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，初步表明真空存在若干层面与之相互作用的背景、能够阻隔或快速传递特定形式的机械振动及真空存在固有频率振荡（或真空荡漾），通过对光速守恒、能量交换方程及 Karman 涡街旋涡脱落波长方程的讨论，给出双程光速守恒的单程光速方程、光子闭弦模式构造的实验判据方程（同旋面光子一般性折射方程）、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，一般性折射方程，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, which preliminary shows that the vacuum has the backgrounds at the several levels interaction each other, and it can block or quickly transfer the specific mechanical vibration, and the vacuum has the natural frequency oscillation (or the vacuum ripple), by exploring the constancy of light velocity in the vacuum, energy-exchange equation and vortex shedding wavelength equation in Karman vortex-street, expressional forms of equation of the one-way velocity of light (also 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), experimental criterion equation for the closed strings model of the photon (general refraction equation of the photon with one same rotation plane), superluminal (also faster-than-light or FTL) 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, general refraction equation, 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，与光源的运动速度无关[1]。这一原理加之相对性原理如等效延伸描述为单程光速不变（单程光速守恒）等部分内容，则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，在一定程度上是赋予了真空中光速较其它有限速度具有无穷大（量级）的附加属性，进而与观测者的运动速度也无关。在 Planck 能量子观念的基础上，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探索一直在进行着[3~10]。

如果能够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，在数学方程变换方向初步给出光源运动的光速合成方程、双程平均光速近似守恒上的单程光速可变方程、光子闭弦模式及类似模式构造的实验判据方程（同旋面光子一般性折射方程或广义折射定律及光阱方程），初步探讨了于物质结构特征方向可能出现热力学第二定律反常或逆向效应的妖阱合一模式；将真空作为一种介质考虑，在机理上初步表明真空存在若干层面与之相互作用的背景、能够阻隔延迟或快速传递特定形式的机械振动及真空存在与区域特征相关的固有频率振荡（或真空荡漾）；通过对能量交换方程及 Karman 涡街旋涡脱落波长方程的讨论，进而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。

作者简介 阎坤，男，1962 年 10 月生，吉林榆树人，1983 年 8 月毕业于长春地质学院，目前主要从事非线性科学及天体物理研究。(Email: yankun@nature.ac.cn)

1 光源运动的光速合成方程与双程平均光速近似守恒上的单程光速可变方程形式

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或等效激励效应。

下面仅依速度的激励效应，作为对 Galileo 变换与 Lorentz 变换间的过渡描述、及对类如 Michelson-Morley 实验等结果的数学方程变换方向理解，首先给出光源运动的光速合成方程，随后通过三种数学模型给出基于双程平均光速近似守恒的单程光速可变方程；此是从数学方程变换的诠释角度讨论，不具有物理解析机理层面的普适意义。

考察一坐标系 K，其中一子坐标系 K’以速度u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$u=0$时光在此介质中运动的本征速度为c。

当在 K 中一光源的运动速度为V_0时，则可构造其所发出的光波在 K 中的非线性合成速度$c_{S\pm}$方程为

$$\frac{\mathrm{d}c_{S\pm}}{\mathrm{d}t}+\kappa[c_{S\pm}-c]=0\,, \tag{1}$$

这里κ为待定系数，$\kappa>0$。

方程（1）式的三个解为

$$c_{S\pm}=c\,,\quad c_{S\pm}-c=0 \tag{2}$$

$$c_{S+}=c+\sigma_+V_0\exp[-\kappa(t-t_0)]\,,\quad c_{S\pm}-c>0 \tag{3}$$

$$c_{S-}=c-\sigma_-V_0\exp[-\kappa(t-t_0)]\,,\quad c_{S\pm}-c<0 \tag{4}$$

式中σ_+、σ_-为与c、V_0相关的待定常数，$\sigma_+>0$、$\sigma_->0$；t为时间，t_0为光源发出光波的时间，$t\ge t_0$。

方程（1）式是简略性质的，其中解（3）、（4）二式旨在描述运动光源发出的光波合成速度$c_{S\pm}$从开始与光源速度V_0相关，随后即转化为仅与介质性质相关的本征速度c，即当$\kappa(t-t_0)>>1$时，$c_{S\pm}\to c$。

本质上，对于类如 Michelson-Morley 实验的干涉条纹近似零移动结果，并不完全指向弱程度的双程光速近似守恒或不变，而弱程度的双程光速近似守恒或不变，也不完全指向极弱程度的单程光速近似守恒或不变；若是由此在逆向上直接提出或等效预置单程光速守恒或不变假设，则确实可以直接给出双程光速守恒或不变，进而解释类如 Michelson-Morley 实验的干涉条纹近似零移动结果；但这实属极弱程度的虚拟猜想，再加之相对性假设，给出的数学变换正向与逆向运算结果不相容，且易引出一系列难以朴素解释的悖论及谬误，偏离于严谨物理的机理解析方向。

对于目前双程光速基本守恒或近似不变的实验或等效实验，还应该保持审慎开放的学术态度；当实验环境改善、光路足够长、测量系统精度足够高时，则即使是双程平均光速也未必守恒或不变。

在数理逻辑层面上，所有的描述都是一种阶段性的局部趋势刻画及动态环绕指向，差别仅在于接近自然现象演化过程机理的细腻程度。其中过于抄近路小道的跨越式割线路径提炼，看似高妙简洁，实则有冒险取巧深陷困境的可能，极易致使接下来的解析延展及普适连接异常艰难，当宜慎思周虑谨行缓图。

如果目前各退一步，作为一种物理妥协折中及数学等效变换性质的分析讨论，基于弱程度的双程平均光速近似不变，则可由下面途径给出单程光速可变方程的数学等效近似形式；此为阶段性的偏于数学解题性质的探讨，在物理内涵方面有很大的试错及戏论成分，不具有物理原理层面机理解析的普适意义，仅为将来出现的严谨理论做些许前期铺垫及过渡性转折导引连接指向。

考虑光波在进入坐标系 K’系介质中时相对 K’系的稳定运动速度转变时间与$c^{-1}a$比较可以忽略；本节 K’系运动速度u的取值为$c>u\ge 0$。

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

当 K’系速度u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

$$c_+=c+u+\vartheta\,,\quad c_-=c-u+\vartheta\,; \tag{5}$$

式中$\vartheta\ge 0$为关于uc^{-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

$$\bar{c}=\frac{2l_0}{l_0c_+^{-1}+l_0c_-^{-1}}=\frac{2l_0}{l_0(c+u+\vartheta)^{-1}+l_0(c-u+\vartheta)^{-1}}=c\frac{c-uc^{-1}+2\vartheta+\vartheta^2c^{-1}}{c+\vartheta}\,; \tag{6}$$

方程（6）式当

$$c-uc^{-1}+2\vartheta+\vartheta^{2}c^{-1}\approx c+\vartheta \tag{7}$$

时，有双程平均光速近似守恒（双程平均光速近似不变）方程

$$\bar{c}\approx c\text{；} \tag{8}$$

故有激励速度偶函数ϑ方程

$$c^{-1}\vartheta^{2}+\vartheta-u^{2}c^{-1}\approx 0\text{；} \tag{9}$$

即可解得待定偶函数ϑ及单程光速c_+与c_-的数学方程等效形式分别为

$$\vartheta\approx 0.5c[\sqrt{1+4(uc^{-1})^{2}}-1]\text{；} \tag{10}$$

$$c_+\approx c+u+\vartheta=c+u+0.5c[\sqrt{1+4(uc^{-1})^{2}}-1]\text{，} \tag{11}$$

$$c_-\approx c-u+\vartheta=c-u+0.5c[\sqrt{1+4(uc^{-1})^{2}}-1]\text{。} \tag{12}$$

激励效应的第二种表述方法，为在速度u前乘以待定参量（速度携带函数）的方法。

当 K'系速度u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

$$c_+=c+\delta_+u\text{，}\quad c_-=c-\delta_-u\text{；} \tag{13}$$

式中δ_+、δ_-皆为关于uc^{-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

$$\bar{c}=\frac{2l_0}{l_0c_+^{-1}+l_0c_-^{-1}}=\frac{2l_0}{l_0(c+\delta_+u)^{-1}+l_0(c-\delta_-u)^{-1}}=c\frac{c+(\delta_+-\delta_-)u-\delta_+\delta_-u^{2}c^{-1}}{c+0.5(\delta_+-\delta_-)u}\text{；} \tag{14}$$

方程（14）式当

$$c+(\delta_+-\delta_-)u-\delta_+\delta_-u^{2}c^{-1}\approx c+0.5(\delta_+-\delta_-)u \tag{15}$$

时，即有双程平均光速近似守恒方程（8）式

$$\bar{c}\approx c\text{。}$$

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uc^{-1}的待定参量，$1>\zeta\geq 0$；则有ζ方程

$$uc^{-1}\zeta^{2}+\zeta-uc^{-1}\approx 0\text{；} \tag{16}$$

解得待定参量ζ为

$$\zeta\approx 0.5(uc^{-1})^{-1}[\sqrt{1+4(uc^{-1})^{2}}-1]\text{；} \tag{17}$$

即得待定的速度携带函数δ_+、δ_-，及单程光速c_+与c_-的数学方程等效形式分别为

$$c_+=c+\delta_+u\approx c+u+0.5c[\sqrt{1+4(uc^{-1})^{2}}-1]\text{，} \tag{18}$$

$$c_-=c-\delta_-u\approx c-u+0.5c[\sqrt{1+4(uc^{-1})^{2}}-1]\text{。} \tag{19}$$

参照方程（18）、（19）二式，在数学方程变换上，方程（3）、（4）二式的待定常数可等效表示为

$$\sigma_+\approx 1+0.5(V_0c^{-1})^{-1}[\sqrt{1+4(V_0c^{-1})^{2}}-1]\text{，} \tag{20}$$

$$\sigma_-\approx 1-0.5(V_0c^{-1})^{-1}[\sqrt{1+4(V_0c^{-1})^{2}}-1]\text{。} \tag{21}$$

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）的方法。

当 K'系速度u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

$$c_+=cn_+^{-1}+u\text{，}\quad c_-=cn_-^{-1}-u\text{；} \tag{22}$$

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

$$\bar{c}=\frac{2l_0}{l_0c_+^{-1}+l_0c_-^{-1}}=\frac{2l_0}{l_0(cn_+^{-1}+u)^{-1}+l_0(cn_-^{-1}-u)^{-1}}=c\frac{1-(n_+-n_-)uc^{-1}-n_+n_-(uc^{-1})^{2}}{0.5(n_++n_-)}\text{，} \tag{23}$$

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

$$1-(n_+-n_-)uc^{-1}-n_+n_-(uc^{-1})^2 \approx 0.5(n_+ + n_-) \tag{24}$$

时，即有双程平均光速近似守恒方程（8）式

$$\bar{c} \approx c 。$$

考虑二个等效折射率具有相同机理，简单地当$n_+ = n_- = n_\pm > 0$时，则由（24）式得等效折射率$n_\pm$为

$$(uc^{-1})^2 n_\pm^2 + n_\pm - 1 \approx 0 ; \tag{25}$$

即解得待定的等效折射率$n_\pm$及单程光速c_+与c_-的数学方程等效形式分别为

$$n_\pm \approx 0.5(uc^{-1})^{-2}[\sqrt{1+4(uc^{-1})^2}-1] , \quad n_\pm^{-1} \approx 0.5[\sqrt{1+4(uc^{-1})^2}+1] ; \tag{26}$$

$$c_+ = cn_+^{-1} + u \approx c + u + 0.5c[\sqrt{1+4(uc^{-1})^2}-1] , \tag{27}$$

$$c_- = cn_-^{-1} - u \approx c - u + 0.5c[\sqrt{1+4(uc^{-1})^2}-1] 。 \tag{28}$$

二个极端情况，当$4(uc^{-1})^2 << 1$时，由上述方程得其单程光速近似表示为

$$c_+ \approx c + u + u^2c^{-1} , \quad c_- \approx c - u + u^2c^{-1} ;$$

$$c_+ \approx c(1+u^2c^{-2}) + u \to c + u , \quad c_- \approx c(1+u^2c^{-2}) - u \to c - u 。 \tag{29}$$

而当$uc^{-1} \to 1$时，由上述方程得其单程光速近似表示为

$$c_+ \to 0.5[3+\sqrt{5}]c , \quad c_- \to 0.5[\sqrt{5}-1]c 。 \tag{30}$$

方程（11）、（12）二式，（18）、（19）二式，（27）、（28）二式，三组方程所对应的速度激励效应三种方法，因在数学模型上实质相通为一种方法，故得到的基于双程平均光速近似不变的单程光速可变方程数学形式相同。

由方程（26）式可得通过等效折射率计算介质速度的等效方程

$$u^2 \approx [n_\pm^{-2} - n_\pm^{-1}]c^2 , \tag{31}$$

这里 $1 \ge n_\pm > 0.5[\sqrt{5}-1]$。

将真空作为一种介质考虑的分析讨论表明：

(Ⅰ) 依由速度的激励效应探讨途径，在数学探讨方向基于双程平均光速近似不变给出的单程光速可变方程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及测量系统精度的提高，尤其是在甚长光路下双程平均光速未必绝对恒定，即平衡方程（7）、（15）、（24）三式仅是一种深层物理解析机理的数学表象近似等效诠释及过渡性描述；

(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；在物理学所研究的现象演化过程诸层面上，不是空间里包含物质，而是物质本身占有空间；

(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；若抛开背景介质构建粒子运动方程，则容易引出一系列难以解释的悖论及谬误；

(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。

这其中，将真空作为一种介质考虑，在机理上还初步表明真空存在下面密切关联的效应及应用：

(Ⅰ) 真空存在与之相互作用的背景，乃至次第若干层面相互作用的背景；

(Ⅱ) 真空能够阻隔延迟或快速传递特定形式的机械振动；

(III) 真空存在与区域特征相关的固有频率振荡，或谓真空荡漾、真空涟漪；

(Ⅳ) 真空可以作为特定的具有阻隔、传导、过滤、感应、转化等方面功能的基本器件。

对于构建物理学原理层面的规律，在充分尊重前辈的探索路线及研究结论的基础上，以由实验数据及观测资料总结提炼出来的参量模型为主且更为可靠，普适兼容及预言有效是其基本内秉特征，简洁、对称及形式美等都是附带的属性。

2 能量粒子的可交换能量及光子闭弦模式构造的实验判据方程（一般性折射方程）

参照 M 理论的弦模式、逻辑力学理论[3]及光子结构论[4]的平行构造等模式，适于能量交换的光子或能量粒子可由多个旋转闭弦在旋转面之间以各种角度对称或准对称构成，每一闭弦为皆以真空中光速c作为自旋转平均速度；在弦本身层面，其处在整体上螺旋环绕自旋转基线、下一重又环绕上一重的多层面螺旋嵌套波动中，即具有以自旋转基线为分形初始基线的分形扩展或分维扩展构造特征。其中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在同一旋转平面上构成、每一闭弦为皆以真空中光速c旋转的微光子链时，称此种在同一旋转平面构成模式的光子为同旋面光子或单旋面光子，该同一旋转平面称为同旋面光子的偏振面。以同旋面光子为基础，在闭弦旋转面法线方向上当有其它同旋面光子或闭弦层叠累积时，即形成复合型或层叠型同旋面光子；当在同旋面光子的旋转面上以运动轨迹线为轴线有其它同旋面光子或闭弦以多角度对称或准对称构成时，则形成多旋面光子或异旋面光子；将类如同旋面光子的粒子称为同旋面粒子，类如异旋面光子的粒子称为异旋面粒子。

对于同旋面光子，得其中一个闭弦微光子链的转动惯量I、旋转能$E_{\rm rr}$为

$$I = 0.5m_{\rm s}R_{\rm s}^2, \quad E_{\rm rr} = 0.5I\omega^2 = 0.5(0.5m_{\rm s}R_{\rm s}^2)\omega^2 = 0.25m_{\rm s}c^2; \tag{32}$$

式中$m_{\rm s}$为同旋面光子的质量，$R_{\rm s}$、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（32）式得二个闭弦的旋转能$E_{\rm sor}$、及由其构成的同旋面光子的动能$E_{\rm sok}$、动量$p_{\rm so}$为

$$E_{\rm s\,or} = 0.5m_{\rm s\,o}c^2, \quad E_{\rm s\,ok} = 0.5m_{\rm s\,o}c^2, \quad p_{\rm s\,o} = m_{\rm s\,o}c; \tag{33}$$

式中$m_{\rm so}$、c为同旋面光子的质量及等于真空中光速的运动速度。

当同旋面光子与其它粒子作用时有三种能量交换情况：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；则得同旋面光子可交换能量的三个层面$E_{\rm somin}$、$E_{\rm somid}$、$E_{\rm somax}$为

$$E_{\rm s\,omin} = 0.5m_{\rm s\,o}c^2, \quad E_{\rm s\,omid} = 0.75m_{\rm s\,o}c^2, \quad E_{\rm s\,omax} = m_{\rm s\,o}c^2。 \tag{34}$$

如无特殊说明，以下皆考虑同旋面光子的微光子链弦可交换能量为方程（34）式中的最大极限情况$E_{\rm s\,omax} = m_{\rm s\,o}c^2$；故一般地，同旋面光子与其它粒子作用后，其能量的变化正比与质量变化

$$\Delta E_{\rm s\,omax} = c^2\Delta m_{\rm s\,o}。 \tag{35}$$

根据方程（35）式及能量守恒定律，如与其它一粒子作用后同旋面光子的质量增加Δm，而其它粒子质量减少Δm，则该粒子释放能量为

$$-\Delta E = c^2\Delta m; \tag{36}$$

相反，如同旋面光子的质量减少Δm，而其它粒子质量增加Δm，则该粒子吸收能量为

$$\Delta E = c^2\Delta m。 \tag{37}$$

方程（36）、（37）二式在方程形式上与 Einstein 质量能量方程相同，初步表明 Einstein 质量能量方程与同旋面光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

$$M = g_{\rm M}iS_{\rm s} = g_{\rm M}e\omega(\pi R_{\rm s}^2), \quad A = g_{\rm A}I\omega = 0.5g_{\rm A}mR_{\rm s}^2\omega; \tag{38}$$

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

$$M = g_{\rm s}em^{-1}A, \tag{39}$$

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，$S_{\rm s}$为闭弦所包围的平面面积，$g_{\rm M}$、$g_{\rm A}$为待定系数，$g_{\rm s} = 2\pi g_{\rm A}^{-1}g_{\rm M}$。

方程（39）式在$M \propto A$层面上与 Blackett 天体磁矩方程

$$M = 0.5\beta_{\rm B}c^{-1}\sqrt{G}A$$

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

虽然 Blackett 天体磁矩方程与部分天体的数据较为偏离，但所研究探索的方向仍具有很大意义。

光与电磁波具有部分相通的性质，包括光的电磁效应、反射及折射规律等，但光亦有其本俱的属性，在何种程度及偏重面向上将光作为（或等效为）电磁波的一个频段仍是需要深入研究的，这其中也涉及到电磁波量子化表示的最低频率极限等标志性研究。

在物理学纲领层面，若将电磁现象作为物质更本源耦合运动的衍生效应，并进一步地将电磁学中任一非能量参量解析或展开为质量、空间、时间的复合函数形式，则其它电磁学参量即皆可通过相互间的能量关系方程（包括能流密度的 Poynting 定理）转化为质量、空间、时间的函数表述，进而阐释电磁的本质及起源，在对称性和守恒量联系方面进一步拓展或深化 Noether 定理，将 Newton 力学与 Maxwell 电磁学融合在更基本普适的框架中。

诸如仍然延续 Blackett 天体磁矩方程形式，考虑手征性与叠加性，引入天体的内秉磁矩或结构磁矩 $\vec{M}_0$，则一唯象趋势层面的初步探讨方向是将天体磁矩 $\vec{M}$ 表示为磁矩矢量和的形式

$$\vec{M}=\vec{M}_0+\vec{M}_A\,,\tag{40}$$

式中 $\vec{M}_A$ 为由天体角动量 $\vec{A}$ 产生的等效磁矩，即 $\vec{M}_A$ 为 $\vec{A}$ 的函数，$\vec{M}_A=f(\vec{A})$；此函数由 Taylor 级数一阶展开的方程形式为

$$\vec{M}_A=\vec{M}_{0A}+\eta\vec{A}\,,\tag{41}$$

这里 $\vec{M}_{0A}$ 为等效静态磁矩，η 为待定系数。

在此情况下方程（40）式的一具体简略近似方程形式为

$$\vec{M}=\vec{M}_0+\vec{M}_{0A}+\eta\vec{A}\,。\tag{42}$$

方程（42）式在唯象层面同时兼顾了磁矩 $\vec{M}$ 与内秉磁矩或初始磁矩 $\vec{M}_0$ 及与角动量 $\vec{A}$ 的简洁关联，其唯象趋势近似程度有待于实验数据检验，尤其是当天体公转轴与自转轴距离小于天体半径时由公转角动量与自转角动量耦合产生的效应，进而初步确定诸如这类融合方向的可行性及改正完善具体解析方程形式，自然地延伸出新的更基本的框架体系。这是一个具有战略意义的重要探讨方向。

上述光子或能量粒子的多微光子链闭弦模式及类似过渡性模式构造（诸如正负带电粒子模式等），仅是一种能量交换的机械性近似表象讨论，属于简略诠释及过渡性质的，不具有本质层面的数理解析意义。

下面关于同旋面光子折射方程的讨论将较为简略地给出光子闭弦模式及诸多类似模式构造的实验判据方程。

设同旋面光子由一媒介 A_1 部分进入另一媒介 A_2，同旋面光子在媒介 A_1、A_2 中的运动速度分别为 c_1、c_2，其中先接触媒介 A_2 的闭弦旋转速度将由 c_1 转化为 c_2，故同旋面光子将在二媒介的临界面入射点附近于偏振面的延伸平面上产生整体偏转运动；较为一般地，可初步建立闭弦旋转速度 $c_{\rm sm}$ 与闭弦在旋转面上进入媒介 A_2 程度 $R_{\rm D}$（$0\le R_{\rm D}\le 2R_{\rm s}$）之间的微分方程形式为

$$q_2\frac{{\rm d}^2c_{\rm sm}}{{\rm d}R_{\rm D}^2}+q_1\frac{{\rm d}c_{\rm sm}}{{\rm d}R_{\rm D}}+\mu_0+\mu_1c_{\rm sm}+\mu_2c_{\rm sm}^2=0\,,\quad 0\le R_{\rm D}\le 2R_{\rm s}\tag{43}$$

式中 q_1、q_2、μ_0、μ_1、μ_2 为待定常数；且有特征值

$$c_{\rm sm}(R_{\rm D}=0)=c_1\,,\ \ c_{\rm sm}(R_{\rm D}=R_{\rm s})=\frac{1}{2}[c_1+c_2]\,,\ \ c_{\rm sm}(R_{\rm D}=2R_{\rm s})=c_2\,。\tag{44}$$

方程（43）式还可表示为相应的表面积或包络体积浸入程度形式。

简单地，由方程（43）式及其特征值（44）式，可给出闭弦旋转速度 $c_{\rm sm}$ 与闭弦在旋转面上进入媒介 A_2 程度 $R_{\rm D}$ 之间的一非线性趋势解为

$$c_{\rm sm}=\frac{1}{2}[c_1+c_2]-\frac{1}{2}[c_1-c_2]\tanh[\xi(R_{\rm D}-R_{\rm s})]\,,\quad 0\le R_{\rm D}\le 2R_{\rm s}\tag{45}$$

式中 ξ 为待定常数；$\exp(-\xi R_{\rm s})<<1$。

更为简单地，由方程（43）式及其特征值（44）式，还可给出闭弦旋转速度c_{sm}与闭弦在旋转面上进入媒介 A_2 程度R_{D}之间的线性趋势解为

$$c_{\mathrm{sm}}=c_1-\frac{c_1-c_2}{2R_{\mathrm{s}}}R_{\mathrm{D}}\,，\quad 0\le R_{\mathrm{D}}\le 2R_{\mathrm{s}}\quad。\tag{46}$$

在线性趋势上，由方程（46）式，同旋面光子偏转运动分三阶段，在第一阶段，从其中一个闭弦先接触媒介 A_2 开始，到另一闭弦接触媒介 A_2 止，在此阶段同旋面光子的整体运动速度c_{p1}为

$$c_{\mathrm{p1}}=\frac{1}{2}[c_{\mathrm{sm1}}+c_1]\,，\tag{47}$$

式中$c_{\mathrm{sm1}}=c_1-0.5[c_1-c_2]R_{\mathrm{s}}^{-1}R_{\mathrm{Ds1}}$，$R_{\mathrm{Ds1}}$为先接触媒介 A_2 的闭弦在旋转面上进入媒介 A_2 的程度，$0\le R_{\mathrm{Ds1}}\le 2R_{\mathrm{s}}$。

在第二阶段，从二闭弦皆部分地进入媒介 A_2 中开始，到先接触媒介 A_2 的闭弦完全进入媒介 A_2 中（即$R_{\mathrm{Ds1}}=2R_{\mathrm{s}}$）止，在此阶段同旋面光子的整体运动速度$c_{\mathrm{p2}}$为

$$c_{\mathrm{p2}}=\frac{1}{2}[c_{\mathrm{sm1}}+c_{\mathrm{sm2}}]\,，\tag{48}$$

式中$c_{\mathrm{sm2}}=c_1-0.5[c_1-c_2]R_{\mathrm{s}}^{-1}R_{\mathrm{Ds2}}$，$R_{\mathrm{Ds2}}$为后接触媒介 A_2 的闭弦在旋转面上进入媒介 A_2 的程度，$0\le R_{\mathrm{Ds2}}\le 2R_{\mathrm{s}}$。

在第三阶段，从先接触媒介 A_2 的闭弦完全进入媒介 A_2 中（即$R_{\mathrm{Ds1}}=2R_{\mathrm{s}}$）开始，到后接触媒介 A_2 的闭弦也完全进入媒介 A_2 中（即$R_{\mathrm{Ds2}}=2R_{\mathrm{s}}$）止，在此阶段同旋面光子的整体运动速度$c_{\mathrm{p3}}$为

$$c_{\mathrm{p3}}=\frac{1}{2}[c_2+c_{\mathrm{sm2}}]\,。\tag{49}$$

由上述同旋面光子偏转的三个阶段偏转方程，建立同旋面光子在偏振面延伸平面上的偏转轨迹方程，对同旋面光子在入射点附近的偏转运动进行分析。

至为简略地，将上述三个阶段合并等效为一个阶段，考虑闭弦进入媒介 A_2 的程度$R_{\mathrm{D}}\ge R_{\mathrm{s}}$时，闭弦的旋转速度即由$c_1$转化为该媒介中的旋转速度$c_2$，故有同旋面光子整体偏转的等效角速度方程

$$c_1[R_{\mathrm{p}}+R_{\mathrm{s}}]^{-1}=c_2[R_{\mathrm{p}}-R_{\mathrm{s}}]^{-1}\,，\quad c_1\ge c_2\tag{50}$$

$$c_1[R_{\mathrm{p}}-R_{\mathrm{s}}]^{-1}=c_2[R_{\mathrm{p}}+R_{\mathrm{s}}]^{-1}\,，\quad c_1\le c_2\tag{51}$$

及同旋面光子于临界面入射点附近的偏转等效原点到媒介临界面和光子偏振面延伸平面交线间距离方程

$$[R_{\mathrm{p}}-R_{\mathrm{s}}]\sin\alpha_1=[R_{\mathrm{p}}+R_{\mathrm{s}}]\sin\alpha_2\,，\quad c_1\ge c_2\tag{52}$$

$$[R_{\mathrm{p}}+R_{\mathrm{s}}]\sin\alpha_1=[R_{\mathrm{p}}-R_{\mathrm{s}}]\sin\alpha_2\,，\quad c_1\le c_2\tag{53}$$

式中R_{p}为同旋面光子在偏振面延伸平面上偏转运动的等效半径，α_1、α_2为同旋面光子偏转运动分别处在开始位置、结束位置时偏振线（构成同旋面光子的闭弦中心连线，位于同旋面光子偏振面上，且与同旋面光子运动方向垂直）延伸直线与临界面和偏振面延伸平面交线间的夹角。

由方程（50）、（52）二式、方程（51）、（53）二式皆得同旋面光子在媒介临界面入射点附近于偏振面的延伸平面上偏转方程为

$$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2}=\frac{c_1}{c_2}\,。\tag{54}$$

当取同旋面光子入射线、折射线与在临界面上同旋面光子入射点法线间的夹角分别为α、β，同旋面光子偏振面延伸平面与在临界面入射点法线间夹角为γ时，则有几何方程

$$[L_\alpha^2+[L_\alpha\cos\alpha\cos\gamma]^2-2L_\alpha[L_\alpha\cos\alpha\cos\gamma]\cos a_1]+[L_\alpha\cos\alpha\sin\gamma]^2=[L_\alpha\sin\alpha]^2\,，\tag{55}$$

$$[L_\beta^2+[L_\beta\cos\beta\cos\gamma]^2-2L_\beta[L_\beta\cos\beta\cos\gamma]\cos a_2]+[L_\beta\cos\beta\sin\gamma]^2=[L_\beta\sin\beta]^2\,；\tag{56}$$

这里$0.5\pi\ge\alpha\ge\gamma\ge 0$，$0.5\pi\ge\beta\ge\gamma\ge 0$；$L_\alpha$、$L_\beta$皆为几何距离量。

化简方程（55）式、方程（56）式，分别得

$$\cos^2\alpha-\cos\gamma\cos\alpha_1\cos\alpha=0\text{，}$$

$$\cos^2\beta-\cos\gamma\cos\alpha_2\cos\beta=0\text{；}$$

则分别得方程（55）式、方程（56）式的常数解$\cos\alpha=0$、$\cos\beta=0$，及函数形式解

$$\cos\alpha=\cos\gamma\cos\alpha_1\text{；}\tag{57}$$

$$\cos\beta=\cos\gamma\cos\alpha_2\text{。}\tag{58}$$

依据方程（57)、(58）二式进一步分别得

$$\sin^2\alpha_1=\frac{\cos^2\gamma-\cos^2\alpha}{\cos^2\gamma}=\frac{\sin^2\alpha-\sin^2\gamma}{1-\sin^2\gamma}\text{，}\tag{59}$$

$$\sin^2\alpha_2=\frac{\cos^2\gamma-\cos^2\beta}{\cos^2\gamma}=\frac{\sin^2\beta-\sin^2\gamma}{1-\sin^2\gamma}\text{；}\tag{60}$$

则由方程（59)、(60）二式及方程（54）式，即得同旋面光子的一般性折射方程或广义折射定律为

$$\frac{\sin^2\alpha-\sin^2\gamma}{\sin^2\beta-\sin^2\gamma}=\frac{c_1^2}{c_2^2}\text{。}\tag{61}$$

由方程（61）式得其变形表述方程形式

$$\sin^2\beta=(c_2c_1^{-1})^2\sin^2\alpha+[1-(c_2c_1^{-1})^2]\sin^2\gamma\text{；}\tag{62}$$

故有

$$\frac{\partial\sin^2\beta}{\partial\gamma}=2[1-(c_2c_1^{-1})^2]\sin\gamma\cos\gamma=[1-(c_2c_1^{-1})^2]\sin2\gamma\text{；}\tag{63}$$

进一步得当$\gamma=0$、$\gamma=0.5\pi$时，$\sin^2\beta$取极限形式；其中当$\gamma=0$时由（62）式得$\sin^2\beta$极限形式为

$$\sin^2\beta=(c_2c_1^{-1})^2\sin^2\alpha\text{；}\tag{64}$$

即得经典的光折射定律方程

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=\frac{c_1}{c_2}\text{。}\tag{65}$$

这表明经典的光折射定律（65）式为同旋面光子一般性折射方程或广义折射定律（61）式的一极限形式，故方程（61）式为光子闭弦模式及类似模式构造的实验判据方程。

方程（61）式描述的折射线处于同旋面光子偏振面的延伸平面上；当$\gamma=0$时，即同旋面光子偏振面与入射面（入射线与入射点处临界面法线所形成的平面）重合时，折射线与入射线、入射点处临界面法线位于同一平面。同时方程（61）式为深入研究同旋面光子的偏振特性对其在入射点附近运动轨迹、反射效率及折射效率等方面影响提供指向和参考。

由（50)、(51）二式，取二媒介间的相对折射率为$n_{12}=c_1c_2^{-1}$，得同旋面光子R_p与R_s之比方程为

$$R_\mathrm{p}R_\mathrm{s}^{-1}=1+2[n_{12}-1]^{-1}\text{，}\quad n_{12}\geq1\tag{66}$$

$$R_\mathrm{p}R_\mathrm{s}^{-1}=1+2[n_{12}^{-1}-1]^{-1}\text{，}\quad n_{12}\leq1\tag{67}$$

故满足方程（66）式或（67）式的球形或环形光学材料能够自动束缚其中的同旋面光子，形成光阱或能量阱，方程（66）式、(67）式即为光阱或能量阱方程。

由光阱或能量阱方程（66）式、(67）式，一方面，光子的持续集聚将近于阶跃性地改变二媒介间的相对折射率n_{12}，即形成n_{12}的周期性变化，产生吸收与释放同旋面光子的周期性振荡效应，亦即直接出现关于热力学第二定律的阶段性反常或逆向效应；另一方面，操控相对折射率n_{12}的周期性变化亦可产生吸收与释放同旋面光子的周期性振荡效应；此为验证光子的闭弦模式及类似模式构造、并计算闭弦半径R_s、探讨光波结构及频率与折射率关系函数背景机理、研制开发新型光学基本器件的一直接参考途径。

这种于物质结构特征方向，当整体光阱或能量阱即是 Maxwell 妖的一种形式时，所形成的妖阱合一模型，及会出现的关于热力学第二定律的阶段性反常或逆向效应、光波结构及频率与折射率关系函数的背景机理等，在目前及未来一段时期都是较为重要的探讨方向，具有深刻的理论意义及广泛的应用前景。

3 能量交换方程与物质的超光速运动方程形式

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（37）式及能量守恒定律，当粒子与能量粒子相互作用吸收能量，粒子动能 E_{k} 的微变化量

$$\Delta E_{\mathrm{k}}=\Delta E=c^2\Delta m\,, \tag{68}$$

对粒子作功等效为动能微变化量 $\Delta E_{\mathrm{k}}=F\Delta s$；这里 F 为粒子受到的作用力，$\Delta s=V\Delta t$ 为粒子位移的微变化量，V 为粒子运动速度，Δt 为时间的微变化量；有能量交换方程

$$c^2\Delta m-F\Delta s=0\,, \tag{69}$$

即有

$$c^2\Delta m-\frac{\Delta(mV)}{\Delta t}\Delta s=c^2\Delta m-V\Delta(mV)=0\,, \tag{70}$$

得粒子在此吸收能量过程的质量 m 一速度 V 方程

$$m^{-1}\,\mathrm{d}\,m-(c^2-V^2)^{-1}V\,\mathrm{d}V=0\,, \tag{71}$$

及动能 E_{k} 一速度 V 方程

$$\mathrm{d}\,E_{\mathrm{k}}=c^2\,\mathrm{d}\,m=V\,\mathrm{d}(mV)=mV\,\mathrm{d}V+V^2\,\mathrm{d}\,m\,; \tag{72}$$

当粒子运动速度 $V<c$ 时，因 $m(V=0)=m_0$、$E_{\mathrm{k}}(V=0)=0$，故由方程（71）、（72）二式解得粒子运动的质量 m、动量 p、动能解 E_{k} 分别为

$$m=\frac{m_0}{\sqrt{1-(Vc^{-1})^2}}\,,\quad p=\frac{m_0V}{\sqrt{1-(Vc^{-1})^2}}\,,\quad E_{\mathrm{k}}=\frac{m_0c^2}{\sqrt{1-(Vc^{-1})^2}}-m_0c^2\,。 \tag{73}$$

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（69）式得到，但这里是在与相对论不同的物理前提和基础下得到的。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（36）式及能量守恒定律，当粒子与能量粒子相互作用释放能量，$\Delta E_{\mathrm{k}}=\Delta E=-c^2\Delta m$，在与释放能量的相反方向作功为 $F\Delta s$ 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

$$c^2\Delta m+F\Delta s=0\,, \tag{74}$$

即有

$$c^2\Delta m+\frac{\Delta(mV)}{\Delta t}\Delta s=c^2\Delta m+V\Delta(mV)=0\,, \tag{75}$$

得粒子的质量 m 一速度 V 方程及动能 E_{k} 一速度 V 方程分别为

$$m^{-1}\,\mathrm{d}\,m+(c^2+V^2)^{-1}V\,\mathrm{d}V=0\,; \tag{76}$$

$$\mathrm{d}\,E_{\mathrm{k}}=-c^2\,\mathrm{d}\,m=V\,\mathrm{d}(mV)=mV\,\mathrm{d}V+V^2\,\mathrm{d}\,m\,; \tag{77}$$

因 $m(V=0)=m_0$、$E_{\mathrm{k}}(V=0)=0$，故由方程（76）、（77）二式解得粒子在能量释放过程中运动的质量 m、动量 p、动能 E_{k} 分别为

$$m=\frac{m_0}{\sqrt{1+(Vc^{-1})^2}}\,,\quad p=\frac{m_0V}{\sqrt{1+(Vc^{-1})^2}}\,,\quad E_{\mathrm{k}}=m_0c^2-\frac{m_0c^2}{\sqrt{1+(Vc^{-1})^2}}\,。 \tag{78}$$

依据方程（78）式，当 $V<<c$、$V=c$、$V>>c$ 时，分别得质量 m、动量 p、动能 E_{k} 为

$$m=m_0\,,\quad p=m_0V\,,\quad E_{\mathrm{k}}=\frac{1}{2}m_0V^2\,;\quad V<<c \tag{79}$$

$$m=0.5\sqrt{2}m_0\,,\quad p=0.5\sqrt{2}m_0c\,,\quad E_{\mathrm{k}}=(1-0.5\sqrt{2})\,m_0c^2\,;\quad V=c \tag{80}$$

$$m=V^{-1}cm_0\,,\quad p=m_0c\,,\quad E_{\mathrm{k}}=m_0c^2\,;\quad V>>c \tag{81}$$

当粒子与能量粒子相互作用在$V > c$区吸收能量，$\Delta E_{\mathrm{k}} = \Delta E = c^2 \Delta m$，对粒子作功为$F\Delta s$时，速度将从$V >> c$区域向$c$靠近，方程（71）式成为如下形式

$$m^{-1}\,\mathrm{d}\,m + (V^2 - c^2)^{-1} V\,\mathrm{d}V = 0\text{；} \tag{82}$$

动能E_{k}－速度V方程仍为

$$\mathrm{d}\,E_{\mathrm{k}} = c^2\,\mathrm{d}\,m = V\,\mathrm{d}(mV) = mV\,\mathrm{d}V + V^2\,\mathrm{d}\,m\text{；} \tag{83}$$

故由方程（82）、（83）二式，可解得粒子在此超光速过程中的质量m、动量p、动能E_{k}分别为

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{(Vc^{-1})^2 - 1}}\text{，}\quad p = \frac{m_0 V}{\sqrt{(Vc^{-1})^2 - 1}}\text{，}\quad E_{\mathrm{k}} = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{(Vc^{-1})^2 - 1}} + m_0 c^2\text{；} \tag{84}$$

在方程（84）式中考虑动能E_{k}在$Vc^{-1} \to \infty$时与方程（78）式中的动能E_{k}具有相同的趋势值$m_0 c^2$。

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（78）式及（84）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，其本身不宜由方程（73）、（78）、（84）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。

4 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表述

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呈现出分形运动特征[10]。

物理学中主要的几次大的、标志性的进展多是与对光的本质深入认识相联系的，其中即包括对光的粒子属性及波动属性描述。目前相对论主要讨论质点粒子的运动，具有局域或定域属性；而量子理论主要描述物质波或概率波的演化，具有广域属性；归根结底，需要探究波粒二象性的本质或机理，随之创立更为基本的理论框架，能够使目前的相对论与量子理论自然成为其二种极限表述形式。

将真空作为一种介质考虑，粒子在真空中运动与背景介质相互作用，一简略探讨方向是，参照流体力学 Karman 涡街理论当 Reynolds 数在一定范围时流体速度V与旋涡脱落频率f_{K}间有关系方程$f_{\mathrm{K}} \propto V$；将流体速度V等效为粒子完全淹没在介质中的相对运动速度，引入待定参量φ、ϕ及复合性常量ϖ，使其满足下面动态平衡方程形式（亦为方程$f_{\mathrm{K}} \propto V$的延伸形式）

$$\frac{\mathrm{d}(\varphi f_{\mathrm{K}})}{\mathrm{d}t} = \varpi\frac{\mathrm{d}(\phi m V)}{\mathrm{d}t}\text{，}\quad \lambda_{\mathrm{K}} f_{\mathrm{K}} = u_{\mathrm{K}} \tag{85}$$

式中λ_{K}为旋涡脱落波长，u_{K}为旋涡移动速度，一般地在迟滞区有$u_{\mathrm{K}} < V$；即得旋涡脱落波长λ_{K}方程

$$\lambda_{\mathrm{K}} = \frac{\varpi^{-1}\varphi u_{\mathrm{K}}}{\phi m V + C_{\mathrm{K}}} = \frac{h_{\Theta}}{mV + \phi^{-1} C_{\mathrm{K}}}\text{，} \tag{86}$$

式中$h_{\Theta} = \varpi^{-1}\varphi\phi^{-1}u_{\mathrm{K}}$，$C_{\mathrm{K}}$为待定常量。

方程（86）式仅是参照 Karman 涡街理论表明粒子在介质中运动时，其与介质间具有波粒复合脉动作用特征；即在一定条件下粒子在介质中运动产生周期性旋涡，旋涡对粒子运动状态产生脉动改变，粒子状态的脉动改变又影响所生成旋涡的性质，相互激励脉动作用，波粒复合动态平衡。

一相关的持续探讨方向是，由于粒子与背景介质间在一定条件下产生脉动特征的相互作用，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，进而给出粒子的波动属性机理及量子分形方程。

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—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。

关于背景介质能量涨落方程的假设：背景介质与粒子相互作用使背景介质的能量产生附加涨落，粒子作分形运动，背景介质附加涨落能量 E 的频率 f 与在背景介质固有涨落周期 T_{V} 内交换的能量成正比，与粒子分形运动在自由程（分形单位）λ 的时间 t_τ 成反比，附加涨落能量 E 的微变化量 ΔE 与时间 t_τ 分别为

$$\Delta E = E_{0\mathrm{V}} T_{\mathrm{V}} \Delta f \text{，} \tag{87}$$

$$t_\tau = b f^{-1} \text{；} \tag{88}$$

式中 $E_{0\mathrm{V}}$ 为能量常量，T_{V} 为背景介质固有振荡周期，b 为比例系数。

简单地，下面讨论取方程（88）式中 $b=1$ 的情况，即

$$t_\tau = f^{-1} \text{。} \tag{89}$$

方程（87）式与 Planck 能量 E_{po} －频率 f_{po} 方程的微变化量形式

$$\Delta E_{\mathrm{po}} = h \Delta f_{\mathrm{po}}$$

相比较，相应地得 Planck 常数 h 为

$$h = E_{0\mathrm{V}} T_{\mathrm{V}} \text{；} \tag{90}$$

方程（87）式成为

$$\Delta E = E_{0\mathrm{V}} T_{\mathrm{V}} \Delta f = h \Delta f \text{。} \tag{91}$$

方程（90）式初步表明，Planck 常数 h 与真空背景介质的固有振荡周期相关；同时还可以初步展望的是，波动的量子化下限临界频率 f_{lc} 有如下形式

$$T_{\mathrm{V}} f_{\mathrm{lc}} \ge b_0 \text{，} \tag{92}$$

这里 b_0 为常数；诸如简单地，在 $b_0 = 1$ 时量子化下限临界频率判定条件为 $T_{\mathrm{V}} f_{\mathrm{lc}} \ge 1$。

取粒子在与背景介质能量交换过程中在其分形运动的自由程（分形单位）λ 中速度为 V，有

$$\Delta\lambda = V \Delta t_\tau \text{。} \tag{93}$$

根据方程（91）式，粒子与背景介质交换的能量相应地对粒子作功所等效的动能 E_{k} 微变化量为

$$\Delta E_{\mathrm{k}} = \Delta E = h \Delta f \text{，} \tag{94}$$

由方程（89）、（93）、（94）三式即得

$$\Delta E_{\mathrm{k}} = -h t_\tau^{-2} \Delta t_\tau = -h (V t_\tau)^{-2} V^2 \Delta t_\tau = -h \lambda^{-2} V \Delta\lambda \text{；} \tag{95}$$

同时由方程（93）式得波粒二象性的粒子分形运动介质作用方程

$$\Delta E_{\mathrm{k}} = F \Delta\lambda = \frac{\Delta(mV)}{\Delta t_\tau} \Delta\lambda = V \Delta(mV) \text{；} \tag{96}$$

继而由方程（95）、（96）二式得粒子分形运动的速度 V －分形单位 λ 方程

$$V\,\mathrm{d}(mV) + h \lambda^{-2} V\,\mathrm{d}\lambda = 0 \text{；} \tag{97}$$

故得方程（97）式中 λ 解为

$$\lambda = \frac{h}{mV + C_{\mathrm{N}}} \text{，} \tag{98}$$

式中 C_{N} 为与背景介质能量涨落固有振荡相关的待定常量。

由方程（98）式，当粒子运动的动量 $mV >> C_{\mathrm{N}}$ 时，得

$$\lambda = \frac{h}{mV} \text{；} \tag{99}$$

而当粒子运动动量 $mV << C_{\mathrm{N}}$ 时，得其固有自由程 λ_{N} 为

$$\lambda_{\mathrm{N}} = C_{\mathrm{N}}^{-1} h \text{。} \tag{100}$$

方程（99）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，是在特定条件下粒子与背景介质间相互作用时能量互平衡于粒子运动上的复合表现；方程中速度 V 为粒子在分形轨迹上的运动速度，大于（或等于）粒子等效在基线上的运动速度。

上述分析同时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具有其本具的特征。

需要指出，从粒子分形运动到方程（100）式的分析过程，是一种偏于解释的引导性及试错性讨论，仅在为将来出现的能够解析开 Planck 常数 h 的严谨物理理论提供前期铺垫及过渡性参考。

深入的研究将表明，当频率 f（或 $f_{\rm po}$）大于一上限临界频率 $f_{\rm uc}$（或 $f_{\rm ucpo}$）后，量子能量表现形式、能量交换机理及交换层面会发生变化，已有的 Planck 频率能量方程 $E_{\rm po}=hf_{\rm po}$ 及量子能量交换方程 $\Delta E=h\Delta f$ 不再完全适用，其将被新的能量方程形式所涵盖，而新的方程形式中将呈现出新的更深刻普适的物理学常数，能够解析开 Planck 常数 h 及 Newton 引力常数 G，量子理论成为其一种极限近似形式。

单个粒子通过双缝的自干涉机理探讨：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 $\lambda=h[mV]^{-1}$ 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 在解释物质波时引进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。粒子在介质中运动产生的波前波及后面旋涡与粒子间相互脉动作用，能量交换动态平衡。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。

上述关于双程平均光速近似不变的单程光速可变方程、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 Mandelbort 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

$$L=n\lambda\,,\quad \lambda=\varepsilon L_0\,,\quad n=\varepsilon^{-D}\,;\qquad（101）$$

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

$$L=L_0^D\lambda^{1-D}\,,\quad \lambda=n^{-D^{-1}}L_0\,;\qquad（102）$$

故在 $Vc^{-1}<<1$ 时，粒子运动的动量 p、动能 $E_{\rm k}$ 及等效在基线上的平均运动速度 $\overline{V_{\rm B}}$ 的量子分形方程为

$$p=n^{-D^{-1}}hL_0^{-1}\,,\quad E_{\rm k}=(2m_0)^{-1}n^{2D^{-1}}h^2L_0^{-2}\,,\quad \overline{V_{\rm B}}=hm_0^{-1}n^{2D^{-1}-1}L_0^{-1}\,;\qquad（103）$$

且对于粒子分形运动升维曲线集，其维数 $D\geq 1$。

根据方程（103）式及 $D\geq 1$ 的性质可得当 $D=D_{\min}=1$ 时，λ 取极小值，p、$E_{\rm k}$ 取极大值

$$\lambda_{\min}=n^{-1}L_0\,,\quad p_{\max}=nhL_0^{-1}\,,\quad E_{\rm kmax}=n^2(2m_0)^{-1}h^2L_0^{-2}\,,\quad \overline{V_{\rm B}}=V\,。\qquad（104）$$

由量子理论[2]知方程（104）式中的 n 为主量子数，而方程（102）、（103）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。

需要指出，对于上述物质闭弦分形构造与粒子分形运动二种模式，在数学的分形理论方面都是极为简单朴素的，而在物理学的描述意义上则都具有相应的尺度区间特征，也即具有尺度或标度极限，并不是严格数学意义上的理想自相似分形构造，仅是具有一定程度的、趋势性的自相似分形特征；数学理论的趋于“0”或趋于“∞”，与物理学理论的趋于“0” 或趋于“∞”，二理论若即若异，这实际上也正是数学与物理学之间的关联与分野所在。

作为研究方向探讨及运动模式刻画，在近似的、趋势性的描述意义上，对于物质闭弦分形构造及粒子分形运动这二种模式，于局部的相邻层面，可初步构造一朴素的中文象形字符“卐”（或“卍”），中文读音拟为“zhuǎn”，英文拟为“spiframodel”，以形象表述物质闭弦分形构造及粒子分形运动二种模式中下一重环绕上一重的多层面螺旋嵌套模式。

本质上，单程光速不变推论或等效假设含有现象演化曲线的直弦或截距特征，虽然表述简洁但不是现象演化曲线的区域性近似拟合，以其为依据延伸容易导致描述现象演化规律的框架基准混乱；双程光速近似不变推论或等效假设亦不是现象演化曲线的区域性完整反映，以其为基础所给出的单程光速可变方程等内容表述充其量仅是过渡性或导引性的权宜之计，乃至更属于是物理方面戏论性质的数学形式探讨；波粒二象性假设有偏于实用拟合的模糊成分，虽然是现象演化曲线的区域性近似拟合但疏于内在机理刻画，以其为基础容易导致后续描述现象演化规律的原理解析性欠缺或不足。

狭义相对论与量子理论都是紧密地与光的结构性质及运动规律相联系的；对真空波动及真空后面诸层背景的深入研究，或将有望找到相对论与量子理论的共同普适基础。

一方面，试图建立一套完整的数理解析体系，对一切物质结构及其运动规律予以普适描述，是极为困难的；另一方面，偶尔探索出一条较为平坦的、具有广泛联系的路线，进一步的研究将会发现，自以为新颖的、独特的发现多是前辈先贤思想光芒指引的延伸。

自然界是复杂多变的，存在着诸多层面的相互联系及相互作用，展现着开放的、动态的、连续的图景，这其中关键是通过哪一途径予以了解刻画，同时还能够与已经取得的理论框架衔接起来；目前逻辑演绎即具备这方面的部分功能。

逻辑有展开延伸的力量，但逻辑基础却总是处于不完备的无法自证的状态。不同层面的物质结构及其运动特征既存在相互联系、诸级演替的主线脉络，同时各层面又具有其本征的性质。譬如简单地对森林中的一棵树予以描述，较为简洁的约束描述一般是在树干部分建立一个开放式的半解析理论，当理论往根须及枝叶二向扩展时，则需要再适当补充原理基础的内容，甚至需要发展延伸出新的理论模式；对花果、辉晕的描述，及对整个森林演化、乃至诸多森林间相互关系的描述，亦复如是；相互通联而又相对独立是现象及现象间在演化过程诸阶段、诸层面的本俱特征。是故，将人类活动回归到自然演化构成部分，建立并持续补充诸级细化描述与长程通览刻画相结合的开放式动态理论框架，进而思维认识与自然演化共同发展，仍应是目前恪守的原则。

5 结 论

本文将真空作为一种背景介质考虑，在数学方程变换方向探讨了光源运动的光速合成方程及基于双程平均光速近似守恒（近似不变）的单程光速可变方程数学形式，给出了光子闭弦模式及类似模式构造的实验判据方程（同旋面光子一般性折射方程或偏转方程与光阱方程），探讨了于物质结构特征方向可能出现热力学第二定律反常或逆向效应的妖阱合一模式；通过对能量交换方程及 Karman 涡街旋涡脱落波长方程的讨论，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，初步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。将真空作为一种介质考虑，在机理上还初步表明真空存在若干层面与之相互作用的背景、能够阻隔延迟或快速传递特定形式的机械振动及真空存在与区域特征相关的固有频率振荡（或真空荡漾）。

本文基于双程平均光速近似守恒（近于不变）给出的单程光速可变方程仅是一种物理妥协折中及数学方程变换方向上的表象近似描述，不具有物理解析方向的普适意义；而基于光子及能量粒子在二个层面的能量交换途径所给出的超光速运动方程，亦具有明显机械论的局限性，探讨内容含有较大的矛盾及脱漏、牵强延伸和试错戏论的成分。

这其中，光子电磁结构及光子与真空间的相互作用、双程平均光速与单程光速之间的简约关系、波粒二象性及物质超光速运动，还都仍然需要更高精度的实验予以检验并探索新的物理效应，及建立更普适深刻的理论予以机理探讨刻画。

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 为结构分形维数 D 的函数 $E = E(D)$（类如材料断裂能量与裂纹分形维数的关系）；更为重要的是，通过对真空及其更深层背景（真空背后的诸级背景）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（References）：

[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，关健. 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, *etal*. Interactions between elementary particles and vacuum[J]. 纺织高校基础科学学报，2004，17(3): 217～222.
[10] 阎坤. 粒子运动的分形Newton理论[A]. 见：动力学、振动与控制的研究[C]. 北京：北京大学出版社，1994，81～85.