

第2讲 牛顿的水桶 和球状物

GEB 3301 空间、时间和爱因斯坦，人人有份

胡小倩

对上周的回顾

- 事件：在物理世界中发生的理想化事件，在空间和时间上都没有延伸。
- 我们用 M 表示我们宇宙中所有可能事件的集合。 M 的一个点代表一个事件。 M 的一个区域代表一些事件的集合。
- 粒子的单一**世界线**完全描述了人们想要知道的关于粒子的一切，因为它告诉我们粒子所经历的所有事件。
- 亚里士多德的观点对伽利略的观点

艾萨克-牛顿



艾萨克-牛顿--他的生活和时代

- 艾萨克-牛顿生于1642年，这一年伽利略去世，他于1727年去世。
 -
- 光的理论
 - 提出了光具有 "混合性质 "的理论
 - 提出白光可由棱镜分解（1672年）。
- 微积分的发明
- 世界万有引力定律

艾萨克-牛顿--他的生活和时代

- 猜想引力将月球固定在其轨道上
- 把苹果拉到地球上的力量也会影响到月球（月地互动）。

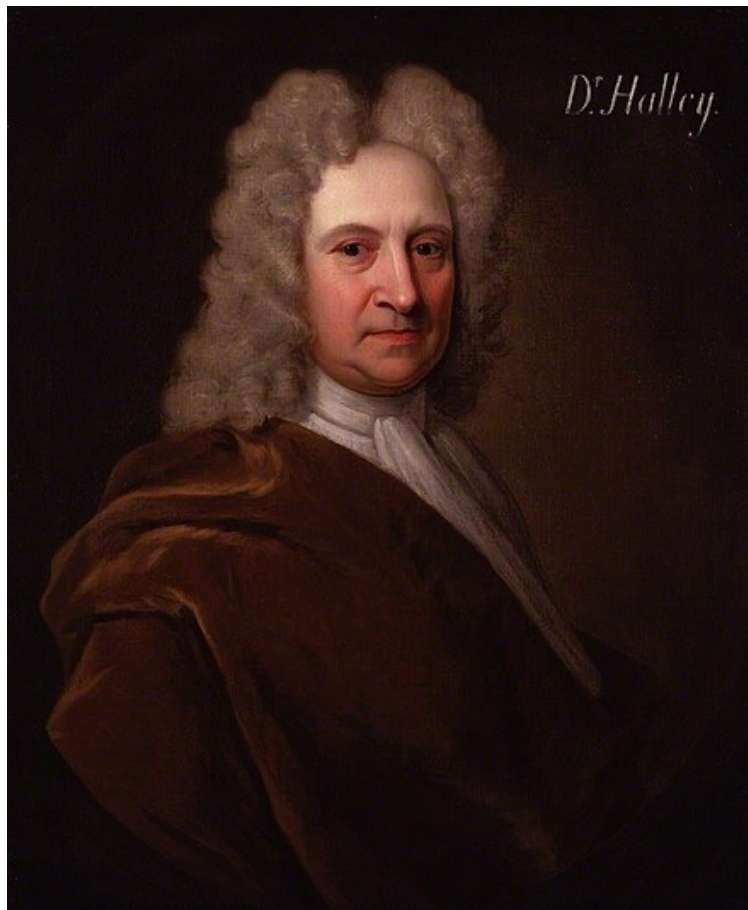
艾萨克-牛顿--他的生活和时代

- 牛顿的力学理论
 - 形成了具有普遍规律的力学理论
 - 起初对发表他的成果犹豫不决，长达20年之久
- 出版《自然哲学原理》（1687）。
 - 牛顿最终在1687年发表了他的观点
 - 伦敦皇家学会书记员、天文学家埃德蒙-哈雷提出的一个问题所激发的

艾萨克-牛顿--他的生活和时代

- "《原理》的历史始于一个明确的事件：埃德蒙-哈雷从伦敦到剑桥去看牛顿，他是皇家学会的秘书之一，今天主要因其对天文学的贡献和以他命名的彗星而闻名，但当时也被认为是一位能干的几何学家。日期是1684年，估计是8月。牛顿，41岁，是剑桥大学卢卡斯数学教授和三一学院的研究员，因其发表的关于光和颜色的发现而闻名，但因其数学方面的工作（尚未发表，但在某种程度上以手稿形式流传）和对动力学基础知识的掌握而被知情人所钦佩。在访问期间，哈雷问牛顿，如果行星不断被太阳吸引，其力量与距离的平方成反比，那么它们会描述什么样的路径。

埃德蒙-哈雷



艾萨克-牛顿--他的生活和时代

- 牛顿回答说，这条路将是一个椭圆。这不是牛顿的单纯猜测，而是他通过数学得到的结果，是一个被证明的陈述。牛顿.....为了继续这个故事.....无法得到计算结果，"但他承诺将其寄给伦敦的哈雷。他对材料进行了重新加工，并编写了一份简短的小册子，由爱德华-佩吉特带到伦敦交给哈雷。在读到它时哈雷非常兴奋，他回到剑桥再次见到牛顿。他的访问的一个效果是，牛顿承诺公开他的工作。因此，他将一份小册子（大概就是之前给哈雷看的那份）寄给了皇家学会。在哈雷的鼓励下，以及在皇家学会的热情赞扬下，牛顿最终完成了一份手稿，准备出版。这就是《原理》的雏形"（Cohen，

艾萨克-牛顿--他的生活和时代
197~， 47) 。

牛顿--一个复杂的人

- 个人和职业生活
 - 牛顿从未结婚，与女性的交往有限
- 科学争论
 - 牵涉到科学优先权的争论
 - 与罗伯特-胡克就发现引力为平方反比定律发生激烈争论
- 牛顿的谦逊和承认
 - 将自己描述为一个在广阔的知识领域的学习者

牛顿--一个复杂的人

- 对铺平道路的 "巨人" 表示感谢，可能包括胡克

牛顿--一个复杂的人

- 牛顿-莱布尼茨之争
 - 牛顿和莱布尼茨之间的激烈争论
 - 在微积分发明的优先权上开始了
- 对牛顿概念的挑战
 - 莱布尼茨对牛顿关于空间、时间和重力的观点提出质疑
 - 莱布尼茨批评牛顿在物理学中重新引入了神秘的品质
- 莱布尼茨-克拉克的通信
 - 莱布尼茨和塞缪尔-克拉克之间的通信
 - 时间跨度从1713年到1717年莱布尼茨去世为止
 - 作为莱布尼茨-克拉克的书信出版，揭示了他们正在进行的争论

原理

- 牛顿 *原理*
 - 机械学原理的公理化处理
 - 牛顿确立了定义并提出了 "运动的三个定律"
- 定理和推理
 - 牛顿推导出关于身体运动和作用力的定理
 - 证明了规律和观察到的现象之间的关系
- 不使用微积分

原理

- 尽管发明了微积分，但牛顿并没有在《原理》中使用它。
- 更倾向于他同时代人所熟悉的几何风格

原理

- 牛顿的空间观
 - 接受了欧几里得假说
 - 认为空间具有三维欧几里得结构
 - 与关系主义观点相反，认为空间是物质对象的独特容器
- *De Gravitatione*（《论流体的重力和平衡》）。
 - 在牛顿时代未发表，在1940年代被发现
- 学会（根据《原则》的定义八）。
 - 对牛顿的账户提供了更多的见解
- 注：本文集中的文章是在不知道未出版的《引力论》的情况下写的。
 -

Principia - 让我们听听你的看法

- 问题：为什么牛顿觉得有必要在物理学著作中讨论明显的哲学问题？
- 嗯，这个问题，像其他许多问题一样，既不是严格的哲学问题，也不是严格的科学问题。事实上，在二十世纪之前，这种区分远没有现在这样严格。

牛顿系统

- 牛顿系统和原理
 - 牛顿在1684年开始写《原理》。
 - 伽利略呼吁对自然现象进行数学表述（61年以前）
- 描述与解释自然现象
 - 描写：以数学方式表现自然现象
 - 解释：用数学原理来解释现象
- 数学原理的重要性

- 牛顿旨在通过数学原理来解释自然现象
- Principia寻求建立一个基于这些原则的综合系统

牛顿体系--伽利略

- 伽利略自己提出了几个数学定律或原理，其中，落体定律： $s = \frac{1}{2}gt^2$ ，它关系到一个物体在一个时间 $(t)^2$ 内下落的距离 (s) ，其中 (g) 为重力加速度。
- 伽利略的方法的问题在于它过于特殊。

牛顿体系--伽利略

- 伽利略制定的落体定律在几个方面受到限制：
- (1)它只涉及自由落体；
- (2) 它涉及到在一个特殊的力，即重力影响下的运动；
- (3)它假定重力是一个常数。
- PS，这些都不是为了贬低伽利略的成就，他的成就确实很伟大，但只是为了说明伽利略的方法，即为特定现象制定特定的原则。

牛顿体系 - 笛卡尔

- 笛卡尔和笛卡尔的物理学
 - 笛卡尔寻求所有运动的一般数学原理
 - 受到欧几里得几何学的演绎理想的启发
- 目标：演绎系统
 - 为自然现象产生一小套原则（如欧几里德的公理）。
 - 演绎所有自然现象的描述（如欧几里德定理）。
- 笛卡尔物理学

牛顿体系 - 笛卡尔

- 1644年，笛卡尔提出了3条自然法则和7条影响规则
- 这些规律和规则构成了笛卡尔物理学的基础

牛顿体系 - 笛卡尔

- 自然界的三大法则：

1. 惯性定律：静止的物体保持静止，运动的物体继续以相同的速度和方向运动，除非受到外力的作用。
2. 运动守恒定律：除非受到外力作用，否则宇宙中的运动总量保持不变。
3. 作用力和反应的规律：每一个行动都有一个相等和相反的反应。
 -

牛顿体系 - 笛卡尔

- 第一定律：每一事物，就其本身而言，总是坚持在同一状态下，而且一旦移动，总是继续移动。
- 第二条定律：每个运动本身都是直线型的，因此，圆周运动的事物总是倾向于从它们所描述的圆心向后退去。
- 第三条定律：如果一个运动的物体与另一个物体相撞，那么如果它继续沿直线运动的力小于另一个物体对它的阻力，它就会向相反的方向偏转，并保留自己的运动，只失去其运动的方向。如果它有更大的力，那么它将使另一物体与自己一起移动，并将自己

牛顿体系 - 笛卡尔

失去的运动给予该另一物体一样多。

牛顿体系 - 笛卡尔

- 冲击的七个规则：

- 1.持久性规则：一个运动中的物体将继续运动，除非受到另一个物体的影响。
- 2.方向的规则：当一个物体遇到另一个物体时，运动的方向会发生变化。
- 3.折射法则：当一个物体通过不同密度的介质时，运动路径会发生弯曲。

牛顿体系 - 笛卡尔

4.阻力的规则：一个物体所遇到的阻力大小取决于它的形状和它所通过的介质。

牛顿体系 - 笛卡尔

- 5. 碰撞的规则：在碰撞中，反射角等于入射角。
- 6. 冲力法则：物体的运动变化与施加的力和作用的时间成正比。
- 7. 冲击的规则：撞击前和撞击后的运动量保持一致。

牛顿体系 - 笛卡尔

- 规则（1）如果两个物体B和C完全相等，并以相等的速度运动，B从右到左，C从左到右，那么当它们碰撞时，它们被反射，之后继续运动，B向右，C向左，而不损失它们速度的任何部分。
- 规则（2）如果B比C稍大，并且上述其他条件仍然成立，那么只有C被反射，两个物体以相同的速度向左移动。
- 规则（3）如果它们的大小相等，但B比C的速度稍快，那么它们不仅继续向左移动，而且B还将它超过C的部分速度传给C。因此，如果B原来拥有6度的速度，而C只有4度，那么在碰撞之后，它们都以5度的速度向左倾斜。

牛顿体系 - 笛卡尔

- 规则（4）如果C完全处于静止状态，并且比B稍大，那么无论B以多快的速度向C移动，它都不会移动C，而会被C以相反的方向排斥出去。因为一个静止的物体对一个较大的速度比一个较小的速度的阻力更大，这与一个速度超过另一个速度的比例有关。因此，C的阻力总是比B的推动力大。
- 规则（5）如果C处于静止状态，并且比B小，那么无论B向C移动的速度有多慢，它都会将自己的部分运动转移到C身上，从而使它们都以相同的速度移动，从而使C也跟着移动。如果B比C大一倍，它就会把自己三分之一的运动转移到C身上，因为三分之一的运动使身体C移动的速度和剩下的两部分使身体B移动的速度一样快，而身体B是两倍大的。因此，在B与C相撞后，B的运动速度比之前慢了三分之一，也就是说，它需要同样的时间来移动通过三英

牛顿体系 - 笛卡尔

尺的空间。同样，如果B比C大三倍，它将把其运动的四分之一转移给C，等等。

牛顿体系 - 笛卡尔

- 规则(6) 如果C处于静止状态，并且正好与向C运动的B相等，那么C部分受到B的推动，部分向相反方向排斥B。因此，如果B以四度的速度向C移动，它将一度转移到C，并以剩余的三度向相反方向反射。
- 规则（7） 让B和C沿同一方向运动，C的运动速度较慢，B以较大的速度跟随C，这样他们就会发生碰撞。此外，让C比B大，但B的速度过剩大于C的速度过剩。另一方面，如果B的速度过剩小于C的速度过剩，那么B将被反射到相反的方向，并保留其所有的运动。这些过量的计算方法如下。如果C是B的两倍，但B的运动速度不是C的两倍，那么B就不会推动C，而是被反射到相反的方向。例如，如果C只有两度的速度，而B有五度，那么C从B获得两度，当转移到C时，由于C是B的两倍大，所以变成只有一度。而其他情况也必须以同样的方式进行评估。

牛顿体系 - 笛卡尔

- 当与笛卡尔的二元论哲学相结合时，笛卡尔主义似乎提供了一个统一的世界哲学方法的承诺，它可以取代被削弱和失去信誉的亚里士多德哲学。
- 牛顿自己的物理学思想的发展，部分是对笛卡尔物理学原理的反应。
- 正如牛顿和其他同时代的人所看到的，在解释和应用笛卡尔的物理定律和规则方面存在着一些困难。

牛顿体系 - 笛卡尔

- 首先，有一个关于法律和规则之间关系的问题。规则应该是可以从法律中推导出来的，但如何做到这一点并不清楚。此外，该系统未能具有必要的通用性。做了所有实际工作的规则，只适用于特殊情况。当然，法律是一般性的，但似乎并不容易适用。
- (2) 许多出现在定律和规则中的概念都不明确。笛卡尔从未为解释 "力"、"运动量" 和 "阻力" 等术语提供明确清晰的规则。没有这样的准则，规则对特定案例的适用性就不明确。
- (3) 尽管笛卡尔的目标是数学物理学，但笛卡尔的原则并不十分数学化。

牛顿体系 - 笛卡尔

- (4) 在规则允许清晰的数学解释的地方，它们往往是错误的。例如，考虑一下规则（4）。如果它是正确的，那么加速的子弹将无法移动一个较重的静止物体。但移动的子弹在做这件事时相当有效，所以规则（4）不可能是正确的。
- (5) 一个更深层次的问题是，在笛卡尔物理学中，**相对运动**的概念没有系统的作用。通过反思 "B中的速度" 这一短语，例如在规则(7)中出现的，可以很清楚地看到这一点。仔细阅读这些规则可以清楚地看到，对笛卡尔来说，速度是一个物体的绝对属性。这与伽利略相对论原则相抵触（下文有更多介绍；见第7-45页）。牛顿认为，笛卡尔物理学未能公正地对待运动的关系性是一个基本错误（关于这些批评和其

牛顿体系 - 笛卡尔

他批评的讨论，见Blackwell, 1966) 。

牛顿系统

- 牛顿与笛卡尔数学原理
 - 牛顿的目的是创造一套改进的数学原理
 - 牛顿的原则受到英国科学家的广泛赞誉，包括哈雷
 - 牛顿的原则被包括莱布尼茨在内的大陆物理学家所拒绝
 - 牛顿系统和笛卡尔系统共存，并在17世纪时发生了冲突

牛顿系统

- 牛顿理论： 粒子力学
 - 描述和预测粒子和粒子系统随时间变化的行为
- 牛顿体系的成功
 - 解释行星运动、钟摆运动、弹簧震荡等。
 - 一些人认为牛顿力学是理解所有物理现象的关键

牛顿系统

- 18世纪的牛顿范式
 - 运动出现了：每个自然系统都被视为牛顿粒子系统
 - 理想：将所有的物理知识分支简化为牛顿力学
- 19世纪的挑战
 - 试图将各种领域还原为牛顿力学
 - 许多领域无法用牛顿的框架来完全解释
- 取代牛顿力学
 - 20世纪：相对论和量子力学理论的发展
 - 相对论和量子力学取代了牛顿力学
 - 牛顿范式在解释所有物理现象时不再全面。

牛顿系统--规律

- 牛顿的理论建立在三个运动定律和一个重力吸引定律的基础上。
- 三大运动定律在《原理》第一册 "物体的运动 "的开头提出。重力定律出现在第三册。"世界的体系"。这些定律是
- **Law I: (The Principle of Inertia) 每个物体都继续保持其静止状态，或在一条正确的[=直线]上做匀速运动[=恒定速度]，除非它被施加在它身上的力量迫使改变这种状态。**

牛顿系统--规律

- 力的定义) 运动的变化与所施加的动力成正比; 并且是沿着所施加的力的光[直]线方向进行的 ($F=ma$) 。
- 法则三: (作用力--反作用力原理) 每一个作用力都有一个相等的反作用力; 或者说, 两个物体对彼此的相互作用力总是相等的, 并且指向相反的部分。

牛顿系统--规律

- 在第三卷中，关于所有物体相互之间的引力的命题七，定理七中，牛顿写道，所有物体都有一个引力，与它们所包含的物质的数量成正比。
- **推论二：任何物体的几个相等的粒子所受的引力，随着与粒子的距离的平方而成反比** ($F = \frac{GMm}{r^2}$)。

牛顿系统--挑战

- 牛顿的三大运动定律
 - 牛顿的粒子力学理论的基础
 - 实现对各种物理系统的准确预测和描述
- 牛顿系统：权力与成功
 - 提出宇宙是一个巨大的机制，可以用机械原理来解释
 - 认为每一个部分都是可以精确解释的
- 部分成功和局限性

牛顿系统--挑战

- 牛顿方法取得了重大成功
- 然而，它从未完全成功地解释所有现象

牛顿系统--挑战

- 牛顿体系的基本概念从一开始就受到了质疑。
- 牛顿认为空间和时间是机械运动的绝对背景，但莱布尼茨和乔治-伯克利对这一观点提出了质疑。
- 牛顿的重力概念也受到了莱布尼茨的挑战。
- 莱布尼茨认为牛顿的万有引力思想是援引神秘的 "我不知道的东西" 来解释物理现象。
- 莱布尼茨认为牛顿的重力概念是基于 "神秘的品质" 和远距离的作用。

牛顿系统--挑战

- 莱布尼茨认为牛顿的重力概念是对中世纪哲学的一种回归，是不值得信赖的。
- 莱布尼茨遵循笛卡尔的方案，其目的是根据接触力来解释运动。
- 牛顿的回应是区分了重力的数学描述和其解释或说明。
- 牛顿承认，万有引力定律提供了一个数学描述，但并没有完全解释万有引力的本质。

牛顿系统--挑战

- 在添加到第二版的第三册的总论中，牛顿写道：
- "迄今为止，我们已经用重力的力量解释了天和海的现象，但还没有指出这种力量的原因。可以肯定的是，它必须来自于一个能穿透太阳和行星中心的原因，而它的力量没有丝毫减弱；它不是根据它所作用的粒子表面的数量来运作（就像机械原因曾经做的那样[指的是笛卡尔和他的观点，即重要的数量是物体的大小而不是质量？]），而是根据它们所包含的固体物质，并将其优点向各方传播到遥远的距离，总是随着距离的反平方而减少。...

牛顿系统--挑战

- 迄今为止，我还不能从现象中发现重力的这些特性的原因，**我也没有提出任何假设**

[hyotheses non fingo]; 因为凡是不从现象中推导出来的东西都被称为假说; 而假说, 无论是神秘的品质还是机械的, 在实验哲学中都没有地位。在这种哲学中, 特定的命题是从现象中推断出来的, 然后通过归纳法使之成为一般。因此, 我们发现了物体的不可渗透性、流动性和冲力, 以及运动和引力的规律。对我们来说, 引力确实存在[如其效应所证明的那样], 并按照我们所解释的定律行事就足够了, 它充分地说明了天体和我们海洋的所有运动[与伽利略相比]" (Newton, 1962, pp.

牛顿系统--挑战

牛顿系统--挑战

- 私下里，牛顿在1692-1693年2月25日写给理查德-本特利的一封信中写道，但直到很久以后才发表：
- "不可思议的是，如果没有其他非物质的东西作为中介，无生命的畜生物质会在没有相互接触的情况下对其他物质产生作用和影响，这一点是不可想象的，如果在epicurus的意义上，引力是它的基本和固有的。这就是我希望你不要把天生的重力归于我的原因之一。

牛顿系统--挑战

- 万有引力应该是与生俱来的，固有的，对物质来说是必不可少的，因此一个物体可以通过真空在远处作用于另一个物体，而不需要其他任何东西的调解，通过它们的作用和力量可以从一个物体传递到另一个物体，这对我来说是如此的荒谬，我相信在哲学问题上具有合格思考能力的人，都不会陷入这种荒谬。万有引力必须由一个不断按照某些规律行事的媒介引起；但这个媒介是物质的还是非物质的，我留给我的读者去考虑"（牛顿，1953年，第54页）。

我们该如何看待这个问题呢？

- 牛顿区分了规律的数学表达和它的解释。
- 牛顿的重点是为重力的影响提供一个数学表述。
- 该数学公式被用来描述和预测天体的运动。
- 牛顿赞同伽利略的观点，即物理学家的主要关注点应该是产生自然界的数学定律。
- 对这些规律的假设性理解对牛顿来说是次要的。

我们该如何看待这个问题呢？

- 牛顿对目前对重力的理解不满意，承认需要进一步解释。
- 然而，牛顿认为，这种额外的解释并不属于自然哲学的数学原理。
 -
- 牛顿私下里希望读者能得出结论，上帝是万有引力背后的最终因果代理人。
- 牛顿认为重力和《原理》中的原理是上帝在宇宙中存在和工作

的证据，可与宗教经文相媲美。

牛顿的空间和时间

- 在第一册之前的定义的 *学说中*，牛顿讨论了时间、空间、地点和运动。
- 牛顿区分了绝对时间或数学时间和相对时间或普通时间。
- 相对的空间、时间和运动是那些可以被我们测量的。
- 根据牛顿的说法，所有的测量都涉及到一个事物与另一个事物的比较。

牛顿的空间和时间

- 当使用卷尺来确定一个房间的尺寸时，所测量的空间是相对于作为标准的卷尺而言的。
- 时间的测量包括将一个过程或活动的持续时间与时钟显示的持续时间进行比较。
- 只有当物体相对于其他东西运动时，才被认为是在运动。

牛顿的空间和时间

- 牛顿提出，除了相对测量之外，还存在绝对空间、绝对时间和绝对运动。
- 这些绝对量是人类观察者无法直接检测的。
- 尽管他们无动于衷，但牛顿还是论证了这些绝对事物的存在。
- 包括莱布尼茨在内的批评家强烈抨击了这些绝对概念的合理性和必要性。

牛顿的空间和时间

- 牛顿明确指出 (*De Grav.*, this vol., p.III) , 他认为空间是一个几何对象, 就像我们在欧几里得假设中设想的那样。
- 它是由点组成的, 这些点的集合包括线、面和几何学中的 "实体" (在具有体积而非实体的意义上)。这些几何对象是物质对象可能的 "绝对位置", 超过其相对位置。

牛顿的空间和时间

- 那么，这些点是独立于物质对象而存在的：首先是在位置被占据之前就存在的意义上--"我们坚信，在球体占据之前，空间是球形的。"（*De Grav.*, this vol., p. III）；其次是在即使没有物质，空间也会存在的意义上--"我们可以想象空间里没有东西，但我们不能认为空间不存在。"（*De Grav.*, this vol., p.113）。
- 独立于物质的存在是牛顿认为空间是绝对的而不是相对的第一个意义；相反，如果没有物质物体，那么根据关系主义者，物体之间就没有相对距离，因此也就没有空间。

绝对空间和绝对时间在质量上是同质的。

- 在《*论语*》中，牛顿说："绝对空间，就其本身的性质而言，不与任何外部事物发生关系，始终保持相似和不动。"绝对空间"始终保持相似"，只是说它的各部分在质量上是同质的。
- 即便如此，在一份未发表的手稿中，牛顿更强烈地提出了这个问题："持续时间和空间的各部分只是因为它们的相互秩序和位置而被理解为真正的相同；除了秩序和位置之外，它们也没有任何暗示的个性，因此，它们不能被改变（Hall and Hall, 1962, p. 136）。"这与亚里士多德的观点形成对比，至少在空间方面，因为亚里士多德，回顾，认为空间在质量上是异质的。

绝对空间（时间）是无限的（永恒的）。

- 牛顿基于概念和神学的原因，论证了空间和时间的无限延伸。
- 牛顿指出，空间在所有方向上都是无限延伸的，因为想象一个极限意味着它之外空间的存在。
- 根据牛顿的说法，直线和类似的图形一直延续到无穷大，没有界限。
- 牛顿对上帝的永恒和无限的信仰使他得出结论，空间的范

围也必须是无限的，而时间（或持续时间）也必须是无限的。

空间和时间是连续的

- 时间的连续性来自于牛顿在《学记》中的断言："绝对的、真实的和数学的时间，就其本身和自身的性质而言，是平等流动的，与任何外部事物无关.....。
.."牛顿认为绝对时间是 "平等地流动"，这充分说明他认为时间的流动是连续的而不是离散的。
- 当然，我们必须记住，在牛顿的时代，说一个区间是连续的就是说它是密集的，但不是点状的。

绝对空间和绝对时间是独立于物/心的

- 根据牛顿的说法，即使在没有物体的情况下，绝对空间仍然会作为一个容器或载体而存在。
- 绝对时间也会存在，而不考虑任何变化或持久的物体。
- 虽然我们可以想象空间中没有物体，但我们无法想象空间本身不存在。
- 同样，我们不能设想没有持续的时间，即使假设没有任何东西持续存在也是可以想象的。

绝对空间和绝对时间是不可改变的

- 绝对时间的不可改变性涉及两个方面。
 - 首先，绝对时间是平等流动的，也就是说，它以有规律的速度流逝。
 - 第二，持续时间的各个时刻或部分以一种内在的方式固定在它们彼此的相对顺序上。
- 这意味着，如果在绝对时间的不同时刻发生的一组连续事件被从早到晚排序，那么这个顺序是唯一的。
- 然而，相对论的狭义和广义理论提出了对时间的不同理解。

绝对空间和绝对时间是不可改变的

- 牛顿强调绝对空间的部分或位置的不可改变性。
- 他特别关注笛卡尔的观点，该观点将空间与占位体相联系，暗示空间的位置或部分可以相对移动。
- 牛顿没有考虑到物理空间中存在非欧几里得几何结构的可能性，所以他不关心空间的几何结构可能发生变化的想法。

绝对空间和绝对时间是没有因果关系的

- 根据牛顿的说法，空间和时间是世界上行动和事件的框架或容器。
- 空间和时间本身与世界上发生的物质或机械过程没有因果关系的互动。
- 牛顿的观点是，两个物体之间的引力吸引不影响或不受绝对空间和绝对时间结构的影响。
- 这类似于一个刚性容器的结构不受其内部物体或过程的影响。
- 然而，广义相对论（GTR）将提出不同的理解并放弃这种观点。

绝对空间是一个空洞

- 根据牛顿的说法，绝对空间的存在独立于其中任何物体的存在。
- 这意味着在牛顿看来，空的空间可以存在。
- 绝对空间和大多数可观察到的相对空间，如行星之间的空间，都被认为是空的。
- 然而，这给牛顿带来了挑战，特别是关于两颗行星之间的引力，因为它意味着没有任何中间媒介的距离作用。
- 牛顿对远距离作用的概念一直很不满意。

绝对空间是一个空洞

- 在他的作品《光学》中，牛顿提出了一个无所不在的乙醚的可能性，它可以作为引力的媒介。
- 这种乙醚的概念不应该与19世纪提出的用于传输光的乙醚相混淆。
- 牛顿并不要求有光学的乙醚，因为他认为光由粒子组成，可以像通过发光的乙醚一样轻松地穿越空旷的空间。
- 牛顿和后来的牛顿思想家并没有完全解决调和引力中的介质需

绝对空间是一个空洞
求问题。

相对空间

- 什么是相对空间？
- 位置和运动需要有相对于其他事物的位置知识。
- 例如：开车上班，降落飞机，高能物理实验，将火箭送上月球。
- 了解相对位置对导航、任务、测量和预测至关重要。

相对空间

- 在各种情况下，"参照系"是相对于一个被称为"参照体"的特定物体而定义的。
- 例如，在评估个人安全时将自己作为参考体，在测量跑步者的速度时将地球表面作为参考体，在研究地球轨道时将太阳或我们的星系作为参考体。
- 牛顿在讨论相对空间时提到了这些参考框架。
- 了解和定义参考框架对于分析与特定物体或系统有关的位

相对空间

置和运动至关重要。

相对空间

- 给定这样一个框架，我们可以把相对运动引入为相对于参考体的位置变化。
- 我们可以更精确地区分参照系中的相对运动状态：如果一个物体在一个固定的方向上与参照系保持一个固定的距离（以便它不在轨道上运行），就说它在一个参照系中处于**静止状态**；如果它在一个参照系中以直线运动并在相等的时间内覆盖相等的距离，就说它在一个参照系中处于**持续的相对运动**。
- 否则，也就是说，如果一个物体相对于参考体来说改变了速度

相对空间

或沿着一个弯曲的轨迹行进，它就是**相对加速的**。

相对空间与绝对空间

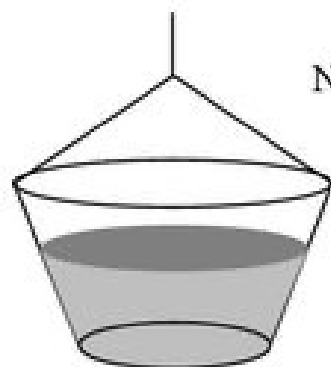
- 牛顿在《原理》中提出了两个论点来区分绝对空间和相对空间。
- "水桶论"是基于一个可以在任何实验室进行的实验，涉及观察旋转水桶中的水。
- "两个地球实验"是一个思想实验，牛顿要求读者想象一个无法实际进行的实验的结果。
- 这些论点旨在证明绝对空间（独立的、不受物体或运动影响的）和相对空间（相对于参考体或框架而定义）之间的区别。
- 这些论点有助于牛顿的空间概念以及它与运动和物体的关系。

星期四的牛顿水桶实验

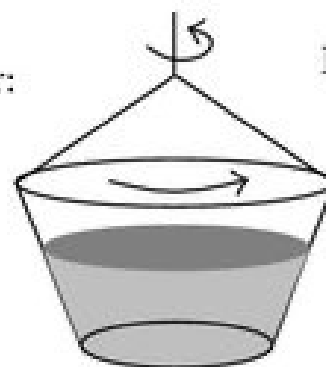
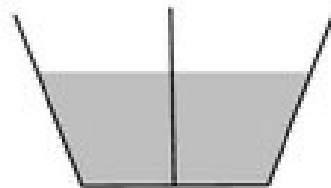
- 在周四的教程中，我们将在小组中描述并谈论牛顿的水桶和地球仪实验（思想实验）。
- 请阅读上传的《定义的学说》第十二节和第十四节，进行牛顿的水桶实验，并像写一篇实验报告那样写出来，包括仪器、方法、结果和结论的描述。牛顿是否得出了正确的结论？对所观察到的现象还能有什么其他解释？

- 展示最好的图画/写出并解释它们。

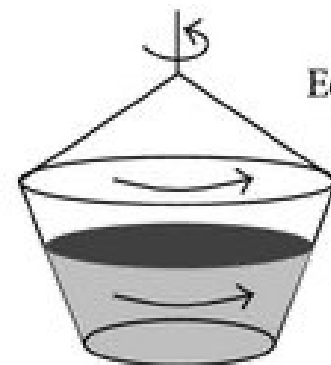
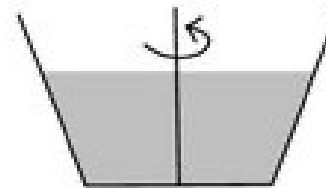
水桶实验



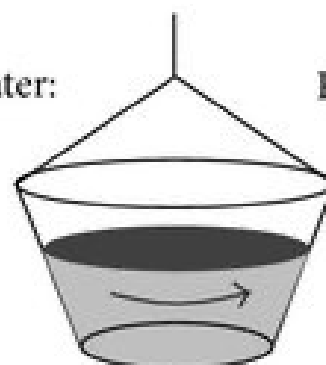
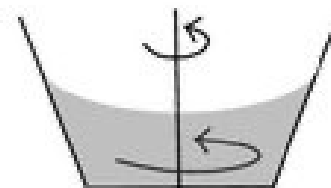
No rotation of bucket nor water:
water surface is flat



Rotation of bucket, not of water:
water surface is flat



Equal rotation of bucket and water:
water surface is curved



Rotation of water, not of bucket:
water surface is curved

