基于力、能量、动量和作用量框架的物理学基础理论结构统一性探讨

曹盛林†
(北京师范大学天文系,100875,北京)

摘要 研究表明:如果把作用量视为一个与力、能量和动量平权的物理量,那么经典牛顿力学、量子力学、相对论和狄拉克的相对论电子理论有了统一的数学基础.由此推测"反物质"本质上是超光速物质的亚光速表象,并预言它们在引力场中是受到引力场的排斥的.本文进一步讨论基于芬斯勒时空结构中的相对论的物理特征,特别指出爱因斯坦相对论中的"光锥"作为突变临界面的特殊性质,构成了以光速为相互作用传递速度的"作用力"的"吸引"和"排斥"表象间的相互转换.

关键词 力;能量;动量;作用量;芬斯勒时空;反粒子;超光速粒子
中图分类号 O41 **DOI:** 10.12202/j.0476-0301.2019169

第26届国际计量大会通过了关于"修订国际单位制(SI)"的1号决议:自2019年5月20日开始,SI基本单位中的4个,即千克、安培、开尔文和摩尔分别改由普朗克常量h、基本电荷常数e、玻耳兹曼常数k和阿伏加德罗常数N_A定义.这是SI自1960年创建以来最为重大的变革,是科学进步的里程碑[1-3].

本文就SI的基本单位千克由"千克原器"改由h来定义,给力学甚至整个理论物理学可能带来的影响展开讨论,盼望能引起有关方面的兴趣.

1 物理理论的完备性

1.1 力、能量、动量和作用量 从理论上来看,以h所度量的"作用量"是一个比能量、动量更能反映事物本质的基本物理量.因为从相互作用的观点来看,动量是作用力随时间的表象,而能量是作用力随被作用物体在空间中移动效果的表象,然而,任何运动是在时-空中进行的,所以只有h所度量的作用量才是对物质运动状态在时间和空间中变化的完整表述.也可以说"作用量"是以力学为基础的物理学中的一个"实在要素",它也是对"能量"和"动量"的"统一".其实早在1900年,普朗克就发现了其量纲为作用量量纲(ET)的重要常数h.他分别通过频率和波数就把h和能量、动量联系起来,成功地解决了当时人们研究黑体辐射能量分布特性时所遇到的困难,并为量子理论的创立打下了坚实的物理基础.因此,对于一个完备的物理理论框架,应该让"作用量"占有其相应部分.

一般认为,图1所表述的4个基本物理量及它们与时间和空间的关系,构成了现代理论物理学的完备框架.基于这个完备框架,理论物理迄今看来似乎是矛盾的3大基础理论——牛顿力学、量子力学和相对论力学,自然地显示出其内在的统一性.实际上,由图1可以看到3个问题:

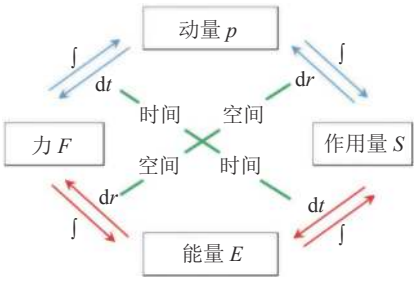

图1 4个基本物理量和时间及空间的关系构成理论物理完备框架

1)前面说的牛顿力学,是从"力"出发,通过对时间的积分得到"动量",而通过对空间的积分得到"能量",于是产生了历史上关于"活力"和"死力"的争论.而动量再对空间积分或能量再对时间积分,都统一地得到"作用量".但在牛顿的体系中,

† 通信作者:曹盛林(1937—),教授,学士.研究方向:相对论天体物理和宇宙学.e-mail: 78108@bnu.edu.cn
收稿日期:2019-06-07

“作用量”没有它的地位.哈密顿分析力学却恰好相反,它是从寻找系统的“拉格朗日函数”,或通过总能量函数对时间积分(得到“哈密顿函数”),再在特定的限定条件下进行变分,以求得到对最小作用量原理的满足,进而得到物理体系的运动微分方程.所以,基于牛顿方法的物理原理可称为“微分原理”,其基本特征是既有“局限性”又有很强的“预见性”;基于哈密顿的方法的原理可称为“积分原理”,其特点是具有极大的“普适性”.但在哈密顿力学体系中,“作用量”也仅仅是为了建立运动微分方程而“拼凑”的某个函数,作为一个独立的物理量而言,仍没有它的地位.

2)如果定义了时间和空间并建立了确定的度量方法,则在力、动量、能量和作用量这4个量中任意再定义(测定)1个量,就可以确定其余3个量.理论和实践中究竟再定义(测定)哪一个量更能表述客观实际过程呢?在物理学的发展史中,牛顿最初是用质量来表述前3个量(力、动量和能量).于是出现了“厘米-克-秒”的计量制,从本质上定义了能量或动量.表面上看,质量似乎是一个反映客体内禀特性的“固有量”,它的引入与牛顿曾经试图将欲研究对象化作“孤立系统”的理念相关.为此人们还制作了“千克原器”来标定质量的计量标准.然而,人们制定的“千克原器”实物,随时间的流逝,受到各种“腐蚀”的影响已失去其精确性.

从理论上来看,作为看似具有“内禀”特征的质量,在对其具体度量时,总是要借助于一定的运动条件下的“相互作用”,于是出现了诸如引力质量、惯性质量、电磁质量、运动质量、静止质量和光子所具有“零静止质量”的运动质量.

以 h 为最小不变基元的作用量,它不仅与物质的运动状态无关,而且与相互作用的形式无关,即无论是物质的惯性、引力相互作用、热相互作用、电磁相互作用、强或弱相互作用,它们都遵从同一个 h.

3)上面4个物理量原则上只有3个独立关系,因此,一般情况下它们是不可能完全求解的.

牛顿力学是基于绝对时间和绝对空间的理念,因此时间参量和空间参量是彼此独立无关的,于是对于涉及时间和空间参量的微分方程组,可以进行变量的分离.也就是说,可以采取微分方程组求解的“分离变量”法.由这种理念引出的求解方法,对于宏观低速(远小于光速)运动客体的表述是相当有效的.

下面进一步来寻求其他求解方法的可能性.

1.2 时空不确定相关性——量子力学 回顾历史上被认为是“毫无价值”的文字游戏“活力”和“死力”的争论就会发现,如果假设“活力”等于“死力”,即可直接导出量子力学的建立所依据的“不确定性关系”(旧称“测不准关系”).

1.3 时空非对易性——相对论时空结构 由图1可提出另一个问题,即能量作用量 $S_E = E\mathrm{d}t$ 和动量作用量 $S_p = p\mathrm{d}r$ 是否相等,如果不相等,于是出现了一个新的独立量——对易子,不难证明这就导致狭义相对论的四维间隔的不变量.

1.4 类时类空对称性——芬斯勒时空结构假设 假定

$$K = E\mathrm{d}t - p\mathrm{d}r, \tag{1}$$

$$K_1 = p\mathrm{d}r - E\mathrm{d}t,$$

于是有

$$\mathrm{d}s_1^2 = -\mathrm{d}s^2 = \mathrm{d}r^2 - c^2\mathrm{d}t^2. \tag{2}$$

为消除上述2种等价假设带来的差异,假定高速运动状态下的物理系统遵从“芬斯勒时空”:

$$\mathrm{d}s^4 = (\pm\mathrm{d}s^2)^2 = c^4\mathrm{d}t^4 + \mathrm{d}r^4 - 2c^2\mathrm{d}r^2\mathrm{d}t^2. \tag{3}$$

芬斯勒时空结构可以通过一个四阶矩阵

$$\boldsymbol{S}_{\mathrm{F}} = \begin{pmatrix} c\mathrm{d}t & \mathrm{d}r & 0 & 0 \\ \mathrm{d}r & c\mathrm{d}t & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c\mathrm{d}t & \mathrm{d}r \\ 0 & 0 & \mathrm{d}r & c\mathrm{d}t \end{pmatrix} \tag{4}$$

加以表述,显然

$$\mathrm{d}s^4=\begin{vmatrix} c\mathrm{d}t & \mathrm{d}r & 0 & 0 \\ \mathrm{d}r & c\mathrm{d}t & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c\mathrm{d}t & \mathrm{d}r \\ 0 & 0 & \mathrm{d}r & c\mathrm{d}t \end{vmatrix}=\begin{vmatrix} c\mathrm{d}t & \mathrm{d}r \\ \mathrm{d}r & c\mathrm{d}t \end{vmatrix}\cdot\begin{vmatrix} c\mathrm{d}t & \mathrm{d}r \\ \mathrm{d}r & c\mathrm{d}t \end{vmatrix}= \tag{5}$$

$$c^4\mathrm{d}t^4+\mathrm{d}r^4-2c^2\mathrm{d}t^2\mathrm{d}r^2.$$

狄拉克为了建立他的相对论性电子方程所采用的狄拉克矩阵, 恰好是由二阶的泡利矩阵按上述法则构成的四阶矩阵.

2　芬斯勒时空中的相对论及其实验验证

2.1　芬斯勒时空中的突变特征　基于 4 次微分形式的“芬斯勒时空”结构, 从突变理论观点来看[4], 属于一种“双尖点突变”的一类突变模式. 讨论芬斯勒时空, 其突变产生的效果如下:

1) 吸引和排斥的转换. 当一个亚光速运动粒子突变为超光速粒子时, 将伴随能态的转换, 正负能态间的转换, 其效果就是导致吸引和排斥间的转化. 例如: 2 个亚光速运动的电子是相互“排斥”的, 但 2 个相对做超光速运动的电子间就相互“吸引”了, 以至于人们长期以来将超光速电子误认为“正电子”或“反粒子”. 反粒子在引力场中不会受到引力场的排斥, 而超光速粒子将受到引力场的排斥, 这种排斥在类星体超光速膨胀观测中可以直接证实, 图 2 就是根据对类星体 3C273 进行 10 多年观测的数据与理论公式计算的拟合结果[5−6].

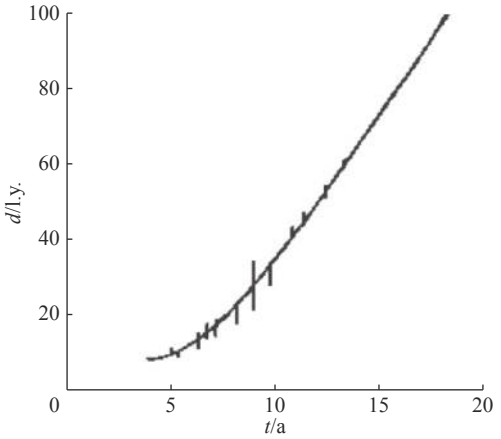

图 2　类星体 3C273 超光速加速膨胀观测拟合曲线

实际上, 引力场突变引起的排斥效应不仅对于超光速速度如此, 对于亚光速速度也一样. 它或许也是产生宇宙加速膨胀的可能起因, 但至今人们仍喜欢用暗能量等模型来解释宇宙可能存在的加速膨胀[7−8].

2) 聚集和分散运动状态的转化. 相对论中“奇点”的临界性质只有通过芬斯勒时空结构才可能准确描述, 结果是“黑洞”只可能以“视界”形式出现, 而不可能出现无限坍缩的“奇点”. 换言之, “黑洞”视界不是引力作用下物质“无限坍缩”的“起始”, 而是物质在引力作用下“坍缩”的“终止”[9−10].

3) 量子力学的不确定性关系出现在芬斯勒时空中发生“突变”的“临界面”, 即爱因斯坦相对论的“光锥”处.

2.2　芬斯勒时空结构中的坐标变换　为使讨论简化, 回到式(5), 令 $v\equiv v_x$, $\mathrm{d}x\equiv v\,\mathrm{d}t$, 于是

$$\mathrm{d}s^4=c^4\mathrm{d}t^4+\mathrm{d}x^4-2c^2\mathrm{d}t^2\mathrm{d}x^2+\mathrm{d}y^4+\mathrm{d}z^4+2\mathrm{d}y^2\mathrm{d}z^2, \tag{6}$$

对于任意 2 惯性系间, 有

$$\begin{aligned} &c^4\mathrm{d}t^4+\mathrm{d}x^4-2c^2\mathrm{d}t^2\mathrm{d}x^2+\mathrm{d}y^4+\mathrm{d}z^4+2\mathrm{d}y^2\mathrm{d}z^2= \\ &c^4\mathrm{d}t'^4+\mathrm{d}x'^4-2c^2\mathrm{d}t'^2+\mathrm{d}y'^4+\mathrm{d}z'^4+2\mathrm{d}y'^2\mathrm{d}z'^2, \end{aligned} \tag{7}$$

令 2 系间的时空变换关系为实线形式

$$ct=ex'+fct',\ x=ax'+bct',\ y=ky'+mz',\ z=jy'+nz'. \tag{8}$$

将式(8)代入式(7), 并令有相同阶次变量项的系数相等, 则可得到

$$\begin{cases} a=f=l\sqrt[4]{1-2\beta^4+\beta^4}=l\Gamma_4^{-1}, \\ b=e=l\beta\sqrt[4]{1-2\beta^2+\beta^4}=l\beta\Gamma_4^{-1}, \\ k=n=l,\ l=\pm1,\ \pm i,\ m=j=0. \end{cases} \tag{9}$$

于是,可得到以 $\mathrm{d}s^4$ 为不变量时的时空变换关系

$$t=\Gamma_4\left(t'+\frac{\beta}{c}x'\right),\ x=\Gamma_4(x'+c\beta t'),\ y=y',\ z=z';\Gamma_4=\pm\frac{1}{\sqrt[4]{1-2\beta^2+\beta^4}}. \tag{10}$$

为与通常的伽利略变换比较,当 $\beta\to 0$ 时,式(10)应与伽利略变换一致. 由此可推知 $\beta=v/c$. 这样可得

$$\Gamma_4=\pm\frac{1}{\sqrt[4]{1-2(v/c)^2+(v/c)^4}}, \tag{11}$$

不难求出式(10)的逆变换为

$$\pm t'=\Gamma_4(t-\beta x/c),\ \pm x'=\Gamma_4(x-vt),\ y'=y,\ z'=z. \tag{12}$$

显然,无论是时空变换式(10)或其逆变换式(12),都既适用于 $v<c$, 又适用于 $v>c$, 式(11)和(12)中的负号表示超光速运动的状态:当 $v=c$ 时, $\Gamma_4^{-1}=0$.

如果用与"群速度" v 互为对偶的相速度 $v_1=c^2/v$, 可以得到完全相似的时空变换:

$$t=\Gamma'_4(\beta_1 t'+x'/c),\ x=\Gamma'_4(\beta_1 x'+ct'),\ y=y',\ z=z';$$
$$\Gamma'_4=\frac{1}{\sqrt[4]{1-2\beta_1^2+\beta_1^4}};\ \beta_1=\frac{v_1}{c}=\frac{c}{v}=\frac{1}{\beta}. \tag{13}$$

它们的逆变换形式为

$$\pm t'=\Gamma'_4(\beta_1 t-x/c),\ \pm x'=\Gamma'_4(\beta_1 x-ct),\ y'=y,\ z'=z. \tag{14}$$

这一组变换和逆变换与式(10)和(12)形式上完全等价,也适用于亚光速($\beta_1=1$ 或 $\beta>1$)和超光速运动($\beta_1=1$ 或 $\beta<1$). 而当 $\beta_1=\beta=1$ 时, $\Gamma_4^{-1}=\Gamma_4'^{-1}=0$.

2.3 芬斯勒时空中的动力学量 如果对于自由粒子的作用函数是

$$S=\int_a^b \alpha\mathrm{d}s,$$

这里 α 是表征粒子特性的某个常数,对于所有粒子它必须是正量. 而

$$\mathrm{d}s=\sqrt[4]{g_{ijkl}\mathrm{d}x^i\mathrm{d}x^j\mathrm{d}x^k\mathrm{d}x^l}=c\sqrt[4]{1-2\beta^2+\beta^4}\mathrm{d}t, \tag{15}$$

对于具有静质量 m 的自由粒子的拉格朗日形式为

$$L=-mc^2\sqrt[4]{1-2\beta^2+\beta^4}, \tag{16}$$

则粒子的动量、能量和运动质量将分别为

$$\boldsymbol{p}=\frac{m\boldsymbol{v}}{\sqrt[4]{1-2\beta^2+\beta^4}},\ E=\frac{mc^2}{\sqrt[4]{1-2\beta^2+\beta^4}},\ M=\frac{m}{\sqrt[4]{1-2\beta^2+\beta^4}}. \tag{17}$$

它们也可以由相速度 $\boldsymbol{v}_1$ 表示,且有关系:

$$\boldsymbol{p}(\boldsymbol{v})=\pm\frac{m\boldsymbol{v}}{\sqrt[4]{1-2\beta^2+\beta^4}}=\pm\frac{mc}{\sqrt[4]{1-2\beta_1^2+\beta_1^4}}=\pm\frac{1}{c}E(\boldsymbol{v}_1); \tag{18}$$

$$E(\boldsymbol{v}) = \pm\frac{mc^2}{\sqrt[4]{1-2\beta^2+\beta^4}} = \pm\frac{mv_1c}{\sqrt[4]{1-2\beta_1^2+\beta_1^4}} = \pm cp(\boldsymbol{v}_1); \tag{19}$$

$$M(\boldsymbol{v}) = \pm\frac{m}{\sqrt[4]{1-2\beta^2+\beta^4}} = \pm\frac{\beta_1 m}{\sqrt[4]{1-2\beta_1^2+\beta_1^4}} = \pm\beta_1 M(\boldsymbol{v}_1). \tag{20}$$

这里$\beta_1 = \boldsymbol{v}_1/c = c/v = 1/\beta$.

在静止观测者看来,图 3-a、b 分别给出了一个运动元粒子,其动能和动量随运动速度 $\beta = v/c$ 的变化. 对于以有限速度传递的作用力,将会以传递速度为界限且必发生吸引和排斥的转换,因此这里的超光速下的能量和动量均取负值.

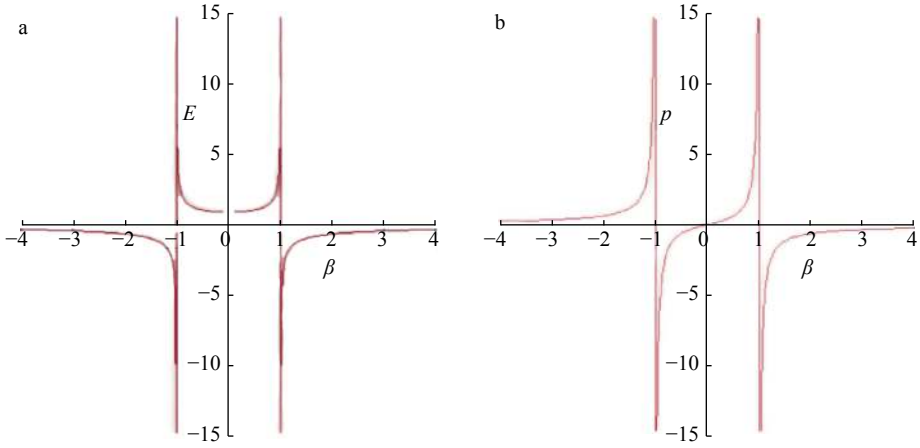

图 3　能量–速度（a）及动量–速度（b）

在 $\boldsymbol{v}$ 表象中的动量(或能量)将转换为在 $\boldsymbol{v}_1$ 表象中的能量(或动量). 从式(17)(或式(18)、(19))可以得到自由物质粒子的能量和动量间的关系

$$p(\boldsymbol{v}) = \boldsymbol{v}E(\boldsymbol{v})/c^2 \text{ 或 } p(\boldsymbol{v}_1) = \boldsymbol{v}_1 E(v_1)/c^2, \tag{21}$$

可见,无论是 $\boldsymbol{v}$ 表象或 $\boldsymbol{v}_1$ 表象,都将保持和爱因斯坦狭义相对论中能量和动量间的相同关系. 得到一个新的不变量

$$E^4 + c^4p^4 - 2c^2p^2E^2 = m^4c^8. \tag{22}$$

式(22)对于 $\boldsymbol{v}$ 和 $\boldsymbol{v}_1$ 表象都同样是正确的. 从式(22)可以得到在芬斯勒时空中相对论的哈密顿-雅可比方程为

$$\left[\left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial z}\right)^2 - \frac{1}{c}\left(\frac{\partial S}{\partial t}\right)^2\right]^2 - m^4c^8 = 0, \tag{23}$$

它对于 $\boldsymbol{v}$ 表象和 $\boldsymbol{v}_1$ 表象也具有完全相同的形式,特别是速度合成公式形式与爱因斯坦相对论完全相同,即为

$$w = \frac{u+v}{1+uv/c^2}. \tag{24}$$

不难证明它有如下 4 个性质:

1)亚光速与另一个亚光速的合成速度仍是亚光速;

2)超光速与亚光速的合成速度是超光速;

3)2 个超光速的合成速度是亚光速;

4)光速与任何速度(亚光速、光速或超光速)的合成速度仍是光速.

这是时空转换群的基本性质. 这在爱因斯坦狭义相对论中本来也具有的,不过因为那里不允许超光速运动存在,因此有关超光速方面的性质被人为地抛弃了.

必须指出,如果 $1+\boldsymbol{v}\boldsymbol{v}_x/c^2=0$,即 $\boldsymbol{v}_x=-c^2/\boldsymbol{v}$,则 $w\to\infty$. 它意味着,如果 2 个速度彼此对偶并方向相反,则它们的合成速度是无限大速度,这是否可以作为量子纠缠发生的经典对应?猜测这很可能会成为一个对超光速粒子的有利判据:观测 2 个相互纠缠的量子态的传递速度的乘积是否为 c^2;另一方面,让表观速度相同的正反粒子对碰撞观察是否有类似量子纠缠的现象发生.

2.4 芬斯勒时空中的"突变" 利用时空突变的概念,时空变换式(10)可以被分解为 2 部分. 当 $\beta\to1$(或 $\beta_1\to1$)时:

$$t=\frac{t'+\beta x'/c}{\sqrt{1-\beta^2}},\ x=\frac{x'+vt'}{\sqrt{1-\beta^2}},\ y=y',\ z=z',\ \beta=\frac{v}{c}<1; \tag{25}$$

$$t=\frac{t'+\beta x'/c}{\sqrt{\beta^2-1}},\ x=\frac{x'+vt'}{\sqrt{\beta^2-1}},\ y=y',\ z=z',\ \beta=\frac{v}{c}>1. \tag{26}$$

同样,式(13)也可被分解为 2 部分:

$$t=\frac{\beta_1 t'+x'/c}{\sqrt{\beta_1^2-1}},\ x=\frac{\beta_1 x'+ct'}{\sqrt{\beta_1^2-1}},\ y=y',\ z=z',\ \beta_1=\frac{v_1}{c}>1; \tag{27}$$

$$t=\frac{\beta_1 t'+x'/c}{\sqrt{1-\beta_1^2}},\ x=\frac{\beta_1 x'+ct'}{\sqrt{1-\beta_1^2}},\ y=y',\ z=z',\ \beta_1=\frac{v_1}{c}<1. \tag{28}$$

变换式(25)和(27)有如下 2 个共同的主要性质:

1)它们保持 $\mathrm{d}s_v^2$ 和 $\mathrm{d}s'^2_v$ 之间的相同符号,即

$$\mathrm{d}s_v^2=\mathrm{d}s'^2_v. \tag{29}$$

2)它们的逆变换为

$$t'=\frac{t-\beta x/c}{\sqrt{1-\beta^2}},\ x'=\frac{x-vt}{\sqrt{1-\beta^2}},\ y'=y,\ z'=z;\ \beta<1. \tag{30}$$

$$t'=\frac{\beta_1 t-x/c}{\sqrt{\beta_1^2-1}},\ x'=\frac{\beta_1 x-ct}{\sqrt{\beta_1^2-1}},\ y'=y,\ z'=z;\ \beta_1>1. \tag{31}$$

即这些变换保持 x、t 和 x'、t' 之间的符号不变. 因此,它们都被称为类时变换,且式(25)被称为类时变换的类时表象(TRTT),而式(27)被称为类时变换的类空表象(SRTT).

同样,转换式(26)和(28)也有如下 2 个共同的主要性质:

1)它们将改变 $\mathrm{d}s_v^2$ 和 $\mathrm{d}s'^2_v$ 之间的符号,即

$$\mathrm{d}s_v^2=-\mathrm{d}s'^2_v. \tag{32}$$

2)它们的逆变换为

$$-t'=\frac{t-\beta x/c}{\sqrt{\beta^2-1}},\ -x'=\frac{x-vt}{\sqrt{\beta^2-1}},\ y'=y,\ z'=z;\ \beta>1. \tag{33}$$

$$-t'=\frac{\beta_1 t-x/c}{\sqrt{1-\beta_1^2}},\ -x'=\frac{\beta_1 x-ct}{\sqrt{1-\beta_1^2}},\ y'=y,\ z'=z;\ \beta_1<1. \tag{34}$$

即这些变换改变了 x、t 和 x'、t' 之间的符号. 因此,它们都被称为类空变换,且式(26)被称为类空变换的类空表象(SRST),式(28)被称为类空变换的类时表象(TRST). 通常,x 和 t 的同时变号就表示了反粒子的出现. 不过这种情况的发生通常是人为假设,这里是作为时空变换的一个分支的逆变换的自然结果.

现在,在 $\mathrm{d}s^2$ 度量下具有如下 4 种时空变换形式.

1)TRTT 即为洛伦兹变换

$$t=\frac{t'+\beta/c}{\sqrt{1-\beta^2}},x=\frac{x'+vt'}{\sqrt{1-\beta^2}},y=y',z=z',\tag{35}$$

其特征是 $\mathrm{d}s^2=\mathrm{d}s'^2$, 且逆变换使 t、x 和 t'、x'间保持符号不变, 因此, 它描述了一个亚光速运动的可观测的“实”粒子.

2)SRTT 即是洛伦兹变换的对偶速度 $v_1=c^2/v$ 的表象

$$t=\frac{\beta_1 t'+x'/c}{\sqrt{\beta_1^2-1}},x=\frac{\beta_1 x'+ct'}{\sqrt{\beta_1^2-1}},y=y',z=z',\tag{36}$$

其特征是 $\mathrm{d}s^2=\mathrm{d}s'^2$, 且逆变换使 t、x 和 t'、x'间保持符号不变, 因此, 它描述了一个超光速运动的不可观测的“虚”粒子.

3)SRST 恰好是超光速洛伦兹变换

$$t=\frac{t'+\beta x'/c}{\sqrt{\beta^2-1}},x=\frac{x'+vt'}{\sqrt{\beta^2-1}},y=y',z=z',\tag{37}$$

其特征是 $\mathrm{d}s^2=-\mathrm{d}s'^2$, 且逆变换使 t、x 和 t'、x'发生符号改变, 因此, 它描述了一个超光速运动的不可观测的“虚”反粒子.

4)TRST 即是超光速洛伦兹变换的对偶速度 $v_1=c^2/v$ 的表示

$$t=\frac{\beta_1 t'+x'/c}{\sqrt{1-\beta_1^2}},x=\frac{\beta_1 x'+ct'}{\sqrt{1-\beta_1^2}},y=y',z=z',\tag{38}$$

其特征是 $\mathrm{d}s^2=-\mathrm{d}s'^2$, 且逆变换使 t、x 和 t'、x'间发生符号改变, 因此, 它描述了一个亚光速运动的可观测“实”反粒子.

今后将采用最后给定的 4 种在 $\mathrm{d}s^2$ 下的时空变换形式.

再看式(10)和(13)逆变换中取±号的意义: 理论上它们是区别类时或类空变换的; 观测上它们是区别正、反粒子的.

上述的动力学量也可分解为类时和类空 2 部分:

当 $\beta\to1$(或 $\beta_1\to1$)时, 由式(17) ~ (20)可得

$$p^{\mathrm{T}}(v)=\frac{mv}{\sqrt{1-\beta^2}},E^{\mathrm{T}}(v)=\frac{mc^2}{\sqrt{1-\beta^2}},M^{\mathrm{T}}(v)=\frac{m}{\sqrt{1-\beta^2}},\beta<1;\tag{39}$$

$$p^{\mathrm{S}}\{v\}=\frac{-mv}{\sqrt{\beta^2-1}},E^{\mathrm{S}}(v)=\frac{-mc^2}{\sqrt{\beta^2-1}},M^{\mathrm{S}}(v)=\frac{-m}{\sqrt{\beta^2-1}},\beta>1;\tag{40}$$

同时有关系:

$$p^{\mathrm{T}}(v)=\frac{mv}{\sqrt{1-\beta^2}}=\frac{mc}{\sqrt{\beta_1^2-1}}=\frac{1}{c}E^{\mathrm{T}}(v_1);\tag{41}$$

$$E^{\mathrm{T}}(v)=\frac{mc^2}{\sqrt{1-\beta^2}}=\frac{mv_1c}{\sqrt{\beta_1^2-1}}=cp^{\mathrm{T}}(v_1);\tag{42}$$

$$M^{\mathrm{T}}(v)=\frac{m}{\sqrt{1-\beta^2}}=\frac{\beta_1 m}{\sqrt{\beta_1^2-1}}=\beta_1 M^{\mathrm{T}}(v_1);\tag{43}$$

而

$$p^{\mathrm{S}}(v)=\frac{-mv}{\sqrt{\beta^2-1}}=\frac{-mc}{\sqrt{1-\beta_1^2}}=\frac{1}{c}E^{\mathrm{S}}(v_1); \tag{44}$$

$$E^{\mathrm{S}}(v)=\frac{-mc^2}{\sqrt{\beta^2-1}}=\frac{-mv_1c}{\sqrt{1-\beta_1^2}}=cp^{\mathrm{S}}(v_1); \tag{45}$$

$$M^{\mathrm{S}}(v)=\frac{-m}{\sqrt{\beta^2-1}}=\frac{-\beta_1 m}{\sqrt{1-\beta_1^2}}=\beta_1 M^{\mathrm{S}}(v_1). \tag{46}$$

2.5 芬斯勒时空中4种表象的物理特征

1)亚光速运动亚光速表象(TRTT)

$$p^{\mathrm{T}}(v)=\frac{mv}{\sqrt{1-\beta^2}},E^{\mathrm{T}}(v)=\frac{mc^2}{\sqrt{1-\beta^2}},M^{\mathrm{T}}(v)=\frac{m}{\sqrt{1-\beta^2}}; \tag{47}$$

2)亚光速运动超光速表象(SRTT)

$$p^{\mathrm{T}}(v_1)=\frac{mv_1}{\sqrt{\beta_1^2-1}},E^{\mathrm{T}}(v_1)=\frac{mc^2}{\sqrt{\beta_1^2-1}},M^{\mathrm{T}}(v_1)=\frac{m}{\sqrt{\beta_1^2-1}}; \tag{48}$$

3)超光速运动超光速表象(SRST)

$$p^{\mathrm{S}}(v)=\frac{-mv}{\sqrt{\beta^2-1}},E^{\mathrm{S}}(v)=\frac{-mc^2}{\sqrt{\beta^2-1}},M^{\mathrm{S}}(v)=\frac{-m}{\sqrt{\beta^2-1}}; \tag{49}$$

4)超光速运动亚光速表象(TRST)

$$p^{\mathrm{S}}(v_1)=\frac{-mv_1}{\sqrt{1-\beta_1^2}},E^{\mathrm{S}}(v_1)=\frac{-mc^2}{\sqrt{1-\beta_1^2}},M^{\mathrm{S}}(v_1)=\frac{-m}{\sqrt{1-\beta_1^2}}. \tag{50}$$

下面开始出现了与传统的物理学之间的一点差异,表现在p、E和m之间的关系上.

对于TRTT和TRST可以得到:

$$E^{\mathrm{T2}}(v)-c^2p^{\mathrm{T2}}(v)=m^2c^4;$$
$$E^{\mathrm{S2}}(v_1)-c^2p^{\mathrm{S2}}(v_1)=m^2c^4.$$

忽略记号间的区别,有

$$E^2-c^2p^2=m^2c^4, \tag{51}$$

它描述了2个可观测粒子,即通常的亚光速粒子和超光速粒子的亚光速表象(TRST),而狄拉克认为它是“反粒子”.

对于SRST和SRTT则有

$$E^2-c^2p^2=-m^2c^4, \tag{52}$$

它描述了2个不可观测的粒子,即通常所谓的“超光速粒子”和亚光速粒子的超光速表象.通常的物理学认为式(51)描述的是亚光速运动,而当把它量子化时,得到的“增根”是描述的反粒子,但本质上来说,反粒子仅仅是相对论四阶化的结果,只是以往相对论不允许非连续变化,而加上量子化把这个非连续的“突变”过程给掩饰过去了.如果在宏观物理学中也允许“突变”,那么相对论本身就可以容纳“反粒子”,并可以赋予超光速粒子的亚光速表象的特征.这一点正好与引入“对偶速度”概念时的思路一致.

类似地, 式(52)也绝非是超光速运动的标志, 它仅是超光速运动粒子和亚光速运动粒子的超光速(或类空)表象的特征. 而由量子电动力学可知, 这是一个随时间指数衰减的解, 因此它们实际上不可能被观测到. 这也完全符合时序相对性及引入"对偶速度"概念时的分析.

所有这些特性, 可以一直推到涉及能量、动量四维表示所牵涉的方程. 式(23)分解的意义在 2.3 节已讨论过, 而式(15)的分解为

$$\left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial S}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial S}{\partial z}\right)^2-\frac{1}{c}\left(\frac{\partial S}{\partial t}\right)^2-m^2c^4=0, \tag{53}$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial S}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial S}{\partial z}\right)^2-\frac{1}{c}\left(\frac{\partial S}{\partial t}\right)^2+m^2c^4=0, \tag{54}$$

式(53)描述 TRTT 和 TRST, 而式(54)描述的 SRST 和 SRTT, 都同时包含了一个亚光速运动和超光速运动, 只是前者是可观测的类时表象, 而后者是不可观测的类空表象. 可以说, 对于物理量的分解是类时或类空运动的分解, 而对于四阶运动方程和$\pm m^2c^4$的分解是类时或类空表象的分解. 每个分解出的方程同时描述一个亚光速运动粒子和一个超光速运动粒子, 而以往被认为是描述的正反粒子对.

2.6　是超光速粒子或是"反粒子"　对比这里的处理和狄拉克"反物质"的引入, 猜想迄今人们所相信的"反物质", 就是普通物质以超光速运动时给出的"亚光速 v_1 的表象", 其真实速度为 $v=c^2/v_1$.

本文的分析与狄拉克理论唯一差别在于: 狄拉克认为, 带电粒子的"反粒子"是以电荷的变号即正负电荷间的转换为特征; 而本文研究表明, 应该再加上"质量", 即"能量"和"动量"变号的新特征. 也就是说, 凡是以光速传递的相互作用, 对所谓的"反粒子"都会发生吸引和排斥间的转换. 因此, 通常的"反粒子"也将会受到引力场的"排斥", 即如果一个"反粒子"在地球表面以速度 v"水平地"飞行了一段距离 l, 那么它将上升(而不是下降)一段距离 Δl, 且有

$$\Delta l=\frac{1}{2}g\left(\frac{l}{v}\right)^2, \tag{55}$$

这有待物理实验的尽早证实.

2.7　引力凹透镜效应　与光线引力偏转相反, "反粒子"受到引力场的排斥, 或许在宇宙空间可观测到引力场形成的"凹透镜"效应. 期待对"反物质"观测团组的观测证实.

2.8　关于反物质观测天区的建议　"类空观测"与"类时观测"本质上利用了 2 类不同的观测方法. 通常人们自然采用的是在空间同一点上设置某个观测仪器, 观测另一事物随时间的变化, 并以此变化来推断该事物的运动状态, 称其为"类时观测". 伽利略提出的观测光速的方法, 可以称它为"类空观测", 是在空间相距足够远的不同点观测几乎"同时"出现的事物. 而射电天文学中, 所观测到的"视超光速"膨胀现象[9], 恰好属于"类空观测"方法, 因此它直接观测到了超光速的速度. 而"反物质"的观测属于"类时观测", 因此在这些天区应该更容易观测到"反物质".

3　结论

1)在某个"力"的作用下, 如果没有动量和能量的变化, 从牛顿力学观点来看, 质量变为无限大, 而从哈密顿力学观点来看, 就是有效的作用力必然为零.

2)任何以有限速度 v 传递的相互作用力, 必然以其传递速度为界, 当"被作用"客体相对速度超过 v 时, 将会发生吸引和排斥间的相互转换. 如果此观念被证实, 那么"光速不变原理"就是引力和电磁力相互作用、是以光速传递的直接证据.

3)如果出现超光速运动, 会出现时序的相对性, 爱因斯坦由此认为破坏了"因果性"原则, 从而错误地否定超光速运动存在的可能性. 而"反物质"的出现恰恰只需时间反转, 却没有造成反转的物理原因. 因此我们猜测所谓"反物质"就是"正物质"做超光速运动条件下的"亚光速表象".

谨以此文热烈祝贺北京师范大学天文系成立 60 周年!

4 参考文献

[1] 国际测量界的百年夙愿终成真[EB/OL]. (2018-11-26)[2019-03-21]. https://www.sohu.com/a/277947781_823506
[2] DIRAC P A M. The principles of quantum mechanics[M]. Oxford: Clarendon Press, 1958
[3] DIRAC J N. Contribution to the early development of quantum mechanics[M] //TAYLOR J S. Tributes to Paul Dirac 63. Bristol:Adom Hilger Ltd,1987
[4] ZEEMAN E C.Catastroph theory[M].Hoboken: Addison-Wesley Publishing Company, 1977
[5] 萨缪尔. 爱因斯坦的圣经[M]. 李斯, 马永波, 译. 海口: 海南出版社, 2000
[6] 曹盛林. 芬斯勒时空中的相对论及宇宙论[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2001
[7] CAO S L. Theory of relativity and super-luminal speeds[J]. Astrophysics and Space Science, 1992, 193: 123
[8] GOSWAMI G K, PRADHAN A, BEESHAM A. Friedmann-Robertson-Walker accelerating universe with interactive dark energy[J]. Pramana, 2019, 93(6): 89
[9] FENG L, LI H L, ZHANG J F. Exploring neutrino mass and mass hierarchy in interacting dark energy models[J]. Science China Physics, Mechanics & Astronomy, 2020, 63(2): 220401
[10] LIU Z E, QIN H F, ZHANG J, et al. Reconstructing equation of state of dark energy with principal component analysis[J]. Physics of the Dark Universe, 2019, 26: 100379

On structural unity of basic theory of physics based on force, energy, momentum and action framework

CAO Shenglin
(Department of Astronomy, Beijing Normal University, 100875, Beijing, China)

Abstract Planck discovered quantum constants in 1900, Einstein published "On the electrodynamics of motion" in 1905. Since then, special relativity and quantum mechanics became two pillars of modern physics. But these two pillars are not harmonious, especially regarding any internal unity between them and classical Newtonian theory. Here we point out that if the amount of action is regarded as a physical quantity equal to force, energy and momentum, then Newtonian mechanics, quantum mechanics, relativity and Dirac's relativistic electronic theory appear to have a unified mathematical basis. Thus it is presumed that commonly considered "antimatter" is essentially the representation of superluminal matter. It is predicted that they are repelled in a gravitational field.

Keywords force; energy; momentum; action; Finsler's space-time; antiparticle; superluminal particle