

关于相对论、量子论和引力的思考

王顺金

一、爱因斯坦的相对论体系

狭义相对论、广义相对论和宇宙学是关于时空性质和物质分布的关系的理论，也是关于天体和宇宙的理论。

评注：1. 相对论实质上是关于宇宙背景场的一个侧面——平均稳定侧面的理论，因而是普遍、重要的理论。

2. 最大的问题是在理论中隐去了背景场物质，因而理论自身的问题无法从物质的角度去研究与回答。

3. 时空是宇宙背景场的时空，时空的属性来自背景场物质的几何属性：（1）背景场物质四维整体均匀各向同性导致背景场的闵氏几何属性，背景场物质四维局域不均匀性导致背景场的黎曼几何属性；（2）光速是背景场物质中信号转播的速度；（3）相对性原理来自物质粒子相对于背景场物质的惯性运动，物质粒子与背景物质相互作用时保持整体或局域平衡的运动是惯性运动。上述3点导致相对论的来自背景场物质属性的3条公理（假定）：（1）时空度规的闵氏几何属性或黎曼几何属性；（2）光速不变；（3）相对性原理和惯性运动（测地线运动）。

4. 决定时空微观、宏观和宇观性质的物质基础：（1）除作为真空背景场基态及其激发态物质（通常的宇宙物质）外，（2）还有真空背景场基态量子涨落，（3）由于空间截断或变形以及宇宙膨胀，真空基态量子涨落相对于静态的、平直的真空背景场的量子涨落（其宏观效应抵消、观察不到）的偏离（宏观表现为引力和反引力）。现有相对论只考虑了（1），量子论考虑了（2），为了完备，还应该考虑（3）以解决引力和宇宙学问题。

二、爱因斯坦对物理学的贡献

爱因斯坦对物理学的贡献主要在3个领域：相对论、量子论、统计物理。这3个领域的关系涉及的问题：庞加莱不变的辐射谱？布朗运动的相对论协变性？相对论与量子论的协调？

评注：相对论是关于背景场平均稳定侧面的理论，量子论和统计物理是背景场另外两个侧面（量子涨落侧面和经典随机涨落侧面）的理论，因而也很普遍、很重要。因此，爱因斯坦的三项贡献都是研究物理背景的普遍的性质和原理：（1）相对论是关于平均稳定真空背景的性质和原理，（2）量子论是关于量子涨落真空背景的性质和原理，（3）布朗运动是关于原子、分子背景的经典涨落的统计性质和原理。背景是普遍的，因而关于背景的理论也是普适的、重要的。

思考：从洛伦兹-庞加莱相对论和爱因斯坦相对论到把二者统一起来的相对论
1. 洛伦兹-庞加莱相对论：洛伦兹基于以太，从尺缩、钟慢效应和光速对钟出发，得到从静止系到运动系的洛伦兹变换。洛伦兹把尺钟变化看做以太的动力学效应，不看作时空本身的属性。

庞加莱证明洛伦兹变换成群，提出相对性原理，建立了洛伦兹协变的麦克斯韦电磁理论。

评注：但庞加莱并未用洛伦兹变换群去定义以太的几何。

2. 爱因斯坦相对论：放弃以太说，从光速不变和相对性原理出发，导出洛伦兹假定，建立新的时空理论，把尺钟变化看做时空本身的属性，不追究其物质动力学原因。爱因斯坦相对论对时空本性的解

释终止于闵氏几何，不追究产生这种几何的物质背景根源和属性。

3. 闵可夫斯基从数学上证明狭义相对论时空是3+1维闵氏空间，其几何用庞加莱群确定。

4. 但大家都没有说（或回避说）：用庞加莱群确定的相对论时空的闵氏空间是平均稳定的量子真空背景场（量子以太）的时空几何。

重要事实：在 10^{-4} 精度下，均匀、各向同性的2.7K宇宙微波背景辐射（CMB）的发现，使确定地球相对于真空背景的运动速度成为可能。从CMB温度的偶极振幅的测定值 $\Delta T \approx 1.24$ mK，定出地球相对于真空背景CMB的运动速度为：

$$v_{\text{earth}} \approx 371 \pm 1.5 \text{ km/s}$$

天体物理学的上述发现，使相对论告别了迈克尔逊-爱因斯坦时代，为两个相对论的统一提供了科学实验基础，从而可以建立起基于真空量子以太的相对论，在量子真空背景基础上向洛伦兹-庞加莱相对论回归。

5. 基于量子以太的相对论：从平稳真空量子背景场（量子以太）出发，从背景场的尺缩、钟慢效应和光速对钟出发，得到从静止系到运动系的洛伦兹变换，从而隐去了相对于背景场的运动，恢复了完全的相对性。但是，把尺钟变化看做量子以太的动力学效应，可以揭示出背景场时空几何属性的物质基础。用庞加莱群确定的相对论时空的闵氏空间几何是平稳真空背景场（平稳量子以太）在光速对钟约定下的时空几何，从而把时空几何与背景场物质属性联系起来。

6. 让时空理论有物质基础，因而可以追究时空属性的物质根源，在量子以太-真空背景场的基础上，把爱因斯坦相对论

和洛伦兹-庞加莱相对论统一在平稳真空背景场的时空几何的基础之上，可以建立起基于平稳量子以太背景场的相对论。

7. 相对论是时空的几何，是我们所在的这个宇宙的平稳量子真空背景的时空的几何，是平稳真空背景的时空的局域洛伦兹几何和大范围的黎曼几何。

8. 粒子的惯性来自粒子与量子真空背景场相互作用交换能量、动量等物理量，达到统计平衡时所形成的稳定联系，是粒子与背景相互作用中对背景场的“习惯”。惯性运动就是粒子与背景场相互作用中始终处于平衡状态的运动，是适应背景场的运动。

9. 相对性原理来自物质粒子在背景场中的整体或局域的惯性运动。背景场对于与其保持惯性运动的测量工具的时空属性和被测对象的时空属性的影响是同一的和一致的；相应地对于与时空共轭的测量工具的广义动量和被测对象的广义动量的影响也是同一的和一致的；在不同惯性系中，用相同变化率的尺、钟去测量具有相同变化率的被测对象的长度和时间，得到协变一致的数值结果（读数），这就是物理规律协变性的相对性原理的物理内涵。对整体惯性运动有狭义相对性原理，对局域惯性运动，有广义相对性原理。只有测量工具和测量对象在（测地线）惯性运动中，它们与背景场的相互作用才能保持平衡，背景场对它们的影响才是同一的和一致的。

因此，相对性原理的物理实质是：真空背景场对于与其保持惯性（平衡）运动状态的所有物质（粒子）的时空行为和共轭运动学量影响的同一性和一致性。

广义相对论：

1915：爱因斯坦-希尔伯特引力场方程

1919：爱丁顿日全食光线偏折观测

1917：爱因斯坦提出宇宙学原理：三维宇宙空间是均匀和各向同性的。为了描述静态宇宙，引入宇

宙项。

德西特发现，加入宇宙项的引力场方程，具有“空无一物”的常曲率时空严格解：德西特时空（宇宙项为正）和反德西特时空（宇宙项为负）。

1938：从引力场方程导出检验粒子的运动方程。

思考：1. 宇宙项代表量子宇宙背景场的另一种产生反引力的物质，来自宇宙膨胀导致真空量子涨落能减小后诱导出的量子激发-对应于暗能量量子。

2. 包含宇宙项的爱因斯坦-弗里德曼方程，已包含了量子宇宙背景场因宇宙膨胀而导致的量子涨落能减小部分对时空曲率的贡献，预言了暗能量和宇宙膨胀，包含了德西特时空和描述了宇宙学原理。

3. 陆启铿和郭汉英则阐明了德西特时空不仅描述了宇宙学原理，而且包含了膨胀宇宙中的惯性运动和相对性原理，宇宙学原理和相对性原理在德西特时空中是统一的，是两种不同坐标系的选择：在贝尔特拉密（Beltrami）坐标系中实现相对性原理，在共动坐标系中实现宇宙学原理；共动坐标系的存在表明相对论不排除优越参考系，优越参考系与相对性原理是相容的（洛伦兹在狭义相对论中证明优越参考系与相对性原理相容，陆启铿和郭汉英在广义相对论中证明优越参考系与相对性原理相容）。

4. 由于 $\Lambda \sim \frac{1}{R^2}$ ，当 $R \rightarrow \infty$ ， $\Lambda \rightarrow 0$ 德西特时空趋于闵氏时空，在狭义相对论和闵可夫斯基时空中仍存在两类坐标系：贝尔特拉密坐标系趋于洛伦兹坐标系以实现相对性原理，共动坐标系趋于相对于宇宙背景静止的坐标系以实现优越坐标系；这表明狭义和广义相对论都不排除优越参考系，优越参考系与相对性原理是相容的，是两类坐标系选择的问题。

三、现代物理学是一个没有完成的逻辑体系，存在一些观念上的巨大混乱

评注：以上标题引自温伯格的《引力论和宇宙论——广义相对论的原理和应

用》。相对论是一个没有完成的体系，量子论也是一个没有完成的体系。相对论没有考虑到真空背景场的宇观时空结构在大的方面的有限性（ R 大但有限，不趋于无限大），量子论没有考虑到真空背景场的微观时空结构在小的方面的有限性（ L 小但有限，不趋于零）。相对论假定真空背景场的宇观时空结构在大的方面（ R ）趋于无限大，量子论假定真空背景场的微观时空结构在小的方面（ L ）趋于零。相对论是真空背景场的宇观时空结构 R 趋于无限大极限下的时空理论，量子论是真空背景场量子涨落的微观时空结构 L 趋于零极限下的运动学和动力学理论（即白噪声量子论）。

思考：原理理论和结构理论

原理理论从可靠的公理出发，具有简洁性和普适性。如果不探究物质基础，原理就成为不可追究物理机制的公理，原理理论就难于进一步发展。物理学的原理理论常常用真空背景场的对称性来表述，而真空背景场的对称性可用数学中的几何对称群语言来表述。

结构理论从基本物质的结构与属性出发，具有直观性和条件性。没有原理，基本的物质结构的普遍属性就表达不出来，结构理论就难于揭示出其形式的简洁性、结构的对称性和内容的普适性。

科学认识发展的3个阶段：现象论阶段（唯象性理论），实体论阶段（结构性理论），本质论阶段（原理性理论）。

结构理论属于实体论阶段，原理理论属于本质论阶段。结构理论的进一步升华（概括、抽象和提升），从结构理论中提炼出基本物质的对称性和相应的守恒定律，获得普遍原理，结构理论就过渡到原理理论。物理学基本原理是关于基本而普遍的守恒定律的表述，而守恒定律又用背景场的对称性描述，所以原理理论常常用背景物质的对称性原理来表述（相对论用经典平稳真空背景的庞加莱几何对称性表述，量子论用量子涨落真空背景的海森堡对称性代数或其他量子对称性代数表述）。

原理理论的特点是公理化，出发点不可约化、不可追究、刚性，难于发展。结

构理论的特点是直观、可约化、可追究，模型柔性可变性，有发展余地。

思考：洛伦兹-庞加莱相对论是结构理论，其基本物质实体是“以太”。

爱因斯坦相对论是原理理论，其出发点是3条公理：度规-描述时空结构、光速不变-引进背景属性、相对性原理-建立不同坐标系的关系。用庞加莱对称性表述以光速为背景特征量的背景时空几何体的几何对称群。相对论作为原理理论而抛弃了原理的物质基础和实体：“以太”。

普朗克-爱因斯坦-玻尔的量子论是结构理论，其实体是光子、电子、原子和真空量子涨落。

德布罗依-海森堡-薛定格的量子论是原理理论，其原理是测不准原理和量子化条件，用海森堡代数 $h(3)$ 对称性表述。

现代物理学的两大支柱相对论和量子论由于相当成熟和完善，早已发展成为原理性和公理化的理论，抛弃了或隐去了该理论赖以存在的同一物质客体-即发生着量子涨落的宇宙量子真空背景场（或宇宙的“量子以太”），因而很难理解相对论和量子论的物理本质，使理论的进一步发展遇到进行物理思考时缺乏物质根据的困难。

现代物理学基本理论的进一步发展，要求在现代水平上回归到相对论和量子论赖以存在的同一物质客体-宇宙量子真空背景场：相对论的客体是其平稳属性，量子论的客体是其涨落属性，宇宙学的客体是其膨胀属性。从宇宙量子真空背景场的属性出发，了解相对论原理和量子论原理的物质根源和本质：（1）了解、探索相对论的原理如何从真空背景场的平稳属性产生，（2）了解、探索量子论的原理如何从真空背景场的量子涨落属性产生，（3）了解、探索宇宙加速膨胀如何使真空量子涨落能量减小并诱导出暗能量，（4）了解、探索相对论和量子论这两个理论的局限性和问题，进一步发展的可能性和发展途径，（5）了解、探索引力和斥力如何从真空背景场的量子涨落因物质粒子存在和宇宙膨胀而出现。

在结构理论所基于的客观实体的基础上分析原理性理论的公理假设要素。

狭义相对论的3个假设要素：闵氏度规、

光速不变、相对性原理如何从真空背景场的平稳部分产生。

闵氏度规：真空背景场的平稳部分的均匀各向同性属性导致其几何为闵氏几何。

光速不变：光速是真空背景场的信号传播速度，真空背景场的平稳部分的均匀各向同性导致光速的均匀各向同性，因而成为常数，并把时间坐标和空间坐标统一起来成为可以相互转换的闵氏坐标。爱因斯坦时代只检验了回路光速不变。

相对性原理：真空背景场的平稳部分的尺钟效应对测量工具和被测对象的影响的同一性和一致性是该原理的物质基础。运用在任意惯性系中用单程光速对钟的约定，使背景的时钟效应从静止系扩展到一般惯性系，使时空成为具有洛伦兹对称性和平移对称性（不变性）的闵可夫斯基几何体，产生出具有洛伦兹变换协变性的形式的相对性原理。因此，真空背景对运动尺钟的真实物理效应，对测量工具和被测对象影响的一致性和同一性，加上光速各向同性假定对钟，导致用洛伦兹变换表述的相对性原理。

真空背景场的平稳部分的尺钟效应（尺缩、钟慢）是真实的物理，这种效应的完全相对性则是基于单程光速对钟约定的结果，这一约定使同时性成为完全相对的。因而事物的时空结构随其相对于真空背景场的运动而变是物理的、真实的，这种变化的完全相对性则是单程光速对钟约定和同时性相对性导致的美化、修饰的结果。

因而，相对论所揭示的时空对称性，既包含有自然界的客观朴素之美，也包含有人文的主观修饰之美，时空的洛伦兹对称性包含了自然界的客观朴素之美和人文的主观修饰之美。自然朴素之美是背景场产生的尺缩、钟慢效应及其运动学效应，人文修饰之美来自单程光速对钟的约定和同时性的相对性，从而使尺缩、钟慢效应完全相对化。这正像美女之美既包含自然姿色朴素之美，又包含人文文化修饰之美一样。

自然界具体事物之美常常是破缺的，因为自然界的具体事物是从宇宙普遍物质的对称性破缺产生的，由此导致物质的分化和世界的多样性。自然界普遍物质的完

全的对称性之美的破缺，是该种普遍物质分化产生出世界多样性的根源。

作为普遍的原理性理论，它应囊括、容纳所有事物，允许各种导致事物分化的对称性的破缺（子群对称性），因此普遍原理必须包含最大的对称性，才能破缺到一切可能的小的对称性（子对称性），从而展现具体事物和具体物理过程的多样性。

规范协变理论是规范不确定的理论，是能够包含所有一切可能规范的理论，是没有确定具体规范的理论，因而是规范不破缺的理论，是有最大规范对称性的理论。所以，在规范群范围内，它是描述一切可能物理的普遍的理论。然而，规范对称性包含了修饰之美，修饰成分对应于非物理自由度。规范对称性只有破缺才消除非物理自由度，代表真实物理，从一切可能的物理中挑选出现实的物理。

对称性原理（包括相对性原理和普遍的不变性原理）和泛定方程（是守恒定律的数学表述），用于描述基本物理场的基本属性。规范条件、坐标条件、定解条件，用于确定具体物理过程或事物，它们把普遍的可能的对称性破缺到特殊的具体的物理过程和事物的现实对称性。

四、惯性运动和惯性系的存在是狭义相对论的基础

狭义相对论无法解决惯性运动和惯性系起源问题。

相对性原理与宇宙学问题之间不协调。相对性原理要求惯性系的存在。在宇宙尺度如何定义惯性运动和惯性系？牛顿力学和相对论都存在这种不协调。

1962，邦提《物理学与宇宙学》：“在宇宙学和通常的物理学之间，看来存在明显的冲突”。相对性原理认为，惯性系没有优越的速度，河外星系的红移表明，在宇宙尺度的现象具有优越速度；满足相对性原理的物理规律，没有时间方向，宇宙演化本身却明确给出时间方向。相对性原理对宇宙学效应

不再成立，时间反演和时间平移不变性不再成立。

1971，伯格曼《宇宙学作为科学》：“宇宙环境对于局域实验的影响导致相对性原理的局域破坏”。

与引力无关的物理规律对惯性系之间的庞加莱群变换不变。不管引力和宇宙学效应，闵氏时空和庞加莱不变性是相对论物理学理论和实验分析的基本框架，是时空测量、同时性和基本物理量定义的基础，基本物理场也是按庞加莱群不可约表示分类的，这些不可约表示按该群的两个卡西米尔算子的本征值表征。

相对性原理对宇宙学效应不再成立，时间反演和时间平移不变性不再成立。扣除原初扰动和漂移速度，宇宙背景空间是三维均匀各向同性的，具有6个参数的变换群；宇宙背景时空的度量是弗里德曼-罗伯逊-沃克度量，依赖一个标度因子和一个表征时空几何的参数： $k=1$ （开放伪球， $SO(3, 1)$ 对称群）， $k=0$ （平直欧氏， $E(3)$ 对称群）， $k=-1$ （闭合球， $SO(4)$ 对称群）。标度因子仅依赖宇宙时和 k ，其形式由宇宙中物质分布的动量、能量-张量，通过爱因斯坦方程确定。在这样的时空背景中，存在优越速度和时间方向，相对性原理不成立。在什么意义下，可以用相对性原理、闵氏时空和庞加莱不变性定义的物理规律和物理量来分析局域实验室得到的物理实验和天文观测数据？如何协调相对性原理和宇宙学原理，在宇宙尺度运用狭义相对论和庞加莱不变性？如何把宇宙

尺度、宏观尺度和微观尺度的时空对称性和相应的物理规律协调起来？

宇宙学原理和相对性原理可能是同一个事物的两个方面。在宇宙学原理和相对性原理彼此协调的理论中，宇宙学原理会在满足相对性原理的惯性系中挑选出优越的惯性系，由此出发消除二者的不协调。在现代宇宙学的意义上向洛伦兹-庞加莱时空观念回归。

五、等效原理

等效原理的实质是狭义相对论的局域化：要求在表征引力场的弯曲时空的每一点，狭义相对论及其物理定律成立。这是爱因斯坦表述。

等效原理的通行表述：在宇宙中的任何时空点，都存在局域洛伦兹时空（参考系），除引力之外的一切物理定律与狭义相对论中一样。

上述两个表述都没有要求狭义相对论及其物理定律具有完整的庞加莱对称性；只要求齐次洛伦兹对称性，而时空平移对称性破坏了。其后果是，在广义相对论中，能量、动量、质量和自旋等的定义和守恒，失去了狭义相对论中相应的对称性基础。只能作类比，或等效的处理。

六、广义相对性原理的物理

内容和实质

1946年，爱因斯坦：自然定律的方程的协变性变换群，应当用连续坐标变换群代替洛伦兹变换群，这个更一般的群以洛伦兹变换群为其子群。

迈斯勒、索恩、惠勒的《引力》：

广义相对性原理和简单性要求：物理量必需表述为（与坐标无关的）几何量，物理定律必需表述为这些几何量之间的几何关系。广义相对性原理具有最简单、优雅的几何基础：3个公理：（1）具有度量，（2）度量由爱因斯坦方程决定，（3）在度量的局域洛伦兹标架中狭义相对论的物理定律成立。

坐标的连续变换一般不构成群，只有局域坐标的基底及其对偶基 $\left(\frac{\partial}{\partial x^i}, dx^i\right)$ 之间的变换矩阵才构成局域化的一般线性群 $GL(4, R)$ ，而局域齐次洛伦兹群是其子群，但平移群则不是其子群，在 $GL(4, R)$ 对称性中平移对称性遭到破坏。在广义相对论中，所有物理量都要求是这类变换的张量，带上相应基底后成为与坐标无关的几何量。狭义相对论的对称群是庞加莱群，广义相对论的对称群是 $GL(4, R)$ ，失去了平移对称性。

评注：任何局域化都要破坏通常的平移对称性；但对常曲率空间，却可以定义贝尔特拉米平移对称性。

七、爱因斯坦-希尔伯特场方程与“戈尔迪结”

爱因斯坦-希尔伯特场方程存在几何量和对称性，与物理量和对称性之间的不协调。见迈斯勒、索恩、惠勒的《引力》。

“戈尔迪结”： $G_{\mu\nu}$ -爱因斯坦-嘉当转动矩，与局域齐次洛伦兹转动相联系； $T_{\mu\nu}$ -协强挠率动量张量，与局域平移相联系；场方程把两个不同对称性的几何-物理量联系起来，这种不协调成为“戈尔迪结”检验粒子的运动方程：

A. 对无自旋粒子, 两种推导:
(1) 从黎曼流型的短程线方程推得(几何推导, 爱因斯坦)。
(2) 利用场方程和连续性方程, 从能量-动量张量的协变守恒律推得(物理推导, 朗道)。

B. 对有自旋粒子: 运动方程中多了一项黎曼曲率与自转流的耦合, 对应于局域洛伦兹转动几何量与物理量之间的耦合, 类似于带电粒子的洛伦兹力耦合——电磁场与电流的耦合。

在广义相对论场方程中出现两类耦合: 不同对称性的几何量和物理量之间的耦合, 对称性相同的几何量和物理量之间的耦合。

黎曼曲率与自转流的耦合表示: 时空引力的主动性, 作用于物质转动。物质转动为什么不表现主动性, 反过来作用于于时空引力场?

时空与物质的作用应当是双向的: “物质告诉时空如何弯曲, 时空告诉物质如何运动”应当真正实现。

1979, 邱成桐证明: 引力束缚系统的能量为正。黎曼曲率张量表征引力场, 应由它构成引力场的能量-动量张量, 爱因斯坦引力场方程中为什么不出现引力场自身的能量-动量张量, 引力场自身的能量-动量张量是暗的吗?

评注: 物质粒子及其能量-动量张量 $T_{\mu\nu}(x)$ 的存在必然诱发宇宙背景场量子涨落能量偏离平直背景的量子涨落能量, 使局域度规 $g_{\mu\nu}(x)$ 偏离平直度规诱导出非零局域曲率张量并表现为局域引力场 $G_{\mu\nu}(x)$ 。物质粒子的存在产生引力场的效应已反映在爱因斯坦方程中并表现为“物质使时空

弯曲”; 而引力场本身的能量-动量张量是时空弯曲的后果而非时空弯曲的先因, 因次它不是时空弯曲的物质原因, 而不出现在爱因斯坦方程中。

八、惯性的起源与爱因斯坦的 马赫原理

牛顿体系和狭义相对论都以惯性运动和惯性系为基本概念, 但都不能解决惯性运动和惯性系的起源问题。

牛顿引进绝对空间(和绝对时间)来解决惯性运动和惯性系的起源问题: 用水桶实验中加速度来证明绝对空间的存在, 惯性运动和惯性系是相对于绝对空间来确定的。但相对性原理排除了相对于绝对空间的绝对速度, 也就排除了绝对空间在理论中的地位。

牛顿的绝对空间也与引力理论和宇宙图像矛盾: 夜黑(奥尔伯斯)佯谬和引力(纽曼-希林格)佯谬。

伽利略用局域船舱坐标系来协调相对性原理与惯性系和绝对空间的矛盾。

评注: 局域相对性原理与局域惯性系可以协调起来, 由此拼接成弯曲空间的整体(广义)相对性原理与整体惯性(测地线)运动。洛伦兹-庞加莱引进“以太”来协调相对性原理与惯性系和绝对空间的矛盾, 但是单程光速对钟导致的的同时性的相对性和洛伦兹协变性, 排除了相对于“以太”的特殊速度, 从而也排除了“以太”在理论中的地位。

爱因斯坦放弃了“以太”和绝对空间、绝对运动的概念, 从相对性原理和单程光速不变假定出发建立了完全排除绝对运动、隐去背景场存在的相对论。但是惯性系的存在和定义仍未解决。相对性原理和单程光速不变假定的物理本质更不清楚。

马赫-爱因斯坦(《力学史评》): 借助于相对于遥远星体甚至整个宇宙物质的运动来解决惯性和惯性力的起源问题。

思考: 不应该从相对于遥远星体乃至整个宇宙物质(这是背景场的激发态)的运动来解决惯性和惯性力的起源问题, 而应从相对于存在于粒子周围的宇宙量子背景场(这是量子背景场基态本身)的运动和相互作用来解决(激发态粒子的)质量、惯性、惯性系和引力以及相对性原理的起源问题。微波背景辐射的发现使确定宇宙量子背景场优越参考系在物理上成为可能, 宇宙物质换成“宇宙量子背景场”, 在宇宙图像中除了宇宙物质和星体外, 还包含“宇宙量子背景场”, 这样才能完全贯彻马赫-爱因斯坦的下述伟大思想。

马赫-爱因斯坦思想的伟大之处: (1) 应相对于物质背景去理解质量和惯性起源, (2) 通过自洽的宇宙图像来解决惯性起源、相对性原理与宇宙学的协调问题。惯性定律的起源和惯性质量的起源, 惯性运动和惯性系的起源与局域惯性运动(测地线运动)和局域惯性系(与等效原理密切相关)的起源的联系与区别。爱因斯坦马赫原理: G场全部由物体的质量决定, 由物质的能量-动量张量决定。

思考: 通常物质的能量-动量张量只是4%的贡献。或许, 由宇宙膨胀导致的宇宙背景场量子涨落能量减小所诱导的量子激发, 也对G场做出贡献(暗物质和暗能量的贡献占96%)。宇宙常数 Λ 代表背景场量子涨落能量减小所诱导的量子激的贡献, 而不是量子涨落能量本身的贡献, 它也对时空的曲率做出贡献: 观测宇宙在时空中的有限性和其中存在激烈的量子涨落必然导致宇宙的膨胀, 而维持膨胀的必要条件或膨胀的度量则是量子涨落能量的减小。

$\Lambda \sim \frac{1}{R^2}$ 表明量子涨落能量减小导致的径向辐射效应按平方反比律方式传播, 导致正

的常曲率反引力效应。

因此，时空弯曲和引力场的出现可能有两个原因：（1）粒子激发对应的真空背景缺陷诱导出的真空背景量子涨落能量减小使其偏离平直背景的度规用通常的引力场和爱因斯坦方程描述；（2）宇宙膨胀诱导出的、补偿真空背景量子涨落能量减小的量子激发，表现为宇宙常数、暗能量和反引力。

总之，真空背景微观量子涨落能量的时空不均匀性造成时空弯曲，表现为引力场或斥力场。引力是真空背景微观量子涨落能量的时空不均匀性的量子统计学效应。

九、引力理论奇性疑难

1960年，彭罗斯、霍金：在相当普遍的条件下，广义相对论存在时空失去意义的奇性。存在黑洞会收缩为奇点，时间停止了，时空曲率变为无穷大，一切物理定律失去意义。黑洞不会分裂。存在着不在黑洞视界内部，在宇宙大爆炸之初的裸奇点。表明，经典广义相对论理论体系存在不自洽，不适合极高密度物质。

黑洞物理的成就：黑洞热力学，黑洞与量子论结合，黑洞的熵。

评注与思考：以普朗克时期的时空尺度和能量密度为初始条件的宇宙演化不会出现宇宙初始奇点；从真空量子涨落能变化的角度考虑引力的微观量子统计力学起源，就不会出现黑洞内部收缩为奇点。

十、量子引力

（1）天体黑洞必须考虑引力的量子效应（1960年以来），（2）粒子物理的进展要求建立包括引力相互作用的统一理论（1970年以来）。

广义相对论的引力场一般不可重整化，不能从高阶发散的量子修正中提取有限的物理效应，广义

相对论很可能是一个低能条件下的等效（唯象）理论，应当寻找可重整化的量子引力理论。

1970，黑洞的量子理论：黑洞附近极强的引力场中存在剧烈的量子涨落，由于量子隧道效应，使粒子有一定几率穿越黑洞，掉进黑洞的粒子可以看作从黑洞中跑出来的粒子的反粒子，该粒子被黑洞散射到远方。

非微扰量子引力，在超弦和广义相对论框架内，对黑洞熵的微观起源的研究，表明黑洞及其引力场不是基本场，可能是一类系统或者有效场。黑洞的量子理论必须考虑引力的量子效应。

宇宙模型需要物态方程，物态方程是多粒子系统的宏观量，不可能是基本场。黑洞理论也表明，黑洞的引力场不是基本场。广义相对论若是有效理论，就不需要重整化，需要寻找作为基本场的可重整化的自洽的引力微观理论。

评注与思考：引力不是基本场，而是真空背景物质在背景出现缺陷（粒子激发，出现黑洞）或宇宙膨胀时，它的微观结构的量子涨落能量减小时，诱导出的数目极大的量子激发组成的量子多体系统的统计热力学结果，因而是涌现现象。

十一、相对论性宇宙学面临来自观测宇宙学的挑战，面临变革

作为描述时间-空间和宇宙基本规律的相对论体系没有完成，内部不协调，面临挑战，面临变革。

（1）暗物质（23%）、暗能量（73%），宇宙加速膨胀表明宇宙不是渐进平直的，而是渐进常曲率的德西特空间。很多人从动力学方面解释暗物质和暗能量，改变场

方程。

（2）由真空涨落计算的宇宙常数比观测值大120个量级，考虑超对称效应后还大几十个量级。普朗克常数，光速，引力常数和宇宙常数构成的无量纲常数是 10^{-120} ！

评注：以普朗克时期的时空尺度和能量密度为初始条件，并考虑暴涨的宇宙演化，可给出暗能量密度与真空量子能密度之比为 10^{-122} 。

（3）广义相对论很可能是一种有效理论，它如何在宇宙这个复杂系统中，从更基本的理论中涌现出来？

思考：如果引力量子化在普朗克尺度实现，则在粒子物理尺度和宏观物理尺度，引力效应必然是从多体系统中涌现出来的等效理论。宏观引力弱是因为它是极端多体系统的剩余相互作用。广义相对论是一种多体系统的有效理论，不需要、也不可能量子化和重整化？

广义相对论是一种多体系统的有效理论，为什么是规范理论？凡是统一考虑背景与物质相互作用的理论都是规范理论？

规范理论与量子化有必然联系吗？规范理论可量子化（标准模型），也不可量子化（引力理论）？固体缺陷的规范理论是宏观理论，不需要量子化。因此，规范理论与量子化没有必然联系。规范理论是统一考虑背景变形自由度与物质自由度相互作用的理论。

陆启铿从背景场几何及其运动学开始，进而考虑动力学，修改狭义相对论：放弃度规的欧氏假说，证明存在德西特不变的相对论，进而可以建立局域德西特不变的引力理论和宇宙学。

十二、科学与哲学

“哲学的推论必须以科学的成果为依据”，而“哲学又往往促使科学思想进一步向前发展，它能够许多可行的路线中间为科学指引

一条（最恰当的）路线”（爱因斯坦：*《物理学的进化》*）。

十三、附录

关于爱因斯坦相对论给郭汉英教授的信

汉英教授：

最近读了你近期发表的几篇大作，深有感触。纪念爱因斯坦相对论发表100周年的文章很多，但真正有见解、有科学抱负和历史责任感的却很少。你的文章例外，是极少数有系统而又深刻见解的文章，更是在赞叹爱因斯坦的伟大功绩的同时，更关心爱因斯坦科学事业的发扬、他的哲学遗产的继承和现代物理学的变革的学者的心声。你的许多观点、分析和结论，正是我多年思考的问题，因而引起了共鸣。你在*《现代物理知识》*上的论文十分系统、深刻、重要，在得到广泛读者的同时，也

应该引起专业学者的注意。因此，还应在专业学报上发表。

望能提供《2000年弦理论家关于物理学的十大难题》和《Gross近年关于25个重大科学问题》的资料或索引，以便研读。谢谢。

王顺金

2005. 10. 21

十四、结语：物理学史会记住

郭汉英

郭汉英认为加速膨胀宇宙背景的时空是德西特时空。他和陆启铿一起阐明了德西特时空不仅描述了宇宙学原理，而且包含了膨胀宇宙中的惯性运动和相对性原理，宇宙学原理和相对性原理在德西特时空中是统一的，是两种不同坐标系的选择：在贝尔特拉米坐标系中实现

相对性原理，在共动坐标系中实现宇宙学原理；共动坐标系的存在表明相对论不排除优越参考系，优越参考系与相对性原理是相容的（在狭义相对论时空和宇宙学德西特时空都是相容的）。这些工作具有基本的重要性。在物理学的历史平台上，他对物理学特别是相对论和宇宙学的贡献，会得到公正的评价，物理学史会记住郭汉英。

（四川大学物理学院理论物理中心 610065）

关于真空的微观结构和引力的微观起源，请参考：[arXiv:1212.5862](https://arxiv.org/abs/1212.5862)(gr-qc)；关于膨胀宇宙中的真空量子涨落与暗能量，请参考：[arXiv:1301.1291](https://arxiv.org/abs/1301.1291)(physics.gen-ph)

订阅《物理》得好礼 超值回馈《岁月留痕—— 〈物理〉四十年集萃》

阅读《物理》，您将了解物理界大事，博学多闻，轻松掌握当代物理学发展脉动。

2012年《物理》创刊40周年，为答谢广大读者长期以来的关爱和支持，《物理》编辑部特推出优惠订阅活动：向编辑部连续订阅两年（2014～2015年）《物理》杂志的订户，将免费获得《岁月留痕——《物理》40年集萃》一本（该书收录了从1972年到2012年在《物理》各个栏目发表的40篇文章，476页精美印刷，定价68元，值得收藏）。欢迎各位读者订阅《物理》（编辑部直接订阅优惠价180元/年）



订阅方式

☆方式一：

邮局汇款

☆地址：100190，北京603信箱《物理》编辑部收

☆方式二：银行汇款

☆开户行：农行北京科院南路支行

☆户名：中国科学院物理研究所

☆账号：250101040005699

（银行汇款请注明“《物理》编辑部”）

☆咨询电话：(010)82649266；
82649277

☆E-mail: physics@iphy.ac.cn