

# 论零点振动能与 Casimir 力

黄志洵

(中国传媒大学,北京 100024)

[摘要] 在真空中放置一对平行的金属板(间距很小),两板会由于一个微弱(可测出)的力而有相互靠近的趋势。这种 Casimir 效应可用量子理论中的零点能(ZPE)解释。科学家们都认为 Casimir 力存在,但对其产生的原因却有不同看法。空虚空间是否具有能量,其答案或许将决定宇宙的命运。在自然界和人类实验室中,有许多异常现象可用 Casimir 效应及挠场理论作出说明。

[关键词] 零点能;零点场;真空能;Casimir 力;挠场理论

[中图分类号] O46 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2008)05-0063-07

## 1 前言

在量子理论中,对电磁场进行量子化之后,会出现一个奇怪的结果——真空中似乎存在着能量,称零点能(zero-point energy, ZPE)。对此,开始时人们没有重视,甚至把它当作运算中可省略的项。1940年荷兰物理学家 H. Casimir 做与 van der Waals 力有关的研究时,曾向物理学大师 Niels Bohr 请教;后者建议他考虑量子理论中的 ZPE。Casimir 做了进一步的工作,发现了一种特殊的力的效应,后人称之为 Casimir 力。这方面的研究在 20 世纪始终持续不断,在 21 世纪初再度趋于活跃。有人测出了 Casimir 力,由此,又引发了关于挠场(torsion field)的研究。

高速粒子(如电子)在飞行过程中的动能与动量关系式( $E_k - p$  关系式)对经典力学和相对论力学而言是不同的。至今仍有研究人员探讨究竟哪个公式和相应的曲线是正确的。但专家指出,也有 Newton 力学和狭义相对论(SR)都无法描述其质量、能量变化的领域,ZPE(或真空能)就属于这种情况。众所周知,著名的质能关系式( $E = mc^2$ )是经典力学和 SR 都承认的。但对真空而言,没有质量( $m = 0$ ),却可以有能量( $E \neq 0$ )。这是很奇怪的,是非常规的思考,可能造成教科书的改写。也就是说,确实存在一些经典力

学和相对论力学都解释不了的现象和研究领域。

## 2 绝对零度时的振动能

如果温度降到  $T = 0$  K(绝对零度),微观粒子也不可能没有任何状态的运动。否则,其动量、位置可同时精确地确定,从而违反 Heisenberg 测不准关系式。实际上,当  $T = 0$  K 时,微观粒子还存在振动。这个现象可由统计力学方法对多个谐振子的平均能量进行计算和阐述。

设有  $n$  个线性谐振子,在绝对温度  $T$  下达到热平衡,平均能量  $\bar{E}$  可表示为

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n n_i E_i}{\sum_{i=1}^n n_i} \quad (1)$$

引用 L. Boltzmann 于 1877 年提出的粒子数与能量关系的分布定律

$$n_i \propto e^{-E_i/kT}$$

式中  $k$  是 Boltzmann 常数。粒子数改换为振子数时就有

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i e^{-E_i/kT}}{\sum_{i=1}^n e^{-E_i/kT}} \quad (2)$$

[收稿日期] 2006-12-21

[作者简介] 黄志洵(1936-),男,北京市人,中国传媒大学教授、博士生导师,中国科学院电子学研究所客座研究员

现在先求分母

$$\sum_{i=1}^n e^{-E_i/kT} = \sum_{i=1}^n e^{-(i+\frac{1}{2})hf/kT} = \sum_{i=1}^n e^{-ihf/kT} \cdot e^{-hf/2kT} = (e^{-hf/2kT}) \sum_{i=1}^n e^{-ihf/kT}$$

然而

$$\sum_{i=1}^n e^{-ihf/kT} = e^{-hf/kT} + e^{-2hf/kT} + e^{-3hf/kT} + \dots = e^{-hf/kT} (1 + e^{-hf/kT} + e^{-2hf/kT} + \dots)$$

由数学知

$$(1-x)^{-1} = 1 + x + x^2 + x^3 + \dots,$$

故

$$\sum_{i=1}^n e^{-E_i/kT} = (e^{-hf/2kT}) \cdot \frac{1}{1 - e^{-hf/kT}}$$

另一方面,式(2)的分子为

$$\sum_{i=1}^n E_i e^{-E_i/kT} = \sum_{i=1}^n \left[ i + \frac{1}{2} \right] h f e^{-ihf/kT} \cdot e^{-hf/2kT} = (e^{-hf/2kT}) \left[ (hf) \sum_{i=1}^n i e^{-ihf/kT} + \left[ \frac{1}{2} hf \right] \sum_{i=1}^n e^{-ihf/kT} \right]$$

然而

$$\sum_{i=1}^n i e^{-ihf/kT} = e^{-hf/kT} + 2e^{-2hf/kT} + 3e^{-3hf/kT} + \dots = e^{-hf/kT} [1 + 2e^{-hf/kT} + 3e^{-2hf/kT} + \dots]$$

由数学知,当  $|x| < 1$  时有

$$(1+x)^n = 1 + nx + \frac{n(n-1)}{2!} x^2 + \frac{n(n-1)(n-2)}{3!} x^3 + \dots$$

故有

$$(1-x)^{-2} = 1 + 2x + 3x^2 + 4x^3 + \dots$$

得

$$\sum_{i=1}^n i e^{-ihf/kT} = e^{-hf/kT} \frac{1}{(1 - e^{-hf/kT})^2}$$

$$\sum_{i=1}^n E_i e^{-E_i/kT} = (e^{-hf/2kT}) \cdot \left[ hf \frac{e^{-hf/kT}}{(1 - e^{-hf/kT})^2} + \frac{hf}{2} \sum_{i=1}^n e^{-ihf/kT} \right]$$

这样,式(2)成为

$$\bar{E} = hf \frac{e^{-hf/2kT}}{1 - e^{-hf/kT}} + \frac{1}{2} hf$$

也就是

$$\bar{E} = \frac{hf}{e^{hf/kT} - 1} + \frac{1}{2} hf \quad (3)$$

式(3)就是 Planck 黑体辐射公式。它是统计力学与量子理论相结合的成果,也是量子噪声理论、受

激辐射理论的基础。 $\bar{E}$  的单位是 J,或  $W \cdot s$ ,也可以是  $W/Hz$ 。用电子学术语来说,是频谱功率密度,即单位带宽的功率。式(3)右端第 1 项是一个振荡模在频率  $f$  下的平均能量,第 2 项是 ZPE 量。这是因为取  $T=0$  K 时,第 1 项为 0,只剩下第 2 项。

总之,任何温度高于绝对零度而处于平衡温度  $T$  的物质,其振动(振荡)方式导致的平均能量,或者说热起伏、热辐射的功率谱密度,就是由式(3)等号右边第 1 项来表示的。第 2 项与温度  $T$  无关,即使  $T=0$  K 它仍存在,说明在绝对零度时仍有 1 项能量。

令

$$p(f) = \frac{hf/kT}{e^{hf/kT} - 1}$$

则有

$$\bar{E} = kT \left[ p(f) + \frac{1}{2} \frac{hf}{kT} \right] \quad (4)$$

故  $\bar{E}$  取决于  $hf$  与  $kT$  之比。实际上这个比值体现了量子效应与经典效应之比,比值越大即量子效应越大(不能忽略)。笔者计算了  $p(f)$  的值与  $hf/kT$  的关系(见表 1)相应曲线见图 1。

表 1  $p(f)$  与  $hf/kT$  的关系数据

Table 1 Relations data between the  $p(f)$  and the  $hf/kT$

$hf/kT$	0	0.1	0.2	0.5	1	2	3	4
$p(f)$	1	0.950 6	0.903 3	0.770 8	0.582 0	0.313 0	0.157 2	0.075

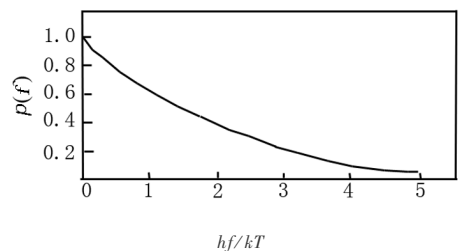


图 1  $p(f)$  与  $hf/kT$  的关系曲线

Fig. 1 Relation curve between the function  $p(f)$  and the ratio  $hf/kT$

实际上  $hf/kT > 0$ ,故总是  $p(f) < 1$ ;问题是比 1 小的程度如何。显然,频率越高、温度越低, $p(f)$  越小。

### 3 用量子电动力学方法分析电磁场

用量子电动力学(QED)做电磁场量子化工作,首先是引入矢量位(势)作为正则坐标,进而导出正则动量,然后把正则坐标和动量变为算符,最终给出

单模电磁场的 Hamilton 算符。这样,电磁场转变为光子场,电磁场状态用光子数态(Hamilton 算符的本征态)表示。

使用 Coulomb 规范,矢位  $\vec{A}$  满足波方程:

$$\nabla^2 \vec{A} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t^2}$$

经过正则动量而求出 Hamilton 量,即

$$H = \int \frac{1}{2} (\epsilon_0 E^2 - \mu_0 H^2) dV$$

积分号内的  $H$  为磁场强度。现在用正交模函数展开,得

$$\vec{A} = \sum_{i=1}^2 \sum_k \sqrt{\frac{\hbar}{2\epsilon_0 \omega_k}} [a_{ki} \vec{U}_{ki}(r) e^{-j\omega_k t} + a_{ki}^* \vec{U}_{ki}^*(r) e^{j\omega_k t}] \quad (5)$$

式中  $i$  是 2 个偏振方向; $\vec{k}$  为波矢量,波数  $k_0 =$

$\omega \sqrt{\epsilon_0 \mu_0} = \omega/c$ , 故有

$$\omega = ck_0 \quad (6)$$

式中,波矢  $\vec{k}$  的电磁波量子的动量(矢量)为

$$\vec{p} = \hbar \vec{k}$$

大小为

$$p = \hbar k_0 = \frac{\hbar f}{c}$$

该量子的能量(标量)为

$$E = \hbar \omega = hf$$

现在可由  $\Pi = \epsilon_0 \dot{\vec{A}}$  求出广义动量,并变成算符,故有

$$\vec{\Pi} = \sum_m \sqrt{\frac{\hbar}{2\epsilon_0 \omega_k}} [\hat{a}_{ki} \vec{U}_{ki}(r) e^{-j\omega_k t} + \hat{a}_{ki}^* \vec{U}_{ki}^*(r) e^{j\omega_k t}] \quad (7)$$

$$\Pi = \sum_m (-j) \sqrt{\frac{\hbar \epsilon_0 \omega_k}{2}} [\hat{a}_{ki} \vec{U}_{ki}(r) e^{-j\omega_k t} - \hat{a}_{ki}^* \vec{U}_{ki}^*(r) e^{j\omega_k t}] \quad (8)$$

经过量子化处理后,Hamilton 算符为

$$\hat{H} = \sum_k \hbar \omega_k [\hat{a}_{ki}^* \hat{a}_{ki} + \frac{1}{2}]$$

式中, $\hat{a}_{ki}^*$  为光子的产生算符; $\hat{a}_{ki}$  为光子的消灭算符。更简便的写法为

$$\hat{H} = \sum_k \hbar \omega_k [\hat{a}_{ki}^* \hat{a}_{ki} + \frac{1}{2}] \quad (9)$$

对易关系为

$$[\hat{a}_k \cdot \hat{a}_{k'}] = \delta_{kk'} \quad (10)$$

表征光子场的光子数态为

$$\hat{H} |n_k\rangle = \hbar \omega_k [n_k + \frac{1}{2}] |n_k\rangle \quad (11)$$

光子数算符( $k$  模式)为

$$\hat{n} = \hat{a}_k^* \cdot \hat{a}_k \quad (12)$$

以上各式中  $|n_k\rangle$  代表  $n_k$  个光子的状态,而其光场平均值为 0。

用谐振子量子化方法可得出与式(11)相同的结论。总体来讲,量子化之后的电磁场是用光子数算符的本征态  $|n_k\rangle$  来描述的,它代表含有  $n_k$  个  $k$  模光子的态。用较简单的下式表示,即对单模电磁场有

$$\hat{H} = \hbar \omega [n + \frac{1}{2}] \quad (13)$$

式中, $n$  代表光子数目。由此可知, $k$  模电磁场的能量不是  $n\hbar\omega$ ,而多出 1 项。当空间不存在光子时( $n=0$ ), $k$  模的能量不为零,而是  $\hbar\omega/2$ ,此即 ZPE。它的发现正是电磁场量子化理论本身的成就。现在,真空在量子理论中被视为基态,记为  $|0\rangle$ 。可求出基态能量为

$$\langle 0 | H | 0 \rangle = \frac{1}{2} \sum_k \hbar \omega_k \quad (14)$$

实际上是说 ZPE 量为

$$E_0 = \frac{1}{2} hf \quad (15)$$

式(13)中,当  $n=0$  (没有光子的真空),仍有 1 项最小能量  $E_0$  存在。故 1 个量子系统在没有量子时仍有 1 份最小能量,其值恰为 1 个量子所携带能量的 1/2,即 ZPE。Dirac 首先推出零点振动的振幅为

$$A = \sqrt{\frac{\hbar}{2mf}} \quad (16)$$

式中, $m$  为粒子质量;零点振动即写作  $Ae^{j^2\pi t}$ ;但振动能量公式为

$$E_0 = mf^2 A^2 \quad (17)$$

代入后得到式(15)。可见存在  $E_0$  的原因是零点振动振幅不等于 0。这种理论与经典物理学明显地不相符合(经典物理认为绝对温度  $T=0$  K 时系统内能为 0)。但是,即使在绝对温度为 0 时原子的振动也还有,故零点振动是一种客观的存在。根据对晶体光散射现象的观察(温度降到超低温、光散射强度趋于一定值),可以证明零点振动的存在。此外,由测不准关系式也可推出 ZPE 量来。

必须注意到这样的特点:ZPE 与温度无关;ZPE 与  $n$  (量子系统的状况)无关;ZPE 与系统的自发出

射作用的一致性(ZPE引起自发发射); $\frac{1}{2}hf$ 只代表每个存在的模式,具有相当于半个量子能量的辐射密度,却不表明可以存在“半个量子”或“半个光子”。光子不能分裂为频率相同而各带有原来能量一部分的2个光子,即光子具有不可分性。

#### 4 真空是否具有能量

1644年,意大利物理学家E. Torricelli做了历史上第1个真空实验——把装有水银的玻璃管倒置于水银盆内,管内水银柱下降为760mm高,在水银面以上的封闭空间创造了真空。这个实验确认了大气压强的存在,并造就了“真空”的工程学定义:“真空是气体压强小于1个大气压的稀薄气体状态。”然而,长期以来在哲学和科学上对物理真空的理解却是:真空是空无一物的空间(或状态),即把“真空”与“没有物质”相等。20世纪的科学发展使人们认识到,不存在“完全没有物质”的情况。既然物质与能量相联系,“能量为0”也就不再是合理的了。这就是对“真空具有能量”这一观点的通俗说明。

然而,在人们习惯使用的语汇中,能量来自能源,具有可输出、可应用的特性。正是在这种理解下,人们使用“电能”、“风能”、“太阳能”、“核能”等词语。如果提出“真空能”一词与它们并列,从表面上看非常可疑。因此,对“真空能”的看法,科学界是不一致的。有一种观点认为,ZPE根本不能利用,因为它代表最低的量子态,不是一种“取得出来的能量”。另一种观点则提出“向真空要能量”的口号,并认为美国Los Alamos实验室于1998年通过对Casimir力的测量得出的 $10 \sim 15$  J能量就是ZPE或真空能。然而,报道和认识比较混乱,有人又把该测量结果说成是存在“负能量”(negative energy)的证明。

关键一点在于如何认识真空的本质。人们可以用高级的设备(分子泵、离子泵等)把某个空间抽气到差不多是空无一物,但却没有办法把物理相互作用从该空间排除掉。因此,真空是“没有物质的态”并不错,但由于有物理相互作用,真空有能量涨落,它是由在很短时间内发生的虚激发过程而引起的。如果时间足够长,到平均值为0时就无法从外界观察到它的存在。这种能量涨落可理解为虚物质。总之,没有具体物质的真空,根据测不准原理必然有相互作用引起的能量涨落。从这个意义上说,真空是一种物理媒质或复杂系统,这是量子理论的重要成

果之一。

K. S. Thorne曾指出,真空涨落不能因取走其能量而使之停止作用,因为它们本没有能量。有时候,在某处可能有从别处借来的正能量,结果该处出现负能量,而负能区又迅速从正能区吸收能量,因而还原到0或维持某些正能。真空涨落正是靠这种持续不断的能量借还过程所激励和驱动的。在电磁场与电磁波领域以及激光技术领域,真空涨落有实验基础,并曾用一个颇为流行的术语“自发发射”(spontaneous emission)来称呼它们。

假定真空能密度为 $\rho_0$ ;如按ZPE公式对一切频率作积分, $\rho_0$ 将为无限大。即使对一切频率积分不合理, $\rho_0$ 肯定也非常大(J. Wheeler估计 $\rho_0$ 可达 $10^{35}$  J/m<sup>3</sup>)。假定宇宙真空中有能量,就成为一种引力源,产生引力场。因此,通常在大尺度上的宇宙学研究通常与小尺度上的量子场论研究联系在一起。几年前,天文学家发现宇宙加速扩展。现成的一种解释是用Einstein的宇宙常数。的确,真空能会产生斥力,但有多大呢?量子场论认为,随机的能量起伏恒定地产生短寿命的虚粒子。然而,真空能太巨大了,施加的斥力比知道的大了 $10^{120}$ 倍。有的粒子具有负能量,因而可省却过量部分,只留下极少的能量残余,恰可解释看到的加速。

既然真空能产生的作用是斥力,这与对称宇宙常数为“排斥因子”一致。广义相对论理论给出均匀各向同性宇宙的动力学方程为

$$\ddot{R} = -\frac{4\pi}{3}G(\rho - 2\rho_{\text{eff}}) \quad (17)$$

式中, $\rho$ 是宇宙平均密度; $\rho_{\text{eff}}$ 是考虑了宇宙学常数和真空能密度时的有效宇宙密度, $\rho_{\text{eff}}$ 定义为

$$\rho_{\text{eff}} = \rho_0 + \frac{1}{8\pi G} \lambda \quad (18)$$

这些数学式为宇宙学基础理论提供了研究的入口。式(17)右方括号内第2项前的负号,表示 $\rho_{\text{eff}}$ 起的作用是与 $\rho$ 相反的,即斥力;而斥力的来源可从式(18)得知——首先是正宇宙学常数( $\lambda > 0$ ),其次是正真空能密度( $\rho_0 > 0$ )。

#### 5 Casimir力及其来源

把两块非常靠近的金属板置于真空中,实验者会发现它们互相吸引——在一个虽小但可测出的力的作用下(见图2)。这是约半世纪前Casimir提出的预言。量子理论中有所谓ZPE,正是它产生力并推动两块金属板。这个效应也可用来解释谜一般的

暗能量,而后者被认为是宇宙加速扩张的原因。

Casimir 效应对于理解 ZPE 颇为重要。20 世纪 40 年代, H. Casimir 致力于计算 2 个中性原子间瞬时电偶极矩相互作用的起伏,对伴有偶极辐射的情况产生了疑问。他与 Niels Bohr 讨论, Bohr 告诉他这问题可能与 ZPE 有关。在进一步研究后, H. Casimir 于 1948 年提出 ZPE 的变化引起力作用,检测这种力(或压强)就能判断 ZPE 是否存在。

从理论上讲,真空能量以粒子形态出现,并不断在小规模上形成和消失。可以认为,真空中充满着各种波长的粒子。Casimir 认为,如在真空中采用两块靠得很近的金属板,排除掉较长波长的光子,金属板外较多的波(较多光子)就会使两板有靠近的趋势。而一旦它们靠得更近,两者之间产生的吸力就会更强。当然, Casimir 力是很微弱的,它不会比一颗尘埃落到极板上产生的压强更大,但是,仍然有可能进行检测。

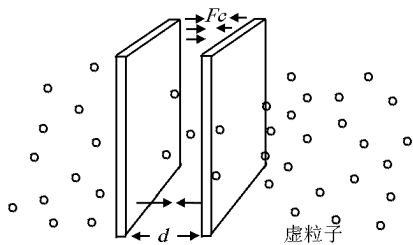


图 2 Casimir 力的示意图

Fig. 2 Sketch map of the Casimir force

假定金属板为正方形(边长  $a$ ),在真空中两板间距为  $d$ ;两板之间的微弱吸引力为

$$F = - \frac{\partial E_c}{\partial d} = - \frac{\pi^2}{240} \frac{\hbar c a^2}{d^4} \quad (19)$$

故  $F \propto d^{-4}$ ,只有减小  $d$  才能有可测的力,故  $d$  实际上是微米级。另外,在式(19)中  $E_c$  是 Casimir 能,它等于板间真空的 ZPE 与两板不存在时的 ZPE 之间的差值:

$$E_c = \left[ \sum \frac{1}{2} \hbar \omega_i \right]_{\text{有板}} - \left[ \sum \frac{1}{2} \hbar \omega_i \right]_{\text{无板}} \quad (20)$$

$E_c$  的计算在数学上很复杂,此处略过不计。

Casimir 曾算出,一对面积为  $1 \text{ cm}^2$  的金属板在间距  $1 \mu\text{m}$  时,产生  $10^{-5} \text{ N}$  的力,是很小的。1950 年以来,一直有实验证明 Casimir 力确实存在,但却有不同的解释。例如,1956 年 E. M. Lifschitz 只用 van der Waals 力也导出了 Casimir 公式;而近年来 R.

Jaffe 认为,解释 Casimir 力无需使用真空起伏涨落。

所谓 van der Waals 力,是指两静止中性球状原子间由于瞬时电偶极矩(由于瞬间的正、负电荷中心不重合)而造成的作用力。它在  $0 \text{ K}$  时本应为 0,但因存在零点振动而不是 0。就 Casimir 效应而言,该物理现象可由 ZPE 或 van der Waals 力造成。1993 年, C. I. Sukenik 等用空腔做实验,板间距离可在  $0.5 \sim 8 \mu\text{m}$  间调节,用钠原子束通过置于真空中的空腔。实验表明它与量子电动力学(QED)计算相符,而非 van der Waals 力。但尽管如此,许多人对此依然持有异议,这种局面到 20 世纪 90 年代后期才开始改变。1996 年美国的一些科学家对 Casimir 效应产生的斥力和吸力进行了计算,并提出做一种微形金属空腔来代替两块金属板。这种微型腔在技术上要求极高,只能委托原来生产集成电路的公司用平板蚀刻技术和淀积技术来制造。美国的 Jordan Macley 曾在大学担任电气工程教授,空腔的思想就是他提出的,他还打算成立量子场公司,并获得美国航天局(NASA)的研究资助。他提出的空腔又长又薄,尺寸仅有一个大肠杆菌那么大,制造极为困难。

1998 年,美国 Los Alamos 国家实验室的科学家 Steven Lamoreaux 最先实现了对 Casimir 作用力的测量。他的装置比 Casimir 本人于 1948 年提出的设想复杂,由 2 根镀金石英棒和 1 个镀金球组成。安装时它们十分靠近,所获得的 Casimir 力使吊在金属丝上的一根石英棒扭转。Steven Lamoreaux 测量了使石英棒恢复原状的力,结果与 Casimir 理论相符,事实上只有 5% 误差。但他的实验只获得  $10 \sim 15 \text{ J}$  的能量。

总之, Lamoreaux 小组的实验结果符合 ZPE 的预期。但 Jaffe 仍认为, Casimir 效应并不提供 ZPE 的量度,因而无法测量真空中的能量。而 S. Carroll 则说,真空起伏涨落是实在的,正是 Casimir 效应使之显示。总之,科学界对 Casimir 效应仍有较大分歧,而且有关讨论还涉及量子引力问题。

## 6 零点场与质量起源之谜

自然界最深邃的谜团之一是:质量从何而来?现在有一个理论认为,质量来自物质和渗透于全宇宙的量子真空之间的交互作用。

众所周知,惯性质量(inertial mass)是物质反抗

加速作用的特性,引力质量(gravitational mass)是物质感受引力作用的特性。新理论对它们提出了解释并认为,近10年来主流意见认为是 Higgs 场造成了物质的质量,由 Higgs 玻色子(Higgs boson)传递,但至今无人见到过。

1990年至1994年,A. Rueda 和 B. Haisch 提出一种不同的场,量子理论认为它是时空的最低能态,是宇宙中每处的剩余电磁振动所造成的。它叫零点场(zero-point field, ZPF),像一个虚光子海洋。他们认为,带电物质粒子(如电子、夸克)是由 ZPF 环绕,不停地摇晃。粒子如静止,或对场以恒速行进,这种摇晃没有影响——没有力作用在粒子上。但如粒子加速,计算显示产生一个净力推动粒子,提供、提升该粒子的惯性质量。他们还解释了惯性质量与引力质量的等效性。

物质如何与量子真空相互作用?如粒子静止(或以恒速运动),感觉不到量子真空的光子造成的辐射压力。如粒子向右加速运动,感受一个真空造成的辐射压力(向左)。这是由于加速提升了惯性质量,由于时空弯曲提升了引力质量。

这个概念距离还远未被广泛接受,有许多难解之处。按照他们的计算,场中的总能大到足以弯曲时空时会造成宇宙崩溃,但显然实际上不存在。另外,这两个人只考虑了带电粒子的质量,是不完整的。

## 7 关于提取真空能的努力

前已述及,真空能问题在科学界尚无定论。然而,科学家们已提出了许多建议,作了各种努力。1984年,R. Forward 建议利用带电荷薄膜导体内聚现象从真空中提取电能。20世纪前期,Cartan 和 Myshkin 分别独立地提出,自然界存在一种长程相互作用场——挠场(torsion field)。后来这一思想被广泛研究,并与 ZPE 相结合,认为挠场的能源就是真空 ZPE。挠场被认为是物体自旋造成的,是真空被自旋横向极化(spin transverse polarization)而引起的扰动。1997年,A. E. Akimov 和 G. J. Shipov 在论述挠场的文章中提出,通过对物理真空的涡旋扰动,有可能从真空中取出能量。有趣的是,根据 D. V. Dubrovsky 的研究,认为挠场的传播速度是超光速的( $V \geq 10^9 c$ ,  $c$  为光速)。2000年曾有报道说,有人在电解实验中找到了挠场存在的证据。2001年初,在英国召开了关于“场推进技术”的国际会议,议题之

一是“利用 ZPE 推动宇宙飞船的可能性”。这种飞船如实现,可在宇宙中长期自由飞行而无须携带燃料。此设想建基于对真空的理解(物理真空是无比巨大的能量起伏的海洋),认为只要实现动态 Casimir 效应与挠场的相干,就可以在空间任何地方提取能量。研究者们认为,21世纪可能是 ZPE 成功实现的世纪。

中国科学家的研究表明,引入挠场理论,并对物理真空进行深入研究,将有助于对电化学过程中的异常放热和核现象的理解。在电解过程中,电极尖端或微凸起处存在不断出现的微气泡,气泡的产生、长大和坍塌过程就是空腔边界的动态过程,在谐振条件下会产生动态 Casimir 效应而吸收 ZPE。在电解过程中观察到的超常放热主要不是由于核反应放热,而是通过提取 ZPE 而放热。也就是过热的出现,是通过涡旋等离子体产生的挠场与真空 ZPE 相干以及动态 Casimir 效应两种机制而发生的。

## 8 结语

ZPE 是一个值得深入研究的领域。从表面上看,“向真空要能量”是荒唐的说法,不应成为科学家们的话语。但在实际上,它已成为一个热门课题。人们的态度是严肃认真的,其论述富含启发性和建设性。研究工作涉及量子电动力学、宇宙学与引力理论、Casimir 效应、挠场理论和电化学等方面,是一个多学科的交汇点。由于人类对能源问题的持续关注,科学界还将不断探索谜一般的大自然并寻找答案。

**致谢** 在写作本文时,北京航空航天大学江兴流教授给予了帮助,谨此致谢。

## 参考文献

- [1] Hehl F. General relativity with spin and torsion: foundations and prospects[J]. Rev. Mod. Phys, 1976, 3: 393
- [2] 黄志洵. 量子噪声理论若干问题[J]. 电子测量与仪器学报, 1987, 1(3): 1-10
- [3] Puthoff H E. Source of vacuum electromagnetic zero point energy [J]. Phys Rev A, 1989, 40: 4857-4862
- [4] Cole D C, Puthoff H E. Extracting energy and heat from the vacuum [J]. Phys Rev E, 1993, 48: 1562-1567
- [5] Pinto F. Engine cycle of an optically controlled vacuum energy transducer [J]. Phys Rev B, 1993, 60: 14740-14752
- [6] Lamoreaux S K. Demonstration of the Casimir force in the 0.6  $\mu\text{m}$  range [J]. Phys Rev Lett, 1997, 78: 5-8
- [7] Akimov A E, Shipov G L. Torsion field and experimental manifestations [J]. New Energy, 1997, 2(2): 67-81

- [8] 俞允强. 广义相对论引论(第二版)[M]. 北京:北京大学出版社,1997
- [9] Ford L H. Casimir force between a dielectric sphere and a wall [J]. Phys Rev A, 1998, 58(6): 4279 - 4286
- [10] Dodonov V V. Dynamical Casimir effect in a nondegenerate cavity with losses and detuning[J]. Phys Rev, 1998, A58: 4147 - 4150
- [11] Reed D. Excitation and extraction of vacuum energy via EM torsion field coupling theoretical model [J]. J of New Energy, 1998, 3 (2/3): 130 - 140
- [12] Jiang X, Lei J, Han L. Dynamic Casimir effect in an electrochemical system[J]. J New Energy, 1999, 3(4):47 - 49
- [13] Jiang X, Lei J, Han L. Torsion field and tapping the zero point energy in an electrochemical system[J]. New Energy, 1999, 4 (2):93 - 95
- [14] 雷锦志, 江兴流. 卡西米尔效应与提取 ZPE[J]. 科技导报, 1999, 4: 10 - 12
- [15] 葛墨林. ZPE 与卡西米尔——玻德勒效应[J]. 量子力学新进展(第一辑), 2000:232 - 248
- [16] Harris B W. Precision measurement of the Casimir force using gold surfaces[J]. Phys, Rev, 2000, 62: 05,09 ~ 05,21,13
- [17] 雷锦志, 江兴流. 电化学异常现象与挠场理论[J]. 科技导报, 2000, 6:3 - 5
- [18] 倪光炯, 陈苏卿. 高等量子力学[M]. 上海:复旦大学出版社, 2000
- [19] 黄志洵. 四维电磁位与电磁场的量子化[J]. 北京广播学院学报(自然科学版), 2001(2):1 - 8
- [20] 黄志洵. 超光速研究中的负能量问题——一个重要的研究方向[J]. 中国工程科学, 2001, 3(7):42 - 47
- [21] 江兴流, 文雄伟, 张建刚. 电化学过程中的局域核反应及动态 Casimir 效应[J]. 北京航空航天大学学报, 2001, 27(6):729 - 732
- [22] Batterby S. The ghost in the cosmos [J]. New Scientist, 2004, (7): 32 - 35
- [23] Anderson M. Is jiggling vacuum the origin of mass? [J]. New Scientist, 2005 (13):16 - 17
- [24] Shiga D. Something for nothing[J]. New Scientist, 2005(1): 34 - 37
- [25] 季灏. 关于电子 Lorentz 力和能量测量的实验[J]. 中国工程科学, 2006, 8(10): 60 - 65

## The zero-point energy of vibration and the Casimir force

Huang Zhixun

(Communication University of China, Beijing 100024, China)

[Abstract] Put two metal sheets very close together in vacuum, we'll find they attract each other with a small but measurable force. The explanation for the Casimir effect is that empty space is cracking with zero-point energy(ZPE), a phenomenon arising from quantum theory, and this energy pushes the metal plates together. All scientists agree that such a force does exist, but the trouble is physicists can't agree on what it means for something to be true. Is empty space really fizzing with energy? Perhaps the answer may determine the fate of the universe. A variety of anomalous phenomena in nature or at laboratories could be explained by the Casimir effect and the torsion field theory.

[Key words] zero-point energy; zero-point field; energy of vacuum; Casimir force; theory of torsion field