



Lazy Ant

懒蚂蚁

微百科

【英】弗兰克·克洛斯 著

Frank Close

羊奕伟 译

反物质

A n t i m a t t e r

点破反物质武器幻象，解读狄拉克密码，科学释疑通古斯大爆炸，
从科幻到现实的反物质认知之书。



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>



微百科

Antimatter

反物质

【英】弗兰克·克洛斯 著
Frank Close

羊奕伟 译

重庆大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

反物质 / (英) 克洛斯 (Close, F.) 著; 羊奕伟译
—重庆: 重庆大学出版社, 2016.3

(微百科系列)

书名原文: Antimatter

ISBN 978-7-5624-9556-7

I. ①反… II. ①克…②羊… III. ①反物质—研究
IV. ①P14

中国版本图书馆CIP数据核字 (2016) 第047811号

反物质

(英) 弗兰克·克洛斯 (Frank Close) 著
羊奕伟 译

策划编辑: 敬 京

责任编辑: 文 鹏 姜 凤

责任校对: 秦巴达

重庆大学出版社出版发行

出版人: 易树平

社址: (401331) 重庆市沙坪坝区大学城西路21号

网址: <http://www.cqup.com.cn>

印刷: 重庆市正前方彩色印刷有限公司

开本: 890mm×1240mm 1/32 印张: 5.25 字数: 111千

2016年4月第1版 2016年4月第1次印刷

ISBN 978-7-5624-9556-7 定价: 29.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题, 本社负责调换

版权所有, 请勿擅自翻印和用本书制作各类出版物及配套用书, 违者必究

致 谢



在过去的三十年，我致力于传授和传播科学，而其中尤其以反物质最能引起我的兴趣。2007 年 10 月 4 日，我和布拉格（Melvyn Bragg）、吉布森（Val Gibson）以及格雷戈里（Ruth Gregory）一起参加了 BBC 电台 4 频道的“时代先锋（*In our time*）”节目的录制，讨论反物质的问题。这次节目播出后，我收到了很多电子邮件和信件来咨询反物质的最新进展。其中不乏一些担忧：反物质会不会用来制造武器，从而带来毁灭性的灾难。作家布朗（Dan Brown）更以美国军方的研究为原型写了《天使与恶魔》（*Angels and Demons*）一书，其中描述了 CERN（欧洲核子研究中心）制造的反物质炸弹创造的一个新的星球。

以上林林总总的事件，驱使我写下了这本



书，不仅是对 BBC 节目的一个延续，还可以阻止那些无稽之谈。在写书的过程中，我了解到了很多军方研究的真相，也看到了更多的对军方研究无聊的天花乱坠的大肆渲染。虽然这本书由我执笔，但实际上内容则来自很多合作团队多年的共同努力。在此，我要特别感谢兰杜亚（Rolf Landua）帮我校对，修改了初稿中的诸多错误并与我长期探讨反物质。迪瓦恩（Betsy Devine），卡马斯（George Kalmus），马腾（Michael Marten）以及编辑梅农（Latha Menon）都部分或全部地阅读了我的草稿，给出了很多有益的建议。书中部分复制了史密斯（Gerald Smith）对于反物质的研究文章，在此表示感谢；同样感谢布罗茨基（Stan Brodsky）和葛瑞兰（Thornton Greenland）在正电子素方面的讨论；感谢凯西·玛丽斯（Kathryn Maris），她擅长诗歌，并将物质和反物质描述为：“丕植本是同根生，父母乃是万物源（大爆炸），却有一日终反目，兄弟相煎何太急”。感谢欧洲核子研究中心和牛津大学的协作，其中诸多讨论对本书起到了很大影响。

前言



起源

万世之初，空无一物，“虚空的面只有黑暗”。突然间发生了能量爆炸：“让这里有光，于是就有了光”，虽然我不知道能量从何而来。

我只知道接下来发生的事情：能量凝聚成物质以及它的神秘反面——反物质，达到一种完美的均衡。我们见惯了普通的物质，它们构成空气、岩石以及各种生物。但我们却不那么了解物质的忠实反面，它同物质在所有方面都完全一致，只是其中原子内部深处的一切都是相反的。这就是反物质——物质的对立面。

现在，反物质并不是普遍存在的——至少在地球上是这样——它在宇宙中莫名其妙地消失了。但是它的存在是毋庸置疑的，因为现代科学



家已经成功地制造出了少量的反物质。

一旦反物质与物质相接触，在电光火石之间就会相互湮灭，并且释放出禁锢了数亿年的所有能量。因此，反物质被认为是新世纪的一项前沿技术，可以作为一种完美的能源。当然，它这种可以消灭物质于无形的潜力，更使得它可以作为一种具有巨大杀伤力的终极武器。

至少这种武器论在文学界和网络上甚嚣尘上，甚至美国空军也持相似观点。那么，反物质真的是这样吗？

1 反物质：真实或者虚幻

- 1.1 反物质会撞上地球吗 / 3
- 1.2 强大的反物质 / 6
- 1.3 反物质的秘密 / 8
- 1.4 天然反物质 / 11

2 物质的世界

- 2.1 物质和反物质 / 17
- 2.2 光谱和量子电子 / 20
- 2.3 自旋的电子 / 24
- 2.4 E 代表爱因斯坦，并且 $E=mc^2$ / 26

3 石碑

- 3.1 保罗·狄拉克 / 31
- 3.2 合二为一 / 34
- 3.3 无限海洋 / 39
- 3.4 什么是正的电子 / 43

4 宇宙新发现

- 4.1 发现正电子 / 48



4.2 布莱克特的创造 / 54

4.3 地球上的正电子 / 56

5 湮灭

5.1 既非物质亦非反物质 / 61

5.2 更多反粒子 / 65

5.3 夸克和反夸克 / 69

5.4 夸克遇上反夸克 / 73

6 储存反物质

6.1 无坚不摧 / 77

6.2 储存反质子 / 80

6.3 潘宁陷阱 / 84

6.4 陷阱中的反质子 / 86

6.5 反氢和反物质工厂 / 89

6.6 正负电子对撞机 / 91

7 镜像宇宙

7.1 时光倒流? / 97

7.2 奇异粒子的奇异行为 / 102

7.3 不要和反外星人握手 / 106

8 万事万物如何存在

8.1 反物质消失之谜 / 109

8.2 重演大爆炸 / 114



8.3 中微子 / 116

8.4 并不完美的启示录 / 121

9 揭秘

9.1 反物质迷信 / 123

9.2 反物质的威力 / 127

9.3 大块反物质 / 129

9.4 炫酷的反物质炸弹 / 132

9.5 反物质：勇往直前 / 134

9.6 反物质：从科幻到现实 / 137

9.7 反物质工厂 / 141

附录

附录 1 反物质的代价 / 143

附录 2 狄拉克密码 / 145

尾注

书目

1

反物质：真实或者虚幻

/

我父亲以前常说：“当无坚不摧的矛遇到坚不可摧的盾时会怎样？”当然他并不会把这个问题延伸到宇宙论的高度。就像牛顿并不满足于一个运动定律，贝多芬不止步于一首交响曲，我的父亲也有更多的疑问：“如果一种物质会摧毁所有接触它的东西，那么怎么存储它呢？”

一种东西会首先摧毁它的容器，这种观点有一个重要的蕴含：为什么会禁锢于此？当打破牢狱跨越而出，它就可以肆意吞噬周围一切，人挡杀人佛挡杀佛，更别说渺小的人类了。这个力量实在强大，场景如此恐怖，简直是人类的噩梦。

我此前相信的答案是：他的问题只是科幻小说里的桥段。但是我错了。

无坚不摧的力遇到坚不可摧的体——这是一种无限的概念：当两个无限相比较时，哲学家们对这种悖论也十分恼火，只能说：“我的无限比你的无限更大”。然而，这里用来比较的东西是其他的物质，准确地说是所谓的反物质。科幻小说作家对反物质可谓青睐有加，认



为它是一种真实存在，而其中的内涵妙不可言。

反物质是物质的一种奇怪的颠倒影像，就像我们所说的半斤八两，只是其中的左变成了右，而正变成了负。就像铸件取出之后模具依然存在，反物质和物质就是实体的阴阳两面。当海边的孩童在坚固的沙滩上挖洞取沙，堆砌成美丽的沙堡，这个沙堡就象征着物质，而沙滩上留下的沙洞象征着反物质。

假设，一个物质存在突然遇到了反物质的自己，它们的参数是完全互补的，最终会相互协调然后消亡。反物质的魅力就在于，它会在一瞬间摧毁物质。反物质顾名思义，真的可以“反”物质。

在 80 年前，反物质理论被第一次提出。而在 75 年前，第一个反物质被发现了，那就是“正电子”。

值得庆幸的是，反物质极其罕见，在现实中几乎不存在，而微量的反物质摧毁物质时，反物质本身也被摧毁了。所以我们今天还快乐地生活在这地球上。人们发现的首个反物质，只是摧毁了一个原子里的某个电子而已。我们所见的整个宇宙之中，通常存在的都是物质而非反物质。看起来，反物质似乎在大爆炸初期就被消灭掉了。经过长期的物质与反物质的湮灭之后，剩下的残余部分才形成了今天的物质宇宙。而湮灭的结果就是之后 140 亿年中遍布宇宙的电磁辐射和“微波本底辐射”。坏女巫死了，物质获胜了；在物质和反物质这两种势均力敌的无限之中，物质的无限更大。

但要是有些反物质逃过一劫，在宇宙的某个角落里潜伏着，又恰恰被在宇宙中漫游的我们遇到了；抑或是宇宙射线鬼使神差地又形



成了一些反物质：会发生什么事情呢？一辆卡车大小的反物质，其爆炸威力足以使整个世界动摇。如果真的发生了，反物质就成了我父亲那个问题的真实例子，但是还好它不会扩散，虽然我曾经一度非常担心它有这种能力。反物质确实会摧毁物质，但代价是同时摧毁自己；就像癌细胞，杀死了宿主之后自己也会死亡。我们世界中任何物质的湮灭，都会对应着相同量反物质的消失。湮灭的结果可能是一束射线，也许是伽马射线，从湮灭处以光速向外发射，而反物质的威胁就此解除了。这就是为什么没有反物质存留——至少我们周围没有——的原因：所有的反物质都被摧毁了，获胜的是物质一方。

所以反物质并不是一个恐怖版本的“九号冰 (ice-nine)”，这种冰来自库特·冯尼古特 (Kurt Vonnegut) 的小说《猫的摇篮》(Cat's Cradle)，是一种水的形态，它会将遇到的所有液体变成凝冻的固态。小说中它能够首先作用于一个小水坑，接着是小溪、河流，最后将整个世界的海洋都凝冻成“一个巨大的果冻”。而反物质的作用范围是有限的。虽然如此，它会摧毁所接触的任何物质，爆炸释放出的能量远超出我们现有的任何东西。

1.1 反物质会撞上地球吗

如果在宇宙的某个角落存在着反物质，那么你可能会想，某天它会不会撞上地球。如果在地球的 40 亿年历史中，曾经有反物质撞上过，那么所有的迹象都应该已经消失了。陨石落下会有陨石坑，其



中还能找到一些外星物质；但是反物质不行，它会在一瞬间消失掉。反物质来袭的唯一证据只能是其发生的巨大爆炸，但最近的几百万年以来似乎没有发现这种证据。然而，仅仅在一百多年前的1908年6月，发生了一件人类至今无法完全解释的事情，其被反物质爱好者们称为是外星反物质碰撞地球的最近的例子。

在莫斯科以东约1 000英里处，北至北冰洋，南至蒙古，从乌拉尔到满洲里，是一片广袤的荒野之地，面积比整个西欧还大。这片遥远大陆的心脏地带是一条隐蔽的河谷——通古斯河，由通古斯人命名。通古斯人是一个小族群，主要靠狩猎熊和鹿以及夏季放牧驯鹿为生。

1908年6月30日，天空晴好，万里无云。早上8时，农民色梅洛夫（Sergei Semenov）正坐在他家的走廊上，突然天空中发生了一场巨大的爆炸。后来他告诉科学家，爆炸形成的火球光亮甚至盖过了太阳，而且又是如此炙热以至于他的衣服“几乎要贴着皮肤燃烧起来”，还将他邻居家的银器熔化了。^①更异常的是，经过科学家之后的调查，这次爆炸发生在距色梅洛夫约60公里之外。另一个农民利奇（Vassili Ilich）说，有一个巨大的火球“摧毁了森林、驯鹿和所有其他动物”。当他和邻居们跑去勘查时，发现驯鹿的一些肢体烧焦了，而其他部分居然完全不见了。

这个炫目的火球在几秒钟之间从东南部移动到了西北部。世界各处都探测到了其引发的震波，空气中的压力波传遍了整个俄罗斯和欧洲。在700公里以外都能看到这次爆炸，其引起的烟尘弥漫在空中，甚至导致太阳光散射到地球的另一面。在约1/4个地球周长之外的伦



敦，半夜的天空变得像傍晚一样明亮，而白天则提前来临了。如果这次爆炸发生在美国的芝加哥上空，其光亮可以传播到田纳西、宾夕法尼亚以及多伦多，而发出的声音可以传到东海岸，而向南可以传到亚特兰大，向西可以传到落基山脉。直到两个月后，一切才基本恢复正常。

外太空的某种东西撞上了大气层。之前也发生过类似的事情，亚利桑那州的陨石坑可以证明这一点，它源自一块岩石——准确的说是一颗小行星撞上了地球。然而，著名的通古斯事件却不同，这种不同在其后数年被发掘出来。1927年，捷克斯洛伐克科学家库里克（Leonid Kulik）带领首个探险队进入了这片区域。如果这是一个太阳系的陨石碰撞事件，那么地面上应该有一些陨石掉下的痕迹。但是，现场没有发现任何陨石坑。他们发现，爆炸点的下方是一片巨大的沼泽平原，就像是有1 000台推土机瞬间清理了上面的森林，形成了如同伦敦大小的一片平整的地基，而地基的周围是一个环形的炭化的树木群。在炭化群之外，树木像火柴棍一样地散开倒下，应该是被剧烈的飓风似的冲击波刮倒了。该地的生命体完全被摧毁，之后约1/4个世纪一直没能恢复。在此之后，人们曾将当地的土壤挖掘了超过30米深，但是没有找到任何陨石，也没有发现任何陨石落下来的证据。

那些当天撞上地球的东西，都在这薄薄的空气层中消失了。1965年，由一位物理学家、一位化学家、一位地质学家组成的三人小组检查了所有的证据，试图一劳永逸地判定当时到底发生了什么。他们找到了幸存的一些树木，其姿势很好地显示了当时冲击波袭来的轨迹。



他们通过这些推算出了风的强度；同时核证，使得能让这些树木燃烧所需要的能量也被计算出来。根据记录，他们还发现地磁场被干扰了，而地震仪也记录下了其引发的地震强度。

他们拿到了爆炸当时的闪光强度和持续时间的报告，并将其引入计算模型之中。通过推算，这次爆炸在数秒之内释放了约 1 000 万亿焦耳的能量，和整个英国一小时消耗的能源量相当，^②几乎等同于一次核爆炸。

当然，有人怀疑这次事件本身就是一次人为的核爆炸实验，但在 1908 年时，很多众所周知的核科学家还没有出生呢。如果真的是物质的内核发生了爆炸，那么必须有一些自然的诱因才行。通过分析爆炸得到的初步证据以及爆炸区域物质的神奇消失现象，和一种假设非常一致：罪魁祸首是一个反物质，其形态大约是 1 米见方的一块反岩石，它摧毁了包括原子核在内的一些东西。之后的内容中，在我们知道了反物质的一些性质后，我会再次重新审视这些证据。

1.2 强大的反物质

通古斯事件的巨大规模提醒我们反物质的潜在能量不可小视。如果我们随手捡起一个物质当作燃料，那么反物质就是那束可以点燃燃料的星星之火，至少从理论上来说，反物质几乎是一种最好的将物质能量释放出来的方法。

宇宙大爆炸形成的物质结构中包含有巨大的能量，这些能量凝



结成粒子，粒子组成原子，原子组成万物。通过释放内部的这些能量，化学反应和核反应可以将物质结构重排。但相比起数十亿年前物质形成的时候禁锢在其中的能量，即使现在最剧烈的爆炸也是微不足道的。

生物就像一个化学工厂，通过碳、氧以及其他元素的化学反应将能量从源物体中释放出来。你的体温变化和爆炸冲击波强度之间的不同主要是其中包含的时间尺度的差异。在我们体内，能量通过发热的方式缓慢释放，使一个正常人的体温保持在 37 摄氏度左右。当我们体内遇到诸如流感病毒这些入侵者时，体内的反应就会加剧以提供能量来抵御入侵者，结果就会使得体温略微升高，导致发烧。而化学爆炸本质上和体温变化原理没什么不同，它只是发生得快很多。适量的餐食足以提供你身体机能正常运转数小时所需的能量，但如果这个时间被压缩，以至于这些能量在一毫秒内完全释放，结果就会是一次爆炸。

但戏剧性的是，普通的火箭发射，甚至是最剧烈的化学爆炸，其释放出来的能量也只是原子内禁锢能量的十亿分之一而已。原子内部的能量大部分储存在原子核中，当核火花被点燃，就会产生像广岛和长崎经受过的那种能量，在它面前，化学炸药完全不值一提。但即使是原子弹爆炸，释放出来的能量也仅仅是所有禁锢能量的千分之一而已。即使是聚变反应——比如太阳内部反应或者氢弹这种迄今所知的最强爆炸物——也只是用到了物质内部总能量的百分之一。要释放所有的能量，只能通过逆转亿万年能量凝聚成物质的过程，将物质再变成能量。

反物质就能胜任这项工作。一千克反物质的湮灭，释放的能量