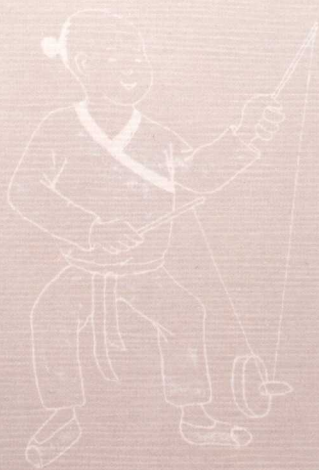


刘延柱 著

# 趣味刚体动力学



高等教育出版社  
Higher Education Press

■ 大众力学丛书

# 趣味刚体动力学

刘延柱 著



高等教育出版社  
Higher Education Press

## 图书在版编目(CIP)数据

趣味刚体动力学/刘延柱著. —北京: 高等教育出版社, 2008.9

ISBN 978-7-04-024753-4

I. 趣… II. 刘… III. 刚体动力学 - 普及读物  
IV. O313.3-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第113701号

策划编辑 王超 责任编辑 张玉海 封面设计 赵阳  
责任绘图 尹莉 版式设计 陆瑞红 责任校对 王雨  
责任印制 韩刚

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100120	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010-58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
		网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司		<a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a>
印 刷	中原出版传媒投资控股集团 北京汇林印务有限公司	畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
开 本	880×1230 1/32	版 次	2008年9月第1版
印 张	6.5	印 次	2008年9月第1次印刷
字 数	160 000	定 价	15.00元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 24753-00

# 中国力学学会《大众力学丛书》编辑委员会

陈立群 戴世强<sup>+</sup> 刘延柱 苗天德 佘振苏

隋允康 王振东 武际可\* 叶志明 张若京

仲 政 朱克勤 朱照宣

(注：后加\*者为主任委员，后加<sup>+</sup>者为副主任委员)

# 中国力学学会《大众力学丛书》

## 总序

科学除了推动社会生产发展外，最重要的社会功能就是破除迷信、战胜愚昧、拓宽人类的视野。随着我国国民经济日新月异的发展，广大人民群众渴望掌握科学知识的热情不断高涨，所以，普及科学知识，传播科学思想，倡导科学方法，弘扬科学精神，提高国民科学素质一直是科学工作者和教育工作者长期的任务。

科学不是少数人的事业，科学必须是广大人民参与的事业。而唤起广大人民的科学意识的主要手段，除了普及义务教育之外就是加强科学普及。力学是自然科学中最重要的一个基础学科，也是与工程建设联系最密切的一个学科。力学知识的普及在各种科学知识的普及中起着最为基础的作用。人们只有对力学有一定程度的理解，才能够深入理解其他门类的科学知识。我国近代力学事业的奠基人周培源、钱学森、钱伟长、郭永怀先生和其他前辈力学家非常重视力学科普工作，并且身体力行，有过不少著述，但是，近年来，与其他兄弟学科（如数学、物理学等）相比，无论从力量投入还是从科普著述的产出看来，力学科普工作显得相对落后，国内广大群众对力学的内涵及在国民经济发展中的重大作用缺乏有深度的了解。有鉴于此，中国力学学会决心采取各种措施，大力推进力学科普工作。除了继续办好现有的力学科普夏令营、周培源力学竞赛等活动以外，还将举办力学科普工作大会，并推出力学科普丛书。2007年，中国力学学会常务理事会议决定组成《大众力学丛书》编辑委员会，计划集中出版一批有关力学的科普著作，把它们集结为

《大众力学丛书》，希望在我国科普事业的大军中团结国内力学界人士做出更有效的贡献。

这套丛书的作者是一批颇有学术造诣的资深力学家和相关领域的专家学者。丛书的内容将涵盖力学学科中的所有二级学科：动力学与控制、固体力学、流体力学、工程力学以及交叉性边缘学科。所涉及的力学应用范围将包括：航空、航天、航运、海洋工程、水利工程、石油工程、机械工程、土木工程、化学工程、交通运输工程、生物医药工程、体育工程等等。大到宇宙、星系，小到细胞、粒子，远至古代文物，近至家长里短，深奥到卫星原理和星系演化，优雅到诗画欣赏，只要其中涉及力学，就会有相应的话题。本丛书将以图文并茂的版面形式，生动鲜明的叙述方式，深入浅出、引人入胜地把艰深的力学原理和内在规律介绍给最广大范围的普通读者。这套丛书的主要读者对象是大学生和中学生以及有中学以上文化程度的各个领域的人士。我们相信它们对广大教师和研究人員也会有参考价值。我们欢迎力学界和其他各界的教师、研究人員以及对科普有兴趣的作者踊跃撰稿或提出选题建议，也欢迎对国外优秀科普著作的翻译。

丛书编委会对高等教育出版社的大力支持表示深切的感谢。出版社领导从一开始就非常关注这套丛书的选题、组稿、编辑和出版，派出了精兵强将从事相关工作，从而保证了本丛书以优质的形式亮相于国内科普丛书之林。

中国力学学会《大众力学丛书》编辑委员会

2008年4月

# 序 言

---

## Preface

大众  
力学  
丛书

力学是研究物体机械运动的科学，即研究物体的运动和变形的科学。当物体的变形很小或变形虽不小但对物体的运动不产生影响时，可在忽略变形的条件下分析物体的运动。这种抽象化的不变形物体称为刚体。刚体动力学研究刚体在力和力矩作用下的运动规律，是经典力学的重要组成部分。它的历史可追溯到18世纪欧拉对刚体绕固定点运动规律的研究。

理工科大学的理论力学课程里通常仅包括最简单的刚体动力学内容，如刚体的平移和绕固定轴转动。但许多力学现象必须用更多的刚体动力学知识才能说明。本书的目的是通过对日常生活中和工程技术中形形色色力学现象的解释学习刚体动力学。全书包括32个专题，归纳为玩具篇、体育篇和技术篇三章。每个专题的叙述均以物理概念为主，着重文章的通俗性和趣味性，尽量避免文中出现数学符号。需要借助数学公式的深入分析在各个专题的文末以注释的形式给出。读者只要具备理工科大学的微积分和微分方程知识就能顺利阅读。附录里给出必要的刚体动力学基本知识，供读者在阅读正文时参考。除刚体动力学以外，通过各个专题的阅读，还可获得与运动稳定性、线性振动、自激振动、混沌振动等方面有关的力学知识。

本书的部分内容来自作者的力学科普作品，曾发表于《力学与实践》、《物理通报》、《百科知识》、《航空知识》、《舰船知识》等刊物。书中在标题后以加注形式说明内容的来源。

戴世强教授对书稿作了详细审阅并提出了许多宝贵意见，作者谨表示衷心感谢。作者希望这本科普读物也能作为理论力学课程的课外参考书，使理工科大学的学生获得更多的动力学知识，并有助于读者对于身边力学问题的深入思考和提高对力学课程的学习兴趣。

刘延柱

2008年3月于上海交通大学



## 郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)58581897/58581896/58581879

传 真：(010)82086060

E - mail: dd@ hep. com. cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

---

目 录  
*Contents*

第一章 玩 具 篇

- |      |              |
|------|--------------|
| 1. 1 | 悠悠球 / 3      |
| 1. 2 | 滚铁环 / 7      |
| 1. 3 | 抖空竹 / 13     |
| 1. 4 | 抽陀螺 / 18     |
| 1. 5 | 会翻身的陀螺 / 23  |
| 1. 6 | 会倒退的魔石 / 30  |
| 1. 7 | 会下楼的软弹簧 / 37 |
| 1. 8 | 竹蜻蜓与回旋镖 / 42 |

1. 9 啄木鸟 / 48
- 1.10 翻滚的小玩具人 / 55
- 参考文献 / 60

## 第二章 体 育 篇

2. 1 猫的空中转体 / 65
2. 2 旋空翻 / 71
2. 3 跳跃 / 76
2. 4 步行、竞走与跑步 / 81
2. 5 鞍马 / 90
2. 6 踢毽子、羽毛球与射箭 / 95
2. 7 荡秋千与振浪 / 98
2. 8 独轮车 / 103
2. 9 自行车 / 108
- 2.10 滑板 / 112
- 参考文献 / 118

## 第三章 技 术 篇

3. 1 傅科摆与傅科陀螺 / 123
3. 2 振动陀螺 / 127
3. 3 陀螺力矩 / 131
3. 4 内外环支承 / 136
3. 5 挠性轴支承 / 139
3. 6 静电支承 / 144
3. 7 垂直陀螺仪 / 148
3. 8 陀螺罗经 / 153
3. 9 舒勒周期 / 157
- 3.10 人造卫星与洲际隧道 / 162
- 3.11 卫星的重力梯度稳定 / 167
- 3.12 卫星的自旋稳定 / 174
- 参考文献 / 179

## 附录 必要的刚体动力学基本知识

- A. 1 刚体的质量几何 / 183
- A. 2 刚体的运动学 / 186
- A. 3 动量矩定理 / 190
- A. 4 刚体的动能 / 194
- 参考文献 / 195

# 第一章

## 玩具篇

- [ 3 ] 1.1 悠悠球
- [ 7 ] 1.2 滚铁环
- [13] 1.3 抖空竹
- [18] 1.4 抽陀螺
- [23] 1.5 会翻身的陀螺
- [30] 1.6 会倒退的魔石
- [37] 1.7 会下楼的软弹簧
- [42] 1.8 竹蜻蜓与回旋镖
- [48] 1.9 啄木鸟
- [55] 1.10 翻滚的小玩具人
- [60] 参考文献





# 1.1

Section

## 悠悠球<sup>[1]</sup>

悠悠球(yo-yo)是人类最古老的玩具之一。这个忽上忽下的缠线小圆轮，曾有过十分辉煌的历史<sup>[2]</sup>。早在公元前500年，希腊出土的陶盘上已出现年轻人玩悠悠球的绘画(图1.1)。古埃及神庙的壁画里也出现过悠悠球的形象。有种说法认为，是16世纪的菲律宾人为自动收回投掷野兽的石块而发明了悠悠球，yo-yo一词即来源于菲律宾土语“回来，回来”。也有人认为悠悠球最早出自中国，然后从中国传到欧洲。1789年的绘画描绘了童年路易十七皇帝玩悠悠球的画面。由玻璃和象牙制成的悠悠球曾是法国贵族们的宠爱玩具(图1.2)。1791年英国的出版物记载了威尔斯亲王——后来的乔治四世玩悠悠球的逸事。1920年菲律宾移民佛罗雷



图 1.1 希腊陶盘上的悠悠球





图 1.2 玩耍悠悠球  
的法国贵族

斯 (P. Flores) 将悠悠球带到美国批量制造, 成为大萧条时期既便宜又有趣的成功商品。1932 年, 美国商人邓肯 (D. Duncan) 收购了佛罗雷斯的公司。他对悠悠球作了技术改进, 在短轴上增加了滑环使小圆轮能原地空转, 使悠悠球运动更富于变化。他还成立悠悠球俱乐部, 组织各种竞赛, 使悠悠球声名大振。邓肯的公司在 20 世纪 40 年代已发展成为悠悠球制造业之首, 直至 1965 年破产易主。在漫长的发展岁月中, 悠悠球的玩耍技巧不断翻新, 爱好者俱乐部的各种竞赛年年举行。悠悠球现已成为风靡世界的大众化玩具。

悠悠球的构造十分简单 (图 1.3)。木制或塑料制的两个厚圆盘中间以短轴相连, 缠绕在短轴上的绳索一端与轴固定, 另一端绕在手指上。松手后圆盘沿绳自由下落同时产生旋转, 转速不断



图 1.3 悠悠球