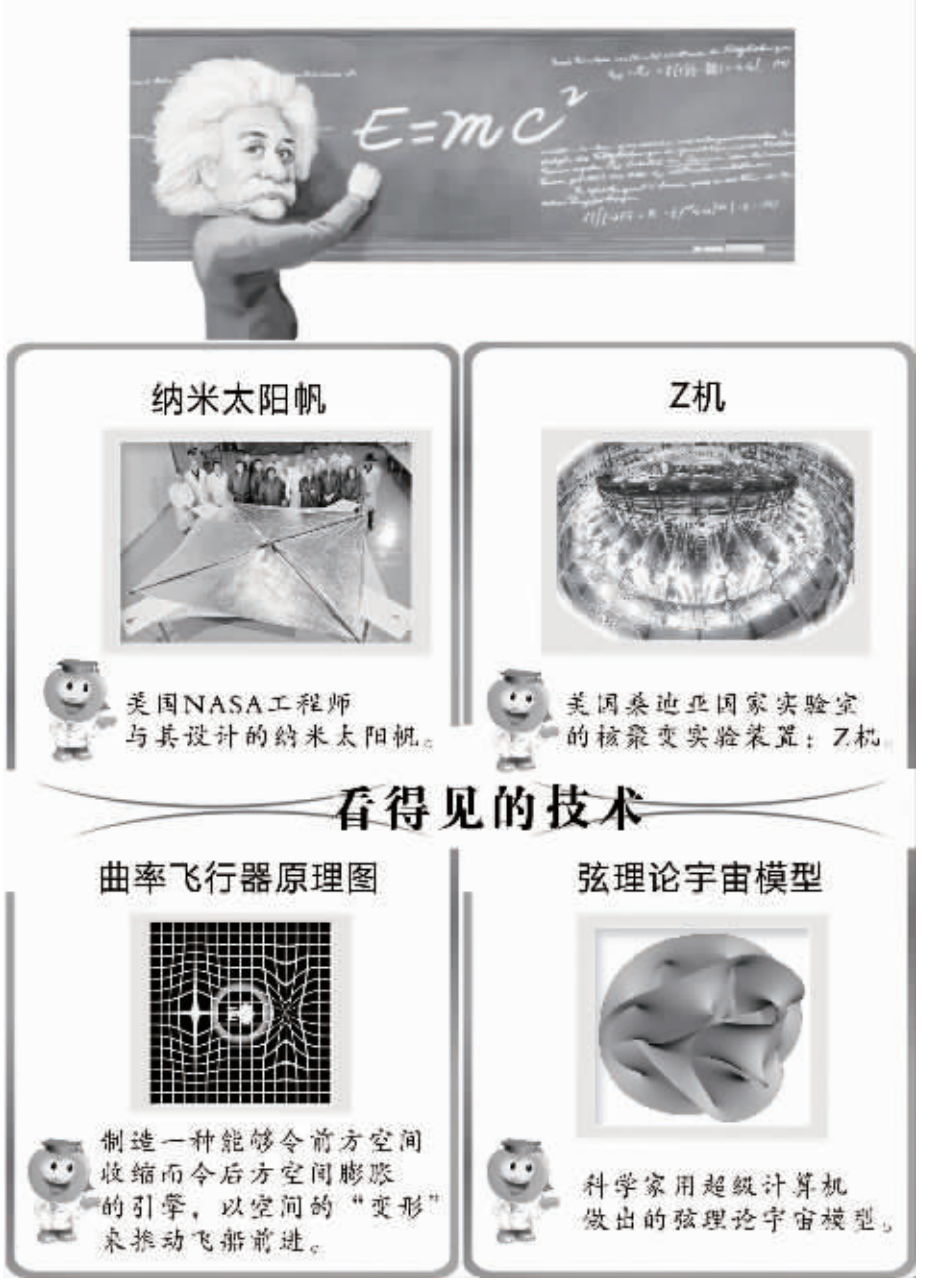
《三体》中的物理奇观

本报记者 佘惠敏

前沿科技

近日，国内科幻圈因为一本小说获奖而沸腾。由中国科幻作家刘慈欣创作的科幻小说《三体》，获得了第73届雨果奖最佳长篇故事奖。雨果奖相当于科幻小说界的诺贝尔奖，曾颁发给《盗梦空间》、《复仇者联盟》、《权力的游戏》等诸多名著，刘慈欣是获该奖的首个亚洲人。

刘慈欣在这部恢弘巨著中征引了物理学、社会学、生物学等多种学科的知识，其中用到的物理学的设定最多，也描绘了很多充满瑰丽想象的物理奇观。这些奇特的想象跟现代物理学有哪些联系？它们是否有可能变成现实？



飞船进化史——

从分子层面的化学动力，到核子层面的聚变动力，再到利用时空本性的曲率动力，飞船从现实驶向了幻想中的未来。

辐射帆

许多科幻作品里，太空飞船已经常见到无需解释它的原理。刘慈欣的《三体》三部曲却让技术从现实起步，作为人类重要工具的飞船也就具备了清晰的技术演进路线。

故事里，人类在外星三体人入侵的威胁下，设计了“阶梯计划”，用现有技术发射一艘辐射帆飞船，将志愿者云天明的大脑推往三体舰队的方向。

该计划需预先用现有的化学动力火箭把大量核弹发射至太空，逐个分布在飞船最初航线上。然后发射辐射帆飞船，飞船在途经每颗核弹的瞬间，核弹在帆后爆炸，产生推进力。阶梯计划是人类用现有技术进行的孤注一掷的努力，这个巧妙的低技术组合造就了当时最高速的飞行器。

宇宙帆船的概念现实中早已有之，用阳光做动力的太阳帆飞船已做过几次试验。同火箭和航天飞机迅速耗完的燃料相比，阳光不会枯竭，它能推动光帆以每秒约1毫米的速度不断加速移动，展开光帆3年后，速度会被提升到每小时16万公里，这是人类任何飞行器都没有达到过的速度，相当于“旅行者”号探测器的3倍。

人类成功制造的第一个太阳帆飞船是日本2010年发射的伊卡鲁斯(IKAROS)探测器，它在太空中达到约每秒100米的飞行速度，并在展帆后6个月抵达目的地金星。

小太阳

《三体》中，在阶梯计划同时，人类也在研究新型动力的太空战舰，无功质核聚变发动机成为人们择定的发展方向。

当前，人类对核裂变的控制技术更加成熟，但有害辐射太多，上世纪美国的“猎户座核火箭计划”就是因此半途停止。

与核裂变一字之隔的核聚变是清洁能源，它是较轻原子核聚合时所释放的能量，不会产生有害电磁波和核废料。

但核聚变由于超高温高压而难于控制，科学家想出两种办法：惯性约束、磁约束。磁约束聚变是将核燃料变成数百万摄氏度的高温等离子体，使原子核活跃到能相互碰撞。高温离子体会熔化任何束缚它们的容器，只可以用强磁场来束缚它们。惯性约束聚变则需利用激光或者粒子束照射核燃料球产生超高温，生成比磁约束聚变时密度更高的离子体，引发聚变反应。由于反应时间非常快，小燃料球自身的惯性就可以维持热度足够长的时间来进行反应，无需强磁场束缚。

目前世界各国投入很大力量研究磁约束聚变发电，中国也不例外。但它必须安装庞大沉重的磁场发生装置，因而“远路无轻担”的宇宙航行很可能需要另一种方式——惯性约束。

由于核聚变原理与太阳等恒星的燃烧一样，《三体》中的那些核聚变战舰，“发动起来像天上的小太阳”。

曲率推进

《三体》中的核聚变飞船“可以加速到光速的百分之十五”，这种速度在宇宙航行中还是太慢，于是地球人通过打入三体人内部的间谍云天明，获得了光速发动机的宝贵提示：曲率驱动。

要解释曲率，得先介绍膜宇宙理论。20世纪90年代，理论物理学界在10维空间弦理论的基础上提出了11维空间的膜(M)理论，认为我们所在的宇宙不过是10维或11维时空中的一个四维超曲面，就像薄薄一层膜，空间曲率无处不在。

这延伸出许多宇宙航行设想，比如空间折叠，把大范围空间的曲率无限增大，像一张纸一样对折，让纸面上相距千万光年的遥远两点贴在一起。刘慈欣在小说中评价说：“这种气吞宇宙的事只有上帝才做得出来，如果加上基本理论的限制，可能上帝也不行。”

《三体》中的曲率驱动设想更温和更局部：“一艘处于太空中的飞船，如果能够用某种方式把它后面的一部分空间熨平，减小其曲率，那么飞船就会被前方曲率更大的空间拉过去。”它能使飞船以无限接近光速的速度航行。

这技术能否实现尚不可知。但2012年初，悉尼大学几位物理教授对曲率驱动发动机进行计算机模拟时发现，扭曲时空有风险。在超光速飞行中，会有大量粒子堆积在包裹飞船的“曲速泡”中，并在飞船到达目的地开始减速时，瞬间释放，足以毁灭任何与其接触的物体。

武器进化史——

从消灭一支舰队的水滴，到毁掉一颗恒星的光粒，再到拍平一个星系的二向箔，《三体》中的武器，就是这么“任性”地步步升级。

水滴

宇宙故事中，战争是永恒主题。《三体》中的几个大杀器，无不简洁、神秘、高效，充满冷冰冰的暴力美学范儿。

最先出场的大杀器是三体军队的探测器“水滴”。“银河系在它的表面映成一片流畅的光纹，使得水滴看上去纯洁而唯美。”

小说中，这粒形似水滴的宇宙探测器表面绝对光滑，可以极快地加速到接近光速。它无坚不摧，仅以简单的撞击方式，就在半小时内让拥有近2000艘核聚变动力战舰的人类太空武装力量全军覆没。

不过，物理学家李淼认为水滴的物理设定有瑕疵。“刘慈欣假设这种物质结构由强相互作用力控制。如果物质的基本组成还是分子和原子，那么强相互作用力是核子(即质子和中子)之间的力，其力程比氢原子的大小还要小四个量级，在原子构成的材料中不起作用。”

如果材料并非原子和分子构成，而由更基本的粒子夸克和胶子构成呢？“夸克之间的距离比中子半径还小，水滴的密度会太大，像夸克星中的物质，这也不可能。《三体》中直接说了，水滴的质量不大，在10吨以下。结论是，水滴材料的控制力不可能是强相互作用力。”

“如果硬要水滴的设定成立，我们必须假设一种尚未发现的新型固体。也许，水滴的材料是一种三维的石墨烯，但还没有任何物理学家敢于想象是什么原子构成的。”

光粒

水滴虽然厉害，但在更高级的文明面前，三体文明也被比成了渣。小说中，地球人向宇宙广播了三体人母星的坐标，三体行星因而被宇宙中更高级文明用“光粒”武器清理掉了。

当时，三体行星正围绕一颗恒星运行，恒星被光粒击中后，光球层和对流层上被击出一个巨大的裂孔，可并排放下四个地球。恒星内部物质从裂孔喷涌而出，行星在其中运行了30分钟。移出喷出物质带后，行星表面均被烧熔，岩浆的海洋覆盖了一切。被蒸发的海洋的水蒸气成为行星的白色尾迹，行星成了彗星。

光粒造成巨大破坏的原因，小说中解释为：“光粒虽然体积小，但由于十分接近光速，它的质量被相对论效应急剧放大。”

这里用到的原理是著名的质能方程：E=MC2。E是能量，M是质量，C是代表光速的常数。由于光速高达每秒300000千米，一个光粒，可以仅凭其巨大的相对论质量产生的动能摧毁一颗太阳，成为小说中“经济”地攻击恒星的最原始武器。

对于这种武器，小说中的地球人只是远程观测并推断，它是一颗精确对准目标恒星并以惯性飞行的光速石头，从某种宇宙飞行器上发射。它是什么材质？如何加到光速？全都不得而知。

二向箔

观测到三体星末日的地球人，针对毁灭恒星的光粒作出“掩体计划”：以木星等四大巨行星为掩体，在其背阳面建设太空城，避开光粒引发的太阳爆发。

但计划赶不上变化，高级文明向太阳系扔来一张小纸片“二向箔”，导致整个太阳跌落到二维空间，几乎毁灭所有人类。

二向箔是一种维度武器，如果进行诗意的描绘就是这样：“把三维的西湖风景二维化，变成一幅水墨山水画，然后再一维化，变成一根细细的杭州丝绸。”这是在杭州举行的一次科幻笔会上，一群科幻作家讨论如何毁灭一座城市时，刘慈欣给出的答案。

维度武器是否可行？在理论物理的分支学科弦论中，可能性是存在的。

在弦论中，空间维度的变化可看成类似液态水变成水蒸气的相变。当水达到沸点时，液体中开始出现小气泡，小气泡慢慢地变大，最后吞食整个液体。气体密度和液体密度的差别可以看成一种物理量，它被物理学家称为场。二向箔中有一种场，能量比较低，一旦与三维空间直接接触，就变得像水中的气泡那样开始膨胀，触发三维空间的能量较高的场向能量更低的地方跳，让二向箔越长越大。

小说中，这种降维武器一旦触发就无法停止，只有乘坐光速飞船才能逃生。整个宇宙就是在这样不择手段的降维攻击中，从高维逐级下降。

宇宙最终将走向何方？刘慈欣借小说人物之口作出推测，“把一个已跌入低维度的宇宙重新拉回高维，几乎不可能；但从另一个方向努力，把宇宙降到零维，然后继续降维，就可能从零的方向回到最初，使宇宙的宏观维度重新回到十维”。

星空进化史——

从三个太阳夹缝中求生，到固步自封的黑域龟壳，再到重构时空的小宇宙，《三体》中的文明在战斗中求存，逐步攀向更高的等级树。

三体

《三体》中，三体人居住在一个有三颗恒星的星系里，过着水深火热的生活。三颗无规则运行的太阳带来了行星上智慧生物的百余次毁灭与重生，逼迫三体人逃离母星，进犯最近的宜居星球——四光年外的地球。

小说中提到的这个恒星系统有“原型”，就是半人马座α(南门二)三合星系统。半人马座α由A、B、C三颗恒星组成，其中C星被命名为“比邻星”，距离太阳4.22光年，是离太阳最近的恒星之一。这个现实的三体系统很稳定，没有小说中描述的那么混乱。因为它不是标准的三体系统，而是一个双星系统加一个卫星恒星。A星和B星以一个偏心率较大的椭圆轨道互相围绕旋转，公转周期为79.9年。较小的C星(比邻星)则在遥远的0.2光年之外，以50万年以上的周期围绕A、B星的质量中心缓慢公转。

由于半人马座α星系统距离地球很近，许多科幻小说都想象这里存在着发达的宇宙文明。就在2012年，天文学家还发现在半人马座α星系统很可能有一颗地球大小的行星，围绕B星公转。不过据计算，这颗行星上的一年仅有3天多时间，说明它公转周期太短，和恒星距离太近，根本不可能存在生命。

黑域

在《三体》中，一个文明所在的星球，只要暴露了坐标，就会被视为有可能的威胁，而被更高级文明随手清理，三体行星就因此灭亡。

一个文明如何才能表示自己无害，以避免受到攻击呢？刘慈欣设计了一个“黑域”概念，黑域就是光无法逃离出去的区域，被称为宇宙保险柜。如果把真空光速降至太阳系的逃逸速度每秒16.7千米，整个太阳系就成为一个低光速黑洞，隔绝于整个宇宙之外，这个文明永远不可能驶出自己的恒星系，因而也就失去了去其他文明的威胁能力。

在《三体》中，光速飞船在曲率驱动的航迹上，改变了空间结构。向各个不同方向逃离恒星系的曲率驱动光速飞船，就可以产生包裹该星系的黑域。

这个设想是否可行？

“光速变小，与光速有关的一切物理学参数就变了。”李淼在《三体中的物理学》一书中分析了黑域，认为如果光速变小，人类将不复存在。

人类由原子组成。原子理论中有个精细结构常数，它标志着电子和质子之间的电磁互相作用强度。原子中，电子的速度就是精细结构常数乘以光速。在氢原子中，电子的速度虽然远低于通常的光速，也高达光速的137分之一。当光速突然变小到每秒16.7千米，电子在原子中就超光速了，这和黑域中光速为速度上限的设定矛盾，可能导致原子的解体。“原子不存在，人类也就不存在了。”

小宇宙

在《三体》中，黑域是一个超级龟壳，但这个龟壳可用小宇宙来破。逃亡的地球人程心和关一帆原本陷入黑域，却走进了云天明送来的礼物——小宇宙。这是一个时间空间都独立于大宇宙之外的小小避难所，在云天明的设想中，他们可以在小宇宙中躲过大宇宙末日，并在新的大爆炸后进入新的大宇宙。

大宇宙小宇宙之间有什么关系呢？《三体》中的设想是：“所有的宇宙都是一个超膜上的空泡。”

空泡的结局有两种，一是加速膨胀然后被撕裂，二是塌缩为一个奇点后重生。

小说中，由于发展到一定程度的文明，都从大宇宙中偷走质量建造躲过世界末日的“小宇宙”，以致有一个“回归运动”文明在膜上向各小宇宙广播：“我们宇宙的总质量减少至临界值以下，宇宙将由封闭转变为开放，宇宙将在永恒的膨胀中死去，所有的生命和记忆都将死去。请归还你们拿走的质量，只把记忆体送往新宇宙。”

这个有趣的设定，让我们想起了现代宇宙学中最有影响的“宇宙大爆炸理论”。

1929年，埃德温·哈勃作出一个具有里程碑意义的发现，即不管你往哪个方向看，远处的星系正急速远离我们而去。换言之，宇宙正在不断膨胀。1946年物理学家伽莫夫正式提出大爆炸理论，认为宇宙由约140亿年(后来被精确到137亿年)前发生的一次大爆炸形成。大爆炸使宇宙空间不断膨胀，温度随之下降，化学元素开始形成，宇宙中的星系、恒星、行星乃至生命都是在这种不断膨胀和冷却的过程中形成的。后来获得1978年诺贝尔物理奖的发现——宇宙微波背景辐射，就被视作这次大爆炸的遗迹和证据之一。

事实上，对于尚未真正走出地球摇篮的人类来说，要说清宇宙的真相还为时过早。但这并不妨碍我们读完科幻小说后，在仰望星空时浮想联翩，因为好奇心正是人类科技进步的动力和源泉。

科海拾贝

国内首台乳腺PET获准入市——

乳腺癌检测获突破

本报记者 杜 芳

近日，国内首台具有完全自主知识产权的乳腺诊断正电子发射断层成像系统，即乳腺PET获得国家食品药品监督管理总局(CFDA)颁发的国家三类医疗器械注册证，获准进入市场销售及临床应用。

正电子发射断层成像(PET)技术是一种利用正电子湮没进行断层成像的核医学成像技术，可以在肿瘤的“代谢异常”阶段检测到其存在并以图像形式表现出来，能够比结构成像更早地发现肿瘤，达到早确诊、早治疗的目的。乳腺PET将PET成像技术专用于乳腺疾病诊断，是一种高灵敏度、高特异性乳腺癌早期影像诊断设备，非常有利于乳腺肿瘤的精确诊断和准确定位。由于在癌变过程中乳腺组织代谢功能的改变往往要早于乳腺组织结构的改变，所以与超声、CT、核磁等临床现有乳腺结构成像设备检查得到的结构信息相比，使用乳腺PET检查得到的功能信息更有利于实现乳腺肿瘤的早期诊断。

由于技术门槛较高，目前只有少数国外机构完成同类设备研发并商业化应用。中科院高能所研制的乳腺PET采用了符合东方女性特点的乳腺专用环探测器的巧妙设计，具有很高探测灵敏度，实现了全数字化及三维断层成像，图像分辨率达1.38mm，大幅提高乳腺癌早期微小病灶的检测能力。

乳腺癌是女性中发病率首位、致死率第二位的恶性肿瘤。我国乳腺癌发病率已跃居女性恶性肿瘤首位，且发病年龄呈年轻化趋势。早发现、早确诊、早治疗是最有效的提升治疗效果和生存率以及改善患者预后生活质量的方法。具有独立知识产权乳腺PET的成功研发和产业化，不仅填补了我国该项技术的空白，推动我国乳腺癌早期诊疗技术的发展，还将提升我国高端核医学成像设备自主创新能力。

“坚果健身”——

将科学与健身互融

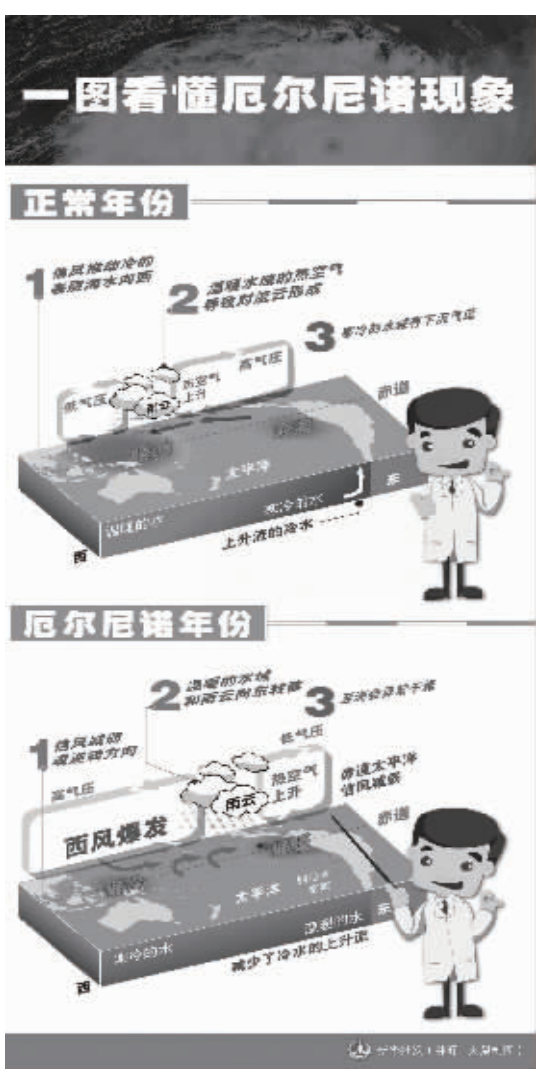
本报记者 陈 颐

这是一款轻松贴在运动器械上的智能贴片，它可以记录器械运动的次数和组数，并给出反馈信息，帮助健身者了解健身计划。通过这款贴片，能够将健身房和社区中的健身器械智能联网，提高器械使用率、营造更加科学的健身观念。这一被称为“坚果健身”的有趣器械健身生态圈的发明者是清华大学“坚果健身”团队。他们的发明在“2015中美青年创客大赛”中脱颖而出，获得一等奖。

这个由清华大学沈易培队长率领的5人大学生团队，队员学科背景包括了计算机科学、软件开发、生化工程、工业设计等领域。他们发现，现有的健身运动中，器械运动少有被记录，且健身房和社区的健身设施利用率很低。于是，他们充分利用团队多学科交叉优势，开发出一款可以轻松贴在运动器械上的智能设备，并将产品同样命名为“坚果健身”。

沈易培介绍说，“坚果健身并非单一的硬件设备，而是通过与APP、网站等相互作用，达到了软、硬件的充分结合：在软件端，用户可以快速设定每日的器械健身计划，获得实时计数和记录，并与朋友们分享和游戏化互动；硬件端可轻松吸附在健身器械上，为用户的器械运动提供实时计数和提示，修正用户的动作和频率，帮助用户更加科学有效地使用器械。通过手机APP，可以记录用户的运动情况”。

团队希望通过这款产品，构建出健身器械的物联网。他们还早早开始了对此作品“产品化”的运作，为坚果健身拍摄宣传视频、设计积分系统、搭建官方网站，用户可以在网站上申请产品试用。也许不久后，就能够在健身房中看到坚果健身的身影。



本版编辑 郎 冰 徐 达
联系邮箱 jjrbxzh@163.com