

跟随牛顿和凯尔文 学做科学研究

中国科学院力学研究所 徐硕昌 教授（退休）

二零一五年十月十九日

徐硕昌

1939年江西临川出生。1961年南开大学数学力学系毕业，工作到2000年。退休前为中科院力学所研究员，中科大研究生院教授。1994年5月被聘为国家高技术航天领域综合专题组专家。1997年6月被国防科工委航天技术局授予荣誉证书表彰在担任国家高技术航天领域第二届专家委员会专家组专家期间，为我国航天高技术的发展作出了突出贡献。研究专长为应用数学和流体力学，研究范围涉及等离子体和磁流体力学，稳定性和控制理论，天体演化学，导弹飞行中段物理特性，载人航天和空间站的应用以及微重力流体力学。

序 一场穿越时空的科学之旅

在我准备以【跟随牛顿和凯尔文做科学研究---探索天体、力学和航天】为书名，编辑我半个世纪来的科普作品文集的过程中，接到力学所在所开放日向大、中学生做科普报告的邀请，于是我决定以【跟随牛顿和凯尔文学做科学研究】为题作准备。加一个学字意味着和同学们一起以他们为师，为此我设计一场穿越时空的科学讲座，他们是讲座教授，我做助教。

讲座教授



牛顿(1643.1.4-1727.3.30)

英国物理学家

”

1686年发表

《自然哲学之数学原理》

奠定经典力学理论基础



凯尔文(1824.6.26-1907.12.17)
原名为威廉.汤姆生，受勋后、爵名为凯尔文。爱尔兰数学物理学家、工程师。创立热力学温标，被称为热力学之父。在电动力学、流体力学和陀螺力学等学科也广有建树。

讲座助教



徐硕昌(1939.7.1--)

应用数学、流体力学家

万细珠(1943.12.10—2010.2.18)

工程师

徐硕昌和万细珠结婚照
(1968.3.15)

讲座学员:未来21世纪科学家.

内容提要

英国生物学家赫胥黎认为一个分析化学家分析化合物的元素组成和庖丁解牛、将肉骨分类出卖的过程是类似的，不同是化学家用精密天秤计量、庖丁用秤。普通人发现问题，寻找方法，解决问题的过程和科学家科学研究探索过程是相似的。本讲座从美国航空航天局应用自旋实现卫星姿态控制工程中举出二个案例:1958年发射探险者1号姿态失控，入轨后仅仅几个小时就发生翻滚；1963年发射辛康1号通信卫星取得成功；以及日常生活中两个问题。深入浅出地介绍如何基于牛顿和凯尔文的理论和方法，寻找这四个问题的解答，从物理直观了解科学家进行科学研究全过程。

章节安排

一. 航天高科技领域的二个工程实例


1. 美国第一颗卫星探险者1号的自旋姿态失控;
2. 美国通讯卫星辛康1号实现自旋姿态控制。

二. 生活中的陀螺现象

1. 鸡蛋的旋转现象和区分它的生熟;
2. 一项玩具陀螺试验;
3. 四个问题

三. 陀螺的旋转运动特征——规则进动

1. 玩具陀螺的进动;
2. CD-ROM陀螺的进动。

- 
- 四.凯尔文陀螺稳定准则的应用
 - 五.牛顿关于地球形状的研究
 - 六.凯尔文流体转子陀螺仪实验

一. 航天高科技领域的 二个工程实例

1. 美国第一颗卫星 探险者1号

的自旋姿态失控:

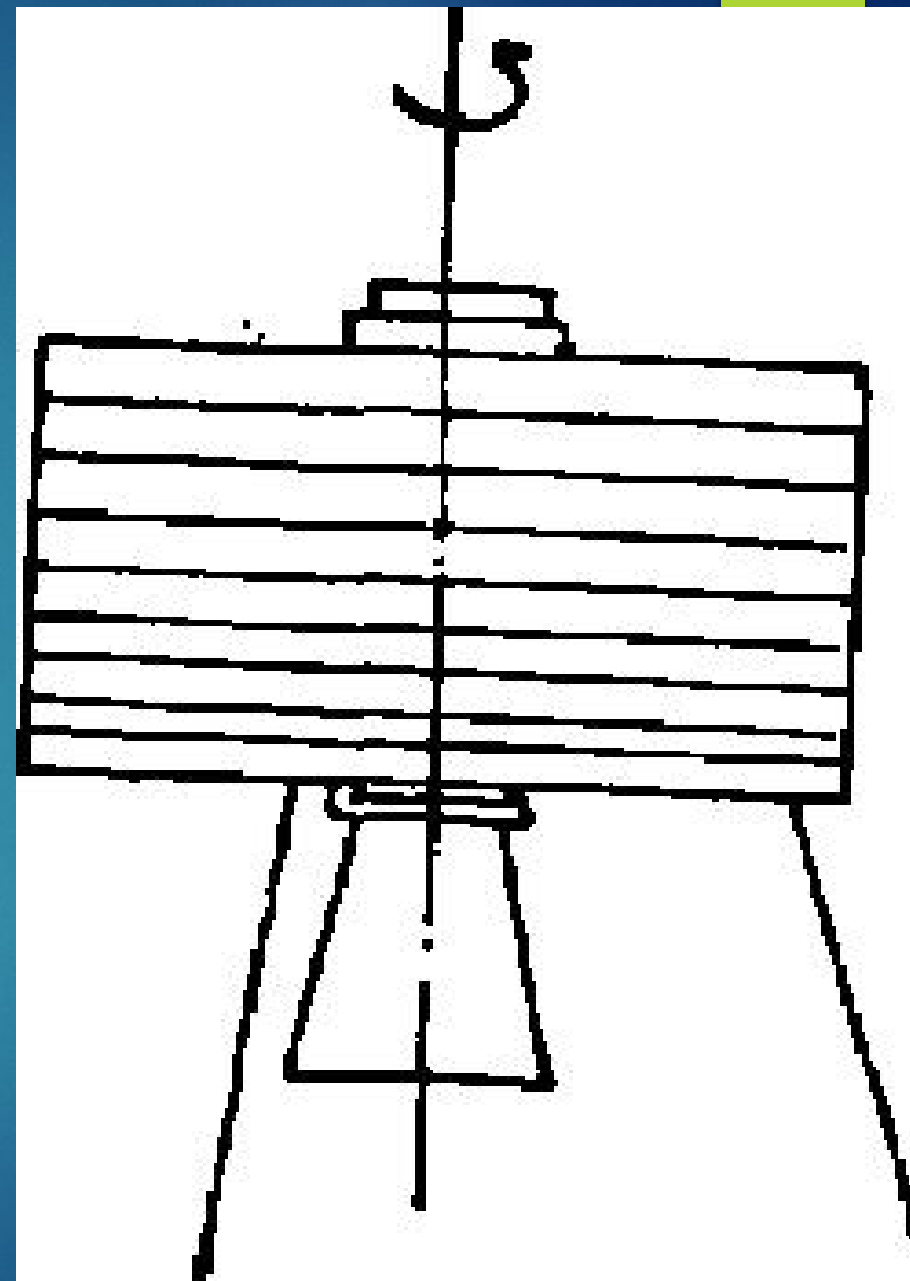
1958年2月1日

发射，由于四根天线受电离层干扰很大，入轨几小时后就出现姿态翻滚。

发现地球辐射带，称为范爱伦辐射带。



2. 美国通讯卫星辛康1号
实现自旋姿态控制。
1963年发射。



二.生活中的陀螺现象

1. 鸡蛋的旋转现象

和区分它的生熟:

1889年凯尔文在皇家科学院科学报告会上表演了一项类似的鸡蛋旋转实验，或许他是第一个注意研究鸡蛋旋转现象的科学家。



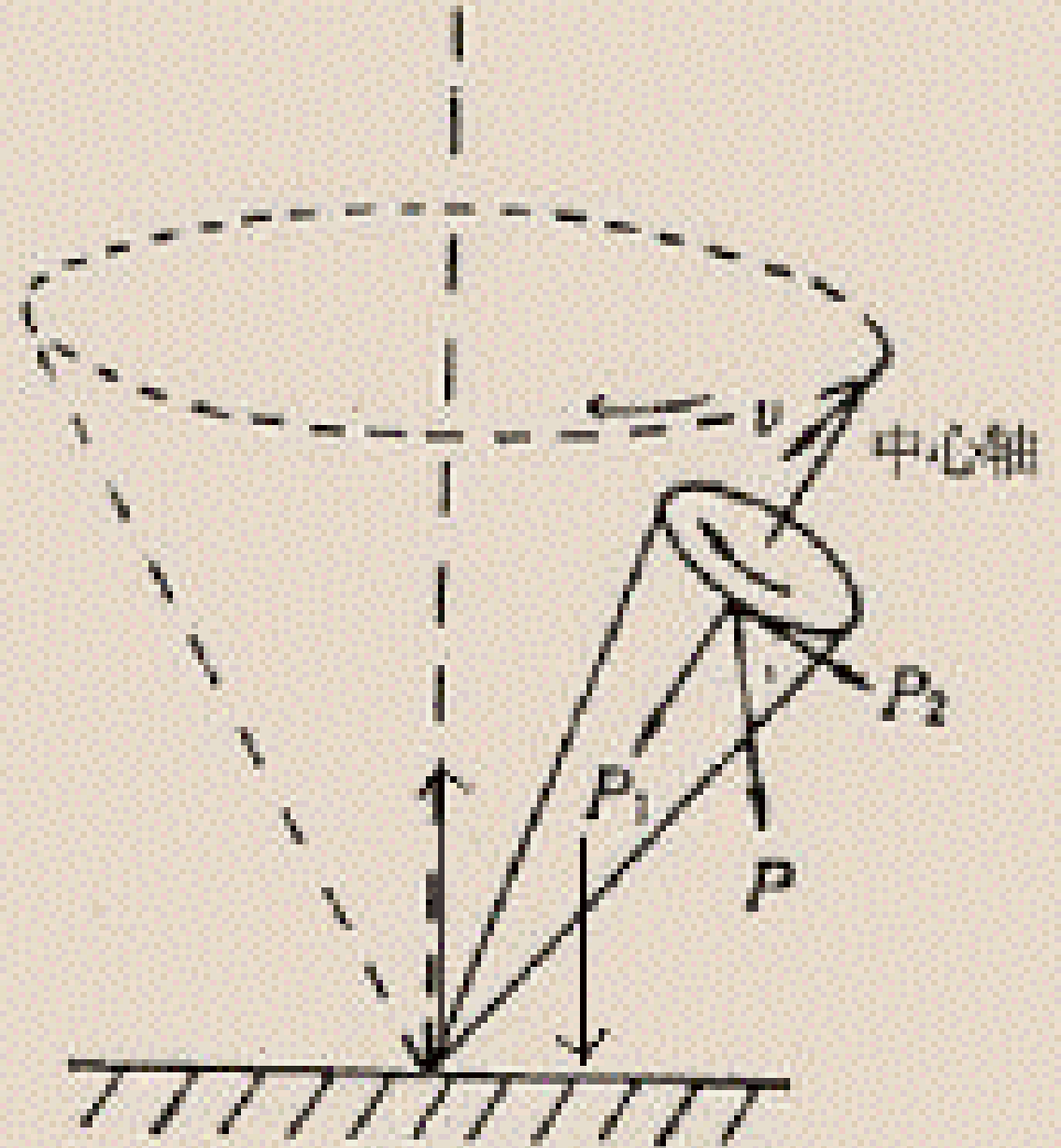
2. 一项玩具陀螺试验



3.四个问题:

- (1) 为什么探险者1号姿态会失控?
- (2) 为什么辛康1号通信卫星会取得成功?
- (3) 为什么熟鸡蛋能直立旋转?
- (4) 为什么生鸡蛋不能直立旋转?

三. 陀螺的旋转运动特征---规则进动:中心轴绕垂直轴沿圆锥面运动, 维持不倒。原因是导致倾倒的重力矩被自旋产生的惯性力矩所平衡。



1. 玩具陀螺的進动



2. CD-ROM陀螺的规则进动

优酷



四.凯尔文陀螺稳定准则的应用

在凯尔文线性陀螺系统稳定理论的基础上，后继的力学家发展在大扰动条件下定轴对称陀螺运动稳定理论，它具有如下三种运动特性：

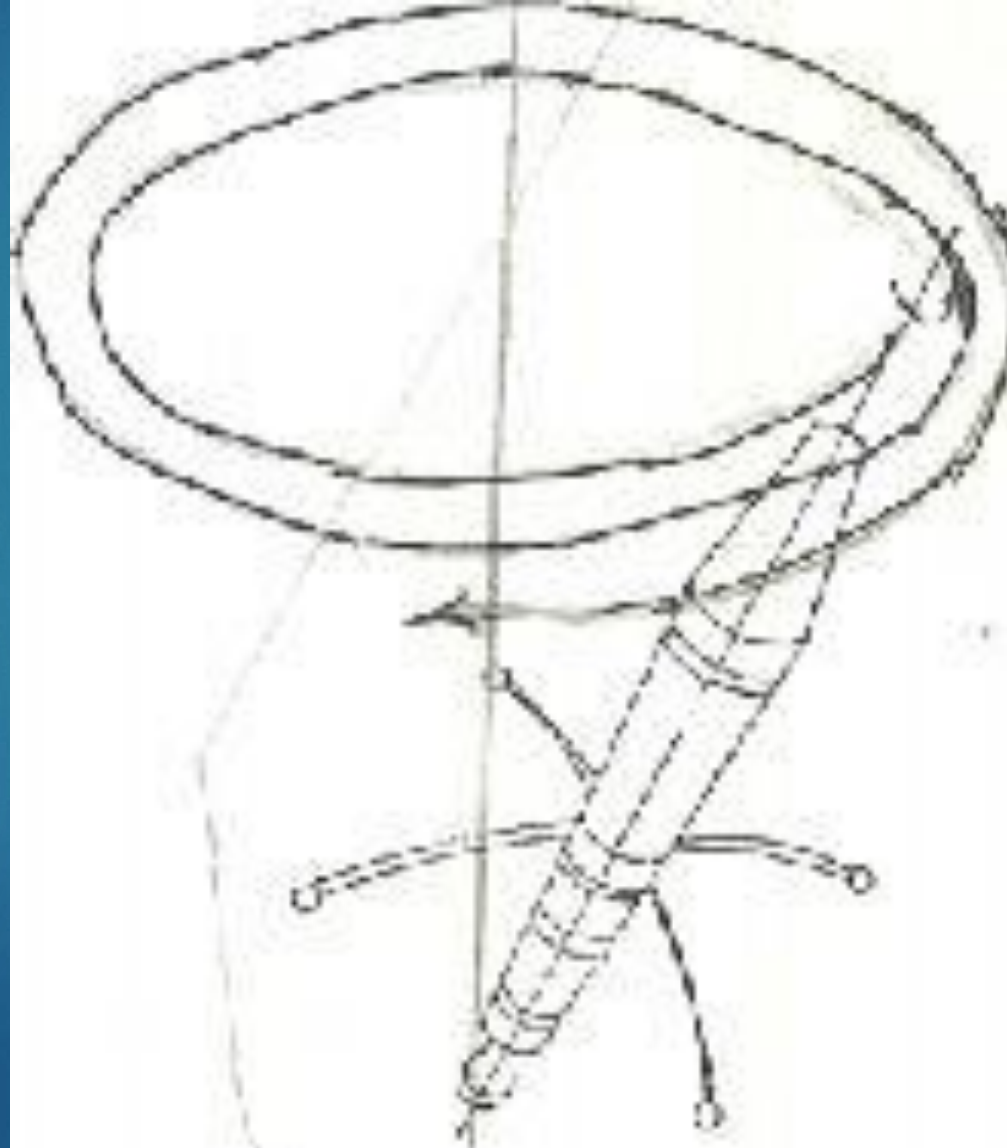
(1) 无耗散力时，作规则进动的周期运动；

(2) 有耗散力时，长型对称陀螺按螺旋线向外倾倒，自旋运动状态是不稳定的；

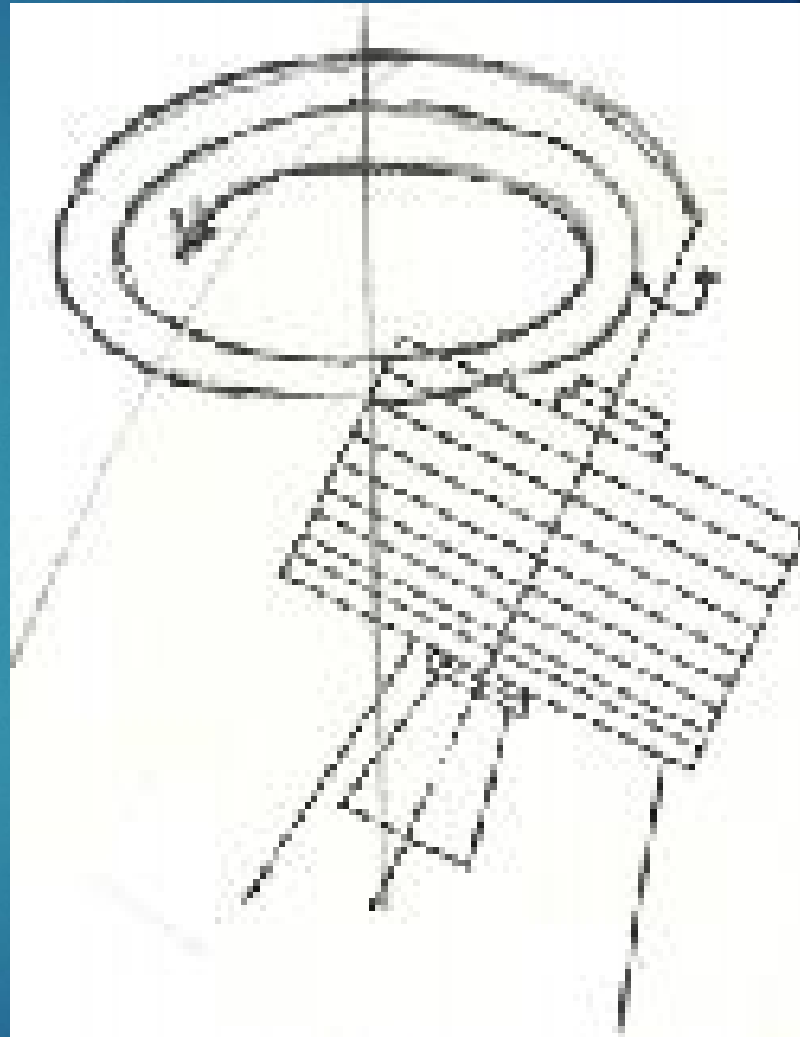
(3) 有耗散力时，扁形对称陀螺按螺旋线趋向垂直轴旋转，自旋运动状态是稳定的；

有耗散力存在下的结论统称为凯尔文陀螺稳定准则，或者称为汤姆生—泰特陀螺稳定准则。

依照性质(2)可解释探险者1号的自旋失稳.



依性质(3)可以解释
美国通讯卫星辛康1号
自旋稳定的成功



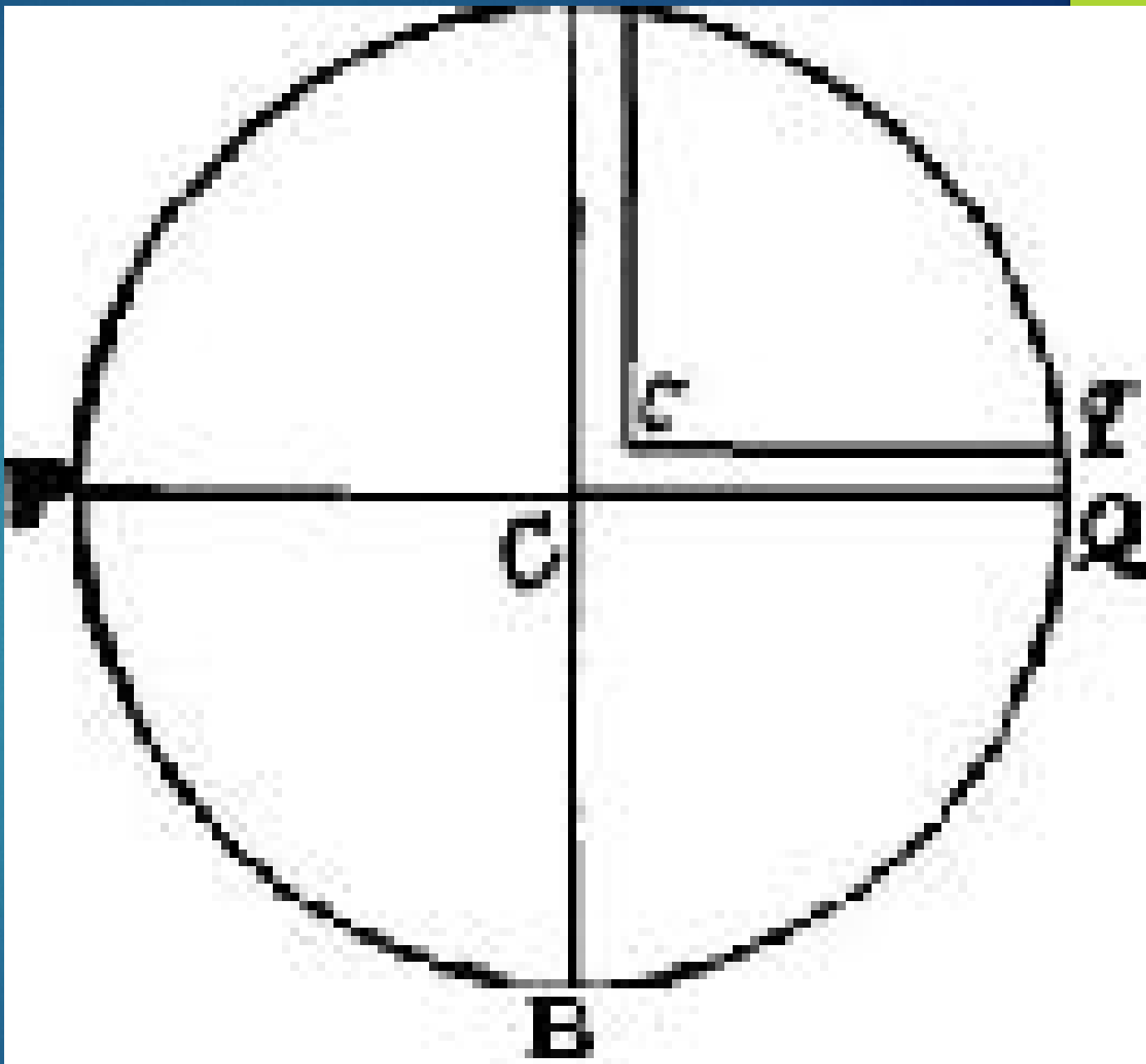
结论：美国卫星探险者1号 绕小惯量主轴---长轴 自旋失稳 的事实和第一颗通讯卫星 辛康1号绕最大惯量主轴---短轴自旋取得姿态控制的成功都能依据凯尔文陀螺稳定准则得到合理的解释.参考[1]、 [2]

五. 牛顿关于地球形状的研究



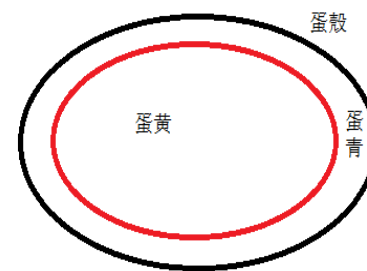
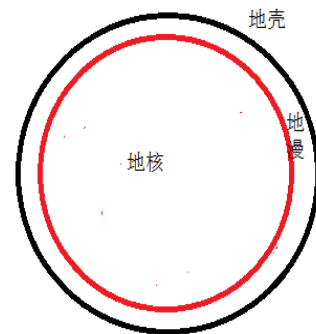
从空间站观察到的地球

牛顿扁地球
理论模型：
计算得到地球
扁率为 $1/230$.
精确值为
 $1/298.25$.

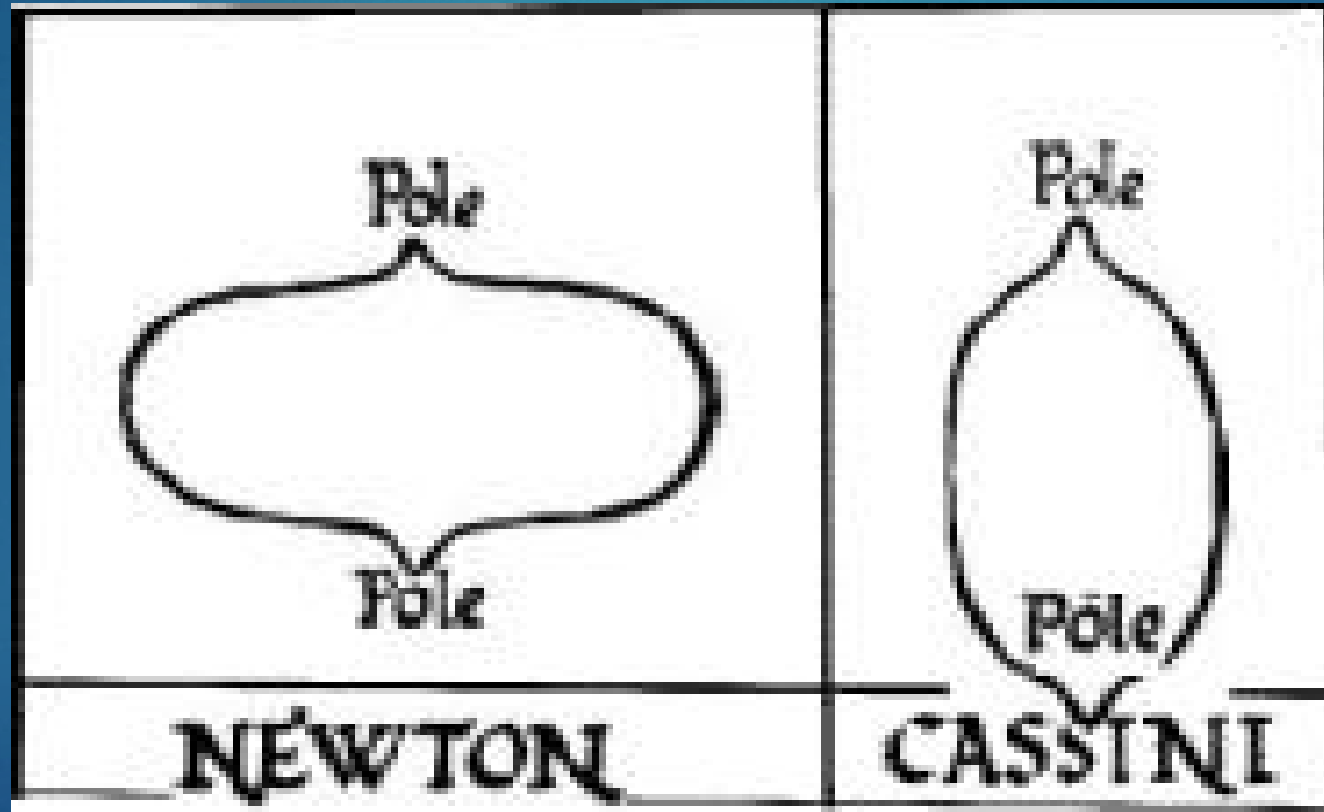


地球和鸡蛋的对照

这是【哥伦布问题】成为一个科学问题的实际源头。地球形状扁长之爭、难道不就是把地球比喻为生鸡蛋、它是立着旋转、还是平着旋转呢？参考[3]



描述正方—牛顿和反方—卡西尼家族
争论不下的一幅漫画:类比鸡蛋是平着
转,还是立着转



半个世纪的争论(16世纪70年代至17世纪30年代)

正方--- 牛顿， 以扁球理论模型为依据。

反方---法国天文世家卡西尼家族。四代都是法国天文台的台长，以测量地球子午线弧长的实际测量数据为依据。

测量原理:如果地球在高纬度1 度子午线的弧长大于低纬度区1 度的弧度，那么地球是长型的;反之是扁型。

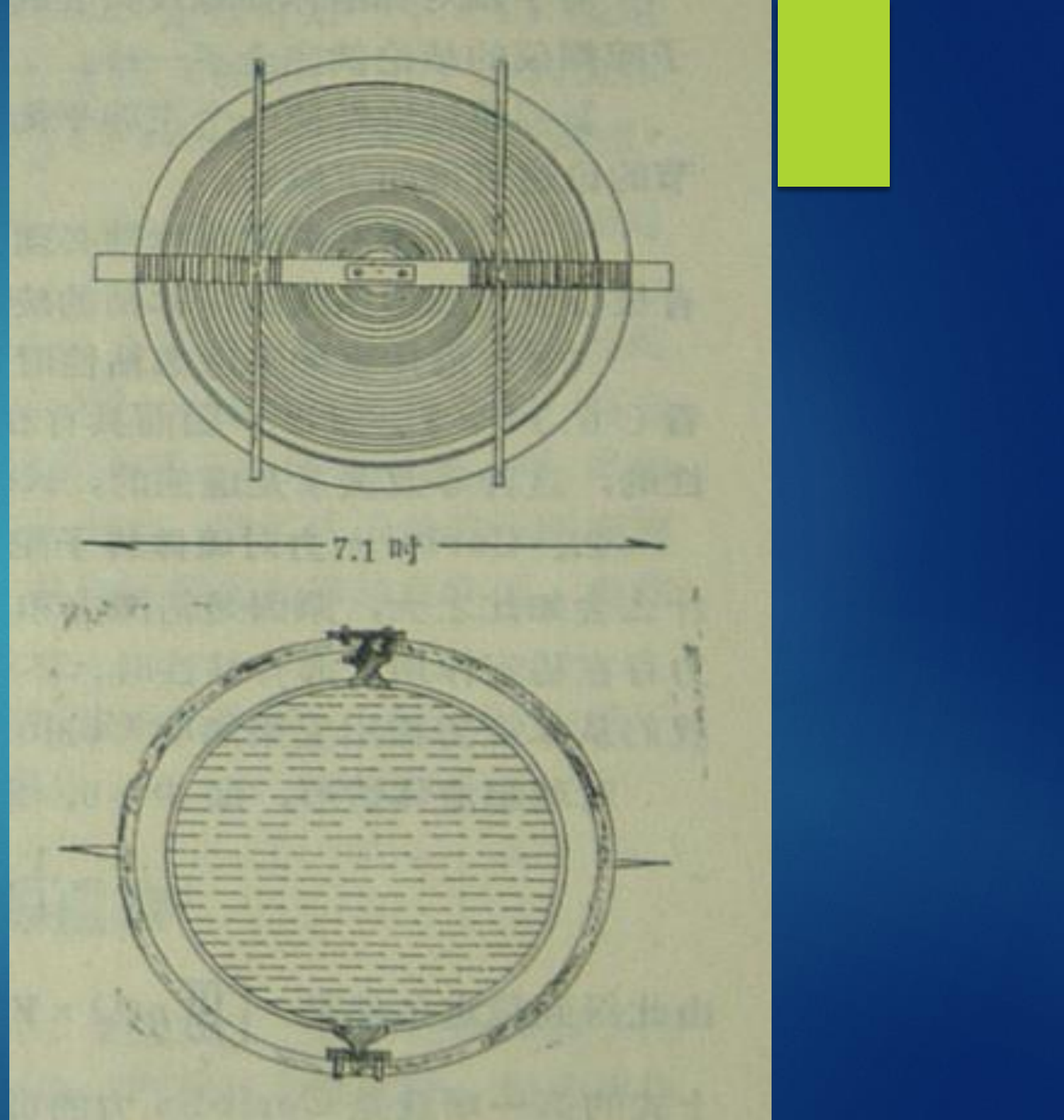
第一回合---反方胜 1713年在法国的测量结果却与牛顿的扁型预测相反、测得的地球好像是长球形。依这不精确测量结果为依据,以法国天文世家卡西尼一世为代表的一派反对牛顿的观点,使牛顿在1726年再版《自然哲学的数学原理》时、不得不删去叙述地球形状这一节。

第二回合---后来在北欧继续进行多年测量,两种观点的争论还是相持不下,如此直至1735年。

第三回合---正方胜1735年法国科学院派遣了一支探险队到秘鲁作了长达十年的大地测量根据精确测量的结果才证明了牛顿的观点是正确的。在事实面前第四代卡西尼被迫接受牛顿的理论。在《自然哲学的数学原理》第三版中才重新加上扁地球理论模型这一节。

六. 凯尔文流体 转子陀螺仪实验

结构：陀螺转子为轴对称椭球、由二个铜的半球壳焊接而成、中间充满水。陀螺用飞轮连接转子顶部的V形滑轮来转动。



设轴半径 c 、赤道半径 a

两组陀螺： 扁形 $c/a=9/10$;
长形 $c/a=10/9$ 。

实验结果： 扁形流体转子陀螺稳定($a>c$);
长形流体转子陀螺不稳定($a<c$)。

理论结果： (1) 1877-19世纪70年代按理想流体模型得到：(参考[4] p.928)
 $a>c$ 、 $c>3a$ 都是稳定的;
 $a<c <3a$ 不稳定。
(2)从19世纪70年代开始，按粘性流体模型得到 $a>c$ 、即扁形是稳定的充分必要条件、理论结果才和实验结果一致。
参考[5],[6]

结论

- 1.探求鸡蛋旋转现象的科学解答，贯穿牛顿的地球形状研究和凯尔文流体转子陀螺研究的始终，我们是在牛顿和凯尔文的引领下完成这次科学之旅。
- 2.本讲座抛开物理问题数学求解的细节，从物理直观来体验科学研究过程，正如把化学家和庖丁作类比，让初学者抛开对科学研究高不可攀、神秘莫测，立志成为科学家。

参考文献

- [1]徐硕昌 旋转力学系统的长期稳定性及其工程应用 力学与实践 6(5) 1984 2-6
- [2]徐硕昌 论陀螺的迴转稳定准则及其应用 力学学报 18(2) 1986
- [3]徐硕昌 哥仑布问题浅谈 自然杂志 5(1) 1982 22-24
- [4]H.兰姆 理论流体力学 第12章 p.928 科学出版社 1992
- [5]徐硕昌 关于Columbus 问题 力学学报 特刊 1981 31-36
- [6]徐硕昌 关于Columbus 问题大扰动情形的完全解 中国科学A 11(1984) 1017-1024

附录：深入讨论的问题

一. 化学家和庖丁工作的进一步比较

化学家

- ▶ 复杂脑力劳动
- ▶ 不可能用机器人代替。专业化学家必须经过全面系统的知识训练。
- ▶ **案例**---镭的发现：居理夫妇经过四年
- ▶ 时间从几吨重的铀矿渣提炼出几分克
- ▶ 的镭盐，最后制备出1分克的纯镭元
- ▶ 素。

庖丁

- ▶ 重复性体力劳动
- ▶ 可以用机器人代替，在宰牛自动化流水线上任何人都可学会操作。
- ▶ **观点**：劳动职业分工不同、无高低贵贱之分，行行出状元。

二.用定点陀螺模型解释卫星自旋稳定问题的条件

- ▶ 卫星运动-----卫星质心绕地球轨道运动+卫星以其质心为定点的陀螺自旋运动。

前题假设-----当假设卫星的质心绕地球是作平面圆周运动，卫星在轨道上任意位置受地球的引力状态都是相同的，因此自旋的卫星的运动状态只受自旋力矩的作用。这就是我们应用定轴陀螺稳定理论前题。

三.生鸡蛋为什么不能直立旋转？

通常流行这样一种解释“由于生鸡蛋内部是流质状态,在鸡蛋获得角动量的短时间内,生鸡蛋的流质还没有被转动起来”那么设法给生鸡蛋加上足够大的角动量能否维持不倒?我们可以设计这样一项实验、为了避免蛋黄晃动偏心运动带来的复杂性,把鸡蛋抽空灌满水,再让它竖直固定在转盘上,随转盘一起转动足够长时间后,使其能作快速整体旋转,然后松开固定的卡子,看看是否会倒。”

经对照就会知道,其实不必用鸡蛋去直接试验,凯尔文设计的回转椭球型液体转子陀螺实验模拟了这项实验。

四.牛顿地球模型的自转运动是稳定的

地球和液体转子陀螺仪所受的作用力完全不相同,前者受中心引力场(牛顿地球模型),后者受均匀引力场。在彭加勒等的经典理论中

,认为两种情形的定点都在中心上,所以无论壳体的合力矩,还是壳内液体的全力矩,它们都为零。两种情形的理论模型完全相同,不必区别考虑粘性也是一样在此两种情形下,科里奥利力都没有稳定作用,稳定条件都是系统势能取极小无论是均匀引力场,还是中心引力场,中心是定点的扰动运动都不会改变系统的引力势,两种情形总势能变化都取决惯性离心力势的变化两种情形总势能变化相同,故稳定条件也相同哥伦布问题在地球物理学领域中的意义在于,从地球自转运动稳定观点出发驳斥了反牛顿的观点,为牛顿地球形状理论提供了理论和实验证据。

两个前题条件：

- 1.地球绕太阳的轨道是平面园周；
- 2.发生中心为定点的扰动后,扁流体椭球型地球和扁球形流体陀螺仪扰动合力矩均为零。

所以、两种情形导出的稳定性条件是一樣的。