只有离基站位置较远，接收到的才是从各个基站飞出去的电波信号的叠加。信号速度很快，所以，各个基站传到手机的电波时间可认为是“同一”时刻。

超过近场作用范围，电磁感应强度衰减至几乎没有了，这时，辐射场的叠加起主导作用。

在单个基站附近，辐射场强度虽然大，但辐射场在基站附近的叠加点密度却很少。所以，辐射场犹如似背景辐射，这时，近场互感正好排上用途。

每个基站都是发射源点，在向远方飞去不可见光，它的强度却是以平方反比定律衰减。一座城池的众多基站，构成了无线电波庞大的天线阵。在一个区域有很多个基站同时发射相同信号，各个球面波叠加于接收点，相当于 GPS 定位方式。发送区域，就像个相控阵雷达似的。所以，在若干个基站发射的信

号干涉的位置，信号得到了叠加与增强，如图 4 所示。

在一个城市的范围内，若干多个基站发射的无线电波，最终在较远的空域就出现各个基站的微波叠加，也可称其为干涉，就是说，像光栅干涉一样，在干涉条纹位置，其强度最大。

若把一个城市的所有基站看成是电磁波发射器的源点，在远离这些基站的地方，无线电波到达的地方，城市的所有发射基站，就相当于一个相控阵雷达向外不停地发射信号。

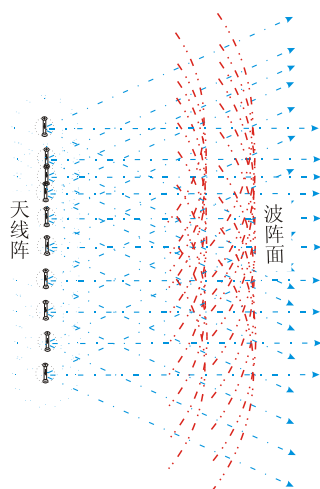


图 4 相控阵天线

众多球面波的叠加点位置，如同成像仪所成的实像。远场：接收天线有点像人的眼睛，接受的不可见光电波信号，而我们的人眼呢，接收的是可见光波信号，感知而反馈给大脑进行信息处理。

近场：是以理想变压器方式进行工作的距离范围。在城市区域内，基站跟手机间都是近场互感。近场是以电磁感应为主，它的强度衰减非常快，它的强度衰减是按立方反比定律。发射器天线中，电流的磁效应，即变化的电流引起磁感线强度变化，变化的磁场，引起手机天线电流的变化——就是变压器的副线圈。严格说，是一组原、副线圈的互感效应。

2.3 高频交流电路的辐射场

设有一**电流元**，如图 5 所示。在无外电场情况下，自由电子随原子核周围电子作热振动，跟束缚态电子云一起摆动，处于动态平衡。当外界对电流元施加一个电场时，导体晶格中原有的平衡被打破，原子

中束缚态电子与原子核之间的固有形态发生改变。在此情况下，处于导带中的自由电子开始运动。

交流电路中，变化周期越长，显示出频率低，电场强度随时间变化就很慢，通常称为**缓变电场**。相反，在高频交流电路中，用于实践中的发射天线的基础即是电偶极子，这一高频交流电路也称**瞬时交变电流——时变电流**。

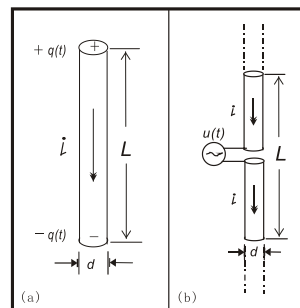


图 5 电流元偶极子天线

电流元直径与长度相比可以忽略不计，这种电流元称为**电基本振子——简称电振子**。把它看成是馈送高频能源传输线的一小段，是辐射能量子（不可见光）和近场电磁感应的源头。这里只研究基本振子上的电流为简谐变化的情况，这种理想模型只有假设振子在无任何能量损耗情况下，电流元上的电流是简谐变化的情况（即简单而和谐的振动之意），被视为简谐振动，即

$$i = I_m \cos(\omega t + \phi)。$$

初始时刻（ $t=0$ ）的相位为 ϕ ，称作**初相位**。

2.4 交流电波

2.4.1 低频交流电波

电波从发射器发出**远场辐射**过程中，输入天线振子的是**时变简谐电流**，由于电流元振子振荡频率较高—— 10^8 HZ 范围——相比通常交流电频率 50 HZ 而言。这时，发射天线的趋肤效应较为显著，这等效于使辐射体的**电阻**增加，增强了（发射）天线表面辐射效率——导体内部辐射多为噪声。电流元振子表现出的不是简谐振动，而是**阻尼或近乎于临界阻尼振动**（即：优良发射天线的真实工作情况）。天线振子的辐射强度，跟电路中输入的简谐电流强、弱成为协变关系——**纯态经典交变电流的量子辐射**。

宏观上分析，时变电流通过电阻呈一种振荡形式，稳恒电流的稳恒辐射情况，那么交变电流的辐射状况呢？我们将电流强度随时间变化分解成无限小的“时间区段 dt ”进行分析，在每个时间区段 dt 内近似认为是稳恒直线电流，只是各个时段 dt 的辐射强度发生了变化，认为辐射强度随电流增大而增强，辐射的强弱与电流大小成为一种数学对易关系。这里假设，外置电路中的电场强度是按简谐变化输入到发射天线的振子中的——近似认为是纯态经典交变电流。

如图 6 所示，由以上可知，交变电流 $j(x, t)$ 可看成理想的一维谐振子模型，表示为

$$q(t) = A_0 \cos(\omega t - \phi)$$

实际为 $e = E_{\max} \cos(\omega \cdot t - \phi)$ ， q 的幅模为

$q_0 = A_0 e^{i\phi}$ ，初相位为 ϕ 【见图 6 (a)】。也可表示成

$$q(t) = \frac{1}{2} A(q_0 e^{i\omega t} + q_0^* e^{-i\omega t}),$$

其中 q_0 即为振动的复振幅。从经典理论上讲，纯态交变电流产生的辐射亦属纯态。

在此情况下，相互作用哈密顿量为

$$\hat{H}_{\text{int}}(t) = -\frac{1}{c} \int J(x, t) \cdot \hat{A}(x, t) d^3x,$$

相应的运动方程是

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |t\rangle = \hat{H}_{\text{int}}(t) |t\rangle.$$

为此，在这里让我们假设天线振子中电流瞬时值为 i ，最大值为 I_m ；设想任意时刻电流对易的辐射光子数为 n 。当天线振子中电流变化至零 $n=0$ 时刻（ $n=0$ 的本征态为光辐射基态），辐射的光子数为零，常称真空态【见图 6 (b)】。显然，随着输入天线的时变电流为：由 $0 \rightarrow$ 渐增大 $\rightarrow$ 最大 $\rightarrow$ 渐减小 $\rightarrow 0$ ，天线辐射到空间的“能量子群”密度也与之对应。即，粒子密度：由 $0 \rightarrow$ 渐增大 $\rightarrow$ 最大 $\rightarrow$ 渐减小 $\rightarrow 0$ 。进一步分析认为，在输入天线的时变电流最大时段，其“能量子群”里每份粒子能量（ $\varepsilon = h\gamma$ ）比此

前、后时段都高。所以，图 6 (c) 中的一个波长里中间部分用粗-密的点表示，也就是表达此意。

当电振子在“真空”或空气中通过振子 R 的电流随时间变化，发出的光辐射强度随时间变化如图 6 (c) 所示，发出的电波强度，跟流过振子电流变化同步。电流最大时，振子发射的电波密度大，电流为零时，辐射强度也为零—— $Q_0 = I_{\min}^2 R t = 0 \times R t = 0$ 。

电流元在近场中磁感应、以及跟接收器的互感也是同步进行。空间里的时变辐射场，犹如一列由近及远传播的波列。

生产实践中，电波发射一般使用**开放电路**，也就是说，用于发射电波的元件是一电阻较小的短导线或称线元。当交变电流反复通过这条导线时，载流子与晶格往复碰撞过程中发生能量交换，能量向外辐射。某时刻，由大量光粒子组成的光波，这个波阵面简称“粒组波”，所以，大量粒子组成的波，简称“粒组波”。为了区分粒子波而为之命名。粒子波，容易被误导、误解为一个光粒子形成一个波。从点光源发出来的球面光波，称为球面“粒组波”，由平面光源发出的平面光波，称为平面“粒组波”【见图 6- (c)】。

振荡电路，是为了不连续、间隔很短时间向外发射不可见光——有序间隔的不可见光波，是为了电波接收器与发射周 T （或频率）相匹配时得到共振而加强。所以，近场，是电磁感应；远场，是电波（低频-不可见光）辐射。近场、远场同时在发射元件中发生。

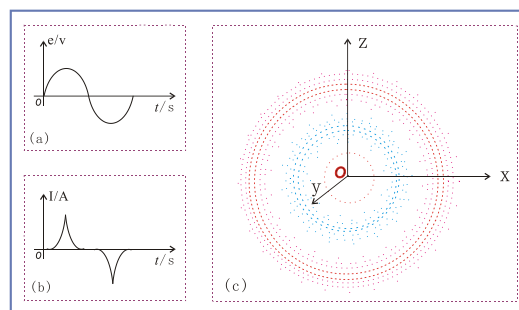


图 6. 交变电流与球面波 (a) 交变电流, (b) 谐振子脉冲电流, (c) 疏密相间的球面波

2.4.2 直流电路电波实验

如图 7 所示，由电池、导线、板锉组成的电路，

可以看成是一个电波发射装置。

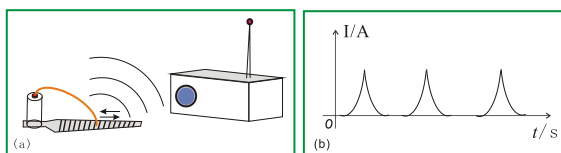


图 7. 收音机与脉冲波 (a) 收音机, (b) 脉冲电流

2.4.3 实验简析:

图 7 (a) 中, 当导线头在板锉的表面滑动时, 导线的移动端, 跟板锉凹凸表面呈间断接触, 伴随有脉冲电流——**时变磁场**。这时, 被击穿产生电火花 (电波), 触点发出的电波, 包括可见光在内的许多低频率波段; 但主要是近场响应——实为电磁感应, 图 7 (a) 相当一个电流磁效应器件。

当其中某频率跟收音机 $L-C$ 振动频率相同时, 收音机便发出嚓嚓的声音。图 7 (b) 为描述触点空气被击穿时直流电的 $I-t$ 波形。

3. 超导电路及振荡电路

当稳恒电流通过纯电阻电路时产生热效应, 表述为 $Q = I^2 R t$ 。其中, I 为电流强度 (电流表示数), R 为电阻。当焦耳定律的电阻 R 为零时, Q 也等于零。显然, 只有当金属温度降至接近 0 K 附近并进入超导态, $R=0$, 超导电路中, 没有热辐射。由 $Q_0 = IRt = I \times 0 \times t = 0$ 可知, 超导态下的无线发送器,

没有**远场**电波发射, 只有**近场**电磁感应。近场互感, 接收器的功率影响发射器功率

为此作者构建一理论模型, 从导体导带中“自由电子”与金属晶格之间的相互作用出发, 进一步预言: 超导振荡电路中不会发射**远场**电波, 只存在近场互感效应。超导体不发射远场波, 只可以近场互感。

如图 8 所示, L 是电阻可忽略不计的线圈或电感, C 是电容器, 将 $L-C$ 振荡电路人为冷冻至 0 K 附近, 此时将断开 S_1 , 闭合开关 S_2 , 对电容器充电, 待电路达到稳定状态后, 再断开开关 S_2 , 闭合 S_1 , $L-C$ 电路中将产生电磁振荡。

由于螺线管已被冻成超导态, 电荷 (电子) 在电路中往复滑动, 即便与晶格间有碰撞, 也属弹性碰撞, 期间并无能量损失, **超导 $L-C$ 电路中没有任何光和**

热向外辐射。所以, 天线中, 没有一飞千里而去的**远场波**。

电场、磁场, 是带电粒子体自身的一种物质属性, 不会因电路振荡就会离开自身粒子体而远走它乡。所以, 超导态下的 $L-C$ 振荡电路里, 只有电场能转化为磁场能, 磁场能又转化为电场能, 循环往复以至无穷。

近场范围, 振荡电路跟手机间成为一理想变压器方式进行工作。以电磁感应为主, 振荡电路跟手机间, 成就了近场中的电-磁互感。近场中, 电磁感应转化为手机里的电信号。

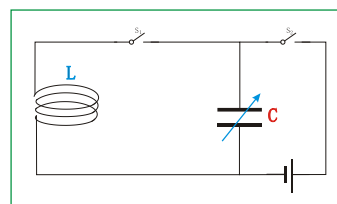


图 8. $L-C$ 振荡电路

4.1 欧拉波长假设

颜色与波长对照关系: 以牛顿研究的《光学》为基础, 后来发展成色散理论。光谱里每一种颜色必与某一定光波波长相对应。这一对应关系是俄国数学家欧拉 (1707~1783 年) 提出的。欧拉说, 在仔细考虑光线运动之后, 历史上大概最先提出有关光的学说, 正是我们熟悉的平面谐波方程。他最早提出波动光学基本模式——**波长假设**。

我们注意到两个情况: 其一, 从一种颜色向另一颜色过渡是连续的和逐渐的。每一种颜色不是对应某一个波长值, 而是对应一定范围的波段, 例如紫色对应于 $0.4 \sim 0.45$ 微米范围。

为了方便和简化, 就直接用它每个光子所对应的球形波阵面, 或者是为了更为简洁, 便简称为光子波阵面, 就省掉“对应”二字。

4.2 光波的波长 λ_0 与发射波波长 λ

为了说明光波波长 λ_0 与发射波长 λ 间的区别, 我们把 50 Hz 的交流电频率再降低为 10 Hz 加在小灯泡上——小灯泡为蓝光二极管。这样, 我们就可以看到小灯泡不是持续发光, 而是闪烁发光。即是时明时暗地间断性发光——人眼可以区分 10 Hz 以内的间隔。日常生活实践中, 人们熟悉的警灯闪烁, 警灯

灯光为可见光波长 λ_0 ，相邻两次闪烁时间间隔 $T=1s$ ，我们将它定义为发射波长 λ 。这样便可以很好理解光频率 f_0 及发射频率 f ，如图 9 所示。

蓝光频率约 $f = 5.80 \times 10^{14}$ HZ，它是电子从高能级跃迁或称原子能级辐射；波长约 $\lambda_0 = 520 \text{ nm} = 5200 \text{ \AA}$ 。当我们用 10 HZ 交流电加在该小灯泡上（蓝光颜色不变），则发射频率为 10 HZ，发射波长 $\lambda = 1.5 \times 10^7 \text{ m}$ 。

同理，红色激光波长 $\lambda_0 = 7.7 \times 10^{-7} \text{ m}$ ，发射激光的尖脉冲 $T = 1.0 \times 10^{-8} \text{ s}$ ，所以，发射波长 $\lambda = CT = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s} \times 10^{-8} = 3.0 \text{ m}$ 。

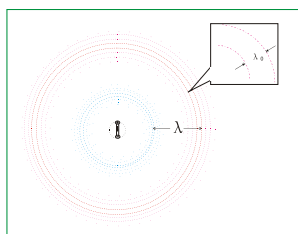


图 9. 光波波长与发射波长示意图

当输入电流的**强度**“人为地”使之呈周期性变化，则天线的电阻中辐射光能量也跟随呈周期性地向外输出。从宏观上看，辐射的强度变化，就像一列列波一样，一波一波（即：一拔一拔）地向外面传播。

一拔辐射，电流增强，撞到的粒子数增加，单位面积里辐射数量增加，即信号强度增大。

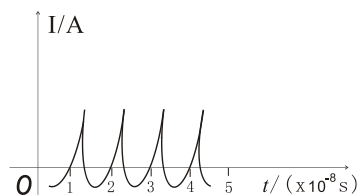


图 10. 尖脉冲电流

4.3 小结

光子的存在形式：一份光子，一旦从物质（原子）中发射出来，它就以 $C=3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ 运动，这是它的内禀属性所决定。真空中，光（辐射）波波阵面总是以速度 $C=3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ 传播，球面半径为 $R= Ct$ 。每份光子都是这个波阵面的元素，波阵面是光子的集合。所以，每份光子作直线运动，波正面便是呈（宏观态）球面向外扩散。一拔、一拔的光波波阵面之间的间隔距离定义为波长。

5. 远场电波的接收

5.1.1 实验装置（示意图）

如图 11 所示，图 11 中， L 是电阻不计的线圈或电感器， C 是电容器， $L-C$ 被人为设置成可与电波同频率的振荡电路，经过人为调整（改变 C 值） $L-C$ 回路振荡频率与天线接收的电波频率相同时， $L-C$ 回路产生共振而获得加强，俗称选台。

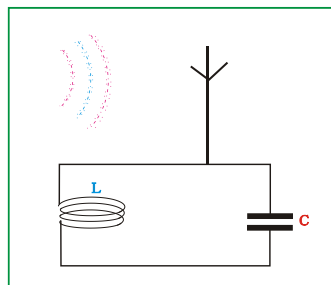
自然界发出的都是非离散的“连续”信息。信号处理，要经过傅里叶变换和奈奎斯特取样，才能简化为离散**脉冲**、经过编码进入工程的认知体系。所有取样的频率至少高于被取样信息的二倍以上，随着被测振动频率提高，就会提前产生取样技术上限，必然产生信息遗漏。这也许就是人类测量技术的先天大碍，看似离散的时间-空间，实则都是宇宙原始“物”，依然是连续的存在。所以，工程上应用同频共振、傅里叶变换都合理。

远场电波飞离发射天线，是一去不复返。接收器天线——类似人眼，接受不可见电波信号，有些类似或像人的眼睛。而人眼接收的是可见光波信号，被感知后反馈给大脑的信息。

在远场中，有发射天线发射来的不可见光波，被处在远处的手机天线所接收，接收天线里产生的内光电效应，有点像 CCD 成像。持续的不可见光波信号产生持续的内光电效应，再转换成可用的器件电信号。可见与不可见光的辐射，是同一种光辐射，只是其频率能不能引起人眼视觉罢了。在远场中，电台发出的是不可见光，产生一个远程信号，被接收器收下，转化为电信号。并且手机里装有自动识别、方向调整、接收与发送电波的功能。

远场中，手机接收无线电波，手机天线有些象红外线相机镜头成像原理，就像数码相机里面的 CCD 成像——在手机的接收天线里面，它接收的那个微波信号，微波信号接收器就是一个 CCD 成像原理。

振荡电路是为了不连续、间隔很短时间向外发射不可见光，有序间隔的不可见光波，是为了使电波接收器与发射周 T （或频率）相匹配时得到共振而加强。

图 11. 电波与 L - C 振荡电路

5.1.2 实验简析

1) 电波, 由线圈 L 发送和接收, 电容器 C 不能发送、接收电波。接收天线可看成是一束可用来传导电场的**导电纤维**。

2) 通常, 发射天线设计成**天线阵**, 这样就增大了接收器对电波的接收效率, 如图 12 (a) 所示。接收器天线收到电波, 同时产生与电波强弱相对应的**内光电效应**——电场、电流都很小相对于 L - C , 起到三极管的基极电流放大作用, 如图 12 (b) 所示。当 L - C 的振荡频率与之相同时, 回路产生共振、加强与放大。或理解为: 电波的振荡频率高, 作用于天线的^{时间间隔非常短}, 天线上的“热能”也瞬间发生变化, 像温差电现象一样——“瞬态温差”电现象。当接收装置中 (L - C) 产生与电波 (电台发射的) 频率相同时, 电路出现跟电波频率相同的振荡电流, 从而发生共振、增强和放大。这就是为什么发射天线设计成 (高频) 振荡电路, 而不是稳恒直流电路的原因所在。

光电效应中, 并不是说非得是“自由”电子去吸收高能光子, 毕竟, 在金属导体中, 自由电子的数量跟原子中的电子数量相比较, 它在整个金属表面的占比非常少。

金属表面上, 原子的表层电子吸收了高能光子能量时发生跃迁, 这时它对自由电子——对金属导体中导电带中的自由电子产生了挤压作用, 逃脱过程中挤压了“自由”电子, 从而使它脱离了原子——脱离金属原子成为光电子。

在光电效应中, 当高能光子打在金属原子上时刻, 原子的最外层或次外层电子获得了能量, 便向高能态跃迁。在金属原子之间的自由电子, 即拥有导电自由电子, 便立即补充到这个原子中去——失去电子的那个金属原子中去。

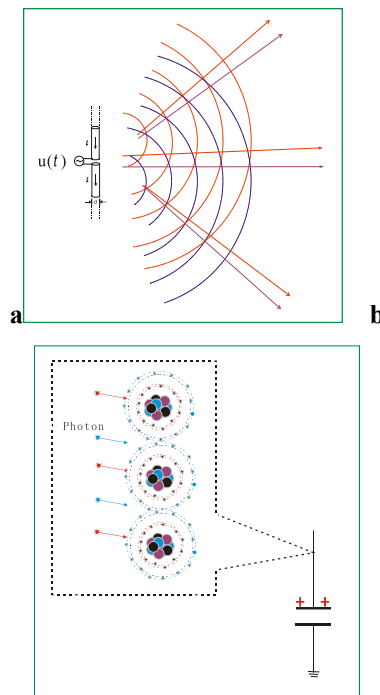


图 12. 接收天线中的内光电效应示意图

3) . 信号收-发方式:

0: —————, 1: D. —————,
 2: D. D. ———, 3: D. D. D. ———,
 4: D. D. D. D. —, 5: D. D. D. D. D.,
 6: —D. D. D. 7: ———D. D. D.,
 8: ———D. D., 9: ————D.

在工程上, 可以近似的用正弦波的波动方程进行计算, 这个应该没有多大的问题。工程技术上, 用麦克斯韦方程中的某一公式近似计算是可以的。在电波理论中, 也可以用正弦波的波动方程来进行运算。

杨氏干涉仪实验, 在工程上可以近似的用正弦波的波动方程来进行计算, 也可以。

5.2 电磁感应与感应电动势

(1) 电磁学中, **法拉第电磁感应定律**: 电路中感应电动势的大小, 跟穿过这一电路的磁通量的变化率成正比。我们来进行一个理想化实验: 将磁铁块磁场线进行正交分解, 或将若干个磁铁块 (侧面) 进行磁屏蔽, 如图 13 所示。实验中, 我们让磁感线垂直线圈平面随时间发生变化, 电磁感应定律认为线圈

中会产生感应电动势, 大小为 $E = n \cdot \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$;

(2) 导线切割磁感线产生感应电动势为 $E = Bv \cdot L$;

(3) 依据以上 (1) 和 (2) 的分析, 我们得出这样一个结论: 平行于磁场方向运动运动的导体也会产生感应电动势 $E = n \cdot \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$, 切割磁感线的导线

产生电动势 $E = Bv \cdot L$, 这不自相矛盾了吗? 所以人们不禁要问, 到底是切割磁感线生电还是磁通量变化生电?

本文认为: 线圈里无论是增加或减少磁通量, 都不会有感应电动势或感应电流。只有切割磁感线的导体才会产生感应电动势。

显然, 只有切割磁感线才会产生感应电动势。平行于磁感线的金属棒移动是不产生感应电动势的。所以, 法拉第的电磁感应定律中, 成了一种这样的描述, 平行于磁感线, 也产生感应电动势。

其实, 也可以这样去理解: 磁铁块磁场线进行了正交分解; 当磁通量的数量变化时, 其切割的磁感线数量也在跟着一起变化。这样, 就可以把法拉第的电磁感应定律跟那个切割磁感线统一起来。

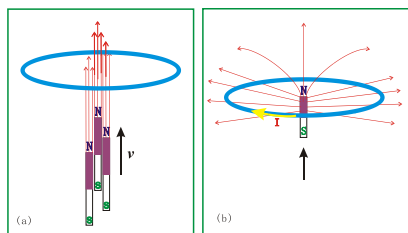


图 13. 电磁感应示意图 (a) 时变磁通量, (b) 线圈切割磁感线

假设: 在一透明的环形绝缘的光滑玻璃管内, 里面有一些大小相同且带有相同电荷量的带电小球, 在自身电场作用下均匀分布于环内, 且保持静止。t=0 时刻, 将磁铁的 N 极快速移出, 小球以速率 v 运动。

这时, 环内没有环向电场, 带电小球在惯性下沿圆环做速率不变的圆周运动, 俯视图见图 14 (b)。

无线充电系统, 就是电磁感应。随着离场源越来越远, 电磁感应强度减弱。

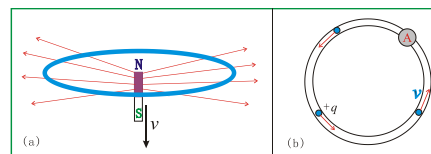


图 14. 线圈切割磁感线示意图

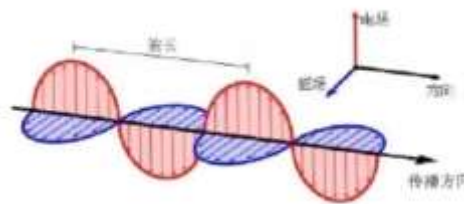
5.3 电-磁场

如图 15 所示, 麦克斯韦理论大致是这样, 在振荡电路中 (也称时变电-磁场), 变化的电场引起周围空间的磁场跟随变, 反之亦然, 这样由近及远地往复循环下去, 被称著电磁波【见图 15-a】。变化的磁场在空间产生电场观念错误的, 如果空间没有导体存在, 即便有变化的磁场, 也不会产生感应电动势, 当然也就没有感应电流, 没有了电流, 怎么会产生磁效应呢?

法拉第电磁感应定律描述得很清楚, 磁通量的变化率, 那个磁通量, 它必须是有有一个具体的导电线圈【见图 15-b】, 通量是指在一个范围之内, 是线圈内的磁通量变化率。而麦克斯韦理论中, 连线圈都没有, 怎么产生电场啊? 怎么会有电动势呢? 没有了电动势, 没有导电回路, 哪来的电流呢? 没有了电流, 又咋会生磁。所以, 将法拉第电磁感应, 用在麦克斯韦的电磁波理论中, 麦克斯韦理论是站不住脚的。

近场电波, 是使加在发射天线上变化的电场, 在振子导体中产生变化的磁场; 而变化的磁场, 在接收器天线导体中发生电磁感应, 生成了感应电动势, 进而获得感应电流。即是说: 发射天线中, 变化的电流, 产生变化的磁场。在空间变化的磁场, 遇到金属导体 (以手机天线为例), 在导体中又被感应出变化的电场, 对应产生了变化的电场。

变化的电场产生变化的电流, 变化的电流产生变化的磁场, 变化的磁场, 又激发空间导体产生变化的电流【见图 15-c】。



a

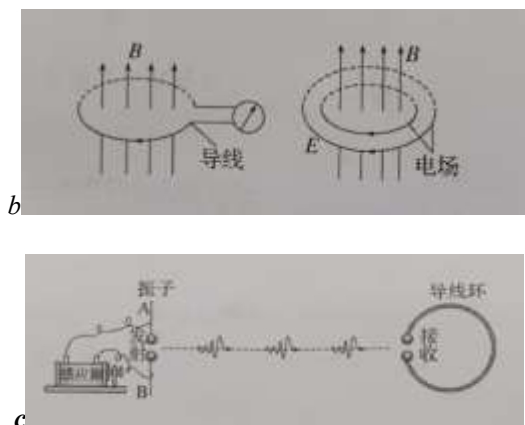


图 15. 电波发射、接收及波形示意图

5.4 小结

本文从电路中电流跟原子相互作用机制出发，对（热）辐射场的形成进行了综合探究，认为：电场线离不开电荷体，磁场是电场的特殊运动所表现出来的物理效应。所以，麦克斯韦理论中，离开电荷的电场、磁场能够独立存在，并能在空中相互转化是站不住脚的。

远场：振荡电路中，电阻会发出低能光子群（宏观波）。振荡源中大量自由电子，在周期变化的电场力作用下，每点（即线元）都是一个振荡源，受到周期性激发，大量电子齐头并进，与晶体的原子、正离子呈周期性地发生碰撞，于是便周期性、一拨一拨地向外辐射，同时发射的大量光子构成“群”，一群群地向外扩展就成了波——光波，群流的波矢方向各异，球面可以是无限扩张的波矢，方向是无限个。

远场，发射天线中发射的那种低能的、不可见的光，它跟可见光是一种物质，只是说它的频率比可见光低了很多。

近场：其实质是以电磁互感效应为主。虽然发出低能（不可见）光波强度比较大，但天线的**时变磁场**更直接。发射天线里，电流变化引起（自身）发射天线产生的磁场变化，磁场的磁感线是长程作用，磁场线振荡变化，引起接收天线产生**同频**感应电动势形成感应电流，这就是近场中的近场效应。当然，远场、近场，不可见光辐射同时存在，只不过远场效应是辐射为主，近场效应是电磁感应为主。**同频**的目的是为了**共振**，**共振**的目的是为了**信号放大**。

在发射器的发射天线内，通过天线内变化的电

场形成电流，电流产生了向外的磁场。也就是说，在近场范围，发射天线中变化的磁场，引起了接收端接收器（比如手机或无线充电器）的副线圈里磁通量变化，于是产生感应电流→形成时变电场。

简单描述：发射器和接收器天线之间，组成了一个近似理想变压器。发射天线为原线圈，接收端为副线圈。所以，近场中，接收器功率大小影响着发射端功率输出的多少。

电场、磁场，不脱离场源（天线），脱离天线传播出去的电波是光辐射（即：不可见光辐射）。基站天线里，变化的电流产生变化的磁场，手机天线内同时也产生了变化的电流，经过放大、调制等一些必要的工程技术，达到接收电波的目的，这是近场通信的真实情况。

所以，在城市的建筑物顶，安装了许多发射基站，相邻发射基站之间的距离，一般都在 100~300 米距离范围，所以在城市内，是近场全覆盖。近场，是个像变压器一样的互感作用，他们之间不需要传播时间，就是一种即时的超距作用。

5.5 交变电流下的趋肤效应机制

集肤效应：以圆柱形导体中通过的时变电流为例：导体中心的、定向运动的电荷，受到电场力（即电场强度）较大于其表面，电荷速度变化快，首先产生磁场。其表面运动电荷运动速度较小，相对中心的运动电荷来讲，速度是朝相反方向运动的。影响导体表面同向移动电荷的洛伦兹力的方向指向表面，使表层电荷向外迁移。

趋肤效应机制：在导线中心部位电场强度大于导体表面，所以，自由电荷首先是从导体中心开始受力、加速运动的。在电场强度增大过程中，导体中心部位的电荷开始运动，运动电荷就产生磁场，相对于中心位置周围的电荷，其相对运动方向刚好相反。导体中心位置的电荷受到的电场强度大，其加速度、运动速度变化非常快，运动速度较表面也要快。相对于中心位置周边而言的电荷速度相对较慢。从运动学的相对性角度，导体表面的电荷跟中心位置电荷的相对运动，方向刚好相反。

根据中心位置的电荷运动，由右手螺旋定则，它的磁场环绕方向为逆时针方向，如图 16-（b）示。

再根据左手-洛伦兹力的作用方向判断，电荷受

力垂直指向导体的表面——电荷在磁场中切割磁感线运动所受到洛伦兹力。所以电荷趋向于导体的表面迁移，这就叫趋肤效应。

所以，在导体中运动电荷就像集中在了导体的表面，中心的电荷数量小于表层电荷量。

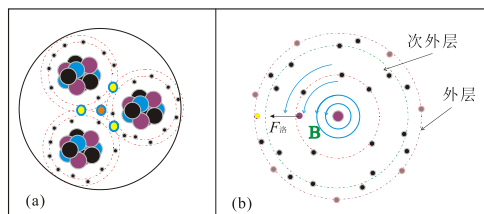


图 16. 趋肤效应示意图

5.6 激光打孔技术的底层逻辑

激光打孔，主要是，激光的高能量集中辐射在一个分子或几个相邻的原子上，原子核外的电子瞬间吸收了光子能量而跃迁、跳跃，并离开原来的原子，从而使光照区域、原来电中性的原子成了带正电性的离子——光电效应。

这些带正电的离子之间有库仑正电荷力的作用，离子之间在电场力的作用下相互远离，从而使得它便从被照射的区域离开了原来的位置，使得原位置就成了一个缺少了原子成为一个空洞。这个空洞的形成，就完成了对物件打孔的目的。

6. 条形磁体的磁场线设想

如图 17 所示，红色射线表示磁 N 极的磁场线，蓝色射线表示磁 S 极的磁场线，成发散态空间分布。条形磁铁中，磁场强度、方向呈椭圆闭合状态；规定：磁场线从 N 极出发、经外部空间回到 S 极，构成一个闭合回路，图中用带黑箭头曲线表示。

真实的磁力线或磁场线——图中用红、蓝两色表示，它是电荷自旋而产生的，是电场线随粒子自旋运动所——本质是电场线——是电场线自旋运动下的另一种表现。磁场线是直线、磁场强度分布是曲线。图 17 中用曲线表示，是指磁场在该点的强度及其合磁力的方向。

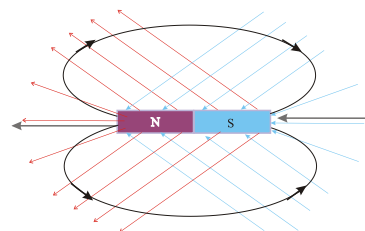


图 17. 磁场线与磁场强度分布示意图

条形磁铁的磁力线，从自旋电荷处发出来指向无穷远处的一条条射线，是一条条直的电场线，跟随电荷粒子一起做自旋运动——如同地球上的高塔随地球自转。

当各电荷运动的排列方向一致时，它的 N 极、S 极在同一条直线上，N 极指向左方，反方向为 S 极【见上图 17】。显然，条形磁体的中部，在 N-S 连线中垂线上的外部空间，N 极磁分子的蓝色磁场线与 S 极磁分子的红色磁场线磁性被“完全”中和，所以其强度 B 近似于 0。

7. 洛伦兹磁场力 $F=qBv$ 之源的底层逻辑

静止的带电粒子，在磁场中为什么不受磁力 F 的作用？这个静止与运动状态是相对磁场而言的。为什么在同一磁场中，带电粒子的运动状态，决定了其受到的磁力的大小以及力的方向？

如图 18 所示，图上部分“AC”为永磁体 N 极，下部分“BD”为永磁体 S 极。在 A-B 连线的中垂线右边有一小磁针 Q。小磁针的 N 极跟永磁体 S 极相互吸引，同理，小磁针的 S 极跟永磁体 N 极相互吸引，其合力水平向左。

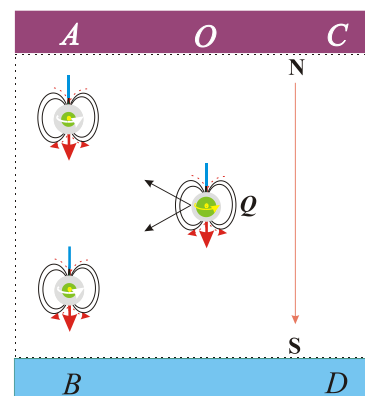


图 18. 磁场与磁针 O 产生吸引作用

如图 19 所示，图 19 (a) 与图 18 相同。永磁

体（简化为磁针 C 和 D）分别对小磁针 O' 产生排斥作用，图 19（b），其合力也水平向左。

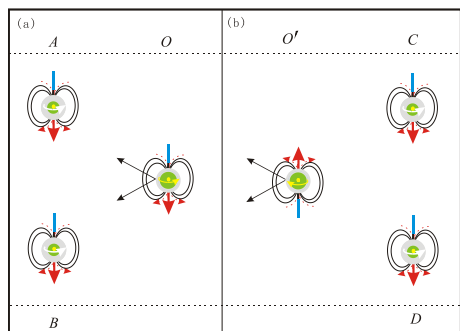


图 19. 磁场与磁针 O' 产生排斥作用

建立空间坐标系 $O-xyz$ ，如图 20 所示。当运动电荷以速度 v 垂直 $y-O-z$ 平面运动时，可人为设想：将这个正电荷看成球体，从中心分成左、右（或东、西）两个半球。

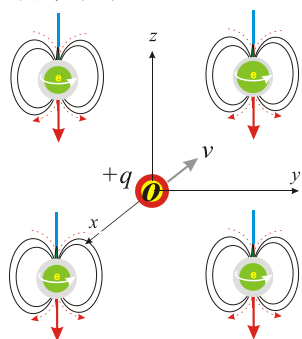


图 20. 空间坐标图

从上向下（ $A \rightarrow B$ ）俯视，见图 21。电荷 $+q$ 的西半球部分，电荷运动速度 v ，相当于电荷顺时针方向一个自旋瞬态；东半球部分，相当于电荷逆时针方向旋转——一个逆时针方向旋转瞬态。由右手螺旋定则可知，它的自旋为顺时针方向，左边即顺时针方向旋转；右边是逆时针方向旋转。左半部分相对于磁场线 $A-B$ 而言是顺时针自旋；右半部分，相当于磁场线 $C-D$ 是逆时针方向自旋。

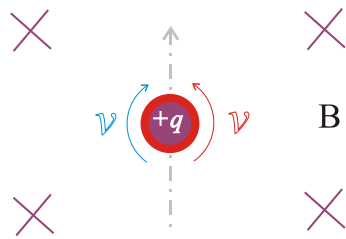


图 21. 俯视图

将图 18、图 19、结合图 20，等效为 21 进行对比分析，合力示意图，如图 22 所示。我们就知道，运动电荷在磁场中受力是怎么一回事，也就明白洛伦兹磁力形成的底层逻辑。

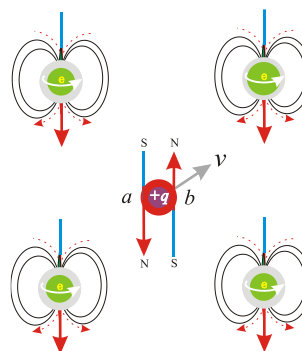


图 22. 合力示意图

所以，相对于永磁体中电子自旋磁矩，运动电荷 $+q$ 就是个（2 倍）自旋瞬态—— a 和 b 各具有一个自旋态。电荷一旦离开，就进入了永磁体中下一个电子自旋场范围，即永磁体磁场。所以只有电荷自旋才产生磁场，即磁极 N 和 S。有了 N、S 极，运动电荷 $+q$ 与永磁体磁场之间才会发生力的作用。

8. 附件1：波的全反射

8.1 光的全反射

全反射现象，是光线从光密媒质向光疏媒质中传播时，当入射角增大至某一角度时，折射光线不再射入空气里，而全部反射回到玻璃里，这种现象叫做**全反射**。直白地说，1982 年作者就对此产生过怀疑。

8.2 概念

光疏媒质：两种媒质相比较，光在其中传播较快的，绝对折射率较小，这种媒质叫光疏媒质。

光密媒质：两种媒质相比较，光在其中传播较慢的，绝对折射率较大，这种媒质叫光密媒质。

临界角：折射角等于 90° 时的入射角，叫做临界角。

8.3 全反射现象

全反射，是当光从光密介质（折射率相对较高）入射到光疏介质（折射率相对较低）时，光不再发射折射，全部反射到原介质中去。具体讲，是光线从光密媒质向光疏媒质中传播实践中，当入射角增大至

某一角度时，折射角将变成 90° 。入射角再大一点，折射光线将不存在，入射光线不再射入空气里，而全部反射回到玻璃里。真的全部反射了吗？我存怀疑。

作者不是不相信技术的发展，也不是有意对现有的理论提出质疑，而是以理论为依据对事实真相进行分析。

如图 1 所示，一块半圆柱体玻璃砖，五支灵敏光-电感应计放置在离 PQ 距离 $0.2 - 0.3 \text{ mm}$ 左右，让一单色激光束由 A 点射入，且折射角略大于或等于临界角，反射光束沿 OB 方向。紧接着观察置于 PQ 边缘附近的五支灵敏光-电感应计 a 、 b 、 c 、 d 、 e ，发现 c 处信号强度变化明显。所以，光线在玻璃与空气界面 O 点并没有全部反射回到玻璃里，还有很大一部分 **散射** 到了空气里。为此，将入射、反射光束放大，见 图 1 下方。在惠更斯原理下的球形包络面作图显示，光线在密、疏界面并没有全部反射。

图 1 中， W_1 为入射波阵面， W_2 为经界面 PQ 的反射波阵面。从概率统计观点分析，反射光束 OB ，是没有从界面 PQ 逃逸出玻璃的那部份“漏网之鱼”，界面 PQ 原子 (b 、 c 、 d) 处先、后生成的光参考球同时到达的包迹，且遵循着惠更斯原理沿 OB 传播罢了。光线到达界面 O 点后，并以界面各点为次波源产生球面波，此刻散射到空气一侧的光线不能再形成包络面，即散射到空气中的大量光子不再形成定向传播的光线，人们误以为光线在界面 O 点全部被反射回玻璃里的错觉。

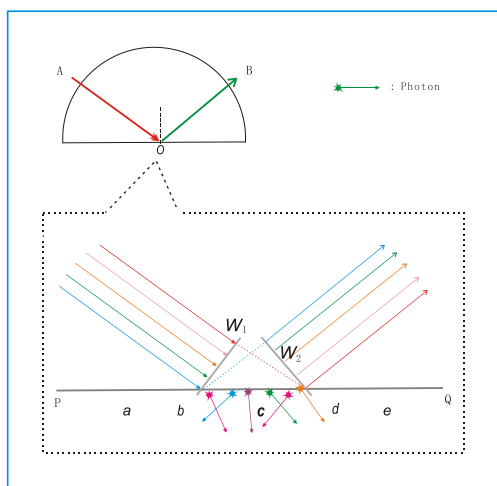


图 1. 光线在界面处的反射、散射示意图

从图 2 的 (a) 和 (b) 即可看出，全反射是由于

P - Q 平面上的各个质点反射所造成的。在图 2 (b) 中，一个形象的比喻是，把图片分成三个区域分析。

最左边，栏杆，相当于 PQ 平面上的质点，左半部分质点非常密集，同一面元 ds 上，反射的光线数量比中间部分多，而最右侧，光线基本上全部透过了“玻璃”，透过窗子栏杆的多，反射的光线十分少。

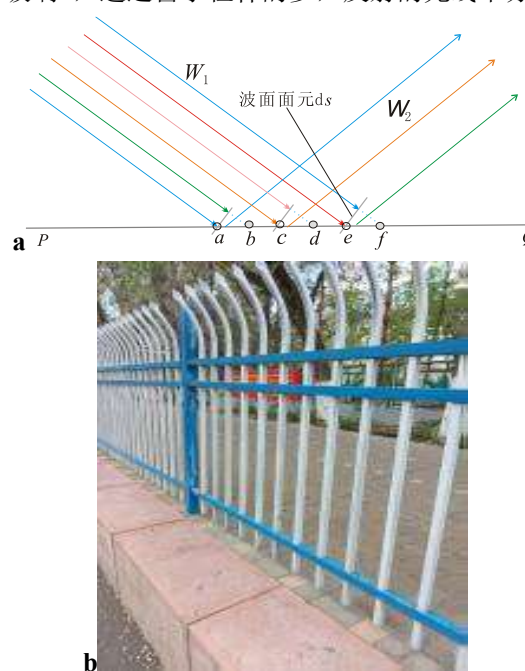


图 2. 实物说明图

8.4 疑问

假若相信光线在密、疏界面是全部反射回到光密媒质里，让人感觉奇怪，光子不往空旷开阔的空气及真空中走，而是选择密不透风的玻璃里，是不符合常理的。所以，不是光线不正常，而是人的思维偏离了客观现实。

8.5 光纤

所谓光纤，光导纤维的简称，是一种由玻璃或者其他材料制成的光波导。光能够在光纤中传输，最基本的原理就是“全反射”。

最初的光导纤维，就是用玻璃制成的光纤。其光传播即按【见图 1】的方式在玻璃光纤界面的多次反射，且入射光束必须与光纤横截面有一适当角度方能实现——光线在纤维内行进情况与光线入射纤维端面的角度有关，若用太大角度照射在纤维端面时，光线会透过侧壁流失。现代工业光纤是由玻璃或石英为材料制成的一个直径很小的正圆柱体，光纤的外层被一种折射率为 n_1 (小于光纤本身折射率 n_0)

的薄层介质所包覆，即折射率沿着横截面变化的光学纤维——采用梯度折射率材料制成的，折射率为内大外缘小，让光线锁在纤维内。



图 3. 光纤光缆（图片来源于网络）

另一种，是近代科技发展起来的光纤数字通信和光学孤子（optical soliton）通信，这里主要讲点光孤子通信。

光学孤子：在光纤的反常色散区，由于色散和非线性作用，可产生一种非常规的现象，即光学孤子。一种特别的波，可传输很远距离而不变形。

其实，光纤里的自导光束，就是由光束强度引起光纤密度发生变化，光线又因光纤密度不同又引发折射变化，因而产生空间孤子（spatial soliton）。光纤数字通信里的光学孤子，即是如图 4 所示的传播情形。同时输入光纤横截面的上、下边缘的红色和兰色光线，经折射后在光纤中心轴线交叉，又继续奔跑，多次重复前面的过程，便达到光脉冲由近及远的信号传输。从图 4 所示情形，光线交会点极似凸透镜“焦点”，犹如一光“凝聚”点。

说明：射入光纤的是一单色光束，为了图 4 中明示光线轨迹而选用了不同颜色。

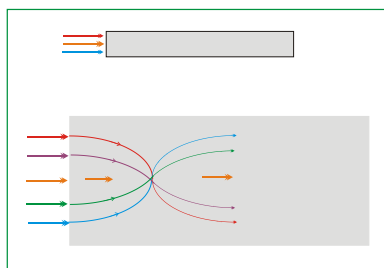


图 4. 光脉冲在光纤介质中传播示意图

8.6 小结

全反射，它不是真正意义上的全部反射，只能当个名称使用还能说得过去。光纤及光纤信号传输，其传输方式仍然遵循的是经典光学原理，即经典光学理论在特制材料中的相关应用。所以，没必要“发明”

一些吸人眼球的新名称、新名词。光缆线中，每根（玻璃）光纤可看著一个“像素”——像的元素。则光缆将若干光纤信号从一端传输到另一端，所以在另一端我们能看见。全反射，把它理解为梯形散射。包络面梯形散射或叫梯形反射。

9. 附件 2：原子结构论

近代科学研究表明，原子是由原子核和核外电子组成。目前认为，核居于原子中心，电子绕核做高速圆周运动，静电场力提供电子绕核运动之向心力。目前大多数人都相信这一原子结构模型。但有一个问题是，当我们假设一个处于无限大真空中“静态”质子，吸引着一足够远处的电子，电子由静止开始向着它做加速运动，最终与质子正面相撞。当电子砸中质子时为弹性碰撞，原子将是一个弹性振子；一般是做非弹性碰撞，电子将沿电场线方向做有阻力的阻尼振荡，以光、热辐射方式逐渐耗尽其能量；当它们之间是完全非弹性碰撞，电子将直截坠落于质子表面不得动弹，一次性将能量以光、热辐射出去。本文通过对场力传递模拟、渐近自由等分析，得出与以往不一样的原子结构猜想图。所以，本文应该是对原子结构的真实写照。

9.1 氢原子形成的真实过程和对旧原子结构模型的质疑

作者于 1985 年 10 月对静电场、磁场及万有引力场场结构的研究认为，当两个场源体之间相距非常近时，作用力（考虑）并不严格遵循平方反比规律。即是当它们相距非常近时，（异性）吸引或（同性）排斥力会急剧减小，一旦两个场源体相距为零时，它们之间也表现为不再有相作用，有些类似核子与核子之间的相互作用变化规律。从而引发作者对原子结构的思考。

引发作者对原子结构的思考，是将原子核比拟为地球，电子比拟为地面运动的物体。比如，人、火车、汽车等。以常见的汽车为例，车自身有重力则不容易逃离地球引力场飞到外太空去，它对地面产生压力，地面对它有支持力而不至轻易地坠向地心。为此，作者质疑传统原子结构模型，同时提出以下观点

在无限大真空环境中，有一对等量异种电荷的质子和电子，它们相距足够远。假设同时由静止释放，在库仑力作用下，电子、质子做初速度为零的加速运动。因质子质量远大于电子，认为质子“静待”于原处，电子做持续不断的变加速运动。

因电子沿“质子-电子”连线上只受库仑电场力

作用,不存在使电子改变运动方向的力。所以,它高速坠向质子,最终一头砸向质子的怀抱。

砸向质子的同时,**电子实体**将触底(质子表面)反弹。这里分成两种可能:若为非弹性碰撞,电子将沿电场线方向做简单的几次往复振动,逐步以光、热辐射方式耗尽其动能;若是完全非弹性碰撞,电子将坠落于质子表面,一次性将能量以光、热辐射出去。最终,电子在质子表面处于“静态”,即便存有运动,亦是沿质子的等势面,随几滚动或滑动。

如图1所示。这里假设、仅当假设,卢瑟福、玻尔等人提出的电子绕核运动如同行星绕日高速旋转理论正确,其空间态如图1(a)所示。那么,当两个氢原子结合为氢分子,如图1(b)所示,两个绕核运动的电子将可能在其轨道上空相撞,如同反导弹头迎击来袭的弹道导弹,最终结果是双双下坠“落地”。如果我们有能力将火星变轨至金星轨道并令其相撞,地球人将亲眼目睹它们会双双坠日。太阳系里绕转的行星,我们可以这样设想:可能是太阳系形成之初,“宇宙尘块”被孤独的太阳(引力场)捕获。或它们自宇宙某处高速奔来,沿(行星轨道)切线方向撞入太阳系里——这种几率是存在的,但不是所有行星都是这样。当万有引力恰好提供它绕日运动,最终绕日稳定回旋。当然还有大量不符合绕日运动条件的,要么坠入太阳,要么奔向宇宙深处。不妨还可以猜想,随着时间推移,或许再过若干万年、亿年,太阳系可能增加新成员。所以,太阳系的某些行星有可能是宇宙尘块运动到太阳系的随机分布。

电子在原子核的上空高速运动,它**不会也不敢**坠落,即便在8.0km的深海里,水分子里,氢核外电子受到如此强大的压力,它的玻尔轨道也不会发生任何改变,有点圆周运动知识,都会说这个玻尔轨道神奇到无法理解的程度。

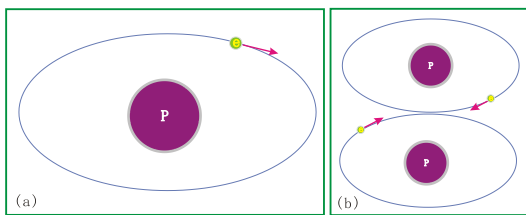


图1. 卢瑟福原子结构模型示意图 (a) 氢原子, (b) 氢分子

9.2 氢原子结构

9.2.1 氢原子的形成

美国学者霍夫斯塔特从实验上探究并测出质子半径 R 在 $1.1 \times 10^{-15} \text{m}$ 范围,电子半径更小。由一份质子和一份电子组成的电中性系统,即是宇宙中的

最简原子。作者对其形成过程有一猜想,如图2所示。假设:质子、电子的几何形态为球形。温度处于绝对零度($-273.^\circ\text{C}$)附近环境中有一足够大的真空区域,空域里有一枚**孤独**的质子,从足够远(或无穷远处)释放一枚电子,电子、质子由静止开始在库仑力作用下均做初速度为零的加速运动。由牛顿定律 $F=ma$,可认为质子“静待”于原处,而电子做持续不断的变加速直线运动。因电子在“质子-电子”连线上不受其它外界影响,电子在质子电场作用下高速坠向质子,最终一头砸向质子。此刻,**“电子实体”**将触底反弹,在此过程中,电子比喻为一块大殒石坠向地面——不考虑空气阻力,也不考虑殒石击穿地球等特殊状况。在坠落地面前仅受万有引力作用且持续蓄能,一旦触地,将触地反弹并释放能量。

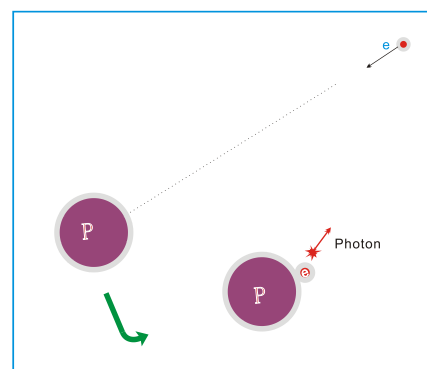


图2. 电子坠落质子示意图

显然,电子坠落质子表面瞬间的冲量 $I=Ft$ 较大,经短时的能量转化后,最终以支持力 F_N 与静电吸引力达到平衡状态——竖直向上的支持力等于电子的“重力”。目前实践中还没发现质子、电子的几何形态为正方、三角、椭球等形状,这里暂假设它们为球形。

9.2.2 简要解析

电子在坠向核的过程中,动能转换成光能辐射出去,一般经一次或二次或多次光辐射,或电子在质子竖直方向上空振动片刻,最终组成一个电中性氢原子,如图3所示。此刻,辐射的光子已奔走他乡,氢原子四周没有任何热量存在,氢原子核的电子没能获得外界的光能,所以它没有(热)振动,也就没有温度。电子占据着本属于自身的空间默默“静待”于此。显然,这里的“静待”并不是绝对的,因质子、电子存有自旋属性——内禀性。

退一步讲,即便是因电子、质子自旋所致的电子绕核运动,它亦是沿质子(球形)表面滑动或平移,随机而动,如同地球表面运行的火车、汽车或穿上冰鞋在冰面溜冰——竖直向上的支持力等于物体的重力。

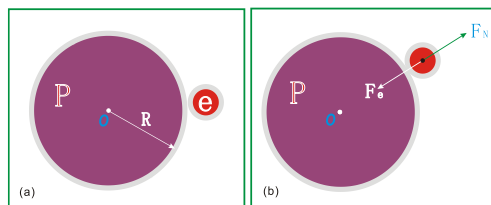


图 3. 氢原子结构示意图

诚然，质子表面对电子的支持力 F_N 等于电子受核对其的静电引力——电子在原子核表面的合力为零。如同地面物体既受地心引力又受地面支持力作用。所以，电子在原子核表面可能“静态”，也可能沿着核的表面（等势面）做随几滑动，而不是在原子核上空做高速圆周飞翔，静电场力并不提供电子做高速圆周运动，而是束缚着电子不让其随意离散。然而，波尔对氢原子的轨道假设中，轨道高度必须是几个特定固有高度，角动量也固定为几个分立数值。试想，电子会那么听从且按假设的那样表现？所以，波尔所做的这些工作，是为了去匹配那个可见光的光谱数据——现已探明氢原子光谱多达几十上百条。卢瑟福、玻尔等人的电子绕核运动状态如同行星绕日、卫星绕地的高速旋转假设，较大程度上存有主观臆断。

根据刚体力学中对转动惯量的定义，角动量等于物体的动量 M 与转动半径 R 的乘积，只有自旋角动量。因为电子不绕核运动，热振动也没有了，所以 v 为零。我的理论认为原子基态角动量为零，在低温超导态时，原子热运动为零，原子高能态电子层的角动量也为零。

9.2.3 氢原子-分子结构猜想

如图 4 所示，氢原子由质子与电子形成电中性，但各自的自旋磁矩强度不同，实验测得电子自旋磁矩强度是质子的 659.6 倍。显然，由两个氢原子结合的氢分子，不但跟氢原子的电偶极性相关，还与氢原子磁矩密切相关。所以，由两个氢原子缔结为一个氢分子 (H_2) 的过程中，电偶极性和电子自旋磁矩均有贡献。电子在两质子的连线上，自旋磁矩方向相反，如图 5 所示。原子之间的凝聚力，一般为没有完全被中和的电子自旋磁场力所致。

历史上，一开始的磁矩在 B 中的电势能，原本都是针对连续的圆环电流、连续分布的自转小球而言的。

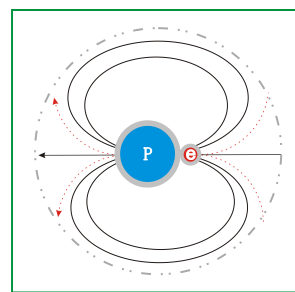


图 4. 氢原子结构猜想图

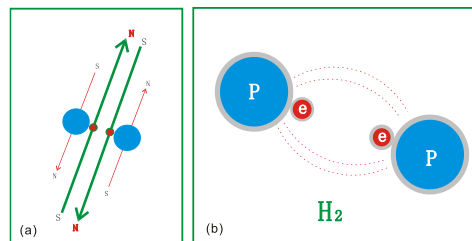
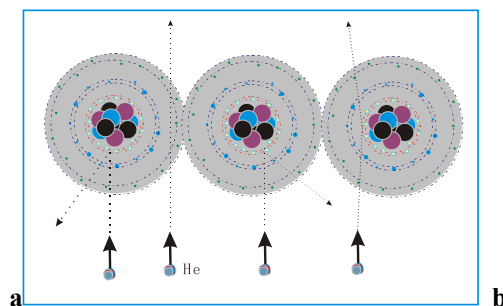


图 5. 氢分子磁矩耦合示意图

9.3 重原子结构

9.3.1 重核原子

所谓重原子，即是原子核为多个质子和中子组成，核外电子总数与核里质子数目相同。道尔顿当初认为，原子是质量均匀分布的球状实体，而 1909 年卢瑟福 α 粒子散射实验中发现，相邻原子之间是非常空旷的——相对 α 粒子几何体而言，如图 6 (a) 所示。从此，人们不再认为“原子是实体”，而是正电荷高度集中于一点，周围分布着大量电子，电子数目与核里质子数目相同。即是说，造成卢瑟福实验中的 α 粒子发生透射，相邻原子核之间的几何空间非常大——相对 α 粒子线度而言。 α 粒子散射，是原子核聚集有大量正电荷且质量巨大。所以，原子，由原子核和核外电子组成电中性系统，核居中、电子分布其周围。然而，划时代的卢瑟福实验结果，却催生了划时代的错误理论——原子的太阳系结构模型，如图 6 (b) 所示。



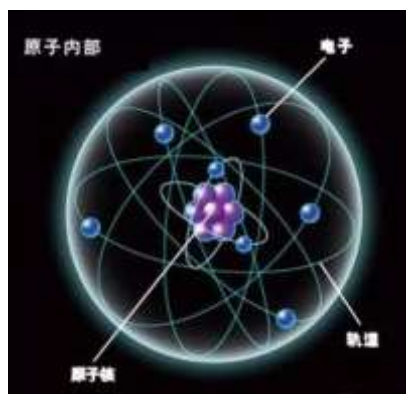


图 6. 卢瑟福实验与原子结构 (a) α 粒子透射金属薄片, (b) 原子太阳系结构模型 (来源网络)

9.3.2 原子结构

研究认为,核外电子除自旋以外,不做绕核高速圆周或椭圆轨道运动。重(核)原子核外电子分布规律,遵循着先从核表面均匀分布——如同若干电子均匀分布在金属小球面上;电子分层排布,内层布满便排第二层、第三层、...,依次排布为壳层结构。由于各电子壳层的电子间存在斥力,所以彼此间也存在间隔距离。处于各电子壳层的(电子)势能各不相同,所以单个原子的各层电子具有不同“能级”,每一能级对应着各自的光谱波段。

由公式 $E_p = k \cdot \frac{Qq}{r}$, 内层低于外层电势能,这种结构决定了电子跃迁时具有多个波段的光辐射或光吸收。

9.4 综述

电子颗粒分布在球面上构成壳层,作者原子结构猜想的剖面示意图,如图 7 所示。最低“能级”的电子在(重)核表面,受到核表面的支持力,最低层排满后剩余电子排布于次内层,还有多余电子依次向外层排布,且遵守力学规律,壳层之间各自独立又互相依存,组合成电中性的原子结构。在外界或相邻电子影响下,电子可沿自己所处的(壳层)等势面上,随机滑动。在绝对零度(-273°C)以上的环境里,电子在核电场(竖直)方向上不做热振动,只在球形等势面随机滑动。

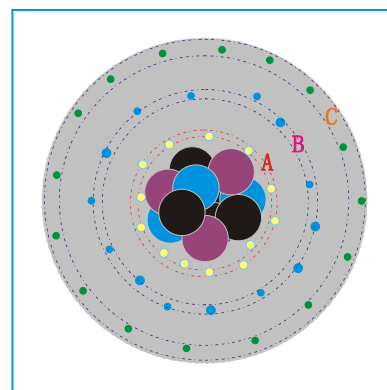


图 7. 原子剖面示意图

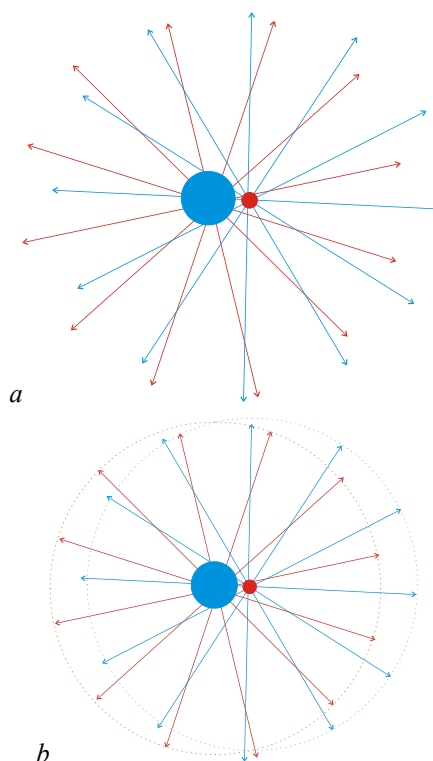


图 8. 电子-质子的电场分布 (a) 电力线交叉图, (b) 电场线重叠范围图

9.5 小结

原子,由原子核和核外电子组成,核外电子具规律性排布,电子“定居”于电子壳层里,它不绕原子核高速旋转,而是绕自身轴自旋。当核外电子受到来自外界或周边邻里作用时,它将在核电场中(自己)所在等势面随机迁徙。高于绝对零度温度环境下,热辐射使原子中电子沿电场(竖直)方向做随机热振动。

参考文献

- [1] D. Gabor, *Nature*, **161** (1984), 777; *Proc. Roy.*

Soc., A, **197** (1949), 454; *Proc , Phys. Soc ., B* , **64** (1951), 449 .

[2] 阎金铎, 张计怀, 窦国兴 编 物理学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1998.

[3] 程守洙, 江之永 编 普通物理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1979.

[4] D. Gabor , *Proc . Roy . Soc ., A*, 197 (1949), 454 .

[5] E. N. Leith and J. Upatnieks , *J. Opt . Soc . Amer .*, **52** (1962), 1123 ; **53** (1963), 1377 ; **54** (1964), 1295 .