

## Understanding about the Wave Nature of Particles

Chenggang Zhang

University of South China, School of Nuclear Science and Technology, Hengyang Hunan

Email: zhangchgang@163.com

---

### Abstract

In this paper, we re-examined the wave nature of particles, and the time-independent Schrodinger equation was rigorously derived by physics and mathematics.

### Keywords

Classical Physics; Quantum Mechanics; Particles; Wave; Track-Wave; Time-Independent Schrodinger Equation.

**Subject Areas** Math & Physics

---

### 关于粒子波动性的理解

张成刚

南华大学, 核科学技术学院, 湖南 衡阳

Email: zhangchgang@163.com

收稿日期: 2017年10月11日; 发布日期: 2017年10月18日

---

### 摘要

本文重新考察了粒子的波动性; 并从数学和物理上严格推导了不含时薛定谔方程。

### 关键词

经典物理学; 量子力学; 粒子; 波; 径迹波; 不含时薛定谔方程

---

## 1、介绍:

众所周知, 德布罗意的论文[1]第一次假设粒子也具有波动性并且很快被实验[2]证实; 但当时的人们并不理解这种与众不同的波, 于是物理学家们尝试对粒子的波动性做出正确理解, 事实是关于粒子波动性的理解极其困难, 许多尝试都以失败告终; 目前较为被接受的是由玻恩提出的概率波诠释[3], 并以正统的解释的形式存在, 但概率波诠释也导致一系列新的不理解[4][5]; 为了能够理解这些由概率波诠释所引发的新的困惑, 物理学家又尝试提出了针对概率波诠释的新理论[6][7][8][9][10][11], 如此多的努力也从侧面反映至今仍未有一个完全令人信服的理解; 关于粒子波动性的理解仍是物理学界的重要难题。

目前看来, 寻求真正理解波动性的路径依旧只有两个: 其一是继续探究针对概率波诠释的新尝试; 其二是回归到问题的原始, 微观粒子的波动性究竟是什么? 在我看来后者追本溯源的做法似乎更容易接近问题的本质。

尽管粒子的波动性完全突破了经典物理学框架，但量子力学与经典物理学也紧密的联系在一起而不是毫无关系（波长  $\lambda = 0$  满足经典物理学， $\lambda \neq 0$  满足量子力学），并且由量子力学可以演化到经典物理学，这启发我们重新分析量子力学的经典物理学的对应关系，并由此获得灵感重新理解粒子的波动性，并推导定态薛定谔方程。

## 2、量子力学和经典物理学之间的对应关系：

量子力学不同于经典物理学是公认的事实，但量子力学和经典物理学并非彼此彻底决裂而是通过德布罗意关系紧密的联系在一起，对于粒子的存在状态，量子力学和经典物理学可以看做是针对同一客体的两套不同理论，前者建立在波动性的基础之上，而后者建立在粒子性的基础之上，我们甚至可以说得布罗意关系一边代表的是量子力学，一边代表的是经典物理学。作为一个关系式的两端它们必定可以相互演化，我们需要探讨的是当量子力学演化到经典物理学其对应经典物理学的何种物理原理，即寻求量子力学和经典物理学之间的对应关系。

完全不涉及粒子波动性属于经典物理学的范畴（这里不考虑相对论原理），换个角度我们也可以认为经典物理学是  $\lambda = 0$  时的量子力学，即经典物理学是量子力学的极限理论。现在，我们考虑量子力学退去粒子波动性的情况，以自由粒子为例，按照量子力学其波函数是： $\psi = \psi_0 \cos(\omega t \pm m\omega\lambda \cdot \vec{r}/h)$ ；取  $\lambda \rightarrow 0$  的极限情况，并且  $m\lambda \cdot \vec{r}/h \ll t$ ，此时自由粒子基本失去波动性有：

$$\psi = \psi_0 \cos(\omega[t \pm m\lambda \cdot \vec{r}/h] + \phi) \approx \psi_0 \cos(\omega t + \phi)$$

我们知道，在经典物理学中  $\psi_0 \cos(\omega t + \phi)$  描述的是粒子做简谐运动时的振动函数，也就是说：在  $\lambda \rightarrow 0$  的极限情况下，自由粒子的波函数对应经典物理学的振动函数。

（尽管上述讨论以自由粒子为例，得出极限情况下其波函数对应经典物理学的振动函数，但也明显感受到矛盾的存在，按照经典物理学自由粒子并不受到力的作用，而经典物理学中粒子只有受到线性恢复力的作用才能做简谐运动；虽然我们通过寻求波函数和经典物理学的对应关系以理解粒子的波动性，但造成粒子振动的机理却并不相同，这里我们只能猜测自由粒子并不自由。）

## 3、关于粒子波动性的重新理解：

对于自由粒子，出于量纲的统一，极限情况下量子力学和经典物理学的对应关系强烈建议波函数也反映粒子处于振动状态，但对于确定的自由粒子不可能同时满足动量恒定（自由粒子动量恒定）和处于振动状态两个条件（处于振动状态的粒子其动量不恒定），唯一可能是恒定动量和振动状态分别属于自由粒子的两个分运动，分别是迁移运动和垂直于迁移路径方向的振动。尽管我们讨论的是自由粒子，但其应该反映了所有粒子的普遍情况，任何粒子的真实状态必将可以分解为迁移运动和振动两个分运动，这可以被理解为：粒子在迁移运动的同时在垂直于迁移路径的方向振动，振动是粒子的常态。由此粒子的波函数应该表征的是粒子关于迁移路径的振动，粒子按弦线轨迹运动，粒子的波动性更应该被形象的称为“径迹波”。

根据径迹波理解，德布罗意关系表达的是粒子迁移动量和振动波长成反比关系，比值为普朗克常量，德布罗意关系所揭示的内在本质通过径迹波理解获得清晰的解读而不像以前仅仅只是表达了粒子具有波动性。德布罗意关系所揭示的自然规律是奇特的，粒子的运动具有方向性，一个方向的运动将导致另一个方向的运动，当粒子具有迁移动量是必将导致正交向的振动，迁移动量越大振动越慢。

根据径迹波理解，粒子的衍射现象同样可以得到合理的解释。衍射现象有力证明粒子具有波动性，径迹波理解必将能够对粒子的衍射现象做出实质性的解释。对于单个粒子由衍射狭缝发出，根据径迹波理解其将按照正弦线轨迹运动，当我们在粒子的迁移方向放置探测器进行探测，其结果是只有迁移路程等于  $n\lambda/2$  ( $n$  取正整数) 处才有粒子通过被探测到；对于大量粒子（或者单个粒子的多次实验）的衍射实验，只有当两粒子迁移路程差等于  $n\lambda$  时它们经过同一片区域，在此区域探测到粒子的个数将明显高于其它区域，呈现粒子衍射现象。

#### 4、关于定态薛定谔方程的推导通过径迹波理解：

由于粒子波动性的难以理解导致薛定谔方程只是“猜”和“凑”的产物，并一直作为量子力学的基本假设而存在，在径迹波的理解下，无论粒子的振动或者迁移运动都属于经典物理学的理论范畴，这意味着我们可以借助经典物理学基础来尝试推导薛定谔方程。在经典物理学中粒子的简谐振动方程是：

$$\frac{d^2\psi}{dt^2} + \omega^2\psi = 0$$

依据径迹波理解，粒子在做简谐振动的同时必将在其正交向做迁移运动，有  $dt = ds/u$ （其中  $s$  是粒子的迁移路程， $u$  是粒子的迁移速度），于是粒子的振动方程被改写为：

$$u^2 \frac{\partial^2\psi}{\partial s^2} + \omega^2\psi = 0 \quad (1)$$

此时，粒子的振动函数成为关于迁移路程的函数；根据经典物理学，粒子的振动波长： $\lambda = 2\pi u / \omega$ ；又因为德布罗意关系： $\lambda = h / p$ ；联系粒子的振动波长和德布罗意关系求得：

$$\omega^2 = \frac{2mE_k u^2}{\hbar^2} \quad (2)$$

将 (2) 带入 (1) 式我们得到粒子的迁移动能：

$$E_{\text{迁移动能}} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2\psi / \partial s^2}{\psi} \quad (3)$$

再利用经典物理学的能量守恒定律，我们有：

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2\psi / \partial s^2}{\psi} + U = E$$

上式即是量子力学中的定态薛定谔方程。

## 5、评论：

自从粒子的波动性被提出，关于粒子波动性的理解就始终困扰着所有人，这源于粒子的波动性彻底颠覆了人们以往的认识，在量子力学框架内并无任何借鉴和参考，一些尝试理解更是让粒子的波动性显得越发诡异和神秘，粒子波动性的这一困境更是严重影响了量子力学的完整性。本文通过寻求量子力学和经典物理学的对应关系，发现粒子的波动性应是径迹波，径迹波理解描述了一幅清晰可理解的粒子运动图像，并在这一理解的基础上成功推导定态薛定谔方程，我相信这对量子力学是有意义的。

## References

- [1] L. de Broglie, *Nature*, 112(1923), 540.
- [2] G. J. Davisson, L. H. Germer, *Phys. Rev.* , 30(1927), 705.
- [3] M. Born, *Zeit. Physik*, 38(1926), 803; *Nature*, 119(1927), 354.
- [4] E. Schrodinger, *Naturwissenschaften*, 23(1935), 807.
- [5] A. Einstein, B. Podolski and N. Rosen, *Phys. Rev.* , 47(1935), 777.
- [6] H. Everett III, *Rev. Mod. Phys.* , 29(1957), 454.
- [7] D. Bohm, *Phys. Rev.* , 85(1952), 166.
- [8] R. B. Griffiths, *Consistent Quantum Theory*, Cambridge University Press, 2003.
- [9] J. Cramer, *Rev. Mod. Phys.* 58(1986), 647.
- [10] C. Rovelli, *Int. J. Theoret. Phys.* 35(1996)1637; arXiv: quant-ph/9609002.
- [11] C. A. Fuchs, N. D. Mermin and R. Schack, arXiv: quant-ph/1131. 5253.