Astronomy and Astrophysics 天文与天体物理, 2015, 3, 13-18
Published Online July 2015 in Hans. http://www.hanspub.org/journal/aas
http://dx.doi.org/10.12677/aas.2015.33003

The Conservation Law of Energy-Momentum Tensor Density and the Origin of Matter

Fangpei Chen

School of Physics and Opto-Electronic Technology, Dalian University of Technology, Dalian Liaoning
Email: chenfap@dlut.edu.cn

Received: Jul. 1st, 2015; accepted: Jul. 14th, 2015; published: Jul. 17th, 2015

Abstract

It could be proved that there must be some definite relationships between two definitions of the energy-momentum tensor density, if the conservation law of the energy-momentum tensor density is all satisfied by these two different definitions of the energy-momentum tensor density for the physical system which includes the gravity phenomenon. These relationships provide the possibility that the matter could be created from nothing throughout the space-time which might explain the origin of the matter. This paper has published some of the views of the author.

Keywords

Lagrangian, Matter Field, Gravitational Field, Energy-Momentum Tensor Density, Conservation Law, Origin of Matter

能动张量密度守恒定律与物质起源问题

陈方培

大连理工大学物理与光电技术学院，辽宁 大连
Email: chenfap@dlut.edu.cn

收稿日期：2015年7月1日；录用日期：2015年7月14日；发布日期：2015年7月17日

摘 要

可以证明，若要包括引力现象在内的物理体系在采用两种不同的能动张量密度定义时都能满足能动张

量密度守恒定律，则这两种能动张量密度定义之间必须满足一定的关系。这种关系意味着物质可从无到有在时空中各处创生出来，这就给物质的起源问题的研究提供了可能性。本文对此发表了作者的一些看法。

关键词

拉氏量，物质场，引力场，能动张量密度，守恒定律，物质起源

1. 引言

首先说明，本文所要讨论的物理体系是包括引力现象在内的物理体系。对于这类体系，既存在物质场，还存在引力场。该体系的总拉氏量可表示为[1]

$$L(t)=L_M(t)+L_G(t) \tag{1}$$

$L_M(t)$ 被称为物质的综合拉氏量，$L_G(t)$ 被称为纯引力场拉氏量。引力理论在实质上是引力规范场理论，若采用 Kibble 对引力规范场理论的研究方法[2]，可认为

$$L_M(t)=L_M\left[\psi(x);\psi_{,\mu}(x);h^i_\mu(x);\Gamma^{ij}_\mu(x)\right] \tag{2}$$

$$L_G(t)=L_G\left[h^i_\mu(x);h^i_{\mu,\lambda}(x);\Gamma^{ij}_\mu(x);\Gamma^{ij}_{\mu,\lambda}(x)\right] \tag{3}$$

上面两式中[1]，$\psi(x)$ 表示物质场，$h^i_\mu(x)$ 表示标架场，$\Gamma^{ij}_\mu(x)$ 表示标架联络场。标架场和标架联络场分别从不同角度反映了时空同引力场的特性，它们都是引力场场量。

应当指出，当引力存在时，最小作用量原理[1] $\delta\int L\mathrm{d}t=0$ 应推广为 4 维形式[1]：

$$\delta\int\iiint\sqrt{-g}L(x,y,z,t)\mathrm{d}t\mathrm{d}x\mathrm{d}y\mathrm{d}z=0 \tag{4}$$

$\sqrt{-g}$ 为度规张量行列式的开方根。在式(4)中 $\sqrt{-g}$ 的出现，是由于作用量是标量，因拉氏量 $L(x,y,z,t)$ 也是标量，故在坐标变换下，必有 $\sqrt{-g(x')}\mathrm{d}t'\mathrm{d}x'\mathrm{d}y'\mathrm{d}z'=\sqrt{-g(x)}\mathrm{d}t\mathrm{d}x\mathrm{d}y\mathrm{d}z$，才可以保证作用量是标量。令 $\Lambda(x,y,z,t)=\sqrt{-g}L(x,y,z,t)$，$\Lambda(x,y,z,t)$ 称为拉氏量密度[1]。因 $\Lambda(x,y,z,t)\mathrm{d}x\mathrm{d}y\mathrm{d}z$ 相当于 $L(x,y,z,t)$，故 $\Lambda(x,y,z,t)$ (或 $\sqrt{-g}L(x,y,z,t)$)被称为拉氏量密度。

我们假定所讨论的物理体系满足 Poincare’群局部变换不变性，这是该物理体系之能动张量密度守恒定律得以成立的条件。由拉氏量密度可求出能动张量密度；

对此，可存在不同的能动张量密度的定义。本文将证明，若要包括引力现象在内的物理体系在采用两种不同的能动张量密度定义时都能满足能动张量密度守恒定律，则这两种能动张量密度定义之间必存在一定的关系。

在讨论过能动张量密度守恒定律之后，本文还要讨论“物质起源”问题。目前在物理学中，对“物质起源”研究得还很不够，很多有关的问题都还缺乏研究。正如研究“生命起源”应当说明如何从原先没有生命的无机物演变成有生命的生物相类似，研究“物质起源”似乎也应当说明宇宙如何从原先没有物质变成有了物质。可是，物质从“无”变到“有”的问题，目前还很少有人在研究，也还不大清楚如何着手去研究。

可能有人说，欧洲核子研究中心大型强子对撞机(LHC)的实验结果和数据分析已肯定了希格斯玻色子的存在，理论物理学者也大都相信使质量为零的基本粒子获得不为零的质量之希格斯机制[3]；有些人认为，这意味着“物质起源”的问题基本上快要解决了。但我们要指出，这些人把“质量”和“物质”两

个不同的概念混淆了。希格斯机制只解释了原来质量为零的基本粒子如何获得不为零的质量，而不是说明如何从原先没有物质变成了有物质。无论是原来质量为零的基本粒子或是希格斯玻色子都是物质(因为它们都有能量、动量)。希格斯机制只是把质量为零的物质转变为质量不为零的物质，而不是使原先没有物质变成了有物质。

下面将说明，本文所讨论的、包括引力现象在内的物理体系所满足的广义 Lorentz 及 Leve-Civita 能动张量密度守恒定律容许物质从无到有创生出来，这就给物质的起源问题提供了广阔的可能性。

这里要强调说明一下，本文所指的“物质起源”说的乃是物质可从无到有创生出来；而本文所讲的物质必定具有能动张量密度，其能动张量密度大于零也可等于零，当时空存在平移对称性时，一个物理体系可满足能量守恒和动量守恒但不满足质量守恒[1]。可是，由于历史原因，有些文献对物质及其起源的理解与本文不相同。例如有的文献认为，质量为零的物理体系不是物质，物质的质量必须大于零，一个物质体系的质量常可满足质量守恒规律；从而认为使质量为零的基本粒子获得不为零的质量之希格斯机制也可看成是物质起源。本文不认同这类看法。

2. 能动张量密度的不同定义及它们之间的关系

在物理理论中，通常采用关系[1] [2] [4]

$$\sqrt{-g}T^{\mu}_{i(M)}=\frac{\delta}{\delta h^{i}_{\mu}}\left(\sqrt{-g}L_M\right)$$

或 $\sqrt{-g}T^{\mu\nu}_{(M)}=\frac{\delta}{\delta g_{\mu\nu}}\left(\sqrt{-g}L_M\right)$ (式中 $\frac{\delta}{\delta}$ 是变分求导的符号)。

作为物质场能动张量密度的定义，爱因斯坦场方程的右边之所以出现能动张量，就是由于采用了这个定义。

运用这个定义不难导出下述能动张量密度守恒定律：

$$\frac{\partial}{\partial x^{\sigma}}\left(\sqrt{-g}T^{\sigma}_{(M)\lambda}+\sqrt{-g}T^{\sigma}_{(G)\lambda}\right)=0 \tag{5}$$

式中：$\sqrt{-g}T^{\sigma}_{(G)\lambda}=\sqrt{-g}T^{\sigma}_{(G)i}h^{i}_{\lambda}=\frac{\delta}{\delta h^{i}_{\sigma}}\left(\sqrt{-g}L_G\right)$ 为引力场的能动张量密度。式(5)就是 Lorentz 及 Levi-Civita 守恒定律。

在 1917~1918 年间 Levi-Civita 等学者同爱因斯坦关于能动张量守恒定律展开过一场重大争论[5] [6]。文献[6]比较详细介绍了这场争论。由于当时物理学对引力场的能动张量还了解得不全不深，使得 1917~1918 年的那场争论，爱因斯坦获得了胜利，在很长时间他的观点和看法成了物理理论中的主流。近二十年来，本文作者曾对 Lorentz 与 Levi-Civita 能动张量守恒定律进行过全面和深入的研究；作者发现，爱因斯坦能动张量守恒定律与 Lorentz 及 Levi-Civita 能动张量守恒定律在数学上是等价的，而且按照 Lorentz 及 Levi-Civita 能动张量守恒定律可推出一些有意义的全新推论。对这些问题，作者曾发表过多篇论文[1]，本文就不多讲了。

必须强调指出，对物质场能动张量密度还可采用其它定义。例如文献[1]在讲 Poincare’群局部变换下之能动张量密度守恒律时，就曾定义物质场的能动张量密度为：

$$\sqrt{-g}T^{\#\mu}_{(M)\lambda}=\sqrt{-g}L_M\delta^{\mu}_{\lambda}-\frac{\partial\left(\sqrt{-g}L_M\right)}{\partial\psi_{,\mu}}\psi_{,\lambda}-\frac{\partial\left(\sqrt{-g}L_M\right)}{\partial h^{i}_{\sigma,\mu}}h^{i}_{\sigma,\lambda}-\frac{\partial\left(\sqrt{-g}L_M\right)}{\partial\Gamma^{ij}_{\sigma,\mu}}\Gamma^{ij}_{\sigma,\lambda} \tag{6}$$

由规范场理论、Poincare’群变换、场方程以及微分几何等方面的知识，

还可求出这个物质场能动张量密度 $\sqrt{-g}T^{\#\sigma}_{(M)\lambda}$ 与 $\frac{\delta}{\delta h^i_\sigma}\left(\sqrt{-g}L_M\right)$、$\frac{\delta}{\delta \Gamma^{ij}_\sigma}\left(\sqrt{-g}L_M\right)$ 及其它数学量存在关系[4]：

$$\sqrt{-g}T^{\#\sigma}_{(M)\lambda}=\frac{\delta\left(\sqrt{-g}L_M\right)}{\delta h^i_\sigma}h^i_\lambda+\frac{\delta\left(\sqrt{-g}L_M\right)}{\delta \Gamma^{ij}_\sigma}\Gamma^{ij}_\lambda+\frac{\partial}{\partial x^\mu}\left(\frac{\partial\left(\sqrt{-g}L_M\right)}{\partial h^i_{\sigma,\mu}}h^i_\lambda\right)+\frac{\partial}{\partial x^\mu}\left(\frac{\partial\left(\sqrt{-g}L_M\right)}{\partial \Gamma^{ij}_{\sigma,\mu}}\Gamma^{ij}_\lambda\right) \tag{7}$$

式中

$$\frac{\delta}{\delta h^i_\sigma}\left(\sqrt{-g}L_M\right)h^i_\lambda=\sqrt{-g}T^\sigma_{(M)i}h^i_\lambda=\sqrt{-g}T^\sigma_{(M)\lambda}$$

对于引力场能动张量密度也有类似的关系：

$$\sqrt{-g}T^{\#\sigma}_{(G)\lambda}=\frac{\delta\left(\sqrt{-g}L_G\right)}{\delta h^i_\sigma}h^i_\lambda+\frac{\delta\left(\sqrt{-g}L_G\right)}{\delta \Gamma^{ij}_\sigma}\Gamma^{ij}_\lambda+\frac{\partial}{\partial x^\mu}\left(\frac{\partial\left(\sqrt{-g}L_G\right)}{\partial h^i_{\sigma,\mu}}h^i_\lambda\right)+\frac{\partial}{\partial x^\mu}\left(\frac{\partial\left(\sqrt{-g}L_G\right)}{\partial \Gamma^{ij}_{\sigma,\mu}}\Gamma^{ij}_\lambda\right) \tag{8}$$

进行一些数学运算，不难导出

$$\frac{\partial}{\partial x^\sigma}\left(\sqrt{-g}T^{\#\sigma}_{(M)\lambda}+\sqrt{-g}T^{\#\sigma}_{(G)\lambda}\right)=\frac{\partial}{\partial x^\sigma}\left(\sqrt{-g}T^{\sigma}_{(M)\lambda}+\sqrt{-g}T^{\sigma}_{(G)\lambda}\right)=0 \tag{9}$$

这表明 $\sqrt{-g}T^{\#\sigma}_{(M)\lambda}$ 与 $\sqrt{-g}T^{\#\sigma}_{(G)\lambda}$ 也遵从 Lorentz 及 Levi-Civita 能动张量密度守恒定律。这是由于式(7)与式(8)满足下述关系[1] [4]：

$$\frac{\partial}{\partial x^\sigma}\left(\sqrt{-g}T^{\#\sigma}_{(M)\lambda}+\sqrt{-g}T^{\#\sigma}_{(G)\lambda}\right)-\frac{\partial}{\partial x^\sigma}\left(\sqrt{-g}T^{\sigma}_{(M)\lambda}+\sqrt{-g}T^{\sigma}_{(G)\lambda}\right)=0 \tag{10}$$

大家都知道，一个物理体系的动量、能量的数值与其零点的选择有关，能动张量也是这样。在经典力学和狭义相对论中，同一物理体系的两种零点选择往往只相差一个常量。而式(10)意味着，一个物理体系能动张量密度零点的选择，一般来说是时空位置的函数。这是由于当引力存在时，一个物理体系在各时空位置的能动张量密度各不相同。下节就可知道，正是由于一个物理体系能动张量密度零点的选择为时空位置的函数，才能保证一个物理体系在时空每一点均能遵守广义 Lorentz 及 Levi-Civita 能动张量密度守恒定律，也才能使得在时空的每一点，物质都可创生。

3. 广义 Lorentz 及 Levi-Civita 守恒定律的推论

关系式(9)及式(10)表明，对于能动张量密度两种不同的定义，在一定条件下也有可能同时遵从 Lorentz 及 Levi-Civita 能动张量密度守恒定律。处于这种情况下，我们把该定律称为广义 Lorentz 及 Levi-Civita 能动张量密度守恒定律，常简称广义 Lorentz 及 Levi-Civita 守恒定律。现在我们来讨论一下广义 Lorentz 及 Levi-Civita 守恒定律的推论，并应用它来研究物质的起源。

下面我们将用 $\sqrt{-g}T^{*\sigma}_{(M)\lambda}$ 与 $\sqrt{-g}T^{*\sigma}_{(G)\lambda}$ 分别表示遵从广义 Lorentz 及 Levi-Civita 守恒定律

$$\left(\sqrt{-g}T^{*\sigma}_{(M)\lambda}+\sqrt{-g}T^{*\sigma}_{(G)\lambda}\right)=0 \tag{11}$$

的一物理体系的物质场与引力场之能动张量密度。要注意，该物理体系的物质场之能动张量密度与引力场之能动张量密度的数值均不确定，但两者的总和保持不变。

式(11)等效于

$$\Delta\left(\sqrt{-g}T^{*\sigma}_{(M)\lambda}\right)=-\Delta\left(\sqrt{-g}T^{*\sigma}_{(G)\lambda}\right) \tag{12}$$

(Δ 为增量符号)。

式(12)表明当一物理体系的物质场之能动张量密度增加时，该物理体系的引力场之能动张量密度必有相应的减少，而当一物理体系的物质场之能动张量密度减少时，该物理体系的引力场之能动张量密度必有相应的增加，但两者总量不变。这说明物质场之能动张量密度可由引力场之能动张量密度转化而来。

在特殊情况下，物质场能动张量密度可为零，如果上述能动张量密度转化仍然存在的话，则

$$\Delta\left(\sqrt{-g}T^{*\sigma}_{(M)\lambda}\right) = -\Delta\left(\sqrt{-g}T^{*\sigma}_{(G)\lambda}\right) \neq 0$$

与此相应，体系在该处时空中，从没有物质场能动张量密度的状态转变为具有物质场能动张量密度的状态(同时出现负的引力场能动张量密度)。由于物质场总是与正的物质场能动张量密度相联系，有物质场能动张量密度的状态相当于存在物质，没有物质场能动张量密度的状态相当于不存在物质。上述分析告诉我们，宇宙有可能从原先没有物质变为有物质。

4. 物质起源问题

物理学是实验科学，物理理论应当建立在实验和观察事实的基础之上，应当与实验和观察事实相符合而不是相矛盾。虽然物质的创生目前还缺乏可作为肯定根据的实验事实，但与已知的实验和观察事实也不相矛盾。例如对类星体大能量现象和在星系中心存在的大能量天体现象一直常用黑洞来解释；可是，已有不少学者认为黑洞可能不存在[7]，若用物质创生所引发的现象来解释这些大能量现象,似乎也是可能的。当然这还带有猜想的成分，尚待实验和观察事实来进一步证实。但也表明，物质从无到有的创生也不是不可能的。至少这个问题是值得研究的。

爱因斯坦对 Lorentz Levi-Civita 守恒定律

$$\left(\sqrt{-g}T^{\sigma}_{(M)\lambda} + \sqrt{-g}T^{\sigma}_{(G)\lambda}\right) = 0$$

曾提出过怀疑，他认为按照这个守恒律，宇宙中各处的物质能量密度(恒为正值)均可自发减少，这只要同处的引力场能量密度(它为负值)等量增加，或者说两者可正负相消，总和不变。爱因斯坦的意思是，这样一来，物质便可自发消失，因此他断定这个守恒定律在物理上是不能接受的。

我们曾但针对爱因斯坦的怀疑反问一下[5]，上述守恒律是否必定会使得一个物质体系“完全消失为虚无”?实际上这个守恒律只表明一个体系在变化时必须满足 $\Delta T^{\mu}_{\nu(M)} = -\Delta T^{\mu}_{\nu(G)}$，但决不意味着变化的结局必然是 $T^{\mu}_{\nu(M)} = 0$。因为一个物理变化是否发生以及如何进行除遵从能量动量守恒定律外，还要遵守其他一些物理规律，如电荷守恒定律、热力学第二定律、重子数守恒定律等等。例如对于一个荷电的物质体系，可以肯定，其变化必定要受到电荷守恒定律的制约，亦即要以保持总电量不变的形式继续存在，而决不只是由能量动量密度守恒定律来决定其“完全消失为虚无”，显然，爱因斯坦见解的理由是不充分的。

与物质的消失相类似，物质从无到有的创生也决不只是由能动张量密度守恒定律来决定的，也要受到许多物理规律制约。这些制约的规律还有待深入研究。

参考文献 (References)

[1] 陈方培. 时空与物质-物理学的基本概念和基本规律. 北京: 科学出版社, 2014

[2] Kibble T W B. J.Math.Phys., 1961, 2: 212 http://dx.doi.org/10.1063/1.1703702

[3] 吉姆, 巴戈特. 希格斯-“上帝粒子”的发明与发现. 邢志忠,译, 上海: 科技教育出版社, 2013

[4] Chen F P. International Journal of Theoretical Physics, 1990, 29: 16

[5] 陈方培. 河北师范大学学报, 2000, 24: 326

[6] Cattani C, De Maria M. Conservation Laws and Gravitational Waves in General Relativity. // Earman J, Janssen M, Norton J D. The Attraction of Gravitation, Boston: Birkhauser, 1993

[7] 彭秋和 银河系中心黑洞模型失效. PPT, 2015