

(续前)

四、黑洞的时间之箭

1972年,著名物理学家惠勒(J. A. Wheeler)和他的研究生贝肯斯坦(J. D. Bekenstein, 现任以色列纳吉夫大学教授)一起,提出一个关于黑洞的关键性见解,即当星体发生引力坍缩形成黑洞或外物落入已经形成的黑洞时,星体物质或外物都将毫无例外地在黑洞中被压缩成高度致密的状态,从而失去这些物质原来所携带的信息,仅仅剩下三个参量——质量、角动量和电荷.不管落入黑洞的物体是一卷磁带、一部大百科全书、一台电脑、一个生物体甚至一个人,都是如此.所以,黑洞不具有信息上的细节.于是惠勒就说黑洞是“没有毛发”(no hair)的.这一见解后来由霍金、卡特(B. Carter)、伊斯雷尔(W. Israel)和罗宾逊(D. C. Robinson)共同进行了理论上的论证,从而上升为“黑洞无毛定律”.

黑洞虽然不具有任何信息上的细节,但仍然保留了质量、角动量和电荷这三个参量,俨如三根毛发.1980年12月在美国巴尔的摩城召开第10届得克萨斯国际相对论天体物理学讨论会时,我国科学家刘辽和张镇九建议惠勒将黑洞无毛定理改称“黑洞三毛定理”.这一名称别出心裁,引人入胜.联想到张乐平先生的著名漫画,给这条科学定理增添了几分诗情画意.

黑洞与外物的任何相互作用都将引起视界(event horizon)面积的变化.因此,黑洞三毛定理也可以表述为:黑洞视界面积的变化与而且仅与质量、角动量和电荷这三个参量的变化有关.用数学语言来说,就是黑洞视界面积 A 是质量 M 、角动量 L 和电荷 Q 这三个参量的函数:

$$A = f(M, L, Q).$$

根据司马尔(L. Smarr)的研究,上述函数关系可具体写成:

$$TdA = dM - \Omega dL - \phi dQ.$$

式中 T 是黑洞的“温度”, Ω 为角速度, ϕ 为电势.这与热力学中的基本关系式:

$$TdS = dE - PdV - \phi dQ$$

在形式上极为类似.上式中 S 为熵, E 为能量, P 和 V 分别为气体的压强和体积.

早在司马尔写出上述关系式之前,霍金就提出了黑洞的“视界面积不减定律”,即当外物落入黑洞时,黑洞的视界面积只增不减.霍金还认为,黑洞的视界面积不减定律与熵值不减定律即热力学第二定律十分相似,视界面积之对于黑洞,就好象熵之对于热力学系统一样,不可逆过程使它们的数值单向性地增加.后来,



贝肯斯坦进一步发展了这种观点,提出“黑洞热力学”的四大基本定理.按照上述观点,黑洞好象是由 T 、 Q 、 ϕ (或 M 、 L 、 Q)这几个量所表征的平衡态,而引力坍缩形成黑洞以及黑洞的吸积过程,就好象在热力学意义下非平衡不可逆地趋向平衡态一样.在上述基础上,贝肯斯坦还提出,在黑洞与外部物质的相互作用过程中,宇宙的广义熵永远不会随时间而减少.

如果我们仔细分析一下这种观点,就会发觉,这种“黑洞热力学”的方向是被弄颠倒了的.热力学第二定律所描述的熵增加过程是能量的散逸过程,而黑洞的形成和吸积过程则是质能的集中过程.这两种过程进行的方向是恰好相反的.而且在黑洞中集结起来的质能是可以重新活动起来并释放出去的自由能.黑洞发射粒子(蒸发)的释能过程,与恒星的辐射(发光发热)一样,是能量散逸的过程,所发射粒子的组成形态相当于热放射谱,与理想黑体的热发射在各方面都完全一样.所以,黑洞发射粒子是一个热力学过程,它服

从热力学第二定律,在此过程中熵值是增加的.这时黑洞视界面面积则减小.反过来,黑洞的吸积导致质能集中的过程,就应该是熵减少或者说产生负熵的过程,而这时黑洞的视界面面积却增加.黑洞视界面面积的变化与熵变是相对应的,这本是霍金、贝肯斯坦和司马尔等人的原意.但他们将视界面面积对应于熵,则是弄反了的.如果我们把黑洞的视界面面积看成是负熵的影子,就把颠倒了的黑洞热力学拨正过来了!这时,黑洞热力学的四大基本定律仍然成立,只是其中第二定律不适用于黑洞的吸积过程,只能用来描述黑洞的释能(包括“蒸发”)过程而已.

简而言之,黑洞的演化过程有二:一为黑洞的蒸发.这时黑洞发射粒子,类似恒星的发光发热,这时黑洞的时间之箭指向熵增加,但视界面面积却减小;黑洞的另一演化过程为吸积(吸收物质和辐射)和发生引力坍缩,这时黑洞的时间之箭指向熵减少,但视界面面积却增加.因此,黑洞的视界面面积对应于反熵或负熵,而不是对应于熵.视界面面积与热力学的熵属于两个不同的概念范畴,它们不能相互加减(贝肯斯坦就犯了这种错误).只能把视界面面积的增减与熵的增减相互对应(即它们之间存在函数关系).

当黑洞坍缩至 10^{-33} cm时,此时奇点力发生作用,就象宇宙大爆炸一样,黑洞也将发生极为猛烈的爆炸.黑洞的爆炸有可能导致新的恒星或星系形成.这时的时间箭头指向熵增加.而新的恒星或星系形成所对应的有序化,则以黑洞爆炸后物质飞离时的动能减小(以及转化为温度低得多的热辐射)为代价,亦即以更大的

熵增加为代价。

五“兰兹伯格妖”

1970年在英国加的夫城召开的国际热力学会议中,安排了一次“时间箭头”的专题讨论。在讨论会中,兰兹伯格(P. T. Landsberg)提出,如果把宇宙的膨胀作为时间箭头,那么宇宙的收缩就会使观察者有时间倒流的感觉。但如果宇宙、观察者本人和用来量度的尺同时发生收缩,由于缺乏一个参照系,观察者就无法知道宇宙是否在收缩。兰兹伯格开玩笑地说:“只有上帝会觉得如此,有生命的东西是不会的。上帝会说,啊,宇宙在收缩,人人都越变越年轻了。只有我,上帝,越来越老!”兰兹伯格并非在这里谈论神学。他自己接着就说:“我的天啦!我并不是真正指的上帝”(笑声)。于是,在那次讨论会上,就有人把兰兹伯格所说的“上帝”戏称为“兰兹伯格妖”。这时,讨论会也全场活跃。

包括兰兹伯格在内的一群物理学家,认为宇宙有一个统一的时间箭头,并倾向于以宇宙大爆炸作为时间箭头的本原,而宇宙中其他具体物质系统的时间方向性都由宇宙大爆炸这个时间箭头派生而来。后来霍金也沿袭了这一观点。霍金在他的一本高级科普名著《时间简史》中写道:“当宇宙停止膨胀并开始收缩时会发生什么呢?热力学箭头会倒转和无序开始随时间减少么?这就导致对从膨胀相到收缩相中活下来的人们各种科学幻想式的可能性。他们会看到碎杯子从地板上自我复原和跳回桌上吗?他们会记忆明天的证券价格而在股市上发财吗?……在收缩相中,人们也向后度过一生:他们在出生之前先死,当宇宙收缩时愈活愈年轻”。

霍金甚至将这种观点推广到黑洞:“星体坍缩而形成黑洞很象整个宇宙坍缩的晚期。如果在宇宙的收缩相中无序会减少的话,我们可以预期它在黑洞中也会减少。因此一个掉入黑洞的宇航员就能在轮盘赌上赚钱,只要他在放赌注之前记得球在哪里就行”。

当这种观点遇到矛盾后,霍金被唐·佩奇(Don Page)和拉夫兰姆(R. Laflamme)所说服,又采取了另一种错误的观点,认为宇宙收缩时所有系统(包括宇宙本身)的熵并不减少,时间箭头并不逆转。

霍金的这一观点受到了普赖斯(H. Price)的严厉批评。普赖斯认为霍金没有解释为何他的假说可以认为在接近大爆炸时宇宙的熵值很低,而不能同样认为在接近“大坍缩”时(或在一黑洞中)熵值也很低。霍金由物理学的对称性得出了时间非对称的矛盾结果。霍金曾暗示他已经解决了这个难题,但他没有说明是如何解决的。因此普赖斯指责他“失信”。

根据物理学的对称性,宇宙收缩时,宇宙本身的时间箭头应该逆转。但这并不会导致其他系统的时间箭头也逆转。因为其他系统的时间箭头与宇宙的膨胀或

收缩并无关系,而决定于系统的内因及其与外部条件的相互作用。宇宙的膨胀或收缩对其他具体系统(例如生物的生长,人类的记忆,核军备的控制等等)的熵变不发生相互作用。因此,“兰兹伯格妖”是不存在的。这个问题,与其说是一个物理学问题,还不如说是一个哲学问题。当宇宙收缩时,观察者及其观测仪器(“尺”)并不会同时发生收缩,观察者也不会“愈来愈年轻”。这样,观察者就可以象那个被称为“兰兹伯格妖”的“上帝”一样地说:“啊,虽然宇宙在收缩,我却仍然越来越老了!”

宇宙中存在着不可胜数的各种各样、形形色色的具体物质系统,每个系统都有它自己的时间之箭。我们不妨看看《原子科学家通报》(Bulletin of Atomic Scientists)封面上的“末日钟”(Doomsday Clock)。这是一个钟表图案,于1947年6月首次出现在该刊封面上。当时末日钟的分针指着12点差7分(12点即爆发全面核战争的“世界末日”)。40多年来,核时代和平与战争的重大事件都在末日钟上反映出来。1949年,苏联试爆第一颗原子弹,末日钟前拨4分,分针指着12点差3分。1953年,美苏试验氢弹,前拨1分,至12点差2分。1960年,美苏出现缓和,后拨5分,恢复至原来的12点差7分。1963年,美英苏签订部分禁止核试验条约,后拨5分,至12点差12分。1968年,核扩散加剧,法国成为第5个氢弹拥有国,前拨5分,至12点差7分。1969年,美苏签订防止核扩散条约,后拨3分,至12点差10分。1972年,美苏签订限制洲际导弹和反弹道导弹条约,后拨2分,至12点差12分。1974年,美苏第二阶段限制战略武器条约谈判陷入僵局,前拨3分,至12点差9分。1980年,苏军入侵阿富汗,前拨2分,至12点差7分。1981年,美国总统宣布可能爆发核战争,前拨3分,至12点差4分。1984年,美苏裁军谈判中断,前拨1分,至12点差3分。1988年,美苏签署中导协议,后拨3分,至12点差6分。1990年,东欧政局剧变,欧洲核战争危险减小,后拨4分,至12点差10分。1991年,东西方冷战结束,后拨7分(这是40多年来后拨最大的一次),至12点差17分。

“末日钟”的前拨与后拨,与宇宙的膨胀和收缩全然无关,也与热力学的时间之箭无关,而是取决于国际社会对军备的控制,取决于人类和平与战争力量的较量。

宇宙中不存在一个决定一切的时间箭头本原。不可胜数的物质系统都各自有其时间之箭。除非两系统间确有相互作用发生时,它们的时间箭头才会彼此影响。宇宙中的时间箭头也不可能归结为少数几个“基本的”时间之箭[象彭罗斯(R. Penrose)所说的“时间的7支箭”那样]。这真是:时间之箭知几许!

六 心理学时间之箭

关于高温超导理论的对话

P. W. 安德森 R. 施瑞弗

原编者按：两个固体理论家关于高温超导材料问题的探讨，显示了他们的洞察力，展现了他们的系理论。虽然高温超导材料发现伊始，解释其行为的各种想法便随之而来。但是，高 T_c 理论现在仍未有定论。凝聚态理论的两个领导人物是普林斯顿大学物理教授 P. 安德森，和加利福尼亚大学名誉教授 R. 施瑞弗·安德森的想法集中起来，用他自己的话是“在具有分离的自旋和电荷激发的非费米液体正常态、层间约瑟夫逊隧道的非禁闭性，是超导性的驱动力”。施瑞弗则把

“反铁磁性与超导性间的相互作用，用自旋极子或‘袋’的项把成对理论扩展到费米液体区域之外”。《今日物理》编辑部请他们两位讨论高 T_c 理论的现状，他们通过电话、传真、电子邮件及面对面谈话进行了讨论。

安德森：一致的意见是，高 T_c 超导理论是不同的。我想在某些方面情况的确如此。可以说对几乎每种假说，都有作出某种肯定工作的小组，一些小组的背

什么是心理学时间之箭？霍金说：“是我们只能记忆过去而无法记忆未来的时间方向”。彭罗斯也如是说。沿用这种说法的还有杨纲凯、吴忠超和许明贤等。

我们马上就会发现，如此定义心理学时间箭头是有毛病的。人固然不能记忆未来，但一个人能记忆他出生前的过去吗？！不能记忆未来是因为这个人没有感知过未来的事物，就象他因为没有感知过出生前的过去因而也不能记忆出生前的过去一样。在这里，一个人的未来与他出生前的过去在物理学上是对称的。因此，这根本就不是什么心理学的时间之箭！我国唐代诗人陈子昂曾经如此吟唱：“前不见古人，后不见来者。念天地之悠悠，独怆然而涕下！”（《登幽州台歌》）。后不见来者与前不见古人在物理学上也是对称的。看来在这一点上，一千三百多年前的中国诗人比霍金和彭罗斯要高明：“前不见古人，后不见来者”之中固然包含着时间箭头，表明时间既不能倒退，也不能超前。但这是任何一个具有时间之箭的系统都有的性质，岂止心理学过程而已！任何系统，都无法“记忆”未来，也无法“记忆”它存在之前的过去。心理学的时间之箭只是人类大脑对这种性质的感受。“念天地之悠悠，独怆然而涕下！”才是真正的心理学时间之箭。

在讨论心理学的时间之箭时，霍金将人脑的记忆功能与电脑的存储功能相类比。电脑存储某些信息时，其存储物质的状态变得更有序，即“信息熵”减少。但电脑要存储信息，需要以消耗更多的有序能量为代价，系统的总熵仍然增加。霍金据此认为，电脑的“心理学时间方向”，即只能记忆过去而不能记忆将来，与热力学熵增的时间方向是一致的。

霍金的这一论证是错误的。如果电脑真能记忆未来的事物，它就可以不消耗有序能量，反而成为一部“发动机”么？答案是否定的。电脑储存任何信息都要消耗有序能量，而不取决于信息的性质。在任何情况下，电脑都不可能成为永动机。

霍金甚至走得更远。他根据人脑与电脑的类比作

出结论说：“无序随时间而增加，是因为我们沿着无序增加的方向测量时间！你不能有比此更保险的断言了！这使得热力学第二定律几乎一文不值”。这真令人有点匪夷所思了！与爱丁顿所说“热力学第二定律是科学的最高定律”，恰为两个对立的极端。

那么，究竟什么是心理学的时间之箭？我们说，心理学的时间之箭是一个人对环境熵变与自己身体内部熵变的一种心理感受。不同的人处在不同的年龄阶段，对时间之箭的感受会有所不同。一个小孩，很容易感受到自身热力学熵与信息熵的减少（依赖于从环境输入负熵）：“我长大了，我又长高了！”（热力学熵变向负）；“我懂事了”（信息熵减少，即信息量增加）。一个青少年会说：“我的身体更棒了；我的知识也增长了！”一个风烛残年的老人，则最容易感受到熵增：“我又向火葬场靠近了一步！”青年人容易感受到春的生机；老年人则更容易悲秋。唐代诗人李白也曾悲叹：“君不见高堂明镜悲白发，朝如青丝暮如雪！”这就是心理学的时间之箭。

七 关于时间箭头的伦理学

韶光易逝，时不我待。逝者如斯，岁月不饶人！作为万物之灵的人类，应该把握光阴，把有限的生命投入到无限的人类进步事业中去。“莫等闲白了少年头，空悲切！”

人类无法使时间倒流，无法在孤立系统内造成熵减少，无法制造第二类永动机。但人类却可以利用环境提供的负熵，不断增强自己控制自然界演化的力量。凡是累积负熵和创造信息的事业，无论是工业、农业、科技、经济、和文化教育事业，都是崇高伟大的事业；而破坏信息、毁损负熵的行为，无论是焚书坑儒、“十年浩劫”，还是杀人放火、盗窃抢劫、阴谋暗算……，都应该受到人类的谴责。人类将在宇宙提供负熵的这个无比壮阔的时空舞台上，演出一幕又一幕控制自然界演化的威武雄壮的史剧。而那些破坏信息、毁损负熵的悲剧和闹剧，也许终有一天会在人类的历史中消亡。

（本文由禹宽平协助文献资料工作）