苏联大百科全书选譯

相对論·万有引力

高等教育出版社

相対論·万有引力

林　立　成　譯

高等教育出版社出版　北京宣武門内承恩寺 7 号

（北京市书刊出版业营业許可証出字第 054 号）

人民教育印刷厂印装　新华书店发行

統一书号 13010·393 开本 787×1092 1/32 印張 14/16

字数 20,000 印数 1—2,500 定价（8）¥0.14

1959 年 9 月第 1 版　1959 年 9 月北京第 1 次印刷

相 对 論

內　容:

相对論就是現代物理学的时空理論，这个名称是在历史上形成的。辯証唯物主义教导我們說，空間和时間是物質的存在形式。“世界上除了运动着的物質，什么也沒有，而运动着的物質只有在空間和时間之內才能运动。”（列宁全集，第14卷，第179頁，人民出版社）。因此，也可以說，相对論是运动物質的空間-时間关系的学說。通常把相对論分为所謂“狹义相对論”（参閱第II—VII节）和所謂“广义相对論”，广义相对論的更正确的名称是万有引力理論（参閱第VIII节及**万有引力**条）

I. 旧的时空理論

在現代的时空观念产生之前，有跟欧几里得、伽利略和牛頓这些名字相联系的时空观念。人們首先假定，空間是三維的，遵从欧几里得几何学（欧几里得几何学的原理可以看作剛体的空

間性質的合理的数学抽象)。除了三維的空間流形之外，人們还考察了跟它无关的一維流形——时間。时間概念是由于研究物体运动規律而明确起来的，牛頓力学就是这些規律的最准确的表述。

对于时空理論說来，特别重要的是牛頓第一定律。根据这个定律，不受力作用的(例如，离开一切其它物体足够远的)物体匀速直綫地运动着。这个定律的意义是：它断定有慣性参考系統(参閱該条)存在，在慣性参考系統中，其余的运动規律也都是正确的。为了强調这个意义，可以把牛頓第一定律和第二定律表述如下：

I. 存在着一种参考系統，在这种参考系統中，不受力作用的物体匀速直綫地运动着。

II. 在这种参考系統中，动量的变化率和作用力成正比，方向和作用力相同。

牛頓第三定律的表述和通常一样，而且它在这种参考系統中显然是正确的。

牛頓力学的定律都滿足伽利略相对性原理。根据这个原理，整个系統的匀速直綫运动，并不影响系統内部发生的力学过程的进行。跟其它的物理学原理一样，伽利略相对性原理起源于經驗，并且是实驗事实的合理概括。

在相对地作匀速直綫运动的两个参考系統之間，坐标和时間都是用伽利略变换式来联系的(我們暫时停留在牛頓力学观念的范圍内)。这些变换式可以根据欧几里得几何学对空間的正确性、长度和时間間隔的不变性等假設推出。这些假設可以写成下列数学形式：

$$(x_1-x_2)^2+(y_1-y_2)^2+(z_1-z_2)^2=$$
$$=(x_1'-x_2')^2+(y_1'-y_2')^2+(z_1'-z_2')^2, \tag{1}$$

$$t_1 - t_2 = t'_1 - t'_2. \tag{2}$$

带撇的字母指新参考系統的变数，不带撇的字母指旧参考系統的变数。新旧变数間的最普遍的变换式，可以从下述各点得出：1)坐标和时間的参考原点的移动；2)坐标系的空間轉动，包括反射；3)下列形式的变换：

$$x' = x - V_x t;\ \ y' = y - V_y t;\ \ z' = z - V_z t, \tag{3}$$

$$t' = t, \tag{4}$$

这称为伽利略变换。式中的常数 V_x, V_y, V_z 的物理意义是：一个参考系統相对于另一个参考系統的分速度。

以三維的矢量記号表示，伽利略变换可写成：

$$\boldsymbol{r}' = \boldsymbol{r} - \boldsymbol{V}t;\ \ t' = t. \tag{3'}$$

公式(4)虽然簡单，但应該特别加以注意的是：它肯定了时間的絕对性。根据这个公式，两事件（即使相互远离的两事件）的同时性是一个絕对的概念，跟任何附加条件无关。

由此可見，伽利略变换式是一些假設的結果，这些假設是以欧几里得——伽利略——牛頓的时空理論为基础的。

我們可以根据物理学后来的发展，来評定这个理論的优点和缺点。空間理論的数学形式（欧几里得几何学）非常完美，跟自然界的符合又极其准确，这些无疑是优点。欧几里得几何学的准确性是这样大，以致它独占地統治了2000年；而必須罗巴切夫斯基的天才，才能建立新的更普遍的一种几何学，才能对欧几里得几何学在物理空間的适用性提出怀疑。

上述时空理論和物体运动理論（牛頓力学）有着联系，是它的进一步的优点。至于空間和时間的联系，在上述理論中是显得远远不够的。对匀速直綫运动的理論，空間和时間的联系曾起了特别重要的作用，但这种联系就仅仅显示在这一作用中，建立空間和时間的密切得多的联系，是相对論的功績。相对論是

爱因斯坦(参閱該条)創立的，但洛倫茲(参閱該条)为相对論作了准备。

II. 相对論的基本原理

相对論采取了旧理論的一些基本原理，沒有加以改变，这些原理就是：欧几里得几何学对空間的正确性，牛頓第一定律和广义的伽利略相对性原理。广义的伽利略相对性原理是說："整个封閉物質系統的匀速直綫运动，并不影响在系統內部发生的过程的进行。"这一句話表示相对論不仅适用于力学过程，而且也适用于封閉系統內部的所有其它过程(其中包括电磁过程)。相对論把这原理跟"光速不变原理"結合在一起，根据光速不变原理，光速与光源速度无关。

相对論的基本原理，最好是概括为相对性原理和自由空間中光波波陣面傳播定律的結合。

若

$$\omega(x, y, z, t) = \text{const} \tag{5}$$

是运动着的波面的方程，那么，光波波陣面的傳播定律有如下形式：

$$\frac{1}{c^2}\left(\frac{\partial\omega}{\partial t}\right)^2 - \left[\left(\frac{\partial\omega}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial\omega}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial\omega}{\partial z}\right)^2\right] = 0. \tag{6}$$

这个定律是从电磁場方程(麦克斯韦方程)推出的。根据相对論，不論那一种作用(包括重力作用)的傳播，都有一个极限速度，而这极限速度等于自由空間中的光速。

相对論的基本假設就是：方程(6)虽然是从麦克斯韦方程推出的，跟光波的特性沒有关系，但有着十分普遍的性质，不論是那种性质的波陣面以极限速度傳播，这种傳播都跟方程(6)有关。这假設的一切推論完全为实驗証实。

方程(6)是下述事实的数学表达式：波面(波陣面)上的所有各点沿着波面的法綫方向以等于光速的常速度运动着。光綫就是由这些点的軌迹所确定的，它的直綫性也可从方程(6)推得。方程(6)反映了这样的事实：空間的几何学是欧几里得几何学。最后，它包含了光速跟光源速度无关的断言。

方程(6)具有基本的性質，因此可以把它作为整个时空理論的基础。首先要注意，在确定空間概念时以及在几何量的測量方法中，光和光的傳播定律起着基本的作用。虽然長度标准(剛尺)的不变性，已經利用把长度标准与光波波长进行比較的方法檢驗过了(光波波长的不变性是量子規律所决定的)。但利用剛尺只能測定很短的距离，較长的距离通常就用**三角測量**(参閱該条)法来确定。但三角測量的根据是光綫的直綫性和欧几里得几何学的适用性，而这两者都已包含在方程(6)中了。

三角測量早已用来測量地面距离。何况，当我們涉及天文距离时，那就更不能用什么剛尺来測量了。因此，我們的距离概念(因而，几何概念也是这样)跟光的傳播定律的联系，比起跟剛体性質的联系来，要密切得多。

在原則上，无綫电大地測量和无綫电定位是确定距离的特别重要的方法。然而，这些方法也是以利用电磁波傳播定律为根据的，归根到底，就是以方程(6)为根据的。

所有这些考慮証明了这样的事实：表述为方程(6)那样形式的自由空間中的光波波陣面傳播定律，表达着空間和时間的性質。

III. 慣性参考系統和洛倫兹变换

在相对論中，可以基于牛頓第一定律和波陣面傳播定律，来

定义慣性参考系統。在旧理論中，牛頓第一定律要求有慣性参考系統存在，这就可以看作空間和时間性質的表征。在新理論中，这些性質，是利用慣性参考系統的新定义来表征得更完善。我們可以作如下的断言：

I. 空間和时間的性質是这样的：有一种参考系統存在，在这种参考系統中：1）凡不受力作用的物体都作匀速直綫运动，2）波陣面傳播定律有(6)的形式。从現在起，我們把这种参考系統称为慣性参考系統。

我們可以把相对性原理跟这个論断放在一起，相对性原理已在第二节中表述过了，它是說：

II. 整个封閉物質系統的匀速直綫运动，不影响在系統內部发生的过程的进行。

原理 I 可以看作牛頓第一定律的推广，原理 II 可以看作伽利略相对性原理的推广。

从原理 I 和原理 II 可以推知，如果已經有一个慣性参考系統，那么，相对于这个系統作匀速直綫运动的其它一切系統也是慣性系統。因而，就发生了这样的問題：如何建立从一个慣性系統轉到另一个慣性系統的轉換規則，确切些說，就是如何建立一个慣性参考系統中的坐标和时間 (x', y', z', t') 跟另一个慣性参考系統中的坐标和时間 (x, y, z, t) 之間的函数关系。可以利用純粹的数学方法，根据原理 I 所包含的慣性参考系統的定义，来建立这种关系的最普遍的形式。可以証明，这种变换式必定是綫性的，并使下式保持不变：

$$c^2(t_1'-t_2')^2-[(x_1'-x_2')^2+(y_1'-y_2')^2+(z_1'-z_2')^2]=$$
$$=c^2(t_1-t_2)^2-[(x_1-x_2)^2+(y_1-y_2)^2+(z_1-z_2)^2], \qquad (7)$$

这与伽利略变換式使表达式(1)，(2) 保持不变相类似。对于无限接近的两点和无限小的时間間隔，不变式(7)采取如下形式：

$$ds^2=c^2dt^2-(dx^2+dy^2+dz^2). \tag{8}$$

从一个慣性参考系統轉到另一个慣性参考系統的新变换式称为洛倫兹变換式。

最普遍的洛倫兹变換可从下述各点得出：1) 坐标和时間的参考原点的移动，2)坐标系的空間轉动，包括反射，3)如下形式的变換(以三維的矢量記号表示)：

$$\boldsymbol{r}'=\boldsymbol{r}-\boldsymbol{V}t+\left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}-1\right)\frac{\boldsymbol{V}}{V^2}(\boldsymbol{V}\cdot\boldsymbol{r}-V^2t) \tag{9}$$

$$t'=\frac{1}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}\left[t-\frac{1}{c^2}(\boldsymbol{V}\cdot\boldsymbol{r})\right]. \tag{10}$$

公式 (9) 和 (10) 是伽利略变换式的推广。不难看出，当 $V^2 \ll c^2$ 时，公式(9)和(10)便化为伽利略变換式。跟伽利略变換式中的 $\boldsymbol{V}$ 一样，这里的 $\boldsymbol{V}$ 也是两个参考系統的相对运动速度。

如果把 $\boldsymbol{V}$ 的方向作为 x 軸，那么，公式(9)和(10)便取下列形式：

$$x'=\frac{x-Vt}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}};\ y'=y;\ \ z'=z \tag{9'}$$

$$t'=\frac{t'-\frac{V}{c^2}x}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}. \tag{10'}$$

在这里，非常重要的是，时間也受到变換。这就引起了长度概念和期間概念的相对性。

在旧理論中，物体的坐标也不是物体本身所固有的量，它是表达物体对于某一参考系統的关系(物体的相对位置)。同样，关于任一事件发生的时間，也可以說，当指出一个时刻时，总是指一定的时間参考原点而看。但在新理論中，为了指出物体的

长度和过程的期間，并不需要引用参考系統，因为长度和期間是由公式(1)和(2)确定的，跟参考系統沒有关系。

在新理論中，就不是这样了，因为公式(1)和(2)不再成立。現在，不論是长度，还是时間間隔，都依賴于物体或过程对参考系統的关系。相对于高速地运动着的参考系統，跟相对于低速或靜止的参考系統比較起来，同一过程将較慢地进行，而长度会沿运动方向縮短（洛倫茲收縮）。这种現象的原因，是因为客体对参考系統的关系发生了变化。应該强調指出，物体或过程对参考系統的关系是客观的（不依我們的意識轉移），就跟物体的一切物理性質和其它性質一样。

IV. 間隔概念

我們来討論两个限制在点处发生的事件，即討論两个点-瞬間。設在某一参考系統中，其中一个事件的坐标和时間是 (x_1, y_1, z_1, t_1)；另一事件的坐标和时間是 (x_2, y_2, z_2, t_2)。在这个参考系統中，它們之間的空間距离将等于：

$$r_{12}=\sqrt{(x_1-x_2)^2+(y_1-y_2)^2+(z_1-z_2)^2}, \tag{11}$$

它們之間的时間間隔将等于 t_2-t_1。让我們来比較一下，这个时間間隔和光通过距离 r_{12} 所用的时間$\left(等于\frac{1}{c}r_{12}\right)$。如果这两事件的时間間隔这样大，使得

$$|t_2-t_1|>\frac{1}{c}r_{12}, \tag{12}$$

那么，在通常意义上說来，这两个事件是順序的，即其中一事件将先于另一事件。因为不等式(12)可写成下列形式：

$$c^2(t_1-t_2)^2-r_{12}^2>0, \tag{13}$$

而上式的左边是一个不变量，所以两事件是順序的这一性質，跟

参考系統无关，因而，在这个意义上説来，这一性质是絕对的。正量

$$T=\sqrt{(t_1-t_2)^2-\frac{1}{c^2}r_{12}^2} \tag{14}$$

也跟参考系統无关，它称为类时間隔。

如果这两事件的距离r_{12}这样大(或間隔 t_2-t_1 这样小)，使得

$$-\frac{1}{c}r_{12}<t_2-t_1<\frac{1}{c}r_{12}, \tag{15}$$

那么，不等式(15)中的差 t_2-t_1 的数值甚至符号都将依赖于参考系統；不指出参考系統，就不能談到那一个事件先于或后于另一事件，在这样的意义上説来，这两个事件实际上是同时发生的。

在这种場合，这两个事件称为准同时事件。不等式(15)可以写成下列不变式：

$$c^2(t_1-t_2)^2-r_{12}^2<0 \tag{16}$$

正量

$$R=\sqrt{r_{12}^2-c^2(t_1-t_2)^2} \tag{17}$$

称为这两个事件之間的类空間隔。

限制在点处发生的事件分为順序的(有类时間隔 T)和准同时的(有类空間隔 R)，这反映了空間和时間的深刻的性质，因此具有重大的原則性意义。让我們来指出这种划分和因果律的关系。两个事件必須是順序的，其中一个事件才可能是另一事件的原因。同时，彼此之間有因果关系的两个事件之間的順序性，保持有絕对的性质，即原因总是先于結果。另一方面，对于准同时事件，差 t_1-t_2 就沒有絕对性；特別是，同时性概念是相对的，在一个参考系統中是同时的，在另一个参考系統中就不是同时的。

因为运动物体的长度，是这物体的两端在同一时刻的位置之間的距离，所以，同时性概念的相对性显然将导致长度的相对性（在第Ⅲ节末提到过的洛倫兹收縮）。

V. 相对論的論証

相对論所以产生在20世紀初，是因为在当时需要把运动物体的电动力学中所确立的一些实驗事实綜合起来。迈克耳孙实驗（參閱該条）是这些实驗中的一个，这个实驗証明，光各向同性地（以同一速度）向一切方面傳播，并且地球沿其軌道的运动并不扰动这种各向同性（根据光的力学理論，这样的扰动是能够产生的，光的力学理論利用了至今还存在的宇宙以太或世界以太的概念，它在19世紀占統治地位）。德西捷尔考慮了双星所发出的光的速度，这可以用来論証在第Ⅱ节中說过的光速与光源速度无关的假設：假如向我們靠近来的星体发出的光的速度，比离远去的星体发出的光大，那么，双星沿其軌道的視运动将会是不規則的，但在事实上，这并沒有观察到。因此，可以認为，在第Ⅱ节中表述的相对論基本原理也已用直接实驗驗証过了。

然而，对于相对論最好的証明，是把相对論应用到物理学的各个领域（主要是經典力学，量子力学，量子电动力学和基本粒子理論）所取得的无数成就。原子能的全部学說完全根据相对論所建立的質量和能量的关系式［參閱下面的公式(25)］。

VI. 力学和电动力学的基本方程

让我們引入經典力学的基本方程和电动力学的基本方程——麦克斯韦-洛倫兹方程組。用三維的矢量記号时，这个方

程組有下列形式:

$$\operatorname{rot}\boldsymbol{E}+\frac{1}{c}\frac{\partial \boldsymbol{H}}{\partial t}=0;\quad \operatorname{div}\boldsymbol{H}=0; \tag{18a}$$

$$\operatorname{rot}\boldsymbol{H}-\frac{1}{c}\frac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t}=\frac{4\pi}{c}\boldsymbol{j};\quad \operatorname{div}\boldsymbol{E}=4\pi\rho; \tag{18б}$$

式中，$\boldsymbol{E}$ 和 $\boldsymbol{H}$ 是电場矢量和磁場矢量，ρ 是电荷密度，$\boldsymbol{j}$ 是电流密度($\boldsymbol{j}=\rho\boldsymbol{v}$，这里，$\boldsymbol{v}$ 是电荷的运动速度)。后面两个量满足下列关系式:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\operatorname{div}\boldsymbol{j}=0, \tag{19}$$

这个关系式表达电荷守恒定律。

用坐标形式时，方程(18a)可写成:

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\partial E_z}{\partial y}-\frac{\partial E_y}{\partial z}+\frac{1}{c}\frac{\partial H_x}{\partial t}=0 \text{ 等等,}\\ &\frac{\partial H_x}{\partial x}+\frac{\partial H_y}{\partial y}+\frac{\partial H_z}{\partial z}=0,\end{aligned}\right\} \tag{18'a}$$

方程(18б)取下列形式:

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\partial H_z}{\partial y}-\frac{\partial H_y}{\partial z}-\frac{1}{c}\frac{\partial E_x}{\partial t}=\frac{4\pi}{c}j_x \text{ 等等,}\\ &\frac{\partial E_x}{\partial x}+\frac{\partial E_y}{\partial y}+\frac{\partial E_z}{\partial z}=4\pi\rho\end{aligned}\right\} \tag{18'б}$$

关系式(19)可化为下列形式:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\frac{\partial j_x}{\partial x}+\frac{\partial j_y}{\partial y}+\frac{\partial j_z}{\partial z}=0, \tag{19'}$$

而

$$j_x=\rho v_x,\quad j_y=\rho v_y,\quad j_z=\rho v_z. \tag{19''}$$

这个方程組完全满足从空間和时間性質推出的相对論要求，这种要求就是：即使按洛倫茲变換式(9)和(10)轉到新的坐

标和时間 r' 和 t'，并且，即使随着这一轉换同时发生場矢量 E 和 H 以及量 ρ 和 j 的对应变換，而方程組(18)—(19)仍取自己原先的形式。方程的这个特性称为協变性。剛才所說的場矢量变换可以写成：

$$E'=\frac{V}{V^2}(V\cdot E)+\frac{1}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}\left\{E-\frac{V}{V^2}(V\cdot E)+\frac{1}{c}[V\times H]\right\}$$

$$H'=\frac{V}{V^2}(V\cdot H)+\frac{1}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}\left\{H-\frac{V}{V^2}(V\cdot H)-\frac{1}{c}[V\times E]\right\} \tag{20}$$

如果速度 V 的方向和 x 軸相同，那么，采取分量形式时，(20)的前三个方程可以写成：

$$E'_x=E_x;\quad E'_y=\frac{E_y-\frac{V}{c}H_z}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}};\quad E'_z=\frac{E_z+\frac{V}{c}H_y}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}. \tag{20'a}$$

类似地，磁場表达式可写成：

$$H'_x=H_x;\quad H'_y=\frac{H_y+\frac{V}{c}E_z}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}};\quad H'_z=\frac{H_z-\frac{V}{c}E_y}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}. \tag{20'б}$$

为了获得密度和电流矢量的变换式，可在(9)和(10)式中，用 ρ 代替 t，用 j 代替 r[这对应于在(9')和(10')式中，用 ρ 代替 t，以 j_x, j_y, j_z 代替 x, y, z]。在 E' 的表达式中，不仅含有 E，还含有 H；而在 H' 的表达式中，不仅含有 H，还含有 E，这一情况表明，电場和磁場間存在着密切的联系。于是，純粹的电場 E(当 $H=0$)，在运动着的参考系統中，就不仅轉变为电場，还轉变为磁場($H'\neq 0$)。

其次，我們来指出在外場中的带电質点(質量 m，电荷 e)的

运动方程:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{m\boldsymbol{v}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\right)=e\left(\boldsymbol{E}+\frac{1}{c}[\boldsymbol{v}\times\boldsymbol{H}]\right) \tag{21}$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\right)=e(\boldsymbol{v}\cdot\boldsymbol{E}). \tag{22}$$

方程(22)是方程(21)的結果，但由于它的重要性，我們把它单独写出来了。

用分量形式时，(21)中的第一个方程可以写成:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{mv_x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\right)=e\left\{E_x+\frac{1}{c}(v_yH_z-v_zH_y)\right\}, \tag{21'}$$

方程(22)将取下列形式:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}\right)=e(v_xE_x+v_yE_y+v_zE_z). \tag{22'}$$

方程(21)和(22)也具有协变性，即把(9)—(10)式中的坐标和时間变换以获得电磁場的变换(20)时，这两个方程保持不变。

在方程(21)的右边，是洛倫茲力的表达式，洛倫茲力不仅依賴于电場，还依賴于磁場。在(22)式的右边是功率，即单位时間内場对粒子所作的功。洛倫茲力和相应的功率使下列两个量发生变化:

$$\boldsymbol{P}=\frac{m\boldsymbol{v}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}};\ \ W=\frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}. \tag{23}$$

这两个量在方程(21)和(22)对时間求导数的符号旁边。其中第一个量应解释为粒子的动量，第二个量应解释为粒子的能量。事实上，根据一般的力学原理，(23)中的两个量的变化，一定分

則等于动量和能量的变化。从量的变化轉到量本身时，会出現一个常数，这个常数决定于协变性要求：量P和$\frac{W}{c^2}$一定要組成四維矢量（即当轉到新的参考系統时，它們象r和t那样地变换）。同时可以得出，当$v=0$时，有$P=0$，这是跟旧观念符合的。但当$v=0$时，能量W的值并不等于零：

$$W_0=mc^2. \tag{24}$$

这个結果跟旧观念相矛盾，但完全为实驗所証实。只要把M理解为依賴于速度的量

$$M=\frac{m}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}, \tag{25}$$

那么，質量和能量的类似关系式

$$W=mc^2 \tag{26}$$

对任意速度也能成立。量M应当作質量概念的合理推广。在动量P的表达式(23)中，它就是速度v旁边的因子。量M簡称質量，量m称为靜止質量。与此对应，量W簡称能量，量W_0称为靜止能量。

方程(21)和(22)，已为一直到近于光速的最高速实驗所証实（参閱宇宙射線、帶电粒子的加速器等条）。同时，还驗証了質量M对速度的关系式，这个关系式适用于一切物体。它表明：当物体的速度接近于光速时，物体的質量便无限地增大。因此，根据相对論，不論在那一个参考系統中，凡是靜止質量不等于零的物体都不能达到光速。这个情况直观地証实了光速的极限性質。

質量和能量的关系式(25)有极普遍的性質；它不仅对于这里討論过的情況，即靜止質量恒定的質点是正确的，就是对于任何的混合物体或物体系統，在它們的內部可能发生改变靜止質

量的过程，关系式(25)也是正确的。这个关系式表达了質量和能量成正比的基本定律。这个定律的建立，指出了与实物相联系的能量轉变为与輻射相联系的能量的可能性，因而成了整个現代原子核物理学的基础。

VII. 相对論方程的协变性

相对論建立了空間和时間的密切联系，这是它的基本的原则性意义。相对論加之于物理定律公式的那些普遍要求，即方程协变性的要求，就是这种联系的反映。方程协变性的要求是說：一个慣性參考系統中写出的方程，在数学上，必須相当于其它任何慣性參考系統中写出的同一形式的方程。因为从一个慣性系統轉到别的慣性系統，是通过洛倫茲变换来进行的，所以，这里所指的，就是对于洛倫茲变换的协变性。方程的协变性的一般形式，是应用特殊的数学工具，即四維空-时流形中的矢量計算和張量計算(以及旋量計算)来得到的。在第VI节中所討論的場方程組(18)—(19)和運动方程(21)—(22)，都是协变方程的重要例子。

根据方程协变性的要求，人們建立了各种物理量的关系，例如，电場和磁場的关系[公式(20)]，或能量和动量的关系，或一系列被能量張量所統一起来的各个量(密度，能流，动量，張力)的关系。在这些关系中，有許多已經在以前通过实驗途徑摸索出来，但相对論指出，这些关系乃是空間和时間的一般性質所造成的，因而，首先确定了它們的根源和普遍性質。

不論在經典物理領域，还是在量子物理領域，要研究新現象和发現新規律，就必須掌握从相对論推出的协变性要求。例如，我們已經看到，从协变性考慮推出了質量和能量成正比的基本