

本文框架部分内容发表在:

阎坤. 关于超光速与量子分形的能量交换描述方法[J]. 纺织高校基础科学学报, 2004, 17(3):223~227.

Yan Kun. Energy-exchange descriptions on the superluminal velocity and quantum fractal[J]. Basic Science Journal of Textile Universities(in Chinese), 2004, 17(3):223~227.

关于超光速与量子分形的能量交换描述方法

阎坤

(西安现代非线性科学应用研究所, 西安 710061)

摘要: 将真空作为一种介质考虑, 通过对光速守恒及能量交换方程的讨论, 给出双程光速守恒的单程光速方程、粒子超光速运动、波粒二象性的粒子分形运动介质作用方程及量子分形的表述形式。结果表明, 基于能量交换方程, 能够确立既包含超光速运动, 同时又融合 Einstein 狭义相对论及量子理论有关结论的一致性描述方法。

关键词: 单程光速方程, 介质作用方程, 超光速, 量子分形, 能量交换, 粒子分形运动。

Energy-exchange descriptions on the superluminal velocity and quantum fractal

YAN Kun

(Xi'an Modern Nonlinear Science Applying Institute, Xi'an 710061, China)

Abstract In this paper, consider taking the vacuum as a form of medium, by exploring the constancy of light velocity in the vacuum and the energy-exchange equation of a particle, the expressional forms of equation of the one-way velocity of light(equation of the one-way speed of light, or equation of one-way variable speed of light) for the constancy of the two-way velocity of light(or constancy of the two-way speed of light), superluminal velocity, medium action equation of particle fractal motion for the wave-particle duality, and quantum fractal are studied deeply. As a result, it shows that a tentative theoretical frame which includes not only the superluminal-velocity motion but consists with Einstein special relativity and quantum theory can be established.

Keywords equation of one-way velocity of light, medium action equation, superluminal velocity, quantum fractal, energy exchange, particle fractal motion.

0 引言

Einstein 狭义相对论的光速不变原理(光速守恒原理)假设在所有惯性系里真空中光的速度不变, 与光源及观察者的运动速度无关^[1]。这一原理部分内容的一等效描述为单程光速不变(单程光速守恒), 其一导出结论即为物体的运动速度不能逾越光在真空中的速度; 在 Planck 量子观念的基础上, Einstein 进一步给出关于光的频率形式的能量描述^[2]。这是二个近于交融的基点, 虽然由其得到的粒子质能关系及波粒二象性结论与实验相符, 然而关于粒子的超光速运动及波粒二象性的本质研究一直在进行着^[3-9]。

如果能给出双程平均光速不变的单程光速方程(单程光速可变方程), 初步建立既包含超光速运动形式, 同时又融合 Einstein 狭义相对论及量子理论有关结论的一致性描述方法, 则仍是有意义的研究方向。

本文下面将真空作为一种介质考虑, 通过导出双程平均光速守恒的单程光速方程及对能量交换方程的深入讨论, 初步给出物质的超光速运动方程、波粒二象性的粒子分形运动介质作用方程、量子分形方程等方法的框架轮廓及其中部分细节描述。

1 双程平均光速守恒的单程光速方程与能量粒子的可交换能量

将真空作为一种介质考虑, 一是天体对表面附近的介质具有携带效应; 地球作为天体能够携带表面附近介质以同一速度量级运动, 随着距离的增加对介质的携带效应逐渐减弱; 质量较弱的天体对于表面附近介质的携带效应也较弱, 介质与天体间将存在明显的速度差; 一般测量系统, 质量与天体比较可以忽略, 对其附近介质的携带效应近于 0; 二是运动的介质对于其中运动的粒子具有速度方面的激励效应。

下面仅依速度的激励效应, 在双程平均光速不变的情况下, 作为对 Galileo 变换与 Lorentz 变换间的过渡描述、对单程光速与双程平均光速关系的探讨, 及对类如 Michelson-Morley 实验等结果的理解, 通过三种途径给出双程平均光速守恒的单程光速方程; 此是从诠释的角度讨论, 不具有一般的物理普适性。

考察一坐标系 K, 其中一子坐标系 K' 以速度 V 在 K 系沿 x 轴作正向运动, K' 系在 K 系中的 x 轴向长度为 a , K' 系与 K 系具有相同的介质, 在 $V = 0$ 时光在此介质中运动的本征速度为 c 。

当在坐标系 K 中一光源的运动速度为 V_0 时, 则其所发出的光波在 K 中的合成速度 $c_{S\pm}$ 可初步表示为

$$c_{S\pm} = c \pm V_0 [0.5 \tanh[\kappa(t - t_0 + \Delta t_0)] + 0.5 \tanh[-\kappa(t - t_0 - \Delta t_0)]]; \quad (1)$$

其二简略方程形式为

$$c_{S\pm} = c \pm V_0 [0.5 + 0.5 \tanh[-\kappa(t - t_0 - \Delta t_0)]],$$

$$c_{S\pm} = c \pm V_0 \exp[-\kappa(t - t_0)];$$

这里 $\kappa > 0$ 为待定系数, t 为时间, t_0 为光源发出光波的时间, $t \geq t_0$, $\Delta t_0 > 0$, 速度 V_0 取值为 $c > V_0 \geq 0$ 。

方程(1)式是趋势性质的, 旨在描述运动光源发出的光波合成速度从开始与光源速度相关(式中“ \pm ”为当 c 与 V_0 二速度方向相同时取“+”, 相反时取“-”), 随后即转化为仅与介质性质相关的本征速度 c 。

下面考虑光波在进入 K' 系介质中时运动速度转变为本征速度 c 的转变时间与 $c^{-1}a$ 比较可以忽略;

本节 V 的取值为 $c > V \geq 0$ 。

激励效应的第一种表述方法，为附加关于 Vc^{-1} 偶函数（激励速度偶函数、数学模型）的方法。

当 K' 系速度 V 的方向与其中光的运动方向相同与相反时，取等效在 K 系中的单程光速 c_+ 与 c_- 为

$$c_+ = c + V + \mathcal{G}, \quad c_- = c - V + \mathcal{G};$$

式中 $\mathcal{G} \geq 0$ 为关于 Vc^{-1} 的激励速度偶函数；则有在 K 系双程长为 $2 \times l_0$ 中的平均光速 \bar{c} 为

$$\bar{c} = \frac{2l_0}{l_0c_+^{-1} + l_0c_-^{-1}} = \frac{2l_0}{l_0(c+V+\mathcal{G})^{-1} + l_0(c-V+\mathcal{G})^{-1}} = c \frac{c - Vc^{-1} + 2\mathcal{G} + \mathcal{G}^2c^{-1}}{c + \mathcal{G}};$$

上式当

$$c - Vc^{-1} + 2\mathcal{G} + \mathcal{G}^2c^{-1} = c + \mathcal{G}$$

时，有双程平均光速守恒（双程平均光速不变）方程

$$\bar{c} = c;$$

故有激励速度偶函数 \mathcal{G} 方程

$$c^{-1}\mathcal{G}^2 + \mathcal{G} - V^2c^{-1} = 0;$$

即可解得待定偶函数 \mathcal{G} 及单程光速 c_+ 与 c_- 分别为

$$\mathcal{G} = 0.5c[\sqrt{1 + 4(Vc^{-1})^2} - 1];$$

$$c_+ = c + V + \mathcal{G} = c + V + 0.5c[\sqrt{1 + 4(Vc^{-1})^2} - 1], \quad c_- = c - V + \mathcal{G} = c - V + 0.5c[\sqrt{1 + 4(Vc^{-1})^2} - 1]. \quad (2)$$

激励效应的第二种表述方法，为在速度 V 前乘以待定参量（速度携带函数、唯象拟合）的方法。

当 K' 系速度 V 的方向与其中光的运动方向相同与相反时，取等效在 K 系中的单程光速 c_+ 与 c_- 为

$$c_+ = c + \delta_+V, \quad c_- = c - \delta_-V;$$

式中 δ_+ 、 δ_- 皆为关于 Vc^{-1} 的速度携带函数；则有在 K 系双程长为 $2 \times l_0$ 中的平均光速 \bar{c} 为

$$\bar{c} = \frac{2l_0}{l_0c_+^{-1} + l_0c_-^{-1}} = \frac{2l_0}{l_0(c + \delta_+V)^{-1} + l_0(c - \delta_-V)^{-1}} = c \frac{c + (\delta_+ - \delta_-)V - \delta_+\delta_-V^2c^{-1}}{c + 0.5(\delta_+ - \delta_-)V};$$

上式当

$$c + (\delta_+ - \delta_-)V - \delta_+\delta_-V^2c^{-1} = c + 0.5(\delta_+ - \delta_-)V$$

时，即有双程平均光速守恒方程

$$\bar{c} = c.$$

对于 δ_+ 、 δ_- ，有三种形式，①迟滞形式： $1 > \delta_+ > 0$ 、 $1 > \delta_- > 0$ ；②临界形式： $\delta_+ \geq 1$ 、 $1 \geq \delta_- > 0$ 与 $1 \geq \delta_+ > 0$ 、 $\delta_- \geq 1$ ；③超限形式： $\delta_+ > 1$ 、 $\delta_- > 1$ 。其中对于临界形式 $\delta_+ \geq 1$ 、 $1 \geq \delta_- > 0$ ，在趋势层面最为简单地，取 $\delta_+ = 1 + \zeta$ 、 $\delta_- = 1 - \zeta$ ，这里 ζ 为关于 Vc^{-1} 的待定参量， $1 > \zeta \geq 0$ ；则有 ζ 方程

$$Vc^{-1}\zeta^2 + \zeta - Vc^{-1} = 0;$$

解得待定参量 ζ 为

$$\zeta = 0.5(Vc^{-1})^{-1}[\sqrt{1 + 4(Vc^{-1})^2} - 1];$$

即得待定的速度携带函数 δ_+ 、 δ_- ，及单程光速 c_+ 与 c_- 分别为

$$\delta_+ = 1 + 0.5(Vc^{-1})^{-1}[\sqrt{1 + 4(Vc^{-1})^2} - 1], \quad \delta_- = 1 - 0.5(Vc^{-1})^{-1}[\sqrt{1 + 4(Vc^{-1})^2} - 1];$$

$$c_+ = c + \delta_+V = c + V + 0.5c[\sqrt{1 + 4(Vc^{-1})^2} - 1], \quad c_- = c - \delta_-V = c - V + 0.5c[\sqrt{1 + 4(Vc^{-1})^2} - 1]. \quad (3)$$

激励效应的第三种表述方法，为在光速 c 后除以待定参量（等效折射率、物理解析）的方法。

当 K' 系速度 V 的方向与其中光的运动方向相同与相反时，取等效在 K 系中的单程光速 c_+ 与 c_- 为

$$c_+ = cn_+^{-1} + V, \quad c_- = cn_-^{-1} - V;$$

则有在 K 系双程长为 $2 \times l_0$ 中的平均光速 \bar{c} 为

$$\bar{c} = \frac{2l_0}{l_0c_+^{-1} + l_0c_-^{-1}} = \frac{2l_0}{l_0(cn_+^{-1} + V)^{-1} + l_0(cn_-^{-1} - V)^{-1}} = c \frac{1 - (n_+ - n_-)Vc^{-1} - n_+n_-(Vc^{-1})^2}{0.5(n_+ + n_-)},$$

这里 n_+ 、 n_- 为光波在 K' 系中与 Vc^{-1} 相关的等效折射率；上式当

$$1 - (n_+ - n_-)Vc^{-1} - n_+n_-(Vc^{-1})^2 = 0.5(n_+ + n_-)$$

时，即有双程平均光速守恒方程

$$\bar{c} = c;$$

考虑二个等效折射率具有相同机理，进一步简单地当 $n_+ = n_- = n_{\pm} > 0$ 时，则有等效折射率 n_{\pm} 方程

$$(Vc^{-1})^2 n_{\pm}^2 + n_{\pm} - 1 = 0;$$

即解得待定的等效折射率 n_{\pm} 及单程光速 c_{+} 与 c_{-} 分别为

$$n_{\pm} = 0.5(Vc^{-1})^{-2}[\sqrt{1+4(Vc^{-1})^2} - 1], \quad n_{\pm}^{-1} = 0.5[\sqrt{1+4(Vc^{-1})^2} + 1];$$

$$c_{+} = cn_{+}^{-1} + V = c + V + 0.5c[\sqrt{1+4(Vc^{-1})^2} - 1], \quad c_{-} = cn_{-}^{-1} - V = c - V + 0.5c[\sqrt{1+4(Vc^{-1})^2} - 1]. \quad (4)$$

二个极端情况, 当 $4(Vc^{-1})^2 \ll 1$ 时、及当 $Vc^{-1} \rightarrow 1$ 时, 由上述方程得其单程光速近似表示分别为

$$c_{+} \approx c + V + V^2c^{-1}, \quad c_{-} \approx c - V + V^2c^{-1}; \quad c_{+} \rightarrow 0.5[3 + \sqrt{5}]c, \quad c_{-} \rightarrow 0.5[\sqrt{5} - 1]c.$$

方程 (1)、(2)、(3) 三式所对应的速度激励效应三种方法, 虽然在物理刻画方向有所不同, 但在数学模式上相通为一种方法, 故得到的双程平均光速不变的单程光速方程诠释形式相同; 如果进一步的实验表明激励效应的等效折射率方法具有相应意义, 则其可成为通过等效折射率计算介质速度的途径

$$V^2 = [n_{\pm}^{-2} - n_{\pm}^{-1}]c^2, \quad 1 \geq n_{\pm} > 0.5(\sqrt{5} - 1). \quad (5)$$

上述分析表明:

(I) 将真空作为一种介质考虑, 依由速度的激励效应方向探讨, 给出的双程平均光速不变下的单程光速可变方程诠释形式即包含着超光速运动表述; 虽然 Einstein 及 Dirac 的有关研究结论已获得了许多实验支持, 但在双程平均光速与单程光速关系方面仍需进一步的实验验证及深层机理研究, 随着实验环境的改变双程平均光速未必总是绝对恒定, 即方程 (2)、(3)、(4) 三式仅是一种深层机理的表象诠释;

(II) 物理世界的坐标系是物质系统的数学抽象, 坐标系的尺度依赖于物质系统的尺度;

(III) 当粒子运动离开物质系统后, 不宜将其坐标系的轴延伸至系统以外对粒子进行本坐标系的直接物理描述 (可数学等效), 而宜在物质系统所在的背景介质下的坐标系予以描述;

(IV) 物理规律的数学描述具有物质方面局部的、层面上的限制, 其数学推演的方向、结果应具有明确的物理意义, 不宜将此数学描述不加物质方面考察而进行放大范围、跨层面应用。

参照 M 理论的弦模式、逻辑力学理论^[3]及光子结构论^[4]的平行构造模式, 适于能量交换的光子或能量粒子可由多个旋转闭弦构成, 简单地当光子或能量粒子仅由二个质量及旋转半径相等的闭弦构成、每一闭弦为皆以真空中光速 c 旋转的微光子链时, 得其中一个闭弦微光子链的转动惯量 I 、旋转能 E_{π} 为

$$I = 0.5m_p R_p^2, \quad E_{\pi} = 0.5I\omega^2 = 0.5(0.5m_p R_p^2)\omega^2 = 0.25m_p c^2; \quad (6)$$

式中 m_p 为光子或能量粒子质量, R_p 、 ω 、 c 分别为一个闭弦微光子链半径、旋转角速度及旋转线速度。

由方程 (6) 式得二个闭弦的旋转能 E_{por} 、及由其构成的光子或能量粒子的动能 E_{pok} 、动量 p_{po} 为

$$E_{por} = 0.5m_{po}c^2, \quad E_{pok} = 0.5m_{po}c^2, \quad p_{po} = m_{po}c;$$

式中 m_{po} 、 c 为光子或能量粒子的质量及等于真空中光速的运动速度。

当光子或能量粒子与其它粒子作用时有三种能量交换的极限情况: 其二个构成闭弦微光子链皆未开裂, 仅一个闭弦开裂, 二个闭弦皆开裂; 则得光子或能量粒子可交换能量的三个层面 E_{pomin} 、 E_{pomid} 、 E_{pomax} 分别为

$$E_{pomin} = 0.5m_{po}c^2, \quad E_{pomid} = 0.75m_{po}c^2, \quad E_{pomax} = m_{po}c^2. \quad (7)$$

如无特殊说明, 以下皆考虑光子或能量粒子的微光子链弦可交换能量为方程 (7) 式中的最大极限情况 $E_{pomax} = m_{po}c^2$; 故一般地, 光子或能量粒子与其它粒子作用后, 其能量的变化正比与质量变化

$$\Delta E_{pomax} = c^2 \Delta m_{po}. \quad (8)$$

根据方程 (8) 式及能量守恒定律, 如与其它一粒子作用后光子或能量粒子的质量增加 Δm , 而其它粒子质量减少 Δm , 则该粒子释放能量为

$$-\Delta E = c^2 \Delta m, \quad (9)$$

相反, 如光子或能量粒子的质量减少 Δm , 而其它粒子质量增加 Δm , 则该粒子吸收能量为

$$\Delta E = c^2 \Delta m. \quad (10)$$

方程 (9)、(10) 二式在方程形式上与 Einstein 质量能量方程相同, 初步表明 Einstein 质量能量方程与光子或能量粒子的微光子闭弦可交换能量的极限形式相联系。在与其它粒子的相应作用层面上, 微光子链本身亦处于或消损、或增长的极缓慢变化过程中。

对于单个闭弦, 在理想情况下, 经典力学的磁矩 M 及角动量 A 分别为

$$M = g_M i S_p = g_M e \omega (\pi R_p^2), \quad A = g_A I \omega = 0.5 g_A m R_p^2 \omega;$$

消去 $R_p^2 \omega$, 得尚未考虑角动量 A 在量子取值下熟知的磁矩方程形式

$$M = g_{\mu} e m^{-1} A,$$

式中 i 为闭弦上的等效电流, e 为分布在闭弦上的等效电荷, m 为闭弦质量, S_p 为闭弦所包围的平面面积, g_M 、 g_A 为待定系数, $g_\mu = 2\pi g_A^{-1} g_M$ 。上式在 $M \propto A$ 层面上与 Blakett 天体磁矩的转体方程

$$M = 0.5\beta_B c^{-1} \sqrt{GA}$$

具有类似的表述形式; 该式中 G 为 Newton 引力常数, 系数 $\beta_B \approx 0.25$ 。

作为讨论方向, Blakett 天体磁矩的转体方程具有启示作用, 宜将电磁学的诸参量通过能量解析为质量、空间、时间的表达式, 以深入阐释电磁的本质意义。

光子或能量粒子的多微光子链闭弦模式, 仅是一种能量交换的机械性表象诠释, 不具有本质层面的数理解析意义; 可以证明对于这种多闭弦模式, 实验判据为光波折射定律仅为下式当 $\gamma = 0$ 时的极限解

$$\sin^2 \beta = (c_2 c_1^{-1})^2 \sin^2 \alpha + [1 - (c_2 c_1^{-1})^2] \sin^2 \gamma, \quad (11)$$

式中 c_1 、 c_2 分别为光子或能量粒子在两种存在接触面媒介中的运动速度; α 、 β 、 γ 分别为光子或能量粒子入射线、折射线、偏振面与两媒介接触面法线间夹角。

2 能量交换方程与物质超光速运动

目前, 国内外学者在微波波导技术中研究超光速实验^[5-6]。本文在此应用能量交换方程, 讨论粒子超光速运动的物理内涵。

根据方程 (10) 式及能量守恒定律, 当粒子与能量粒子相互作用吸收能量, $\Delta E = c^2 \Delta m$, 对粒子做功为 $F \Delta s$ 时 (这里 F 为粒子受到的作用力, Δs 为粒子位移的变化量), 有能量交换方程

$$c^2 \Delta m - F \Delta s = c^2 \Delta m - \frac{\Delta(mV)}{\Delta t} \Delta s = c^2 \Delta m - V \Delta(mV) = 0,$$

得粒子在此吸收能量过程的质量 m - 速度 V 方程为

$$m^{-1} dm - (c^2 - V^2)^{-1} V dV = 0. \quad (12)$$

当粒子运动速度 $V < c$ 时, 由方程 (12) 式解得粒子运动的质量 m 、动量 p 、动能解 E 分别为

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (Vc^{-1})^2}}, \quad p = \frac{m_0 V}{\sqrt{1 - (Vc^{-1})^2}}, \quad E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - (Vc^{-1})^2}} - m_0 c^2. \quad (13)$$

由上述能量交换分析可知, 相对论的结论 (质速关系式、动量及能量关系式) 也可由能量交换方程 (12) 式得到, 但这里是在与相对论不同的物理前提和基础上得到的。类似的分析方法可参见文献 [9]。下面根据能量交换方程, 讨论粒子在释放能量、吸收能量二个过程时的超光速运动表述形式。

根据方程 (9) 式及能量守恒定律, 当粒子与能量粒子相互作用释放能量, $\Delta E = -c^2 \Delta m$, 在与释放能量的相反方向做功为 $F \Delta s$ 时, 根据能量守恒定律, 得此能量释放过程的能量交换方程为

$$c^2 \Delta m + F \Delta s = c^2 \Delta m + \frac{\Delta(mV)}{\Delta t} \Delta s = c^2 \Delta m + V \Delta(mV) = 0,$$

即有粒子的质量 m - 速度 V 方程为

$$m^{-1} dm + (c^2 + V^2)^{-1} V dV = 0; \quad (14)$$

解得粒子在能量释放过程中运动的质量 m 、动量 p 、动能解 E 分别为

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 + (Vc^{-1})^2}}, \quad p = \frac{m_0 V}{\sqrt{1 + (Vc^{-1})^2}}, \quad E = m_0 c^2 - \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 + (Vc^{-1})^2}}. \quad (15)$$

依据方程 (15) 式, 当 $V \ll c$ 、 $V = c$ 、 $V \gg c$ 时, 分别得质量 m 、动量 p 、动能 E 为

$$m = m_0, \quad p = m_0 V, \quad E = \frac{1}{2} m_0 V^2; \quad V \ll c \quad (16)$$

$$m = 0.5\sqrt{2}m_0, \quad p = 0.5\sqrt{2}m_0 c, \quad E = (1 - 0.5\sqrt{2}) m_0 c^2; \quad V = c \quad (17)$$

$$m = V^{-1} c m_0, \quad p = m_0 c, \quad E = m_0 c^2; \quad V \gg c \quad (18)$$

当粒子与能量粒子相互作用在 $V > c$ 区吸收能量, $\Delta E = c^2 \Delta m$, 对粒子做功为 $F \Delta s$ 时, 速度将从 $V \gg c$ 向 c 靠近, 方程 (12) 式成为如下形式

$$m^{-1} dm + (V^2 - c^2)^{-1} V dV = 0; \quad (12A)$$

故由方程 (12A)、(18) 二式, 可解得粒子在此超光速过程中的质量 m 、动量 p 、动能解 E 分别为

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{(Vc^{-1})^2 - 1}}, \quad p = \frac{m_0 V}{\sqrt{(Vc^{-1})^2 - 1}}, \quad E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{(Vc^{-1})^2 - 1}} + m_0 c^2. \quad (19)$$

上述分析表明, 粒子的超光速运动描述形式与低于光速时的 Einstein 质能关系式等方程可用同能量交换方程得到, 但方程 (15) 式及 (19) 式是不同于相对论的新结论; 在这里光子或能量粒子及微光子链在上述诸式中是被交换的物质能量层面, 其本身不能由方程 (13)、(15)、(19) 三式予以描述。

下面依然根据能量交换方程, 通过对背景介质可交换能量的讨论, 探讨粒子的分形运动及波动属性。

3 波粒二象性的粒子分形运动介质作用方程与量子分形方程

上面给出的粒子超光速运动描述基本是属于粒子性的、统计性质的；在更细微的层面上，粒子与背景介质（诸如真空）间的相互作用还导致粒子运动呈现出分形特征。

下面依将真空作为一种介质考虑，研究结果初步表明，由于粒子与背景介质相互作用，导致粒子在基线附近作多尺度自由程螺旋折线运动，同时背景介质形成含裹粒子的运动波包，Newton 理论即描述了其中粒子运动的基线轨迹。

当粒子运动在背景介质中时，部分介质与粒子相作用，使粒子在原运动曲线 L_0 附近作 Brown 运动，即粒子在 L_0 附近沿运动自由程构成的螺旋折线上运动，该折线具有于 L_0 上生成的升维分形曲线在一层次 L 上的性质，粒子运动的自由程一折线长度即为 L 的分形单位，此粒子螺旋折线运动亦为分形运动。

粒子与背景介质间的相互作用导致了粒子运动呈现分形特征，其螺旋折线运动轨迹兼具有横波、纵波的复合性质，等效在基线上则表现为脉动、跳跃；同时粒子对背景介质亦产生周期性作用，改变了背景介质的分布状态，使其进行周期性涨落，形成含裹着粒子的运动波包。其一整幅图景是，粒子与背景介质相互作用，导致背景介质局部呈现周期性涨落，粒子即运动在背景介质局部的周期性涨落波包中，表现在粒子方面则是其运动呈现出波动性，表现在背景介质方面则是其运动的涨落波包，粒子即被含裹在背景介质的涨落波包中。这是背景介质运动波包及含裹在其内的粒子分形运动二者的混合运动。

下面采用物理唯象方法，引入背景介质能量涨落方程假设，初步探讨背景介质能量涨落的可能规律。

背景介质能量涨落方程假设：背景介质与粒子相互作用时，用于能量交换的光子使背景介质的能量 E 产生涨落，其涨落的频率 f 与相应时间间隔交换光子的数目成正比，能量 E 成为

$$E = E_B(1 + \tau f), \quad (20)$$

式中 τ 为待定时间常数， E_B 为背景介质涨落频率为零时的基底能量。

由方程 (20) 式，得粒子与背景介质相作用引起背景介质能量的变化为

$$\Delta E = \tau E_B \Delta f, \quad (21)$$

与 Planck 频率能量方程 $E_{p_0} = hf_{p_0}$ 比较，可确定上式中 $\tau E_B = h$ 为 Planck 常数，方程 (20)、(21) 二式成为

$$\Delta E = \tau E_B \Delta f = h \Delta f, \quad (22)$$

$$E = E_B + hf. \quad (23)$$

下面根据方程 (22) 式讨论粒子分形运动的自由程（分形单位）表示形式。

考虑粒子在与背景介质能量交换的过程中运动速度 V 在其分形运动的自由程（分形单位） λ 内近似为常量

$$\lambda = V t_\tau, \quad \Delta \lambda = V \Delta t_\tau; \quad (24)$$

式中 $t_\tau = f^{-1}$ ， f 为背景介质能量涨落的频率。

根据方程 (22) 式，粒子与背景介质交换的能量为

$$\Delta E = h \Delta f, \quad (25)$$

相应地粒子做功为

$$\Delta E = F \Delta \lambda. \quad (26)$$

由方程 (24)、(25) 二式得

$$\Delta E = h \Delta f = -h t_\tau^{-2} \Delta t_\tau = -h (V t_\tau)^{-2} V^2 \Delta t_\tau = -h \lambda^{-2} V \Delta \lambda, \quad (27)$$

由方程 (24)、(26) 二式得波粒二象性的粒子分形运动介质作用方程

$$\Delta E = F \Delta \lambda = \frac{\Delta(mV)}{\Delta t_\tau} \Delta \lambda = V \Delta(mV). \quad (28)$$

根据方程 (27)、(28) 二式得粒子分形运动的速度—波长方程

$$V \Delta(mV) + h \lambda^{-2} V \Delta \lambda = 0, \quad (29)$$

故得方程 (29) 式的波长解为

$$\lambda = \frac{h}{mV}. \quad (30)$$

方程 (30) 式中的速度 V 为粒子在分形轨迹上的运动速度，大于粒子等效在基线上的运动速度。

上式表明粒子分形运动的自由程（分形单位）与量子理论^[2]中的 De Broglie 波长具有相近的形式，初步证明粒子运动表现出波动性是由于粒子与背景介质间相互作用，产生背景介质运动波包与含裹其中的粒子分形运动，是粒子与背景介质间相互作用的能量互平衡在粒子上呈现的运动表现。

上述分析表明粒子与背景介质相互作用使得粒子具有波动性, 但并不等效于某种波的运动也可直接表现为相应的粒子性运动。诸如电磁波, 光具有电磁波的部分性质, 但光在物质构成及与背景介质间相互作用的性质方面还当具有其本具的形式。

对于单个粒子在背景介质中运动, 于粒子的运动前方设一开具二个相距很近窄缝的幕 (对于电子可用晶体等材料)。由于粒子被含裹在背景介质的波包中, 在运动方向上位于粒子前面的波包部分 (粒子前波) 先于粒子通过二窄缝, 在幕的另一侧形成干涉波的波长为

$$\lambda = \frac{h}{mV}$$

的干涉介质。当粒子随后仅通过其中的一窄缝进入幕的另一侧时, 干涉介质即使粒子运动在干涉介质波包的叠加方向上, 表现出单个粒子具有波长为上述 λ 波自干涉的运动性质。

上述物理机制不仅适于微观粒子在背景介质中的运动描述, 而且对于其它层面的物体在背景介质中的运动描述亦具有参考意义。粒子在背景介质波包中作分形运动, 有位于粒子前面的介质运动波包部分, 即粒子前波。这里粒子前波的物理表现类似于 De Broglie 想像的引导波, 但本质不同, 引导波是 De Broglie 在解释物质波时引入的基本属于概念层面性质的波, 而粒子前波是粒子与背景介质相互作用能量互平衡在背景介质上呈现的运动表现。

然在更细微的层面上, 粒子前波本身亦存在波前波。波前波在局部有限运动区域的细微结构上, 波前有波, 具有诸多的层面, 构造上基本属于分维性质, 是介质运动波包与介质本身的能量自平衡结果, 其物理细节及数学描述仍是有待于我们深入研究的。

上述关于双程光速不变的单程光速方程、波粒二象性的粒子分形运动介质作用方程、超光速运动方程等内容是目前物理学理论框架中的敏感方向, 多途径乃至试错性的探讨有助于对自然现象的深入理解。

根据分形理论, 分形曲线在一分形层次 L 上的 Euclid 长度 L 、分形单位 λ 及其个数 n 为

$$L = n\lambda, \quad \lambda = \varepsilon L_0, \quad n = \varepsilon^{-D}; \quad (31)$$

式中 L_0 为分形基线长度, ε 为标度, D 为分形集的维数, n 为自然数; 又得

$$L = L_0^D \lambda^{1-D}, \quad \lambda = n^{-D-1} L_0; \quad (32)$$

故在 $Vc^{-1} \ll 1$ 时粒子运动的动量 p 、动能 E_k 及等效在基线上的平均运动速度 $\overline{V_B}$ 的量子分形方程为

$$p = n^{-D-1} hL_0^{-1}, \quad E_k = (2m_0)^{-1} n^{2D-1} h^2 L_0^{-2}, \quad \overline{V_B} = hm_0^{-1} n^{2D-1} L_0^{-1}; \quad (33)$$

且对于粒子分形运动升维曲线集, 其维数 $D \geq 1$ 。

根据方程 (31) 式及 $D \geq 1$ 的性质可得当 $D = D_{\min} = 1$ 时, λ 取极小值, p 、 E_k 取极大值

$$\lambda_{\min} = n^{-1} L_0, \quad p_{\max} = nhL_0^{-1}, \quad E_{k\max} = n^2 (2m_0)^{-1} h^2 L_0^{-2}, \quad \overline{V_B} = V. \quad (34)$$

由量子理论^[2]知方程 (34) 式中的 n 为主量子数, 而方程 (32)、(33) 二式为量子分形形式, 表明量子理论的主量子数形式为量子分形形式的极限解。

4 结论

本文将真空作为一种介质考虑, 分析探讨了双程平均光速守恒 (双程光速不变) 的速度激励效应近似诠释, 从三个相近途径导出相同的单程光速方程 (单程光速可变量程), 给出物质的超光速运动方程、波粒二象性的粒子分形运动介质作用方程及量子分形方程的能量交换方法, 确立既包含超光速运动、介质作用及量子分形, 同时又融合狭义相对论及量子理论有关结论的一致性描述。

本文讨论的部分内容是基于在光子及能量粒子二个层面的能量交换方程。但在更细微的层面上, 能量表述形式应与目前所知道的 Planck 能量 (能量—频率方程) 及 Einstein 能量 (能量—质量方程) 的表述形式有所不同, 如能量 E_D 为结构分形维数 D 的函数 $E_D = E(D)$ (类如材料断裂能量与裂纹分形维数的关系); 更为重要的是, 通过对真空的更深层背景的探讨、及对新的能量形式的分析, 在分维空间中可能有望解析开 Newton 引力常数及 Planck 常数, 使得 Newton 引力势、Planck 能量仅是其条件极限解。

参考文献:

- [1] 吴大猷. 相对论[M]. 北京: 科学出版社, 1983, 21~92.
- [2] 吴大猷. 量子论与原子结构[M]. 北京: 科学出版社, 1983, 23~169.
- [3] 于长丰, 徐进. 逻辑力学原理[J]. 纺织高校基础科学学报, 1999, 12(3): 199~266.
- [4] 龚祖同. 光子结构论(1)[J]. 光子学报, 1999, 28(1): 1~10.
- [5] 黄志洵, 逯贵祯, 关键. 电磁波传播中的超光速群速和负光速[J]. 北京广播学院学报, 2004, 11: 10~18.
- [6] Thilo Sauter, Fritz Paschke. Can Bessel beams carry superluminal signals? [J]. Phys. Lett., A285(2001): 1~6.
- [7] Peter R Holland. The Quantum Theory of Motion[M]. Cambridge University Press, 1999, 世界图书出版公司北京公司, 2001, 44, 72~90, 558~571.
- [8] Partha Ghose, A S Majumdar, S Guha, J Sau. Bohmian trajectories for photons[J]. Phys. Lett., A290(2001): 205~213.
- [9] Yu Changfeng, Yang Xintie, Wang Jun, et al. Interactions between elementary particles and vacuum[J]. 纺织高校基础科学学报, 2004, 17(3): 217~222.