



Q: 黑洞是如何形成的?

A: 我们都知道恒星的质量非常大,大到可以在恒星中心引燃核聚变,而这核聚变又释放出巨大的能量和辐射来抵抗引力对恒星的收缩作用。但核聚变总有耗尽的一天,当恒星内部的聚变燃料全部耗尽时,恒星内部向外辐射的能量就不足以抵抗向内的引力了。这时候引力就会向内压缩。

如果这颗恒星比太阳小一些,那么这颗恒星压缩到最后会由于电子的量子排斥效应(就是费米子的泡利不相容原理)和引力平衡下来,恒星变成一颗密度为每立方英寸几百吨的白矮星或者褐矮星。

如果恒星的质量再大一些,那么电子之间的排斥作用就不足以抵抗引力了,电子会被挤压进原子核内,形成由中子组成的中子星,并由中子之间的排斥作用与引力相平衡。这时恒星的密度大概是每立方英寸几亿吨。

如果恒星的质量再大一点,超过大约3.2倍的太阳质量(叫做奥本海默极限),那这时候中子之间的排斥作用也无法抵抗引力了。恒星会进一步压缩,这时候恒星会致密到无法想象的程度,其表面的引力会强到连光也逃不出去了。于是就形成了黑洞。

Q: 大恒星死亡后会形成黑洞,那么黑洞会不会死亡形成其他天体?

A: 黑洞会通过霍金辐射辐射出粒子并逐渐消失蒸发掉,不过速度非常慢,质量越大辐射得越慢。一个太阳质量的黑洞辐射等效的温度只相当于60个纳开尔文,也就是仅仅比绝对零度高了 6×10^{-8} 度。而一个月亮质量的黑洞辐射等效的温度差不多有2.7个开尔文。这个温度有多小呢?它意味着,像太阳质量那么大的黑洞要彻底蒸发消失,需要耗费 10^{67} 年,而宇宙的年龄大约才 10^{10} 年。

Q: 运动的电荷会产生磁场,假如现在有两个观测



* Q&A 选自中国科学院物理研究所微信公众号每周五发布的《问答》专栏。受篇幅所限,这些答案难以善尽美,欲深度了解其中缘由的读者请同时参阅相关专业书籍。

者,一个保持静止观察,另一个跟随电荷一起运动,结果会是怎么样呢?具体有无类似的实验可供参考?

A: 结果就是一个观察者看到电场和磁场,另一个观察者只看到电场。这里并没有矛盾哦。因为根据狭义相对论,电场和磁场在不同惯性参考系下就是不一样的。磁场本身也可看作是电场的相对论效应(其实在经典物理中已经有很多痕迹了,比如在经典电磁场理论中磁场老是跟电场相差一个光速 c)。更详细的内容可以翻阅费曼物理学讲义第二卷。

Q: 超弦理论和量子力学,怎么科普一下他们的关系?及对我们未来的影响?

A: 简单讲一下量子力学到弦论的历史,弦论不是特别了解,欢迎勘误。

上个世纪二三十年代,量子力学的理论大厦大体建立完成。这时候人们自然想把量子力学跟同时期的相对论这两个新科学结合起来。摘得皇冠的人是狄拉克,他写出了著名的狄拉克方程,将量子力学与狭义相对论结合起来,成功预言了反物质。但狄拉克方程并不完美,比如它没有基态,有无穷多的负能量态。这样它就没有办法用来描述玻色子(因为玻色子不像费米子那样会排斥,玻色子带狄拉克方程会掉入无尽的负能量态中的)。

不过费曼,朝永振一郎等人接过了狄拉克的接力棒。发展出QED(量子电动力学),非常非常精确的描述了带电粒子与光子的相互作用。量子场论的框架基本建立起来。不过彼时人们还不知道怎么解释原子核内部的强弱相互作用力。

到六十年代末,日本,意大利,芝加哥的一堆脑洞比较大的物理学家发现,用一条弦一样的东西似乎可以解释强相互作用诶!但可惜这是不对的,后来QCD(量子色动力学)出来完美解释强相互作用,弦论瞬间就挂了。QCD是QED以外的另一种量子场论,彼时量子场论独霸武林。然而量子场论也并不是没有要害的,比如说,它没有办法把引力(广义相对论)纳入到它的理论中。比如说它没有办法解释特别特别小的宇宙学常数。

而这两个问题在坐了十几二十年冷板凳的弦论中居然看到了一丝解决的苗头。七十年代的时候,一帮弦论家发现,和那些妖艳的量子场论不同,弦论可以非常清新自然的得到自旋为2的玻色子,而这个就是引力子!另一边,一堆人试图用超对称理论来解释宇

宇宙常数极小的问题，而超对称与弦论在八十年代又结合成为了超弦理论。

这样关注弦论的人多了起来。很快，第一次弦论革命爆发了。1984，史瓦兹和格林发现了一种SO(32)对称性。感觉就像找到了武功秘籍一样。弦论瞬间不再是一门潜在的量子引力理论了，它成了万物理论的候选者！一种一统江湖的意思。

但是有个bug，当年的弦论总共有五个版本，各不相同。你想象一下，有五个人跑过来给你说：“虽然我们五兄弟性格各异，但我们每个人都是天下第一。”你服不服？

不过好在1991年第二次弦论革命爆发了，一个比弦论还要bug的叫Witten的男人跳出来说，其实还有第六个隐藏的弦论，而且六个弦论都可以结合成为同一个理论，M理论。

弦论是量子力学的一个自然延续，而且还会接着延续下去(比如最近的AdS/CFT、全息理论)，毕竟，物理学的思想是连续流淌的。

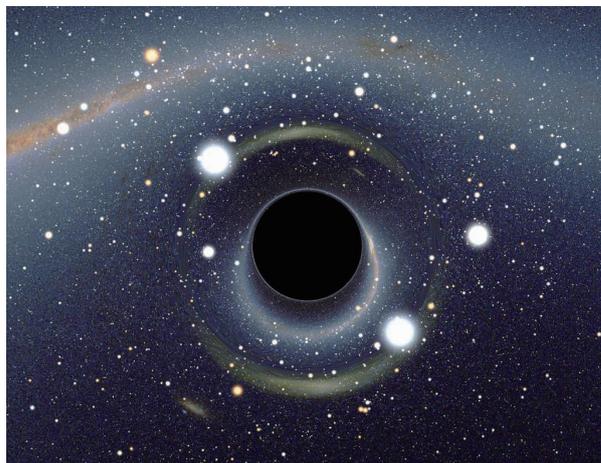
Q：请问广义相对论跟量子力学的根本矛盾是什么，为什么要统一呢？我认为根本没必要统一啊，一个描述宏观世界，一个描述微观世界，以普朗克恒量为界限互不干扰。

A：相对论和量子力学并不是一个描述宏观世界一个描述微观世界。准确的说应该是一个描述宏观高速世界，一个描述微观低速世界。而牛顿力学最弱，只能描述宏观低速世界。那么问题很自然就来了，什么理论能够描述微观高速世界呢？比如原子核内的物理？

答案就是狭义相对论加上量子力学形成的量子场论。但量子场论还无法解释引力，无法与广义相对论统一，那么我们又问了，什么理论能够解释微观的引力世界呢？比如黑洞，比如宇宙大爆炸？答案就是量子引力理论，而这个东西现在还没有建立起来。

Q：如何更简单的去理解多维空间？

A：其实最简单的办法真的只有一个，学好线性代数。不管几维空间都又平凡又简单的表示出来了。当然，如果你不满足这些最简单的高维空间结构，那么微分几何，代数拓扑，代数几何等等大坑在等着你呢。



Q：科学家们确定了“场”的构成了么？如果确定了，能否给出一个关于其构成的解释呢？同理，我们真的认清了“力”是什么吗，还是说我们也只是通过创建概念、建立模型就认为已经掌握了它的本质了呢？能否详细说明它的本质？

A：物理不是哲学。场也好，力也好，没有所谓的“本质”的结构。它的结构就是人类按照描述自然的需求自己定义的，比如场，最早就是一个把空间中的每一点都映射到一个数或者一个矢量，张量的连续映射。后来引入了量子化，场在空间的每个点就成了一个算符。再比如力，最早引入是作为一种“导致物体运动变化”的作用。后来随着理论的发展，力变得越来越不好用，干脆被打入冷宫不要了。我们定义一种数学结构，如果它可以很好的描述实验现象，那便是好的；如果不能，那就打入冷宫，换个别的定义。所以，物理不是哲学。严格地说，物理学家不关心什么叫所谓的“本质”。物理学家关心的是这个实验看到了什么，这个实验怎么解释，这个解释能不能正确预测接下来的观测结果。一切以可观测对象为中心，一切不依赖于观测的讨论“本质”的问题，或许只是个“empty question”，空谈。(温伯格言)

Q：宇宙膨胀，距离越远的星系退行速度越快，请问这个退行速度是可以超过光速的吗？

A：这是可以的。而且由于超光速无法传递信息，所以那些星系我们再也看不到了。所以我们能够观测到的宇宙是有一个范围的。