为什么工程技术人员也需要理解“科学研究范式”？

中国科学院沈阳自动化研究所

郑雄飞 研究员

2026.1.29

一、 必要性：了解科学是一种探索性文化

二、 核心分享：从历史发展看科学的文化属性

三、 总结：科学文化能带给哪些我们具体指导

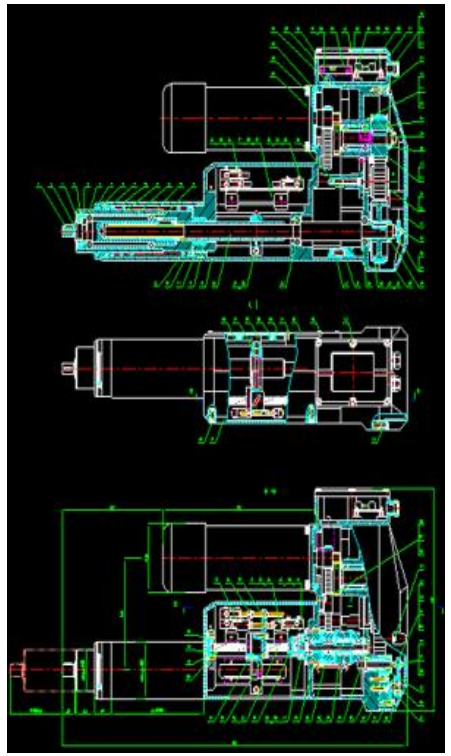
搞工程开发为什么容易累?

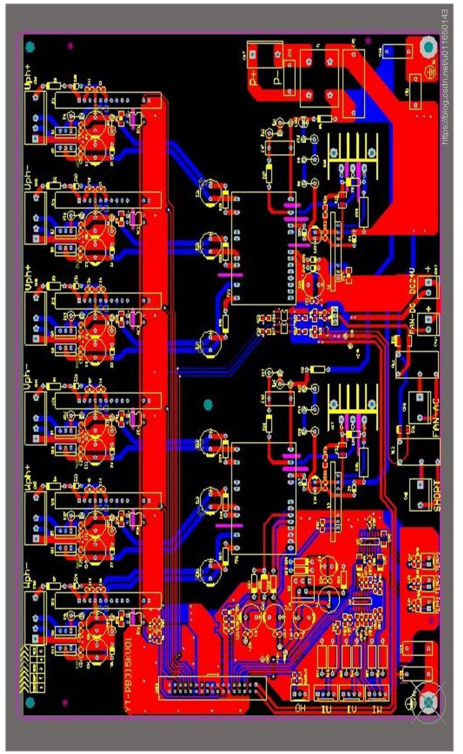
高度被动：工程以目标为绝对导向，工作被指标和节点严苛倒逼

思维降维：创造力被迫降维，精力被消耗在标准化的执行细节中

高度被动的重复性劳动

- 初稿01
- 初稿02
- 定稿
- 定稿修改01
- 保证最终稿
- 最终稿
- 最终稿不会改
- 最最最最终稿
- 打死不会再改定稿
- 吐血最终不会改-终极稿
- 改不了了我已经死了
- 再改是孙子
- 再改是孙子-甲方要求修改稿
- 再改是孙子-甲方要求修改稿01





```python
#导入pygame
import pygame
#导入所有常量，相似后面用到的关闭QUIT和按创键MOUSEBUTTONDOWN(按下鼠标)等
from pygame.locals import *
#导入退出方法
from sys import exit
#初始化导入的所有pygame模块
pygame.init()
#定义背景宽高
bgsize = width, height = 1000, 600
#设置背景大小
pygame.display.set_mode(bgsize)
#设置游戏名
pygame.display.set_caption('进击的小球')
#设置背景颜色
bg = (0, 0, 0)
ball_image = pygame.image.load('images/ball.png')
#获取表面显示
screen = pygame.display.get_surface()
#Ball类，继承pygame.sprite.Sprite
class Ball(pygame.sprite.Sprite):
    def __init__(self, up_speed, down_speed):
        #初始化pygame.sprite.Sprite
        pygame.sprite.Sprite.__init__(self)
        #上升速度
        self.up_speed = up_speed
        #下降速度
        self.down_speed = down_speed
        #小球的图片
        self.image = ball_image
        #小球的位置
        self.rect = self.image.get_rect()
        #顶部位置
        self.rect.top = 0
        #左位位置
        self.rect.left = (width-self.image.get_width())//2
    #小球上升
    def moveup(self):
        self.rect.top -= self.up_speed
    #小球下降
    def movedown(self):
        self.rect.top += self.down_speed
#实例化小球对象
ball = Ball(0,4)
#实例化Clock()对象
clock = pygame.time.Clock()
#不断循环刷新屏幕
while 1:
    #循环获取的事件
    for event in pygame.event.get():
        #判断是否按下关闭按钮
        if event.type == QUIT:
            #退出程序
            exit()
    #获取按键行为
    key_press = pygame.key.get_pressed()
    #判断是否没有按下up键和小球底部是否超出屏幕
    if not key_press[K_UP] and ball.rect.bottom < height:
        ball.movedown()
    #判断是否在下up键入按同时是否超出屏幕
    elif key_press[K_UP] and ball.rect.top > 0:
        ball.moveup()
    #填充背景
    screen.fill(bg)
    #显示小球
    screen.blit(ball_image, ball.rect)
    #设置帧率为固定25帧
    clock.tick(25)
    #将完整的显示更新到屏幕
    pygame.display.flip()
```

反复的改图、布线、deBug

自己喜欢做的事情不容易累

如何在工作中找到主动性：内在驱动

兴趣驱动

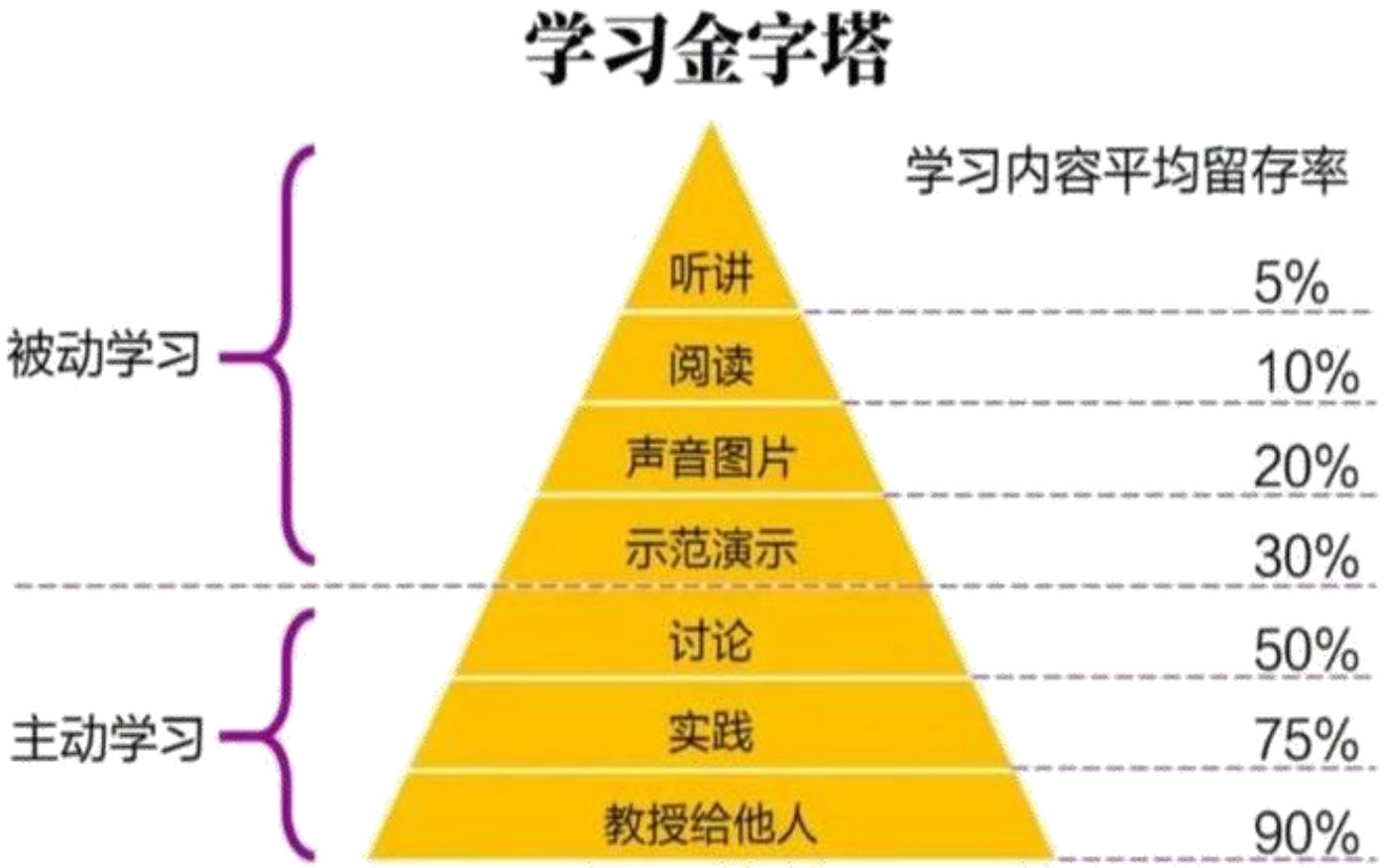


科学是一种主动性探索的文化

求知欲驱动



主动/探索式学习事半功倍



费曼学习法



以输出驱动输入，构建自己的知识体系并输出

科学探索与技术探索的区别是什么?

$$\alpha = \frac{\text{解释动机}}{\text{解释动机+控制动机}}, \qquad \alpha \in [0, 1]$$

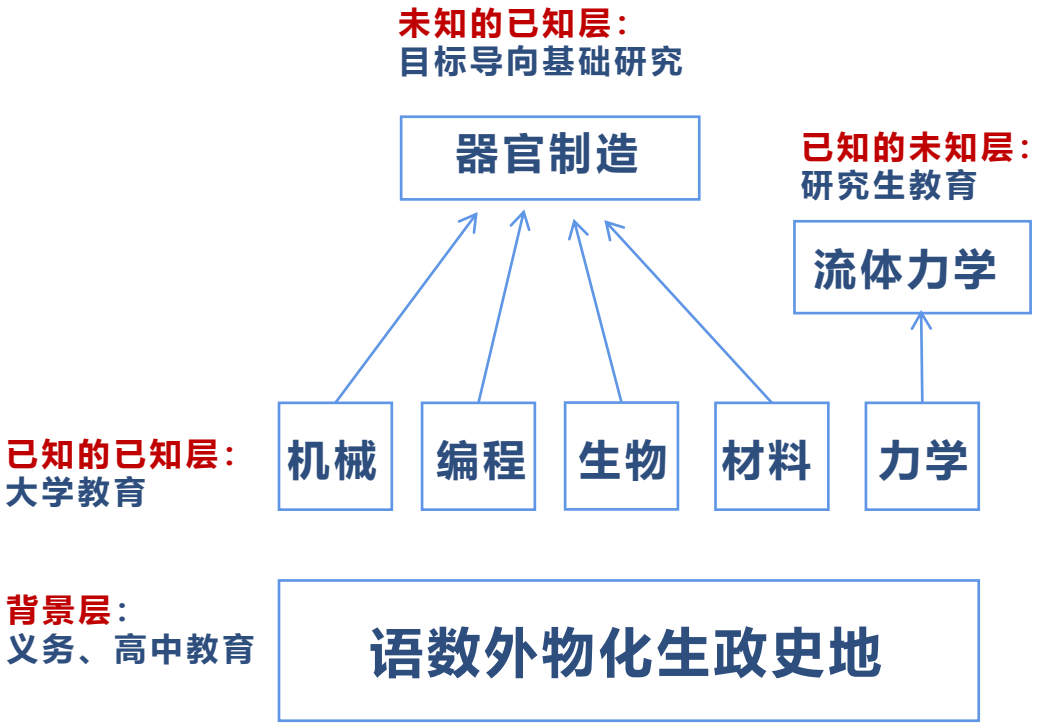
- $\alpha \to 1$: 科学含量高
- $\alpha \to 0$: 技术含量高
- 中段: 工程科学、应用研究、方法论密集区

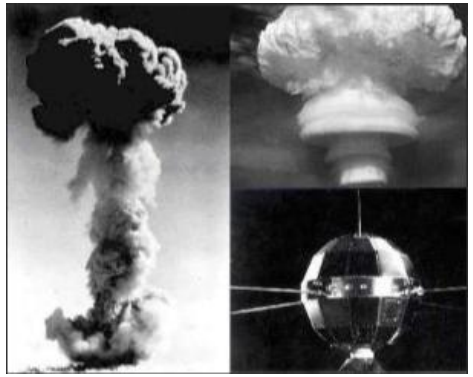
只有我能构建的，才是我真正理解的　——费曼

目标导向的基础研究与普通研究有什么本质区别?

- 我们如何适应当前目标导向科研评价体制? **需要理工融合**

- **科学知识的层次:**

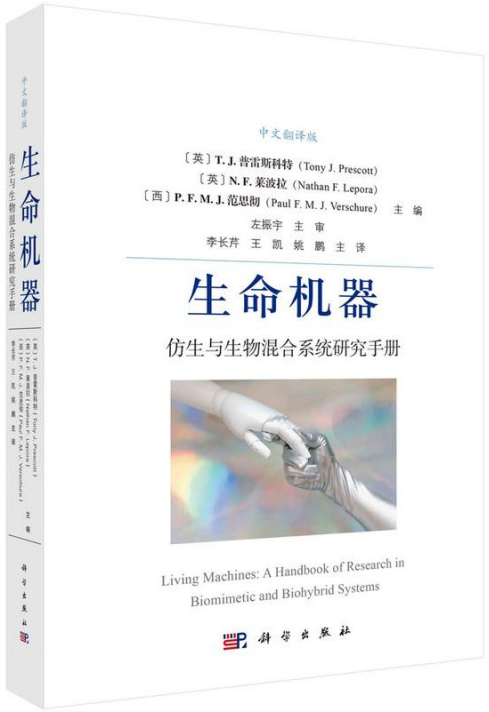




两弹一星



钱学森创立中科大



人体科学与机器人融合

原子级制造、科学仪器

、、、

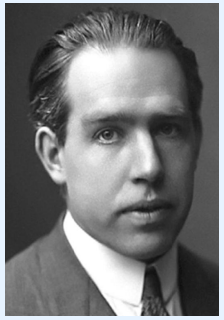
巴斯德象限（Pasteur’s Quadrant）

理科
以求知为目的

科学家

波尔模式

无明确应用目标，仅追求揭示规律（求真）

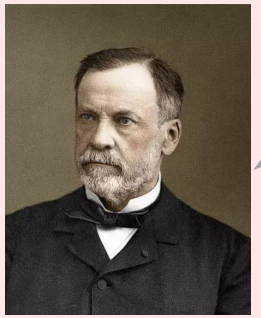


代表成果：

哥本哈根解释
并协原理
波尔模型
BKS理论

巴斯德模式

以解决实际问题为导向，同时探索核心规律（求真 + 求用）

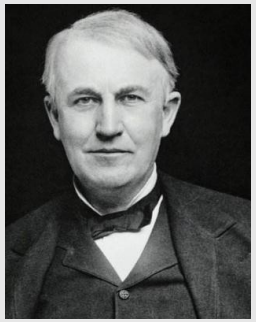


代表成果：
细菌理论
免疫学
疫苗学

脱离实际的纯数据堆砌、无目标的重复实验

爱迪生模式

无理论突破，仅将现有规律转化为技术（求用）



企业家 发明家

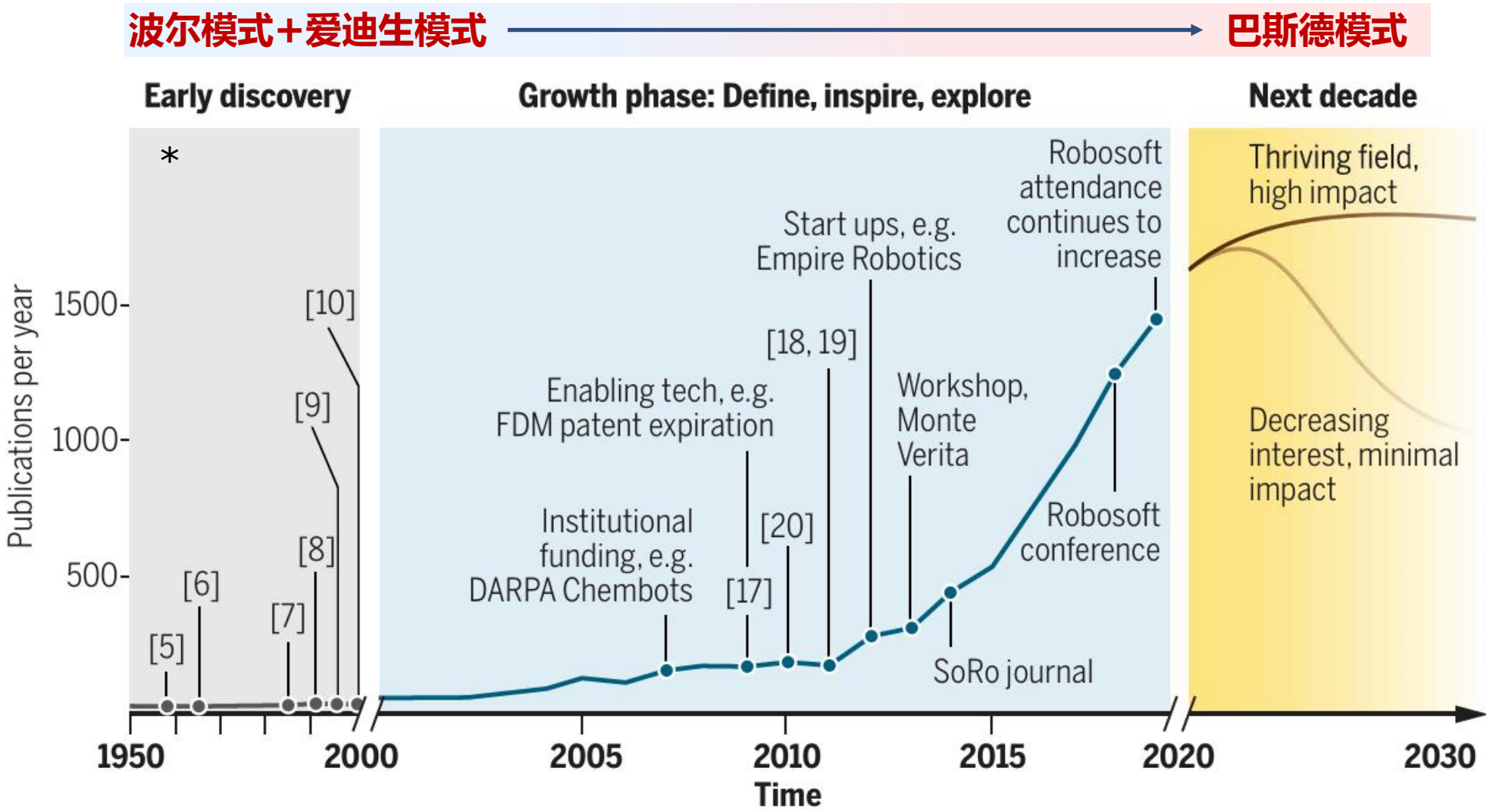
代表成果：

X射线透射
镍铁碱性电池
留声机

以实用为目的
工科

以软体机器人发展为例：分析目标导向的可行性

- 巴斯德象限 = 应用需求驱动 + 基础规律探索（求真 + 求用）

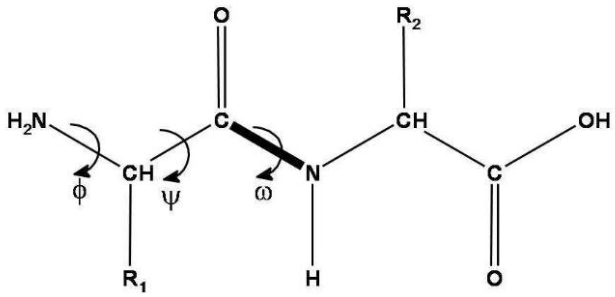


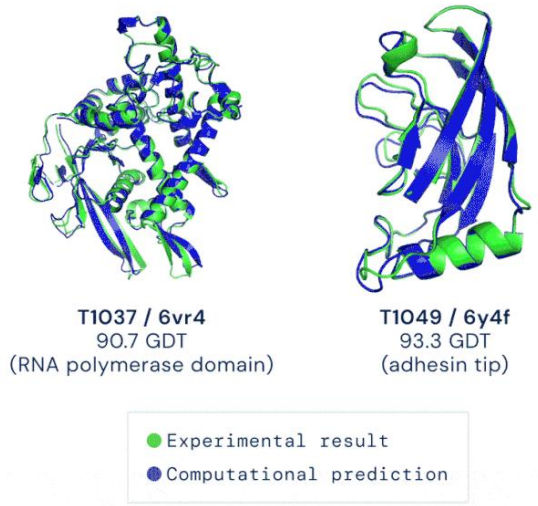
[*]Elliot W. Hawkes et al. ,Hard questions for soft robotics.Sci. Robot.(2021).

搞AI4S为什么也要先理解如何做科学：以AlphaFold为例

蛋白质输入网络的形式依靠科学先验

从原子到空间关系：将蛋白质结构视为一个**空间图**

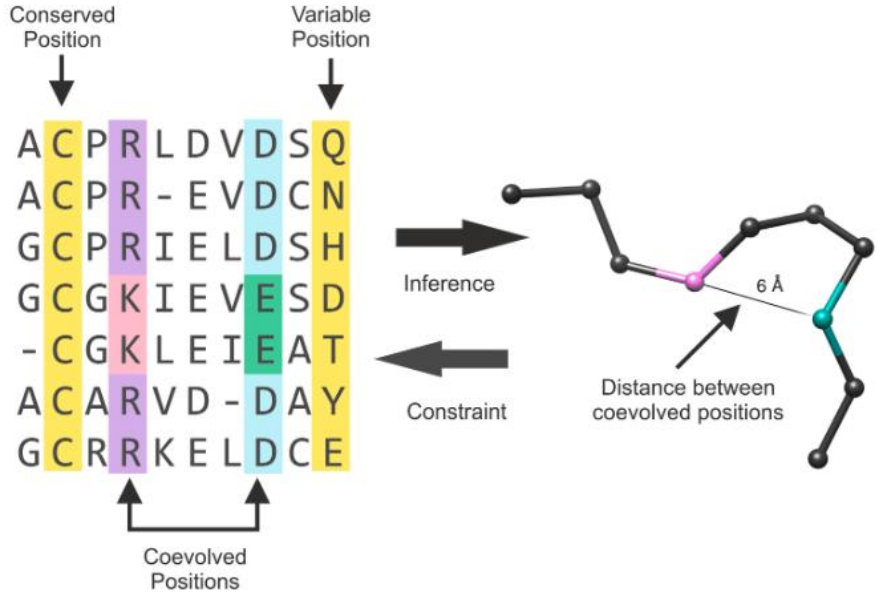




如果不理解蛋白质折叠的本质科学，
将根本无法把数据输入到网络中

进化信息科学原理作为先验知识

科学原理先验：在进化过程中，**紧邻**氨基酸
其中一个**突变**，另一个很可能**协同突变**。



Evoformer模块：学习**氨基酸对**在进化上的**关联**
可推断出它们的空间距离
把**进化实验的科学原理**作为**先验知识**放到模型中

如果Alphafold没有原理设计的**Evoformer模块**
性能会显著下降，训练会极其困难

不理解科学就无法高效使用AI

一、 必要性：了解科学是一种探索性文化

二、 核心分享：从历史发展看科学的文化属性

三、 总结：科学文化能带给哪些我们具体指导

科学教育的缺乏：不了解科学是一种独特的文化现象



张双南：在中国古代没有产生科学，四大发明只是技术，因为我们并不了解科学，我们的科学教育是没有科学的教育。



饶毅：对真理和自然的态度，才是中国未来最大的挑战。中国传统在科学方面不如西方，但我们并非愚蠢的民族，而是我们的智力主要没用于自然科学。



科学文化源于对人类大脑构建虚拟物体的能力

人类具有解释世界的本能

虚构思维



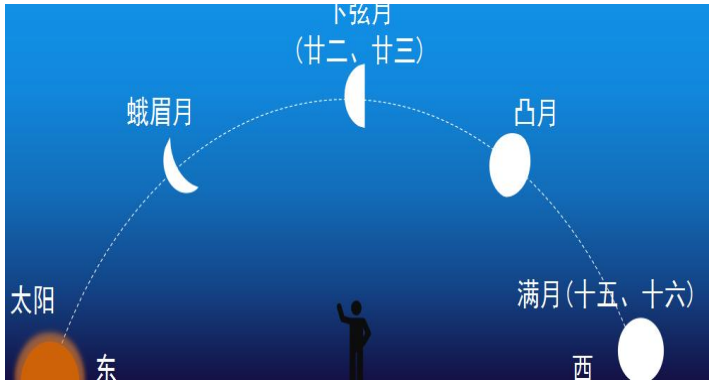




假设-想象-建构

经验事实的抽象

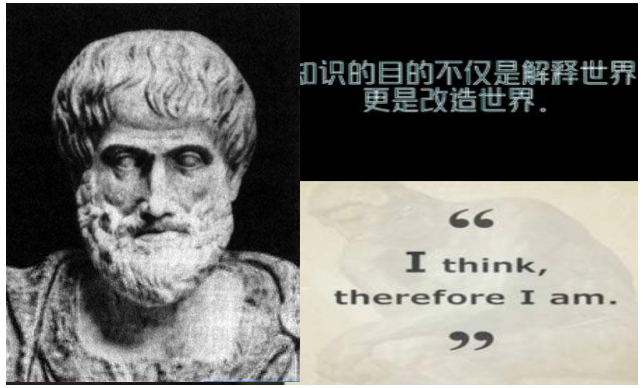
因果思维

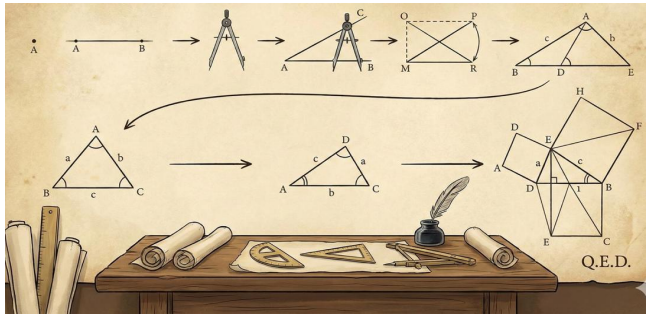




追溯-联系-解释

演绎思维



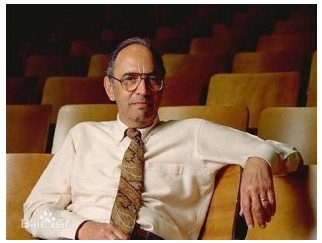


从一般到特殊

理论：公理假设、 演绎推理

研究范式

“研究范式”



——科学哲学家 **托马斯•库恩**

《**科学革命的结构**》(1962)

paradigm (范式) = philosophy (理念) + methods (方法)

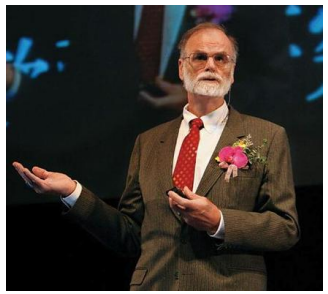
“科学研究的第四类范式”

古希腊科学(几千年前)-描述自然现象

理论科学(几百年前)-使用模型与归纳法

计算科学(几十年前)-模拟复杂现象

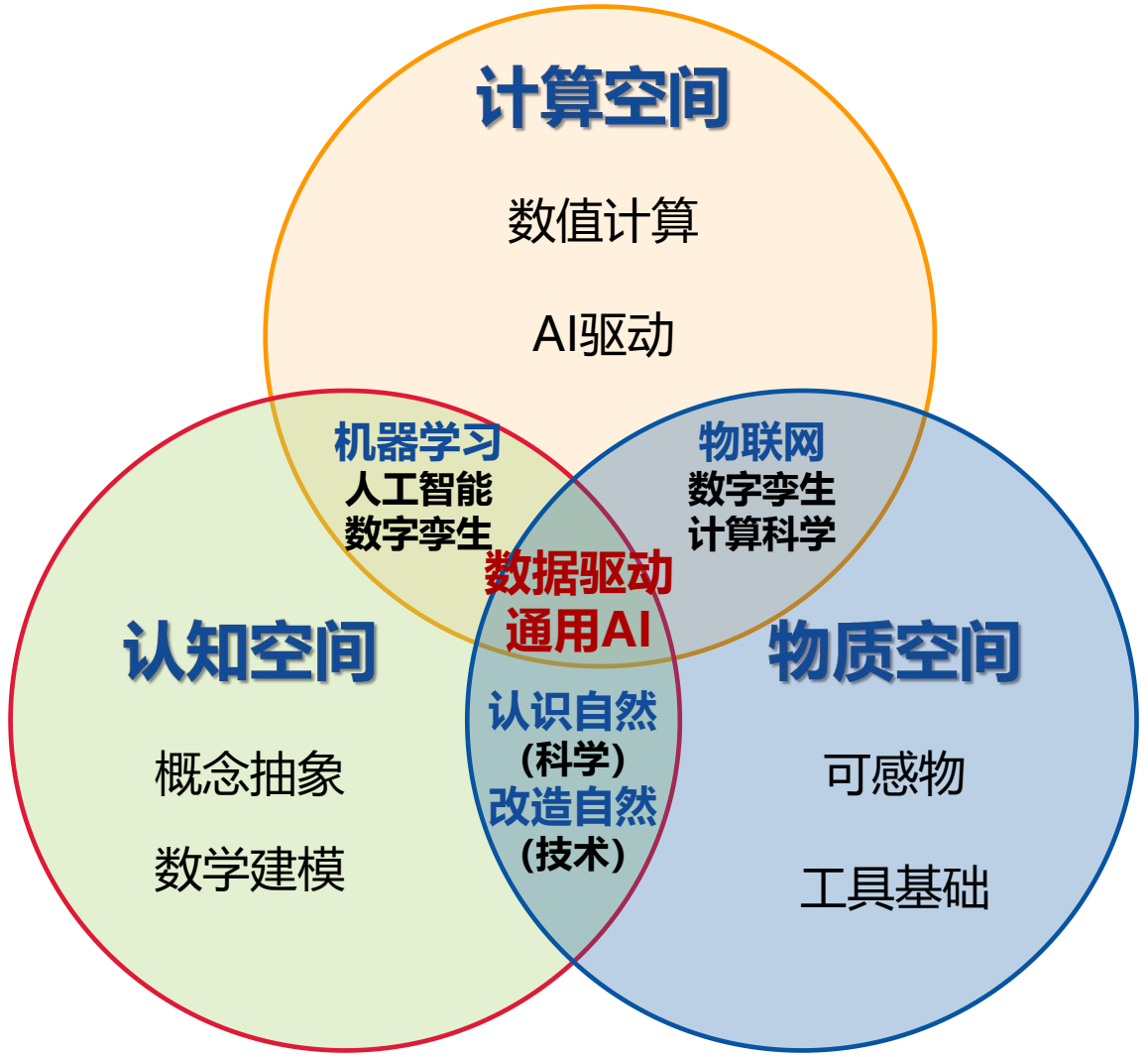
数据驱动(今天)-统一于理论、实验和模拟



——图灵奖得主,关系型数据库的鼻祖 **Jim Gray**

《**科学研究的第四类范式**》(NRC-CSTB, 2007)

“计算-物质-认知”科学范式图景



(郑雄飞根据美国国家标准与技术研究院修改)

【范式一】贯穿西哲史的柏拉图和笛卡尔主义：科学是如何脱胎于哲学的

古希腊科学认识论：模型思维

可靠的知识不依赖于易变的感官，而源于人类内在的理性或先验的理念。



柏拉图：洞穴幻影

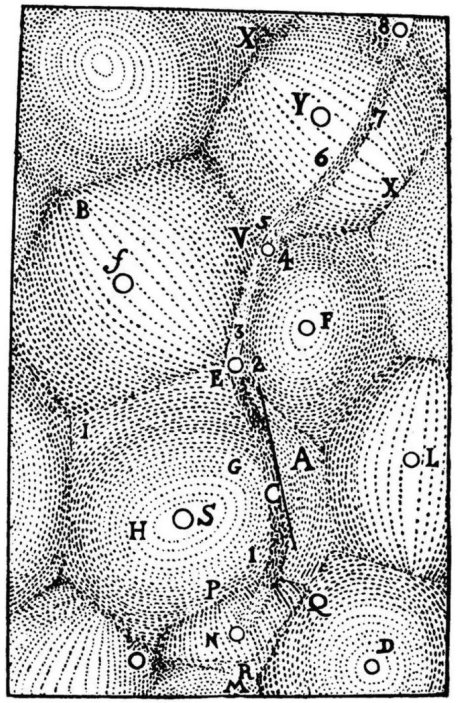
可知世界VS可感世界

感官世界如“洞穴幻影”，是扭曲的摹本，无法提供真知

最高“善”的理念逐步向下推理，理解世界为何如此



笛卡尔



笛卡尔宇宙漩涡模型

审视自己的先验，用模型描述世界

像解几何题一样，从清晰自明的第一原理出发，演绎出整个自然知识。

柏拉图和笛卡尔都是强调数学去推演世界图像

【范式一】古希腊亚里士多德

公理假设—四因说：质料因、形式因、动力因、目的因

演绎推理—三段论演绎：大前提、小前提、结论

运用归纳出的原理，通过逻辑三段论进行推理，并用“四因说”对事物为何存在、变化做出全面解释。

实验验证—

反对柏拉图的“两个世界”认为真正的实在是“实体”

基于第一手资料系统性观察与收集：他解剖过至少50种动物（如章鱼、胚胎鸡），指出鲸鱼是胎生而非卵生，并纠正了“苍蝇有八条腿”等流行错误。将动物按“有无血液”分为两大类——实证精神的古典雏形（实事求是）



柏拉图与亚里士多德

科学范式更替阻力为什么主要受制于人的观念而不是实验结果?

- **一个错误认知:**

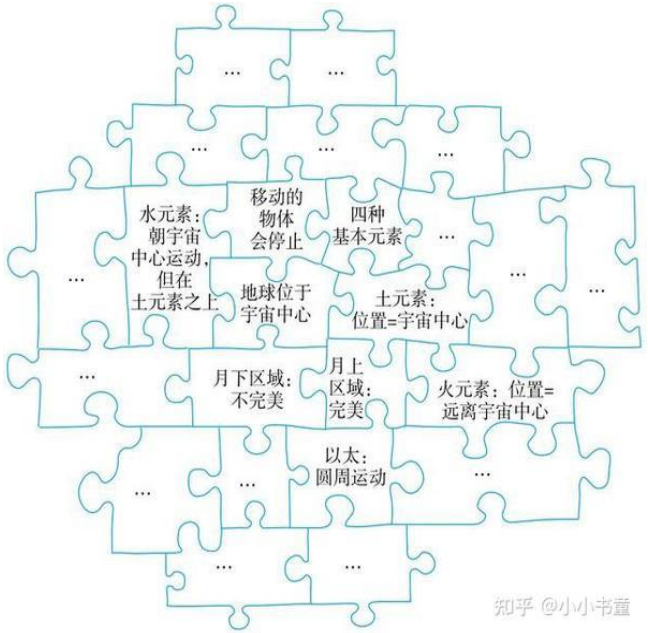
  积累了事实，科学是要提供正确理论来解释事实

- **什么是事实？概念必有前提**

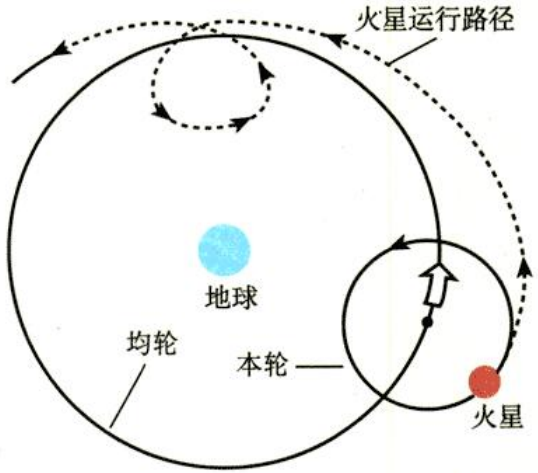
  经验事实与概念性事实

- **亚里士多德和牛顿世界观**

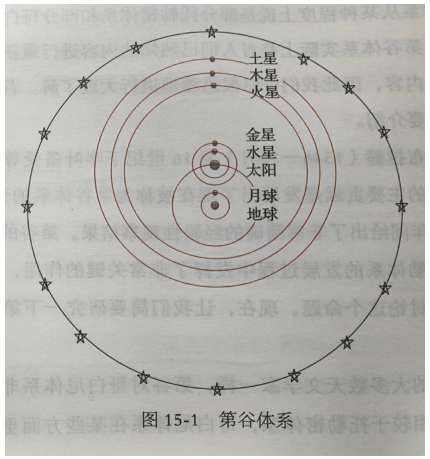
  核心假设不同



书籍-《世界观》

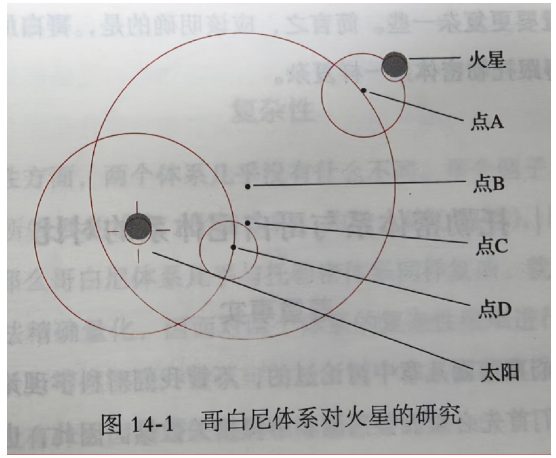


托勒密（90-168）

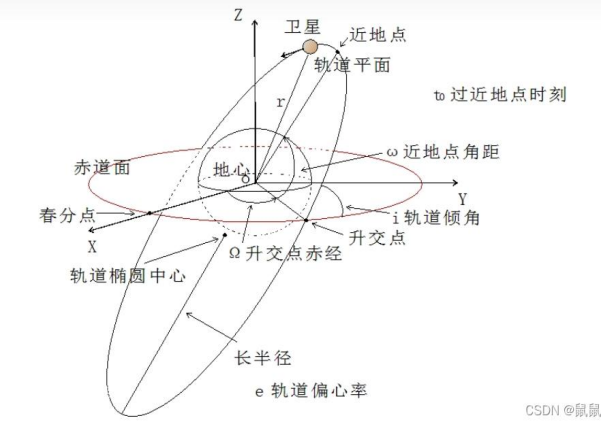


第谷（1546-1601）

地心说



哥白尼（1473-1543）



开普勒（1572-1630）

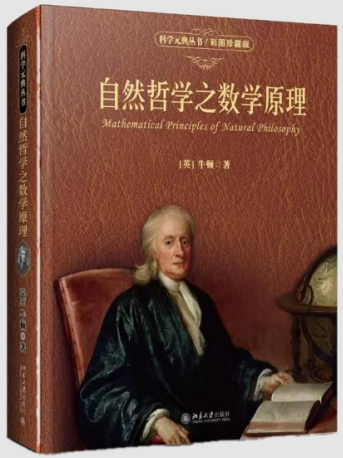
日心说

【范式二】牛顿开创的机械世界观：文化背景和技术发明是如何催产理论科学的



随着望远镜和精密时钟等测量仪器的出现，1604年伽利略通过斜面实验确立了"自然可量化"的科学信念，为牛顿建立普适力学定律提供了"假设-实验-验证"的方法论。

技术进步：工具延伸科学认知



牛顿受"上帝创造宇宙秩序"思想启发，但转向"用数学描述自然规律"，1687年《自然哲学的数学原理》初版，从"解释神意"转向"发现规律"，奠定了科学理性认知基石。

哲学追问：神意秩序到自然理性



1660年皇家学会成立，1672年牛顿当选会员，构建范式交流平台，1752年皇家学会理事会通过决议，建立"同行评议+可重复性验证"制度规范，完成"前科学→常规科学"范式确立

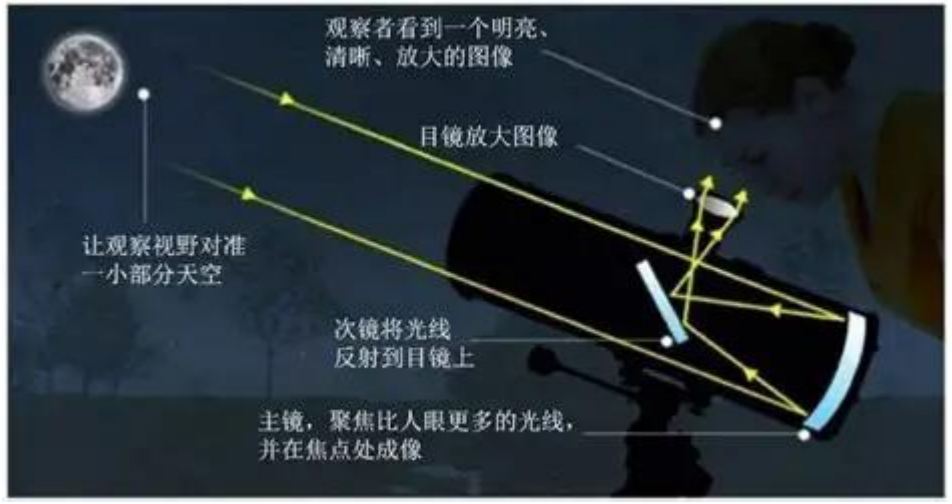
制度形成：科学共同体的范式凝聚

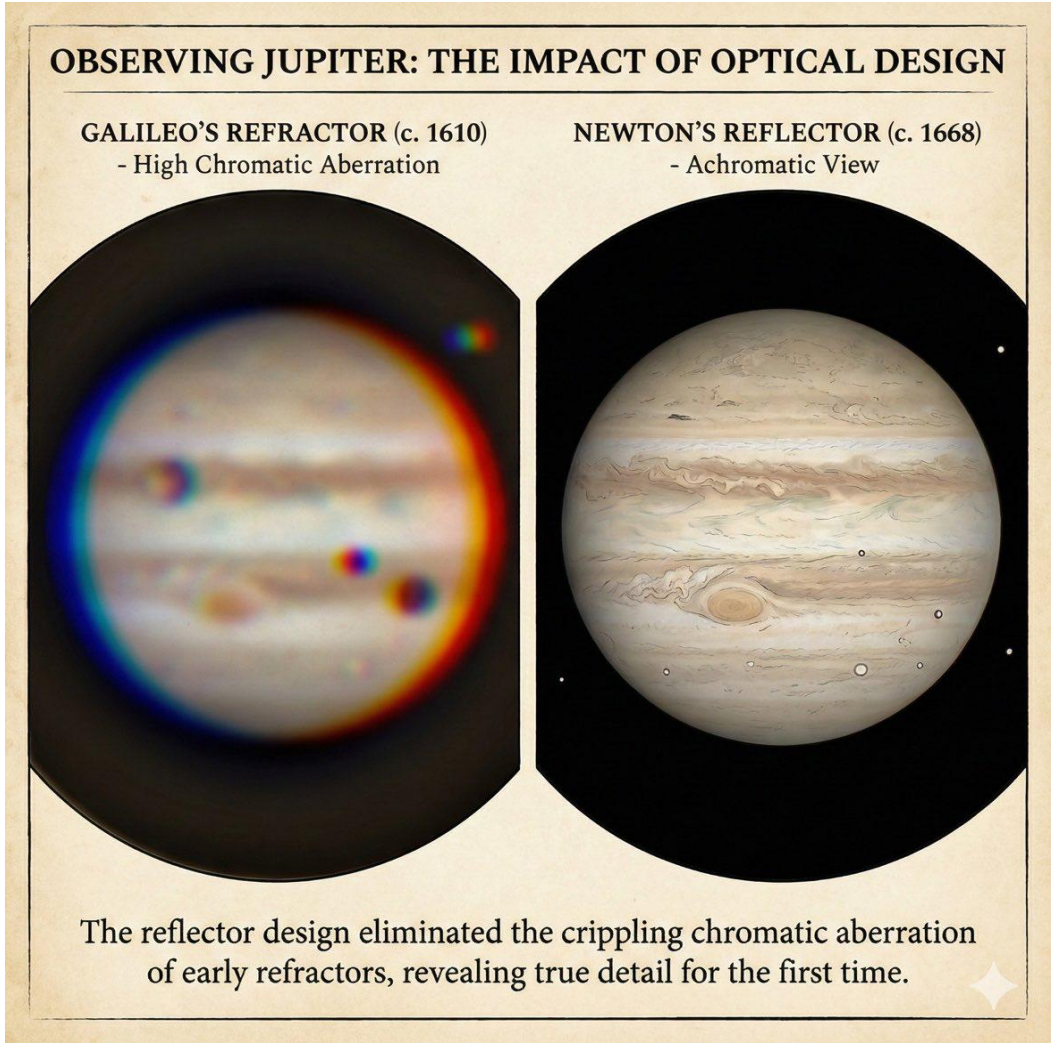
引发科学革命催产理论科学

理论科学范式：牛顿力学宇宙机械图景

牛顿：绝对时空观、发明反射式望远镜

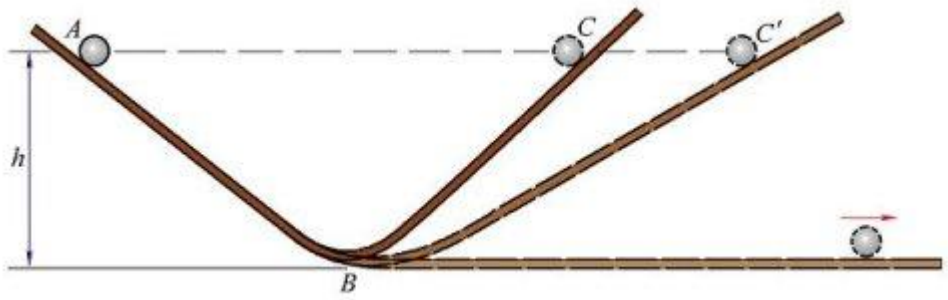




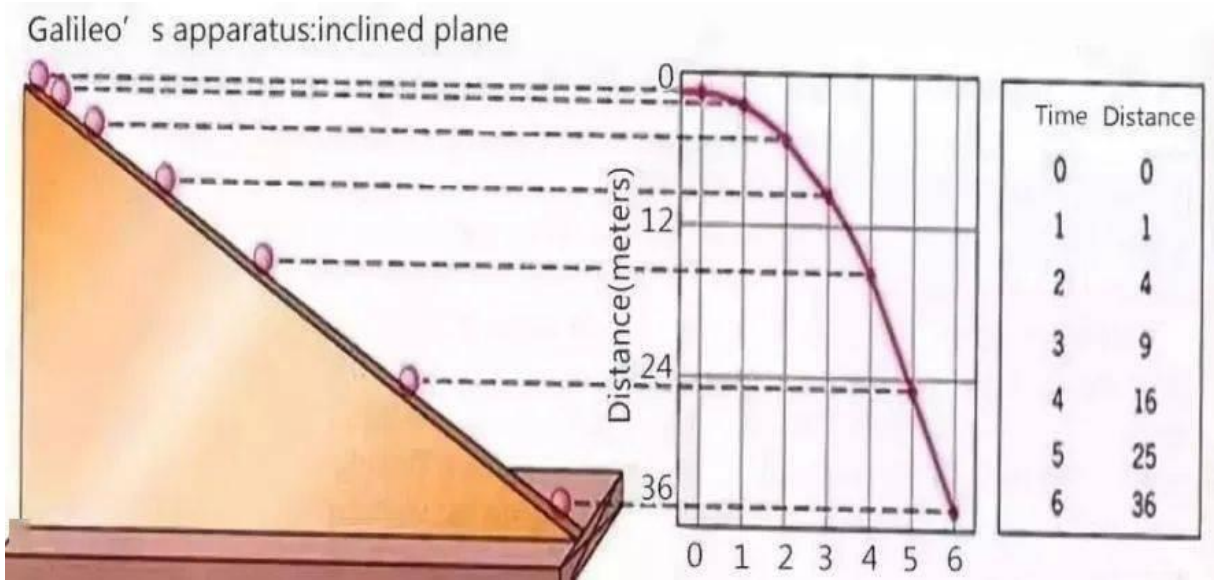


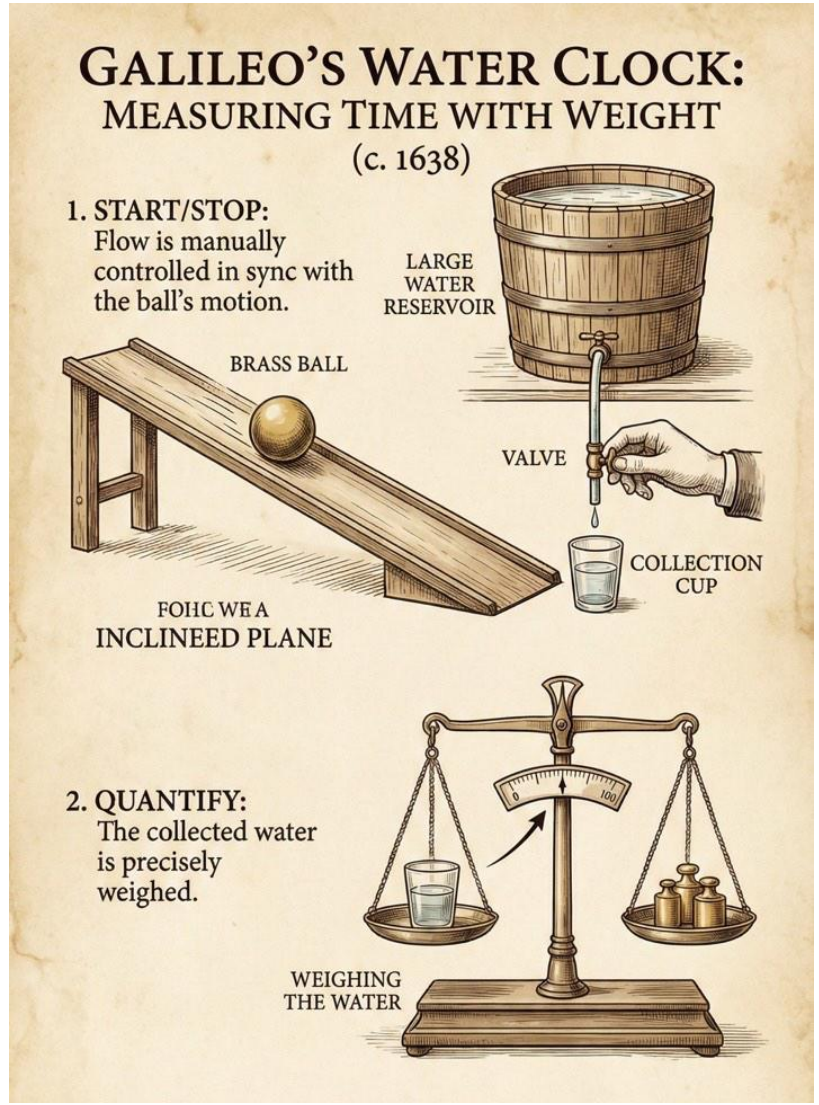
伽利略的研究方法：惯性运动思想实验 & 均加速运动测量

斜面实验：惯性定律（一种猜测-文化性）



斜面下落：均加速运动





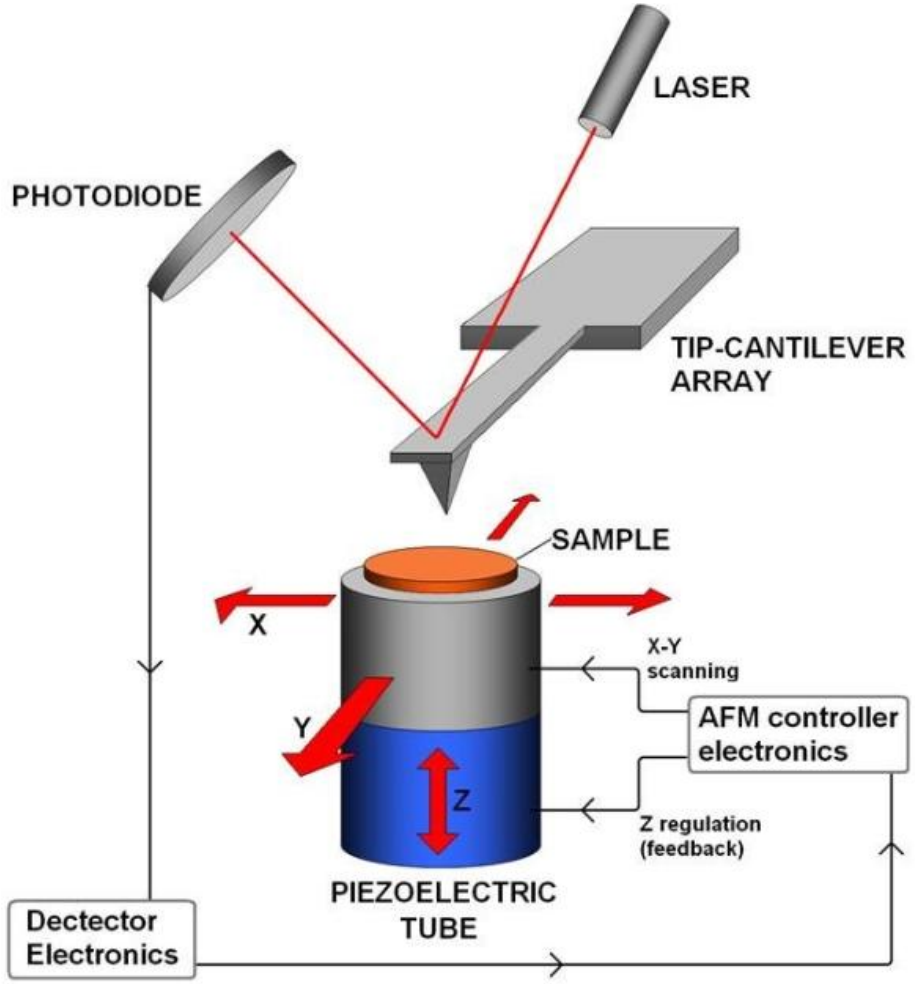
现代测量方法的理论假设

以AFM为例：测量的前提是概念的建立

经典力学框架下
通过检测针尖-样品间作用力重构表面形貌

量子力学框架下
“形貌”概念本身是否适用——存疑

范式决定可见之物



AFM并非“直接看见”表面，而是将物理信号通过理论模型转化为图像，更换理论模型，同一组数据会生成不同的“图像”，“图像”并非经验事实，而是模型选择的产物。

热力学发展体现了观念的演化：热是一种物质?

人类花了很长时间才建立热量与温度的概念：

在18世纪，为什么当时最聪明的一些人坚持认为热是一种物质?

热质说—热质是看不见、没有重量的流体，不能消灭，只能从一个物体流向另一个物体。



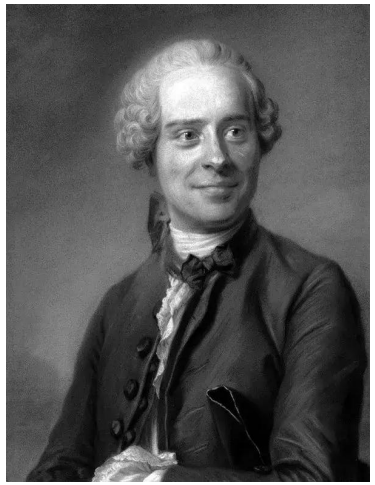
拉瓦锡(1743-1794)

热质是一种化学元素



卡诺(1796-1832)

热是不可毁灭的流体



拉普拉斯(1749-1827)

通过热质学修正声速



傅里叶(1772-1837)

热是不可压缩的流体

卡诺循环 $\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H}$

傅里叶热传导定律 $\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T$

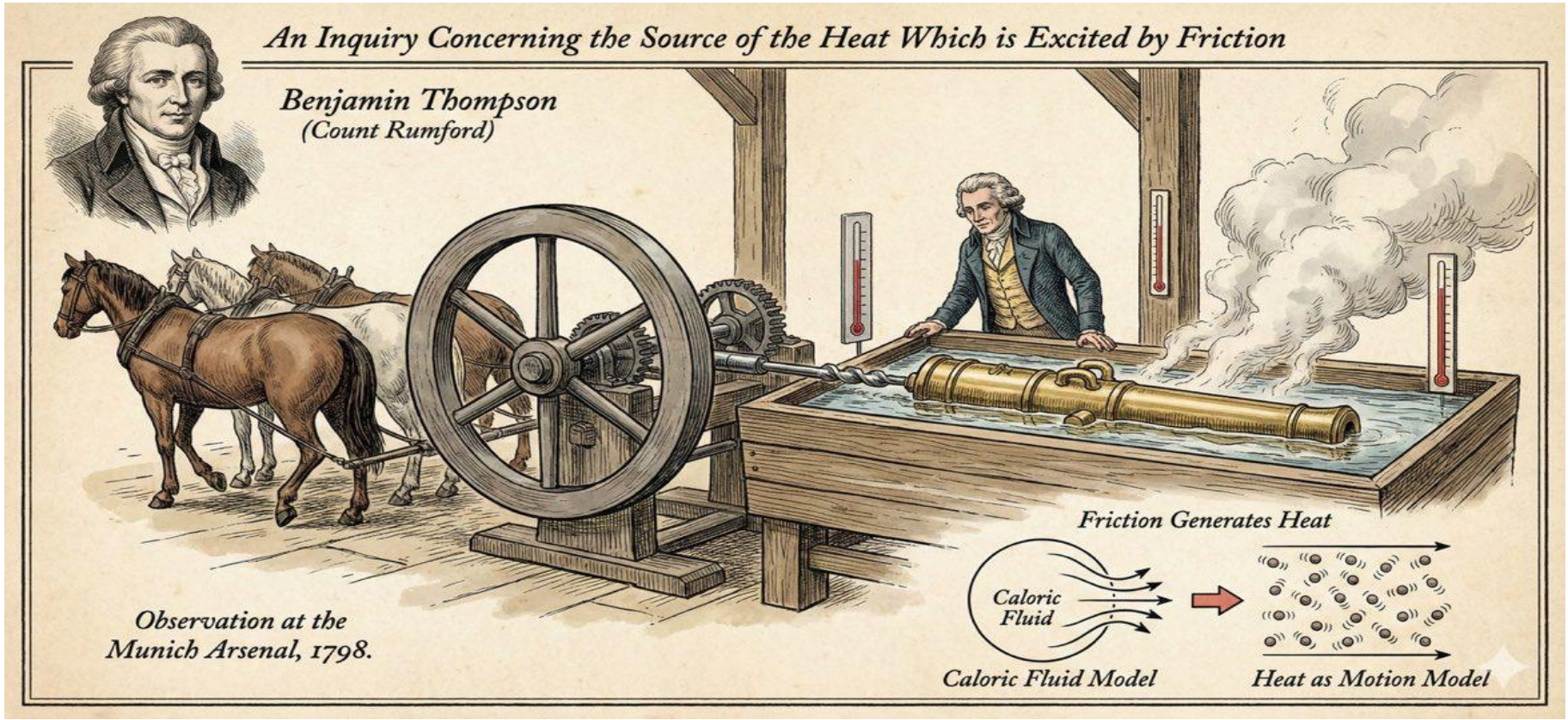
热是一种物质

热力学发展体现了观念的演化：热是一种能量?

热质学认为热质是有限的，摩擦生热是因为摩擦挤出了部分热质使我们感觉到热

1798年，汤普森在兵工厂观察加工炮筒的过程时提出疑问：为什么有限的热质能通过摩擦产生无限的热量?

1840年，焦耳通过多种实验证明了消耗的功与产生的热之间存在严格、恒定的比例关系。

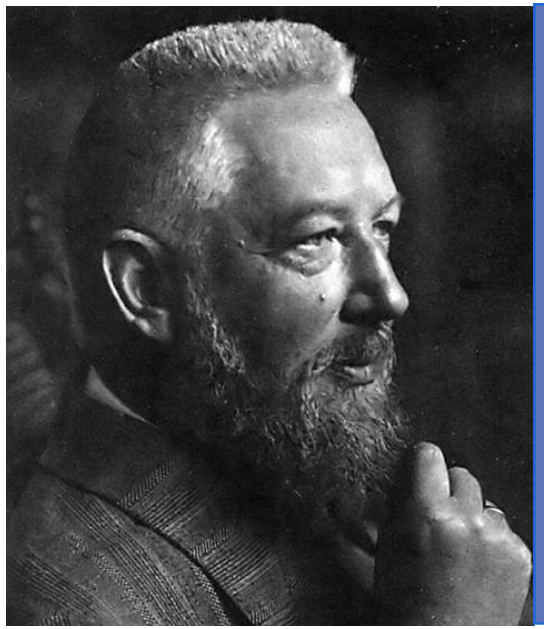


热是一种能量

热力学的发展体现了观念变化：热的本质是“物质运动”？

热的本质的路线之争：

- 1895年，吕贝克会议上，奥斯特瓦尔德为首的唯能论开始对波尔茨曼的原子论发起猛烈抨击
- 1904年，爱因斯坦发表布朗运动论文，指出悬浮微粒的无规则运动是分子碰撞的明证
- 1906年，长期不被主流认可的波尔茨曼饱受抑郁折磨，选择自杀身亡
- 1908年，法国物理学家让·佩兰通过实验直接证明分子的存在，奥斯特瓦尔德终于承认原子论假说



奥斯特瓦尔德
诺贝尔奖化学奖得主

唯能论

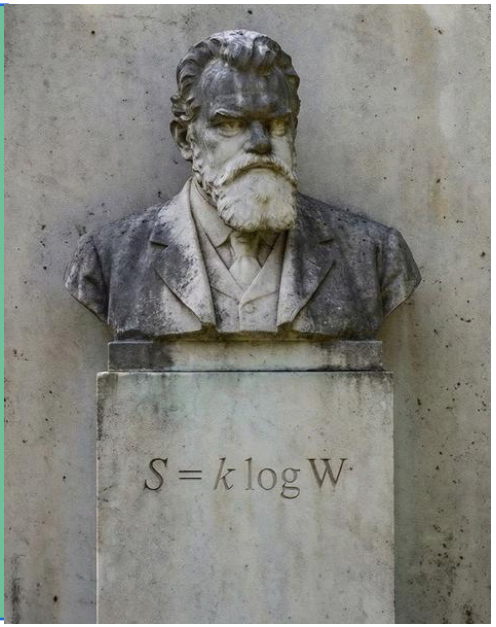
彻底抛弃“原子”和“物质”

物理化学现象都是能量转化

原子论

笃信世界是由分子和原子构成

热的本质是分子无规则的运动

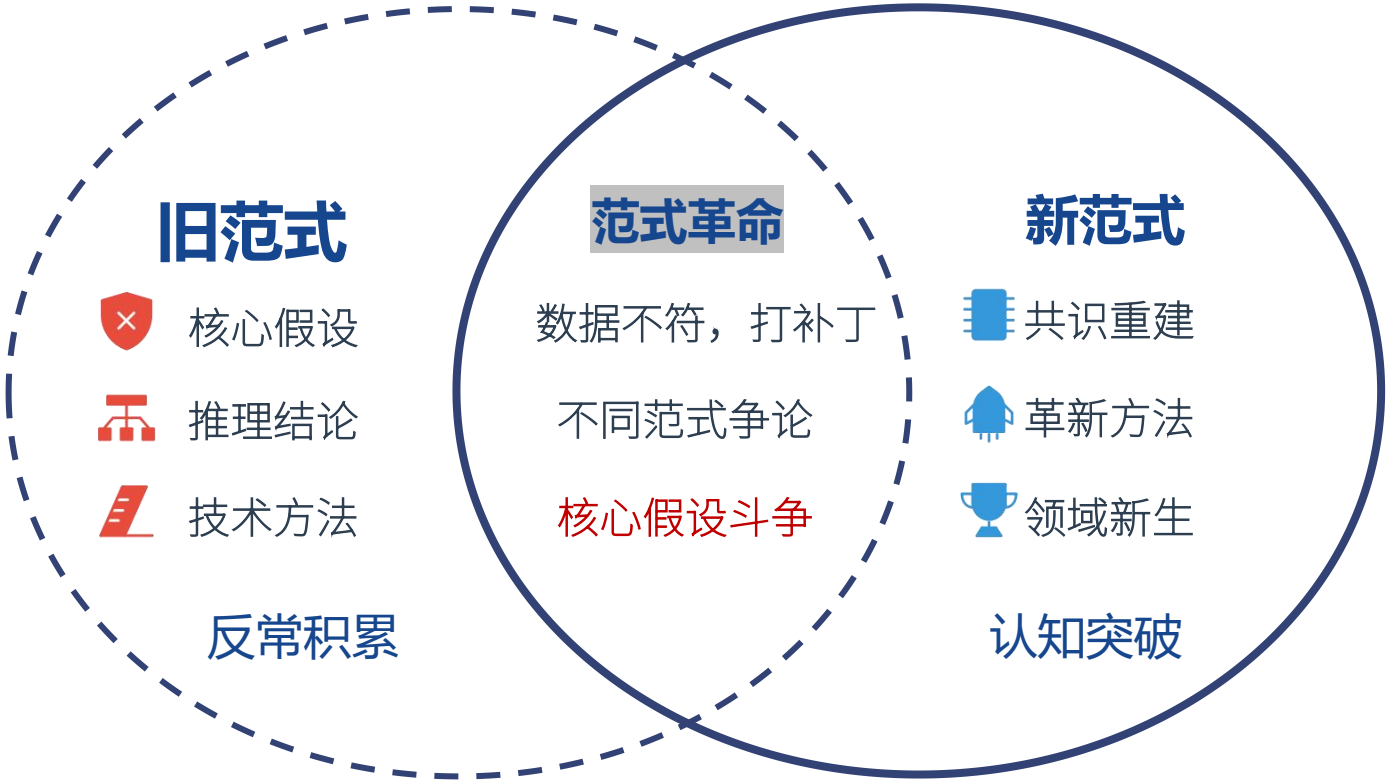


玻尔兹曼
熵概念发明人

热产生的微观本质是因为物质运动

科学革命：范式的变迁

科学范式的演进



成熟科学范式的特点：具备可实证的有限变量，

- 结论可通过实验 / 观测重复验证
- 聚焦核心变量族，简化问题复杂度
- 汇聚范式内成果，形成逻辑自洽的知识体系

科学不是真理

任何科学认识都必然会接受不断地实证检验，或证实，或证伪

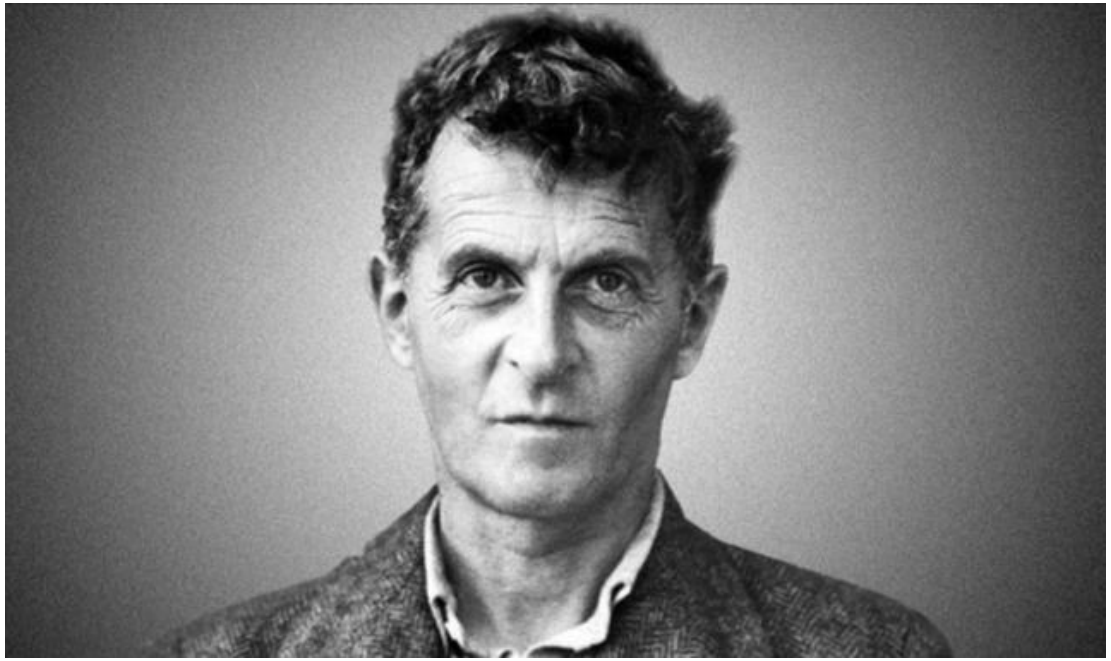
范式革命=基于概念性事实的公理假设（观念更替）+推理方法及工具框架（数学保留）

科学文化体现人的主观性：概念性事实

为什么说科学仅仅是人的主观科学，远不是自然-Being（康德、维特根斯坦）认识论



康德：人只能通过先验范畴认识**现象**，
无法触及“**物自体**”。科学知识建立在
现象基础上，因此无法抵达自然本身。



维特根斯坦：**语言**的界限就是世界的界限，
科学理论只是我们描述世界的语言游戏。

两者都划定人类认识的界限，否定科学能认识绝对实在

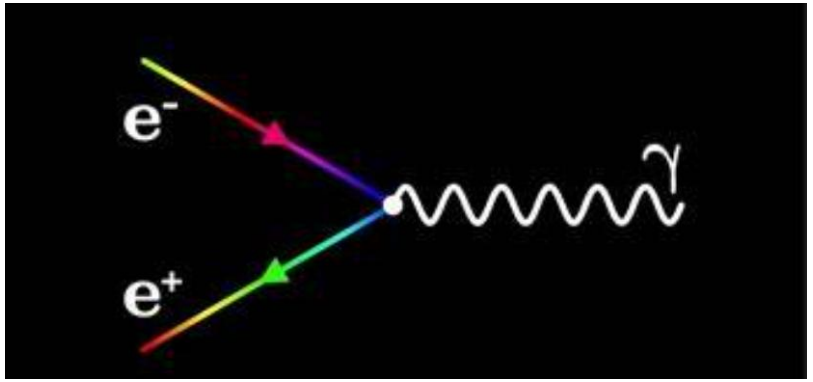
康德侧重先天认知，维特根斯坦侧重语言逻辑

科学文化体现人的主观性：间接测量的概念性事实是科学的关键

以磁场的量子场论为例



磁场相互作用通过交换虚光子来传递。虚光子本身无法被直接观测或测量，但它产生的效应（如磁矩、兰姆位移）可被精确验证。



康德：虚光子如同“自在之物”，其本身不可知，但我们通过其可观测的现象（效应）来认识它。

维特根斯坦：虚光子本身“不可说”，我们只能通过描述它所带来的可测量结果来有意义地谈论它。

两者都划定人类认识的界限，否定科学能认识绝对实在

康德侧重先天认知，维特根斯坦侧重语言逻辑

科学理论和实验测量：从“平行双轨”到“螺旋上升”

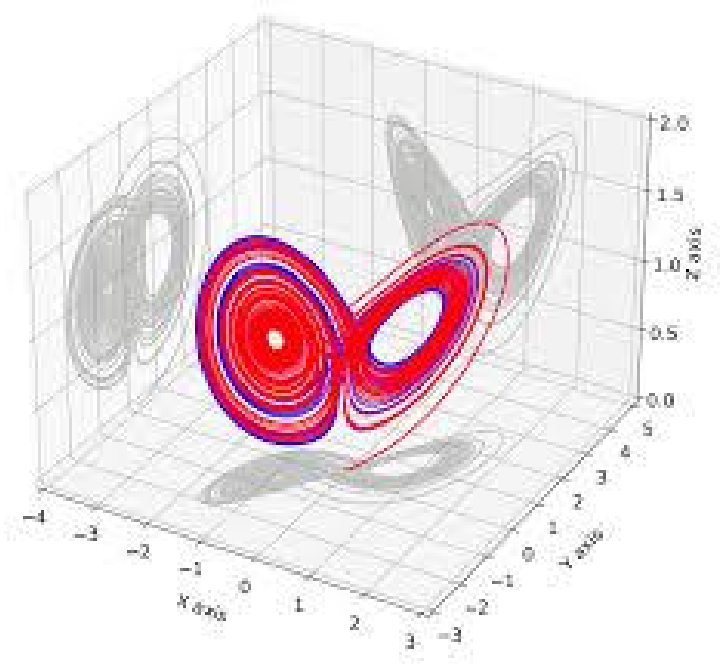
科学和技术并非天然结合，最初它们分别沿着“理性”和”思辨”各自独立发展

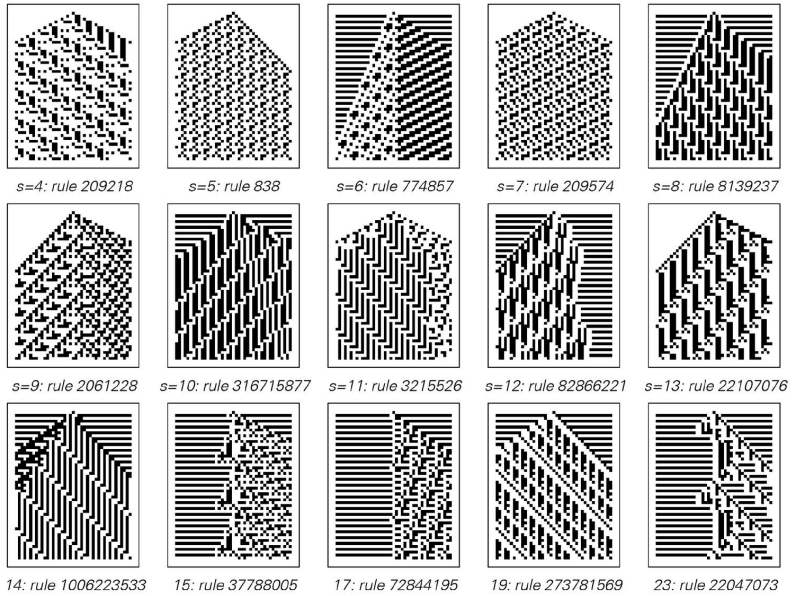
近代工业革命让技术成为科学的催化剂，现代科学理论让科学成为技术的原动力

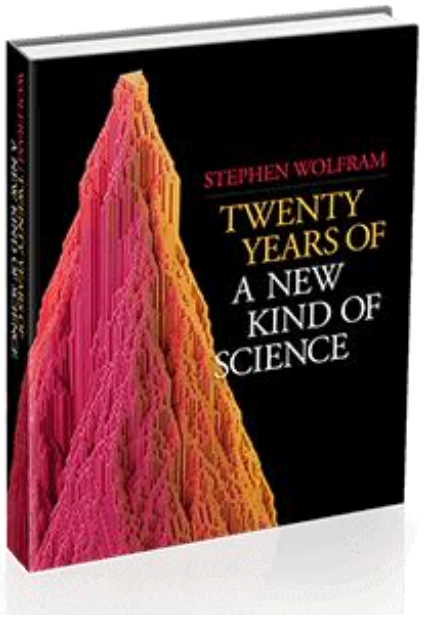
	技术对科学的影响	科学对技术的影响	特征总结
古代科学 (16世纪之前)	【弱】技术停留在生活经验	【弱】科学不能指导技术	平行线
近代科学 (17-19世纪)	【强】技术先于科学	【弱】科学解释技术	单向驱动
现代科学 (20世纪至今)	【强】技术决定科学的边界	【强】科学指导技术发展	螺旋上升

【范式三】计算科学

方程不可解析求解 → 转而用计算机模拟复杂系统







“蝴蝶效应”

混沌现象 - Edward Lorenz

“元胞自动机”

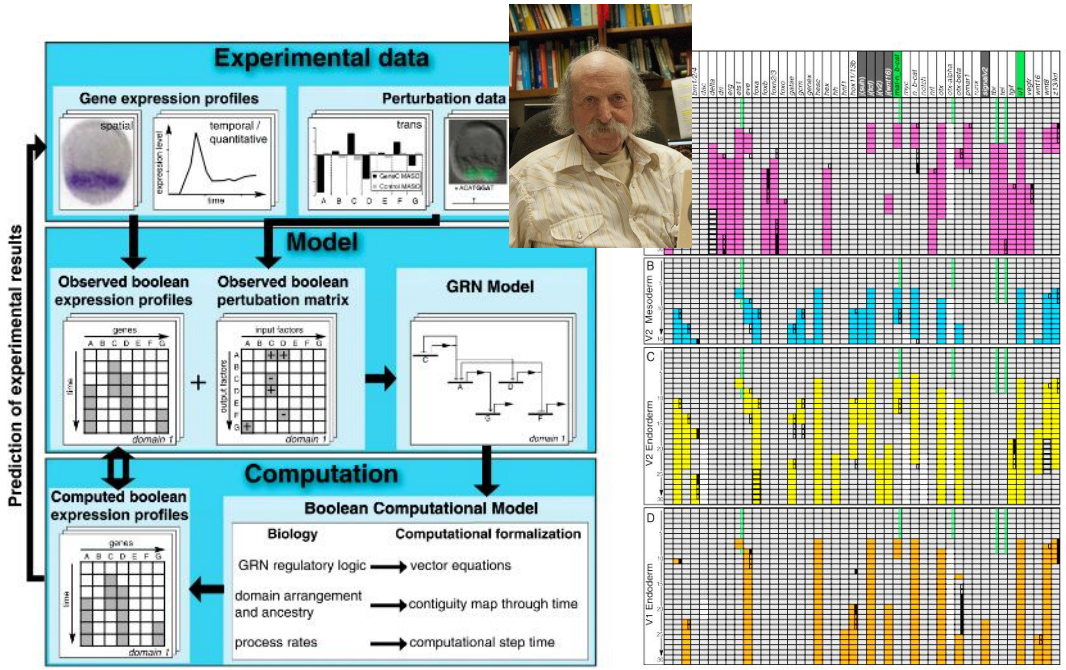
《一种新科学》 - Stephen Wolfram

Model+Algorithm → Simulation → Insight

生命系统建模——思路1：原理与数据

将目前已知的物理原理和可探明的数据进行方程化、可计算，从不同视角出发实现模拟

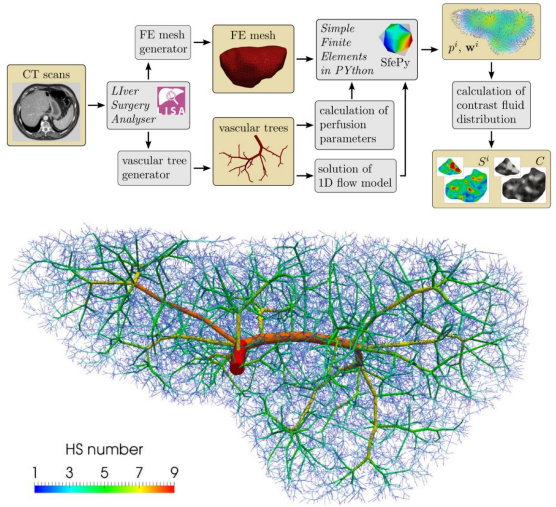
基于 **中心法则**和**基因网络**



埃里克·戴维森——基因调控网络(GRNs)模型

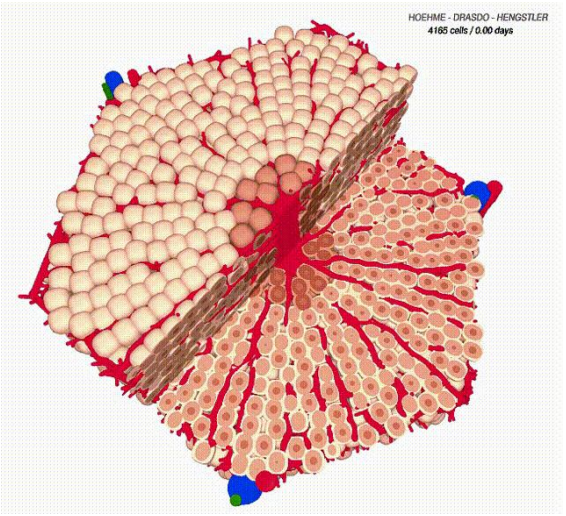
原理方程化、逻辑化；模拟与实际发育过程完全吻合

基于 **物理定律**与**几何数据**



基于扩散方程的张量计算

Mathematical Biology 2018



基于光片数据的肝小叶模型重建

PNAS 2010

有限的可数学化原理：扩散、流体、几何

不同的视角：欧拉视角 与 拉格朗日视角

利用原理，利用数据

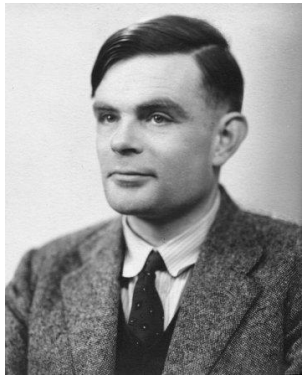
生命系统建模——思路2：建立新的规则，开展计算

制订简单的规则(如何提炼出好的概念假设，写微分方程？），
通过大量的计算，得到复杂的系统行为——发育过程中的形态发生

图灵图斑：生物学解密



千奇百怪的图斑模式



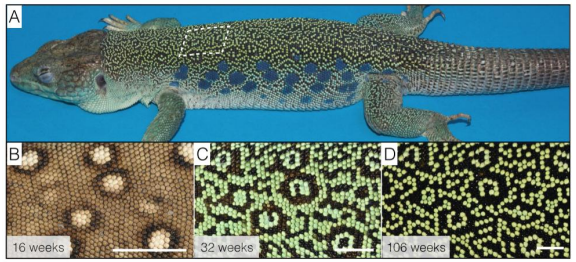
AI之父
Turing

$$\frac{\partial a}{\partial t} = d_a \nabla^2 a + F(a,b)$$
$$\frac{\partial b}{\partial t} = d_b \nabla^2 b + G(a,b)$$

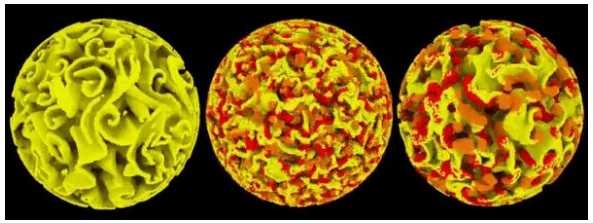
简单的一组偏微分方程

形态发生素扩散基本方程，修改2个变量即可算出各种模式
今天已经被证实符合形态发生的基本原理

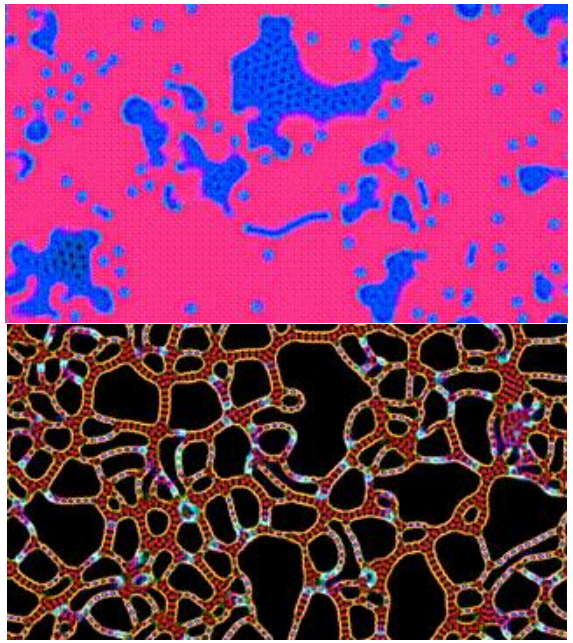
元胞自动机：从冯·诺依曼到康威



Nature Communications 2021



模拟三维空间中的系统



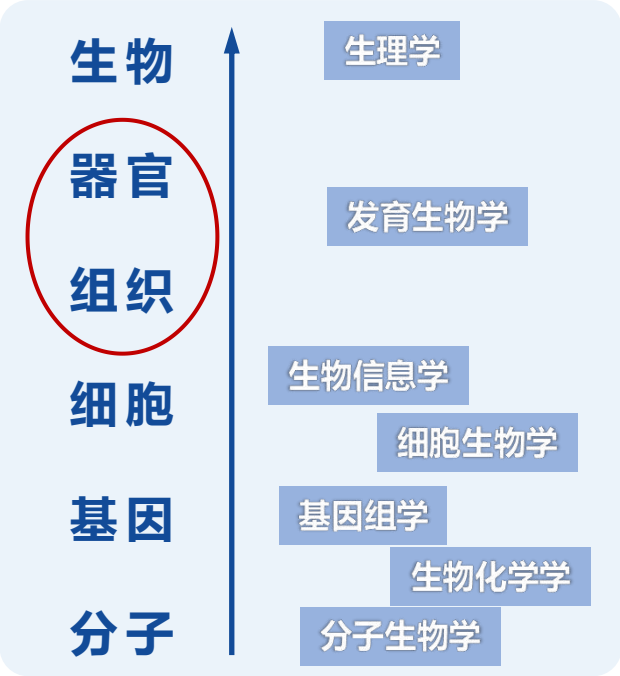
环境、信息、涌现，系统复杂性研究
是否可能启发生命系统的深层次逻辑?

Why Are There No 3-Headed Monsters?
Mathematical Modeling in Biology， 1952

产生数据，产生原理

【范式4】数据驱动+AGI

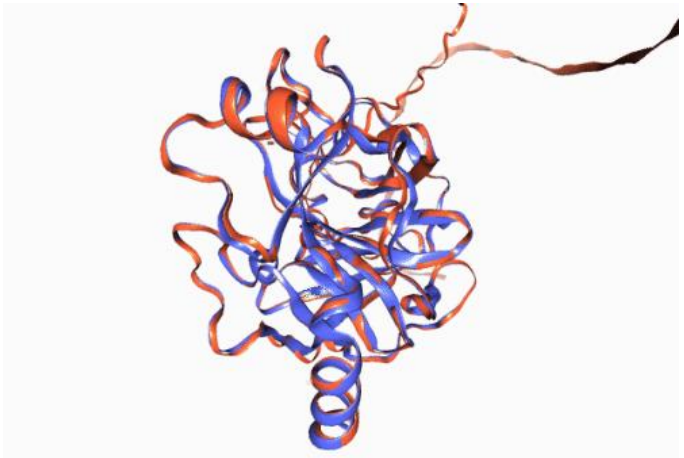
还原论知识的奠基



还原论与系统论交汇点

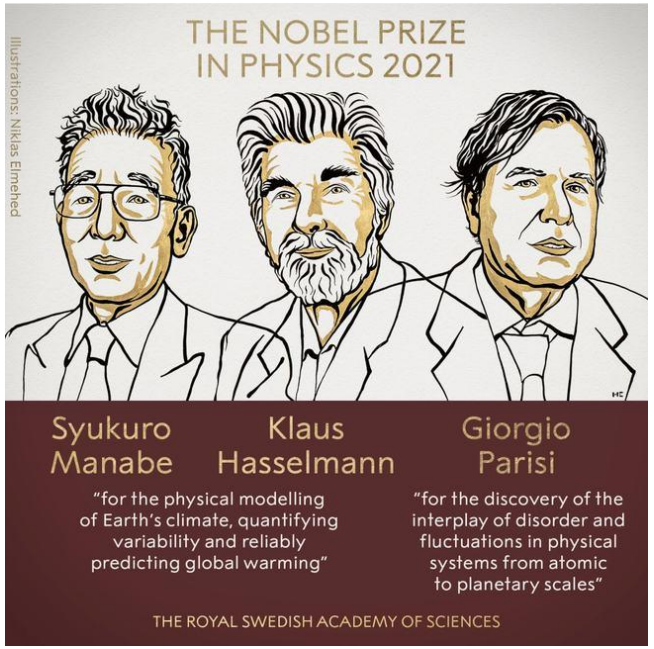
人工智能的发展

AlphaFold：AI+蛋白质物理
预测蛋白结构



帮助理解蛋白质序列
和结构之间的复杂关系

复杂系统研究的进步



无法用还原论化简规律的系统

生物系统具有“令人绝望”的复杂性。——保罗·戴维斯

对于复杂系统，我们需要探索新的观察分析手段、数学工具乃至于世界观。

一、 必要性：了解科学是一种探索性文化

二、 核心分享：从历史发展看科学的文化属性

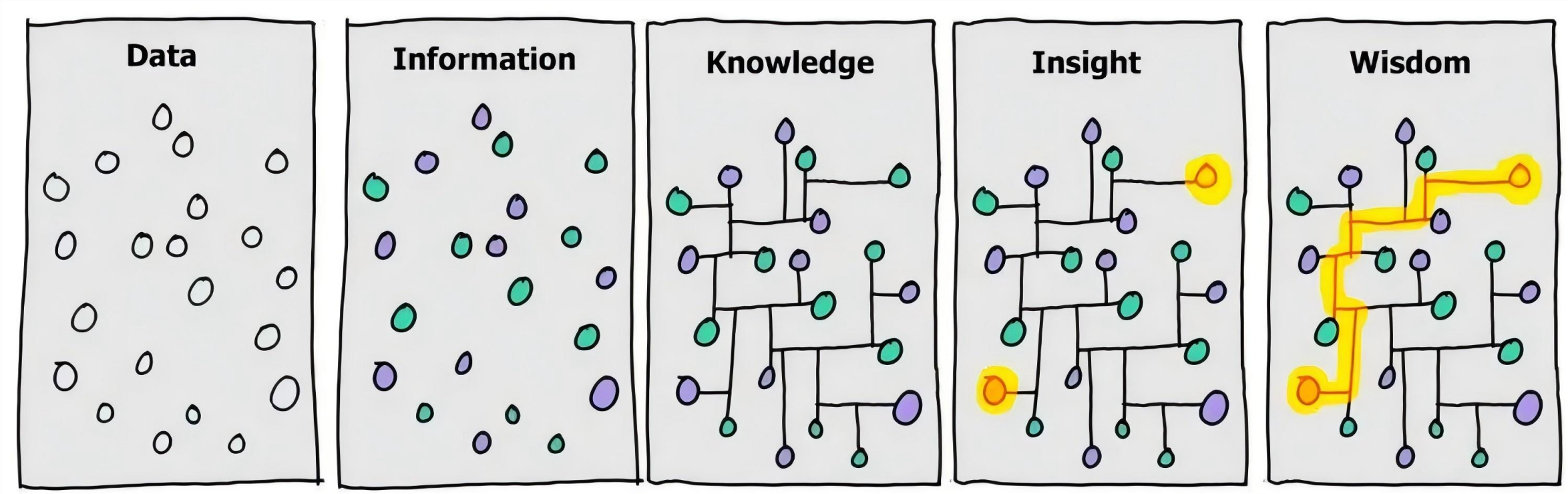
三、 总结：科学文化能带给哪些我们具体指导

从数据到洞见：寻找复杂系统的底层原理

认知升级的阶梯

- **证实或证伪**
- **要敢于提出假设**
- **形成新的理论观念**

	审视数据	抽象过程	因果分析	物理图像
论文	原始数据	数据处理	结果分析	**往往缺失**	**基本没有**



洞见是“减法”的艺术：识别出极少数的关键变量

how? → 从相关性到因果性+ 寻找“不变量” + 模型约化（奥卡姆剃刀）

【控制变量法】无法获得高质量的科学研究?

控制变量法是一种经典的科学实验方法，然而，在某些研究情境下，过度依赖或不当使用控制变量法，反而可能限制研究质量。以下是主要原因：

一、真实世界复杂性被过度简化

二、无法控制所有潜在干扰变量

三、忽略变量间的交互作用（Interaction Effects）

四、人为控制本身可能改变系统行为

五、哲学与方法论局限：还原论的陷阱

六、可重复性≠真实性



案例： “安慰剂效应”：早期药物试验仅设“用药组”和“不用药组”，未意识到心理预期是强效干预变量

启示：

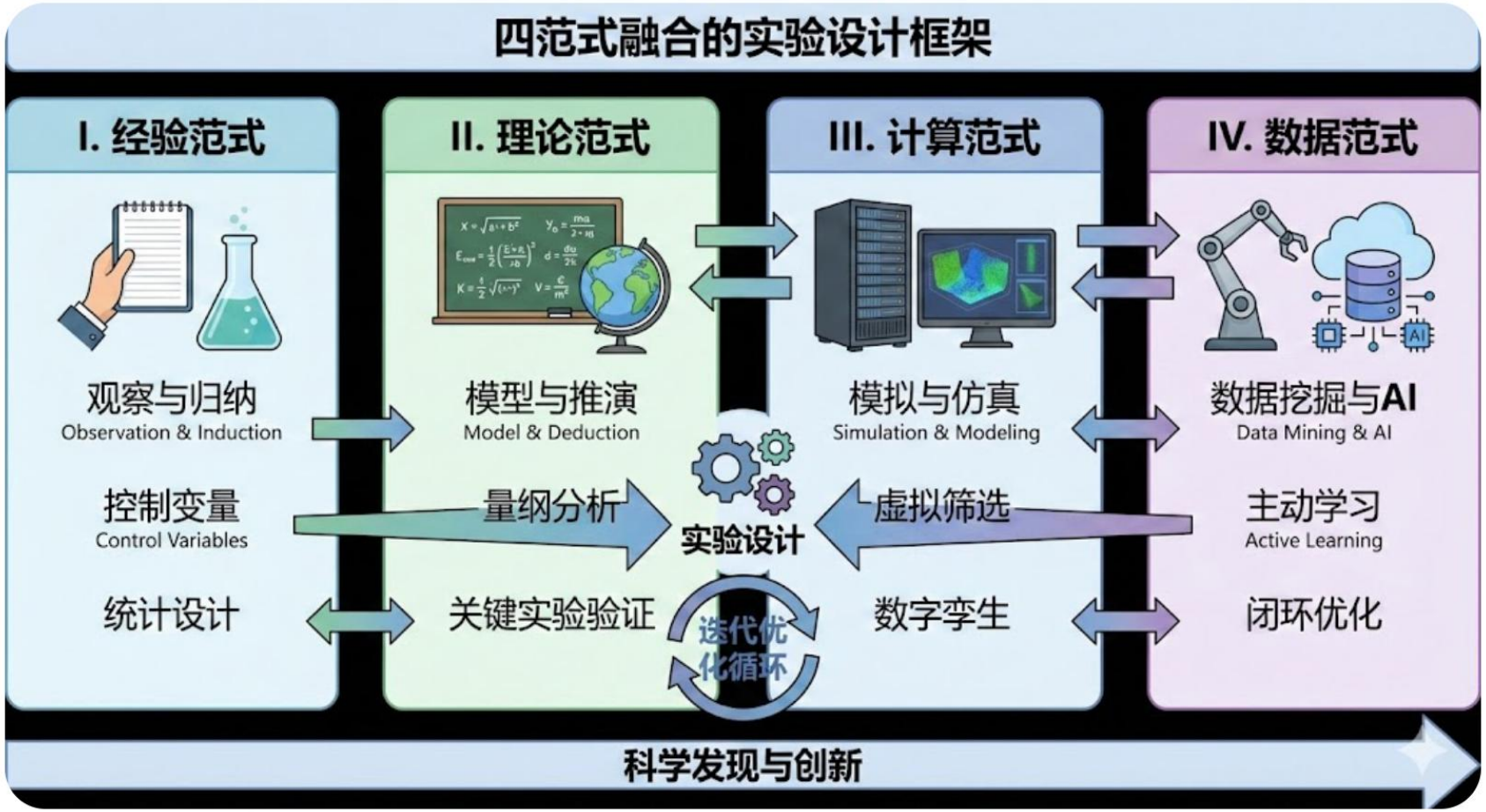
警惕“伪控制”：追问“真的所有其他条件都一样吗？”

结合多元方法：用观察、建模、等弥补控制实验的不足；

拥抱复杂性：在必要时放弃“完美控制”，转而研究变量如何在真实系统中共同作用

在四种范式融合下的【实验设计】

“实验设计”绝不仅仅是第I范式

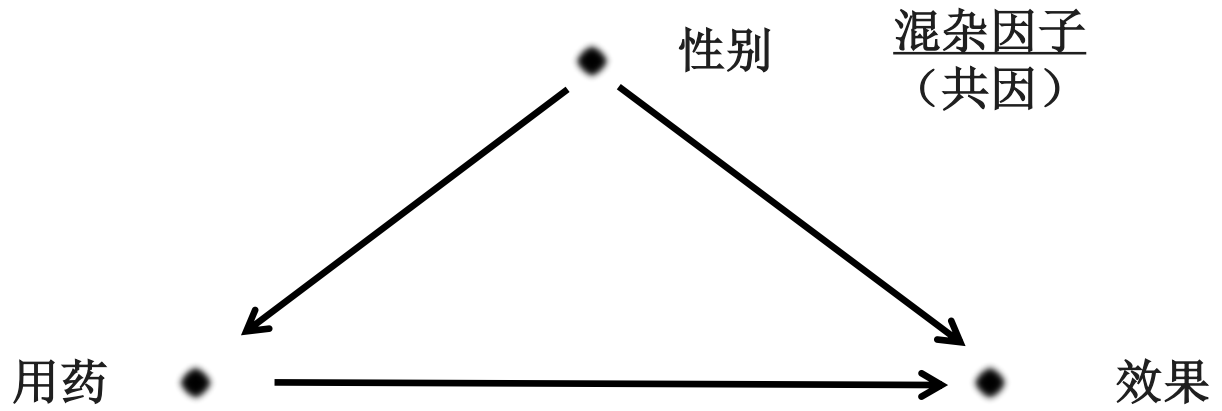


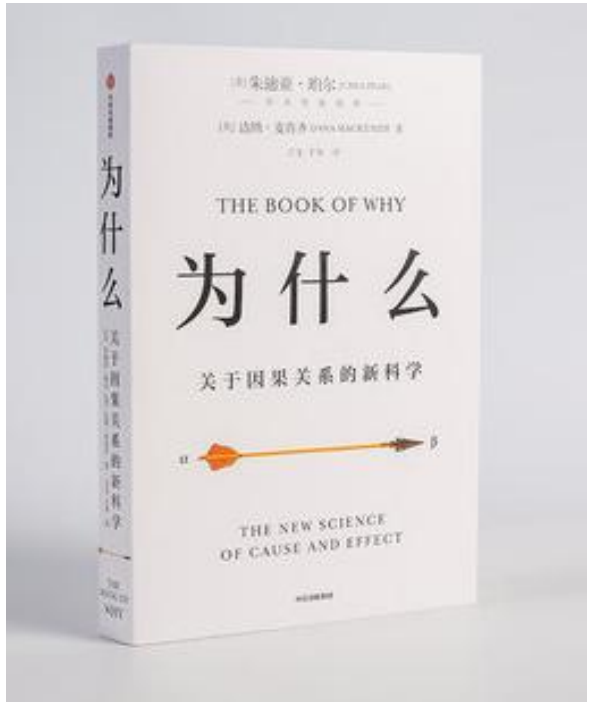
有理论概念(II)，有硅基预测(III)，有迭代循环(IV)

举例：用因果推断穿透“辛普森悖论”

真正的洞见源于减去噪声后的因果还原

分组	传统药	新药	谁更好？
男性	7.5% （3/40）	5% （1/20）	传统药
女性	40% （8/20）	30% （12/40）	传统药
总计	18% （11/60）	22% （13/60）	新药 （假结论！）





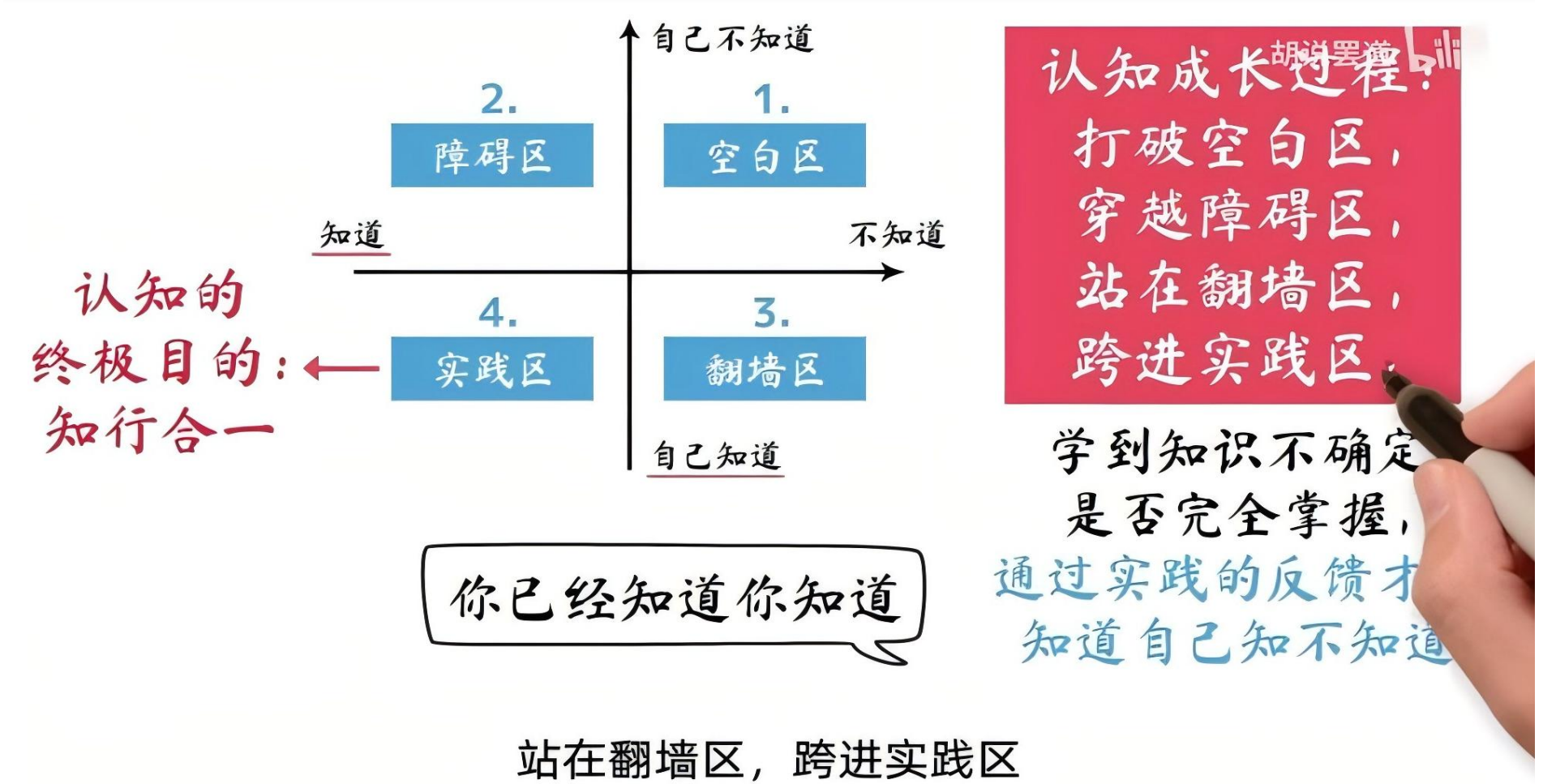
朱迪亚·珀尔

图灵奖得主，贝叶斯网络之父

方法：控制混杂因子（男女人数一致） → 减掉样本量分布不均带来的权重噪声

批判性思维：如何克服天性与审视成见？

从 “无知” 到 “知行合一”



站在翻墙区，跨进实践区

欢迎拍砖探讨！

中国科学院沈阳自动化研究所
郑雄飞 研究员
2026.1.29