

物质场驻波揭示德布罗意的五点预言

陈其翔 chqx@bbn.cn

北京联合大学 自动化学院

【摘要】 本文对本人已发表的物质场理论和物质场驻波的物理概念作了进一步的阐明，并将物质场驻波与德布罗意对基本粒子的五点预言作了对比，即：基本粒子可表示为驻波，驻波包含一个奇点代表粒子，振幅要逐渐衰减粒子具有一定尺度，粒子运动时驻波变为相波，基本粒子的 ψ 波具有实际的物理意义它与物质场驻波有密切的联系。

【关键词】 物质场理论，物质场驻波，基本粒子，量子力学

引言

构成物质的基本粒子具有波粒二象性。普朗克提出热辐射的能量是量子化的，爱因斯坦把普朗克的量子概念加以推广，指出光的能量也是量子化的，提出光子的概念，同时解释了光电效应，首次揭示出微观粒子的波粒二象性。德布罗意（de Broglie）类比于光子，进一步提出实物粒子的波粒二象性，认为静止的粒子可表示为具有周期性元素的驻波^[1]：

$$\psi = a_0 \exp(i\omega t)$$

式中 $\omega = 2\pi m c^2 / h$ 。当粒子相对于观察坐标系以速度 v 运动时，运用洛伦兹变换驻波变为以相速 c^2/v 运动的相波，即量子力学中的 ψ 波：

$$\psi = a_0 \exp[i(Et - p r)/h]$$

德布罗意认为 ψ 波的振幅应具有更为实际的物理意义，而不仅是具有几率解释，他指出：“由于常量振幅 a_0 不可能表示波动现象的真正振幅，所以 ψ 波只能准确地给出围绕粒子的波动现象的相。的确，我觉得真正的振幅应该包含一个奇异点——粒子；远离奇异点处振幅要逐渐衰减。”

德布罗意对基本粒子的预言有五个要点：1. 基本粒子可表示为驻波，2. 驻波的振幅应该包含一个奇异点……粒子，3. 远离奇异点处振幅要逐渐衰减，即粒子具有一定尺度，4. 当粒子以一定速度运动时，运用洛伦兹变换驻波变为相波，5. 驻波的振幅应具有实际的物理意义。

所谓驻波是指，空间各点振动的相位处处相等；而行波则空间各点振动的相位处处不相等。过去通常认为，驻波是行波在一定的边界条件下形成的，例如两端固定张紧的弦形成驻波，可看成是行波在两端反射形成驻波。基本粒子的驻波并不是由行波在一定的边界下形成的，它并不需要边界条件。过去还有另一种观点，认为粒子是有一定大小的“波包”（wave-packets）。所谓“波包”是由一组频率相近的行波叠加组合而成，由于各频率不相等但又很相近，使叠加的结果在一定的区域内相互加强，其它区域均相互抵消，形成一个波包。由于“波包”在行进过程中不稳定，会发散，因而未被量子物理界所接受。

薛定谔用一些算子对 ψ 波函数进行运算，可得出能量 E 和动量 p ，并按经典力学建立了薛定谔方程，开创了量子力学。量子力学中的波函数只包含物质波的相位，但未包含振幅方面的参数，二者都是发生相互作用的重要条件。由于不能确定波的振幅和初始相位，因此要用几率来进行分析，这时波函数可给出统计的结果。量子力学的正统学派，因 ψ 波函数中未包含振幅方面的参数，不承认波函数有任何实质性的物理意义，陷入了纯几率解释，这与德布罗意的本意相违背。当处理某些微观事物时，发生瞬时传递事件信息破坏微观因果律的假象，与爱因斯坦的狭义相对论不符^[6,7]。波动性和粒子性是微观物质的两种相辅相成的不同表象，如果否认波函数有实质性的物理意义，则必然对物质的认识偏重于粒子性，量子力学此后的发展正是按这个方向进行的；例如认为物质粒子是无限可分的，等等。

传统的粒子物理将粒子视为没有一定尺度的几何点。桑蒂利教授将粒子视为有一定大小

的“波包”(wave-packets)。他通过实验发现并证明了“基本粒子”的上述特性,建立了“量子力学”,并将其应用在工业生产中,而非通过单纯的理论推导。大约在两年前,当我了解到桑蒂利教授的工作,曾向陈一文先生介绍我过去曾做的有关工作。

我的此项工作为:建立了物质场理论及其基本方程,对物质场驻波方程求解可得出物质场(包括引力场和动引力场)不能形成以光速进行的行波,而是形成一种驻波。其中空间各点的场围绕一个奇点振动,相位处处相等。奇点代表粒子,远离奇点振幅要逐渐衰减。即粒子有一定尺度。当粒子以一定速度运动时,驻波变为相波。物质场理论的主要贡献在于,通过把物质场驻波与‘基本粒子’的驻波相对比,揭示出万有引力与量子力学中的 ψ 波函数存在本质上的相互联系。换句话说,给德布罗意的五点预言找到了依据。我的论文早在上世纪七十年代就写成稿件,约在2002年才得以发表。

物质场理论概要和物质场基本方程^[2,3,4]

物质场理论认为,宇宙中的物质都是由场及其振动构成。物质的场分为电磁场和引力场两大类,二者具有统一性。电磁场包括电场和磁场,当它们振动时,发生相互转换并形成电磁波,它以光速传播而不能静止,称为行波。电磁场及其振动可用麦克斯韦方程组和波动方程来描述。

牛顿(Newton)提出了万有引力定律,认为物体的周围存在引力场,对其它物体产生作用力。爱因斯坦把引力场归之为时空的几何弯曲,提出了广义相对论。正统观点认为,物质产生场,场本身也是物质,它又产生二次场,换句话说引力场理论应该非线性的。广义相对论是非线性的,因而比其它线性的理论应该更为精确。作者认为,广义相对论在引力计算方面也许比较精确,但缺点是理论过于复杂,不易与现代物理中其它领域相沟通。广义相对论在数学上导致极度复杂化,特别是对引力场与电磁场作统一研究时出现极大困难,同时与量子力学也很难发生联系。

根据牛顿引力定律,一个质量为 m 的质点,在矢径 \mathbf{r} 处产生的引力场 \mathbf{G} 为:

$$\mathbf{G} = K m \mathbf{r} / r^3 \quad (1)$$

式中: K 为引力常数。此处引力场 \mathbf{G} 与矢径 \mathbf{r} 设为同方向,黑体字符表示矢量。因物质间的引力为同性相吸,引力 \mathbf{F} 与矢径 \mathbf{r} 应反向,因而 \mathbf{F} 与 \mathbf{G} 也反向,可表为 $\mathbf{F} = -m\mathbf{G}$ 。

物质场理论认为,引力场并不像牛顿引力场那样只有单一的形式,而是与电磁场一样,也存在一种类似于磁场的场,称为动引力场,它形成于运动物体的周围,并可对运动的物体产生作用力。当质点 m 以速度 \mathbf{v} 运动时,在矢径 \mathbf{r} 处的动引力场 \mathbf{G}_m 为:

$$\mathbf{G}_m = K m \mathbf{v} \times \mathbf{r} / c r^3 \quad (2)$$

式中: c 为光速, \times 为矢积乘号,动引力场的量级比引力场小 v/c 倍。动引力场的力学效应类似于电动力学中的洛仑兹力,质点 m 在引力场 \mathbf{G} 和动引力场 \mathbf{G}_m 中受到的作用力 \mathbf{F} 是:

$$\mathbf{F} = -m[\mathbf{G} + (\mathbf{v} \times \mathbf{G}_m) / c] \quad (3)$$

动引力场 \mathbf{G}_m 的作用力比引力场 \mathbf{G} 的小 v/c 倍。在天体运动中考虑到动引力场的力学效应后,对牛顿引力应是一种修正,但在低速运动时这个修正量很小。广义相对论对牛顿引力的修正具有同一量级,只有在更小的量级上,才能体现理论的精确性。引力场与动引力场合起来称为物质场,可类似于麦克斯韦方程组,建立起一组物质场微分方程组:

$$\nabla \cdot \bar{\mathbf{G}} = 4\pi K \rho \quad (4)$$

$$\nabla \times \bar{\mathbf{G}}_m = \frac{1}{c} \frac{\partial \bar{\mathbf{G}}}{\partial t} + \frac{4\pi K}{c} \rho \bar{\mathbf{v}} \quad (5)$$

$$\nabla \cdot \bar{\mathbf{G}}_m = 0 \quad (6)$$

$$\nabla \times \bar{G} = \frac{1}{c} \frac{\partial \bar{G}_m}{\partial t} \quad (7)$$

式中： ρ 为物质密度。物质场与电磁场的差别，首先在于物质的引力是同性相吸的，而电荷是同性相斥的，这导致物质场微分方程组中方程(7)式右边改变了符号。另一差别是正电荷经 CPT 变换后为负电荷，而正物质经 CPT 变换后为反物质，正、反物质均有正的质量。

可以根据物质场微分方程组来解释物质惯性力的产生。设有一质点 m 以速度 v 运动，按(5)式，动引力场的旋度与速度同方向，换句话说 \bar{G}_m 与速度 v 成右螺旋关系。当质点 m 作加速运动时，按(7)式可产生一附加的引力场，其方向与加速度同向，其引力与加速度反向，这就是惯性力。也许有人说，既然动引力场的力学效应很小，那为什么在低加速度时仍有明显的惯性力呢？这是因为通常在宏观的尺度上观察到的引力很小，产生的惯性力也极小；但物质都是由基本粒子构成的，基本粒子的质量集中在一个极小的核心部分，其物质密度极大，在这个区域中引力场极大，它产生的惯性力就很明显。

物质场方程中，由(6)式可定义矢势 \bar{A} ，由(7)式可定义标势 U ：

$$\bar{G}_m = \nabla \times \bar{A} \quad , \quad \bar{G} = \nabla U + \frac{1}{c} \frac{\partial \bar{A}}{\partial t} \quad (8)$$

矢势 \bar{A} 与标势 U 的相互关系，由规范条件确定：

$$\nabla \cdot \bar{A} + \frac{1}{c} \frac{\partial U}{\partial t} = 0 \quad (9)$$

以光速传播的引力势波^[2,3,4]

根据(4)式，并运用(8)、(9)两式，当真空条件 $\rho = 0$ 时，可得标势 U 的波动方程：

$$\nabla^2 U - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = 0 \quad (10)$$

它存在以光速传播的平面波解：

$$U = U_0 \exp[i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} \pm \omega t)] \quad (11)$$

式中 \mathbf{k} 为波矢量，其模值为 k ，并有以下关系 $k^2 = \omega^2 / c^2$ 。

由规范条件(9)式，可得到与标势 U 相应的矢势 \bar{A} 的平面波

$$\bar{A} = \bar{A}_0 \exp[i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} \pm \omega t)] = \pm U \mathbf{k} / k \quad (12)$$

因为 \mathbf{k} 是波矢量，其方向是波进行的方向， \bar{A} 与 \mathbf{k} 有同向和反向两种情况，因此 \bar{A} 为纵波，有两种状态。从以上两式看出，存在以光速传播的引力势波，这与广义相对论是一致的。引力势波有振动频率就有能量，它以光速传播应没有静止质量。根据波粒二象性，应该存在一种静止质量为零，有两种状态，并以光速运动的基本粒子。这与中微子十分相象，它具有自旋与波矢同向和反向两种状态，与其它粒子的相互作用很弱。

把(11)和(12)式代入(8)式，可得出与 \bar{A} 和 \mathbf{k} 相应的 \bar{G} 和 \bar{G}_m 为 0 。这个结果表明，物质场不存在以光速传播的行波即引力波。这与广义相对论不一致，广义相对论认为存在以光速传播的引力波。但这与狭义相对论相一致，因为粒子相当于物质场驻波，如果物质场存在以光速传播的行波，相当于存在以光速运动的粒子，按狭义相对论这是不可能的。物质场可以作用于物质产生作用力，而引力势不能直接作用于物质产生作用力，因此即使存在以光速传播的引力势波，也不可能通过测量力学效应来检验它的存在。这就是为什么至今尚未测出从天体传来的引力波。

物质场驻波方程及其驻波解^[5]

上面在讨论引力势波动方程时指出，物质场不存在以光速传播的行波。可根据物质场微分方程组(4)~(7)式，直接建立物质场驻波方程。物质场微分方程组中(7)式右边与电磁场的微分方程相差一个符号，正是这个符号的差别，导致物质场的振动方程不是波动方程，而是驻波方程。波动方程两项中间为减号，对电磁场的波动方程求解，可得到以光速传播的行波；驻波方程两项中间为加号，对物质场的驻波方程求解，可得到物质场驻波；二者的解有本质上的不同。物质场驻波方程如下：

$$\nabla^2 \bar{G} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \bar{G} = 0 \quad , \quad \nabla^2 \bar{G}_m + \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \bar{G}_m = 0 \quad (13)$$

此两方程有平面驻波解存在，如下式：

$$\mathbf{G} = \mathbf{G}_0 \exp[i(\mathbf{k}\mathbf{r} \pm \omega t)] \quad , \quad \mathbf{G}_m = \mathbf{G}_{m0} \exp[i(\mathbf{k}\mathbf{r} \pm \omega t)] \quad (14)$$

式中 \mathbf{G}_0 和 \mathbf{G}_{m0} 为驻波源振幅。在驻波解中的 \mathbf{k} 称为衰减矢量，并有 $k^2 = \omega^2 / c^2$ 。为了使物质场的驻波与基本粒子相对应，驻波方程应在球坐标中求解，用 ψ 代表 \mathbf{G} 和 \mathbf{G}_m 的任一分量，可得方程^[5]

$$\nabla^2 \psi + \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \psi = 0 \quad (15)$$

在球坐标中可求得解：

$$\psi = \frac{1}{r} \exp[-kr \pm i\omega t + im\varphi] P_l^m(x) \quad (16)$$

其中

$$P_l^m(x) = \frac{(1-x^2)^{m/2}}{2^l l!} \frac{d^{l+m}}{dx^{l+m}} (x^2-1)^l \quad (17)$$

为缔合勒让德函数， $l = 0, 1, 2, \dots$ 为正整数； $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$ 。

从(16)式中可看出，指数中有 $i\omega t$ 因子，说明存在周期性振动，相位与矢径 \mathbf{r} 无关，说明是驻波。由于有 $1/r$ 因子，当 $r=0$ 时驻波存在一个奇点代表粒子，其振幅最大。指数中有一 kr 因子，说明空间各点离开奇点越远振幅越小，形成一种衰减。空间点振幅达到奇点振幅的 $1/e$ 时，该距离称衰减长度，它代表粒子的半径，长度为 $1/k$ ，称为衰减长度。若把衰减长度 $1/k = c/\omega = h/2\pi m c$ 看作粒子的半径，可称为衰减半径。粒子的质量越大，则衰减半径反而越小，这与现代粒子物理的观念相一致。这些都与德布罗意的预言相符合。

根据在球坐标中对物质场的驻波方程求解，可以得到一系列的解，其中出现了两个量子数 m 和 l ，对应于各种不同的基本粒子，这说明基本粒子的多样性。当粒子以速度 v 运动时，运用洛仑兹变换，可形成以相速 c^2/v 传播的相波。这样我们把物质场驻波与量子力学中的 ψ 波函数直接相联系。物质场理论认为，所有的基本粒子是由物质场的振动形成的驻波，各种基本粒子的存在方式，就是物质场驻波不同的振动模式。换句话说，给德布罗意的预言，找到了依据。

讨论

我们知道，电磁场符合麦克斯韦方程，它形成以光速传播的行波。但是大部分基本粒子都是带有电荷的，说明电磁场与物质场可以联合。当电磁场与物质场联合后，其振动方式服从物质场方程的驻波形式，换句话说，物质场驻波中可以带有电磁场。这种与电磁场联合的物质场以下仍简称为物质场，其理论仍称为物质场理论。电磁场本身是否可单独满足物质场微分方程和驻波方程，尚待进一步研究。复旦大学物理系的朱永强教授在《物理学报》上

发表的《粉碎电磁波的性质和应用》一文指出^[8]：“粉碎电磁波是一种新的电磁波，它与普通电磁波有完全不同的性质，波动性几乎已消失，而以粒子性为主”。这是否可说明电磁场可以单独满足物质场微分方程和驻波方程。

为了检验衰减长度 $1/k = c/\omega = h/2\pi mc$ 为粒子半径这个观点，可讨论重子的强相互作用。众所周知，重子间的强相互作用是通过 π 介子进行的，按照物质场驻波的观点，是两个重子的物质场激发出 π 介子物质场驻波作为媒介所发生的相互作用。为了使 π 介子与重子之间的耦合有足够的强度，必须使重子与 π 介子靠得足够近，在这个距离上重子与 π 介子的驻波衰减不大。重子本身的衰减长度比 π 介子的衰减长度小很多，换句话说强相互作用的有效力程取决于 π 介子驻波的衰减长度。根据 π 介子的质量，可算出其驻波衰减长度为：

$$1/k = c/\omega = h/2\pi mc = 1.5 \times 10^{-13} \text{cm}$$

这正好与重子强相互作用的有效力程相等。

小结

纵上所说，所有的基本粒子是由物质场（包含电磁场）的振动形成的驻波，各种基本粒子的存在方式，就是物质场驻波不同的振动模式。求解物质场驻波方程，可以得到一系列的解，对应于各种不同的基本粒子。静止的粒子相当于固定点上的驻波，驻波的振幅包含一个奇异点……粒子，物质场驻波的振幅，随离奇点距离的增加，按指数规律衰减，即粒子具有一定尺度。当粒子以速度 v 运动时，正象德布罗意指出，运用狭义相对论的洛仑兹变换，驻波变为以相速 c^2/v 传播的相波。这样揭示出物质的万有引力场与量子力学中的 ψ 波函数存在本质上的联系。换句话说对量子力学中 ψ 波函数给出了具有物理实质的解释。

物质场理论是线性理论，如果不加二次场及高次场的修正项，则精确度也许略低于广义相对论。但物质场理论的主要贡献在于，建立了物质场的微分方程组和驻波方程，解方程得出了物质场的振动存在驻波，给德布罗意的五点预言找到了依据。

参考文献

- [1] de Broglie L., Non-linear Wave Mechanics (A causal Interpretation), Elsevier Publishing Co., 1960.
中译本：L.德布罗意著，谢毓章译，《非线性波动力学》，上海科学技术出版社，1966。
- [2] 陈其翔，《物质的场和波的理论》，《相对论再思考》，宋正海等主编，地震出版社，2002，P101。书号：ISSN 7-5028-2072-8/P1127 (2627)。
- [3] 陈其翔，《引力场和 ψ 波的统一理论》，《探索》北京相对论研究联谊会首届年会论文集(甲种本)，P62。《格物》<Matter Regularity>, No.3, Beijing, 美国刊物号：ISSN1531-085x Copyright 2003 USA.
- [4] Chen Qi-Xiang, <The Theory of Gravitation Field and Wave---A NEW Interpretation of ψ -Wave>, <Matter Regularity>2004, No.1, Vol.4, Sum No.4, ISSN1531-085x Copyright 2004 USA.
- [5] 陈其翔，《引力场的驻波方程及其球坐标解——基本粒子 ψ 波的新解释》，《格物》2004，第2期，第四卷 总第五期，<Matter Regularity>, Vol.4, Sum No.5, 美国刊物号：ISSN1531-085x Copyright 2004 USA.
- [6] 陈其翔，《量子力学中的微观测量和因果律》，《格物》2006，第1期，第六卷 总第十三期，<Matter Regularity>, Vol.6, Sum No.13. 美国刊物号：ISSN1531-085x Copyright 2006 USA.
- [7] 陈其翔，《波函数的物理实质和微观因果律》，《格物》2006，第4期，第六卷 总第十六期，<Matter Regularity>, Vol.6, Sum No.16. 美国刊物号：ISSN1531-085x Copyright 2006 USA.
- [8] 朱永强等，《粉碎电磁波的性质和应用》，《物理学报》2001年5月，P832—836。