

结构电子与大气电场的关系

徐 超

(河北师范大学物理学院 石家庄 050016)



结构电子的提出

目前物体的带电理论是:当物体失去电子时该物体带有正电;当物体得到电子时该物体带有负电。在实际的应用中,人们对一个物体是否带电的判断,主要是检测该物体相对环境或参照物的相对电位或相对的带电状态,而不是真地去检测该物体内部质子和电子的数量。这意味着和大地电位相同而被定义为“不带电状态”的物体,其内部的质子和电子数量并不一定相等。

以PN结中的P型半导体为例,在和大地电位相同时,P型半导体内部的电子数量多于质子数量,这是由于掺杂技术改变了本征半导体原有的物质结构。



图1

档测量蒸馏水的电阻约为 $50\text{K}\Omega$,而用同样方法测量冰的电阻则近乎于 $5\text{M}\Omega$ 。

水的霍尔实验表明:水中的多数载流子的极性为负极性。这个结论与电解水时析出物的化学当量相等即水中正、负离子电流相等的事实,以及 H^+ 和 OH^- 质量之比为1:17的事实均不一致。这说明在等量互为反向移动的正、负离子流之上,还迭加有少量的传导电子。这又有两种可能:①水中正、负电荷总的数量是平衡的,但是水中含有少量的自由电子;②水中总的正、负电荷数量是不平衡的,由于断开的氢键的吸引作用使水中含有少量的过量电子。

综合水蒸气在冷凝时从空气中夺取电子(参考拉奇实验^①);水冻结时向外排出电子(参考迪杰实验^②);冰、雪融化时吸入电子的3种实验和现象来看只能是第二种可能,即水中含有少量的过量电子。这是由于温度变化,水在发生相变的过程中,水分子之间有不同的物质结构(不同的分子联结方式),能

量的不均等使水从周围物质吸收少量额外的电子以稳定水自身的分子结构,所以称其为水中的结构电子较为恰当。

拉奇实验对“水中存在结构电子”

推想的验证

在拉奇实验喷出的蒸汽束中,有一处带电量为零的电位点,由此点向右做一高斯面(见图2),令其包含整个蒸汽团。由于冷凝过程中水气团(水和空气团)整体显示为高正电位,高斯面外为绝缘的空气,高斯面内、外无电荷交换。根据电荷守恒定律,在这个高斯面内,必然有电子从空气分子中分离出来,而电子去向只能是高斯面内刚刚凝结的水中。水的生成与额外电子(结构电子)的吸入应同时发生,并且含有结构电子的水对外不显负电性,空气团显正电性,这样就使得整个水气团呈现为高正电性。

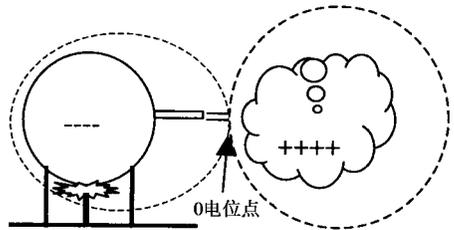


图2

另一方面,若由零电位点向左做一高斯面,由于此高斯面内、外无电荷输出和输入(包围高斯面的空气是绝缘的),所以蒸发之前的水若不带有额外电子(即结构电子),则蒸发少量未携带电荷的水之后剩余的水中,根据电荷守恒定律是不会带电的。但是,若水中本身按一定比例(或浓度)存在少量额外电子,只是由于和外界等电位而不显负电性,而喷出的水蒸气不带电子,根据电荷守恒定律随着蒸汽锅内水量的减少,势必会使原本适度过量的结构电子因积累密度过大而不再适度,并逐渐显示出负电性。因此,拉奇实验是水中存在结构电子的另一证据。

雷达回波对“水中存在结构电子”推想的验证

在与暖锋和低压相联系的降水中,伴有稳定的上升气流,在 0°C 层面之下会因水蒸气的冷凝而产生强烈的带电层带(水蒸气凝结成水时会吸入结构电子,使空气带正电);在 0°C 层面之上由于水的冻结排出结构电子也会使层面带负电。这两个带电层带必然会在RHI雷达(距离高度显示器)上产生较强的回波。因此,这两条强回波带是否存在是对“水中含有结构电子”推想的验证。事实上,确实存在两条雷达回波的强反射带,云物理学分别称其为“融化带”(位于 0°C 层面之下)和“高带”(位于 0°C 层面之上)。现在的问题是,产生两条强回波带的机理是否与结构电子相关?

云物理学对融化带的解释是:高空下落的雪片到融化带上时会完全融化,因为水的介电常数(78)大于冰的介电常数(3.17),所以,在此带上回波将变强。这种解释只强调降雪的过程,未考虑到稳定的上升气流,并且把 0°C 层面划为雪区与雨区的分界面是与事实不符的,因为从 0°C 层面到 -15°C 层面之间的区域有大量的过冷水存在,而且表面蒙有水的冰、雪粒子对雷达波的散射特性与同截面的水滴相同。因此,单纯从融雪上讲,无法说明在融化带的上方雷达回波强度大幅削弱的原因。若引入结构电子的观点,解释融化带的强回波是简单的:来自地面上升的水蒸气在 0°C 层面下方的凝结会因吸收结构电子,而使空气强烈带有正电;而来自上面的融雪对结构电子的吸收也会使这一层带的空气电位大幅升高,因此,这一层带的带电状态使回波散射特性大大加强;从融化带到 -15°C 层面区间,在无冻结也无凝结的情况下,无带电层产生,这是这一区间回波变弱的主要原因。另一方面,高带一般出现的位置是 -16°C 层面附近,而 -16°C 层面正是云中的过冷水自然产生冰晶的温度。根据迪杰实验这一过程将有结构电子排出,这一层带的带电必然会使回波加强。高带向 0°C 层面的降落(而不应是融化带),其速度大于云中粒子的速度,表明这不是粒子流,而是在 -16°C 附近冰晶产生之后引发的过冷水向冰晶转化时,从高向下迅速蔓延的锋面。正是这个带电的锋面产生了高带下落的雷达观测效果。需要指出的是,随着潜热的释放,原来 -16°C 层面的温度也将升高,使其恢复到 -16°C 层面需要一定时间,这应该是高带以大约20分钟间隔向 0°C 层面降落的原因。

对高带的一种解释是,这是降雨水纹接近所形成的,这一假设若成立,则对应的降水云团的远离应有高带向上的升起,但未见此类报道。

1950年冈恩对雷雨云在不同高度的雨滴采样,测量电荷电量。证实了在4.5km处正、负电荷的比值最大。如按夏季地面温度 28°C 计算4.5km处的温度约为 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$,此位置与融化带相当。冈恩的测量同时证实了在 0°C 层的上、下,为负、正电荷的分布。

综上所述,可以认为这两条雷达回波带是水中的结构电子在云中发生相变,导致空气层发生带电现象的直接证据。

结构电子与大气电场的形成机理

由结构电子推测大气电场的形成。从地球表面上升的干燥的水蒸气是不带电的,而空中的降水带有过量的负电荷——结构电子。这就形成了从空中到地面的电子流的单向运动,也就形成了空中为正、地面为负的大气电场。如果这种推测是正确的,那么,水蒸气蒸发量大的地方水在空气中的凝结量也会随之增大,由此产生的大气电场场强也应相应的加强。与此推测一致的现象是地表的平均场强为 $120\text{V}/\text{m}$,而蒸发量大的海洋上则为 $130\text{V}/\text{m}$;城市工业区的“热岛效应”使水蒸气的排放量更大,场强也应更强,丘(Kew,英国地名)工业地区的平均场强为 $363\text{V}/\text{m}$ 。这个特点以及大气的活动性显然与雷电产生大气电场的现有理论是无关系的。从大气层的垂直剖面上看,大气场强极大值的区域正位于低层水蒸气的凝结区域。

通常对大气电场讨论仅限于大气电场垂直分量而忽略水平分量,如果结构电子是产生大气电场的主要原因,那么,蒸发量大的地方其高空的冷凝量也大,水、气分离后其高空带正电荷的空气分子数量以及扩散到外太空的正极性粒子也应较多。因此,就全球的高空而言,大气电场的水平分量是从赤道指向两极的。这个分析与1998年升空的阿尔法磁谱仪在赤道附近发现正电子是负电子的4倍的观测结果是一致的。

1950年6月21日7:20~20:00史密斯对有关雨滴的大小和电荷关系的测量反映出中、小雨滴的电量密集区在零点附近;大雨滴多带负电荷;所测雨滴的总的平均值为负值。

1921年、1938年班纳等5人分别对8次不同类型的降雨的测量中,雨滴电量均值为负的有7次,均值为正的仅有1次。

需强调的是,由于大地带负电性,当雨滴相对大地带电量为零时,即表明雨滴相对于常态的大气环境已带有负电荷了;因为雨滴总的平均值为负值,所以证实了雨水对地球有充电作用。

水中含有结构电子是由实验得出的,不以大气电场的存在为先决条件。若加上大气的运动和因密度差异的分离,足以说明大气中负电荷向大气底层汇集的原因。云地闪电、降雨、地表植物的尖端放电,则是这种积累后的电量向大地输送电子的几种不同的方式。

结构电子在水中的密度

如果结构电子是大气电场的主要形成机理,那么,水蒸气的蒸发量、降水量就是形成 1 800A 大气电场充电电流的主要原因,由此可求出结构电子在水中的大约密度。

1 800A 对应的每秒移动的电子个数为: $1\ 800 / (1.602 \times 10^{-19}) = 1.236 \times 10^{22}$ 个。全球年均降水量为 $5.77 \times 10^{20} \text{ cm}^3$ 。全球秒均降水量为: $5.77 \times 10^{20} \text{ cm}^3 / (365 \times 24 \times 3600) = 1.829655 \times 10^{13} (\text{cm}^3/\text{s})$ 。两者之比为: $1.236 \times 10^{22} \text{ 个} / 1.829655 \times 10^{13} \text{ cm}^3 = 6.14 \times 10^8 (\text{个电子}/\text{cm}^3)$ 。即结构电子在水中的平均密度大约为: $6.14 \times 10^8 \text{ 个电子}/\text{cm}^3$ 。

以上是根据 1800A 大气电场充电电流和年均降水量为 $577\ 000 \text{ km}^3$ 得出的,需注意的,这个平均密度值与 Dinger 和 Gunn (1946 年) 及 MacGready 和 Proudfit (1965 年) 发现的冰、水之间引发的单位体积水的电子含量变化数值 ($2 \times 10^8 \sim 40 \times 10^8 \text{ 个电子}/\text{cm}^3$) 是基本吻合的。

Dinger 和 Gunn (1946 年) 首先报道在冰的每克融水中可以获得大约零点几个到 2 个静电单位的正电荷(含电荷的数值量随大气污染程度的加大而减小); MacGready 和 Proudfit (1965 年) 发现的正电荷含量下限值约为 0.1 个静电单位。由于自然界的水并非十分纯净,所以零点几个静电单位是在误差范围内的。

1968 年 Drake 用振簧静电仪证实了,冰的融化与正电荷的出现同步发生。1 个静电单位 = $1 / (3 \times 10^9)$ 库仑 = $1 / (3 \times 10^9) / (1.602 \times 10^{-19})$ (电子电量) = 2.081×10^9 个电子的电量。即 0.1~2 个静电单位约合 $2 \times 10^8 \sim 40 \times 10^8$ 个电子。

结构电子和水分子的比例: $6.14 \times 10^8 / (6.023 \times 10^{23} / 18) = 1 / (5.45 \times 10^{13})$ 。即在大约 55 万亿个水分子中仅含有 1 个结构电子。

相关实验简介

① 拉奇实验示意以及实验结论

用煤气加热对外绝缘的盛水的铜锅 A, 喷出的干蒸汽不带电, 水蒸气在 B 处冷凝时, B 处为高正电位, A 为高负电位(如图 3)。

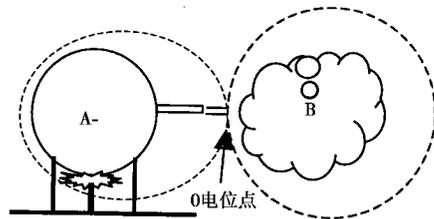


图 3

② 迪杰实验

原实验的结论是: 当水凝固时水从一开始的 +0.25V 急剧下降为 -7.5V, 然后慢慢回升为原电位(如图 4)。



图 4

③ 水含有结构性电子的实验(自行完成)

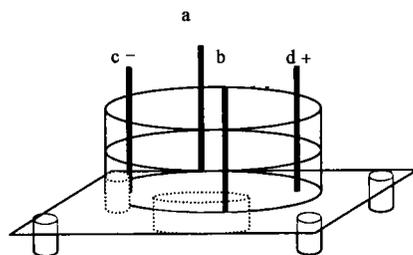


图 5

在盛水的玻璃杯中, 正交放有四个炭精棒(由 2B 铅笔笔芯代替)电极 a、b、c、d, 水杯之下垫起的玻璃板下面(如图 5), 有 N 极朝上的磁铁, 外接电压 $U_{dc} = 4\text{V}$, 对 U_{ab1} 多次测量的平均值为 -0.075V; 在保持其他条件不变的情况下, 当磁铁换 S 极时 $U_{ab2} = +0.07\text{V}$ 。霍尔电压 $U_{ab} = (U_{ab1} - U_{ab2}) / 2 = -0.0725\text{V}$ 。磁铁的直径与烧杯相同。稳压电源和万用表均为实验室常见类型, 因为实验的目的是验证水中存在结构电子, 所以没有考虑到温度、气压和磁场的影响。接触电阻的影响可相互抵消。实验中的水为蒸馏水、普通水或浓度 $\leq 3.5\%$ 的不同的 NaCl 溶液, 实验结果均表明水中的多数载流子为负离子。