

时间箭头起源浅析

苏中启

(大庆职工大学基础部 黑龙江 163255)

时间是一个非常古老的话题,数千年来它一直受到古今中外人们的强烈关注.从孔夫子“逝者如斯夫”的感性赞叹,到霍金“时间简史”的理论探讨,无不显示着人类对时间本性认识的不倦追求.时间这一概念是为了描述事件之间的顺序而引入的.具体来讲,为了区分过去与将来,我们需要对时间的方向性作出定义.迄今为止,物理学家对时间的方向性作出了多种定义.霍金认为,至少存在有三个时间箭头将过去和将来区分开来.它们是热力学箭头,这就是无序度增加的时间方向;心理学箭头,即是在这个时间方向上,我们能记住过去而不是将来;还有宇宙学箭头,也就是宇宙膨胀而不是收缩的方向.霍金指出,心理学箭头本质上应和热力学箭头相同,而观测表明热力学箭头和宇宙学箭头是相一致的.由此我们可以看到,热力学时间箭头是三种箭头的核心,对此我们应作进一步的简短说明.当我们把一块糖放进一杯热茶中加以搅拌时,糖分子在空间的浓度差异,茶的有规则运动以及茶同周围环境的温度差就代表了宏观信息即秩序.当糖化开,茶逐渐停止运动并开始变凉时,宏观信息便逐渐消失.消灭宏观信息的不可逆过程(在本例中是分子的扩散,粘滞性和热传导)是热力学第二定律的具体表现.这个定律说,所有的自然过程都产生熵——混乱程序的一种量度.在这里时间方向是通过宏观秩序的不可逆转的被破坏来定义的,因此我们将其称为“热力学的”时间方向或箭头.本文首先对时间是否真的具有流动性作出辨析,然后进一步探讨热力学时间箭头的起源.

时间真的在流逝吗?

人们对时间的共识是:时间在飞逝着或“至

少”在流动着.在日常生活中,过去、现在与将来显然有着不同的特征.过去已经完结,也许可被忆及,然而它绝不会再被变更.将来仍处于来临之中,它仍然是不确定的.仅有目前的瞬间才是真实的存在.所有这一切看起来好像是人们共同的感受.然而,许多科学家与哲学家却坚定地认为,我们上述的所有看法都是错误的.他们坚决主张,从根本上来讲,时间并不流动着.英国剑桥大学哲学家约翰·麦克塔格特于19世纪与20世纪之交曾为这一争论提供了舞台.当时他提供了两种表面上相矛盾着的时间图景.一种观点是将时间只是简单的处理成可用于标出事件发生的某种坐标.犹如经度与纬度标明了物体的位置一样.另一种观点则涉及到流动着的时间,随着时间的流动而有着事件的发生与未来的降临.哪种观点正确呢?哈佛大学哲学家唐纳德·威廉斯于1951年发表了题为“时间推移的神话”的著名文章,试图对比作出解答.他认为,仅有静态的坐标时间才是真实的.他的观点得到了许多其他哲学家的支持.澳大利亚哲学家杰克·斯马特承认,无疑地,我们确实感觉到时间在流逝着.但是,他认为,这种感觉是由形而上学的混乱状态所引起的.如果说时间在流逝着,那么它流逝得有多快呢?他询问说,自然,很可能,每秒只是一瞬间.然而,对于我们而言,要在同义反复的范围之外去谈论对运动或某种事物推移的测量,我们仍需要以时间为背景来进行.比方说,此时我们可以用一个以每秒10米速度移动的箭头来说明.不过,当事物就是时间本身时,我们又如何对其进行测量呢?从根本上来讲,对时间的流动性产生怀疑是有其物理学上的正确理由的.众所周知,牛顿认为时间是绝对的,它

与空间、物质及运动毫无关联,持有绝对时间观点的人都认为,人们可以毫不含糊地测量两个事件之间的时间间隔,只要用好的钟,不管谁去测量,这个时间间隔都是一样的,时间相对于空间是完全分开并独立的。但是,爱因斯坦的狭义相对论指出,对所有的观察者而言,光速均是不变的,而运动着的时钟将会变慢,换句话说,该理论推翻了将时间看作是对每个人都具有共同的瞬间这一普遍的概念。爱因斯坦表明,对观察者甲而言,他判断出在空间上分隔开的两个事件是同时发生的,但这一结论对另一个观察者乙来讲却是不适用的。总之,发生在同一地点的两个事件的时间次序是能够绝对确定的,但是发生在不同地点的两个事件的“同时性”却不是绝对的,而是一个相对的概念。例如,著名的双生子佯谬指出,如果双生子中的一个在以近于光速运动的空间飞船中作长途旅行,当他返回时,他会比留在地球上的另一个年轻得多,只是对于头脑中仍存在着绝对时间观念的人而言,这才是佯谬。在广义相对论中,爱因斯坦更进一步将三维的空间与一维的时间统一了起来,提出了著名的四维时空结构说。这时,空间和时间均变成动力学量;当一个物体运动时,或一个力起作用时,它均会影响空间-时间的曲率;反过来,空间-时间的结构则影响了物体的运动和力作用的方式。当时间与空间密切结合在一起,且时空曲率又会受到物质的影响时,我们单独去提及时间的流逝,还有什么意义呢?对此,爱因斯坦本人曾直接了当地指出:“所谓过去,现在与将来这些说法都仅仅是假象,但人们却在坚持着”。头脑一旦清醒过来,物理学家宁愿将时间设想为一幅时间风景画去展现它的全部内容。他们引入了一个经常被称为“地块时间”的概念。因此人们就有理由发问,如果我们对时间流逝的理解仅仅是思想上的一类遁辞,而不是真实宇宙的某种性质,那么,这种认识是如何产生的呢?对此,有着多样化的解释。某些人把它归结于我们的语言结构,其他一些人则试图从脑的活动中寻找答案。不过,许多科学家,最显著的是牛津大学罗杰

·彭罗斯,感到对时间流逝的理解与量子力学中被称作“波函数消失”的概念有着某种关联,量子物理与意识二者之间的联系是一个深奥而又经常引起争论的问题。量子力学,它描述原子尺度上物质的行为,其基础是所谓测不准原理。当给出一个特殊的原子状态时,一般地说来你不可能准确地预测它将会如何变化。例如,如果你有一个受激原子,你不可能事先确知它将怎样衰变;你所能知道的全部东西只是判断其运动的可能性。一种设想出的,对这种不确定性进行描述的方法是去表明,这里有着两种可供选择的宇宙:一个是被激发的原子;一个是衰变的原子。根据量子力学的奇妙规律,一个原子的状态,一般来讲,不但与许多共存着的宇宙(指原子)有关,而且也与它们之间的相互迭加有关。不过,人类始终只能观察到一个宇宙,因此,当他们以某种方式对自然界进行观察时,导致在竞争着的现实之间产生了某种选择。采用量子力学术语,我们就说波函数消失成为一种可能,因为我们是使用波函数来描述原子所处的状态的。从理论上讲,可供选择的幽灵宇宙其数量是无限多的,而其中的某个方案能否转变成为具体的现实,则需要自然界进行审查。对自然界的这种选择过程,我们并没有做到充分理解,但所有的研究人员都同意,似乎仅有一种选择过程是恰当的。一旦现实的选择被完成,它就不可能再改变。由此,争论得以完结,我们有关时间流动的概念是以这种方式产生的,即依靠我们的意识解决了可能有多种解释的量子态问题。即使时间并不是确实地从过去流到将来,看起来情况仍然是这样,即对于时间而言,世界是处于强烈地不对称状态。如果你拍摄一部有关日常生活场面的电影然后反转放映,那么,每个人都会捧腹大笑。让他们发现倒映电影中蒙蔽人的镜头是毫无困难的。在现实生活中雨滴并不开向空中。而打坏的蛋也不可能再恢复原状。

宇宙的有序、无序与初始条件

上面我们所讲的这种不对称现象并不取决于时间的流逝:你实际上不可能通过放映电影

去发现它。人体会衰老,汽车会生锈、蛋会破裂、雪会融化、无线电源能从发射塔上向四周扩散出去。物理学家对上述种种现象经常使用“时间箭头”这一名词去说明时间在过去与将来这两个方向之间所存在的某种不对称性,虽然时间箭头这一名词可能遭到误解,因为箭头本身也显出能飞行之意。所以名词本身也涉及到时间的流动。对时间箭头图像的纠正方法是通过将它与其有相似性的指南针或风向标作出对比来加以说明,因为指南针或风向标均指向某个方向,但它们本身并不沿该方向向前运动。换句话说,在这里“箭头”本身并不运动,而只起到方向标志的作用。那么,时间箭头的这种方向性来自何处呢?自然,绝大部分不可逆过程可归结成为热力学第二定律的事例,也就是说,在一个孤立系统中,热会从热物流向冷物体,从来不会有相反的流动方式。最终的结果是使系统达到一种叫做热力学平衡的状态,此时,热在系统中以相同的温度作均匀分布。热力学平衡是一种最大的无序状态,早在19世纪50年代物理学家就已经认识到热力学第二定律意味着宇宙单方面地向着简并与混沌滑去。并始终保持着这种状态。能对热力学时间箭头作出鲜明解释的,莫过于香水的挥发过程了——当瓶塞被拔掉之后,挥发过程是不可逆的,不管我们等待多久,香水分子也不会自动集中到瓶子里去,一旦它们与空气分子相混合,香水的初始状态就成为不可逆转的。香水分子的这种扩散到全屋的过程对理解物质从有序状态变化到无序状态来讲是最好的思维方法。并且,当你试图寻找热力学时间箭头的来源时,秘密就隐含在其中了。分子的搅动使香水分子与空气分子相混合,这就涉及到大量分子间的碰撞。但是,两个分子间的碰撞是一种可逆过程,就如同倒放电影一样,分子可以返回到它们原来的轨道。我们知道,单个分子的运动既不产生信息,也不产生熵。为定义热力学时间箭头所需要的“秩序”是一个宏观概念,是许多粒子组成的系统所具有的性质。这就是说,在微观标准上,我们是看不到热力学时间方向的,或者说,对称性在时

间规律中统治着分子的行为。确实,几乎所有的物理学定律对于时间都是可逆的。困惑在于,现实世界中的不平衡过程何以能在时间对称规律中出现。对此,本世纪50年代德国哲学家汉斯·赖兴巴赫利用初始条件给出了一种可能的答案。设想你正在打开一副按适当数字顺序排列好的新纸牌。不久,这一高度有序的状态就因一两次洗牌行为遭到破坏。对于洗牌过程而言,并没有什么固定的方向性存在着。不对称性的出现,仅由于你刚着手洗牌时,纸牌是处于某种非常特殊的状态之下(即按数字大小作高度有序的排列),然后,你随机的洗牌行为就干扰了它。从有序退化为无序,并不是因为在基本定律中的存在着某种方向性,只不过是相对于有序状态相比,无序状态的数量要多得多而已。因此,对一个有序态进行干扰的结果,就很可能产生一较少有序的状态。所以,要解决时间箭头的最终起源问题,我们首先需要回答宇宙本身是如何进入有序状态的,换句话说,热力学时间箭头的定义(或存在)要求宇宙必须从一个非常光滑和有序的状态开始。这样就会导致正如我们所观察到的,定义很好的热力学和宇宙学时间箭头。当然,我们也可以设想宇宙从一个波浪起伏的非常无序的状态开始。但是,在那种情况下,宇宙已经处于一种完全无序的状态,所以无序度不会再随时间而增加,或者它会减小,这时热力学时间箭头就会和宇宙学时间箭头正相反,任何这些可能性都与我们所观察到的情况不相符合。所以,要解决时间箭头的最终起源问题,我们首先需要回答宇宙本身是如何进入有序状态的,很明显,这需要回溯到大爆炸。不过要注意,在这里,一种奇妙的新佯谬出现了。我们知道,早期宇宙在事实上是高度无序的。大爆炸伴随着热的闪光,同时,空间被辐射所充满。这种早期热辐射的残余于微波背景辐射中幸存下来,并仍然浸泡着今天的宇宙。卫星观测表明,微波辐射光谱恰恰属于“黑体”类型,它与均匀的温度分布以及完全的微观无序相联系着。所以,尽管热力学第二定律要求时间箭头从有序指向混沌,从不平衡指

向平衡,而早期宇宙似乎以平衡态为起点,并以今天的远离平衡态为结束,这样看来,箭头是否指错了方向?答案在于:是引力参与作用的结果。

时间箭头的引力起源说

让我们回忆一下,为防止对热力学第二定律产生误解所作的说明:它仅适用于孤立系统。在宇宙中物质与热辐射并不是孤立存在的,因为它们在参与大尺度运动方面是自由的。这种参与活动受到了引力的作用。因而我们对作为总系统一部分的引力场必须加以考虑。在实验室中,引力作用可以忽略,气体的平衡态是一种均匀分布。但是,一切均应考虑到引力的变化。引力是一种吸力,它试图将物质凝聚成块状,这一过程最后是以物质完全集结起来,坍缩成一个黑洞而告终。将热力学应用于引力,黑洞可被看作是达到平衡的终态。试图寻找到一个方程,从而将引力与热力学二者联系起来,这一任务即使对最杰出的物理学家而言也是一件非常伤脑筋的事情。幸好有某种线索可资利用,这里有两种过程可能与涉及时间箭头的观点有关,能帮助我们有序与无序进行思索,而又不必使用块状度与平滑度这一类名词,但它们却涉及到信息学词汇。对全部无序态仅需用几个比特信息去描述它即可。例如,对处于热力学平衡态下一烧瓶气体的宏观态,仅利用给定的温度与体积这两个参数就可以作出完整的描述。但是,气体内部拥有大量热点与涡旋,它们能够产生更多的信息——与这两个参数所可能描述的状态相比。而当系统达到平衡态时,它会不可逆地失去信息。当某个天体坍缩成黑洞时,它会失去信息。天体引力场的逐步增加会捕获光线,由于信息的传播不能比光快,因而信息也会被捕获。最终,围绕天体形成一个视界,它可阻止任何信息从中心逃逸出去。对于一个外部的观察者来讲,坍缩天体的信息容易会不可逆地消失于黑洞之中。因而,人们并不感到意外,即黑洞也遵循与通常的热力学定律完全相同的一组规律。热力学第二定律可被看成是驱使系统趋向平衡的自然规律。如果该定律对

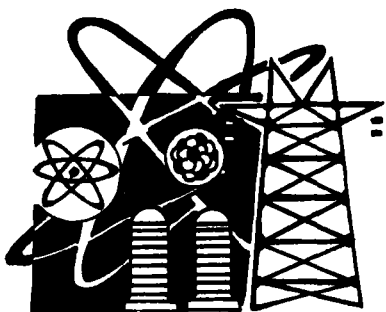
引力系统也适用,那么,它就可以对从光滑到凝块的变化趋势作出描述。微波背景辐射揭示出早期宇宙在事实上是极端光滑的——不过,它也同时暗示了由卫星观测所显示出的正在凝聚成块状的情况。虽然仅从物质与热能方面来考虑,宇宙与平衡态非常接近,但从引力方面来考虑则它距平衡态又非常远。其于此,物质与辐射能驱使它们自身远离其平衡态而又不违背热力学第二定律。随着宇宙的进化,它获得了热有序,但也同时获得了引力无序,所以,热力学第二定律始终被满足。由此,从宇宙诞生时刻的引力安排中,我们最终找到了时间箭头的起源。不过人们仍企求回答这样一个问题,就是宇宙何以在初始时刻处于引力有序态呢?为什么在大爆炸中没有产生黑洞,难道此刻的引力作用代表了一种比柔和的气体更加自然得多的状态吗?要进一步解决这一问题,就必然涉及到暴胀理论以及量子宇宙学说。

暴胀与量子宇宙

近年来宇宙学家利用在高能物理与在极短时间内发生的量子过程等领域所取得的研究成果,对宇宙的初始状态找到一种解释。尽管这些研究成果具有高度的推测性——约在原始大爆炸的 10^{-36} 秒之后,宇宙的尺度突然间有了巨大的飞跃,即所谓暴胀。宇宙中的任何不规则性都被这种暴胀抹平,正如当你吹胀气球时,它上面的皱纹就被抹平了。所以暴胀产生了很平滑的状态——这在宇宙微波背景辐射中得到了反映。但是暴胀理论只是对宇宙初创时期的光滑与有序问题给出了解答,还有其他一些至关重要的问题,它未能给出答案。首先,它无法告诉我们为什么宇宙的初始结构不是那种产生和我们观测到的非常不同的宇宙的某种态;因为对暴胀模型的研究指出,宇宙现在的状态可以从大量的不同初始结构所引起。其次如果暴胀这种情况能够出现,则按照逻辑推理可知,宇宙最终会停止膨胀,接着是向着坍缩的大危境挺进,这颇像是大爆炸的翻转,如果宇宙确实是这样,那么它整个的运动对于时间将是对称的——即开始与结束有着类似的密度状态,那么,

为何又会出现热力学时间箭头呢？对于这些问题的一种更有前途的解释，就是由霍金等人提出的量子宇宙概念，在此，我们首先介绍一下由加州理工学院默里·盖尔曼以及加利福尼亚大学詹姆斯·哈特尔提出的观点。他们认为，我们观测到的宇宙是不对称的，并要求运用量子理论去解释它，量子物理学暗示，对宇宙的某个给定的量子态而言，它有着许多不同的进化方式。这些可能过程中的某些与宇宙初始时期的光滑及随后凝块的生长相当；反之，另一些过程则与它们的反转过程相当。少数可供选择的量子方案涉及这样一个宇宙，即它开始时是光滑的，然后凝聚成块状物，再后是过程的翻转，终结时又恢复平滑状态。尽管少数可能存在的星系看起来是不平衡的，但把它们聚拢起来作为一个宇宙整体来看，并没有一个时间方向受到的偏爱会超过其他的时间方向，因而保持了自然界的基本时间对称性。在许多可供选择的量子方案中，仅有少数在实际上可能被活着的理智生物所察觉。生命取决于某种热力学不平衡，所以它并不令人惊诧，我们目前观察到的一个宇宙，曾有过一个极为短暂的光滑、有序阶段，对此，我们称为“开端”，无论如何，我们很少能观察到一个对时间对称的宇宙。霍金认为，我们必须用量子引力论去讨论宇宙的极早期阶段，因为按照广义相对论，时间的开端是具有无限密度和无限空间——时间曲率的一点，在这一点即所谓奇点上，所有已知的科学定律都失去效力。众所周知，在量子力学中，通常的科学定律有可能在任何地方都有效，包括时间开端这一点在内：不必针对奇点提出新的定律，因为在量子理论中不必有任何奇点。在量子引力论中，存在许多不同的可能的宇宙量子态，在这里空间——时间没有边界，所以也就没有必要指定边界上的行为，换句话说，宇宙是完全自定的，而不被任何外在于它的东西所影响，它既不被创生，也不被消灭，它就是存在。基于上述理由，霍金指出，宇宙在尺度上有限，但是没有边界，边缘或奇点，在这种情况下，时间的开端就会是规则的，光滑的空间——时间的点，并且宇

宙在一个非常光滑和有序的状态下开始它的膨胀。它不可能是完全均匀的，否则就违反了量子理论不确定性原理。必然存在密度和粒子速度的小起伏，然而无边界条件意味着，这些起伏又是在与不确定性原理相一致的条件下尽可能的小。宇宙刚开始时有一个指数或“暴胀”的时期，在这期间它的尺度增加了一个非常大的倍数。在膨胀时，密度起伏一开始一直很小，但是后来开始变大。在密度比平均值稍大的区域，额外质量的引力吸引使膨胀速度放慢。最终，这样的区域停止膨胀，并且坍塌成星系，恒星以及我们这样的人类。宇宙开始时处于一个光滑有序的状态，随时间演化成波浪起伏的无序状态。这就解释了热力学时间箭头的存在。如果宇宙停止膨胀并开始收缩将会发生什么呢？热力学箭头会不会倒转过来，而无序度开始随时间减少呢？起初很多人（包括霍金本人在内）都相信宇宙坍塌时，无序度会减少，因为人们认为，宇宙而变小时，它必须回到光滑和有序的状态。这表明，收缩相仅是膨胀相的时间反演。处在收缩相的人们将以倒退的方式生活：他们在出生之前即已死去，并且随着宇宙收缩变得更年轻。这个观念相当吸引人，因为它表明在膨胀相和收缩相之间存在着漂亮的对称。经过进一步的探讨之后，霍金说：“无边界条件意味着事实上在收缩相时无序度会继续增加”。因而当宇宙开始收缩时势力学和心理学箭头均不会反向。最后还有一个问题需要回答，那就是，为何我们观察到热力学箭头和宇宙学箭头指向同一方向。换句话说，为何无序度增加的时间方向正是宇宙膨胀的时间方向？如果人们相信，按照无边界假设所隐含的那样，宇宙先膨胀然后重新收缩，那么为何我们应在膨胀相中而不是在收缩相中呢？霍金认为：“人们可以在弱人择原理，人择原理是说，我们之所以看到宇宙是这个样子，只是因为如果它不是这样，我们就不会在这里去观察它的基础上回答这个问题。”因为收缩相的条件不适合于智慧人类的存在，而正是他们能够提出为何无序度增加的时间方向和宇宙膨胀的时间方向相同这样的问题。无边



谈谈高能物理

勾亮

(中科院高能物理研究所 北京 100039)

一、高能物理学科的产生和它的根本目的

高能物理又称粒子物理(又称粒子物理,因为在高能物理研究的能量区域,一切物质现象都可归结为构成物质的基本组份在基本作用力作用下产生的现象),它是研究物质的基本组份及其相互作用的基础学科,是当代物理学前沿.其根本目的是,试图在更深层次的物质结构和基本相互作用的基础上统一解释物质现象,认识和掌握物质运动变化规律,以寻求发展生产力的新途径.

人类对构成物质基本组份的探索,据文字记载最早要追溯到公元前五世纪.当时古希腊哲学家留基伯,以及后来他的学生德谟克利特,为了统一解释发生在周围的纷繁杂乱,千变万化的自然现象而提出“物质是由什么构成的”问题.他们认为,只有在基本组份和基本过程的基础上才能统一解释自然现象.因此,人类必须进行超越自然界呈现的现象所给予我们直觉

的研究,才能达到统一解释自然现象的目的.他们认为,一切物质都是由不可分的所谓‘原子’组成的.

这种物质观念毕竟是他们只运用纯哲学思辨而得到的.他们的原子理论只是反映了他们对物质世界看法的一种朴素的唯物主义观念.‘原子’究竟是什么?只有建立在实验测量基础上的物理学的产生和发展,才可能真正回答这个问题.‘原子’学说的一个重要意义在于,它引导人们去追求和研究支配物质运动变化的普遍规律.这种探求未知世界的努力,导致了人们不断地认识和掌握物质运动变化规律,进而推动了科学技术的不断进步.促进了生产力和人类社会的迅速发展.

建立在实验测量基础上的物理学的产生和发展,迅速加快了人类对物质现象的认识.从17世纪至本世纪20年代的三个世纪左右时间里,物理学家先后建立了描写宏观物体在力的

界假设预言的宇宙在早期阶段的暴胀意味着,宇宙必须以非常接近为避免坍缩所需要的临界速率膨胀,这样它在很长时间内才不至坍缩,如果情况不是这样,那么到宇宙坍缩时期,所有的恒星都会烧尽,而在其中的质子和中子可能会衰变成轻粒子和辐射.此时,宇宙将处于几乎完全无序的状态,这时就不会有明显的热力学时间箭头.由于宇宙已经处于几乎完全无序的状态,无序度不会增加很多.然而,对于有智慧的人类行为来说,一个明显的热力学时间箭头

是必要的.为了生存下去,人类必须消耗能量的一种有序形式——食物,并将其转化成能量的一种无序形式——热量,所以智慧生命不能在宇宙的收缩相中存在,这就解释了,为何我们观察到热力学和宇宙学的时间箭头指向一致.并不是宇宙的膨胀导致无序度的增加,而是无边界条件引起无序度的增加,并且只有在膨胀相中才有适合智慧生命生存的条件.

(主要材料来源《New Scientist》与霍金著《时间简史》)