

一级相变时的红外特征辐射 — 熔融结晶和 蒸气冷凝或沉淀

Tatartchenko Vitali[†] 刘一凡 吴勇 周健杰 孙大伟 袁军 朱枝勇 Smirnov Pavel
Rusanov Artem 牛沈军 李东振 宗志远 陈晓飞

(上海中电振华晶体技术有限公司, 上海 201210)

(2012年7月3日收到; 2012年11月23日收到修改稿)

本文报道了一种新的物理现象——一级相变时(熔融结晶, 蒸气冷凝或沉淀)的红外特征辐射. 实验结果根据相应的理论模型来进行分析. 此理论模型是基于一个论断, 那就是粒子(原子, 分子, 团簇)从高能级亚稳态(气态或液态)向低能级稳态(液态或结晶态)相变时释放出一个或多个光子. 这些光子的能量取决于相变潜热和新相粒子的结合特性. 对所有研究过的物质来说, 这种能量集中在红外区. 这就是为什么这种辐射被称作红外特征辐射. 在雾和云的形成过程中, 水发生了结晶、冷凝、升华, 从而产生了大量红外辐射留在了大气中. 因而, 该研究的结果必然对大气现象有很重要的影响: 它是地球冷却的因素之一; 冰雹云的形成伴随着强烈的红外辐射, 这种辐射可用来表征高能相转化为低能相的过程, 可以作为一种气象预警. 红外特征辐射似乎可以用来解释木星的呈红色现象. 它可以用于大气储能, 就此, 继风能、水能、太阳能、地热能后, 红外特征辐射成为生态学上第五种纯净的能源.

关键词: 熔体结晶, 蒸气结晶, 特鲁藤规则, 大气蓄能

PACS: 92.70.Cp, 78.30.Er

DOI: 10.7498/aps.62.079203

1 引言

1979—1984年间, 一种新的物理现象被报道: 一种新型红外辐射. 这种特殊的红外辐射, 是伴随着几种碱金属卤化物、氯化铅和蓝宝石的熔体结晶过程发生的^[1-3]. 这些结果并非偶然所得, 而是通过之前长期对于结晶辐射的研究, 这种研究基于一种新的释放一级相变潜热的方法. 一级相变(我们这里指, 熔体或蒸气结晶及气相冷凝)可以被视作粒子(原子, 分子, 团簇)从熔体相或蒸气相的受激能级状态转化到固体相或液体相的低能级状态. 其能级差就是每个粒子结晶或冷凝释放出的潜热. 大多数观点认为在结晶和冷凝过程中, 每个粒子从熔体到固体转变时都会发射一个或多个声子. 这个过程中由于粒子的动量增加而对普朗克辐射产生贡献, 进而影响温度. 然而在1964年, 本文的第一

作者认为这样的转变可以产生一个或多个光子. 如果产生一个光子, 那么该光子的能量原则上应该等于每个原子结晶的全部潜热, 如果产生多个光子, 那么每个光子的能量等于结晶的部分潜热. 如果部分粒子受到激发, 或者低能级因为过冷或其他因素进入更低能级, 那么这部分粒子相变产生的光子能量偏高. 低能级可能发生能级劈裂, 而包括理想晶体的主能级和相应于结晶过程中形成的各种不同缺陷的其他能级. 但在任何情况下, 释放出来的光子都必定会形成一个对应结晶物质的特征光谱. 对于所有研究过的物质而言, 辐射光子的能量都处于红外波段. 这就是为什么这种辐射被称为IRCR——一级相变的红外特征辐射.

根据这些假设, 本文作者开始进行红外范围内透明物质碱金属卤化物和蓝宝石结晶的实验. 1970年获得了支持这个假设的积极成果. 这些结果有别于光学领域大多数研究员的观点, 他们认为在高温

[†] 通讯作者. E-mail: vitalitatartchenko@orange.fr

下的发光不是以光子的形式实现的. 但越来越多的实验结果表明, 相变过程伴随着红外辐射. 1977年, 第一批研究结果得到认可并公开发表^[1]. 主要研究结果发表于1979—1984年间^[1-3].

现在, 大量实验和理论证明一级相变过程中伴随有辐射发光^[1-18]. 我们公司正在对这一现象进行研究. 本文旨在综述目前此领域的研究现状并提出过饱和介质受激辐射发光的可能性, 即基于新型抽运机理的红外激光器的设计. 这会带来一种来自于云形成过程中的新能源.

2 理论背景

一级相变红外特征辐射并不是来源于一般相变的概念. 对于相变辐射的产生, 相变时粒子使激发能转换成光的概率必然大于或等于激发能转换成热量的概率. 大多数人都认为这个概率小到可以忽略不计, 这是个错误的观点. 这里给出了对半导体熔体结晶的假设^[19], 对处于激发态下的自由分子, 它的光学寿命等于 t_1 , 在 10^{-7} 至 10^{-8} s之间. 在近红外区域, 温度 $T = 1000$ K下的粒子跃迁, 非辐射多声子弛豫时间是 $t_2 \leq 10^{-9}$ s. 因此, 光发射概率 $t_2/t_1 \ll 1$ 并产生了非辐射相转变. 那么这个问题在哪呢? 当大部分粒子参与相转变过程时, 处于激发态的自由分子已完成了这一过程, 此时需要考虑到超辐射^[20]的现象. 我们知道, 激发态粒子由于彼此间通过一般辐射场的相互作用, 会经过光学转变跃迁到低能级. 转变时间 t_1 随着参与转变的粒子数 N 的增加而减小. 因此, t_1 将会小于 t_2 , 并且辐射相转变过程甚至在团簇情况下($N \sim 10^5$)都能发生.

这一理论中运用到了半经典的方法, 同时也依据了量子电动力学(QED), 对于粒子系综, 辐射相变的可行性在我们文章中有所阐述^[5,6]. 我们用到了瞬态辐射的金兹堡理论^[20]. 在我们的模型中, 我们把第一种相变认作是在亚稳相到稳定相的转变过程中的偶极动量和粒子位置的瞬时变化. 因此, 这些粒子发射出瞬时辐射. 光谱带的碰撞拓宽所影响到的瞬时辐射的强度由如下公式表示:

$$\Delta H_f/T_f \approx 3\pi R_g = 78.2 \text{ J/molK}, \quad (1)$$

结果证明, 偶极粒子凝聚态形成的摩尔潜热(ΔH_f)和转变时的温度 T_f (这里 R_g 表示通用气体常数)之间存在相关性的普遍性. 从而证实, 在进入凝固相的相变温度下, 简单粒子团的潜在键合能比它们平

均动能大 2π 倍. 关系(1)的数值评估实际上与针对蒸气冷凝潜热(ΔH_c)及沸点温度(T_b)关系的著名的特鲁藤法则^[21]相对应,

$$\Delta H_c/T_b \approx 80 \text{ J/molK}. \quad (2)$$

很重要的一点是我们的结论(1)证实了经验关系(2)的物理意义. 大约90年前, 关系(2)已在数百种物质上被证实. 因此, 它可以被认作是我们红外特征辐射理论模型的一个强有力的实验证据. (1)和(2)式中凝聚相形成的能量间的细微差别, 与我们的简化模型有关, 不会减少此相关性的重要性.

3 实验结果

3.1 碱金属卤化物和 PbCl_2 的结晶

文献[1, 2]报道了碱金属卤化物(LiF, NaCl, NaBr, NaI, KCl, KBr, KI), 蓝宝石(Al_2O_3)和 PbCl_2 的结晶过程中伴随红外辐射. 测得的光谱图显示, 在波长 $\lambda \approx 1-5 \mu\text{m}$ 的范围内的特征辐射峰对应于结晶潜热的辐射释放. 比如, 图1显示了LiF的辐射光谱, 它是由单射线光谱仪和温谱仪来记录的, 这与实验过程中温度的变化结果相一致, 峰值的结构非常复杂. 众所周知, 大气中水和二氧化碳的吸收带分别是 $3.4, 3.95,$ 和 $4.35 \mu\text{m}$, 在 $2.7 \mu\text{m}$ 的区域附近, 我们可以看到在LiF晶格中 OH^- 基团的吸收带. 我们注意到尽管结晶熔体总的温度下降, 但光谱3相对于邻近光谱2和4发生移位, 在光谱2—4中, 尤其靠近顶点的位置, 有一个又尖又窄的辐射带.

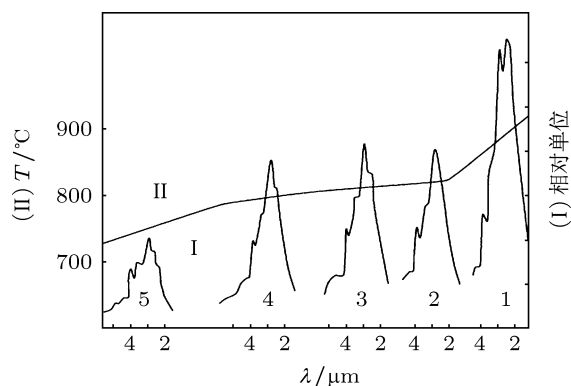


图1^[2] 空气环境中LiF结晶时的辐射光谱(I)和温谱图(II), 对于辐射光谱(I) 1, 2, 3为过热熔体光谱; 4为结晶熔体光谱; 5为结晶物质光谱)

为了区分附加的寄生辐射, 这在图1的光谱3中很容易看出, 我们尽可能减少上述因素对于结晶

熔体光谱的影响. 为了达到这个目的, 我们进行了如下操作: 1) 在带有 CaF_2 光学窗口的真空炉体内使用高频感应方式加热获得熔体并将其置于高纯氩气的环境中保持几个小时; 2) 在整个实验过程中, 为除去水蒸气, 将红外光谱仪中的整个光学路径和光波导浸在干燥 N_2 氛围中预清洗 6 h.

我们在薄壁的白金坩埚中加入少量材料, 这可以使我们在和图 1 中辐射光谱相一致的条件下, 提高结晶速率 4—5 倍. 每次记录一条光谱需要的时间为 20—30 s. 这样就获得了图 2 中显示的光谱图. 最优的分辨率是 $\Delta S = 0.2\text{--}0.3\ \mu\text{m}$, 相当于低分辨率的情形. 这些光谱的主要特征是在熔融 LiF (图 2 光谱 4) 的结晶过程中对光谱的辐射曲线移位的保存, 同时还伴随着温度的总体下降, 由热谱仪记录. 此外, 辐射曲线的短波尾很陡, 辐射强度相对于波长的增加比曲线 5 中的情形更快, 而曲线 5 中没有结晶现象, 而且更重要的是, 相比较于受热晶体或者甚至于熔体的光谱而言, 曲线 3 和 4 的长波尾辐射有明显的过量辐射现象. 这样, 我们就能够区分伴随着 LiF 结晶的宽辐射附加带. 然而, $\Delta S = 0.3\ \mu\text{m}$ 的分辨率不足以阐明这个辐射附加带的特征. 正如图 2 中光谱 1—4 所示, 我们注意到了在结晶温度下, 有一个来自白金坩埚和材料本身的明显热本底区, 这使得区分红外特征辐射带变得很困难. 显然, 为了解决红外特征辐射带的结构问题, 首先在一定程度上我们必须消除来源于坩埚和样品的本底辐射, 其次我们必须改善接收和配准系统的光学分辨率.

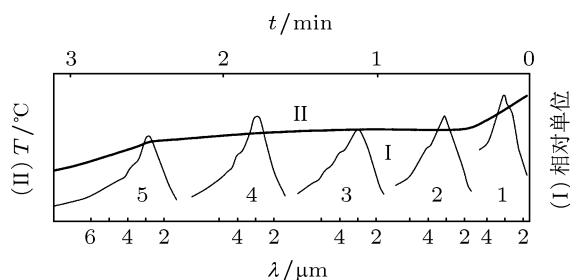


图 2^[13] 氩气环境中 LiF 结晶时的温谱图和辐射光谱 (1, 2, 3 为过热熔体光谱; 4 为结晶熔体光谱; 5 为结晶物质光谱)

我们通过 Spekord-75 红外分光光度计 (德国制造) 自动测量高分辨率光谱 (图 3), 并使用双光束的配准组合以及从白金坩埚和 LiF 熔体中获得热辐射的部分补偿. 作为对比源, 我们或使用分光光度计的自身作为辐射源 (Nernst 发光体类型), 或使用一个由辅助稳定电源加热的替代 Nerast 发光体的薄白金管. 总体上, 由于需要匹

配坩埚和辐射源的温度, 使用白金作为辐射源是不正当的, 且不可避免的会导致对比辐射的大量损失. 因此, 对于 LiF 的辐射峰, 如图 3 所示, 我们发现了一个好的结构模型. 它可以理解为四个特征峰值 $\lambda_1 = 2.80\ \mu\text{m}$; $\lambda_2 = 3.45\ \mu\text{m}$; $\lambda_3 = 4.05\ \mu\text{m}$; $\lambda_4 = 4.35\ \mu\text{m}$ 的重合. 最后一个特征峰的位置正好对应于结晶潜热 (26.9 kJ/mol). 其他峰值的物理意义也被相应阐明.

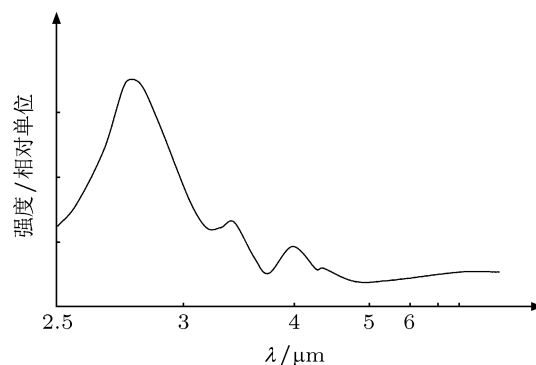


图 3 LiF 结晶熔体的不同辐射光谱

3.2 蓝宝石结晶

蓝宝石因具有很低的熔化熵 ($\Delta S_m = 2.2$) 而十分特殊, 说明其晶体和熔体之间只有很小的结构差异, 这与半导体和碱金属卤化物形成鲜明对比. 我们在 $0.7\text{--}2.5\ \mu\text{m}$ 的光谱范围内, 温度 $2100\text{--}1600\ ^\circ\text{C}$ 之间测量了固体, 液体和正在结晶的蓝宝石的发射光谱^[3]. 在真空中, 材料的熔化会受到高频设备中的光学窗口 (萤石或熔融石英) 影响. 辐射光束通过由 45° 铜镜辅助的光学窗口或直接从坩埚侧面的缝隙中从工作炉膛发射出去. 为了配准光谱, 我们使用修正过的 IKS-21 光谱仪, 该光谱仪带有一个远程碳化硅棒, 一个光学聚光器以及一个萤石透镜, 色散元件采用 LiF 棱镜. 为除去空气中的水蒸气, 用干燥空气吹干光谱仪和冷凝器. 熔体被放置于 Mo 或者 Ir 的圆柱形坩埚中, 坩埚的内径为 50 mm, 深度为 60 mm, 热屏材料为 W 或者 Mo. 在热屏上切割出一小缝, 发射辐射信号由此传输到测量系统中. 我们从结晶熔体的光谱 (图 4 中的曲线 2) 中减去了蓝宝石晶体的发射光谱, 该蓝宝石晶体先是被加热到 $T = 2400\ ^\circ\text{C}$ (未结晶), 然后在相同条件下冷却 (图 4). 获得的光谱带最大波长 $\lambda = 1.1\ \mu\text{m}$. 这些结果与在特定波长情况下获得的数据相一致. 因此熔体中蓝宝石结晶会伴随着红外特征辐射带 (外加热辐射) 的出现, 该辐射带波长为 $1.1\ \mu\text{m}$, 与蓝宝石的熔化热 $\Delta H_m = 26\ \text{kcal/mol}$ 相一

致. 这意味着蓝宝石粒子从熔体到晶体过程中需克服的活化能大小相当并接近等于 0.

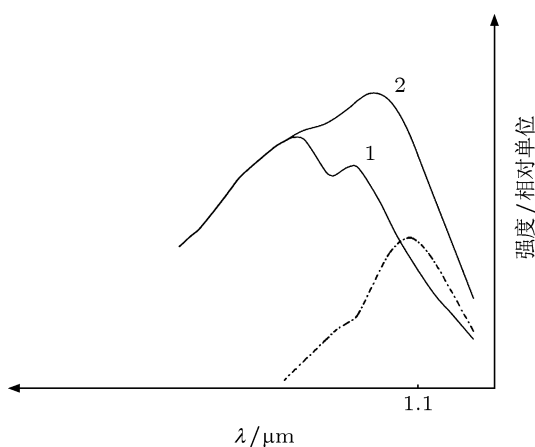


图 4^[14] 蓝宝石的辐射光谱 (1 为冷态蓝宝石加热至低于 2050 °C 时的红外辐射光谱, 2 为熔体结晶时的辐射光谱, 虚线为辐射谱的差分光谱)

3.3 云形成过程中的红外特征辐射

Nichols 和 Lamar^[22] 设计了一种线扫描红外相机. 该相机可以同时扫描三个以上的不同光谱范围, 从而获得测试样品辐射能量的彩色图像. 三个光谱范围分别是 0.5—1.0 μm , 3.0—5.5 μm 和 8—14 μm . 每段红外光谱范围都分别对应红、绿、蓝三原色中的一种. 所以, 图片中绿色或红色的图像代表红外波段的辐射. 从作者给的这些图片中 (图 5(a), (b)), 可以总结出, 大气中存在 8—14 μm 波段的红外辐射, 并且和温度或反射辐射都无关. 这些辐射来自于积云下部 (温度 -5 °C) 以及来自于含有饱和水蒸气的温湿大气. 记录的红外辐射正是云形成过程中水蒸气的冷凝过程中的红外特征辐射.

3.4 卫星记录的红外特征辐射

从卫星获得的图片来看, 地球上存在异常的红外辐射分布, Vilor 和他的同事在他们发表的文献中已有报道, 我们来分析其中的一种^[23]. 通过高分辨率辐射计探测五个波段的特征辐射: 1) 0.58—0.68 μm , 2) 0.725—1.1 μm , 3) 1.6 或 3.55—3.95 μm , 4) 10.3—11.3 μm , 5) 11.5—12.5 μm , 发现北美洲西部的板块断裂处存在固定的或强度周期性增强的红外特征辐射. 这些异常现象在这个团队的另外 12 篇文献中也有所阐述, 分别位于东西伯利亚南部、中国的塔里木河流域、德国的莱茵地堑和非洲东北部的阿尔法洼地的蔓延及裂谷运动区域的构造

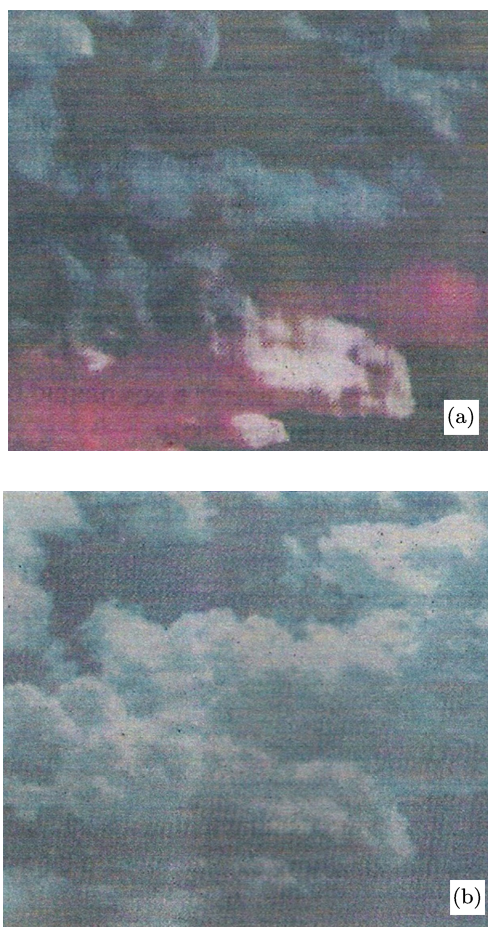


图 5^[22] 不同波长范围内积云的图片 (a) 可见光区域; (b) 8—14 μm 波段的红外光区域

断裂处. 检测到的四种异常现象包括: 1) 强度线性增加; 2) 轮廓对应于地理状况; 3) 条纹分布; 4) 相互独立存在. 长度分别为: 1) 200—600 km; 2) 100—200 km; 3) 40—60 km; 4) 1—1.5 km. 宽度: 1) 5—15 km; 2) 1—6 km; 3) 10—20 km; 4) 1—1.5 km. 第一、第二、第四种发射具有永久性特征, 而第三种发射在雨季更明显, 而在冬季会变弱. 有一些异常现象位于海洋和湖泊的沿岸, 但是大多数异常现象位于海拔 2500 m 的山坡上. 第四种异常现象在陡峭的山坡上较窄, 其辐射强度以最鲜明对比的方式分布在交替的山脉和峡谷上. 测得的红外流量的典型值分布在 50—90 $\text{mW}/(\text{m}^2 \text{str } \mu\text{m})$. 作者解释了这些异常现象的原因在于板块断裂处存在的内生热流. 但是, 很难理解的是, 为什么在海拔高于 2500 m 或海洋湖泊沿岸的地方还存在内生热量. 值得注意的是, 这些异常现象发生的地方都具有云雾形成的理想条件, 可以推测所记录的红外辐射来源于水的结冰、冷凝、升华的红外特征辐射. 实际上, 这在海岸带会很明显. 对于山坡而言也是同样

的: 温热气流顺着山坡上爬时逐渐发生冷凝, 这就是云形成的原因. 红外辐射区域的独特性, 尤其是其季节周期性及在陡峭的坡度上变窄, 都符合我们的判断. 引起作者注意的是, 沿着板块断裂的大气中的大量带电离子会强化蒸气冷凝的过程.

此外, Gao 等^[23]在大气动力学方程的基础上, 首次同时考虑热量和质量的强迫作用, 获得了湿位涡 (MPV) 方程, 用来分析暴风雨、云雾等较为恶劣的天气系统的形成原因. Wu, Chen 等^[24]构造了峡谷中大气和岩石之间的热传导模型, 解释了其观测到的峡谷内温度呈每 12 h 周期摆动的现象.

3.5 1—4 μm 波长范围内水蒸气冷凝时的红外特征辐射

在文献 [26] 中, 做了以下实验: 在一个含有沸水的导管容器中, 蒸气冷凝在冷却玻璃表面, 采用高灵敏的红外辐射记录系统进行信号探测. 观察到玻璃表面和冷凝的蒸气中间有一种红外辐射的异常强化. 随着冷凝速度的增加, 辐射强度也随之增强. 在 1—4 μm 范围内辐射积分强度要比普朗克辐射高 4 倍. 两个主发射峰位于 2.10 μm 和 1.54 μm 附近. 两个波段的辐射强度都要超过背景辐射 100 倍 (图 6).

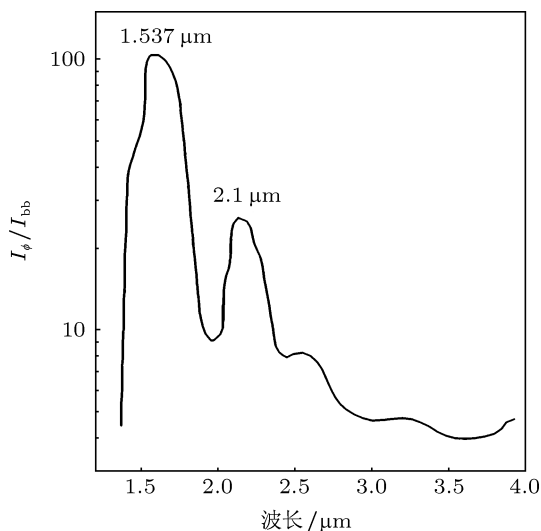


图 6^[25] 玻璃表面和冷凝蒸气间界面红外辐射的相对强度 (对数刻度下) ($\epsilon = I_\phi / I_b$, I_ϕ 为冷凝蒸气的红外辐射强度; I_b 为同温度下黑体的红外辐射强度, 横坐标为辐射波长 λ , 单位 μm)

3.6 7—14 μm 波长范围内水蒸气冷凝时的红外特征辐射

文献 [27, 28] 中的实验呈现了在 7—14 μm 波

长范围内冷凝蒸气的红外发射光谱. 这些光谱也包含异常辐射: 在热平衡状态下, 观测到的辐射的发射率值比测试腔体中的水蒸气和残留水滴的联合发射率值要高 3 到 4 倍 (图 7, 图 8). 光谱呈现加热或冷却时的波长位移. 文献 [24—26] 中的实验结果显然符合红外特征辐射的模型.

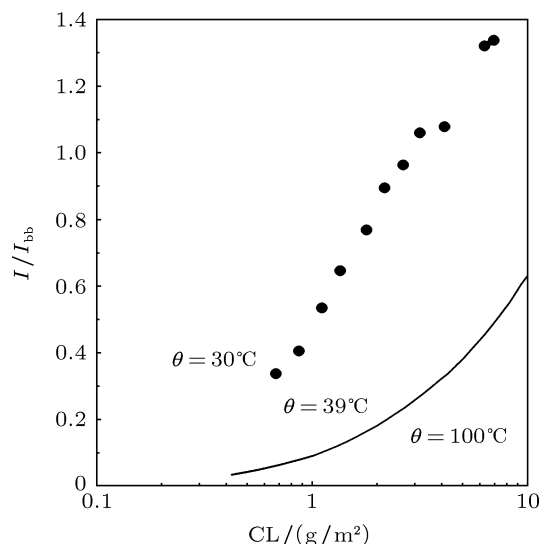


图 7^[28] 有效云发射率的实验数据 (云蒸气在波长 $\lambda = 10 \mu\text{m}$ 下的相对发射强度 (对数刻度下) $\epsilon = I / I_{bb}$ (I 是水蒸气发射强度, I_{bb} 是同一温度下黑体红外辐射的强度), 小水珠 “CL” (g/m^3) 为水滴的质量浓度 C (g/m^3), 和光程长度 L (3.05 m) 的乘积; 横坐标上显示了三个点的温度值 θ ; 下曲线所示为采用简单扩散模型计算的云发射率)

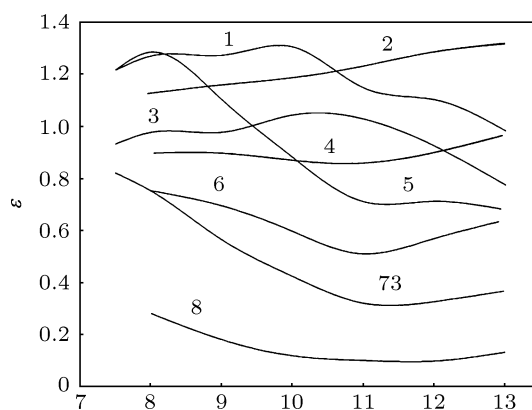


图 8^[28] 云蒸气的有效发射率 ϵ ($\epsilon = I / I_b$, 其中 I 为蒸气的发射强度, I_b 为同一温度和波长下黑体的发射强度), 横坐标为波长 λ , 每个曲线 (1—8) 都对固定水滴质量浓度 C , 以及云温度 θ_s , $^\circ\text{C}$: 1 ($2.2 \leq C \leq 4.0$; $\theta_s = 30^\circ\text{C}$); 2 ($4.3 \leq C$; $\theta_s = 52^\circ\text{C}$); 3 ($4.0 \leq C$; $\theta_s = 35.3^\circ\text{C}$); 4 ($2.0 \leq C \leq 4.3$; $\theta_s = 56^\circ\text{C}$); 5 ($0.5 \leq C \leq 1.4$; $\theta_s = 29.9^\circ\text{C}$); 6 ($0.6 \leq C \leq 1.5$; $\theta_s = 52^\circ\text{C}$); 7 ($C \leq 0.4$; $\theta_s = 29.5^\circ\text{C}$); 8 ($C \leq 0.3$; $\theta_s = 52^\circ\text{C}$)

4 结论

最近这些年, 一级相转变的红外特征辐射吸引

了很多研究者的注意,尤其是在中国.很多中国留学生在美国伊利诺斯州大的博士^[29]和硕士^[30]答辩论文是与此相关的,并且经过研究,还提出了一个非常有趣的关于这一现象的模型^[31].除了本公司之外,上海大学的一个研究团队也开始着手研究这一问题^[32,33].

现阶段虽仍有许多实验及理论有待研究,但我们已经可以看到这一现象应用于气象和能源方面的可能性.

1. 根据量子电动力学理论,由于自发相变的出现,可以在接近结晶的温度下,给予相变所需的共振频率的光激发,来实现物质的受激相变,比如结晶,这是一种激发相变的特殊方式.在这方面至今还未经过实验性研究,应该会带来新的突破.比如,云雾形成的原因可能是特征辐射辐照大气产生.同时,作为激发源的激光可以被放大,大气中水冷凝或冻结产生的能量能被储存起来.

2. 基于大气中水蒸气冷凝或冻结的过程可以做成一种红外激光器.试想,有平行放置相隔1 m的两面1 m²的镜子(其中一面镜子是部分透过的),我们将之放置于水蒸气饱和但未冷凝的大气中,然后激发蒸气的冷凝.在这种情况下,会有10 g的水蒸气发生冷凝,这意味着25 kJ的能量将释放.如果特征辐射存在,这一体系就相当于激光器.如果具有8%的激光效率,2 kJ的能量将被累积.该体系中的空气以1 m/s的速度流动,可以产生2 kW, 1 Hz

频率的脉冲.相比之下,一个1 m²大小的硅太阳能电池可以发电大约0.1 kW.

3. 综合以上两点,我们可以得出一个结论:继风能、降水能、太阳能、地热能后,云雾的形成能够带来生态学上第五种纯净的能量.

4. 大气中乌云里冰雹的形成伴随着强烈的特征红外辐射,利用这一点可以对具有破坏性的冰雹雨进行预警.

5. 我们提出一个计划,建议把这一成果用于ARMP框架内气象问题的研究.冷凝下的辐射必须包括进大气中所有热平衡的计算.在上层大气层中云的形成,导致了宇宙中红外特征辐射的再发射,这一定是地球冷却的一个非常重要的因素.

6. 我们也可以利用这些辐射测量值来判断其他行星的大气中是否存在水,如火星的大气层中.

7. 这一辐射可以解释木星为什么呈红色及它的红外辐射的原因.众所周知,木星释放出的能量大于它从太阳吸收到的能量.木星的大气循环使得铵和水蒸气上升,在上层大气层中发生冷凝和凝固(在那儿发现了这些物质的晶体).这些过程的红外特征辐射似乎就是木星的红外辐射的放射原因,并且改变了红色范围内木星的可观察颜色.

8. 一种类似的方法可以应用于地球的补充冷却.人造上层大气云层通过特征辐射会向宇宙放射能量.

- [1] Tatarchenko V A 1979 *Soviet Physics - Crystallography* **24** 238
- [2] Umarov L M, Tatarchenko V A 1984 *Soviet Physics - Crystallography* **29** 670
- [3] Tatarchenko V A, Umarov L M 1980 *Soviet Physics-Crystallography* **25** 748
- [4] Tatarchenko V A 1993 *Shaped crystal growth* London Kluwer
- [5] Perel'man M E, Tatartchenko V A 2007 arXiv 0711.3570 1
- [6] Perel'man M E, Tatartchenko V A 2008 *Phys. Lett. A* **372** 2480
- [7] Perel'man M E, Rubinstein G M, Tatartchenko V A 2008 *Phys. Lett. A* **372** 4100
- [8] Tatartchenko V A 2008 *J. Crystal Growth* **310** 525
- [9] Tatartchenko V A 2009 *Rev. Adv. Mater. Sci.* **20** 58
- [10] Tatartchenko V A 2009 *Optics & Laser Technology* **41** 949
- [11] Tatartchenko V A 2010 *Proceedings of 7th Conference "Modern Problems of Distance Probes of Earth from Space"* **7** 310
- [12] Tatartchenko V A 2010 *Investigation of Earth from Space* **2** 88 (in Russian)
- [13] Tatartchenko V A 2010 *Atmospheric and Oceanic Optics* **23** 169
- [14] Tatartchenko V A 2010 *Earth Sci. Rev.* **101** 24
- [15] Tatartchenko V A 2011 *Earth Sci. Rev.* **107** 311
- [16] Tatartchenko V A, Liu Y F, Chen W Y, Smirnov P V 2012 *Earth Sci. Rev.* **114** 218
- [17] Tatartchenko V A, Liu Y F, Chen W Y, Zhou J J, Zhu Z Y, Smirnov P V, Niu S J, Li D Z, Lu Y F 2012 *Lecture Notes in Information Technology* **9** 191
- [18] Ravilious K Cloud 2010 *New Scientist* 27 November 38
- [19] Dicke R H 1954 *Phys. Rev.* **93** 99
- [20] Ginzburg V L, Tsytovich V N 1984 *Transient Radiation and Transient Scattering* Moscow Nauka
- [21] Wisniak J 2001 *The Chemical Educator* **6** 55
- [22] Nichols L W, Lamar J 1968 *Applied Optics* **7** 1757
- [23] Gao S T, Zhou Y S, Lei T 2002 *中国物理快报* **19** 878
- [24] Wu S C, Fan S H, Chen F 2003 *中国物理快报* **20** 2192
- [25] Vilor N V, Abushenko N A, Tastchilin S A 2004 *Investigation of the Earth from Space* **2** 17
- [26] Potter W R, Hoffman J G 1968 *Infrared Physics* **8** 265
- [27] Carlon H R 1971 *Appl. Opt.* **10** 2297
- [28] Carlon H R 1979 *Infrared Physics* **19** 49
- [29] Wang Kuo-Ting 2011 *Phase-transition radiation of water* Urbana Illinois
- [30] Wu W H 2012 *Temperature effect of phase transition radiation of water* Urbana Illinois

[31] Wang K T, Brewster M Q 2010 *International Communications in Heat and Mass Transfer* **37** 945

[33] Zhang B, Zhu M Y, Wang C Y, Guan X 2012 *Energy Procedia* **16** 1003

[32] Xie H R, Zhu M Y, Zhang B, Guan X 2012 *Energy Procedia* **16** 997

Infrared characteristic radiation under first order phase transitions—melt crystallization and vapor condensation or deposition

Tatartchenko Vitali[†] Liu Yi-Fan Wu Yong Zhou Jian-Jie Sun Dai-Wei
Yuan Jun Zhu Zhi-Yong Smirnov Pavel Rusanov Artem Niu Shen-Jun
Li Dong-Zhen Zong Zhi-Yuan Chen Xiao-Fei

(Shanghai CEC Zhenhua Crystal Technology Co., Ltd., Shanghai 201210, China)

(Received 3 July 2012; revised manuscript received 23 November 2012)

Abstract

We have studied the specimens made of amino acids arranged in a linear chain and joined together by peptide bonds between the carboxyl and amino groups of adjacent amino acid residues. The sequence of amino acids in a protein is defined by a gene and encoded in the genetic code. This can happen either before the protein is used in the cell, or as part of control mechanism. This paper considers a new physical phenomenon - infrared characteristic radiation (IRCR) at first order phase transitions (melt crystallization, and vapor condensation and/or deposition). Experimental results are analyzed in terms of their correspondence to the theoretical model. This model is based on the assertion that the particle's (atom's, molecule's, or cluster's) transition from a higher energetic level in a metastable or unstable phase (vapor or liquid) to a lower level in a stable phase (liquid or crystal) can emit one or more photons. The energy of these photons depends on the latent energy of the phase transition and the character of bonds formed by the particles in the new phase. For all investigated substances, this energy falls in the infrared range. This is a reason why the radiation is named as IRCR—infrared characteristic radiation. Many sources of the infrared radiation recorded in the atmosphere seem to be a result of crystallization, condensation and/or sublimation of water during fog and cloud formation. Thus, the effect under investigation must play a very important role in atmospheric phenomena: it is one of the sources of Earth's cooling; formation of hailstorm clouds is accompanied by intensive characteristic infrared radiation that could be used for process characterization and meteorological warnings. IRCR seems to explain red color of Jupiter. It can be used for atmospheric energy accumulation, and, thus, together with wind, falling water, solar and geothermal energies, IRCR makes available the fifth source of ecologically pure energy.

Keywords: crystal growth from melt, crystal growth from vapor, vapor trouton's rule, atmospheric energy accumulation

PACS: 92.70.Cp, 78.30.Er

DOI: 10.7498/aps.62.079203

[†] Corresponding author. E-mail: vitalitatartchenko@orange.fr