

017

- (017.) Thus, for instance, it may **come as a shock** 使人震惊 to mathematicians 数学家 **to learn that** /主 the **Schrodinger equation** 薛定谔方程 for the hydrogen atom 氢原子系 is not **a literally** 按照字面意义地, 真正地, 确实地 **correct description** of the atom, but only an approximation 近似值 to **a somewhat more correct equation** 后定说明 **taking account of** 考虑到 spin 自旋; (使) 快速旋转, magnetic dipole (n.) (偶极; 双极子) 磁偶极子, and relativistic 相对论的 effects; **and that** 主 this corrected 修正的; 校正的 equation 系 is itself only an imperfect 有缺点的; 未完成的 approximation 粗略估计, 近似值 to an **infinite set** 无限集, 无限集合 of quantum field-theoretical 量子场论 equations 量子场论方程.
- (017.) Thus, for instance, it may come as a shock to mathematicians to learn that the Schrodinger equation for the hydrogen atom is not a literally correct description of the atom, but only an approximation to a somewhat more correct equation taking account of spin, magnetic dipole, and relativistic effects; and that this corrected equation is itself only an imperfect approximation to an infinite set of quantum field-theoretical equations.

因此, 举例来说, 数学家们可能会震惊地得知, 氢原子的薛定谔方程, 并非对原子字面上完全正确的描述, 而只是一个稍更正确方程的近似, 后者考虑了自旋、磁偶极子和"相对论效应"; 而且这个经过修正的方程本身, 也只是"无限量子场论方程组"的一个不完美的近似。

你在阅读时, 需要清楚地明白, 应该读到什么程度, 远比研究里面的生僻专有名词更重要。其实是否知道薛定鄂方程, 对读者来说并重要, 因为GRE考试出题人也不见得知道它。关键是你要读懂句子的主要意思: 这里说的是, 数学家不能理解"不精确和近似值"的伟大意义。

it **may come as a shock (n.) to mathematicians** **to learn (v.) that...**

这里 it 是一个形式主语, 其真正主语, 即主语的具体的内容是 to learn that... 这段。

"Shock (n.) to mathematicians" (对数学家的冲击) :

这句话点明, 数学家理想中的“方程”是绝对精确、完美描述系统的数学真理。但物理学家告诉他们, 物理世界的描述永远是近似的模型。

Table 1. DeepSeek:

Header 1	Header 2
the Schrödinger equation ... is not a literally correct description of... but only an approximation	薛定谔方程, 可以解析求解, 其解(波函数)完美地给出了电子的能级、轨道形状等。然而, 从更现代、更精确的物理视角看, 薛定谔方程是一个近似。它忽略了三个重要的物理效应:

Header 1	Header 2
<p>a somewhat more correct equation 后定说明 taking account of spin, magnetic dipole, and relativistic effects</p>	<p>这个“更正确的方程”指的是狄拉克方程，或者更广义地说是考虑了“相对论”修正的量子力学方程。</p> <p>三项忽略的效应：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 自旋：电子具有内禀“角动量”（自旋），像一个微小的磁铁。薛定谔方程无法自然得出自旋，自旋是作为额外假设加入的。狄拉克方程，则自然地包含了“自旋”。 • 磁偶极矩：与“自旋”相关，是电子与磁场相互作用的强度。精确计算需要考虑“相对论修正”。 • 相对论效应：当电子在“原子核”附近高速运动时，其“质量”会因“狭义相对论效应”而增加，这会影响“能级”的精确位置（如著名的精细结构）。
<p>this corrected equation is itself only <i>an imperfect approximation</i> to an <i>infinite set of quantum field-theoretical equations</i>.</p>	<p>即使是包含了“自旋”和“相对论效应”的“狄拉克方程”，仍然是一个近似值。</p> <p>描述氢原子最“根本”的理论框架，是“quantum electrodynamics 量子电动力学 (QED)”。</p> <p>在QED中：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 电子和光子被视为量子场。 • 质子不再被视为一个静止的点电荷，而是一个有内部结构的复合粒子（由夸克和胶子组成）。 • 真空不再是空的，而是充满“虚粒子对”的涨落（如虚电子-正电子对），它们会与原子中的电子发生相互作用。 • 计算需要用“微扰论”展开成“无穷级数”（“无限集方程”），每一项都对应更复杂的费曼图（如电子发射和再吸收虚光子）。 <p>QED的预测精度达到了惊人的水平（如电子磁矩的计算值与实验值吻合到10位以上有效数字）。可以说，QED是当前我们对氢原子物理的终极近似。但作者暗示，即使QED也可能只是某个更基础理论的近似（如未来可能统一四种力的“万物理论”）。</p>

即(上为精确, 下为粗糙):

现实中的氢原子 (无限复杂)
↑ (近似)
量子电动力学 (QED) 模型 [考虑虚粒子、辐射修正、质子结构...]
↑ (近似，忽略了高阶项和核效应)
相对论量子力学 (狄拉克方程) 模型 [考虑自旋、相对论效应]
↑ (近似，完全忽略了相对论和自旋)
非相对论量子力学 (薛定谔方程) 模型 [基础模型]

近似是常态，而非例外：没有一个理论是 “literally correct”（字面意义上完全正确）的。所有理论都是在一定条件和精度范围内有效的近似。薛定谔方程在化学、材料科学中极其成功，因为在这些领域，相对论和QED修正，小到可以忽略。

Infinite Set 无限集

这是一个数学概念。

定义：一个包含“**无限多元素**”的集合。核心特征：你无法用自然数1, 2, 3, ... 将其元素全部列举完。

例子：

- 所有自然数的集合 {1, 2, 3, ...}，是无限集。
- 一条直线上的所有点，构成一个无限集。
- 所有可能的圆形，也是一个无限集。

在物理上下文中的含义：当说一个理论或方程是“无限集”时，通常意味着这个理论涉及“无穷多的项、无穷多的过程、或无穷多的自由度”，你无法用有限个方程，或有限步计算，来彻底描述它。

Quantum Field-Theoretical Equations 量子场论方程

这是一个物理概念，描述自然界最基本层次的理论框架。

你可以把它理解为 “量子力学” + “狭义相对论” + “场”的终极结合。

- “Quantum”（量子）：物质和能量不是连续的，而是以一份份的“量子”形式存在（如光子）。
- “Field”（场）：宇宙中充满各种“场”（如电磁场、电子场、夸克场）。粒子不是独立的“小球”，而是这些场受激发而产生的“涟漪”或“捆扎的能量包”。例如：
 - a. "电磁场"的激发 → 光子。
 - b. "电子场"的激发 → 电子。
- “Theoretical Equations”（理论方程）：描述这些场如何行为、如何相互作用的核心数学方程。

最成功的例子：量子电动力学。

描述“电子场”与“电磁（光子）”场如何相互作用的QED，其核心是“拉格朗日量”，从中可以推导出运动方程。

它不是一个单一方程，而是一个理论上无穷无尽、越来越复杂的近似过程。

具体来说，它指的是：在“量子场论”框架下（如QED），为了计算一个看似简单的物理过程（如一个电子在氢原子中的能级），你需要进行的微扰展开计算，而这个展开，会生成无限多个需要计算的项。

摄动理论 / 微扰

摄动理论，使用一些特别的数学方法，来对于很多“不具精确解的问题”给出“近似解”，这些方法从“相关的较简单问题的精确解”开始入手。

“摄动理论”将原本问题，分为“具有精确解的较简单部分”与“不具精确解的微扰部分”。摄动理论适用的问题通常具有以下性质：通过加入一个“微扰项”于较简单部分的数学表述，可以计算出整个问题的近似解。

摄动理论计算出来的解答，通常会表达为一个“微小参数的幂级数”。“摄动理论解答”与“精确解”之间的差别，可以用这微小参数来做数量比较。**幂级数的第一个项目是“精确解”的解答。后面的项目描述解答的修正。**这修正是因为精确解与原本问题的“完全解”之间的误差而产生的。

更正式地，完全解 A 的近似，可以表达为一个级数：

$$A = (\epsilon^0 A_0) + (\epsilon^1 A_1) + (\epsilon^2 A_2) + \dots$$

在这例子里：

- **A_0 是简单又有“精确解”的问题的精确解。**
- **A_1, A_2 代表由某种系统程序，反复地找到的“高阶项目修正”。因为 ϵ 的值很微小，这些高阶项目修正，应该会越来越不重要。**