

$$\left. \frac{\partial n}{\partial t} \right|_c = \frac{n_0 - n}{\tau}, \quad (7)$$

其中 n_0 是粒子(例如玻色-爱因斯坦声子和费米-狄喇克电子)的统计平衡态分布,而 τ 则是刻划粒子弛豫到平衡态的弛豫时间.我们将(7)式代入(6)式,然后在所得结果的两边同乘以 $\tau E v_q$ (这里 E 是单个粒子的能量),并对所有的 \mathbf{k} 值求和,最后便得

$$\sum_{\mathbf{k}} \tau E v_q \frac{\partial n}{\partial t} + \sum_{\mathbf{k}} \tau v_p v_q E \frac{\partial n}{\partial x_p} + \sum_{\mathbf{k}} E v_q n = \sum_{\mathbf{k}} E v_q n_0. \quad (8)$$

上式最后一项等于零,因为 $E v_q n_0$ 是 \mathbf{k} 的奇函数.此外,我们关心的是粒子分布的均衡变化,而这种变化根据局域平衡假设是比较小的,以致 $|n - n_0| \ll n_0$. 这样,(8)式左边的第二项就可改写成

$$\sum_{\mathbf{k}} \tau v_p v_q E \frac{\partial n_0}{\partial x_p} = \frac{1}{3} \sum_{\mathbf{k}} v^2 E \tau \frac{\partial n_0}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial x_q} = K \left(\frac{\partial T}{\partial x_q} \right), \quad (9)$$

因为对各向同性介质有

$$K = \frac{1}{3} \sum_{\mathbf{k}} v^2 E \tau \left(\frac{\partial n_0}{\partial T} \right).$$

(8)左边第三项就是热流 J_q ,而第一项是 $\frac{\partial Z_q}{\partial t}$,

其中

$$Z_q = \sum_{\mathbf{k}} \tau E v_q n. \quad (10)$$

因 τ 通常是 \mathbf{k} 的函数,故为了能把 τ 从(10)式的求和号中提出,我们假定求和中的 $\tau(\mathbf{k})$ 能恰当地用一个关于所有 \mathbf{k} 的加权平均值来代替,这样,便有 $Z_q = \tau J_q$,且(8)式可用如下形式表示:

$$J_q + \tau \left(\frac{\partial J_q}{\partial t} \right) = -K \left(\frac{\partial T}{\partial x_q} \right). \quad (11)$$

显然,(11)式同 Fourier 传导方程的 Vernotte's 修正方程即(4)式是一致的.

实验和理论均证明,作为热流演化方程的(4)式和由它所推得的(5)式对描述高频率热波的传播尤其恰当^[2]. 以上讨论虽然只局限热流,但输运过程中的其它耗散流(如物质流、动量流等)也有相同的结论,即实际上,各种耗散流的时空演化规律都与经典的时空演化规律有区别^[3].

- [1] P. Vernotte and C. R. Acad. Sci. Paris, 246(1958), 3154.
 [2] P. Chester, Phys. Rev., 131(1965), 2013.
 [3] 李述华,物理,16(1987),79.
 [4] S. Simons, Trans. Th. Stat. Phys., 2(1972), 117; J. Phys. A, 6(1973), 1543.
 [5] S. Simons, Am. J. Phys., 54(1986), 1048.
 [6] J. M. Ziman, Electrons and Phonons, Clarendon, Oxford, (1960).
 [7] C. C. Ackerman and R. A. Guyer, Ann. Phys., 50 (1968), 128; C. R. Brown and P. W. Matthews, Can. J. Phys., 48(1970), 1200; H. E. Jackson and C. T. Walker, Phys. Rev. B, 3(1971), 1428.

碘 127 分子在 640 nm 范围内 15 条新超精细结构谱线和碘 127 稳频 640 nm 激光器¹⁾

赵克功 李成阳 李银珠 刘汉田 林贞平 许捷

(中国计量科学研究院)

稳频激光的研究是二十年来在物理学与计量学界十分重要的研究课题.它可在不同的电磁波波段内建立波长(频率)的基准,而科学家们也一直希望建立从紫外到微波及无线电波段内直接测量电磁波频率的方法,这样对原子、分子物理学,激光光谱学,以及对用化学方法研究

物质

新物质、新材料等都是十分有价值的.

1980 年以前,国际上只在 515 nm、612 nm、633 nm 和 3.39 μm 波长范围内建立了高稳频激光器.1980 年左右,法国巴黎北大学物理系

1) 本文介绍的研究成果获国家自然科学基金二等奖.

Créze 教授和英国国家物理研究所 Bennett 博士合作,企图研究碘分子在 640 nm 范围内的超精细结构谱线和利用它对 640 nm 激光器进行稳频。但他们没有观察到在 640 nm 范围内强的超精细结构谱线^[1],无法研制碘稳频 640 nm 激光器。

我们于 1981 年以后,首先对碘 127 分子在 640 nm 范围进行了大量理论计算,发现如能研究一台新 640 nm 激光器,它的频率比 Créze 和 Bennett 采用的 640 nm 激光器的频率高 1000 MHz 左右,那么就可以观察到碘 127 分子的优良超精细结构谱线。我们研制成功了这样的激光器,并于 1982 年 6 月在国际上首次观测到了碘 127 分子在 640 nm 范围内多条强饱和吸收谱线。同年 10 月文章发表后,英国国家物理研究所的 Bennett 博士亲自来我国考察,我们向他提供了激光器的各种参数及碘吸收室的各种参数,1983 年他在英国国家物理研究所复现了我们的实验。接着我们与联邦德国物理技术研究院合作。随后国际计量局、意大利国家计量研究所、美国国家标准计量局的同事们都应用了这一成果,建立了各自的新的 640nm 波长(频率)标准。这一研究成果得到了国际上物理学家和计量学家广泛的重视与积极的应用。

我们主要完成了以下几个方面的工作:

(1) 在国际上首先研制成功单模单频低声高功率 $^3\text{He}-^{22}\text{Ne}$ 640 nm 激光器,该激光器及它的各个参数在国内外得到了广泛的使用。

(2) 利用 640 nm $^3\text{He}-^{22}\text{Ne}$ 激光器,在国际上首先在室温下观测到了碘 127 分子在 640 nm 范围内新的强超精细结构谱线。

(3) 在国际上首先对碘 127 分子在 640nm 范围内的振、转谱线及其超精细结构谱线(HFS)进行了分类计算和高精度的 HFS 谱线频率间隔的测量,取得了 HFS 谱线频率间隔的理论计算和测量值的标准偏差为 $\pm 32\text{kHz}$ 的优良结果,至今也是国际上领先的。证明新观测的谱线有 15 条属于 P(10)8—5 和三条属于 R(16)8—5 跃迁。计算结果给出相应新的超精细分子的物理常数:

$$\Delta EQ_q = 1949.869 \pm 0.499 \text{ MHz},$$

$$\Delta C = 23.06 \pm 1.37 \text{ kHz},$$

$$\Delta D = -4.52 \pm 23.29 \text{ kHz},$$

$$\Delta A = -27.34 \pm 18.43 \text{ kHz}.$$

这些常数的确定对激光光谱学以及对碘分子的认识都作出了较大的贡献,整个理论计算和全部计算程序填补了国内外对碘分子超精细结构谱线计算的空白,受到国际专家学者的重视,并被他们引用。在国内该计算程序已在西北大学物理系和北京大学无线电物理系储存和应用。在联邦德国技术研究院计算中心也储存了此程序,并得到了应用。

(4) 利用新观测到的 HFS 谱线,在国际上首先研制成功了碘 127 稳频 640 nm 激光器,稳频器用 2.77 kHz 较高频率调制,提高了系统的信噪比。它的稳定性为 $6 \times 10^{-12}(\tau = 10\text{s})$,复现性为 $2 \times 10^{-11}(\tau = 10\text{s})$,均达到了国际上为实现“米”的新定义所推荐的五种饱和吸收稳频激光器的最好水平。

(5) 我们与英国国家物理研究所和联邦德国物理技术研究院合作,首先在国际上测出了碘 127 稳频 640 nm 激光器的真空波长值为 $\lambda_{\text{真空}} = 640.2834688\text{nm}(1 \pm 3.6 \times 10^{-10})$ 。

这一波长值已作为我国、联邦德国和英国实现新米定义的国家波长基准。

上述研究成果从实践到理论具有完整而严密的系统性,对基础学科和技术科学都有较大的科学意义和应用价值。

国家自然科学基金评委对本成果的评议意见是:“此成果在稳频性能上已和现在国际米定义咨询委员会所推荐的五条稳频激光波长具有同等的水平,这项工作在联邦德国、英国、意大利等国都先后复制了,我国显然处于领先地位,经作者与联邦德国及英国合作,现已测出其绝对波长,因此在今后进一步增加推荐谱线时本成果已完全具备此条件,这项工作是对当代计量科学作出一项具有国际意义的贡献,也为我国计量科学在国际上的地位增添光彩。”

[1] S. J. Bennett and P. Créze, *Opt. Commun.*, 25(1978), 343.