

解读 太空授课中的实验

■文/钱 航

6月20日上午10:04至10:55, 在指令长聂海胜和摄影师张晓光的协助下, 中国首位“太空教师”王亚平通过质量测量、单摆运动、陀螺运动、水膜和水球等5个实验, 展示了微重力环境下物体运动特性、液体表面张力特性等物理现象, 并回答了学生们关于航天器用水、太空垃圾防护、失重对抗和太空景色等问题。那么, 这5个实验具体是怎样的? 它们分别反映了什么样的物理原理? 天地物理特性的差别给航天飞行带来怎样的影响? 在航天活动和日常生活中又有哪些应用? 下面, 我们来一一解读。

实验一：太空测质量

天宫一号里的“质量测量仪”直接运用牛顿第二定律。王亚平介绍, 太空测重仪通过“弹簧—凸轮”机构产生恒定力, 把聂海胜拉回到初始位置。就测得聂海胜撞向一个平面时的速度 v , 仪器又记录下了时间 t , 因此根据 $v=at$ 计

算出加速度 a , 再根据已知的弹簧回复力 F , 根据牛顿第二定律公式 $F=ma$, 算出聂海胜的质量74千克。

地面上我们有很多称重的工具: 电子秤、弹簧秤、杆秤和天平等。如果我们将这些称重工具都放入赤道使用的话, 我们发现电子秤和弹簧秤的读数稍微减小, 而杆秤和天平的读数不变。再极端一些, 如果我们将这些测量工具带到月球上去使用的话, 会发现: 电子秤和弹簧秤的读数大约只有现在的六分之一, 而杆秤和天平的读数仍然不变。那么, 我们对质量、重力和重量的概念就很清楚了: 杆秤和天平测量物体的质量, 质量表示的是物体所含物质的量的多少, 是物体的本质属性; 电子秤和弹簧秤测量的是物体的重量, 重量是物体所受万有引力的量的量度, 也就是重力的大小。

在地球上对牛顿第二定律直观的感受就是, 物体越重, 我们推动它就越费劲, 而这个性质即使到了天上也不会改变, 所以在太空, 无论是航天员还是航天器的质量都是通过这个原理来测量的。

实验二：太空单摆实验

平时物理课上最常见的实验装置单摆, 也出现在了这次太空授课中。T形支架上, 用细绳拴着一颗明黄色的小钢球。王亚平把小球轻轻拉升到一定位置放手, 小球并没有出现地面上常见的往复摆动, 而是停在了半空中。之后, 王亚平又用手指沿切线方向轻推小球, 奇妙的现象出现了, 小球开始绕着T形支架的轴心做圆周运动。

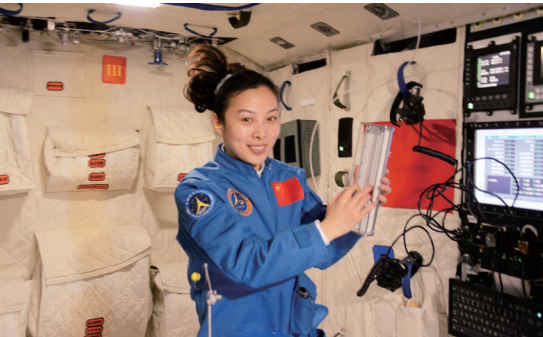


太空老师王亚平在太空演示单摆运动

在地面对比实验中, 小球因重力作用下坠, 在细绳的拉动下, 会做起简谐运动。再给它一个比较大的外力, 使小球获得一个较大的初速度, 它也会开始圆周运动。但同时, 在重力作用下, 小球不停地改变运动状态, 所以不能像在太空中那样不停地转圈, 会很快地停了下来。

而在太空失重条件下, 将单摆拉开一个角度, 由于没有重力的作用, 小球不会像在地面一样发生往复摆动。而给小球一个初速度, 失去了重力的

王亚平在太空给学生展示另一种测质量的方法



小球不是摆动，而是沿切线方向圆周运动。这个实验告诉我们，由于太空环境的特殊性，很多地面上司空见惯的现象在太空却不会发生，比如我们常见的摆钟在太空中就不能使用。

实验三：陀螺实验

王亚平把静止的陀螺悬浮在空中，给它一个干扰力，这时陀螺开始做翻滚运动，轴向发生了很大的变化；但把陀螺先旋转起来，再给它一个干扰力时，陀螺不做翻滚运动了，而是晃动着向前运动。

这实际上是因为高速旋转的陀螺具有很好的定轴性，这一定轴特性在天上地上是完全一样的。太空环境中，静止的陀螺的轴是不固定的，加之没有重力，会翻滚着运动；而一旦旋转运动后，由于是围绕轴运动，即使有干扰力，陀螺仍会稳定旋转。

转动陀螺的定轴性在航空航天领域有非常广的应用，飞机、导弹、火箭和卫星等都大量应用陀螺来测量姿

态。很多自旋卫星本身就是利用了这个定轴性。打枪也运用了陀螺的定轴性原理，枪支中的膛线使子弹头产生快速旋转，也就是说使子弹头在飞行中绕自己的轴线快速旋转。因为旋转的物体不容易改变旋转轴线的方向，所以子弹出枪口后在飞行过程中不会翻跟头。如果不是因为旋转子弹头的定轴性，射击中的子弹就会偏离旋转轴线的方向，很容易伤及其周围的人。

实验四：水膜实验

王亚平拿起一个航天员饮用水袋，打开止水夹，水并没有倾泻而出。轻挤水袋，在饮水管端口形成了一颗晶莹剔透的水珠，略微抖动水袋，水珠因为失重便悬浮在半空中。接着，她把一个金属圈插入装满饮用水的自封袋中，慢慢抽出金属圈，便形成了一个漂亮的水膜。轻轻晃动金属圈，水膜也不会破裂，只是偶尔会甩出几颗小水滴。随后，王亚平又往水膜表面贴上了一片画有中国结图案的塑料片，水膜依然完好。

这两个实验均展示了液体表面张力的作用。受到内部分子的吸引，液体表面分子有被拉入内部的趋势，导致表面就像一张绷紧的橡皮膜，这种促使液体表面收缩的绷紧的力，就是表面张力，在太空失重状态下，水的表面张力会变大。太空对我们制造业也将是一个非常有利的环境，我们就可以制作出一个不受重力影响的标准金属球。更甚者，如果内空心金属球就只能在太空中制作了。

实验五：太空水球

王亚平接着做了第二个水膜，用饮水袋慢慢往水膜上注水，水膜很快变成一个亮晶晶的大水球。这是因为在太空失重环境中没有外力影响，水只有表面张力，在表面张力作用下水会形成一个表面积最小的形状，也就是标准球形。而在地球上，由于重力作用，水滴下来只能形成液滴状，或者我们清晨看到的绿叶上扁球形的露珠。



王老师在演示水膜实验

她再向水球内注入空气，水球内形成两个球形气泡，这也是水表面张力使气泡既没有被挤出水球，也没有融合到一起。

王亚平又用注射器把少许红色液体注入水球，红色液体慢慢扩散开来，晶莹剔透的水球变成了红色水球，令人啧啧称奇。因为没有重力，染料就没有固定去向，因而很快向四面八方均匀扩散。在太空实验中进行材料融合实验，得到的合成材料的分子、原子分布均匀度高于在地球上的情形。这样的太空材料技术今后是否能得到广泛应用，从而为人类制造出更多高品质的合成材料，是非常有趣而有悬念的。

我国第一次太空授课圆满结束，很多在地球上难以完成的实验，在太空却得到了完美呈现，这不仅是场视觉盛宴，更是智慧与文明的传递，或许也让越来越多的人对太空更加神往！**神舟**

王老师在太空演示水球实验



太空课堂 是怎样炼成的

■文/钱 航

我国第一场太空课完美呈现在国内8万所中小学和6000多万学生以及无数观众面前，不过在享受太空课堂的精彩的同时，我们是否了解这神奇的太空课堂是怎样炼成的吗？实际上这堂太空课，不仅太空课题经由全国很多专家的论证，太空实验也是全国范围的实验海选的结果，更有教具的选择，航天员艰苦的训练，以及地面支持系统和航天各系统的全力支持。

“卫星的卫星”来支持

由于我们的星球近似一个球体，地面或海面单个测控站对340公里高度的“神十-天宫”组合体的测控、通讯范围很小，如果要保持不间断的通联，理论上需要布设100多个站点均匀分布在地表，这需要花费很多钱，也需要横跨其他国家，在经济上和政治上都是很难实现的。此次太空授课的时长近达50分钟，从上课开始到结束，这期间“神十-天宫”组合体已经围绕地球飞行了半圈多，依靠地面测控站进行不间断视频直播的话，最理想情况也需要10多个测控站，而目前我国的地面测控体系还缺乏这个条件。大型航天测控船造价昂贵，运行费用也非常高。虽然，我国目前拥有大型测控船队“远望”号，但也仅有四艘，仍达不到视频直播的要求。

不过，天链一号卫星只需3颗即可覆盖全球，造价低、运行费用也比较低，可以说是物美价廉。低轨航天器先将数据上传至中继卫星，中继卫星再将数据传回至地面，即形成了一个“星-星-地”的通讯流程，可谓是“卫星的卫星”。中



太空课堂视频信号是通过天链一号卫星传递到地面课堂的

继卫星运行36000公里高度的静止轨道上，分布均匀的3颗卫星即可以基本实现对200到1200公里高度的航天器运行轨道的全覆盖。相较地面、海上测控站点，数据中继卫星具有覆盖面积广、实时性高、经济性好等优点。

我国分别于2008年和2011年发射了“天链一号”数据中继卫星的01、02星，“天链一号”03星则于2012年7月25日也成功发射，由此建立第一代数据中继卫星系统。在央视太空课堂的直播中，屏幕右上角有时会出现“天链”字样，这是表示当时的视频信号来自“天链一号”数据中继卫星的转



太空授课时用的教具



物理学习教具

发。而“滨海”、“南亚”、“喀什”和“远望”等字样则分别表示东非肯尼亚的马林迪测控站、南亚巴基斯坦的卡拉奇测控站、中国新疆的喀什测控站和海上的远望系列测控船。数据中继卫星可以称得上是当今技术含量最高的通讯卫星。我国在去年完成第一代“天链一号”数据中继卫星体系的建设，今年进行的“太空授课”实际上也是一次对我国航天测控实力的有效展示。

教案来之不易

为使太空授课让全国的8万所中小学和6000多万不同年级、不同层次的学生都能听得懂、看得明白，让课堂呈现良好效果，国家从全国科研院所和中小学教师中抽调骨干专门成立了专家组。

最初，专家们提出了各种类型的实验，但在太空不可能都做的，最后选择的是可视性好，便于操作的实验。此次选择的五个实验都是物理实验，此前专家组也考虑进行化学实验，太空中化学实验中的一些溶液变化与地面实验也有不同，但这需要靠航天员进一步解说，这样难度就大大增加，且不利于理解。于是，专家组最终选定用眼睛可直接看出来的物理实验。此外，实验选择上还考虑了航天员是否容易操作及使用简单用具的问题。因为航天员并不是实验人员，实验的主要目的是从现象上告诉学生失重环境与地面不一样。

在最初的设计中，远不止20日现场演示的实验，但由于受到时间限制，最终只演示了那些内容。实际上，飞天之前，王亚平在接受央视采访时，坦言自从去年年底接到任务，他们就一直在准备太空授课。王亚平不是职业教师，但为了备



太空授课专家组在讨论太空授课脚本

课做了大量工作，不仅学习了很多心理学方面的知识，还尝试过给她住的院里的孩子试讲，她觉得院里孩子们听得还是挺认真的，至少能吸引他们的注意力，所以上天才能在全国孩子们面前讲得那么精彩。然而，天地之间毕竟存在相当大的差异，地面上是无法完全模拟太空中真实环境的。在太空微重力环境下，“太空授课”也存在着很多不确定因素，这都需要航天员和地面支持科学家提前考虑到，并准备诸多预案。

太空课堂的教具

太空授课计划其实在一年前就开始筹备，本计划神九时就进行，但神九升空时间较短，而且神九的主要任务是交会对接任务，所以太空授课计划最终在神十实现。当然，以后还会有很多太空授课计划。

去年9月开始，太空授课专家组开始在全国范围内征求各方意见，确定实验计划。在天宫一号中呈现的五个实验以及两个备份实验，都是经过反复推敲、精挑细选的。实验的选择主要考虑到科普性、可视性、教育性和可实施性四个方面。因此，专家组最终确定演示失重环境中的力学原理和液

体表面张力。当然，实验内容确定后，教具自然也就成为关键问题。在授课现场直播上，大家可以看到，这次使用的教具如弹簧、单摆、陀螺、金属圈和中国结等都是地面上常见的简单且质量较轻的物品。

往太空带物品不是“斤斤计较”，而是“克克计较”，很多时候为了减小重量，科学家们不得不忍痛割爱去掉一些有重要作用的有效载荷。但这次为了太空授课，带上天宫一号的“教具”总重量达2.9千克，也体现了我们国家对这次太空授课的高度重视。每多带1千克质量的物体，火箭就需要额外消耗大量燃料。据了解，1千克物质从地面发射到近地轨道的空间站大约需2万美元的费用。以此计算，这些教具飞天成本达到5.8万美元，折合成人民币为35万元左右。

为了这堂近50分钟的太空课，国家动员了全国的科研人员 and 教师，以及占用了航天员宝贵的时间和精力，来共同精心打造。太空课堂的打造虽然不易，但通过三名航天员精彩的授课，它能有效点燃我国小学生们的科学梦、航天梦。而太空课堂的开设本身就是一个奇迹，它不仅印证了中国航天事业一步一个脚印，踏踏实实的发展轨迹，更延伸和拓展了中华民族几千年来的飞天梦！