

科学与假说

1.1 科学的价值:人类文明进步的双重动力

引言

本节深入探讨**科学**在人类文明发展中的根本价值和多重意义。我们将从哲学、社会学、认识论等多个维度分析**科学**的实践价值与认识价值,深入理解**科学**如何通过技术革命改变人类生活方式,以及如何通过理论建构满足人类认识世界的根本需求。通过系统分析**科学**不仅是事实的收集,更是对现象的理论解释和规律发现,我们将全面认识**科学理论**、**自然定律**和**科学方法**在现代文明中的核心地位,以及科学精神对人类思维方式的深刻影响。

1.1.1 科学的实践价值:技术革命与社会变迁

科学实践价值的历史演进

现代科学几乎改变了我们生活的每个方面。它的实践价值在于,它使得更方便、更健康 and 更丰富的生活成为可能。

科学技术革命的历史阶段:

- **第一次科学革命(16-17 世纪):**以伽利略、牛顿为代表,建立了现代科学方法论基础
- **第一次工业革命(18-19 世纪):**蒸汽机技术改变了生产方式和社会结构
- **第二次工业革命(19-20 世纪):**电力和化学工业的发展
- **第三次科学技术革命(20 世纪中后期):**信息技术、生物技术、新材料技术
- **第四次工业革命(21 世纪):**人工智能、物联网、大数据等新兴技术

科学应用的广泛领域:尽管人们对于它的一些成果颇感忧虑,然而,大多数人同意,科学进步及其在通信、运输、制造、种植、娱乐和公共卫生等方面的技术应用,总的来说大大地有益于人类。

科学价值的辩证性:科学的实践价值具有双重性——既带来巨大福祉,也可能产生负面影响。这要求我们以理性和负责任的态度对待科学技术的发展和应用。

科学技术改变人类生活的具体实例

医学领域的革命性进步:

- **疫苗技术:**天花的根除、小儿麻痹症的控制、COVID-19 疫苗的快速研发
- **抗生素发现:**青霉素的发现拯救了数百万生命
- **现代外科技术:**器官移植、微创手术、机器人辅助手术

- **基因治疗**: CRISPR 技术为遗传疾病治疗带来希望

信息技术的社会变革:

- **互联网革命**: 改变了信息传播、商业模式、社交方式
- **移动通信**: 智能手机使全球即时通信成为现实
- **人工智能**: 在医疗诊断、自动驾驶、语言翻译等领域的应用
- **大数据分析**: 为科学研究、商业决策、公共政策提供支持

环境科学与可持续发展:

- **清洁能源技术**: 太阳能、风能、核能技术的发展
- **环境监测**: 卫星遥感、环境传感器网络
- **生态保护**: 生物多样性保护、生态系统修复技术
- **气候科学**: 全球气候变化的监测和预测

1.1.2 科学的认识价值: 人类理性精神的最高体现

科学认识价值的哲学基础

科学在实现认识愿望方面也实现了内部价值。这种认识价值体现了人类作为理性存在的本质特征。

古典哲学的认识论传统: 很久以前, 亚里士多德写道: ”认识某个事情 (不仅哲学方面的, 而且人类的其余方面的) 是最大的乐趣。”^{aristotle1950} 这一观点奠定了西方理性主义传统的基础, 强调了知识本身的内在价值。

现代科学家的认识追求: 爱因斯坦则代表所有时代的科学家写道:

”什么因素推动我们发明一个又一个理论? 我们为什么要发明理论? 答案很简单: 因为我们乐于’理解’(comprehending), 即, 通过逻辑过程将现象归约为已经知道或有 (明显) 证据的事物。”^{einstein1935}

科学认识的独特性:

- **系统性**: 科学不满足于零散的知识, 追求系统化的理解
- **普遍性**: 寻求适用于所有情况的普遍规律
- **精确性**: 通过数学化和量化实现精确描述
- **可验证性**: 理论必须能够接受经验检验
- **预测性**: 能够对未来现象进行准确预测

科学认识价值的历史见证

天文学的认识革命:

- **哥白尼革命**: 日心说改变了人类对宇宙的认识
- **开普勒定律**: 揭示了行星运动的数学规律
- **哈勃发现**: 宇宙膨胀理论改变了宇宙观
- **引力波探测**: 验证了爱因斯坦广义相对论的预言

生物学的认识突破:

- **达尔文进化论**:揭示了生命演化的机制
- **DNA 双螺旋结构**:解开了遗传的分子基础
- **基因组计划**:绘制了人类遗传信息的完整图谱
- **CRISPR 技术**:使精确基因编辑成为可能

物理学的理论建构:

- **牛顿力学**:建立了经典物理学的理论框架
- **相对论**:革命性地改变了时空观念
- **量子力学**:揭示了微观世界的奇异性质
- **标准模型**:统一描述了基本粒子和相互作用

1.1.3 科学的本质:从事实到理论的认识飞跃

科学认识的层次结构

科学的目标就是发现普遍真理。这一目标体现了科学认识的层次性和系统性特征。

事实与理论的辩证关系:当然单个事实是关键;用事实建造科学大厦,如同用石头建造房屋。采集了石头不等于建成房屋,仅仅事实的收集更不能成为科学。科学家寻求理解现象,为此,他们努力揭示现象发生的方式以及它们之间的系统的关系。

科学解释的必要性:仅仅知道事实是不够的,对它们进行说明是科学的任务。因而,这需要理论(如爱因斯坦所说),以及与理论相连的支配事实的自然定律和基础性原理。

科学认识的三个层次:

- **经验层次**:观察和实验获得的事实材料
- **理论层次**:对事实的概念化和系统化解释
- **哲学层次**:对科学理论的反思和世界观建构

从事实到理论的科学发现过程**开普勒行星运动定律的发现:**

- **观察事实**:第谷·布拉赫精确观测行星位置数据
- **数据分析**:开普勒分析火星轨道数据
- **理论建构**:提出椭圆轨道假说,建立三大定律
- **普遍化**:定律适用于所有行星运动

门捷列夫元素周期律的建立:

- **事实收集**:已知元素的原子量和化学性质
- **规律发现**:按原子量排列发现周期性规律
- **理论预测**:预言未知元素的存在和性质

- **实验验证:**镓、钪、锗的发现验证了理论

达尔文进化论的形成:

- **博物学观察:**物种分布、化石记录、人工选择
- **理论综合:**自然选择机制的提出
- **解释力:**统一解释生物多样性和适应性
- **现代发展:**与遗传学结合形成现代综合理论

1.1.4 科学精神与人类文明:价值观念的深层影响

科学精神的文明意义

科学不仅改变了人类的物质生活和认识能力,更深刻地影响了人类的思维方式和价值观念。

科学精神的核心要素:

- **理性主义:**相信理性思维和逻辑推理的力量
- **经验主义:**重视观察、实验和经验证据
- **批判精神:**质疑权威,追求真理,勇于修正错误
- **开放态度:**接受新思想,欢迎不同观点的挑战
- **合作精神:**科学共同体的协作和知识共享

科学对现代文明的深层影响:

- **民主制度:**科学精神促进了理性讨论和民主决策
- **教育理念:**强调批判思维和创新能力的培养
- **法律制度:**证据为本的司法理念
- **社会治理:**基于数据和科学分析的政策制定
- **国际合作:**全球性科学合作促进人类命运共同体建设

科学伦理与责任:科学的巨大力量也带来了相应的责任。科学家和社会都需要思考科学技术的伦理问题,确保科学发展服务于人类福祉。

本节要点

- **科学的实践价值：技术革命与社会变迁：**
 - **历史演进：**从第一次科学革命到第四次工业革命的技术发展历程
 - **生活改善：**在医学、信息技术、环境科学等领域的革命性进步
 - **社会变革：**科学技术应用改变了生产方式、社会结构和生活方式
 - **辩证性质：**科学价值具有双重性，既带来福祉也可能产生负面影响
 - **具体实例：**疫苗技术、互联网革命、清洁能源、人工智能等重大突破
- **科学的认识价值：人类理性精神的最高体现：**
 - **哲学基础：**从亚里士多德到爱因斯坦的认识论传统
 - **独特性质：**系统性、普遍性、精确性、可验证性、预测性
 - **历史见证：**天文学革命、生物学突破、物理学理论建构的认识价值
 - **理性追求：**满足人类理解世界的根本需求和认识乐趣
 - **文明意义：**体现了人类作为理性存在的本质特征
- **科学的本质：从事实到理论的认识飞跃：**
 - **层次结构：**经验层次、理论层次、哲学层次的认识体系
 - **辩证关系：**事实是基础，理论是升华，两者相互依存
 - **解释功能：**科学不满足于事实收集，追求系统化解释
 - **发现过程：**从开普勒定律、元素周期律到进化论的理论建构实例
 - **普遍真理：**通过理论和定律揭示现象间的系统关系
- **科学精神与人类文明：价值观念的深层影响：**
 - **核心要素：**理性主义、经验主义、批判精神、开放态度、合作精神
 - **文明影响：**促进民主制度、教育理念、法律制度、社会治理的现代化
 - **思维方式：**科学精神深刻影响人类的认识方法和价值观念
 - **国际合作：**全球性科学合作促进人类命运共同体建设
 - **伦理责任：**科学发展需要承担相应的社会责任和伦理考量
- **科学价值的现代意义：**
 - 科学是人类文明进步的双重动力：既推动技术发展，又提升认识能力
 - 科学精神成为现代文明的重要组成部分，影响社会制度和文化观念
 - 科学发展需要在追求真理与承担责任之间保持平衡
 - 科学教育应培养批判思维 and 创新能力，传承科学精神

1.2 说明:科学的和非科学的——认识论的根本分野

引言

本节深入探讨**科学说明**与**非科学说明**的本质区别,这一区别构成了现代认识论的根本分野。我们将从逻辑学、认识论、科学哲学等多个角度分析什么构成一个**有效的**说明,深入辨别**科学态度**与**非科学态度**之间的关键差异,并系统理解**科学说明**的**可检验性**、**可证伪性**等核心特征。通过理解**科学说明**必须是可证实的、探索性的、开放的,而非教条主义的、封闭的,我们将能够准确区分**真正的**科学解释与仅凭权威、传统或习俗的**非科学说法**,从而建立科学理性的认识基础。

1.2.1 说明的逻辑结构:从推理到解释的认识转换

说明的逻辑本质

当要对某个事情进行说明(explanation)时,我们需要什么?

说明的定义:一个被寻求的解释(account)就是对世界的某个陈述集合,或某个叙说(story),从该解释中能够逻辑地推导出需要解释的事情。该解释能够对需要解释的有疑问的问题进行消解或者简约。

说明与推理的逻辑关系:说明和推论可以被看成是同一个过程,只是方向相反:

- **演绎推理:**从前提到结论($P \rightarrow Q$)
- **科学说明:**从结论到前提(已知 Q ,寻找 P 使得 $P \rightarrow Q$)

逻辑形式的双重功能:在本书第1章(1.6节)中我们阐述了,当我们要推得 Q 时,“由 P 得 Q ”如何表达一个论证;如果我们所进行的是从一个已经建立的 Q 到能够对之说明的前提的推理,它也可以表达一个说明。

说明的认识论意义:说明不仅是逻辑操作,更是人类理解世界的基本认识活动。通过说明,我们将未知归约为已知,将复杂归约为简单,将特殊归约为普遍。

说明逻辑结构的具体实例

物理学中的说明:

- **待解释现象:**苹果从树上掉下来
- **说明前提:**万有引力定律、地球质量、苹果质量
- **逻辑推导:**从引力定律推导出苹果必然下落
- **说明效果:**特殊现象被普遍定律所解释

生物学中的说明:

- **待解释现象:**长颈鹿的长脖子
- **说明前提:**自然选择理论、环境压力、遗传变异
- **逻辑推导:**从进化理论推导出长颈子的适应优势
- **说明效果:**生物特征被进化机制所解释

心理学中的说明:

- **待解释现象:**学习效果的差异
- **说明前提:**认知负荷理论、工作记忆容量、注意资源分配
- **逻辑推导:**从认知理论推导出学习效果的差异
- **说明效果:**心理现象被认知机制所解释

1.2.2 有效说明的标准:相关性、真实性与普遍性

有效说明的基本要求

自然,每一个好的说明必须满足几个基本标准。

1. 相关性 (Relevance):如果我解释说,我上班迟到是因为在中部非洲发生持续的政治混乱,那么这会被认为什么都没有说明;它是不相关的——因为需要说明的我迟到的事实,不能从中被推论出来。

2. 真实性 (Truth):当然每个真正的说明不仅是相关的而且是真实的。虚假的前提无法提供有效的说明。

3. 普遍性 (Universality):无论我迟到的正确的说明是什么,之所以需要这个说明,是因为在我迟到的这个事件上存在疑问。然而,科学的说明除了相关和真实外,必须超越特定事件,而能够对给定种类的所有事件提供解释。

科学说明的普遍性特征:科学说明的力量在于其普遍适用性。它不仅解释特定现象,更重要的是能够解释同类的所有现象。

牛顿万有引力定律的说明力量

牛顿力学的伟大在于万有引力定律。牛顿写道:

”宇宙中每个质点以一个力吸引另外一个质点。该力正比于质点质量的乘积,反比于它们间距离的平方。”

万有引力定律的说明范围:

- **地面现象:**物体下落、抛物运动
- **天体运动:**行星轨道、月球运动、彗星轨道
- **潮汐现象:**海洋潮汐的周期性变化
- **双星系统:**恒星的相互绕转

普遍性的认识价值:一个定律能够统一解释如此广泛的现象,这体现了科学理论的巨大解释力和预测力。这种普遍性使得科学说明超越了特定事件的描述,达到了对自然规律的深层理解。

数学表达的精确性:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

这个简洁的数学公式包含了对宇宙中所有引力现象的完整描述,体现了科学说明追求精确性和普遍性的特征。

1.2.3 科学说明与非科学说明的根本区别

非科学说明的特征分析

非科学的说明也可以是相关的和普遍的,但它们缺乏科学说明的核心特征。

非科学说明的典型例子:

- **机械故障的神秘解释:**用神秘的小鬼动了手脚,来解释引擎不能启动
- **疾病的超自然解释:**疾病可以解释成邪恶的精灵侵入人体所引起的
- **天体运动的拟人化解释:**在长达数个世纪的时间里,人们一直用在行星上生活并控制它们运动的“智慧生物”来解释行星的规则运动

非科学说明的共同特征:

- **不可检验性:**无法通过经验观察或实验来验证或证伪
- **特异性:**为了解释特定现象而临时构造,缺乏独立的证据支持
- **封闭性:**不接受批评和修正,拒绝与其他理论对话
- **模糊性:**概念定义不清,缺乏精确的预测能力

历史上的非科学说明:这些非科学说明在历史上曾经广泛存在,反映了人类在科学方法建立之前对世界的理解方式。它们虽然满足了人类解释世界的心理需求,但无法提供可靠的知识基础。

但是我们对真正科学的说明感兴趣。科学的说明与非科学的说明在两个相互关联的方面相区别:

科学态度与非科学态度的根本区别

第一个区别:认识态度的差异

非科学态度的特征:接受非科学说明的人是教条的,解释被认为是绝对真的,是不能改进的。亚里士多德的观点在几个世纪里被非科学地接受成对事实的最终权威。尽管亚里士多德本人是谦虚的,但是一些中世纪的学者却以僵化的、非科学的态度对待他的观点。^{crombie1960}

科学态度的特征:相反,真正科学的态度则与之十分不同。每个提出的说明都是探索性的或暂时的。科学说明被认为是假说——它们在现有证据下具有不同的可靠程度。

态度差异的深层含义:

- **开放性 vs 封闭性:**科学态度对新证据开放,非科学态度拒绝质疑
- **可错性 vs 绝对性:**科学承认理论的可错性,非科学声称绝对真理
- **进步性 vs 静态性:**科学追求不断改进,非科学维持现状
- **批判性 vs 权威性:**科学鼓励批判思维,非科学依赖权威

证据基础:科学与非科学的根本分野

第二个区别:证据基础的差异

科学说明和非科学说明之间的第二个同时也是最根本的区别是,接受或拒绝某个观点所基于的基础。

非科学说明的证据基础:一个非科学的说明被简单地认为是真的,因为“每个人知道”它如此。一个非科学信念之被坚持,不依赖于有利于它的证据之上。

科学说明的证据基础:但是在科学中,一个假说仅仅在存在支持它的证据的条件下才值得接受,人们总是对它的真或假保持怀疑,寻找证据的过程永不停止。

科学的经验性质:科学是经验的——真理的检验在于经验之中,因而科学说明的本质是,它是可检验的。

证据标准的对比:

- **科学标准:**经验证据、逻辑一致性、可重复性、可预测性
- **非科学标准:**权威、传统、直觉、信仰、“常识”
- **检验方式:**科学通过实验和观察检验,非科学拒绝检验
- **修正机制:**科学有自我修正机制,非科学缺乏修正能力

1.2.4 可检验性:科学说明的核心特征

直接检验与间接检验

真理的检验可以是直接的也可以是间接的。

直接检验:为了弄清外面是否下雨,我只要看一下外面。这种检验直接、简单、确定。

间接检验的必要性:但是用做说明的假说是普遍性命题,它们不能是直接可检验的。科学理论通常涉及不可直接观察的实体或过程,因此需要间接检验。

间接检验的逻辑结构:如果我对上班迟到的解释是交通事故,我的老板如果对之怀疑,他能够借助于警察的事故报告而间接地检验我的解释。

一个间接的检验从待检验的命题(如我遭遇到一次交通事故)演绎出其他某个能够被直接检验的命题(如我提交了一个事故报告)。

间接检验的逻辑后果:

- 如果那个演绎出来的命题是错的,包含这个命题的说明必定是错的
- 如果演绎出来的命题是真的,它提供了某个证据证明这个说明是真的、已经被间接证实
- 但是这个证据不是结论性的

间接检验的局限性与复杂性

间接检验永远不会是确定的。它总是依赖于某些辅助的前提。

辅助前提的依赖性:比如这样的前提:我对我的老板描述的该起事故与警察记载的一样。但是警察部门应当对我所涉案的事故的记录进行备案,但可能还没有备案;缺乏该记录并不证明我的说明是假的。

证据的非结论性:并且,某个附加前提即使是真的,它并不给说明赋予确定性——尽管演绎出的结论(本例中事故报告的真实性)得到成功检验确实加固了它的前提。

杜恒-奎因论题:这种复杂性反映了科学哲学中著名的杜恒-奎因论题:我们无法孤立地检验单个假说,而总是在检验一个假说网络。这意味着:

- 检验结果的解释具有多义性

- 理论的修正可能涉及多个层面
- 科学知识具有整体性特征
- 确定性在科学中是相对的而非绝对的

可证实性:科学说明的本质特征

即使一个非科学的说明也有某个它喜爱的证据,即用它来解释的那个事实。

非科学说明的证据局限:行星上居住着“智慧生物”,他们使行星沿着我们观察到的轨道运动,这个非科学理论能够称这个事实——行星确实在它们的轨道上运动——为证据。

科学与非科学说明的根本差别:但是,在该假说和关于行星运动的可靠的天文学说明之间存在巨大的差别:

- **非科学假说:**不能够从中演绎出其他的可直接检验的命题
- **科学说明:**能够演绎出可直接检验的命题,而不是陈述待解释事实的命题

经验可证实性的含义:这就是当我们说一个说明是经验可证实的时所要表达的意思。这样的可证实性是科学说明最本质的特征。^{popper1935}

可证实性的深层意义:

- **预测能力:**科学理论能够预测新的、未观察到的现象
- **风险承担:**科学理论敢于做出可能被证伪的预测
- **内容丰富:**可检验的预测越多,理论的经验内容越丰富
- **进步机制:**通过检验和修正实现科学进步

科学说明可证实性的历史实例

爱因斯坦相对论的预测与验证:

- **理论预测:**光线在强引力场中会发生弯曲
- **检验方法:**1919年日食观测
- **验证结果:**观测结果与理论预测精确吻合
- **科学意义:**确立了广义相对论的科学地位

门捷列夫元素周期律的预测:

- **理论预测:**预言了镓、钪、锗等未知元素的存在和性质
- **检验方法:**化学实验和元素发现
- **验证结果:**预言的元素相继被发现,性质与预测高度一致
- **科学意义:**证明了周期律的科学价值

达尔文进化论的预测:

- **理论预测:**应该存在连接不同物种的过渡化石
- **检验方法:**古生物学研究和化石发现
- **验证结果:**大量过渡化石的发现支持了进化理论

- **科学意义:**为进化论提供了强有力的证据支持

本节要点

- **说明的逻辑结构:从推理到解释的认识转换:**
 - **说明的本质:**从中能逻辑推导出待解释现象的陈述集合
 - **逻辑关系:**说明与推论是相反方向的逻辑过程(演绎推理: $P \rightarrow Q$;科学说明:已知 Q ,寻找 P)
 - **认识意义:**通过说明将未知归约为已知,将复杂归约为简单,将特殊归约为普遍
 - **跨学科应用:**物理学、生物学、心理学等各领域的说明实例
- **有效说明的标准:相关性、真实性与普遍性:**
 - **相关性要求:**说明前提必须能够逻辑地推导出待解释现象
 - **真实性要求:**说明的前提必须是真实的,虚假前提无法提供有效说明
 - **普遍性特征:**科学说明超越特定事件,能对同类事件提供普遍解释
 - **牛顿万有引力定律:**统一解释地面现象、天体运动、潮汐等广泛现象的典型例子
- **科学说明与非科学说明的根本区别:**
 - **非科学说明特征:**不可检验性、特设性、封闭性、模糊性
 - **历史实例:**神秘小鬼、邪恶精灵、行星智慧生物等非科学解释
 - **认识态度差异:**科学态度的开放性 vs 非科学态度的教条性
 - **证据基础差异:**科学依赖经验证据,非科学依赖权威传统
- **科学态度与非科学态度的深层对比:**
 - **开放性 vs 封闭性:**科学对新证据开放,非科学拒绝质疑
 - **可错性 vs 绝对性:**科学承认理论可错性,非科学声称绝对真理
 - **进步性 vs 静态性:**科学追求不断改进,非科学维持现状
 - **批判性 vs 权威性:**科学鼓励批判思维,非科学依赖权威
- **可检验性:科学说明的核心特征:**
 - **直接 vs 间接检验:**科学理论通常需要间接检验,涉及辅助前提和假说网络
 - **杜恒-奎因论题:**无法孤立检验单个假说,科学知识具有整体性特征
 - **可证实性的深层意义:**预测能力、风险承担、内容丰富、进步机制
 - **历史验证实例:**相对论光线弯曲预测、元素周期律预言、进化论化石预测
- **认识论的根本分野:**
 - 科学说明与非科学说明的区别构成现代认识论的根本分野
 - 可检验性是科学说明最本质的特征,决定了科学知识的可靠性
 - 科学方法为人类认识世界提供了最可靠的途径
 - 理解这一区别对建立科学理性的认识基础具有重要意义

1.3 对科学说明的评价:理论选择的哲学基础

引言

本节深入探讨如何评价相互竞争的**科学说明**,这一问题构成了科学哲学的核心议题。我们将从认识论、方法论和科学史等多个角度分析科学家用于判断假说优劣的三个关键标准:与已有**理论**的协调性、**预测力**或**说明力**,以及**简单性**。通过深入理解这些评价标准的哲学基础、历史演变和实际应用,我们将能够全面认识**科学知识**是如何在**理论**竞争中发展的,科学进步的内在逻辑是什么,以及如何在相互矛盾的科学解释之间做出**合理选择**。这种理解对于把握科学理性的本质和科学方法的有效性具有重要意义。

1.3.1 理论竞争的认识论背景:科学进步的动力机制

理论竞争的普遍性与必然性

对同样的现象,人们往往会提出不同的、相互不协调的科学说明以对之进行解释。

日常生活中的理论竞争:我的同事动作生硬,可以解释成她生气了,也可以解释成她害羞。在刑事调查中,对犯罪的认定有两个相互不协调的假说,都对犯罪事实有很好的解释。但是当两个假说不能都真的时候,我们将如何在其中做出选择?

科学中的理论选择问题:这里,我们在做的是评价相互竞争的科学说明。我们假定两个(或所有的)假说都是相关的并且是可检验的。我们应当采用什么标准以便从手边的理论中选择出最好的理论?

发现与证实的区别:我们不能指望存在这样的规则,它们引导我们发现假说;发现假说是科学事业的创造方面,它体现了天才和想象力,在某些方面类似于艺术工作。尽管不存在发现新假说的公式,但存在比相关性和可检验性更进一步的标准,我们可以用这些标准对可接受的假说进行确证(conform)。

理论竞争的认识论意义:

- **知识增长的机制:**理论竞争是科学知识增长的重要机制
- **理性选择的基础:**为科学理性提供了客观的选择标准
- **真理逼近的过程:**通过理论竞争逐步逼近真理
- **科学进步的动力:**推动科学不断向前发展

科学史上的重大理论竞争

天体运动理论的竞争:

- **托勒密地心说:**地球为宇宙中心,行星在本轮上运动
- **哥白尼日心说:**太阳为中心,地球和行星绕太阳运动
- **第谷体系:**地球静止,太阳绕地球,行星绕太阳
- **开普勒椭圆轨道:**行星沿椭圆轨道绕太阳运动

光的本性理论竞争:

- **牛顿微粒说:**光是由微小粒子组成的

- **惠更斯波动说**:光是一种波动现象
- **麦克斯韦电磁说**:光是电磁波
- **爱因斯坦光量子说**:光具有波粒二象性

生物进化理论竞争:

- **拉马克获得性遗传**:后天获得的性状可以遗传
- **达尔文自然选择**:通过自然选择实现进化
- **现代综合理论**:结合遗传学的进化理论
- **中性进化理论**:分子水平的中性突变和随机漂变

1.3.2 理论评价的三大标准:科学理性的操作化

人们在评判竞争的科学假说的优缺点时普遍地使用三个标准:

标准一:与原有已确立假说的协调性

协调性标准的理论基础

科学的目标是获得一个说明性的假说系统。当然,这样的系统必须是自我相容的,因为没有有一个自相矛盾的命题集合能够是真的。

渐进式科学进步:进步之得出是通过渐渐发展假说以理解越来越多的事实,这样的进步要求每个新假说应与已经得到证实的那些假说相一致。

海王星发现的经典案例:例如,在天王星轨道外面存在另外一个未知的行星的假说,与天文学理论的主要部分吻合完美,它导致海王星的发现(1846年)。^{kuhn1957} 科学中的进步是有序的,这要求任何新的理论与以前的理论相一致。

协调性的认识论价值:

- **知识的累积性**:确保科学知识的累积性增长
- **理论的一致性**:维护科学理论体系的逻辑一致性
- **预测的可靠性**:基于一致的理论体系进行可靠预测
- **解释的统一性**:实现对自然现象的统一解释

科学革命与理论替代的复杂性

科学的理想是通过一个又一个新理论的增加而使知识发生渐渐地增长,但是科学进步的实际历史不总是遵循这种有序的方式。

革命性理论变革:有时重要的新假说与已有理论不相容,它直接替代了已有理论,而不是努力与旧理论相一致。

相对论革命:爱因斯坦的相对论就是这种假说,它突破了旧的牛顿理论中的许多原有概念。

放射性发现的冲击:19世纪后期放射性物质的发现推翻了物质守恒原则。物质守恒原则断定,物质既不能被创造也不能被消灭。镭原子发生自发衰变的假说直接与这旧的、已被接受的原则不相容,最终

这个旧的原则不得被抛弃。

理论替代的特征：

- **非连续性：**科学进步有时表现为非连续的跳跃
- **概念革命：**涉及基本概念和世界观的根本改变
- **范式转换：**从一个理论框架转向另一个理论框架
- **解释力提升：**新理论必须具有更强的解释力

理论继承与发展的辩证关系

科学中旧理论被抛弃,较新的和较好的理论被接受,这个过程不是很快或者无抵抗的。

理论的继承性：事实上,旧理论不是被认为一无是处地被抛弃。爱因斯坦自己总是坚持,他自己的工作是对牛顿工作的一个修正,而非抛弃。

概念的扩展：物质守恒原则被修正成更为广泛的质能守恒原则。

理论替代的条件：一个理论之被建立,因它显示出能够解释大量的数据或已知事实的能力。它不能被某些新假说所废弃,除非新假说对同样的事实能够进行解释甚至更好。

对应原理：新理论必须能够在适当的条件下还原为旧理论,这确保了科学知识的连续性和累积性。例如：

- 相对论在低速情况下还原为牛顿力学
- 量子力学在宏观尺度下还原为经典力学
- 质能守恒在普通化学反应中表现为质量守恒

因此,科学通过采用更为广泛因而更为相关的说明而得以进步。通过

说明,世界将它展现在我们的经验面前。这种进步不会是反复无常的。当不相容产生的时候,一个假说的年岁较长不能自动证明它是正确的,但是这个假定(年岁较长)有利于旧假说——如果旧假说已经得到广泛的确定。如果与它发生冲突的新假说同样获得广泛的确定,考虑假说的年岁或提出的先后是不合适的。当两个假说发生冲突的时候,为了在它们间做出选择,我们必须求助于可观察的事实。上诉的最终法庭是经验。

这个标准——与先前良好建立的假说相协调——所要达到的最终结果是,任何时候所接受的假说全体必须是相互融贯的。^{blanshard1939} 在其他情况一样的条件下,与已接受的科学理论吻合得较好的假说应当被偏爱。与"其他情况一样"有关的问题将我们带到第二个标准。

1.3.3 预测力或说明力

正如我们已经看到的,每个科学假说必须是可检验的;如果某个可观察的事实能够从中演绎出来,它就是可检验的。当我面临两个可检验的假说,其中一个比另外一个演绎出更大范围的事实,我们说该假说具有较大的预测力或解释力。

举例来说明。伽利略(1564—1642)建立了落体定律公式,该定律对靠近地球表面的物体的行为给出了一个十分普遍的解释。差不多同时,德国天文学家乔哈恩斯·开普勒,用丹麦的第谷·布拉赫收集的天文数据建立了行星运动定律,该定律描述了行星绕日运行的椭圆轨道。这些科学家将各自研究领域里(伽利略——陆地上的力学,开普勒——天体力学)的不同现象统一起来。这些发现自然是辉煌的成就,但是它们是各

自分离的。艾萨克·牛顿提出了三大运动定律和万有引力理论,将这些分离理论统一了起来并给了解释。牛顿万有引力解释了所有伽利略和开普勒解释的结果,以及除此之外更多的事实。从一个给定假说中演绎出一个可观察的事实,我们说该事实被该假说所说明,并且我们也能够说该事实被该假说所预测。牛顿理论具有巨大的预测力。一个假说预测力越大,它解释得越多,并且它对我们理解它所涉及的现象的贡献越大。^{braithwaite1960}

这第二个标准具有否定作用。如果一个假说与某个得到证实的观察不一致,该假说便是错的,必须被拒绝。当两个不同假说都能完全解释某个事实集合,都是可预测的,并且都与已经构建的整个科学理论相协调,此时,在它们之间做出选择是可能的:从它们推出可检验的但相互不协调的命题。为了在冲突的理论中做出选择,可以建立一个判决性实验。根据第

一个假说,在确定条件下一个给定结果将发生;而根据第二个假说,在那些同样的条件下给定结果将不发生,我们可以通过观察该结果发生还是不发生,而在两个假说中做出选择:它的发生否证了第二个假说,它的不发生则否证了第一个假说。

对两种相竞争的假说进行判决的这种判决性实验也许不容易实现。原因在于,制造那些关键性事件是困难的或者不可能的。牛顿理论和爱因斯坦广义相对论之间的决策不得不等到日全食的发生——这是一个明显超出我们自己能够创立的事件。^{eddington1919} 在其他情况,判决性实验可能要等到新工具的发明:这些新工具或者是为了创造所需的条件,或者是为了对已经做出预测的现象进行观察或测量。因此,竞争的天文假说的支持者有时必须等待时机,等待建造出新的、威力更强大的望远镜。对于判决性实验,在 13.6 节中我们将进一步讨论。

1.3.4 简单性

两个竞争性假说可能是相关的和可检验的,可能与已有理论吻合得同样好,甚至可能具有大致相当的预测力。在这样的条件下,我们可能支持两个中比较简单的那个。关于天体运动的托勒密理论(地球中心)和哥白尼理论(太阳中心)之间的冲突就是如此。两者都与早先的理论吻合良好,它们都同等程度地预测天体运动。两个假说都依赖于一个笨拙的(自然是错误的)工具——假想的本轮(较小的圆在较大圆上运动),以解释已做出的天文观察。但是哥白尼系统依赖这样的本轮更少,因而它更简单,这个较大的简单性是后来的天文学家接受该理论的主要原因。^{kuhn1957b}

简单性似乎是一个可以求助的"自然"标准。在日常生活中我们同样趋向于接受符合所有事实的最简单的理论。在刑事法庭上对一犯罪行为会提出两种观点,最终在该案子上更简单、更自然的观点可能被支持(或应当被支持)。

但是"简单性"是一个不好捉摸的观念;只有在非常少量的情况下,如在托勒密和哥白尼的冲突中,我们根据较少的实体数的要求选择比较简单的理论。在两个竞争的理论中可能是,在不同的方面一个比另外一个简单。一些人可能依赖于比较少的实体数量,而其他人可能基于较简单的数学方程。甚至"自然"(naturalness)可能是欺骗人的。许多人会更"自然"地相信,明显不运动的地球事实上是不动的,而明显运动着的太阳确实环绕我们在运行。简单性是一个重要的标准,有时甚至是决定性的。但

是它是难以公式化,并且不总是易于应用的。

本节要点**• 理论竞争的认识论背景：**

- **理论竞争的普遍性**: 同一现象常有多种相互竞争的科学解释
- **发现与证实的区别**: 发现假说依赖创造力, 评价假说需要严格标准
- **认识论意义**: 理论竞争是知识增长机制、理性选择基础、真理逼近过程
- **历史实例**: 天体运动、光的本性、生物进化等重大理论竞争

• 标准一: 与原有已确立假说的协调性：

- **理论基础**: 科学追求自治的假说系统, 确保知识累积性增长
- **渐进式进步**: 新假说应与已证实理论相一致, 如海王星发现案例
- **科学革命的复杂性**: 重大理论变革涉及概念革命和范式转换
- **理论继承的辩证关系**: 新理论通过对应原理保持与旧理论的连续性
- **经验的最终裁决**: 理论冲突时必须求助于可观察事实

• 标准二: 预测力或说明力：

- **预测力的定义**: 能从假说演绎出更广泛事实的理论具有更大预测力
- **牛顿理论的统一**: 统一并解释了伽利略和开普勒的分离理论
- **否定作用**: 若理论与观察不符, 必须被拒绝
- **判决性实验**: 可以在竞争理论间做出选择的关键实验
- **实验的挑战**: 判决性实验可能需要等待特殊条件或新技术

• 标准三: 简单性原则：

- **简单性的价值**: 在其他条件相同时, 应选择更简单的理论
- **历史案例**: 哥白尼日心说比托勒密地心说更简单
- **概念的复杂性**: 简单性标准难以精确定义, 不同理论可能在不同方面简单
- **应用的挑战**: 简单性是重要标准, 但难以公式化且应用存在困难
- **自然性的欺骗**: 直觉上的“自然”可能是误导性的

• 理论选择的哲学意义：

- 三大标准构成了科学理性的操作化体现
- 理论评价是科学方法的核心组成部分
- 标准的应用需要科学共同体的集体判断
- 理论选择体现了科学进步的内在逻辑

1.4 科学研究的七个阶段:系统化探索的方法论框架

引言

本节深入描述**科学研究**过程的七个关键阶段,这一框架构成了现代科学方法论的核心。我们将从认识论、方法论和科学史等多个角度分析从确定问题到应用**理论**的完整**科学研究**流程,深入理解科学家如何通过系统化、规范化的方法从初始观察发展到成熟**理论**,以及这一过程如何体现了科学理性的本质特征。通过全面了解这一过程的逻辑结构、认识价值和实践意义,我们将认识到**科学**不仅是一种知识体系,更是一种**严谨的**、可重复的探索方法,是人类认识世界最可靠的途径。

科学研究方法论的理论基础

科学研究的七个阶段框架体现了现代科学方法论的系统化特征。

历史发展脉络:

- **培根的归纳法**:强调从观察到理论的系统归纳
- **笛卡尔的演绎法**:重视从基本原理出发的逻辑推演
- **牛顿的综合方法**:结合归纳和演绎的科学方法
- **现代假说-演绎法**:以假说为核心的科学研究模式

方法论特征:

- **系统性**:各阶段相互关联,形成完整的认识循环
- **可重复性**:方法可以被其他研究者重复应用
- **自我修正性**:通过检验和反馈不断完善理论
- **开放性**:接受新证据和理论修正

认识论意义:这一框架体现了科学认识的基本规律,是人类理性认识世界的最有效途径。

1.4.1 第一阶段:确定问题——科学探索的起点

问题确定的认识论分析

科学研究开始于某个问题。一个问题可以表示成一个或一组没有可接受的说明的事实。

问题的本质特征:

- **认识缺口**:现有知识无法解释的现象
- **理论冲突**:不同理论预测的矛盾
- **异常现象**:不符合预期的观察结果
- **实践需求**:现实问题需要科学解决方案

问题发现的方式:例如,侦探面临一个案子,他的问题是如何将之侦破,即确定犯罪人并给予证明。在某些情况下,如在柯南·道尔关于伟大的夏洛克·福尔摩斯的故事中,问题产生于尚未发生犯罪的特定事件或环境之中。

科学家的研究可能开始于十分明确的问题;然而,更为普遍的是,他们是渐渐地发现了不相容或奇怪之处,这些不相容或奇怪之处演化成一个特定问题。

问题的重要性: 如果不存在可思考的事情,甚至夏洛克·福尔摩斯或者爱因斯坦也不能从事深刻的思考。一个天才必须面对一个问题。

杜威的问题解决理论: 正如约翰·杜威和许多其他现代哲学家正确认为的那样,反思性的思考——从犯罪侦查到物理学、数学的抽象思考这个范围广泛的活动——是解决问题的(problem-solving)活动。

问题确定的必要性: 科学家开始工作之前,问题必须被确定,或者至少以模糊的形式被确定。

科学史上的重大问题确定实例

物理学领域:

- **黑体辐射问题:** 经典物理学无法解释黑体辐射谱,导致量子力学的诞生
- **水星近日点进动:** 牛顿力学无法完全解释,促成广义相对论
- **以太漂移实验:** 迈克尔逊-莫雷实验的零结果引发相对论革命

生物学领域:

- **物种起源问题:** 生物多样性和适应性的解释需求
- **遗传机制问题:** 性状遗传的物质基础探索
- **DNA 结构问题:** 遗传信息存储和传递的分子机制

医学领域:

- **传染病病因:** 细菌理论的建立过程
- **抗生素耐药性:** 新的治疗策略需求
- **癌症机制:** 细胞恶性转化的分子基础

1.4.2 第二阶段:形成初始假说——理论建构的起点

初始假说的认识论功能

对手边的问题的哪怕最初思考都要求某个初步理论。

假说的指导作用: 最初的尝试不可能产生最后的答案,但是需要某个理论以便能够知道,需要收集何种类的证据,到哪里寻找它们,以及如何寻找它们。

事实与理论的关系: 侦探考察犯罪现场,询问嫌疑人,并寻找线索,但是赤裸裸的事实不是线索。只有当线索能够被安排进某个融贯的模式,哪怕是粗糙的和临时的模式之中时,它们才有意义。

科学研究中的假说功能: 科学家与此相同,他们用某个初始假说开始收集证据。这个假说是关于待寻求的说明的本质的。

知识的累积性: 科学家必须依赖于某些以前的知识,科学不会从绝对无知中开始。事实上,如果被说明的事实出现真正的问题,必定存在某些先验的信念。

选择性注意的必要性: 对于任何一个严肃的问题,世界上存在太多的相关的事实、太多的数据、以至于人们不能将它们全部收集起来。一些事实将被注意并被观察,另外的事实则没有。

假说的筛选功能:最耐心和最全面的研究者必须选择:被发现的事实中哪些要研究,哪些要放弃。这需要某个假说来工作:为了这个假说或者根据这个假说而收集相关的证据。

初始假说的特征:该假说不必是完善的理论——但是在它那里至少显示出理论的轮廓。否则的话,研究者不能确定从整个事实全体中挑选出何种事实来。一个临时的初始假说不管是如何的不完善,任何严格的探究开始的时候它都是必需的。

1.4.3 第三阶段:收集额外事实——假说与证据的互动循环

证据收集的系统性特征

一般来说,最初令人迷惑不解的事实似乎太多了,以至于不能提出一个对它们非常满意的说明;如果情况不是这样的话,这些事实不可能表现出问题来。

专业知识的重要性:但是,特别的,对那些熟悉普遍种类(如天体现象、社会现象或历史现象)的事实或事件的科学家而言,原初的问题会激发出一个初始假说,该假说引导他们寻找额外的相关事实。

证据的指导功能:这个额外证据可以起到引导作用,引导我们得出较完全和较接近的合适答案。

科学工作的现实性:收集证据的任务,既艰辛又耗时,经常是失望和沮丧。好的科学意味着艰巨的工作。这个费力的收集过程是许多科学工作的主要内容。

证据收集的特征:

- **目标导向性:**由假说指导的有针对性收集
- **系统性:**按照科学方法进行规范化收集
- **持续性:**需要长期坚持和反复验证
- **批判性:**对证据质量进行严格评估

假说与证据收集的动态关系

在实际的科学活动中,步骤2和步骤3自然不是完全分离的。它们紧密相连、相互依赖。

循环互动过程:在开始收集证据时,某个初始假说是必需的;使用该假说来收集证据的过程,也是调整和精练假说本身的过程,这又引导我们进一步地寻找……也许导致新的发现……它又使我们更加精练假说,等等。

动态关系的特征:

- **相互修正:**证据修正假说,假说指导证据收集
- **螺旋上升:**在循环中逐步提高认识水平
- **开放性:**随时准备接受新证据和修正理论
- **创新性:**在互动中可能产生意外发现

认识论意义:这种动态关系体现了科学认识的辩证性质,既不是纯粹的归纳,也不是纯粹的演绎,而是两者的有机结合。

1.4.4 4. 进行预测

在任何成功的研究中迟早会达到这样一点,研究者(科学家、侦探,甚至普通人)将最终相信,解决原初问题所需要的所有事实都已经获得。一个难题,更可能的是一组难题,摆在他或她的面前,其任务是将它们组装成一个可以理解的整体。这样思考的终结产品——如果成功的话,是这样的假说:它将解释所有数据、产生问题的原有事实集,以及初始假说所涉及的额外事实。

不存在实现某个完善理论的机械方法。对真正说明性的假说的实际发

现或发明是一个创造性的过程,在这个过程中需要想象,也需要知识。某些研究者,如夏洛克·福尔摩斯和阿尔伯特·爱因斯坦,在对存在的现象进行说明的"逆向推理"的过程中展示了其才能。但是每一个成功的科学家必须完成智力整合这个挑战性的任务:对激发研究兴趣的成问题事实进行解释,以构造和形成最终假说。^{peirce1958}

1.4.5 5. 进行实验

我们已经看到预测力是评价说明的标准之一。一个真正富于成果的假说将不仅说明激发假说形成的原初事实,而且解释许多其他的事实。好的假说超越初始的事实,它涉及新的和不同的事实——这些事实较早没有被怀疑。假说所引出的这些事实被证实,使得假说得以确证——当然不能给予确定性的证明。

被称做"大爆炸的"宇宙学理论可以看做对这样的预测进行阐述的例子。这个理论认为,如果目前的宇宙开始于一个大爆炸事件,最初的火球应是平稳的和均匀的,而没有任何结构。与此对照的是,目前的宇宙具有大量的结构,是多块状的;可见物质组成星系、星系群,等等。这样的结构对生命的起源和演化是基本的。但是该结构是何时产生并如何产生的?通过观察膨胀的宇宙中那些遥远的天体,天文学家能够"回顾过去"。通过这样的观察,他们最终必定能够找到目前结构的原初证据。如果如此早的证据不能通过最敏感的仪器来探测到,大爆炸理论将是不可辩护的。如果这样的结果被探测到,大爆炸理论得到确证,尽管不是被证明。

1.4.6 对结果进行检验

在生物学领域里我们可以提出这个假说:在哺乳动物中蛋白质之产生是为了对抗特定的酶,而这种酶是在一个特定基因引导下产生的。从该假说中我们可以推论出进一步的结论:缺少该基因的地方,该蛋白质将不出现或者蛋白质数量不足。

为了检验该生物学假说是否正确,我们构造某个特定基因的作用能够被测定的实验。经常的做法是,将去除特定基因的老鼠进行繁殖——被称为"基因剔除老鼠"。如果在这样的老鼠中被研究的酶以及与之有关的蛋白质发生缺失,我们的假说将得到证实。^{capecchi1994}在医学中许多有价值的信息正是以这种方法获得的。这种实验是广泛的生物学研究中典型的实验。我们设计实验,以弄清我们认为是对的东西,在如此这般的条件得到满足的情况下,是否确实是真的。为此,我们必须构造这样或那样的特定的条件。

"一个实验",正如伟大的物理学家马克斯·普朗克说,"是科学给自然提出的一个问题,而测量是对自然回答的记录。"

对某些预测的结果,如同夏洛克·福尔摩斯的许多预测的结果,其检验可能是直接的。银行窃贼将打破拱顶而入?福尔摩斯和华生等待他们,并且他们确实来了。^{doyle1927}医生将避开从假的通风口进来的毒蛇吗?福尔摩斯和华生从躲藏的地方观看,发现医生避开了。^{doyle1927b}那些说明性的理论直接地被检验,并牢固地得到了证实。

当然,许多科学理论不能被简单的观察所检验。早期宇宙的结构不可能被直接观察到。但是,如果存在某个早期的结构,如大爆炸理论预测的那样,那么,由于目前的背景辐射根源于早期,在它之中将必定存在不规则、不均匀。在原则上测量背景中的微波辐射是可能的,因而我们能够以这种方式间接地确定在大爆炸之后十分短暂的时刻是否存在这样的不规则性。几年后,一个卫星被设计来探测这些不规则性——如果它们存在的话。该卫星(宇宙背景探测者 COBE)的观察对大爆炸理论是至关重要的。如果最终没有探测到长期寻找的宇宙中早期结构的证据,膨胀宇宙的大爆炸解释将遭受严重的质疑。然而,1992年春天,预测到的不规则性被 COBE 探测到并被测量出来。这些不规则性来自于最遥远的过去,一直存在到宇宙学家回顾它们的今天。这个成功检验尽管不能证明该理论是正确的,但的确给人印象深刻地确证了大爆炸理论。

1.4.7 应用该理论

通过科学,我们的目的是说明我们观察到的现象,但是我们另一个目的是控制这些现象,为我们所用。牛顿和爱因斯坦的抽象理论在太阳系的现代探索中发挥中心作用。举一个不同种类的例子,假定我们面临的问题是某个疾病,发明的说明性假说是某个特定细菌引起该疾病。假定通过给老鼠或啮齿动物注射该病菌,对该理论进行检验,并假定在进行实验的动物中产生了该种同样的疾病,这些检验给说明性假说以强的支持。我们当然试图在临床医学中使用该理论。做法是,通过消灭患有该病的病人身上的细菌而将病治愈——先在实验人群中进行,然后再按照常规来进行。正是按照这种方法,我们学会了如何与许多可怕的人类疾病进行战斗,在一些情况下甚至完全消灭这些疾病。通过科学,我们试图理解世界;同样通过科学,我们使用一些手段,对世界给予我们的危险进行控制。

1.5 科学研究的七个阶段

1. 确定问题
2. 选择初始假说
3. 收集额外事实
4. 形成说明性假说
5. 推导进一步结果
6. 检验结果
7. 应用理论

本节要点

- **科学研究方法论的理论基础：**
 - **历史发展：**从培根归纳法、笛卡尔演绎法到现代假说-演绎法的演进
 - **方法论特征：**系统性、可重复性、自我修正性、开放性
 - **认识论意义：**体现科学认识的基本规律，是人类理性认识世界的最有效途径
 - **框架价值：**七个阶段构成现代科学方法论的核心
- **第一阶段：确定问题——科学探索的起点：**
 - **问题本质：**认识缺口、理论冲突、异常现象、实践需求
 - **问题重要性：**天才必须面对问题，反思性思考是问题解决活动
 - **杜威理论：**从犯罪侦查到物理学的广泛问题解决活动
 - **历史实例：**黑体辐射、水星进动、物种起源、传染病病因等重大科学问题
- **第二阶段：形成初始假说——理论建构的起点：**
 - **指导作用：**确定收集何种证据、到哪里寻找、如何寻找
 - **事实与理论关系：**赤裸裸的事实不是线索，需要融贯的模式
 - **知识累积性：**科学不从绝对无知开始，依赖先验信念
 - **筛选功能：**从无限事实中选择相关数据，显示理论轮廓
- **第三阶段：收集额外事实——假说与证据的互动循环：**
 - **系统性特征：**目标导向性、系统性、持续性、批判性
 - **专业知识重要性：**熟悉相关领域的科学家更能有效收集证据
 - **动态关系：**假说与证据收集相互修正、螺旋上升、开放创新
 - **认识论意义：**体现科学认识的辩证性质，归纳与演绎的有机结合
- **后续阶段的系统性：**
 - **形成说明性假说：**创造性的智力整合过程，需要想象和知识
 - **进行预测和实验：**检验假说的预测力，通过实验验证理论
 - **检验结果：**直接或间接检验，如 COBE 卫星验证大爆炸理论
 - **应用理论：**理解世界并控制现象，服务于人类实践需求
- **七个阶段的整体特征：**
 - 各阶段相互关联，形成完整的科学认识循环
 - 实际研究中各阶段交错进行，体现科学方法的灵活性
 - 体现了科学作为系统化、可重复探索方法的本质特征
 - 是人类认识世界最可靠途径的方法论体现

1.6 实际工作中的科学家:科学研究的模式——DNA 双螺旋发现的案例分析

引言

本节通过 DNA 双螺旋结构发现这一 20 世纪最重要的科学突破,深入展示**科学研究**的七个阶段如何在真实科学探索中体现。我们将从科学史、认识论和方法论等多个角度分析这一著名科学发现的完整过程,深入理解科学家如何从初始问题出发,通过**假说**形成、证据收集、理论建构、实验验证最终达成重大突破。通过这一经典案例研究,我们将全面认识**科学研究**的理论模式如何在实践中应用,**创造性思维**与**系统方法**如何共同推动科学进步,以及科学发现的社会性、竞争性和合作性特征。

1.6.1 科学研究模式的实践价值与案例选择

科学研究模式的实践价值

通过上面概述的七个阶段,我们可以更好地理解科学研究的一般过程。但是,这样一个模式的价值不在于抽象的描述,而在于它指出了所有成功的科学研究所共有的特征。

理论与实践的关系:将这一模式与成功的科学研究进行对照,能很好地说明这一点。理论模式为我们提供了分析和理解科学发现过程的框架,而实际案例则验证了这一模式的有效性。

科学方法的普遍性:渗透所有科学探究的模式可以表述成前面一节中给予解释的七个步骤。当然不是说只有科学家在使用科学方法;任何人只要遵循从可观察的事实和证据,推论出可通过经验检验的结论这样的一般的推理模式,都可以说成是科学地工作。

科学思维的广泛应用:训练有素的侦探是这种意义上的科学家,我们中的大多数人有时也是如此。这表明科学方法不仅是专业科学家的工具,更是人类理性思维的基本模式。

案例选择的意义:现在我们考察一个遵循这个合理探究模式的例子。我们跟随当代科学家,看一看他们最近是如何对脱氧核糖核酸即 DNA 结构进行破解的。^{watson1968}

DNA 发现的重要性:

- **科学意义:**解开了生命遗传的分子基础
- **方法论价值:**完美体现了科学研究的七个阶段
- **历史地位:**20 世纪生物学最重要的发现之一
- **社会影响:**开启了分子生物学和基因工程时代

1. 问题。所有生物从一个单细胞开始生长,并且所有生物使自身进行再生产。因而动植物遗传的特点必定隐藏在它们最初的细胞之中,但是它到底隐藏在哪里? 基因信息是如何代代相传的? 每个发育的有机体为什么各部分最终均发展为复杂的形式? 在 20 世纪中期这个深奥的难解之谜(即解答 " 生命的秘密 "),困扰了相互合作同时也相互竞争的科学家。寻找这种基因是最近的科学史上一个最激动人心的篇章之一。

答案必定存在于构成活细胞的四种物质的一个之中:(1) 脂肪(油脂);(2) 糖和淀粉(多聚糖);(3) 蛋白质;(4) 核酸。前两个在该研究开始很久之前就被人们很肯定地排除掉了。第四个,即核酸,它们的化学成分为人们所知晓,它们的构造相当简单,它们各个部件位置固定,次序重复。这些部件中一个部件是糖,被称为

核糖;含糖的这种核酸无所不在,其中一种核酸缺一个氧原子,因而被称为脱氧核酸,或 DNA。那时,人们普遍相信 DNA 是一个 " 愚蠢的 " 物质,在细胞中只不过起到使结构坚硬的作用——如同使新衬衣保持形状的硬纸板一样。于是人们没有将之当成构成基因的候选材料。

如果 DNA 不携带遗传信息,遗传必定是通过某种还没有找到的蛋白质进行传输的。但是,到 1944 年有坚实的证据表明,携带基因信息的无论是什么东西,都不可能是蛋白质。然而,在林纳斯·泡林于 1949 年利用 X 射线的探测技术发现了 α -螺旋(蛋白质中的一个关键组成成分)之后,蛋白质再次成为兴奋的焦点。此外,基因信息的巨大复杂性——无数细节和特征需要从一代传递到另一代——使得许多科学家相信,基因的秘密可能存在于某些结构极其复杂的大的蛋白质分子之中。人们根据这个思路,广泛地猎求这种基因。即使该思路正确,许多蛋白质的存在也令人无所适从。但最终,在蛋白质中寻找基因的努力都没有成功。

2. 初始假说。英国剑桥的卡文迪许实验室的詹姆斯·华生和弗兰西斯·克里克 1951 年开始他们的基因寻找工作。他们的数据令人困惑,也不完整。在信念和广泛的接受的理论之间的不一致更加加大了他们的迷惘。如果 1944 年奥斯瓦尔德·阿韦力进行的观察数据和排除论证是可靠的,在蛋白质中寻找基因的努力注定要失败。如果这样,正如华生后来所写的, " DNA 将必须充当这个关键钥匙 " ^{watson1968b}。这就是华生和克里克开始研究的初始假说:遗传信息是在 DNA 结构中得以携带的。对他们的研究进行指导的另外两个初始假说是:第一,根据罗萨林德·弗兰克林和毛里斯·威尔金斯(他后来与华生、克里克一起分享诺贝尔奖)拍下的 X 光衍射照片,DNA 的结构是有规则的。华生写道:

突然间我对化学感到十分兴奋……我对基因可能是无规则的可能性感到怀疑。尽管如此,我知道基因能够被弄清,因而它们必定具有一个规则的结构,该结构能够被易于理解的方式解开。^{watson1968c}

第二,他们假定 DNA 丝——根据它们的强度和衍射图像来看——可能的形状是螺旋形状,或双螺旋形状,或者也许类似于泡林早期在某些蛋白质中发现的 α -螺旋形状。

3. 收集额外事实。为了将这些初始假说与已知的但令人迷惘的关于 DNA 组成的事实相协调,人们必须知道更多的东西——其中一些隐藏在科学文献中,一些则刚刚被发现。

核酸被认为有一条长长的 " 脊椎 ", 它由一个由糖(核糖)和交替出现的磷酸盐(带四个氧原子的磷)所构成。在该 " 脊椎 " 的每个关节处,一个被称为一个基(base)的第三个分子单位,被粘在这条链上。每个基是四种中的一种:腺嘌呤(adenine)、鸟嘌呤(guanine)、氧氨嘧啶(cytosine)和胸腺嘧啶(thymine),用它们的第一个字母表示,即为 A、G、C、T。在脊椎上四种物质出现的次序是个谜,甚至人们不知道这些基是如何和脊椎相连接的。随着更多的数据被收集到,以及随着初始假说得以精练,问题转变成如何将 DNA 片段组合起来。该链条上每个三片的单位(糖,加上磷酸,加上一个基)被叫做 " 核苷 " (nucleotide)。核苷如何组合在一起以形成被称做 DNA 的酸呢? 迷惑他们的更一般的问题(" 什么是一个基因 "),被华生和克里克精练成易处理的结构问题。

起初的进展十分缓慢。他们使用硬纸和金属丝组成超大尺寸的模型,尝试着构造各种他们能够发明的链条形状的结构。某些特别的条件必须得以满足:水的含量,倾斜的角度,特定的化学结合方式。每件事情必须与以前发现的事实、最近的 X 光图像和已有理论相一致。已经知道四个基(A、G、C 和 T)是平躺着。华生和克里克尝试着将它们看成盘子般连接在螺旋脊椎的内部或外部或者相互连接的模型。螺旋的角度被调整,糖分子之间的连接理论被重新考察。然而各种尝试均无法形成一个合理的结构。

4. 形成精练的说明性假说。一个重大问题的解决经常有赖于来自不同领域里的成果;它往往是一个合作性的事业,但有时是高度竞争的。其

他科学家同样赛着解决 DNA 的结构。威尔金斯和弗兰克林在他们伦敦的实验室里获得较好的 X 射线

衍射图像。泡林描述了他所认为的 DNA 结构——三条链的螺旋,但是华生和克瑞克根据足够的信息认识到,泡林的解释有一个致命的错误,他们既失望又高兴。泡林的手稿一经发表,华生写道:

仅几天时间,错误就被发现。在林纳斯再次用全部时间追寻 DNA 之前的六周里,我们没有开始我们的研究……我让弗兰西斯(克瑞克)给我买了威士忌。林纳斯仍没有赢得诺贝尔奖。^{watson1968d}

能够解决问题的这个精练的假说,必须对基因的两个不同的能力做出解释:(1)生命结构中无数的细节是如何在遗传信息中被传输的?以及(2)遗传信息在下一代中如何使自己得以复制的?所需要的是一个与已知事实和理论相一致的三维结构,它为生命的所有细节提供编码,并且它能够一代接一代地复制自身。

哥伦比亚大学的爱尔兰·查尔格夫的探究帮助他们走上了正确的轨道。查尔格夫做出了一个震惊的发现:在 DNA 的所有测试样品中,四个基——腺嘌呤、鸟嘌呤、氧氨嘧啶和胸腺嘧啶——的相对数量是固定的。其中两个 A G 被称为嘌呤(purines),另外的两个 C 和 T 被称为嘧啶酮(pyrimidines)。查尔格夫已经证明 A 分子的数量总是与 T 分子的数量相等,G 分子的数量总是与 C 分子的数量相等。嘌呤(A 和 G)的数量总是与嘧啶酮(T 和 C)的数量相等。但是没有人能够解释为什么这样。

通过计算和模型处理,克瑞克确定出 A 和 T 的结构是这样的,它们总是自然地粘在一起,并且,将 G 和 C 相互吸引在一起的力也能够被找到。如果 DNA 链条是构造成这样的,对任何一个 A 都存在一个对应的 T,并且对于每个 G 都有相应的 C,那么,这个链条——如果在中间裂开的话——将能够给出一个自我复制的绝妙系统:这链条的每一边可以看做一把锁,而另外一边是它的钥匙;每个链条是一个建造新的匹配的钥匙的模板。如果含有匹配基的链条很长,它们的次序和数字能够解释所要求的关于细节的遗传编码问题。他们假设的答案是某种双螺旋。他们尝试将脊椎安排在中心、基向外伸出的模型;他们尝试着将脊椎安排在外面、基向

内射出的模型。他们仍然没有成功。然而他们相信已经接近弄清 DNA 的结构了。

问题出在基(A、G、T 和 C)是如何地相互连接的这个已经接受的理论之中吗?如果已经接受的理论有缺陷,能够被基之间相互的化学连接的新的理论所代替,那么,发明一个双螺旋模型可能是可行的。他们探索了该可能性。各个谜开始在华生的脑海里组合:

第二天早上我来到仍然是空空荡荡的办公室,我迅速将我桌子上的论文挪到一边,以使我能够有大片的地方将基对通过氧结合物而组合在一起。^[19]

仍然没有成功。一边的 A 与另外一边的 A 匹配,C 和 C 相匹配,等等,基指向内部,并在链条的空的中间相互交叉地相互连接,然而它们不能被直接安排进双螺旋中去。

华生修改这个结构以便该理论的各个部分能够相协调,终于,华生能够建立一个完全精练的并被证明是正确的假说:DNA 分子确实是一个双螺旋,其中基确实是指向内——但是基对的匹配是互补的:每个 A 匹配一个 T,每个 G 匹配一个 C。

我……开始将基转到朝向内部,排除掉其他不同的匹配可能性。突然,我知道由两个氢结合物握住的腺嘌呤—胸腺嘧啶对,在形状上与由至少两个氢结合物握住的鸟嘌呤—氧氨嘧啶对一样。所有的氢结合物似乎自然地形成,不需要捏造使得两个类型的基对(base pairs)在形状上一样……

对于为什么这个嘌呤(A 和 G)数量与嘧啶酮(C 和 T)的数量完全相等这个谜,我们有了答案。两个不规则的基序列能够被规则地压缩进[双]螺旋的中心……腺嘌呤总是与胸腺嘧啶配成对,而鸟嘌呤总是与氧氨嘧啶配成对……两个互相缠绕的链条的基序列是互补的。给定一个链条的基序列,它的伙伴的基序列可以自动地得以确定。

于是,理论上我们能够十分容易地形象化地表示,单个的链条如何成为合成它的互补序列链条的模板。^{watson1968e}(见图 13 - 1)

当弗兰西斯·克瑞克在剑桥的鹰酒馆吃午餐时告诉每个人,"我们已经找到生命的秘密"时,华生写道:"我感到有点不安" ^{watson1968f}。

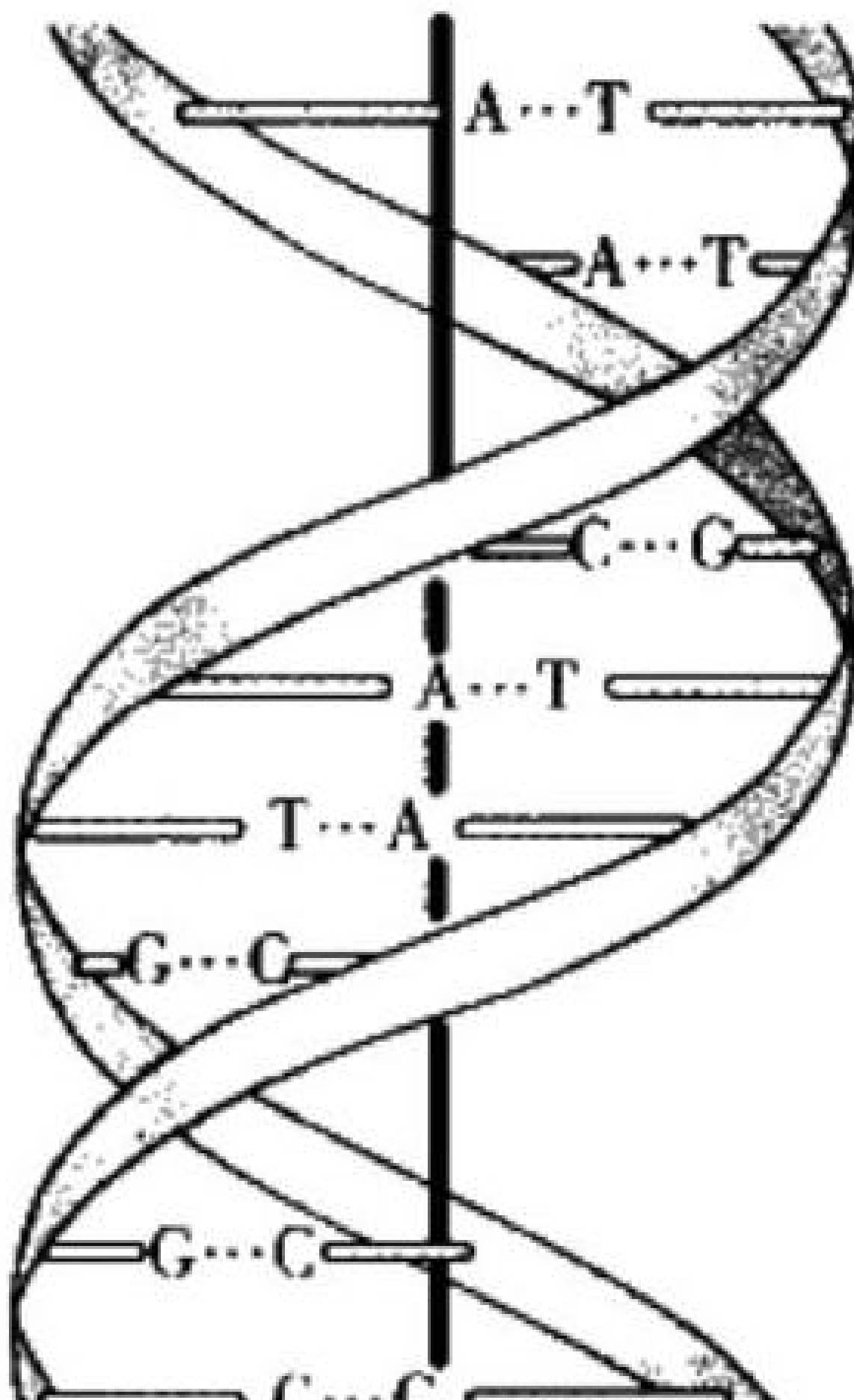


图 13-1 一个互补的双螺旋的示意图。两个糖—磷酸盐的脊椎在外面卷曲着。平躺着的基组成核,它们成对出现——A 总是和 T 连接,C 总是和 G 连接。该结构形成一个螺旋楼梯,成对的基形成胛梯。
摘自于 J. D. Watson, *The Double Helix*. p. 130, 这里的引用得到版权所有人 G. S. 斯坦特的同意。

5 和 6. 演绎和检验结果。假说已经形成,接着要对它进行检验。首先,直接的推论是:如果华生和克瑞克提出的双螺旋确实是对 DNA 的正确解释,那么,构造这样一个三维的双螺旋模型是可能的,即所有基都被安排在内部,并且螺旋的角度以及链条的其他特点应当符合以前的 X 光图像及其他的实验结果。这个模型很快就得到了。

许多其他的理论推论被得到,每一个推论的检验都获得了成功。令分子生物学家长期困扰和沮丧的某些数据,由于这样的分析而得以理解。人们了解到,来自于父母的生殖细胞中的 DNA 数量,在普通细胞中只发现了一半。现在我们清楚了个中原因:如果双螺旋在生殖过程中裂开,来自于双亲的裂开的细胞自然只包含正常 DNA 数量的一半。华生—克瑞克对 DNA 结构的解决的正确性的证据迅速增加;不久,他们的假说非常充分

地得到证实。

7. 应用。华生—克瑞克关于 DNA 结构 128 页的报告^{watson1953} 创造了科学史,它对生物学进程的改变是巨大的也是持久的。该知识的广泛且威力强大的运用将他们的成就推到顶峰。在随后的几十年里,人们认识了 DNA 序列中使用的编码;整个人类基因组的完整图实际上是完全的,不久人类将得到该图。将 DNA 链进行切割、重组的技术已经得到发展,它们已经在新药、疫苗和人造荷尔蒙的制造中普遍地得到应用。重新组合 DNA 技术仅在 DNA 结构被最终解决的条件才是可能的,该技术的应用使生物学和医学发生革命,并且仍保持着旺盛的应用生命力。

本节要点

- **科学研究模式的实践价值与案例选择:**
 - **理论与实践关系:**理论模式提供分析框架,实际案例验证模式有效性
 - **科学方法普遍性:**不仅限于专业科学家,是人类理性思维的基本模式
 - **DNA 发现重要性:**科学意义、方法论价值、历史地位、社会影响的完美结合
 - **案例选择意义:**20 世纪生物学最重要发现,完美体现科学研究七个阶段
- **第一阶段:问题确定——生命遗传的根本谜题:**
 - **核心问题:**遗传特点隐藏在哪里? 基因信息如何代代相传?
 - **候选物质:**脂肪、糖类、蛋白质、核酸四种可能的遗传物质
 - **理论困境:**DNA 被认为是“愚蠢”物质,蛋白质成为主要候选
 - **证据转折:**1944 年证据表明遗传物质不可能是蛋白质
- **第二阶段:初始假说——DNA 作为遗传信息载体:**
 - **华生-克里克假说:**遗传信息在 DNA 结构中被携带
 - **结构假说:**DNA 具有规则结构,可能是螺旋或双螺旋形状
 - **X 射线证据:**弗兰克林和威尔金斯的衍射照片支持规则结构
 - **类比推理:**参考泡林在蛋白质中发现的 α -螺旋结构
- **第三阶段:收集额外事实——多源证据的系统整合:**
 - **分子组成:**糖-磷酸脊椎和四种碱基(A、G、C、T)的结构
 - **查尔格夫规则:**A=T、G=C 的数量相等关系的发现
 - **模型构建:**使用硬纸和金属丝构造超大尺寸模型
 - **竞争压力:**泡林等其他科学家的同步研究形成竞争
- **第四阶段:精练假说——互补碱基配对的突破:**
 - **关键洞察:**A-T 和 G-C 的互补配对而非同类配对
 - **结构解释:**双螺旋中碱基指向内部,形成互补配对
 - **功能解释:**解释了遗传信息存储和自我复制机制
 - **创造性突破:**华生的“突然知道”时刻体现科学发现的顿悟性
- **第五、六阶段:演绎检验——理论验证的系统过程:**
 - **模型验证:**构造三维双螺旋模型验证结构可行性
 - **数据解释:**解释生殖细胞 DNA 数量只有普通细胞一半的现象
 - **多重检验:**多个理论推论的成功检验增强理论可信度
 - **证据积累:**假说正确性的证据迅速增加并得到充分证实
- **第七阶段:理论应用——分子生物学革命的开端:**
 - **历史影响:**128 页报告创造科学史,对生物学产生巨大持久改变
 - **技术发展:**DNA 切割重组技术、基因工程、人类基因组计划
 - **医学应用:**新药、疫苗、人造荷尔蒙制造的革命性进展
 - **持续影响:**重组 DNA 技术使生物学和医学发生革命,保持旺盛生命力
- **案例的方法论启示:**
 - 科学发现遵循系统化的逻辑过程,但充满创造性和偶然性
 - 理论与实验、合作与竞争、直觉与逻辑的有机结合
 - 科学研究的社会性特征和知识累积性特征
 - 重大发现对整个学科和社会发展的深远影响

1.7 判决性实验和特设性假说:科学理论检验的方法论分析

引言

本节深入探讨**科学方法**中的两个核心概念:**判决性实验**和**特设性假说**,这两个概念构成了科学理论检验和评价的重要方法论基础。我们将从科学哲学、认识论和科学史等多个角度分析**判决性实验**如何帮助科学家在竞争性**理论**之间做出理性选择,以及**特设性假说**如何被用于保护**理论**不被反驳证据所否定,同时探讨这种保护策略的科学合理性问题。通过深入理解这两个概念的哲学内涵、实际应用和方法论限制,我们将能够更好地评估**科学理论**的可靠性,认识**科学知识**发展过程中的复杂性和挑战性,以及科学进步的系统化特征。

1.7.1 判决性实验

不同的理论有时会预测相同现象的相同结果;在这种情况下,为了在竞争的理论之间做出选择时,只能使用评判理论的普遍规则。但是当不同的理论对某个现象预测出不同的结果时,科学家便设计出被称做判决性的实验。两个理论中一个所预测的结果是正确的,那么它就通过,如果另外一个所预测的结果是错误的,那么该理论就被拒绝。

科学中的进步很少是直接的和容易的。认为通过对某个问题简单地使用几步假说一演绎法就能够达到答案,这种看法是愚妄的。答案——正确的说明性假说——往往是模糊的,需要非常精心制作的理论武器。建立最后的正确假说会极其困难。这个过程完全不是机械的,除了需要艰辛的观察和实验外,还需要深刻的洞察力和很大的创造性。

新的假说得以形成之后,如果它与某个先前已经接受的理论相矛盾,很难确定哪个正确。在某些场合下,两个竞争性假说用被称为一个“判决性实验”的东西进行检验。判决性实验是指这样一个实验,它被精心构造出来以表明所提出的说明中的一个而非另一个实际上是正确的。这样的判决性实验一旦被建立起来,可能是激动人心的和极其有成果的。

例如,美国物理学家阿尔伯特·迈克尔逊和化学家爱德华·莫雷在 1887 年精心构造了一个测量光速的实验。通过这个实验使一个被广泛接受的理论(他们原来相信它是正确的)置于一个判决性实验之中。人们长期相信空间中充满着一个被称做“以太”(ether)的假设物质,(人们假定)该物质使光波运行,如同空气使声波运行一样。或者以太存在,或者它不存在。如果它存在,那么测量出的沿着地球运动方向的光速,应当与地球运动成一个直角方向上的光速不同。该实验产生了一个“否定的”结果。因该实验是一个对当时被广泛接受的理论的判决性检验,它成为物理

学史上最著名的实验之一。没有发现这两个不同方向上运动的光速存在差别。这个结果有力地破除了人们长期相信的以太概念。^{miller1981}

但是遗憾的是,威力如此强大的判决实验不总是可行的。不同的可观察结果可能不会从不同假说中推演出来;或者,它们能够被推演出来,但是我们没有能力创造条件,以检验哪一个假说的结果将出现。

物理学在 21 世纪初面临的一个主要问题也正属此类。在两个最强有力的理论之间,存在一个明显的目前不能解决的冲突。广义相对论已经得到很好的证实,其定律(描述引力以及引力如何形成空间和时间)的一个必然推论是:某些塌陷的大质量的恒星将形成“黑洞”,从该黑洞中逃脱是不可能的,因为它要求比光要快的速度。量子力学定律同样得到很好证实,但它们明确推论得,信息不能永久消失,即使掉到黑洞里也是如此。要么存在某个目前还不知道的时空性质,它能够用来对该信息的保持进行说明,要么在物理学中存

在错误,指出它可以对该信息的永久消失给出解释。最终两个理论中的一个必定得到修正,但我们现在仍然不知道哪个要修正,我们也无法构造所需要的判决性实验。^{hawking1974}

判决性实验是科学探究一个重要方面,然而与构造判决性实验相关的另外一个困难是,人们提出某个说明性假说,我们希望通过进行某个判决性实验来检验它的推论,但它的推论不可能仅从该假说自身演绎出来。我们是使用该假说与其他理论一起而推论得到要检验的结论的。为此,我们假定那些其他理论完全可靠。它们确实可能是完全可靠的,当然它们也可能不完全可靠。如果它们不可靠,即使判决性实验似乎否证了待考察的假说,也有可能待考察的假说恰恰是正确的。科学中的进展依赖于假说集合,其中的任何一个都可能是有缺陷的。

当涉及相当高抽象程度的假说时,仅仅单个假说不可能直接演绎出可直接检验的预测。用做演绎前提的必定是一个统一的假说群体,如果观察到的事实不是预测的事实,那么我们可以得出结论,该假说群中至少一个是错的。但是,这个结论不能表明哪一个假说是错的。例如,在前面的对 DNA 结构发现的解释中,华生和克瑞克在检验核酸丝的形式是双螺旋、它的基指向内部的假说时,他们发现这样的安排不能与所有已知的事实和已接受的理论相一致。"已知的事实和已接受的理论"——水含量、双螺旋斜度、基(腺嘌呤、鸟嘌呤、氧氨嘧啶和胸腺嘧啶)的连接方式——在假说的检验中被假定是正确的。如果所有这些假定的确正确,长丝的结构

不可能是双螺旋。然而,在实际中,华生和克瑞克对他们的假说有足够的自信,他们开始怀疑描述基(A、G、C 和 T)相结合的理论不完全正确。该理论被他们放弃,他们提出一个不同的理论,即假定结合物是氢的理论,此时,双螺旋的新假说(以及与之相连的理论)得到证实。

因此,在揭示一群假说有缺陷的过程中,一个实验能够是"判决的"。这样一群假说通常包含许多独立的假说。其中任何一个假说,无论实验结果对它多么不利,我们可以拒绝该群体中的某个其他假说,而坚持它的真理性。这就使得某些人得出结论说,从来不会有单个假说遭受判决性的实验。

1.7.2 特设性假说

针对上面的批评,有人认为,一个实验在否证单个新假说中的确能够是判决性的,因为通过拒绝假说群体中某个其他假说(上面已经表明这是可能的)而"拯救"该假说的努力是完全特设的(Ad Hoc)。Ad Hoc 为拉丁术语,字面意思是"为此[特定目的]"。Ad Hoc 包含这样一个意思,所有的假说都是特设的。因为,一个假说之发明如果不是为了解释某个先前得到确立的事实或者其他事实,那是没有意义的。但是当我们以这样的意义滥用它的时候,特设性意味着,对假说集合进行调整仅仅是为了拯救被检验的假说这样一个目的,它没有其他的说明力或者可检验的结果。

没有科学假说是这第二个意义上特设的。如果"鬼是机器故障的原因"被用来解释一个复杂的机器发生故障,那么它明显不是科学的解释;我们嘲笑这样的假说,它是否定意义上特设性的。但是,在任何实际科学研究中,当一个新的假说之提出以调整一个旧的理论的时候,该调整是否是该否定意义上特设性的,这需要进一步确定。

科学史中的另外一个例子可以帮助我们弄清这个问题。在 19 世纪,天体力学理论被人们很好地理解。对于天文学家来说,天王星和水星这两个行星的轨道与当时所接受的理论对它们所预测的轨道不一致。行星运动的理论在当时应当被修改,但是事实上它被保留了下来。为了解决该理论的协调问题,有人提出,存在某个未发现的行星,其引力造成观察到的反常现象。引起天王星轨道偏差的新行星的轨道,由勒维烈在 1845 年预测出来,预测结果不久被海王星的发现而证实,其位置精确地解释了那些偏 513 差。^{levertier1992} 这个假说——存在这样一颗行星——当然不是否定意义上特设性的假说。原因是,从该假说中能够演绎出许多结论,该假说是独立可检

验的。

但是在水星的案例中,存在另外一颗行星[该行星过早地被命名为"火神星"(Vulcan)]干扰水星轨道的假说,不能得到证实。如果一个理论假设有"水星力",用它们来解释水星轨道的异常,而这些力不能解释其他任何事情,并且绝不能被找到,那么这样的一个理论发明自然是特设性的。实际情况是,该疑难长期得不到解决;直到1915年广义相对论提出后,观察到的水星轨道的不规则,才完全与不同的但完美的天文学理论相吻合。水星轨道异常,能够使用广义相对论来预测,这个事实构成该理论最引人注目的证实之一。爱因斯坦称它为"我生命中最辉煌的工作"^{einstein1915}。只有在那个时候,我们才给出了关于该现象的合适的(即真正理论化的)说明。

天文学史中的这个疑难给出了人们在使用特设性这个术语的第三个意义,它也是否定性的:表示一个单纯的描述性概括。一个描述,它是第三个意义上特设性的,它仅断定一个特定种类的所有事实只在某些特定种类条件下发生;但是该假说和前面的那些特设假说一样没有任何解释力或解释范围。这样的假说的一个古典例子是,"菲兹吉拉德收缩效应"被提出来对迈克尔逊—莫雷在光速实验结果的解释。菲兹吉拉德断定,物体以极其高的速度运动会发生收缩,他确实对给定现象给出解释,并且他的假说能够为重复进行的同样实验所检验。但是他的"收缩效应"不能解释其他的任何东西。在当时它被普遍认为是特设性的而不是说明性的。(正如与水星行为中出现明显差别的情况一样)直到相对论的提出(爱因斯坦的狭义相对论),人们才得到迈克尔逊—莫雷实验结果的一个合适的理论说明。

我们可这样总结,实验对单个假说绝不能是判决性的,这不仅因为假说经常是在否定意义上特设性的;进一步地说,在本节前面已经表明,因为假说只是在群体中才是可检验的,实验绝不能成为判决单个假说的东西。^{popper1963}这个限度阐明了科学的系统化特点。科学进步就是建立永远更加恰当(ever - more - adequate)的理论,以便解释不断增加的观察结果和实验事实。某些分离事实能够具有较大的价值,因为科学的最终基础是事实。但是科学结构主要不是通过点滴累积而得以发展的,其发展是在一个已得到普遍认同的理论体系的框架内整体地进行的。认为科学假说或者定律是分散的和独立的观点是朴素的,也是过时的。

在这样一个理论框架中工作,此时我们不对该理论框架进行质疑;进行一个"判决性实验"以证实或否定某个假说的观点仍然能够有意义。如果得到一个否定性结果,即,根据某个有疑问的假说与已经接受的科学理论一道进行预测的某个现象,它没有发生,那么该实验是判决性的,这个有疑问的假说可以被拒绝。但是正如我们已经看到的,在这个过程中不存在任何绝对的事情,因为,那些即使被人们普遍接纳的科学理论面临新的和矛盾的证据时,也要发生调整。科学无论在实践中还是在目标上,都不是一成不变的。

从前面的讨论中得到的启示是,将"隐藏的假设"揭示出来,以便能够对那些默认为的假定进行重新审视,这在科学进步中是重要的。当一个关键假设是潜藏的时候,没有明显的必要,因而没有好的机会对之进行考察并确定它到底是真还是假;通过将以前潜藏的假设揭示出来,对之进行分析并(也许)否定它,科学往往获得进步。

例如,在日常生活中谈论两个事件"在同一个时刻"发生,这似乎完全没有问题。我们普遍假定事件常常同时发生。但是科学中一个重要的和巨大的进步开始于爱因斯坦将这个假定揭露出来。他问,一个观察者如何能够确定两个距离遥远的事件是否真的在同一时刻发生。最终他得出这个结论:两个事件对于某些观察者来说能够是同时的,但对其他的观察者来说则不是;这依赖于观察者相对于待研究事件的相对位置和速度。正是对同时性假定的拒绝,使爱因斯坦发明了狭义相对论,从而为解释迈克尔逊—莫雷实验所揭示的现象跨出了重大的一步。当然,一个假定在它被挑战之前必须被人们所认识,因而,在科学中具有重大意义的是,将理论中起作用的所有有关的假定揭示出来,而不让任何一个隐藏起来。

通过描述和讨论科学史中最辉煌的篇章之一——伽利略对太阳系的哥白尼理论进行的观察证实,是对科学方法的进行总结并阐释科学整体的进步的意义的极好的途径。

本节要点

- **判决性实验的作用：**
 - 在竞争性理论预测相同结果时,依靠普遍评判规则
 - 当理论预测不同结果时,判决性实验可帮助确定哪个理论更可靠
 - 真正的判决性实验能够排除某些假说,而保留其他假说
- **判决性实验的局限：**
 - 科学进步过程复杂,很少有简单直接的决定性实验
 - 判决性实验不仅要考虑主要假说,还要考虑相关的辅助假说
 - 批评者认为没有真正单一判决性实验,因为假说总是集群出现
- **特设性假说的特点：**
 - 特设性假说是为了拯救理论而临时构建的解释
 - 区别于常规假说的是缺乏独立可检验性和其他说明力
 - 不能预测新现象,仅用于解释已知的反例
- **对特设性假说的评价：**
 - 使用特设性假说保护理论违背科学精神
 - 良好的科学理论应预测尚未观察到的现象
 - 过度依赖特设性假说的理论往往不是真正科学的

1.8 作为假说的分类:科学认识的基础结构

引言

本节深入探讨**分类**作为**科学假说**的根本性质,这一观点揭示了科学认识的基础结构特征。我们将从认识论、科学方法论和科学史等多个角度分析**科学分类**如何不仅仅是事物的简单归类,而是反映自然界内在联系和本质特征的**理论假设**。通过深入理解**分类系统**如何帮助科学家发现新知识、预测未知性质、形成普遍定律,我们将全面认识到一个**好的**分类系统既有深厚的理论基础,也有重要的实际应用价值,以及分类在科学发展中的基础性作用和假说性特征。

分类与划分紧密相关。但是分类,即在哲学中所称的“等级”(genus,种的上义词)中的“种”(species)的秩序,可以看做是假说,而严格地说,划分并非如此。分类不仅是要求完备和互斥,而且要求物体、生物或者思想在“本质特征”的基础上得以分组,其目的是对所考察的现象进行解释,或者至少为之提供一个解释的框架。这些“本质特性”因而必须是解释性的。

存在这样一个观点,假说仅在比较发达的科学中而不是在相对不发达的科学中才发挥重要作用。这个观点应当被拒绝。有人主张,尽管说明性假说在物理学、化学这样的科学中起重要作用,它们在生物学和社会科学中则没有这样的作用,或者至少现在没有这样的作用;后者仍然处于描述性阶段,而假说方法对所谓描述性的科学如植物学、历史学是不合适的。我们很容易对这个观点给出反驳。对描述本性的考察将显示,描述本身是建立在假说之上的,或者说描述本身包含假说。假说在生物学的不同体系的分类法或分类学中是基本的,在历史学或其他社会科学中假说也是基本的。

在历史科学中,假说的重要性容易得到阐明,我们首先讨论它。一些历史学家相信,历史研究能够揭示存在着的单个宇宙目的或模式,该目的或模式或者是宗教的或者是自然的,它对有记载的历史的整个进程进行解释或说明。其他的历史学家则否认有任何这样的宇宙设计的存在,但他们坚持认为,历史研究将揭示某个历史规律,该规律解释过去事件的实际次序,并能够用来预测未来。无论哪种观点的历史学家,他们寻求的说明必须解释过去记载的事件,并被它们所证实。因而,无论是哪种观点,历史学是一个理论性的科学而不仅仅是描述性的科学,必须承认假说在历史学家事业中的中心作用。

然而,有第三种历史学家,他们更为谦虚地设定他们的目标。根据他

们的观点,历史学家的任务只是简单地将过去进行编年史记录,即以他们的编年史顺序将过去的事件进行简单的记录。似乎是,根据这种观点,“科学的”历史学家没有进行假说的必要,因为他们所关心的只是事实本身,而非与事实有关的理论。

但是过去的事件没有像该观点试图使我们相信的那样容易编年。过去本身不能提供这种记录。现在能够得到的是现在的记录和过去的痕迹。它们的范围是:从关于过去的官方档案,到对半传说式的英雄的征服行为的赞美的史诗;从以前的历史学家的作品,到考古学家挖掘出土的过去年代的物品。这些只是历史学家能够获得的事实,而从这些事实中他们必须推论得出过去事件的本质——这是他们描述的目的。不是所有的假说是全称的,有些是特称的。历史学家关于过去的描述是特称假说,使用该假说的意图是解释现有数据,而现有数据构成了它的证据。

从大范围来看,历史学家犹如侦探。^{collingwood1939} 他们的方法是共同的,遇到的困难也类似。其困难主要是证据不充足,并且,许多证据如果不是被笨手笨脚的地方警察所损坏,就是被相关的战争和自然灾害所破坏。正如罪犯可能留下了假的或误导的线索以甩掉追踪者,太多的现存“记录”,据说是对过去的描述,而实际上是对过去的歪曲:或者是有意的,如“康斯坦丁的赠款”这样伪造的历史文档的案子,或者是无意的,如早期没有批判性的历史学家的著作。正如侦探建立和检验假说必须使用科学方法一样,历史学家也必须如此。即使将自己限于对过去的纯粹描述的那些历史学家,也必须使用假说来工作:他们是理论家,不管他们自己是如何认为的。

生物学家所处的位置稍微有利。他们处理的事实是现在的,易于检查。为了描述一个地区的动植物群落,他们不必精心构造历史学家那种遭到诟病的复杂推理。数据可以被直接地认识到。对这些项目的描述不是因果的,而只是系统的。他们被认为是对动物和植物进行分类,而不仅仅描述它们。但是分类和描述实际上是同一个过程。将一给定动物描述成食肉类,即是将它分类为一个食肉动物;将它归类为爬行类,即是将它描述成爬行动物。某个物体被描述具有一个给定属性,即是将之归类于具有该属性的对象类中的一个成员。

分类,正如通常理解的那样,不仅仅要将对象划分成不同的群体,而且要将每个群体进一步划分成次一级的群体或次一级的类,等等。这个模

式是我们大多数人所熟悉的:如果不是从学校学习中知道,那么可能是从“动物,植物,还是矿物?”这个古老的游戏(或者更普遍地被叫做“20个问题”⁽¹⁾)中获得。分类是一个普遍的需要。原始人不得不将草根、浆果划分为可食用的还是有毒的,将动物分为危险的还是安全的,以及将部落分为友善的还是敌对的。所有人都根据自己的实际需要而进行区分,并忽视那些在他们的事务中不怎么重要的区别。农民会对谷物和蔬菜进行小心和仔细的分类,而将各种花只统称为“花”;而卖花人却会细致地将他们的商品进行分类,而将农民的所有收成一起称为“农产品”。

我们对事物进行分类有两个基本的动机。一个是实践的,一个是理论的。某人仅有3或4本书,他对它们了如指掌,他一瞥就能够分辨它们,就此没有对它们进行分类的必要。但是在一个包含上万册书的图书馆里,情况便不同。如果不对图书进行分类,图书管理员就不能找到所需要的书,该图书馆的收藏将无实际用

处。物体数量越大,越有必要对它们进行分类。分类的实际目的是使大量的采集成为可能。在图书馆、展览馆和各类公共记录展厅的情形中这特别明显。

当我们考虑分类的理论用途时,我们必须认识到,使用一种分类法或另一种分类法与真理和错误无关。可以用不同方式、以不同的观点来描述物体。使用的分类方案依赖于分类者的目的和兴趣。例如,图书管理员、图书装订商和藏书家对书的分类便有所不同。图书管理员根据书的内容或主题对书进行分类,图书装订商根据的是装订方式,图书收藏者根据的是印刷日期和相对稀有程度。当然我们不能穷尽各种可能性:图书包装者会根据书的形状和大小对书进行分类,而对书有其他兴趣的人根据他们不同的兴趣进行不同的分类。

那么,科学家的什么样的特别兴趣或目的,使他们偏爱一个分类方案而不是另外一个?科学家的目的是获得知识:不仅仅是关于这个或那个特别的事实的知识,尤其是关于用事实来确认的普遍定律的知识,以及事实之间因果连接的知识。从科学家的观点来看,一个分类方案比另外一个要好,一定程度上在于,在得出科学定律的过程中它是更富于成果的,并且在形成说明性假说过程中它是更有帮助的。

对物体进行分类,其理论的或科学的动机是增进这些物体知识的愿望。事物的知识的增加可以增进我们对事物的属性,它们的相似性及差别,以及它们的相互关系的进一步理解。一个分类方案如果只为狭窄的实际目的而制定,就可能抹杀了重要的相似性和差异性。把动物划分成“危险的”和“没有危险的”,如把野猪和响尾蛇归为一类,把家猪和草蛇归为一类,这种划分为了强调表面的相似性,而忽视了更本质的相似性。对物体的任何科学的、富有成果的分类需要具有关于它们的大量的知识。对比较明显的特征的粗浅了解,会使人们将蝙蝠作为会飞的生物归为鸟类,把鲸作为生活在大海中的生物归为鱼类。如果我们具有更广阔的知识,我们便将蝙蝠和鲸两者均归为哺乳动物,因为它们都属于温血、胎生并哺育幼崽的动物——这些是分类所根据的更为重要的特征。

如果一个特征能够作为线索,以发现其他特征,它便是重要的特征。从科学的视角来看,一个重要的特征是指这样一个特征:它与许多其他的特征有因果连接关系,因而它能够作为最大数量的因果律的框架,并且有助于形成最普遍的说明性假说。因此,这样的分类方案是最好的,如果它建立在所要分类的物体的最重要的特征之上的话。但是正如我们已经强调的那样,我们事先并不知道会得到哪些因果律,而且因果律本身也带有假设的性质,因而,在哪个分类方案是最好的问题上的决策本身就构成一个假说,一个后续研究可能将之否定的假说。如果后来的研究揭示了,其他特征更为重要(即它与大量的因果律和说明性假说相关),我们能够合理地预期,原来的分类方案应当被否决,我们会选取基于更重要的特征之上的新的分类方案。

分类方式是假说的观点被它在科学中实际所起的作用所证实。分类学是生物学中一个正统的、重要的并且欣欣向荣的分支学科。在生物学中,某些分类方式,如林奈的分类法,被采纳、使用,后来因有了更好的方案而被弃用;更好的方案本身在新的数据下也经受着修改。一般来说,在科学的早期阶段或不发达阶段,分类最为重要。然而,随着科学的发展其重要性不一定总是降低。例如,由门捷列夫表所表明的元素的标准分类法、仍然是化学家的一个重要工具。

前面对自然科学中使用分类的解释,可启发我们进一步认识在历史研究中使用分类的重要性。我们已经说明,历史学家对过去事件的描述本身即是基于冒前资料之上的假说。然而,假说在描述的历史学家的事业中发

挥着另外一个同等重要的作用。任何数量级的历史事件都不能被完完全全地描述。即使人们能够知道它的所有细节,历史学家也不可能将之全部写进著作之中。生命过于短暂,它不允许人们对事物进行详尽无遗的描述。因此,历史学家必须对过去进行有选择地记载,记录下的仅仅是过去的一些特征。历史学家进行选择的基础是什么?显然,历史学家要叙述的是有意义的或重要的,而忽略无意义的或琐碎的。这个或那个

(1)这是一个游戏。多人确定出一个东西,让另外的人通过询问问题来猜他们所确定的是什么东西。

历史学家的主观偏见会使他或她过分强调历史进程中宗教、经济、人物或其他某个方面的作用。但如果历史学家们考虑到,要做出客观的或科学的评价,他们便会重视那些能够形成因果律和普遍的说明性假说的因素。自然,这样的评价会随着进一步研究而经受着改变。

西方第一个历史学家希罗多德(Herodotus)细致描写了他编入编年史的事件,有人物的、文化的,以及政治的、军事的。所谓第一位科学的历史学家修昔底德,将自己的写作更多地限于政治和军事方面。在很长一段时期里,大多数历史学家跟随修昔底德,但是现在钟摆正摆向另外一个方向:历史学家十分重视过去的经济和文化方面。正如生物学家的分类方案包含了他们的假说——通过这个假说生物的特征与最大数量的因果律相关联,历史学家选择用一个典型事件集合而非另外一个集合来描述过去事件,这种选择包含了他们的假说:什么样的典型事件与最大数量的其他典型事件因果地连接在一起。这样的假说是必需的,哪怕历史学家对过去进行系统的描述的工作只是刚刚开始。正是分类和描述——无论是生物学的还是历史学的——所具有的假说性的特点,使我们把假说看成是科学探究的通用方法(the all - method)。

本节要点

- **分类**作为**科学假说**的本质:
 - **分类**不仅是将事物归类,而是基于“**本质特征**”的**理论假设**
 - **科学分类**系统是对自然界内在联系的假设性解释
 - **分类方案**本身即是**假说**,可被后续研究证实或否定
- **分类**在科学中的广泛应用:
 - 不仅在自然科学中,在历史等描述性学科中同样重要
 - **分类**在科学发展早期尤为重要,但在成熟科学中仍有价值
 - 历史学家对事件的**分类**和描述同样包含**假说**性质
- **科学分类**的评价标准:
 - **好的**分类基于与多种特征有因果联系的重要特征
 - 科学价值取决于能否揭示事物间的内在联系和规律
 - 能够促进形成普遍定律和**说明性假说**的分类更有价值
- **分类**的实践与理论意义:
 - 实践意义:使对大量对象的管理和利用成为可能
 - 理论意义:增进对事物属性、相似性和差异的理解
 - 反映科学家对事物**本质特征**的理解和认识目标