

· 科学技术哲学 ·

论能量-时间不确定关系的解释语境*

郭贵春 赵丹

(山西大学科学技术哲学研究中心, 山西太原 030006)

摘要:自从海森堡创立不确定关系以来,对其内涵解释的争论一直未停止过。由于时间在量子力学中的特殊性,能量-时间不确定性关系的指称和意义在不同的解释语境中各不相同。能量 ΔE 和时间 Δt 究竟指称什么?不确定性关系 $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2$ 的意义又是什么?文章区分了时间在量子力学中的三种角色,进而讨论了各种能量-时间不确定性关系的解释语境,及各种解释语境下其指称和意义,厘清在能量-时间不确定性关系解释上的混乱。

关键词: 能量 时间 能量-时间不确定关系 解释语境

(中图分类号) N02 (文献标识码) A (文章编号) 1000-0763-(2007)02-0017-08

自1927年海森堡(Heisenberg)提出不确定性关系以来,关于其解释的争论一直未休,其中对于能量-时间不确定性关系(energy-time uncertainty relation: ETUR)的争论更甚。物理学家们基于不同的解释语境阐释了能量-时间不确定性关系的内涵和意义。时间在量子力学中是一个很模糊的量,在不同的解释语境下有不同的指称和意义,因而脱离了具体的解释语境去争论究竟能量-时间不确定性关系存在否、它的意义是什么,只会导致更多的混乱。基于此,文章在对时间在量子力学中的三种不同角色区分的基础上,分析了在不同解释语境下的能量-时间不确定性关系的指称和意义,并从其意义的哲学基础出发,试图厘清在能量-时间不确定性关系的解释上存在的混乱。

一、认识论的解释语境

在量子力学中,时间 t 通常指的是牛顿的绝对时间:“绝对的、真实的、数学的时间,由于它自身的本性,与任何外界事物无关地、均匀地流逝……”。在薛定谔方程中, t 是系统演化的参量,是外部的时间,它只是表示系统之外的事件之间的一种顺承关系,不包含物理事件。此种参量的时间由实验操作者实验室的时钟来确定,与系统无关。

作为参量的时间,它同能量之间的不确定关系不可以同位置-动量不确定关系(position-momentum uncertainty relation)建立在相同的基础之上。因为位置、动量和能量都有相应的量子力学算符与之相对应,是量子力学可观察量,而时间只是外部的参量。那么,此种参量时间涵义下的能量-时间不确定性关系在何种意义上成立呢?能量指称什么?它的意义又如何呢?

1、 ΔE 指称能量测量的不准确度

海森堡最初是通过确定原子磁矩的斯特恩-盖拉赫(Stern-Gerlach)实验的分析来提出能量-时间

* 本文是教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目“当代科学哲学的发展趋势研究(04JZD0004)”成果之一

(收稿日期) 2006年1月25日

(作者简介) 郭贵春(1952—)男,山西沁县人,山西大学科学技术哲学研究中心教授,主要研究方向为科学哲学。

赵丹(1983—)女,山西离石人,山西大学科学技术哲学研究中心博士研究生,主要研究方向为物理哲学。

不确定性关系的：原子穿过偏转场所需的时间 Δt 越长，在能量测量中的不确定性 ΔE 就越小⁽¹⁾。这里， Δt 是外部的时间，是测量能量所需时间，它的测定是通过实验者的操作来实现的，若在 t_1 时刻开始测量， t_2 时刻测量结束，则有 $\Delta t = t_2 - t_1$ ； ΔE 是测量能量的不准确度，它是在测量过程中由仪器的有限性引起的，若实测能量值为 E' ，能量本身的值为 E ，则有 $\Delta E = |E' - E|$ 。

玻尔对能量-时间不确定性关系的推导是从经典的波列本身出发的，属于本体论的层面；但他对此关系的解释却是认识论的，表现为：一是时间和能量两个经典的概念在原子层次应用的不可兼容性。精确的时空标示和因果要求二者只能有一个得到满足，即互补性原理；二是在能量的测量中，由于仪器的不可控制的作用使得测量必须考虑到测量客体、测量仪器等整个测量语境，这样一来时间的延续也作为测量语境的要素之一在起作用。“在此之后，玻尔开辟了将仪器作为量子力学解释中所考虑的主要因素的传统，这种对测量仪器的关注是与关注测量过程且不对系统的本性引入内在不确定性的对不确定的认识论解释相关联的。”⁽²⁾

至于海森堡的解释态度，我们能够借用他对位置-动量不确定性关系的分析来理解。海森堡提出了一种操作性的假设——“测量即意义原则”：“粒子的位置”这个术语有意义，仅当能够描述一个测量“粒子的位置”的实验；否则这个短语就根本没有意义⁽³⁾。具体到能量-时间不确定性关系上，则是实验只允许我们在 Δt 时间内测得精度为 ΔE 的能量值，理论的意义极限即是如此。即便海森堡在一种操作主义或是实证主义的情形下，后来模糊了在本体论和认识论的不确定性关系间的差别，但他对于不确定度的认识论解释态度相对是明晰的。

2、 ΔE 指称测量中能量的变化量

朗道和派厄尔斯 (Peierls) 不同意前述解释，认为 $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2$ 并没有断言不能在一个给定时刻精确地测量能量，而是指从一次可预告的测量结果中所得到的能量值同系统在测量后状态的能量值之间的差别。他们认为系统在测量后的态并不一定是同已得的测量结果相联系的态，测量会对系统产生不可估计的影响，从而带来数量级为 $\hbar/\Delta t$ 的能量不确定量 (〔1〕, p.167)。在这里， Δt 指称测量能量的时间，同样有 $\Delta t = t_2 - t_1$ ；若在某次测量前从可预告的测量中得到的能量值为 E ，则此次测量后系统能量值不再是 E ，而是 E'' ，则有 $\Delta E = |E'' - E|$ 。“能量-时间不确定性关系是把两个不同时刻的可以精确测量的能量值之间的差值同这两个时刻之间的时间间隔联系起来” (〔1〕, p.168)。

以上是哥本哈根学派内部关于能量-时间不确定性关系的两种解释。将前述海森堡和玻尔的解释与朗道的解释相比，二者间的不同之处主要在于对 ΔE 产生的原因解释不同，前者强调认识论的结果因素，即认识结果上的有限性，表现为精确时空标示和因果要求的不可兼容性；后者强调认识论的过程因素，即认识过程中的有限性，表现为仪器对客体在测量过程中的不可控作用。后者更加强调测量仪器与被测客体的不可分离性，体现了测量解释语境的整体性，也更接近于玻尔最终的整体论的量子力学解释语境模型，这也从一个侧面体现了玻尔思想的逐渐形成过程，毕竟前者是玻尔在早期的思想雏形。

但二者同作为哥本哈根学派的解释，有许多的相通之处，表现在如下四方面：一是 Δt 均指称外部的参量时间，是测量能量的时间间隔；二是 $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2$ 都表达了在能量的测量中体现出来的关于能量和时间不准确度间的关系；三是都认为测量仪器和量子系统之间的相互作用在某种程度上是不可控制的，从而产生了测量时的不准确度；四是不准确度 Δt 和 ΔE 是用具体的量来表征的，表明基于参量时间的解释语境是建立单次测量意义上的。反过来，也是因为是在单次测量下的解释语境， ΔE 和 Δt 定量的衡量只能采用具体的量。

从上述哥本哈根学派关于能量-时间不确定性关系的解释特点，可以看出其解释语境是基于测量语境构建的，是认识论的，体现为以下几方面：

(1) 指称参量时间的时间内涵。绝对的时间背景作为主体和客体共同存在的空间，与物理客体和物理事件无关，与其直接相互联系的只有主体对客体的认知过程，即测量过程。其他如客体间的相互作用或客体内部的作用等都是通过它们相互作用的时间或客体内部的时间而与绝对时间间接关联。故参量时间涵义的能量-时间不确定性关系只能表达一种认识过程中或是认识结果上的关系，反映认识论层面上的内容。

(2) 基于测量语境的解释语境构建。上述解释语境的构造是建立在测量语境的基底之上的。测量语境是认识论的语境，是主体与客体的统一，是经验与客观的统一。测量展开的过程，是主体与客体发生联系、经验与客观寻求同构的过程。“对认识主体而言，它是主体为实现认识目的所创设的一类包含着理论构思的认识工具；对认识对象而言，它是自在存在转化为对象性存在的基本前提。”⁽⁴⁾

(3) 对能量-时间不确定性关系意义的解释。海森堡认为不确定性关系表示认识论上的极限，即“在小的—端上的认识论闭合”((1), p.92), “后一次测量将在一定程度上使通过前一次测量获得的信息失去预示意义”((1), p.116), “不但对可由测量获得的信息的程度有所限制，而且也对我们能赋予这些信息的意义有所限制”((1), p.116)。当然，认识论的解释也可以具体分为几种：对量子实验操作上的限制，对系统信息获取的限制，和对用来描述量子系统的概念的意义的限制。

(4) 对其认识论解释的意义延伸。“海森堡不确定性关系的引入开辟了一条新的量子力学解释路径，它用我们能够测量到什么和我们能够从这些测量中预言什么的问题代替了对于量子系统性质的提问。”((3), p.18) “能够测量到什么”和“能从测量中预言什么”揭示的是主体与客体相互作用的结果，反映了主体对客体认识的一种限度。以海森堡和玻尔为首的哥本哈根学派对于不确定性关系，甚至整个量子力学基本上都持有此认识论的态度。他们认为，整个物理学的目的就在于追寻现象间的关系，而不是揭示现象背后的物理实在。

关于上述对ETUR的解释，玻姆(Bohm)和阿雅诺夫(Aharonov)曾提出异议⁽⁵⁾，指出它不可能由量子力学数学体系推演出来，而是必须独立提出和证实的额外原理。他们通过所设计的实验表明可以进行可重复的和任意精度的短时能量测量，外部的时间和客体系统能量之间不存在不确定性关系。但最近阿雅诺夫却指出，他们原来所设计的实验中所测量的并非能量，而实际中能量测量必须满足不确定性关系，因为能量作为表征量子系统随时间演化的物理量，对它的测量需要时间的演化来实现，必须花费一定的时间⁽⁶⁾。

指称参量时间的能量-时间不确定性关系的解释语境是对能量的测量语境，在最一般的意义上可以成立。它是对于单次测量语境的解释，寓示了认知行为对于认知对象不可避免的影响，反映了量子测量对客体必然的破坏性⁽⁷⁾，体现的是认识论过程中(朗道的解释)或是认识论结果上(海森堡和玻尔的解释)的限度，是一种认识论的解释语境。

二、本体论的解释语境

绝对时间 t 作为量子系统演化的参量，不属于任何特定的量子系统，自然也不是动力学变量，而能量是系统的动力学变量，那么，能否在物理系统中寻找到与外部时间 t 相对应的动力学时间变量 T ，以与系统能量 E 相共轭而满足不确定性关系呢？

在量子系统中寻找与时间相类似的动力学变量，需要将绝对的外部时间内化到具体的量子系统内部，使其成为属于特定量子系统的动力学变量。内化了的时间变量 T 往往是系统自身存在的动力学变量，它与外部的时间相平行，“它在时间平移变换下与时间坐标 t 相同”⁽⁸⁾，即动力学时间变量的期望值(或观察值)通常只与绝对的参量时间相差一个常数。动力学的时间变量与外部的时间参量的区别，只是前者内在于特定的量子系统，反映的是系统自身的演化特性，而后者外在于物理系统，是绝对的用于衡量先后顺序的参考标度。内化了的时间变量 T 因为局限于特定的量子系统，它的存在是有边界的，这样一来它作为能量 E 的共轭量是与能量的离散性相一致的。而参量时间 t 因为其取值量是从负无穷到正无穷的整个实数轴，它若是与能量相共轭，会导出能量连续的结论。

那么动力学的时间变量同能量之间的不确定性关系是如何构建的呢？此时间变量与系统能量之间的不确定性关系的意义又是什么呢？

1、 ΔT 指称相互作用发生的时间

在朗道和派厄尔斯对ETUR解释语境的参量时间版本基础上，从外部的时间所在的广泛测量语境变换到特定的量子体系间的相互作用语境，则外部的参量时间 Δt 就受到了量子体系间相互作用时间 ΔT 的限制，成为反映量子体系间相互作用进程的物理学时间变量。此时在此相互作用发生的时间区间 ΔT 与量子体系

能量的变化 ΔE 间就存在相互关联了，表现为动力学的时间变量 T 和量子体系的能量 ΔE 间的不确定关系 $\Delta E \cdot \Delta T \geq \hbar/2$ 。若对于体系 S 存在外部的扰动，扰动持续时间为 ΔT ，体系 S 的能量由于扰动的作用会发生改变，变化的幅度称为不确定度（偏离其本真值的量度），记为 ΔE ，则有 $\Delta E \cdot \Delta T \geq \hbar/2$ 成立；若扰动是与另外的系统相互作用的话，则 ΔE 是对在时间 ΔT 内两个系统的能量相交换的度量⁽⁹⁾；若相互作用是与测量装置进行的，即在测量语境下， ΔT 是测量装置与被测量系统相互作用的时间，即测量所需的时间，有 $\Delta T = \Delta t = t_2 - t_1$ ， ΔE 为测量过程中系统能量的改变量；若是对能量进行测量， ΔE 则是测量能量引起的对能量的改变量，有 $\Delta E = |E'' - E|$ ，其中，测量前系统本身能量值为 E ，测量后系统能量值为 E'' 。

这里， ΔT 是在动力学的意义上定义的，不同于在第一部分中讨论的外部参量时间 Δt 。前述 Δt 是由实验操作者通过在外部的时间标度中对测量所发生的时间段的测量而确定的，与主体相关；而这里的 ΔT 直接由物理体系间的相互作用进程来确定，与主体无关。 ΔE 是在物理系统间相互作用过程中，系统能量由于与别的系统或测量装置的相互作用而改变的值，是单次相互作用意义上的，与前述朗道对于 ΔE 的解释相同。

2、 Δt 指称量子系统自身的存在特性

玻尔对能量-时间不确定性关系的推导是从经典波列本身的存在特性出发的。在经典波动力学中，时间和频率间的不确定性关系为： $\Delta t \cdot \Delta \omega \geq 1$ ，根据德布罗意关系 $E = h\omega$ ，从而得到 $\Delta E \cdot \Delta t \geq h$ 。其中 ΔE 、 Δt 是在各自的表象空间中的波函数测量时的宽度。这里，时间 Δt 的表象空间是属于波列自身的内部空间， Δt 表征了系统自身存在的特性，不同于外部的绝对时间背景； ΔE 是在能量的表象空间中测量时的不准确度，即波列在测量时所反映出来的存在特性，且 Δt 和 ΔE 指的是单次测量时的不准确度，其不确定性关系反映了量子波的能量的展开宽度和时间的展开宽度之积不能大于普朗克常数量级。

玻尔对ETUR的推导是结合量子客体的存在特性得出的，与他对ETUR的认识论解释是不一致的，究其原因在于用波来形象比拟量子客体，只是量子力学发展初期的抽象近似而已，并且“玻尔本人也强调经典的波是一种象征性的波，用来导出不确定性关系，只是意图表明经典概念对量子系统的有限适用性”。(2), p.486)

3、 Δt_F 指称量子系统的演化特性

1945年，曼捷斯坦 (Mandelstam) 和塔姆 (Tamm) 意识到在能量的弥散同力学变量的时间变化之间存在相互关联，而能量-时间不确定性关系是对此相关性的定量表述。他们从力学量 F 同哈密顿量 H 之间的测不准关系 $\Delta F \Delta E \geq \frac{1}{2} |\overline{[F, H]}|$ ，以及二者所满足的运动方程 $i\hbar \frac{d}{dt} \overline{F} = \overline{[F, H]}$ ，导出 $\Delta t_F \cdot \Delta E \geq \hbar/2$ 。其中， Δt_F 的定义为 $\Delta t_F = \Delta F / |d\overline{F}/dt|$ ，表示当力学量 F 的期望值变化一个标准偏差 ΔF 所经历的时间，它描写了力学量 F 变化的快慢，因而称为力学量 F 的“特征时间”⁽¹⁰⁾。此“特征时间”具有明确的物理意义，并不需要引入额外的假设，而且不确定性关系 $\Delta t_F \cdot \Delta E \geq \hbar/2$ 可以直接从量子力学体系中导出，因此被普遍接受作为能量-时间不确定性关系的标准形式。

上述解释语境中， Δt_F 表征体系演化的特征时间，是与力学量的标准偏差相关的，故 Δt_F 作为时间的不确定度是在统计意义上成立的； ΔE 是体系能量分布的标准偏差，有 $\Delta E = \left[\overline{(H - \overline{H})^2} \right]^{1/2}$ ，是对在特定量子态下能量值多次测定的统计涨落（在定态下有 $\Delta E = 0$ ）。 Δt_F 和 ΔE 的所指决定了此种能量-时间不

确定性关系的解释语境在统计的意义上表达了在能量弥散和体系演化进程之间的联系。

以上是在动力学时间意义之上的三种关于能量-时间不确定性关系的解释语境。其间的不同主要有：

(1) 在解释语境的具体展开范围上，第一种解释是在量子系统间的相互作用语境中展开的，至少涉及两个系统，而后两种是在单个量子系统内部语境中展开的；(2) 在 Δt 的指称上，尽管在三种解释中，都是指动力学时间，但在第一种解释中指的是相互作用的动力学时间，至少为两个量子系统所共有，而后两种解释中指的是属于特定量子系统内部的动力学时间，只是在一个系统的意义上而言的；(3) 在 ΔE 的指称上，第一种和第三种解释是指不确定度，但第一种是指偏离系统能量本征值的不确定度，第三种指的是偏离系统能量期望值的不确定度，而第二种解释是指不准确度，是对测量能量时能量值的可能分布范围量度；(4) 在解释语境成立的意义上，前两个解释是局限于单个量子过程的，而第三种解释是建立在统计的意义上的。

在动力学时间涵义之上的能量-时间不确定性关系解释是从量子客体内部出发的，是一种本体论的解释语境，主要表现在以下几个方面：

(1) 指称动力学变量的时间内涵。动力学的时间变量，是内含于具体的量子相互作用过程、特定的量子系统存在演化过程中的，反映了量子相互作用和系统演化发展的进程。它描述的是客体自身的特定信息，与主体无关。与此时间相联系的能量，也是属于客体自身的。在此动力学变量时间的指称之上，对能量-时间不确定性关系的解释，其语境是本体论意义上的，只能反映客体自身内部间的联系。

(2) 基于动力学演化的解释语境构建。上述三种能量-时间不确定性关系反映的都是系统的能量弥散和系统演化特征进程间的关系，都是存在于动力学过程之中的，故都与动力学方程相一致。动力学的方程是对量子客体运动演化的客观描述，这是毋庸置疑的，从而能量-时间不确定性关系作为其分析命题自然也是关于客体自身的描述，并不与主体的经验发生任何直接的联系。

(3) 对能量-时间不确定性关系意义的解释。上述解释中，第一种解释反映的是客体间的相互作用特性，第二种解释反映的是客体的存在特性，第三种解释反映的是客体的演化特性，都是对客体特性的揭示，不需要像第一部分中所论述的认识论解释语境那样，在物理学之外引入附加的哲学假设来验证。这里所得出的能量-时间不确定性关系是分析性命题，它的正确与否并不需要经验的证明。

指称动力学时间变量的能量-时间不确定性关系的解释语境是需要进行语境构造的，即在量子体系内部语义地构造一个动力学时间变量。它表征了体系内部存在特性间的一种相互关联，反映了系统的动力学演化同系统能量值变化之间的关系。它所反映的内容是在本体论层面上的，不表达任何关于人类认识客体世界的内容。其中，相互作用的解释和玻尔的存在解释建立在单个过程的意义之上，特征时间解释建立在统计的意义之上。

三、语义学的解释语境

将外部的绝对时间内化到具体的量子系统内部，则产生了属于特定量子系统的动力学时间变量。但动力学时间同能量间的不确定性关系仍然不能够与位置-动量不确定性关系相对等，须有可观察量的时间才可以实现两种不确定性关系的形式统一。因为位置、动量、能量都是量子力学的可观察量。

量子力学可观察量的构造是在动力学变量的基础上，通过数学规范来实现的：须与相应的自伴算符（厄米算符）对应，一方面保证对此力学量的测量所得结果是实数，另一方面保证拥有足够多的本征态以组成完备集。而实际中还必须在操作上作要求，必须能够通过某种实验方案的实施实现对其的测量。动力学变量不一定是可观察量，而可观察量却一定是属于特定量子系统的动力学变量。如何才能寻找到作为可观察量的时间，以保证能量-时间不确定性关系在最严格的意义上成立，与位置-动量不确定性关系建立相同的基础之上呢？建立在时间可观察量基础之上的能量-时间不确定关系的意义又如何呢？

下面将从两种不同的语义构造途径予以讨论。

1、tempus（时态）可观察量

狄拉克曾直接将时间引入量子力学可观察量的范围，而未对参量的时间作任何的变换和修正，但他对时间的共轭量作了修正，使其不再是系统的能量，即哈密顿量，而是负的能量 $-W$ ，然后将时间 t 和负的

能量 $-W$ 引入体系作为 $2n$ 个正则变量之外新的正则变量。这样一来, t 和 $-W$ 之间的对易关系就会与哈密顿方程 $H - W = 0$ 不一致((1), p.69)。后来狄拉克自己也放弃了这样的做法, 认为它是“相当不自然的”((1), p.165)。

近些年, 在狄拉克方法基础之上, 不断有人试图从经典的哈密顿原理出发, 来构造建立在时间可观察量之上的严格意义的能量-时间不确定性关系。这里我们只讨论其中一种——tempus可观察量的构造。把自由粒子作为研究对象, 时间可观察量的构造是从哈密顿原理出发, 通过正则变换的量子化实现的。具体过程如下: 将正则变量位置和动量 (q, p) 作正则变换, 得到新的正则变量 (q', p') 。若选新的正则动量 p' 为系统能量 E , 则新的正则坐标 p' 应是能量 E 共轭的量, 称之为tempus (时态)。tempus具有同时间相同的量纲, 但在概念上与系统的时间 t 不同。由于泊松括号的正则不变性, 有 $\{q, p\} = \{T, E\} = 1$ 。在此基础上, 对 T 和 E 进行量子化, 得出的tempus算符 \hat{T} 和能量算符 \hat{E} 满足正则对易关系, 且保证了 \hat{T} 是一自伴算符。 \hat{T} 算符的形式可以通过哈密顿原理和正则变换求出, 由基本的量子力学算符 (如 q 和 p) 所表达。这里, 只要量子系统的 \hat{T} 和 \hat{T}^2 存在, \hat{T} 和 \hat{E} 就满足不确定性关系 $\Delta E \Delta T \geq \hbar/2$ 。对于保守系统而言, tempus算符 \hat{T} 的期望值等于系统演化的时间 t 加上一常数, 是与普遍的时间参量直接相关的, 但在概念上并不相同, tempus是通过量子力学的算符所构造的可观察量。这里, ΔT 是tempus的涨落, ΔE 是系统能量的涨落。对自由粒子来说, 能量为 $E = p^2/2m$, 所构造的tempus算符 \hat{T} 的形式为 $\hat{T} = 1/2m(\hat{q}\hat{p}^{-1} + \hat{p}^{-1}\hat{q})$, 二者之间满足关系 $\Delta E \Delta T \geq \hbar/2$, 且由于它与外部时间 t 的相关性, 可认为是属于系统的时间可观察量。⁽¹¹⁾

在量子体系的内部语境中, 从经典的哈密顿原理出发, 利用量子化方法来构造可观察量时间算符, 从而构建能量-时间不确定性关系。此种关于能量-时间不确定性关系解释语境的构造, 完全是通过数学上的处理, 在语义学上构造出一个可观察量的时间算符, 达到能量-时间不确定性关系在与位置-动量不确定性关系相同的严格意义上的成立。这里, 先预设了能量-时间不确定性关系在可观察量基础上的严格成立, 然后从理论的数学构造入手, 构建可观察量的时间算符, 以此来论证能量-时间不确定性关系的严格成立, 因而完全是把结论作为论证前提的循环论证。尽管所构造的时间可观察量满足可观察量的要求, 并与外部的时间呈线性关系, 但对于在此基础之上的能量-时间不确定性关系而言, 解释语境的成立没有现实的理论意义和经验意义。

2、正算符的时间可观察量

另一种构建可观察量时间的途径是从测量理论来进行的((9), p.5): Busch从测量理论入手, 通过引入新的关于可观察量的定义, 将时间列入可观察量的范围。通常可观察量算符是用自伴算符表示的, 即谱测量是与自伴算符相关的。但用投影算符取值 (projection-operator-valued) 的谱测量对于处理可想象的实验情形是很有限的。若引入新的算符定义来与测量相关: 用正算符取值 (positive-operator-valued) 或用效应取值 (effect-valued) 的测量, 从测量的结果反推到算符, 则可描述量子测量的普遍情形。可观察量算符的定义依赖于测量的结果, 而不再像以前从数学上用自伴算符来定义, 在物理上则解释为在任何态下其平均值为实数, 且是完备的。

以衰变实验为例, 将新的可观察量的定义应用到时间上去, 以寻求时间可观察量。用在特定的时间 Θ 内观察到衰变事件 A 发生的相对频率来代替量子力学的几率 μ , 与特定的几率 $\mu(t)$ 相联系是对应于该观察量的效应取值算符 (正算符) $E(\Theta)$, 算符 $E(\Theta)$ 与几率 $\mu(t)$ 通过在态 W 下的关系 $\mu(t) = \text{tr}[W, E(\Theta)]$ 一一对应, 其取代值范围为 $\{0, 1\}$ 。这样一来, 时间在测量中的可观察量算符就是 $E(\Theta)$, 其期望值也是和外部的时间 t 相差一常数。在算符 $E(\Theta)$ 和系统的哈密顿算符 H 之间, 通过求方差在统计的意义上能够确证不确定性关系 $\Delta T \Delta H \geq \hbar/2$ 成立。

这里需要注意的是, 对于衰变的测量是把时间作为可观察量进行的, 这与以往的测量把时间作为参量是不同的。通常是在某特定时刻 t_0 测量力学量 A 得到值 a 的几率为 $\mu(A; t)$; 而对于时间的测量, 则是时间间隔 Θ 内, 力学量 A 的值为 a 的几率 $\mu(\Theta; A)$ 为多大。 $\Delta T \Delta H \geq \hbar/2$ 的严格成立需要对事件发生的所有可

能时间进行测量，而在现实操作中，若对客体信息无一定掌握是不太现实的。

在量子力学的测量语境下，给可观察量一个操作性的定义，从而将时间列入可观察量的范围。这里对时间可观察量的构造，是针对特定的测量过程进行的，不具有普遍性。所构造的时间算符 $E(\Theta)$ 虽是从测量的结果即几率出发，但也是从语义学上定义出来的，且它本身也不具有任何的物理内涵，只是对外部绝对时间的一种伴随而已。此解释语境的成立，也只能作为能量-时间不确定性关系一种在可观察量算符的严格意义上成立的论证，并不能表明系统本身的本体论意义上，或人类与物理系统相互作用中认识论上的任何内容，只是在语义学上成立的。

上述是两种指称可观察算符时间的能量-时间不确定性关系的解释语境。二者不同之处在于：首先，前者立足于对量子可观察量的原始定义，通过构造一个满足当下定义条件的算符，来论证此算符与能量间的关系；后者则打破了对可观察量的原始定义，定义了新的可观察量，从而把时间纳入可观察量之列。其次，前者的着手点在经典力学；后者则直接从量子力学的体系入手。二者的共同之处在于：（1）时间成为量子力学中的可观察量，是从语义学的路径实现的，完全是主体为了达到对能量-时间不确定性关系在严格可观察量意义上成立的论证，从理论的某一方面入手，在语义学上寻求所得到的，并不能体现特定的量子客体本身的属性，或是体现特定的主客体相互作用的认识过程中的特性；（2）对于能量-时间不确定性关系的解释都是先预设了其成立，然后通过语义学上的构造和数学上的运算来循环论证的，包含了指向目的意义的解释语境基点，不具有现实的理论和经验意义。因而，在可观察量时间内涵基础之上的能量-时间不确定性关系的解释语境是语义学上的解释语境。

指称可观察量时间的能量-时间不确定性关系的解释语境，与指称动力学时间的能量-时间不确定性关系的解释语境相同，它需要构造特定的语义，仅仅在语义学层面上成立。它所表达的关系是统计意义上的，是与其所赖以成立的特定的语境的统计特性，即与可观察量的时间所共轭的能量是统计意义上的涨落相联系的。

结 语

综上所述，在三种不同的时间含义之下的能量-时间不确定性关系的解释语境，分别表达了其认识论、本体论和语义学层面的内涵，即分别从主客体之间、客体、主体三个方面表达了能量同时间之间不确定性关系的特定内涵。如下表所示：

解释语境	Δt 的指称	ΔE 的指称	语境构造基础	意 义
认识论的	参量的时间	测量的不准确度、对其的改变	测量语境	“在小的一端上的认识论闭合”
本体论的	动力学变量时间	测量对其改变、能量的弥散	动力学演化语境	“理论决定我们能够观察什么”
语义学的	可观察量时间	能量的弥散	指向目的意义语境	在可观察量的严格意义上成立的论证

表1 三种对能量-时间不确定性关系的解释语境

随着科学的发展，科学理论的抽象化程度越来越高，但仅仅有抽象的数学体系是不够的。在抽象的关系式 $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2$ 之外，寻求其物理解释是必要的。鉴于物理学家们在进行物理解释时对时间所扮演角色的不同预设、对其所属的不同哲学层面的认定等一些语境因素对其解释的影响，对能量-时间不确定性关系解释语境的分析是必要的。只有在横向的、在意义基础的背景下来理解，才能对能量和时间的确切所指，对二者间不确定性关系所反映的哲学内涵有一清晰的理解。

〔参 考 文 献〕

- (1) 雅默: 量子力学的哲学 (M) . 秦克诚译. 北京: 商务印书馆. 1989, p.76.
- (2) Scott Tanona, Uncertainty in Bohr's response to the Heisenberg microscope (J) . *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, Vol.35, 2004, pp.483 - 507.
- (3) Jan Hilgevoord, Jos Uffink, The Uncertainty Principle (A) . *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Winter 2001 Edition, edited by E. N. Zalta. <http://plato.stanford.edu/archives/win2001/entries/qt-uncertainty/>
- (4) 成素梅. 在宏观与微观之间 (M) . 广州: 中山大学出版社, 2006, p.261.
- (5) Y. Aharonov, D. Bohm. Time in the Quantum Theory and the Uncertainty Relation for Time and Energy (J) . *Physical Review*, Vol.122, 1961(1), pp.1649 - 1658.
- (6) Y. Aharonov, S. Massar, S. Popescu. Measuring energy, estimating Hamiltonians, and the time - energy uncertainty relation (J) . *Physical Review A*, Vol.66, 2002(5), pp.1 - 11.
- (7) 测量的破坏性与非破坏性是相对的, 参见郭贵春、赵丹. 从信息传输看量子测量过程 (J) . *自然辩证法研究*, 2005(9), pp.23 - 28.
- (8) J. Hilgevoord. Time in Quantum Mechanics. Time in quantum mechanics: a story of confusion (J) . *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, Vol. 36, 2005, pp. 29 - 60.
- (9) Paul Busch. On the Energy - Time Uncertainty Relation. Part I: Dynamical Time and Time Indeterminacy (J) . *Foundations of Physics*, Vol.20, 1990(1), pp. 1 - 32.
- (10) 关洪: 量子力学的基本概念 (M) . 北京: 高等教育出版社, 1990, p.195.
- (11) D.H. Kobe, V. C. Aguilera - Navarro. Derivation of the energy - time uncertainty relation (J) . *Physical Review A*, Vol.50, 1994(8), pp. 933-93.

〔责任编辑 胡新和〕

• 学术信息 •

《中外科技与社会大事总览》简介

本书为 313 万字的精装大 16 开编年体学术文献, 由凤凰出版传媒集团、江苏科学技术出版社、江苏省金陵科技著作出版基金委员会共同出版, 由 130 位专家学者历时 17 年合力著成, 经 16 位院士或专家、博士生导师审阅, 最后经中国科学院审定。本书拥有 3 万余条索引、7 万余条事件, 所使用的数千种中外资料均为省级以上出版社出版的学术性、权威性文献。全书所有内容在全文主审、专家分审共 5 次统稿、汇稿中均已反复作了核定, 是高度严谨的科学史和社会史事典。

全书上起远古 (300 万年前), 下迄当今 (2000 年), 中外科技史与社会史上的重大事件、人物、发现、发明、论著、学派、思潮, 可谓罄书无余。为了体现清晰的历史线索, 本书严格地按时序纵向编次, 又按历史时段横向贯通, 对发生时间确切的事件, 直接精确到年、月、日; 对延续较长的事件, 示之以时限区间; 对于特别重大的事件, 有较详尽的介绍与说明。但本书以纯客观的考证和记述为编撰原则, 不作主观评论, 其认识意义和思想内容是通过独到的对照性体例设计由史实本身去呈示, 其内涵与结论可谓不言自明, 故而

本书是科学史和社会史的可靠信源和依据。

本书的首要特色在于横向对比——中国与外国对比、科技与社会对比。另一特色是以时序为主线的纵向编年, 在此基础上又将科技与社会按照通行的学科分类标准和分类次序依数、理、化、天、地、生、农、医、工、文化、政法、经济、军事、其他等项分类编排。

本书配有 150 余幅插图、关键词内容索引和外国人名、地名索引, 附有中西纪年对照表和 1901—2005 诺贝尔奖金获得者名录总表。

《总览》并非完美无缺, 在内容的衔接、事件的取舍、叙述的详略、语言的风格等方面, 尚存在一些难以处理的矛盾和不尽人意之处, 这就需要各位读者、同行、专家学者们的共同关心和批评帮助。希望大家提出宝贵意见, 在此我们致以由衷的谢意。

《总览》编委会
江苏科学技术出版社
2007 年 3 月

Abstract

Reflection on Relation of Daily Psychology and Scientific Psychology (p.1)

MENG Wei-jie

At present psychology is going far away from the people's reality, showing the strong quality of physical science. In fact, psychology is not only for the psychologists but also for the ordinary people, which means that psychology has another feature—the daily quality. Accurately, it is the daily psychology that makes people's daily activities possible. Daily psychology reveals the strong cultural quality and provides a new view to understand and explain the features of psychology.

Psychology's Perspectives: Contemporary Thought about Intelligence (p.7)

JIANG Jing-chuan, YE Hao-sheng

Human beings had explored intelligence for a long time. From philosophical level to psychological level, psychologists had unprecedentedly studied intelligence, including its construct, developmental mechanism, influential factors and assessment. From psychology's perspectives, this paper analyses evolvement and development of contemporary intelligence notions and theories, discusses progress and issues in current intelligence field. The author suggests that there are several developmental trends in the field in the future: (1) Extend connotation of intelligence; (2) Assess intelligence dynamically; (3) Explore neurophysiological mechanism of intelligence; (4) Carry on integrative and trans—subject researches on intelligence.

The Analysis of Hermeneutics to the Society of Technology (p.13)

WANG Guo-yin, HENG Xiao-qing

With appearance of the function of the technology in the society, the technology society has been noticed by many branches of knowledge. From the view of theory, the explanation of concept is the precondition of researching. In the view of the hermeneutics, there are three types of comprehension in the technology society. The first comprehension is the period of development of society when technology had become the power of control and governance. The second one is the intercourse community whose core and intercourse media is technology. The third is the society composed by the members whose careers or work are technology.

The Explanatory Context of Energy-Time Uncertainty Relation (p.17)

GUO Gui-chun, ZHAO Dan

There are many controversies on energy—time uncertainty relation. Because of the confused role time plays in quantum mechanics, the references and meanings of energy—time uncertainty relation are different in different explanatory contexts. But what do time and energy really mean? What is the philosophical foundation of this relationship? The article bases on the three different meanings of time in quantum mechanics, discusses the references and meanings of energy—time uncertainty relation in various contexts, and aims to clarify the confusion on the references and the meanings of the uncertainty relation between energy and time.

The Transcendental Ground of the Possibility of Life: the Effective Cause and the Final Cause- A Study of Kant's Methodology of the Science of Life (p.25)

DENG Nan-hai

With the perspective of transcendental philosophy, Kant indicated that the principles of Newtonian mechanics which were grounded on 'the effective cause' transcendently could not explain the uniqueness of life completely. Based on the critical innovation of traditional teleology, he proposed that the methodology of the science of life should combine the teleology with mechanism. The methodology that was proposed by Kant had had profound effect on the science of life.