

---

# 弯曲空间与暗能量的相关性研究

作者：李亚克

**摘要：** 本文对暗能量的研究，是从弯曲空间的物理机制开始的，研究发现物体可以改变真空的物理性质 $\mu_0\varepsilon_0$ ，真空 $\mu_0\varepsilon_0$ 的物理变化也会对物体内能产生影响。空间连续变化的 $\mu_0\varepsilon_0$ 就是时空弯曲的物理机制，物体在 $\mu_0\varepsilon_0$ 连续变化的空间中会自发地加速向 $\mu_0\varepsilon_0$ 增加的方向运动，因为在那里物体的内能会更低，物体加速运动增加的动能来自物体减少的内能。 $\mu_0\varepsilon_0$ 在宇宙中的宏观分布是由内向外连续增高的，整个宇宙的加速膨胀就是星系物体朝低能空间产生的自发运动，星系物体减少的内能转化为星系物体增加的动能，星系物体转化出的这个内能，就是我们一直在寻找的暗能量。“光子疲劳”现象就是对宇宙中 $\mu_0\varepsilon_0$ 由内向外不断增高设想的有力支持。

**关键词：**  $\mu_0\varepsilon_0$ 、光速、时空弯曲、引力、暗能量、时间、空间

Email: [liy29@163.com](mailto:liy29@163.com)

## Research on the Correlation between Curved Space and Dark Energy

Li Yake

**Abstract:** The study of dark energy in this article starts with the physical mechanism of curved space, and it is found that objects can change the physical properties of vacuum  $\mu_0\varepsilon_0$ , The physical changes in vacuum  $\mu_0\varepsilon_0$  can also have an impact on the internal energy of objects. The continuous variation of  $\mu_0\varepsilon_0$  in space is the physical mechanism of curved space. Objects in the continuous variation of  $\mu_0\varepsilon_0$  will spontaneously accelerate their motion in the direction of increasing  $\mu_0\varepsilon_0$ , because the internal energy of the object will be lower there, The increased kinetic energy of accelerated motion of an object comes from the reduced internal energy of the object. The macroscopic distribution of  $\mu_0\varepsilon_0$  in the universe increases continuously from the inside out. The acceleration and expansion of the entire universe is the spontaneous motion of galaxy objects towards low-energy space. The reduced internal energy of galaxy objects is converted into the increased kinetic energy of galaxy objects. The internal energy transformed by galaxy objects is the dark energy we have been searching for. The phenomenon of photon fatigue provides strong support for the idea that  $\mu_0\varepsilon_0$  in the universe continues to increase from the inside out.

**Keywords:**  $\mu_0\varepsilon_0$ , Speed of light, spacetime curvature, gravity, dark energy, time,

---

space

**引言：**宇宙中存在暗能量的假设来自宇宙加速膨胀的发现，这一发现颠覆了之前关于宇宙膨胀速度逐渐放缓的普遍预期。1998年，两个独立的研究小组通过观测远处超新星的亮度和它们的红移，发现宇宙的膨胀速度实际上是在加速，而不是减速。这一结果意味着，存在一种推动宇宙加速膨胀的力，它具有与引力相反的效果，这种反引力的力来源于我们未知的能量形式，故称为“暗能量”。目前主要的研究方向，1.宇宙学常数（ $\Lambda$ ），最简单的暗能量模型是宇宙学常数 $\Lambda$ ，最早由爱因斯坦在他的广义相对论方程中引入，用以支持他的静态宇宙理论。虽然后来被爱因斯坦本人放弃，但现代宇宙学中它被重新采用，以解释暗能量。宇宙学常数被认为是一种均匀分布于空间的能量密度，它的存在使得宇宙加速膨胀。2.除了宇宙学常数之外，还有其他多种暗能量模型被提出，包括夸克场模型。夸克场是一种动态的场，它的能量密度可以随时间变化。这些模型试图解释暗能量不仅作为宇宙的一个固定背景存在，而且其性质可能随时间而变化。3.为了更好地理解暗能量，多个观测项目和实验正在进行中或计划中。例如，暗能量巡天（DES）利用大规模结构的观测数据来研究暗能量的性质。未来的观测计划，如欧洲空间局的欧几里得卫星（Euclid）、美国的暗能量光谱仪（DESI）和詹姆斯·韦伯空间望远镜（JWST），旨在通过对宇宙大尺度结构、超新星、以及宇宙微波背景辐射的更精确测量，来揭示暗能量的更多性质，但到目前为止暗能量的物理本质仍然是一个谜。

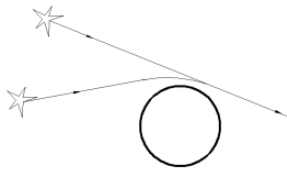
“引力”与“反引力”本身就是一个问题的两个方面，对“引力”现象认识的不足，是导致暗能量很难解释的重要原因，广义相对论认为物体间的“引力”并不存在，广义相对论将其解释为时空弯曲现象，时空弯曲理论也得到了实验验证，但是，广义相对论没有说明产生时空弯曲的物理机制，因此，本文就从研究时空弯曲的物理机制入手，在研究清楚了时空弯曲的物理机制之后，再来探讨暗能量究竟来自哪里的问题就简单了。

## 1. 空间弯曲的物理机制

物体产生的引力场，实际是描述物体延伸到空间中对另一物体产生吸引效应的理论模型。现在认为引力场是物体在空间中产生的空间弯曲效应，物体在该弯曲空间内运动时表现出在直角空间中的运动状态改变，从而体现出引力效应，弯曲空间理论否定了外力对物体直接施加了作用。虽然这个说法有违我们经验的力学常识，但空间弯曲理论却获得了巨大的成功，但问题又来了，物体在弯曲空间中获得加速运动的能量来自哪里？如果这个问题得到了解释，

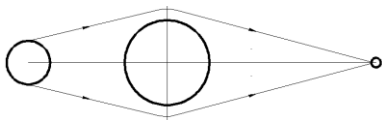
那么，暗能量的来源问题也就有了解决的思路。既然空间弯曲的理论是成功的，那么，空间弯曲这个数学模型一定是有其空间的物理性质作其物质基础的，我们只有研究清楚时空弯曲的物理机制，上述问题才会得到解决。

既然时空弯曲的数学模型一定是有其物质基础的，而时空弯曲又发生在真空中，那么，



图(1)

时空弯曲的物质基础就是真空，也就是说，真空是物质的，物体的质量可以使真空的物理性质发生变化，从而体现出时空弯曲的物理现象。



图(2)

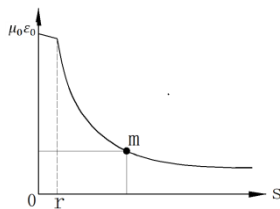
我们无法直接获得在真空中使物体产生加速度的物理原因，然而，光在经过大质量物体周边时，光的传播方向会朝物体侧明显的偏转，这为我们研究时空弯曲的物理机制提供了一个间接的线索，如我们已经观察到的引力透镜效应和光在太阳质量的影响下朝太阳侧偏转的现象，如图(1)(2)所示。众所周知，光的这种偏转现象也是时空弯曲的一种具体体现，虽然光在经过太阳时只偏转了1.75"，但这仍是研究时空弯曲物理机制的一个重要线索。

我们知道，光是电磁波，光在传播方向上发生折射现象，是因为光在经过该空间时，光速发生了变化所致( $n_{21} = c_1/c_2$ )，从光折射的方向可知，光越靠近太阳，光速就越慢，雷达回波延迟实验同样证明了光越靠近太阳，光速就越慢这个物理现象，这也正好与光传播方向朝太阳侧偏转的观测结果相吻合。如果将光视为有质量的粒子，那么在太阳引力的作用下，光速应该增加才对，但实测正好相反，说明光的这种偏转仍然属于波的性质。

由电动力学知，真空中的光速  $c$  由真空磁导率  $\mu_0$  和真空介电常数  $\epsilon_0$  决定：

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (1-1)$$

由上式(1-1)可见，除  $\mu_0 \epsilon_0$  外，该式没有一个能影响光速的比例系数或常数项存在，



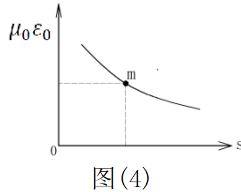
图(3)

也就是说，该式没有给任何其它的物理因素留下直接影响光速的可能性，因此，物体质量对光速的影响，只能通过改变真空的  $\mu_0 \epsilon_0$  来间接实现。或者说，太阳质量只是改变了真空空间的  $\mu_0 \epsilon_0$  的空间分布，由以上光的折射现象知， $\mu_0 \epsilon_0$  是围绕物体由远至近的单调增加的，如图(3)所示，光的这种折射现象，只是这种分布的一种可见的外在表现，既然光的偏转现象是空间弯曲的体现，那么，随空间变化的  $\mu_0 \epsilon_0$  是否就是时空弯曲的物理机制呢？如果以上假设成立，那就应能够回答以下三个问题，1. 物体在一个

$\mu_0 \epsilon_0$  随空间变化的空间中应等效受到一个类似重力的力的作用，2. 任何质量的物体在其中都应获得相同的加速度，3. 时间、空间在其中都有相对膨胀或收缩的现象。以下我们就来求证这个假设是否正确。

## 2. 随空间变化的 $\mu_0 \epsilon_0$ 具有的力学效应

我们知道相对论的质能公式为：



图(4)

$$E_0 = m_0 c^2 \quad (2-1)$$

将(1-1)式代入上式得：

$$E_0 = \frac{m_0}{\mu_0 \epsilon_0} \quad (2-2)$$

由上式(2-2)所示，物体的能量存储在真空中，物体内能与  $\mu_0 \epsilon_0$  成反比关系，如果物体处在一个  $\mu_0 \epsilon_0$  连续变化的空间中，如图(4)所示，物体的内能  $E_0$  就会随空间位置的不同而不同，物体在这样的空间中就会有高低能量状态之分，这时物体就会自发地朝  $\mu_0 \epsilon_0$  增加的方向运动，以降低自身的能量状态，就像电子自发地由高能级向低能级跃迁一样，这是所有物体的自然属性，也是能量最低原理的体现。物体的这种自发运动，也可计算出物体此时等效受到了一个力的作用 ( $F = ma$ )，但这不是外力，而是由  $\mu_0 \epsilon_0$  的空间变化所引起的力学效应。

能量最低原理是一个普遍存在的自然规律，能量最低原理指出：物体或系统的能量总会趋向于最小值。这一原理在物理学、化学、生物学等领域都得到了广泛的应用。这一原理对于我们理解和解释各种自然现象具有重要意义。能量最低原理为我们解释上述物体的自发运动提供了关键的理论支持。

现在，就来证明随空间变化的  $\mu_0 \epsilon_0$  所具有的力学效应，设物体  $m$  的总能量  $E$  等于其内能  $E_i$  与动能  $E_v$  之和：

$$E = E_i + E_v \quad (2-3)$$

物体在自发地运动一段距离后，由于没有外力做功，故物体的总能量的变化量  $\Delta E$  为零，

$$\text{物体总能量的变化量：} \quad \Delta E = \Delta E_i + \Delta E_v \quad (2-4)$$

$$\text{因为：} \quad \Delta E = 0 \quad (2-5)$$

$$\text{所以：} \quad \Delta E_v + \Delta E_i = 0 \quad (2-6)$$

$$\Delta E_v = -\Delta E_i \quad (2-7)$$

根据能量守恒定律，可得式(2-7)，物体增加的动能  $\Delta E_v$  等于物体所减少的内能  $-\Delta E_i$ ，如果将该物体动能的增量  $\Delta E_v$ ，等效于一个力  $F_m$  作用了一段距离  $\Delta s$  后所做的功  $A$ ：

$$A = F_m \cdot \Delta s = \Delta E_v \quad (2-8)$$

其等效作用力 $F_m$ 为: 
$$F_m = \frac{A}{\Delta s} = \frac{\Delta E_v}{\Delta s} \quad (2-9)$$

因为动能的增量等于内能的减量, 将式(2-7)代入上式有:

$$F_m = -\frac{\Delta E_i}{\Delta s} \quad (2-10)$$

$$F_m = -\frac{dE_i}{ds} \quad (2-11)$$

通过以上讨论, 我们就证明了在 $\mu_0 \varepsilon_0$ 变化的空间中, 任何有质量的物体都可等效受到一个力 $F_m$ 的作用。由式(2-11)可见, 物体等效受到的力 $F_m$ , 其大小等于物体的内能随空间变化的负梯度, 物体增加的动能来自物体减少的内能。

物体处在一个 $\mu_0 \varepsilon_0$ 不变化的平坦的空间中时, 物体内能的变化量就等于零, 自发力 $F_m$ 也就等于零, 这时物体就会处于相对静止或匀速直线运动状态。也就是说,  $\mu_0 \varepsilon_0$ 保持不变的空间为惯性空间,  $\mu_0 \varepsilon_0$ 变化的空间为非惯性空间。之后的讨论还可以看到,  $\mu_0 \varepsilon_0$ 保持不变的空间时空保持一致, 而 $\mu_0 \varepsilon_0$ 变化的空间时空就会有相对的伸缩变化。

### 3. 在随 $\mu_0 \varepsilon_0$ 变化的空间中物体都将获得相同的加速度

以下求证在 $\mu_0 \varepsilon_0$ 变化的空间中, 任何质量的物体都将获得相同的加速度。

设一物体 $m$ 在一个 $\mu_0 \varepsilon_0$ 随空间变化的空间中处于静止状态,

$$\text{故有: } E_i = E_0$$

代入上式(2-11)得:

$$F_m = -\frac{dE_0}{ds} \quad (3-1)$$

根据质能公式:

$$E_0 = m_0 c^2$$

代入上式(3-1)得:

$$F_m = -\frac{d(m_0 c^2)}{ds} \quad (3-2)$$

因为物体处于静止状态, 故质量为常数:

$$F_m = -m_0 \frac{dc^2}{ds} \quad (3-3)$$

设物体在 $F_m$ 力的作用下获得的加速度为  $g$

$$\text{因为: } g = \frac{F_m}{m_0} \quad (3-4)$$

将式(3-3)代入式(3-4)得:

$$g = -\frac{dc^2}{ds} \quad (3-5)$$

将式(1-1)代入上式得:

$$g = -\frac{d}{ds}\left(\frac{1}{\mu_0\varepsilon_0}\right) \quad (3-6)$$

通过以上讨论可见，在 $\mu_0\varepsilon_0$ 变化的空间中，任何质量的物体都将获得相同的加速度，由式(3-6)可知，其加速度 $g$ 等余 $\mu_0\varepsilon_0$ 的倒数随空间的变化率，这个加速度 $g$ 与重力加速度 $g$ 就效果而言有共同之处，但从物理意义上讲有本质的不同。

由上式(2-16)可见，加速度由光速平方随空间的变化率决定，现设加速度为 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，在 $\Delta s$ 等于10米时， $c_1 = 299792458(\text{m/s})$ ，求光速 $c_2$ 。

$$g = -\frac{dc^2}{ds} = -\frac{\Delta c^2}{\Delta s} = -\frac{c_2^2 - c_1^2}{\Delta s} = \frac{c_1^2 - c_2^2}{\Delta s}$$

$$c_2 = \sqrt{c_1^2 - g \cdot \Delta s} = 299,792,457.999999833218 \quad (\text{m/s})$$

光速的相对变化量 $\Delta C$ :

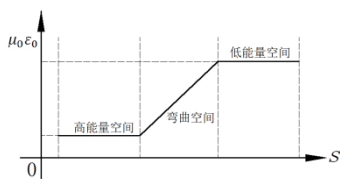
$$\Delta C = C_2 - C_1 = -0.000000166782 \quad (\text{m/s})$$

光速的相对变化率:

$$\frac{\Delta c}{c_1} \times 100\% = -0.0000000000000556325 \%$$

由以上计算结果可见，加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 时，在10米范围内，光速仅相对变化了-0.000000166782(m/s)，这个光速的变化量，实在是微不足道，但正是这个我们永远也测不出来的变化量，在宏观中产生了可观的加速度 $g$ 和“引力” $F_m$ 。

#### 4. 空间弯曲与引力相互作用

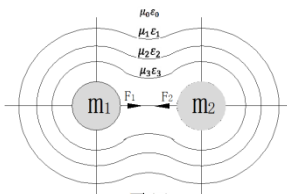


图(5)

通过以上讨论发现，看似通透平直的真空空间已经变得不平坦了，甚至变得扭曲了，使真空空间变得弯曲的物理原因就是 $\mu_0\varepsilon_0$ 在真空空间中的变化，现将 $\mu_0\varepsilon_0$ 相对大的空间称为低能空间， $\mu_0\varepsilon_0$ 相对小的空间称为高能空间，高、低能量空间之间的这个不平坦的过度空间，称为弯曲空间，如图(5)所示。

处在高能空间或低能空间中的物体，都会保持相对静止或匀速直线运动状态，第六节会讨论这两者之间具有相对膨胀与收缩的比例关系。

处在弯曲空间中，物体会自发地朝 $\mu_0\varepsilon_0$ 增加的方向运动，也就是朝能量更低的空间运动，



图(6)

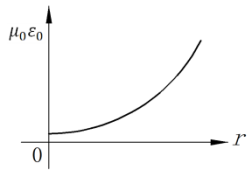
物体的这种运动只与 $\mu_0\varepsilon_0$ 的空间变化相关，而与使 $\mu_0\varepsilon_0$ 产生空间变化的原因无关，也就是说，不排除其他技术方法产生空间弯曲

的可能性。

物体间具有直接的相互吸引作用实际是一种误解，物体只是因其质量使其周边的 $\mu_0\varepsilon_0$ 由远至近地增加了，如图(6)所示， $\mu_3\varepsilon_3 > \mu_2\varepsilon_2 > \mu_1\varepsilon_1 > \mu_0\varepsilon_0$ ，物体间表现出的相互聚集的运动，本质是物体朝低能态方向的自发运动，物体之间并不具有直接的相互吸引力。

既然物体间的引力相互作用并不存在，那也就谈不上引力相互作用与其他相互作用统一的问题，通过以上分析，产生“引力”的物理原因本质上就属于电磁学范畴。

## 5. 暗能量与弯曲空间



图(7)

基于以上讨论，可以这样来理解宇宙加速膨胀的现象，宇宙宏观的 $\mu_0\varepsilon_0$ 的分布应是内低外高，如图(7)所示，也就是说，宇宙内部是高能量空间，宇宙边缘是低能量空间，宇宙加速膨胀就是星系物体由高能空间向低能空间的自发的加速运动，星系物体增加的动能

就来自星系物体减少的内能，由此可见，星系物体转化出的这个内能，就是我们一直苦苦寻找的暗能量，因此，我们应将暗能量研究的重点更多的放在 $\mu_0\varepsilon_0$ 在宇宙中的空间分布方面。

## 6. $\mu_0\varepsilon_0$ 对时空的影响

以上讨论证实了随空间连续变化的 $\mu_0\varepsilon_0$ 可以使物体产生一种力学效应，其中的物体都可获得相同的加速度以及暗能量的来源等问题，但还有一个重要的问题要回答，即 $\mu_0\varepsilon_0$ 对时空的影响，我们首先从讨论光速相对变化与光速不变原理的关系入手。

众所周知，光速不变原理来源于是迈克尔逊-莫雷实验的成果，光速不变原理也是爱因斯坦相对论的基石之一。光速不变原理表述为：在任何参考系中，光在真空中传播的速度都是恒定的，不会因为光源的运动状态而改变。然而，如上所述，实验发现光速又具有间接测量时相对变化的另一面，那么，怎么来解释这个看似相互矛盾的物理现象呢？

光速  $c$  的计算公式：

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (6-1)$$

其中， $c$  为光速， $\Delta s$  为光传播的距离， $\Delta t$  为光传播的时间。

这个速度计算公式虽然简单，但它却联系着两个非常重要的物理量，即：空间与时间。

如果在上式的分子分母同乘一个比例系数  $k$ ，光速仍然可以保持不变。

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{k\Delta s}{k\Delta t} \quad (6-2)$$

由此可见，只要空间与时间同比例的膨胀与收缩，任何局域内的光速均为一个不变的恒定值，均可满足光速不变原理。而在两比例系数不同的两个空间之间，互测对方局域中的光

速就会不同，这就是光速在任何局域内绝对不变又在局域间可相对变化的物理原因。

依据以上原理可求得在两个 $\mu_0\varepsilon_0$ 不同的空间之间，空间与时间相对膨胀或收缩的对应关系式(6-3)(6-4)，详细的推导过程请参见笔者所著的《 $\mu_0\varepsilon_0$ 与时间进程的相关性研究》一文，在此不再赘述。

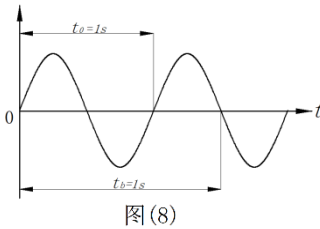
$$\Delta s_b = \Delta s \sqrt{\frac{\mu_0\varepsilon_0}{\mu_{0b}\varepsilon_{0b}}} \quad (6-3)$$

$$\Delta t_b = \Delta t \sqrt{\frac{\mu_0\varepsilon_0}{\mu_{0b}\varepsilon_{0b}}} \quad (6-4)$$

$\mu_0\varepsilon_0$ 为本局域内的真空磁导率和介电常数， $\mu_{0b}\varepsilon_{0b}$ 为另一局域内(相对本局域)的真空磁导率和介电常数，式(4-6)(4-7)表达了两局域间时间进程的相对关系和空间伸缩的相对关系。

当 $\mu_0\varepsilon_0 = \mu_{0b}\varepsilon_{0b}$ 时，两局域的空间与时间保持一致。

当 $\mu_{0b}\varepsilon_{0b} > \mu_0\varepsilon_0$ 时， $\mu_{0b}\varepsilon_{0b}$ 局域内的时间进程就会相对变慢和空间相对收缩，上文谈到，宇宙宏观的 $\mu_0\varepsilon_0$ 的分布应是内低外高，即宇宙内部是高能空间，宇宙边缘是低能空间，因此，越靠近宇宙边缘， $\mu_{0b}\varepsilon_{0b}$ 的值就越大，由(6-4)式知，宇宙边缘的时钟就比我们的局域内



图(8)

的时钟慢，越往宇宙边缘，时钟就相对我们越慢。我们所观察到的离我们越远星体发出的光，红移就越大的现象，也有称这个现象为“光子疲劳”的，而实际是离我们越远，时钟相对我们越慢造成的，这个现象与光子本身没有关系，如图(8)所示。

示。

越靠近宇宙边缘， $\mu_{0b}\varepsilon_{0b}$ 的值就越高，当 $\mu_{0b}\varepsilon_{0b}$ 增加到趋于无穷大时，时间进程就会无限趋近于零，空间也会极度收缩，这样，就由 $\mu_{0b}\varepsilon_{0b}$ 筑起了一个无形的球形的时空屏障，我们是不可能观察到这个屏障之外任何事物的，更不可能穿越这个时空屏障，因此，讨论时空屏障之外有什么，宇宙有多大，都是没有意义的。

通过以上讨论，证实了空间变化的 $\mu_0\varepsilon_0$ ，就是产生时空弯曲的物理机制，也是产生暗能量的物理原因。可能有人会对 $\mu_0\varepsilon_0$ 的实际作用产生疑问。其实从麦克斯韦方程组开始，到光速不变原理、洛仑兹变换、狭义相对论，一直到广义相对论，任何一个相对论公式，都离不开光速 $c$ 这个物理量。然而，真空的 $\mu_0\varepsilon_0$ 是光速的物理基础，相对论的成功，充分印证了真空物理性质 $\mu_0\varepsilon_0$ 对物质存在与物质运动有着不可分割的重要作用。以上是基于 $\mu_0\varepsilon_0$ 在空间中相对变化的研究，这也是对相对论研究的一种拓展和继续。

## 7. 结语：



---

物体与其存在的真空空间具有相互作用的内在联系，物体可以改变真空的物理性质，真空的物理变化也会对物体产生影响，随空间变化的 $\mu_0\varepsilon_0$ ，就是时空弯曲的物理机制，物体在其中有高低能量状态之分，物体会自发地朝低能态方向运动，其增加的动能来自物体的内能。宇宙中 $\mu_0\varepsilon_0$ 的分布是内低外高，星系加速向宇宙边缘运动，其实是星系物体向低能量空间的自发运动，其增加的动能来自星系物体减少的内能，因此，暗能量实际是来自星系物体的内能。“光子疲劳”现象，也是对宇宙中 $\mu_0\varepsilon_0$ 内低外高假设的有力支持。今后尚需对 $\mu_0\varepsilon_0$ 在宇宙空间中的分布情况做进一步的定量研究，争取有更多的数据来支持暗能量来自星体内能的假设。