

中学物理 教学理论汇编 (四)

创洁 编著



目 录

物理教学的系统论	1
系统科学的原理	1
反馈原理与教学原则	5
有序原理与教学原则	15
整体原理与教学原则	27
物理概念形成的系统论模式	38
物理教学的结构研究	60
牛顿力学的教学结构	60
高中力学结构	64
高中电学结构	70
方法—问题结构	76
物理教学的模式	115
教育模式原理	116
物理教材对应的教育模式	120
讨论模式	132
探索模式	140
掌握模式	144

物理教学的系统论

现在首先论述系统科学三原理以及由此演绎而得到的教学三原则：反馈原理及教学原则一，意义兴趣原则；有序原理及教学原则二，逐步跃迁原则；整体原理及教学原则三，结构能力原则。其次，具体地探讨了物理概念形成的系统论模式：系统关联模式、协作现象模式、数理匹配模式。然后，本书第七章中更详细地以三个实例，说明应用系统论的思想，如何在中学物理教学中实施“数理匹配”模式。

系统科学的原理

牛顿力学以牛顿第一定律（惯性定律）、牛顿第二定律（动力学方程）、牛顿第三定律（作用力与反作用力定律）作为基本原理，逻辑地演绎出经典力学体系。热力学以三个基本原理为理论基础：热力学第一定律，简单地表述为，第一种永动机不可能；热力学第二定律，简单地表述为，第二种永动机不可能；热力学第三定律，简单地表述为，达到绝对零度不可能。爱因斯坦的狭义相对论，以狭义相对性原理和光速不变原理为基础；爱因斯坦的广义相对论，以广义相对性原理和等效原理为基础。受上述科学原理的启发，作者认为把控制论、信息论、系统论、耗散结构论、协同论、超循环论作为一个整体，即统一为“系统科学”来研究，其基本原理是：反馈原理、有序原理、整体原理。并首先将这三个原理

应用于教育科学。

系统科学的三原理表述如下。

一、反馈原理

肯定表述：任何系统只有通过信息反馈，才可能实现有效的控制，从而达到预期的目的。

否定表述：没有信息反馈的系统，要实现有效的控制，从而达到预期的目的是不可能的。

没有反馈的系统，要实现控制是不可能的，对于机器系统是如此，对于生物系统、社会系统也是如此。从蒸汽机、内燃机到各类电机、电器等机器系统，要保持稳定的速度、功率等状态，都有反馈装置。从人体系统看，人的体温、脉搏、呼吸等状态，都是通过神经系统的反馈实现控制的。在社会系统中，注意调查研究，贯彻“从群众中来，到群众中去”的工作方法，以及各种民意测验、社会统计等，正是不仅要发出信息，同时又要不断听取反馈信息，从而正确执行方针政策；否则，就会犯“左”或“右”的错误。在社会系统中，尤其要注意吸收前馈信息，避免引起大的损失。

二、有序原理

肯定表述：任何系统只有开放、有涨落、远离平衡态，才可能走向有序。

否定表述：没有开放、没有涨落、处于平衡态的系统，要走向有序是不可能的。

没有开放的系统，要走向有序是不可能的。对物理系统是如此，对生物系统、社会系统也是如此。任何非开放的系统，都不可能自发地从无序转变为有序，即不可能从较低级的结构转化为较高级的结构。耗散结构只可能出现在与外界有负熵流的开放系统中。对于生物系

统而言，新陈代谢是不可缺少的条件，这就表明任何生物系统必然是开放系统。对社会系统来说，要进步，要走向有序，开放系统是必不可少的条件。中国近代科学技术落后，在一定程度上与长期以来实行闭关自守的锁国政策有关。要实现现代化，对外实行开放，对内搞活经济，无疑是正确的。

三、整体原理

肯定表述：任何系统只有通过相互联系，形成整体结构，才能发挥整体功能。

否定表述：没有相互联系，没有整体结构，要使系统发挥整体功能是不可能的。

没有结构的孤立部分，要发挥整体功能是不可能的。对物理系统是如此，对生物系统、社会系统也是如此。仅仅有电阻、电容、电感这些孤立的元件，不可能显示出一个电子系统的整体功能。只有当这些元件按一定结构联系起来，才能发挥出某种整体的功能。人体有各种器官，这些器官相互联系、相互制约形成有机的整体。仅仅是孤立的器官，不可能形成一个活生生的人。没有结构的生命是不存在的。生物最基本的组成部分——细胞，也是有各种结构的。对于社会系统，在不同的社会制度下，有不同的社会结构。中国坚持改革，就是使结构发挥更大的作用，从而大大增强整体的功能。

在上述三个原理——反馈原理、有序原理、整体原理的基础上，有可能建立一个完整的理论体系。热力学是在三个限制性原理的基础上建立理论体系的。这三个限制性原理是：第一种永动机不可能（热力学第一定律）；第二种永动机不可能（热力学第二定律）；达到绝对零度不可能（热力学第三定律）。与此类似，从控制论、信息

论、系统论中也抽象出三个限制性原理：没有反馈的系统，要实现控制不可能（反馈原理）；没有开放的系统，要走向有序不可能（有序原理）；没有结构的孤立部分，要发挥整体功能不可能（整体原理）。如何由这三个限制性原理去建立系统学的体系，这需进一步研究。这三个限制性原理有一定指导意义。

四、系统科学原理的哲学基础

系统科学三原理与辩证唯物主义的三大规律是一致的。辩证唯物主义三大规律包容着系统科学三原理；系统科学三原理是辩证唯物主义三大规律的具体化与发展。

对立统一规律：自然界、社会和思维领域中的任何事物都包含着内在的矛盾性，事物内部矛盾双方又统一又斗争推动事物的发展。

反馈原理中，反馈的概念就揭示出事物内部任何两个系统之间，关于信息的内在矛盾性。A 系统对 B 系统有信息，B 系统对 A 系统也有信息，这就是反馈。简单地表为 $A \rightleftharpoons B$ 。这显然是对立统一的具体化与深化。系统对目的的偏离，通过信息反馈加以控制，这一过程充分体现事物矛盾双方又统一又斗争，以此推动系统的发展，以达到预期的目的。

因此，可以说对立统一规律包容了反馈原理；反馈原理是对立统一规律的具体化与深化。

质量互变规律：一切事物在发展过程中，量变和质变是内在联系和相互转化的。这一规律表明，事物由内部矛盾所引起的发展，是通过由量变到质变和由质变到量变的转化过程，以及通过量变和质变的循环往复不断产生新质的辩证运动来实现的。

有序原理中，有序的概念就揭示系统演化的量度。有序原理揭示出了系统进化的必要条件：开放、有涨落、远离平衡态。而系统演化则完全遵循质量互变规律。有序原理的具体内容大大丰富了质量互变规律。

因此，可以说质量互变规律包容了有序原理；有序原理是质量互变规律的具体化与深化。

否定之否定规律：一切事物自身发展的整个过程是由肯定、否定和否定之否定诸环节构成的。其中否定之否定是过程的核心，是事物自身矛盾运动的结果，矛盾的解决形式。

整体原理中，整体的概念就揭示了整体与部分的肯定、否定和否定之否定的关系。整体公式：整体—部分—整体*，这正是否定之否定的过程。“部分”是对“整体”的否定；“整体*”是对“部分”的否定之否定。整体的结构，发挥整体的功能，是系统结构自身的矛盾运动的结果。整体结构发生变化，出现新的整体结构，从而发挥新的整体功能。

因此，可以说否定之否定规律包容了整体原理；整体原理是否定之否定规律的具体化与深化。

反馈原理与教学原则

一、反馈原理的内涵

反馈原理：任何系统只有通过反馈信息，才可能实现有效的控制，从而达到目的；或者说，没有反馈信息的系统，要实现有效的控制，从而达到目的是不可能的。

1. 反馈才可能控制

一个控制系统，无论是物理系统、生物系统，还是

社会系统，其信息通道必然是一个闭合回路。既有控制部分的控制信息输入到受控部分，也有受控部分的反馈信息回送到控制部分，形成一个闭合回路。没有反馈信息的非闭合回路，不可能实现控制。控制部分正是根据反馈信息的量才能比较、纠正和调整它发出的控制信息的量，从而实现控制。控制部分和受控部分，可分别属于两个系统，也可以同在一个系统。

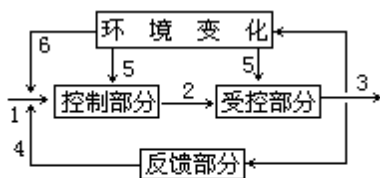


图2-1 1. 输入信息 2. 控制信息 3. 输出信息
4. 反馈信息 5. 干扰信息 6. 前馈信息

输入信息、控制信息、输出信息、反馈信息，以及环境变化引起的随机的干扰信息——这几种信息量之间存在函数关系。控制论主要从数学上去研究控制过程中信息的传递、贮存和变换的规律。

有人认为，有的系统，例如，用普通枪炮打靶，似乎第一次瞄准了，射中目标，就无需反馈信息。这有两点误解：

其一，如果内外环境有较大的变化起伏，无需反馈就射中目标是不可能的。只要考虑环境在变化，要射中目标，总是需要反馈调节的。认为无需反馈就能射中目标，这是忽略或忘记了环境的变化。

其二，有的人在环境变化的情况下，也能准确射中目标，是过去多次反馈调节积累了大量经验的结果，这也决不意味着无需反馈信息就能有效控制，达到目的。一次没有反馈就射中目标的打靶，不能否认曾经进行了接收过大量反馈信息的多次练习。

所以，从总体上说，只有通过反馈信息，才可能实现有效控制，从而达到目的。

2. 负反馈、正反馈、前馈

如果反馈信息的作用与控制信息的作用相反，则这种反馈称为负反馈。负反馈的功能是维持稳态，是可控过程。负反馈能维持系统的稳态。但是由于信息的传递总是需要一定的时间，信息不可能以无限大的速度传递，所以反馈信息总要滞后一段时间才能纠正偏差，不仅有滞后，而且容易矫枉过正，产生波动。

环境变化所产生的干扰信息作用于受控部分引起输出信息改变的同时，干扰信息也可直接作用于控制部分。这就可能在输出信息未出现偏差之前，控制部分即可发出控制信息纠正即将发生的偏差，而不是产生了偏差之后通过反馈信息再来纠正。干扰信息对控制部分的这种直接作用，且控制部分又能理解这一作用的影响，这种情况称为前馈。前馈没有反馈的那种滞后与波动的缺点，但前馈与反馈是密切联系的。对于生物系统，当通过多次反馈建立起条件反射后，则可实现前馈；对于智能机器系统，当通过多次反馈能记忆下经学习获得的产生式程序，则也可实现前馈。可见，前馈仍然是以反馈作为基础的。反馈原理是在自然、社会、思维中普遍起作用的原理。

对于一个系统的控制，欲使之稳定以达到一定目标，负反馈是必要的。

除负反馈之外，还有正反馈。正反馈使系统偏离某一目标越来越远。在技术上，一般说来要避免正反馈。但决不能认为正反馈是“坏”的。正反馈导致系统不稳定，促使系统结构发生变化。如果我们的目的就是为了

破坏系统旧的结构，以便建立新的结构，那就需要通过正反馈去达到这种目的。

二、反馈原理对教育的意义

反馈原理在教育管理和教学方法中有普遍的指导意义。教育总是要使受教育者，在一定的时间内达到一定的目的。总的目的是“应该使受教育者在德育、智育、体育几方面都得到发展，成为有社会主义觉悟的有文化的劳动者”。是否能达到这个目的，需要随时了解教育的现状，找出现状与达到目的的差距，从而改革我们的教育。这就必须应用反馈原理。如果不经常及时得到反馈信息，则教育这样的系统就不可能做到有效的控制。

任何一门具体学科的教学和具体技能的训练，任何一章一节的教学，任何一项实验的进行等，都有具体的目的。在教学和训练中，要随时通过反馈信息掌握现状与目的的差距，从而去解决难点，去调整教学的速率，去改进教学方法，做到因材施教。“孔子教人，各因其材。”这表明孔子在教学实践中已注意到应用反馈原理。在教学中的应用反馈原理十分重要，作用很大。对学生来说，反馈信息可使学生强化正确，改正错误，找出差距，促进努力。对教师来说，反馈信息可使教师掌握情况，改进教法，找出差距，提高质量。

在程序教学和机器教学中，普莱西（S.L.Pressey）、斯金纳（B.F.Skinner）等人把“信息的即时反馈”作为一条重要的原则。布鲁纳在他的名著《教育过程》一书中提出，学习行为应包括：知识的获得、转换、评价。西蒙（H.A.Simon）在讲授《认知心理学》时指出：只有当学习者知道学习的结果如何时，才能发生学习。

反馈原理在教学中的效力，有许多实验证明。这里

引用张德琇在《教育心理研究》一书中介绍的一个实验来说明。罗西（C.C.Ross）与亨里（L.K.Henry）在这一实验中，把一个班学生分为3组，每天学习后进行测验。对于第一组，每日告知其学习结果，对第二组每周告知其学习结果，而对第三组，则无此报告，即不给反馈信息。如此进行8周，3个组学生的学习成绩差别十分明显：第一组最好，第二组中等，第三组最差。8周以后，改变办法，第一组不告之结果，即不给反馈信息，第二组仍每周告之学习结果，第三组改为每日告知学习结果，再进行8周。这后8周学习成绩大为转变：第一组从最好下降为最差，第二组保持中等，第三组由最差上升为最好。这一实验表明：“反馈在学习上效果之显著，尤以每日的反馈，较之每周的反馈，效率更高。”此外，有经验的教师，常能预先知道学生在什么地方容易出错，或能根据前一阶段的学习预测到后一阶段的学习可能出问题的地方，从而有针对性地给予前馈信息，这对于提高教学效率和质量也是大有好处的。

1. 什么叫学习

什么叫学习？根据反馈原理我们可以给学习下一个较为科学的定义：学习者吸收信息并输出信息，通过反馈和评价知道正确与否的整个过程，称为学习。如图2-2所示：

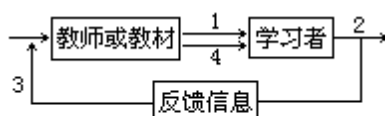


图2-2 1. 吸收信息 2. 输出信息
3. 反馈信息 4. 评价信息

这个学习的定义是有实际意义的。这个定义表明，只有吸收信息、输出信息，没有反馈信息和评价信息，

并不是一个完整的学习过程。一个完整的学习过程，四者不可缺一，而且时间不能拉得过长。要“趁热打铁”，信息要即时反馈，即时评价。否则，根据人脑的记忆和遗忘规律，如果时间拉得过长，不即时反馈，不即时评价，就会大大影响学习的质量和效果。这一关于学习的定义，要求教师和学生把问题—解答—评讲—改错，紧密结合为一整体；把看书—思考—讨论—评价，紧密结合为一整体；把讲授—测验—改卷—评讲，紧密结合为一整体。而且不要把几个阶段拖得太久，信息要即时反馈。实验表明，即时反馈以在一日内反馈为好。

有一些学生学习效率低，重要原因之一是花费了时间“学习”，但并未真正学习。常常是问题—解答，结果正确与否并不知道，这不是一个完整的学习过程。尤其是难题—乱猜，更不知道什么是正确结果，用了时间，效果很差。更严重的是长此下去，学而无趣，影响情绪。有的教师教学质量不高，重要原因之一是不即时听取从学生来的反馈信息，不及时给予学生以评价信息，长期如此，教学质量必然不高。评价信息实质上也是一种反馈信息。如果把学生对教师的信息作为输入信息，教师经过思考再给予评价，在学生一方亦即得到反馈信息。因此，教师与学生之间相互的即时的信息反馈非常重要；否则，不能形成真正的教学。反馈原理对于我们认识什么是真正的学习，什么是真正的教学很有帮助。

2. 反馈与认知

从人类认知的发生来看，反馈也起着重要作用。艾什比给反馈下了一个更一般的定义，他指出：“每一部件对另一部件都有影响，而这种关系可表为：

$$eq\backslash x(P) \rightleftharpoons eq\backslash x(R)$$

当一能动系统各部件间的作用有这种循环关系时，我们便说这系统有反馈”。

皮亚杰在论述从出生到一岁半、两岁的儿童的心理发展时指出，应当用同化说的双向关系代替联想主义的单向关系。其实质就是指出，认知的发生与反馈是密切相关的。皮亚杰写道：

“联想主义（associationism）把刺激与反应的关系看成是一种单向关系，如 $S \rightarrow R$ ；而同化说则把这种关系设想为一种双向关系，如 $S \rightleftharpoons R$ ；即是说，刺激的输入是通过一个结构的过滤，这个结构是由动作图式（在达到较高水平时，即指思维的运算）所组成。儿童的行为仓库为了适应现实的需要，这些动作图式又进一步得到改变和充实。刺激输入的过滤或改变叫做同化（assimilation）；内部图式的改变，以适应现实，叫做顺应（accommodation）”……条件反射决不是仅仅因为它的连结力量而巩固下来，而必须由于同化图式的形成才得到巩固：即是说，当达到的结果能满足同化作用中固有的需要时，这种条件反射才获得巩固。”

皮亚杰的上述见解是十分深刻的。皮亚杰关于认识结构的四个基本概念：图式、同化、顺应、平衡，都是通过反馈去实现的。反馈原理在人类认识的发生和发展中均有着重要作用，因而它应当成为教育科学中的一条基本原理。

三、教学原则一的表述

肯定表述：在任何一门学科的教学，要获得成功，师生都应当明确该学科的意义，通过教学不断增强教与学的兴趣。要达到这一目的，只有通过师生之间的信息反馈，情感转移去实现。

否定表述：在任何一门学科的教学过程中，师生未能明确该学科的意义，未能通过教学增强教与学的兴趣，师生之间缺乏信息反馈、情感转移。这样的教学不可能是成功的。

第一条教学原则，即意义兴趣原则。

明确意义，增强兴趣这一教学原则与反馈原理、情感转移原理是一致的；或者说，从系统科学的反馈原理、教育美学的情感转移原理可以逻辑地引伸出教学原则一。

研究教学原则时，根据反馈原理、情感转移原理，可以逻辑地推演出第一条教学原则：“明确意义，增强兴趣”。怎样才能使学生明确所学的学科的意义，从而兴趣盎然地学习呢？这就必须应用反馈原理，通过对话，通过知识反馈和情感反馈，才可能有针对性地进行教育，使教师乐于教，使学生乐于学。孔子说：“知之者不如好之者，好之者不如乐之者。”“明确意义，增强兴趣”这是一条普遍的教与学的原则。

教学要做到积极的适应，以达到高效率的转化，原则——明确意义，增强兴趣——是基础。

1. “热爱”是最好的教师

教师要充分理解所教学科的重大意义，从而有极大的兴趣去从事教学工作，使教学真正引人入胜。同时，学生应在学习过程中不断认识所学课程的重大价值，从而兴趣盎然地去学习。明确意义，增强兴趣这一原则是教师发挥主导性，学生发挥主动性的重要条件。这一原则说起来是容易明白的，但真正做到却较困难。

明确意义，必须是理论结合实际地使学生感到生动、具体、有用。单纯抽象地空谈学习目的，效果是不会好

的。明确意义的过程，应当是在教学中不断进行的过程，不是仅仅作为开场白。在明确意义下增强兴趣，应当贯彻教学过程的始终，这样才可能持久地巩固兴趣，才可能使学生持久地热爱所学的学科。

“热爱”是一位很好的老师，对于师生她都是好老师。只有明确意义，不断增强兴趣，才可能热爱所教和所学的学科。传统的教学理论中，提出了主导性、主动性、自觉性、积极性等，其实，关键在于兴趣，在于热爱。以往，“凭兴趣出发学习”是含有批评的意思，这是不恰当的。对科学有兴趣总是好的。兴趣是环境的产物，兴趣是社会需要的反映。有兴趣，才能一心一意地教；有兴趣，才能聚精会神地学。

只有明确意义，不断增强兴趣，才可能有高质量的教和学。所以，应把这一原则视为适应与转化原理的基础，列为第一条原则。

2. 科学基础

原则一是建立在生理学、心理学和信息论的基础之上的。大家知道，心理活动最起码的水平，称为“觉醒水平”。觉醒水平表明，大脑神经细胞在处于一定的能量状态下，才可能进行思维活动，才能吸收、分析、判断、储存信息。教学时，心理活动最活跃的水平，且称它为“积极水平”。积极水平表明大脑中有关学习的神经细胞处于高度兴奋，而无关的部分则高度抑制，神经纤维通道的有关部分保持高度畅通。因而“神经噪音”大大降低，信息在神经纤维通道内的传输达到最佳状态。这只有在极大兴趣、专心专意、聚精会神下才可能达到。在强迫的、不自觉的、程度不同的苦恼、烦躁的心理状况下学习，有关学习的神经纤维通道对信息的传输不可能

达到最佳状态。因为上述干扰（强迫感、苦恼感、紧张感、烦躁感等）必然使脑神经细胞中对于学习是应当抑制的部分变为兴奋，而应当兴奋的部分则受到抑制。这必然使神经纤维通道内的噪声的功率增加。

根据香农-维纳公式，传输最大信息量 S 的公式为：

值法，并建立数学公式： $a = \frac{v_t - v_0}{t}$ ；接着，正确理解在速度-时间图像中

其中 M 为信号的平均功率， N 为“噪声”的平均功率， B 为信号的频带宽， S 的单位为比特， t 为时间。

根据上述公式可知：当没有兴趣，干扰很大时， N 增大，神经纤维通道传输的信息量减少，学习的效率必然不高；当兴趣很浓，干扰很小时， N 减小，神经纤维通道传输的信息量增加，学习的效率必然很高。

3. 爱因斯坦的启示

下面以伟大的科学家爱因斯坦学习为例，说明原则一的重要性。爱因斯坦在 12—16 岁时，熟悉了基础数学，包括微积分原理，他写道：

“总的说来，这个学习确实是令人神往的；它给我的印象之深并不亚于初等几何，好几次达到了顶点——解析几何的基本思想，无穷级数，微分和积分概念。我还幸运地从一部卓越的通俗读物中知道了整个自然科学领域里的主要成果和方法……这是一部我聚精会神地阅读了的著作。”

在大学学习期间，爱因斯坦写道：

“可是我大部分时间却是在物理实验室里工作，迷恋于同经验直接接触……我对自然科学的兴趣超过对数学的兴趣。”

还写道：

“安排自己去学习那些适合于我的求知欲和兴趣的东西。我以极大的兴趣去听某些课。但是我‘刷掉了’很多课程，而以极大的热忱在家里向理论物理学的大师们学习。”

爱因斯坦之所以在 26 岁，就在分子论、光子论、相对论三个领域齐头并进，做出划时代意义的贡献。这不能不说与他酷爱科学、热情自学有关。

可以采用归纳法证明，任何一个杰出的科学家，都是以他对所研究的领域有高度的兴趣作为前提，从而取得重大成果。同样可以采用归纳法证明，任何一个优秀教师和优等学生，都是以他对所教、所学课程有高度兴趣作为基础，才能取得优异成绩的。

注意：我们决不能只片面地强调原则一。它并不是决定教学质量的唯一原则。对于适应与转化原理，原则一是必要条件，而不是充分而必要的条件。若没有下述两条原则作为关键和重点，仅仅凭原则一也不可能使教与学达到积极地适应和高效率地转化。然而，若没有原则一作基础，原则二和原则三也难以发挥作用。原则一是反馈原理的必然要求。

有序原理与教学原则

一、有序原理的内涵

有序原理：任何系统只有开放、有涨落、远离平衡态，才可能走向有序；或者说，没有开放、没有涨落、处于平衡态的系统，要走向有序是不可能的。

1. 有序与无序

所谓“有序”是指信息量走向增加，即熵走向减少，

组织化程度走向增加，即混乱度走向减少。系统由较低级的结构变为较高级的结构，是有序；反之是无序。生物进化是有序；生物退化是无序。社会发展是有序；社会倒退是无序。学习、记忆过程是有序；荒废、遗忘过程是无序。

热力学第二定律是自然界的普遍定律。在自然过程中，系统的熵趋向于增加。熵与无序性是相联系的。热力学第二定律表明，在自然过程中，系统的无序性趋向于增加。如果说熵是无序性的量度，则信息即是有序性的量度。维纳指出：

“信息是一个可以看做几率的量的对数的负数，它实质上就是负熵。”

普利高津的耗散结构理论，找到了在不违反热力学第二定律的前提下，系统走向有序的必要条件。对于与外界有信息交换的开放系统，系统的总熵的变化 dS ，等于系统内部熵的增加 diS 与系统同外界的信息交换引起的熵变化 deS 的代数和：

$$dS = diS + deS$$

按照热力学第二定律 $diS \geq 0$ ；但可能有 $deS < 0$ ，且可能有 $|deS| > |diS|$ ，从而使系统的总熵不是增加，而是减少，即表明系统走向有序。开放系统，与外界有信息交换，这是系统有序的必要条件。反之，与外界无信息交换的封闭系统，要使之有序是不可能的。有序原理实质上是进化原理。这一原理把物理系统与生物系统的发展规律统一了起来。

生物的进化，由简单到复杂，就是从无序到有序。在进化过程中，生物系统是离不开与自然环境之间的物质、能量、信息的交换。生物系统必然是开放系统。人

脑的进步，由简单到复杂，也是从无序到有序。这一过程中，人体系统是离不开与自然环境、社会环境之间的物质、能量、信息的交换。人体系统、思维系统必然是开放系统；否则不能进化，不能进步。

2. 通过涨落的有序

自组织理论（耗散结构论、协同论、超循环论）告诉我们，一个系统要走向有序，系统开放，与外界有物质、能量、信息的交换，这是必要的条件。“通过开放的有序”，“通过涨落的有序”、“通过远离平衡态的有序”这都是自组织理论所揭示的自然规律，有普遍的意义。

“涨落”是指对系统稳定状态的偏离，它是实际存在的一切系统的固有特征。系统内部原因造成的涨落，称为内涨落；系统外部原因造成的涨落，称为外涨落。对处于平衡态系统的随机涨落，称为微涨落；对处于远离平衡态的非平衡态系统的随机涨落，称为巨涨落。涨落的特点是大小、形状、范畴都是随机变化的。“涨落”这一范畴，即与“变化”这一范畴有关，又与“偶然性”这一范畴有关。涨落是对于稳定性的偏离，是对称性的破坏。可以简单地用图 2-3 说明如下：

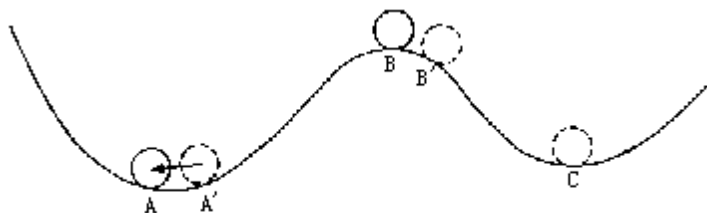


图2-3 涨落的作用

在图 2-3 中，小球在点 A 处于平衡态，随机的涨落（内或外），小球达到点 A'，这种涨落将很快随时间而衰减，最后又回到平衡态。这种情况不可能导致系统整体发生有序变化。

在图 2-3 中，小球在点 B 处于非平衡态，随机的涨落（内或外），小球达到点 B'，这种涨落开始强度较弱，但很快随时间而加强，最后不能回到原来状态，而演化到新的状态点 C。

对于远离平衡的非平衡状态，随机的小涨落有可能迅速放大，使系统由不稳定状态跃迁到一个新的有序状态，从而形成耗散结构。普利高津称之为“通过涨落的有序”。

3. 非平衡是有序之源

系统要进化，要从无序到有序，必要条件是：系统必须是开放系统；另一必要条件是：系统必须远离平衡态。

图 2-4 表明：系统处于平衡态或离平衡不远的近平衡态，即使是开放系统，与外界环境有物质、能量、信息的交换，但是，系统的自发趋势仍是回到平衡态，而不会达到新的状态。系统只有远离平衡态，才可能形成新的稳定的有序结构。生物进化的过程，即是一个不断远离平衡态的过程；社会进化的过程，也是一个不断远离平衡态的过程；人类学习的过程，同样是一个不断远离平衡态的过程。

达尔文在《物种起源》中论述到“由于性状分歧和种类灭亡，自然选择作用对于同祖后裔可能发生的效果”这一节时，达尔文定性地绘出了“进化树”。经过一百多年以后，自组织理论才应用随机微分方程和分支理论对“进化树”给出数理解释。

“进化树”是一个逐级分叉现象。这一现象明确地表现出：系统只有远离平衡态，才可能有序，才可能进化。普利高津称之为：“非平衡是有序之源”。

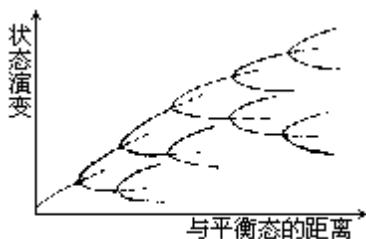


图2-4 非平衡的作用

图 2—4，既是“进化树”的简要示意图；同时，也说明通过远离平衡，才可能有序。

自组织理论的研究得知：在平衡态附近线性规律起支配作用；在远离平衡态时是非线性规律起支配作用。线性规律满足叠加原理，不可能产生出系统的新质；非线性规律不满足叠加原则，因而可以产生出系统整体的新质。

4. 涨落、非平衡与认知

在认识过程中，直觉、灵感、顿悟的产生，与涨落有密切关系。正是在认知的关节点上的涨落，导致认知的飞跃，产生直觉、灵感、顿悟。

在认识过程中，非平衡是认知发展的必要条件。只强调平衡，认识是不可能发展的。

皮亚杰的发生认识论，既强调了“适应”，又十分重视“转化”；但是，由于皮亚杰过分强调“平衡”的作用，没有看到“非平衡”、“远离平衡”在适应与转化中的作用，因而，也有片面性。现代自组织理论启发我们，皮亚杰的认识发展的“适应理论”应当给予“平衡”和“非平衡”以同样重要的地位。作者认为，可以用图 2—5 表示“非平衡”在适应与转化中的作用：

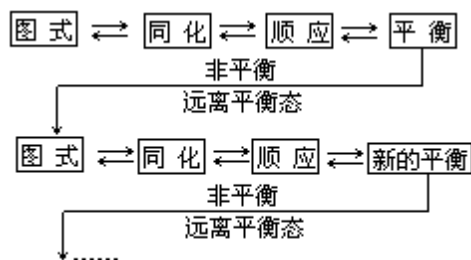


图2-5 非平衡的作用

二、有序原理对教育的意义

学习任何一种语言，一般都要做到听、读、说、写。这就要通过多次反复，在大脑皮层的语言中枢、听觉中枢、视觉中枢、运动中枢建立一一对应的神经联系（神经链），这个过程正是一个有序的过程。视、听是信息输入，说、写是信息输出，但同时也起反馈作用，输出信息，又再次输入。输出信息经过评价，则强化所学的内容，形成一个完整的学习过程。既然学习语言是把听、读、说、写在大脑中建立一一对应的关系，因此在教学中应当把四者有机地结合起来。在现代教学中强调视听，但必须同时强调说写，否则，对于在大脑皮层有关部分建立语言中枢、听觉中枢、视觉中枢、运动中枢——四者对应的联系是不利的。在美国，有一些学生用一半多的时间在电视机前“视听”，思考不够，说写不足，加上其他原因，使这些学生在自然科学，数学等方面的教学质量降低，这是值得注意的。好的学生善于交往，敢于发表自己的意见，乐于听取别人的意见。交流思想，这对于学习和创造都是十分重要的。有序原理启发我们，应当自觉地主动地把自己作为一个开放系统，尽量争取与外界交换有用的信息，从而取得较大的进步。

一方面，通过交换信息，大脑的神经联系越来越有序；另一方面，人脑作为一个热力学系统，遵从热力学

第二定律，大脑的熵自发地趋向于增加，即走向无序，即信息趋向于减少。对于学习而言，其表现之一便是遗忘。所以，一个人如果不学习，他头脑里贮存的信息必然逐渐减少。遗忘是坏事，但也有好的一面。人脑虽然有 100—150 亿个神经元，能贮存大量信息，按约·冯·诺意曼的计算，以每秒接受 14 个不同的数字计算，不考虑遗忘，60 年中，人脑可贮存 2.8×10^{20} 比特的信息，比现代计算机的容量大得多。但是，不管什么信息输入都统统记住并贮存在大脑是没有必要的，也是不可能的。重要的不断强化的信息贮存在长时记忆中不易遗忘，甚至永不遗忘；不重要的未经强化的信息在瞬时记忆、短时记忆中，很快遗忘，这是有利于学习和创造的。

当然，学习不仅是记忆，大脑不仅是一个可以贮存信息的“仓库”——不可否认，在学习的一定阶段，记忆是必须的；但认为学习即全等于记忆，这就很不恰当了。更重要的教学原则是要培养学生的能力，使学的知识能迁移，能有所发现，有所创造。记忆式的学习和发现式的学习，两者应当是互补的。需要记忆式，更需要发现式。没有记忆式的学习，就没有发现式的学习；同样，没有发现式的学习，就没有高效率的记忆式学习。关键在于要启发学生思维，要让学生有充足的时间思考。

根据有序原理，我们可以知道，思考的作用是使大脑的有关部分贮存的信息联系起来，组成更复杂的结构，更加有序。大脑有 100—150 亿个神经元，是一个巨系统，这个巨系统不但必须同外界交换物质、能量、信息才能有序，而且这个巨系统的若干子系统之间也需要开放，需要交换信息，才能使之走向有序。思考的作用正在于此。思考的过程就是大脑内各子系统间交换信息的过程，

就是有序的过程。但是，思考与学习两者应当有机地结合起来。这个道理孔子早有精辟论述，孔子说：“学而不思则罔，思而不学则殆。”这就是说：学习不经过思考就理不出头绪，不能有序；思考而不学习，盲目乱想，疑而不定，也不能有序。孔子的教育思想十分强调思考，而且还指明要让学生思考到什么程度，思考多久，才能继续教学生。孔子说：“不愤不启，不悱不发。举一隅不以三隅反，则不复也。”这就指出：要让学生认真思考，不到学生苦思不解时，不启发他；教师发问后，要让学生思考，不到学生有所领悟，想说又说不明白时，不启发他；教师举一个例子，要让学生思考，不到学生能联想到类似的一些例子，就不再讲。要让学生有所理解，能够应用了，才教新的。孔子这些教育思想是科学的，指明了学习与思考的辩证关系。

有序原理要求教学系统是一个开放系统，同时要求教学中要尽可能促进学生思考，使大脑这一巨系统的各子系统也成为开放系统。否则，难于有序、难于进步、难于创造。

在教育中，促使学生成为开放系统，促使学校成为开放系统，这对于学习的进步、教育的发展是大有好处的。在论述当代教育革新的策略时，开放系统已成为一条重要原则，提出“一个全面的开放教育体系帮助学习者在这个体系中能够纵横移动，并扩大他们可能得到的选择范围”，这就是有序原理对教育的重要启发。

三、教学原则二的表述

肯定表述：在任何一门学科的教学过程中，要获得成功，教学过程必须是循序渐进，逐步深化，周期跃迁，勇于创新。要遵照有序进化，和谐奇异地去进行教学。

否定表述：在任何一门学科的教育中，教学过程不是循序渐进，逐步深化；不是周期跃迁，勇于创新；不遵从有序进化，和谐奇异，这样的教学不可能是成功的。

第二条教学原则，即逐步跃迁原则。

逐步深化，周期跃迁这一教学原则与有序原理、和谐奇异原理是一致的；或者说，从系统科学的有序原理、教育美学的和谐奇异原理可以逻辑地引伸出教学原则二。

研究教学原则时，根据有序原理、和谐奇异原理，可以逻辑地推演出第二条教学原则：“逐步深化，周期跃迁”。怎样才能使教学在较短时间内获得较多信息，使之走向有序？这必须是循序而渐进，逐步地加深。逐步深化，不等于没有跃迁；连续进展，不等于没有突变；按部就班，不等于没有渗透。循序渐进的“步长”以及周期跃迁的“周期”当然不是不变的，应当是既有和谐又有奇异。教与学既应是和谐的——逐步、连续；又应是奇异的——跃迁、突变。周期跃迁当然不是简单重复，而是每一周期都上升一个阶梯。孔子说：“吾十有五而志于学，三十而立，四十而不惑，五十而知天命，六十而耳顺，七十而从心所欲，不踰矩。”孔子是每10年上一个大的阶梯。阶梯有高有低这是毫无疑问的。经验告诉我们，逐步深化才能打好基础；周期跃迁才能有所创新。“逐步深化，周期跃迁”，这是又一条普遍的教与学的原则。

教学要做到积极地适应，以达到高效率地转化，原则二——逐步深化，周期跃迁——是关键。

1. 学习的速率

从教学过程的整体看，要逐步深化，就应当从感性

到理性、从具体到抽象、从简单到复杂、从定性到定量、从个别到一般、从描述到推理、从宏观到微观……从教学过程局部看，在时间空间上是不连续的，是一部分一部分把知识交给学生。每一学时的内容在深广度和数量上应是恰如其分，即教学的速率要适当。教学的速率太快，单位时间教的信息量太多；或速率太慢，单位时间教的信息量太少，都违反适应与转化原理。当前，有一个经验的教

学平均速率 $\bar{v}$ ， $\bar{v} = \frac{S}{t}$ ， S 表示学科内容总量， t

代表教这门学科的社会平均必要的教学时间。按照教学规律，提高教学速率，研究一定年龄的学生合适的学习速率是重要的。

普莱西和斯金纳等人提出“程序教学”。在编写学习程序时，重要的一个原则即“小的步子”，而学习的速率是“自定步调，学习者按各人自己的情况来确定掌握材料的速率”。正如上楼梯，一步约高 20 厘米，这个高度是适应于人的腿长，而上楼的速率则决定于每个人的体力。程序教学注意了每步大小的研究，回避了普适的学习速率的研究。1 小时不可能掌握微积分原理，不可能记住 1000 个外语生字；但 1 小时可以平均学习 4—20 个组块，1 个产生式。在班级教学中，对一定年龄的学生，存在一个合适的学习速率，这个速率主要决定于大脑的机能和学生知识储备量。这个问题我们应当深入研究。

2. 学而时习之

人对客观规律的认识不是一次完成的。人学习知识的同时，总是伴随着知识遗忘。逐步深化必须包括复习

巩固，“温故而知新”，这是深化的形式之一。这个原则孔子定性地表述为“学而时习之”。但是，一次学习的内容相隔多久复习为好，究竟复习多少次才巩固等等，至今没有一个定量的理论。

实验心理学得出许多重要的实验结果和经验公式。关于学习记忆的实验表明：遗忘现象在学习记忆后，很快就表现出来。1 小时学习记忆的内容，在相隔 1 小时后就已遗忘一半了，在相隔 1 天后，则遗忘一大半了，以后的遗忘速率逐渐减慢。根据遗忘曲线的分析，至少我们知道，学生每天学习的功课，必须当天复习，即第一次复习的周期 T_1 约为 8 小时，才能使所学知识得到及时强化，而且所需复习时间又较短。心理学的研究表明，对于一个新知，开始复习的周期应当短一些，以后复习的周期可逐渐加长。第二次复习的周期 T_2 约为 24 小时为宜。因为人在地球上，一天 24 小时，这是地球旋转的自然周期，人脑的活动由兴奋到抑制，实际存在着一个以 1 天为周期的变化。经过 1 天后，再及时强化所学知识，则较为巩固。以后复习的周期可由教学内容本身的结构决定。例如，一单元，一章后进行系统复习，最好由学生自己先总结，这是培养能力的重要一环。提出复习的第一、第二周期，正是要使教学适应人脑活动的客观规律，使知识和能力能更多更好地转化给学生。实验证明，不周期循环地复习，效果较差。对于记忆生词，实验表明，复习的周期取 1, 2, 4, 8, 16, 32（天）为好。

3. 通过涨落的有序

周期跃迁，这是非常重要的教学原则，却又被过去的许多教学论所忽视。周期跃迁与逐步深化有密切联系。

逐步深化着重于“量变”，而周期跃迁则着重于“质变”。量变应当引起质变。进化论的发展启发我们，既要重视进化的“渐变”（自然选择，适者生存）；又要重视进化的“质变”（自然飞跃，基因突变）。数学、物理学的现代成就同样告诉我们，既要应用“连续性”的方法解决问题，也要应用“间断性”（“离散性”）的方法解决问题。在教学中要重视“渐进”（逐步深化），也要给“跃进”（周期跃迁）以同等的重视。耗散结构论中的“通过涨落的有序”这一规律是“有序原理”的科学根据之一，同时也给教学原则以深刻的启示。以英语教学为例，从不会“听说”到能够“听说”，这是一大跃迁；从不会“读写”到能够“读写”又是一大跃迁。在英语教学中，当然要强化“逐步深化”，但同样应重视“周期跃迁”。每周4节或5节英语课，学了6年仍然不能“听说读写”。这表明只是逐步深化还不够，还得周期跃迁。用自组织理论的语言说就是“要有大的涨落”。在一段时间内相对集中，使之“涨落较大”，从而导致“突变”：由不会听到可以听，由不会读到可以读。从某种意义上说，要真正掌握一门外语，必须既有渐进又有跃进。必须遵从“逐步深化，周期跃迁”这一重要的教学原则。

4. 十年寒窗

从受一门专业训练开始直至达到第一流的专业水平（专家水平）需要多少时间呢？根据古今中外的统计，大约需要10年。西蒙在《人工科学》中写道：

“在这一问题得到研究的几个领域，我们确实知道，即使最有才能的人也需要约10年时间方能达到第一流的专业水平。”

这是根据对现代的各类专家的研究所得的结论。在

中国古代的“状元”以及做出杰出贡献的各类人才中，又有哪一个不是经过“十年寒窗”或“精思博会，十年乃成”呢？孔子总结出一条每隔 10 年来一次跃迁的规律。孔子是一位终身学习、终身教育的典范。他说：“吾十有五而志于学，三十而立，四十而不惑，五十而知天命，六十而耳顺，七十而从心所欲，不踰矩。”孔子 15 岁立志学问，30 岁才在社会上立身世站稳脚跟，经过了 15 年的努力。以后每经 10 年努力便来个跃迁：40 岁懂得社会上的事情不致迷惑；50 岁知道自然规律和人的命运；60 岁听到别人的话能判断真假、分辨是非；70 岁想的便能做到，而又不会超越规矩。

在传统的教学论的诸教学原则中，许多都强调“循序渐进”，但对“发展超越”却重视不够。也即对“逐步深化”很强调，对“调期跃迁”却重视不够。培养创造性，就必然重视直觉思维，而直觉思维，就是一种“跃迁”式的思维。所以，在教学原则中，我们应当像强调“逐步深化”一样地强调“周期跃迁”。原则二是有序原理的必然要求。

整体原理与教学原则

一、整体原理的内涵

整体原理：任何系统只有通过相互联系形成整体结构才能发挥整体功能；或者说，没有整体联系，没有整体结构，要使系统发挥整体功能是不可能的。

1. 整体与部分

所谓整体是相对于部分而言。一个系统作为整体可以分为若干部分（或称子系统）。中国古代的五行说，将

一个系统分为五部分：木、火、土、金、水。这五行之间既相生（木生火、火生土、土生金、金生水、水生木）又相克（木克土、土克水、水克火、火克金、金克木）。五行中两个子系统之间存在相互作用的关系，这时其他三个子系统则分别起抑制、掩蔽、促进的作用。五行之间的关系形成了：相生律、相克律、抑制律、掩蔽律、促进律。整体中的各部分相互联系起来，便形成“结构”。

在古代，亚里斯多德曾提出过：整体大于各孤立部分的总和。部分的量变会引起整体的质变。恩格斯写道：

“许多人协作，许多力量溶合为一个总的力量，用马克思的话来说，就造成‘新的力量’，这种力量和它的一个个力量的总和有着本质的差别。”

但是，必须指出，整体小于各部分的总和这种可能也是有的。如果各部分组合成一个彼此冲突的结构，整体功能就可能小于各部分功能的总和。整体原理告诉我们：不仅应注意发挥各部分的功能，更重要的是要发挥各部分相互联系形成结构的新的功能。

2. 整体公式

“结构”与“功能”对立统一。一个系统作为整体有内部结构，又总是有系统的“边界”。系统边界之外是“外环境”。边界之内是“内环境”。“环境”通常指“外环境”。系统的结构对环境的相互作用就表现为“功能”。任何系统的整体功能 $E_{\text{整}}$ ，等于各个部分功能的总和 $\sum E_{\text{部}}$ 加上各部分相互联系形成结构产生的功能的总和 $\sum E_{\text{联}}$ ，表示为公式：

$$E_{\text{整}} = \sum E_{\text{部}} + \sum E_{\text{联}}$$

讨论：

(1) 当 $\sum E_{\text{联}} > 0$ 时， $E_{\text{整}} > \sum E_{\text{部}}$ 。即系统的整体功

能大于各个部分功能之和，表明整体的结构产生了整体的新功能。大多数系统是这种情况。用一句形象的话说，便是三个臭皮匠，合成一个诸葛亮。

(2) 当 $\Sigma E_{\text{联}}=0$ 时， $E_{\text{整}}=\Sigma E_{\text{部}}$ 。即系统的整体功能等于各个部分功能之和，表明整体的结构没有产生整体的新功能。处于这种情况的系统是很少的。在自然界中，由于存在“力的独立作用原理”，便导致相对应的“力的叠加原理”：系统所受的合力等于各个分力的矢量和。这可作为一个例子。

(3) 当 $\Sigma E_{\text{联}}<0$ 时， $E_{\text{整}}<\Sigma E_{\text{部}}$ 。即系统的整体功能小于各个部分功能之和，表明整体的结构产生了负效应的功能。这种系统在自然界和社会中也是有的。用一句形象的话说，便是一个和尚挑水吃，两个和尚抬水吃，三个和尚没水吃。

整体原理可用图 2-6 来示意，结构不同功能即不同，整体结构产生整体功能。

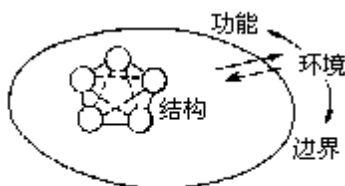


图2-6 整体结构产生整体功能

二、整体原理对教育的意义

整体原理对于教育科学有重大的指导意义。在教学理论中一直强调系统性原则。整体原理把系统性、完整性、连贯性等上升为普遍原理。任何系统都有结构，即有内部联系。在教任何一门学科时，不能仅仅教授一条条孤立的知识，而要既分解为一份份学生可接受的知识，又不断注意各知识间的内在联系，以使学生对这门学科

形成一个整体结构。即使学生不仅要理解各部分的内容，而且要理解各部分内容间的关系；不仅要掌握该学科知识间的内在联系，而且要掌握该学科与相邻学科的外在联系。整体原理是既强调把整体分解为部分，又强调把部分综合为整体。只强调分解或只强调综合，都不利于学生掌握完整的知识。没有部分的整体，结构不明的整体；没有整体的部分，系统不清的部分——两者都不符合整体原理。所以，仅仅强调整体并不是真正遵循了整体原理。必须是既强调有整体的部分，又强调有部分的整体，才真正符合整体原理。

整体原理要求在教育中要把德育、智育、体育、美育、劳动技术教育等联系起来，培养全面发展的人。把教育内容分为德育、智育、体育、美育、劳动技术教育等是必要的。作为教育理论缺少任何一部分都是违反整体原理的。整体原理告诉我们，系统整体的功能不等于各孤立部分功能之和。一位在德育、智育、体育、美育等方面都取得良好成绩的学生，他表现出的创造性的功能决不是各部分功能的代数和，而是大大地大于部分功能之和。这一原理对于培养人才甚为重要。

在教学中应当使学生具备相当的社会科学、自然科学、数学、哲学、技术等方面的广博知识。过早地单方面发展，不利于出人才、出成果，这是违反整体原理的。对于科学研究也是如此。维纳曾经指出：

“如果一个生理学问题的困难实质上是数学的困难，那么，十个不懂数学的生理学家的研究成绩会和一个不懂数学的生理学家的研究成绩完全一样，不会更多。如果一个不懂数学的生理学家和一个不懂生理学的数学家合作，那么，这个人不会用那个人所能接受的术语表

达自己的问题，那个人也不能用这个人所懂得的任何形式来作出自己的回答。”显然，一个既懂数学又懂生理学的科学家所能解决的问题，是一个单纯的数学家加上一个单纯的生理学家所不能解决的。这是整体原理在发生作用。

完形心理学的一个基本原理是：“认为靠研究组成部分来解释整体是不可能的。”完形心理学家们一再申述：“整体多于其各部分的总和。”这与整体原理是相一致的。整体不是各组成部分的机械相加，因为还必须考虑各组成部分之间的相互联系，考虑形成结构的功能。

整体原理应用在教学中的成效是十分明显的。布鲁纳等人曾做过实验，受试为两组大学生。一组采取整体法的策略，即从整体出发注意各部的关系以解决问题；另一组采取部分法的策略，即从部分出发将各部分总合起来以解决问题。他们的任务是从一系列的卡片中，根据内容的特性抽出概念，拟定假设，解决问题。研究结果表明，不论问题的难易或特性的多少，问题的解决皆以整体法优于部分法。这说明，解决问题从整体入手较为有效。在技能的学习中，实验表明整体法优于部分法。从整体出发自始至终注意各部分的关系，这比从部分出发孤立地进行练习，效果要好得多。例如，在学习计算机程序语言时，如果从部分出发，一开始就一句一句教程序语言，这样的效果不好；如果从整体入手，先讲框图（或称流程图），对解决的问题有一个整体了解，一开始就注意各部分之间的关系，然后再逐句学习程序，这样教学效果就好得多。再如，在电子仪器的教学中，如果从部分出发，一开始就讲一个一个元件的作用，这样的效果不好；如果从整体入手，先讲清框图，对某一仪

器的整体有所了解，自始至终注意各部分的关系，然后再讲每个元件的作用和整体的功能，这样教学效果就好得多。

在机器教学所采用的程序教学中强调“小步子”，这是有其局限性的。“小步子”法在教学的一定阶段是需要的，有一定积极作用。但是，全采用“小步子”必然费时较多，教学效率就低。首先需要从整体上把握问题，然后研究部分，研究部分与部分的关系，最后综合为整体以解决问题。遵从整体原理的教学，其公式可表为：整体—部分—整体*。遵从整体原理才是上策。遵从整体原理的教学，能使之成绩优良、时间经济、富有意义。“因为就意义而言，全体不仅是部分的总和，而且具有超然的连贯性与完整性。”

评价教学的好坏，应当增加一条美学的原理。什么叫美？整体与部分、部分与部分的固有的和谐就是美。因此，教学遵从整体原理就是符合了美的原理。相反，教学不遵从整体原理就不符合美的原理。美的知识容易记忆，也容易应用；不美的知识容易遗忘，也难于应用。教学的美学是值得研究的课题。我们认为反馈原理、有序原理、整体原理，都具有美学的意义。反馈原理揭示了变化中的稳定性；有序原理揭示了多样中的统一性；整体原理揭示了联系中的完整性。因此，可以说反馈原理、有序原理、整体原理就是教学的美学原理的表现形式。

整体原理应当成为教育理论的重要基础。它不仅在战术上意义重大，在战略上意义也很重大。教师每上一次课，都应当问一问：“我从整体上讲清了这一部分的知识了吗？我讲这一部分知识注意了最终建立整体结构

吗？’我们应当是把系统的而不是孤立的知识交给学生，使之能表现出强大的整体功能。我们应当把德育、智育、体育、美育等有机结合起来，形成一个整体的教育，培养出全面发展的新人。这就是整体原理对教育的重要启示。

强调整体性，强调不可分割，并非主张不能用分析方法研究问题，而只是强调：没有综合的分析不是好的分析，没有整体性的分析是盲目的分析。从方法论看，分析法与综合法也是不可分割的，分析与综合同样应是一个整体。整体方法的公式是：

整体—部分—整体*

其中“整体”是不同于“整体””的。“整体”较为模糊、朦胧；“整体””则是“有血有肉”的，功能很强。整体公式表明：整体是基础，是出发点；整体也是目标，是落脚点。中间是有“部分”的，整体方法并不否定分解为部分的必要。现在论述的教育整体论还不是整体*。在具体的教育过程中，教育整体论可以有多种多样的形式，这需要人们去创造、去发展。人的整体性，决定了教育的整体性。

三、教学原则三的表述

肯定表述：在任何一门学科的教学，要获得成功，师生都必须重视掌握学科结构，发展各种能力。要遵照整体优化，多样统一地去进行教学。

否定表述：在任何一门学科的教学，师生不重视掌握学科结构，不重视发展各种能力，不遵从整体优化，多样统一，这样的教学不可能是成功的。

第三条教学原则，即结构能力原则。

掌握结构，发展能力这一教学原则与整体原理、多

样统一原理是一致的。或者说，从系统科学的整体原理、教育美学的多样统一原理可以逻辑地引伸出教学原则三。

研究教学原则时，根据整体原理、多样统一原理，可以逻辑地推演出第三条教学原则：“掌握结构，发展能力”。知识是重要的，但零散的个别知识，作用不大。形成结构的知识，才有整体的功能。如何发展学生的能力呢？要应用整体原理，手脑并用，学、问、思、辨、行结合，德、智、体、美、劳全面发展。让学生掌握科学的结构，才有利于发展能力。孔子强调，由博返约，“一以贯之”，就是强调整体和统一。“掌握结构，发展能力”，这是又一条普遍的教与学的原则。

教学要做到积极地适应，以达到高效率地转化，原则三——掌握结构，发展能力——是重点。

1. 结构的重要性

任何一门学科都是由基本概念、基本规律、基本方法等组成的。概念、规律、方法等是相互联系的。概念与概念、规律与规律、方法与方法之间也是相互联系的。这种相互联系就形成一个结构（体系）。而任何一个学科的整体结构中的一项里又有结构，称为子结构。

教师必须从整体上、从相互联系上掌握学科内容，理解所教学科的现代结构。这样才能根据这一结构，理解和掌握每一章的结构，进而才可能根据学生实际，为每一课时的教案设计一个好的结构。做到重点突出、联系紧密、前后呼应、条理分明。备课教案有一个好的结构，是保证上好课的有力杠杆。

学生在学习一项项知识的同时，应该不断注意前后知识的相互联系，最后能较系统地理解学科的完整结构。

这是便于记忆、便于应用、举一反三、触类旁通的有力武器。掌握结构是发现问题、分析问题、解决问题的重要基础。掌握结构，也是明确意义、增强兴趣、探索科学的基础。在教学中，掌握结构具有重大意义。教学辩证法也有其结构。掌握教学辩证法的结构，才便于给予批评和发展。

当然科学本身的现代结构，与不同水平的学生，在学习时所采用的教学结构，是既有联系，又有区别的。这应当根据适应与转化原理作恰当选择。

布鲁纳在他的《教育过程》一书中，十分强调结构的重要性，认为“不论我们选教什么学科，务必使学生理解该学科的基本结构”。不足的是，《教育过程》本身并没有为教学理论建立一个好的结构。要从相互联系中，从发展变化中去掌握一门学科，就必须掌握学科结构和学科的发展趋势。

2. 发展能力，才能适应

发展能力，这是当代教学理论十分强调的原则。人类在变革自然、变革社会、变革人类本身的实践中，总结出来的知识实在太多了，对一个人有限的一生来说，人类的知识是无穷的。如果老是灌知识、学知识，不培养学生获取知识，探索知识的能力，这样的教学是根本不适应人类知识大量积累的现状，不可能培养出有所发现、有所创造的人才。

因此，在学生掌握知识的同时，一定要注意发展能力。这样才能最大限度地吧知识转化给学生，才能使学生今后有所创造，有所发现。从第斯多惠所强调的“一个坏的教师奉送真理，一个好的教师则教人发现真理”，到美国教学中提倡的“发现法”；从凯洛夫《教育学》所

主张的“知识是主要的一环”，发展到赞可夫的教学原则，主张教学要致力于发展学生能力，表明了教学理论的发展趋势。在处理知识与能力的辩证关系上，适应与转化原理可以为我们指出一个正确的方向。

3. 知识与能力的辩证关系

掌握知识与发展能力是相互联系、相互转化的。一定的知识与一定的能力相对应。这种知识并不能使之具有那种能力。具有力学知识的人，并不说明他具有表演杂技的能力。具有计算能力的人，并不表征他具有文学知识。但具有力学知识的人，的确表征他具有解决力学问题的能力。具有计算能力的人，的确表征他具有数学知识。从这种意义上说，知识（用 Z 表示）与能力（用 E 表示）是成比例的。可表为： $Z_i \propto E_i$ ，右下脚标均为 i ，表明某种知识 Z_i 与其相对应的能力 E_i 才是成比例的。

一定的知识既然与一定的能力相对应，需要培养哪种能力，就要选择相对应的知识；需要掌握哪种知识，就要发展与之相对应的能力。这样，才有利于学生掌握知识和发展能力。例如，学语言，一定要培养阅读和写作等能力；学数学，一定要培养运算和推理等能力；学物理，一定培养实验和抽象等能力……各种能力的总和就构成一般的分析和解决问题的能力。应用整体原理，可表为 $E_{\text{总}} = \sum E_1 + \sum E_2$ ， E_1 表示单项能力， E_2 表示各种能力交叉、组合等形成的能力。

知识是可以转化为能力的，然而，能力却可以帮助一个人获取更多的知识。因此，知识和能力相比较，从长远看，能力更重要。爱因斯坦说：

“发展独立思考和独立判断的一般能力，应当始终放在首位，而不应当把获得专业知识放在首位。如果一

个人掌握了他的学科的基础理论，并且学会了独立地思考和工作，他必定会找到他自己的道路，而且比起那种主要以获得细节知识为其培训内容的人来，他一定会更好地适应进步和变化。”

我们认为，知识和能力的辩证关系也是一个适应与转化的辩证关系。离开知识去空谈能力，或认为知识是首要的，这都是违背了适应与转化原理。培养能力，是为了适应现代科学的发展而提出的教学原则。

掌握结构与发展能力是一致的。对于现代科学来说，只有掌握了学科结构才有助于发展能力。因为掌握学科结构，就是掌握知识的相互联系，这很重要。孤立地记住许多知识，找不出相互联系，建立不起完整的结构，这是不可能发展能力的。现代科学高度分化又高度综合，各门科学之间相互渗透。不掌握联系，不掌握结构，就不能有所前进。掌握学科结构，就是掌握知识的体系。离开了体系，离开了系统，这也是不可能发展能力的。发展能力，其中很重要的一条，就是要发展掌握学科结构的能力。原则三是整体原理的必然要求。

4. 教与学的统一

上述三个原则既适用于教，也适用于学；既是教师教学时应遵守的原则，也是学生学习时应遵守的原则。这是教与学统一的教学原则。

上述三个原则是紧密联系的、相互影响的。但又是相互独立，不能取代的。适应和转化原理要求必须同时遵循三个原则。原则一是基础、动力；原则二是关键、方法；原则三是重点、目标。缺少任何一条原则都不可能全部满足适应与转化原理的要求。教学辩证法对传统的教学原则的改变和简化，是建立在系统科学的三原理

基础上的。

从对应方法看,新的教学论结构比之于传统教学论,既能包容,又有发展。原则一,明确意义,增强兴趣,包括了自觉性、积极性、思想性、启发性、主导性、主动性、课堂与课外相结合等。原则二,逐步深化,周期跃迁,包括了巩固性、直观性、量力性、通俗性、可接受性、循序渐进、质变性原则、创造性原则、发展性等。原则三,掌握结构,发展能力,包括了科学性、简明性、迅捷性、系统性、连贯性、理论联系实际、传授知识与发展智能相结合、掌握知识技能与迁移创新相结合等。新的三条教学原则,既有系统科学原理作基础,又与传统的教学论有十分明确的对应性。

把系统科学的反馈原理、有序原理、整体原理应用于研究教学原则,相应地推出:“明确意义,增强兴趣”;“循序渐进,周期跃迁”;“掌握结构,发展能力”。上述分析表明,系统科学三原理对于研究教学原则系统是适用的。

物理概念形成的系统论模式

一、系统关联模式

物理概念有许许多多,但是起重要作用的基本概念并不多。N.斯皮尔伯格和 B.D.安德森认为有七个“重要思想”:

- (1) 地球不是宇宙的中心——哥白尼学说;
- (2) 宇宙是按照一定规律运动的力学系统——牛顿物理学;
- (3) 能量推动着这个系统——能量概念;

(4) 系统运动是朝着一个特殊的方向——熵与概率；

(5) 事实是相对的，但定律是绝对的——相对论；

(6) 你不能预测或知道所有事物——量子理论和因果限制；

(7) 基本事物不会变化——守恒定律与对称性。

A. 策特曼则认为在物理学中有四个“伟大思想”：

(1) 能量定恒；

(2) 热力学第二定律；

(3) 时间的相对性；

(4) 波粒二象性。

作者在美国哈佛大学、加州大学做访问学者时，研究了上述这些论著，进一步把物理学的历史和物理学的教育两者综合起来思考，提出以下八个物理概念，它们是十分重要的基本概念：

(1) “力”的概念；

(2) “场”的概念；

(3) “能”的概念；

(4) “熵”的概念；

(5) “物质结构性”的概念；

(6) “时间相对性”的概念；

(7) “波粒二象性”的概念（包括“波”的概念、“粒子”的概念）；

(8) “对称与破缺”的概念。

作者认为，上述八个物理概念的形成并不是一个简单问题，需要进行深入的理论探讨、模式构建、实验研究。这几个最为重要而基本的物理概念的形成，不能仅仅用单纯的模式，而应当应用“系统关联模式”。

“系统关联模式”是指应用系统科学的基本原理，充分吸收认识论关于概念形成的种种模式，综合而成的有关概念形成模式的总称。

作者认为，把控制论、信息论、系统论——这“三论”实质是“一论”，即“系统论”，以及耗散结构论、协同论、超循环论——这“三论”都自称是“自组织论”，作为一个“整体”，统称为“系统科学”。作者受到中国古代科学思想的启发；受辩证唯物主义基本原理的引导；并借鉴现代物理学的原理和方法，提出了“系统科学”的三个基本原理：

1. 反馈原理

任何系统只有通过信息反馈，才可能实现有效的控制，从而达到预期的目的。或者说，没有信息反馈的系统，要实现有效的控制，从而达到预期的目的是不可能的。

2. 有序原理

任何系统只有开放、有涨落、远离平衡态，才可能走向有序。或者说，没有开放、没有涨落、处于平衡态的系统，要走向有序是不可能的。

3. 整体原理

任何系统只有通过相互联系，形成整体结构，才可能发挥整体功能。或者说，没有相互联系，没有整体结构，要使系统发挥整体功能是不可能的。

应用系统科学的三个原理来研究物理概念形成的模式。这可使我们从科学方法论的高度去理解物理概念形成的种种认识论模式、心理学模式，等等。

应用反馈原理，我们知道，物理概念形成需要一系列及时的信息反馈。这包括：主体与客体在相互作用中，

即在活动中的一系列及时反馈；感性认识与理性认识之间的一系列及时反馈；同化与顺应、直觉与逻辑等诸对方法之间的一系列及时反馈。在物理教育中，要让学生较为容易且有效率地建立正确的物理概念，重视信息的及时反馈，非常重要。

应用反馈原理，作者给“学习”下了一个较为科学的定义：学习者吸收信息并输出信息，通过反馈和评价知道正确与否的整个过程，称为学习。学习“物理概念”同样需要吸收信息、输出信息，通过及时反馈和评价知道正确与否的整个过程，才是有效的学习。因此，在学习物理概念的过程中，同其他有效的学习一样，要把实验—阅读—思考—讨论—评价，紧密结合起来；要把问题—解答—评讲—改错—再评讲紧密结合起来。不要把这几个阶段拉得太长，信息要及时反馈。对中学生而言，信息反馈以在一日之内为好。

反馈原理为“系统关联模式”提供了理论根据。

应用有序原理，我们知道，物理概念形成是从无序到有序的发展过程。从一般认识论看有“两个飞跃”，这两个“飞跃”缺一不可。物理概念形成，既有量变又有质变，既有同化又有顺应，既有平衡又有非平衡。系统科学中的“自组织论”告诉我们：在平衡态附近线性规律起支配作用；在远离平衡态的地方是非线性规律起作用。线性规律满足叠加原理，不可能产生出系统的新质；非线性规律不满足叠加原理，因而可以产生出系统整体的新质。系统科学中的“相变理论”告诉我们：无论采取何种形式，质变都必须通过“涨落”才可能得以实现。“涨落”是指系统稳定状态的偏离。偶然性的“涨落”通过“关联放大耦合”，而可能变为必然性。在物理概念

形成过程中，直觉、顿悟与“涨落”有密切关系。正是在认识的关节点（或临界点）上的“涨落”，导致认识的“飞跃”，产生直觉、顿悟。在物理概念形成中，我们一定要认识：“通过开放的有序”，“通过涨落的有序”，“通过远离平衡态的有序”，这些系统科学所揭示的规律，对研究物理概念形成有普遍意义。

有序原理为“系统关联模式”提供了理论根据。

应用整体原理，我们知道，物理概念形成需要通过相互联系形成整体结构，从而才可能有整体功能。特别是对于物理学中最重要、最基本的概念形成。例如：“力”、“场”、“能”、“熵”、“物质结构性”、“时间的相对性”、“波粒二象性”、“对称与破缺”等，这些物理概念形成，决不可能采用一种简单的模式就能成功，而必须是采用“系统关联模式”，即是将多种认识论的模式综合起来，将多种心理学的模式关联起来，将“实践论模式”的公式（1-1），“发生认识论模式”的公式（1-2），“科学认识论模式”的公式（1-3）综合起来而形成“系统关联模式”的公式：

物理概念形成 = f（感知活动，观察实验，经验事实，逻辑数学结构，问

题解决，科学方法，观测证实）

……（2-1）

整体原理为“系统关联模式”提供了理论根据。

下面简述公式（2-1）的意义：

（1）“感知活动”指“隐概念”、“前概念”、“初概念”的形成；

（2）“观察实验”，指在物理教学中，有计划、有目的为物理概念形成提供感性认识与理性认识相结合的基

基础；

(3)“经验事实”，包括感性经验、实验基础，是提出新的物理概念的根据所在；

(4)“逻辑数学结构”，指“数学形式”、“体系结构”，它的基础是认识的各种“图式”。它们一旦形成，便有其独立性，可以通过“自由创造”去建立新的物理概念。如果说“感知活动”、“观察实验”、“经验事实”是物理概念形成的直接基础，那么“数学形式”、“体系结构”、“图式”，则是物理概念形成的间接基础。简言之，有了“逻辑数学结构”，不仅有助于理解物理概念，而且有助于创立新的物理概念。通过“逻辑数学结构”去形成物理概念，这是一条有效的捷径，它只是表面地隐藏了物理概念形成的“直接经验基础”。但我们必须认识到，“逻辑数学结构”，归根溯源，也是有其“直接经验基础”的。然而，我们充分认识“逻辑数学结构”的相对独立性、自由创造性，也是非常重要的。皮亚杰的发生认识论和爱因斯坦的科学认识论都指出和强调了这一点。这对于我们在下面提出“数理匹配模式”有重要的启发。

(5)“问题解决”，指应用物理概念去尝试解决问题。只有问题解决得好，物理概念形成才牢。“概念”是分层次的，有大概念、中概念、小概念；同样，“问题”也是分层次的，有大问题、中问题、小问题。心理学家们指出，人们是通过主动地采取若干认识策略来学习概念，概念的学习者，即是积极的问题提出与问题解决者。心理学家们提出了若干“概念形成”的认识策略模式：

联想模式：“通过联想来学习概念”；

假设检验模式：“通过假设检验来形成概念”；

实例模式：“通过实例记忆学习概念”。

其中，1966 年列文（M.Levine）提出的“假设检验模式”影响较大。这一模式的要点是，概念学习者即问题解决者。这一模式的过程，即是学习者不断提出假设，检验假设，修改假设，再检验，直至成功解决问题。

（6）“科学方法”，指在物理概念形成过程中，既要用逻辑方法，也要用直觉方法（非逻辑方法）。即是既要
从特殊到一般（直觉方法），也要从一般到特殊（逻辑方法）。从系统方法看，当然还包括从特殊到特殊、从一般到一般这些类比方法、相似方法的应用。“物理概念形成”要用到多种多样的科学方法，毛泽东总结为“去粗取精，去伪存真，由此及彼，由表及里”以及“分析矛盾，解决问题，检验理论，发展理论”；皮亚杰则强调了“同化”、“顺应”的方法；爱因斯坦则强调了“直觉思维”；数学形式的“自由创造”、“探索演绎”等科学方法。本文作者则应用系统科学的方法，提出“概念形成”、“问题解决”、“方法产生”是一致的、对应的、可转化的。“概念形成”可以转化为“问题解决”，而“问题解决”又可以转化为“概念形成”。同时，“问题解决”又总是伴随着“科学方法”的产生和应用。同样，“科学方法”的产生和应用，又总是可以转化为更多的“概念形成”和“问题解决”。离开了“问题解决”和“科学方法”，“概念形成”是不可能的。简言之，“概念形成”必须同时伴有“问题解决”和“科学方法”。

（7）“观测证实”，指一个物理概念不仅与已知的“经验事实”相符，而且由这一物理概念演绎或预言的新内容，能被新的“观测”所“证实”。这样，可以说这一物理概念的普遍性在人们进一步认识和改造世界中，得到强有力的证实。“观测证实”是表明这一物理概念能

解决更大范围、更为深刻的问题。从实际上看“观测证实”与“问题解决”是一致的。

由公式(2-1)表明的物理概念形成的“系统关联模式”中，共有七项，可以归类为三大要素：

第一大要素是“基础”，它包括“感知活动”、“观察实验”、“经验事实”。

第二大要素是“形式”，它包括“数学形式”、“逻辑结构”（即“逻辑数学结构”）。

第三大要素是“方法”，它包括“问题解决”、“科学方法”、“观测证实”。

本文一开始就指出，物理概念有许许多多，物理概念是分层次的。其中，最重要、最基本的物理概念的形成，必须应用“系统关联模式”。推而广之，“概念”是分层次的。正因为如此，心理学家、教育学家、物理学家、哲学家们可以在不同层次上，从不同角度去认识“概念”。

对什么是“概念”心理学家有以下看法：

(1) “概念，是事物的本质属性在人脑中的反映，它是在抽象概括的基础上形成的，是用词来标志的。”

(2) “在心理学上，一般把概念定义为具有共同的关键属性(CommonCriticalAttribute)的一类对象、事件、情境或性质。”

(3) “‘概念’(Concept)是思维的基本形式之一，是对两种以上的对象、事物、人的共同特征的概括，而不是某种特定事物的概括。”

由上述可见，心理学中的“概念”至少有由浅入深的三个层次。第一层次，概念是两种以上的事物的“共同特征的概括”；第二层次，概念是事物“具有共同的关

键属性”；第三层次，概念是事物的“本质属性在人脑中的反映”。这就是儿童可以形成的“普通日常概念”（第一层次）；儿童可以学习的“基础学科概念”（第二层次）；达到高度抽象的“专业科学概念”。我们认为，对于“普通日常概念”、“基础学科概念”可以应用前面指出过的“联想模式”、“假设检验模式”、“实例模式”去形成；但是，对于像“力”、“场”、“能”、“熵”、“物质结构性”、“时间相对性”、“波粒二象性”等这样高度抽象的“物理概念”（属于“专业科学概念”），仅用上述较简单的模式不行，应当采用现在所研究命名的“系统关联模式”。

二、协作现象模式

这一模式是由傅进提出的。他还以“力”的概念形成进行了理论探讨和实验研究，证明“协作现象模式”的科学性和有效性。这是在系统科学的启发下，特别是借鉴了自组织理论，提出了“协作现象模式”。从实质上看，这一模式是“系统关联模式”的子模式。下面从理论上论述“协作现象模式”优越于“假设检验模式”。它也能解释“意义网络模式”和“原型实例模式”。

我们认为，“假设检验模式”对于一般的物理概念形成是有效的。但是对于最重要、最基本的物理概念（假如，“力”、“场”、“能”、“熵”、“物质结构性”、“时间相对性”、“波粒二象性”等）的形成，则显然不够。“假设检验模式”有其自身内在的缺陷。

1. “协作现象模式”与“假设检验模式”

在建立协作现象模式的讨论过程中，我们已对假设检验模式实验进行过分析，并在此基础上提出了我们对概念形成的看法。因此，前面的讨论可以被看作是概念的“协作现象模式”对“假设检验模式”实验的一种合

理解释。

有人在“假设检验模式”的基础上，提出了概念形成的定义：概念形成就是要把有共同特征的东西归在一组，而把不同特征的东西放在不同的组中。关于概念形成的过程，Moatees 等人于 1980 年提出如下的形成顺序：

发现属性—发现属性结合规则—提出假设—检验假设

从中我们不难发现，他们的基本观点是所谓概念形成，就是从大量的具体的例子出发，从概念的肯定例证中，以归纳的方式抽出一类事物的共同属性，并把某一种事物归入某一类的过程。我们认为这一模式有缺陷，它不能够对实验事实给予令人满意的解释。这些缺陷是：

(1) 不能够对概念形成的突变过程给予解释；

(2) 不能对这样的现象给予解释：随着实验次数的增加，最后形成概念，从本质上讲不是有关类的概念，而是“是”或“非”的概念，即所形成的概念在属性上发生了质的变化；

(3) 不能对多数被试者使用随机策略，而不使用最有效的策略和现象给予恰当的解释。

而概念形成的“协作现象模式”能够对上述困惑给予一定的说明。所谓的概念形成的协作现象模式，是指：人们的思维在组成某一类事物的各个元素之间导入一种关联作用之后，人们对这些元素的独立性（个性）的认识就会由于元素之间相互关联受到抑制，它们之间彼此制约，使得在人们的大脑中对群体元素形成了一种协调一致的认知趋势。这对该类事物达到一种有序的认识。并且对这种有序的认识，在某种临界点上会在外界“涨落”作用下，会产生灵敏的变化，有时甚至会达到“有”

与“无”之区别。显然，在这里概念形成过程，实际上是一种类似于“相变的过程”。相变过程的突变性与质变性能对（1）、（2）两点给予圆满的、科学的解释。

由于协作现象中各元素之间的关联可以近似地看做是并行作用的，因此缺乏“记忆”功能。我们知道无记忆功能的事件，往往都是随机的事件。这一点似乎可以对困惑（3）作出一定的解释。并且，有人对困惑（3）作过如下的分析：人们常常并不使用最有效的策略，这有两种可能，一是被试根本不知道什么是更有效的策略。这种情况，可以考虑训练被试，告诉他们先作出多种假设再逐个排出，在此基础上再看他们是否能够提高形成概念的速度和效率。然而这种做法并不会得到很好的结果，因为只凭短时记忆，只能记住上一个样例，而以前的信息都忘了，无法利用。我们认为这个论证愈加说明了协作现象模式的合理性。因为论证所阐述概念的形成过程，基本上是一个无记忆过程，即是一个非串行处理过程。这恰恰是协作现象所具有的特征。并且在协作现象发生之前，体系的状态是无序的，而无序的最大特点就是随机性。这能够对困难（3）作出一定的合理性解释。因为，当实验处在开始阶段时，提供给被试的信息量，还不能使被试的思维利用这些信息在各元素之间的导入一种关联作用。而无关联作用的体系始终以走向最大的无序来显示各元素之间相互独立性，因此被试对该体系的认识是混乱的——随机地选择其中某一个体所具有的特征来刻划该体系的性质，并当作群体的共性特征。我们认为这就是为什么人们总是倾向于使用随机策略的原因之一。

“假设检验模式”认为：在概念形成过程中，概念

的学习者是作为一个问题的积极解决者出现的，学习者不断地产生和检验假设，这些假设都是关于确定概念属性的规则和方式。每一个成功的假设。通过运用它把事物分为可作为概念的例子和不可作为概念的例子两类而得到检验。无论何时，一个不能成功分类的假设就会被抛弃，而一个新的假设就会产生，直到正确的假设被发现为止。

学习者不断地产生假设的过程，就是学习者不断地将各个元素关联起来的过程，也就是对各元素之共性的认识，以及各个元素之个性在头脑中得以淡忘和消失的过程。每一次成功关联的产物——各元素之共性特征，通过对它的应用，把事物分为可作为概念的例子和不可作为概念的例子两类而得以检验。很明显地，概念形成的关联产物的过程是一个或“有”或“无”的量子化过程。所谓的检验过程，实际上就是外界给予“涨落”作用的过程。由于这个时候的认知系统常处于一种非平衡的状态，并且他们所面对的材料——给他们所提供的刺激，常引起他们头脑中图式与现实的不平衡冲突。因此，他们一般还不能够利用头脑中原有的图式将它们予以同化或顺应。处于这种思维状态之下的人们，所表现出来的行为是：他们在选择时常会出现犹豫不决或者不知所措。因而他们的思维策略多倾向随机取样。耗散结构理论认为，处于非平衡状态的认识系统，某些不稳定性存在可以被看做是某个“涨落”的结果，这些“涨落”起初局限在系统的一个小部分之内，随后扩展开来，并引出一个新的状态。在“假设检验”实验之中，由于被试卡片是随机编排的，因此，传递给被试者的“是”、“非”信息是无序混乱的，是一种“涨落”。起初它被局限在思

维系统的一个小部分之内——被试只能够在一段时间内坚持某一种假设，然后通过对主试者的反馈信息进行系列分析，随后这种“涨落”逐渐地在认识系统中得到扩展——原先所坚持的某种假设，要么在整个思维过程得到承认，要么得到排斥。从而引出一个新的平衡的思维状态——在大脑中形成了“是”或“非”的概念，建立了新的图式，并能够利用它顺利地同化或顺应面对的材料。

2. “协作现象模式”与“网络模式”、“实例模式”

概念的构成要素及其相互关系，即为概念的结构。

关于概念结构的问题，现有多多种多样的理论。“特征表说”和“原型说”是较有影响的两种学说：

(1) “特征表说”——“网络模式”。

“特征表说”首先是从语义记忆的研究中吸取了营养。60年代以来，先后出现了几种语义记忆的理论。如“网络模式”认为，储存在语义记忆中的词或概念构成了一个庞大的网络，概念在这个网络中形成一定层次的逻辑的上下级关系，特定级别的概念的特征储存于这个级别的位置；“集论模式”认为，概念在记忆中是由几个组的信息或成分表达出来的。在这些组中，有的组包含概念的实例，有的组包含概念的属性；“特征比较模式”认为，词或概念可以被一些语义特征表达出来。这些语义特征，一类可以界说概念的重要特征（定义性特征），另一类可以界说概念的次要特征（特异性特征）。可以看出，这几种模式都与概念的特征有关，都认为概念在语义记忆中可以由各种特征所表述。它们从记忆结构方面支持了“特征表说”。

人工概念的研究是“特征表说”的又一个支持者。

人工概念是对现实事物的概念的模拟。选择一些刺激维度，并为每个刺激维度规定若干属性或特征，也即赋予维度以一定的值。利用这些维度或属性的组合就可以构成一组人工概念材料。例如，以颜色作为维度（红、黄、蓝等），图形作为特征（即属性，如三角形、十字形、星形、方形），那么，诸如“红色三角形”、“绿色方块”之类就构成了一组人工概念。显然，人工概念是从共同的有关属性来说明概念的。

在人工概念和语义记忆研究的影响下，“特征表说”认为概念由两个因素构成。即 A. 概念的定义性特征，即个体具有的共同的有关属性。B. 诸定义特征之间的关系或整合，这些特征的规则，用一个公式表示，即：

$$C=R(X, Y, Z, \dots)$$

其中，X，Y…为个体具有的共同的定义特征，R 为整合这些特征的规则（Rule），C 表示概念。而概念规则的抽象性高于定义性特征的抽象性。

（2）“原型说”——“实例模式”。

“原型说”认为，概念主要是以原型来表达出的。所谓原型，是指一个概念范畴中的最典型的实例。因为概念所包含的实例在典型性上是有差别的，人们主要借助于原型来理解概念。比如谈及“鸟”，我们常常会想到麻雀，而不会想到企鹅或鸵鸟。这说明在“鸟”概念范畴中，麻雀的典型性程度比企鹅和鸵鸟高。

原型说认为，概念由如下两个因素组成：A. 原型（最佳实例）。B. 范畴成员的代表性程度。因为与概念的其他成员相比，原型具有更多的属于共同的属性，所以原型在概念结构中起着核心的作用。概念实例可以在一定范围内发生变异，但原型始终是核心。它为这些各具特点

的众多实例组成一个整体提供基础，从而体现出概念的结构。

实验表明，当人们听到一个概念的名词时，在他们的头脑里出现的不是该范畴所有成员都具有的共同的特征，而是该范畴的原型或最佳实例。原型以表象来编码。显然，“原型说”将概念与感性形象相联系，有合理的成分。然而原型对表象的依赖，对于概念的真正建立，是有消极影响的。因为，表象的概括程度终归是有限的。学生真正掌握了概念，将摆脱对表象的依赖。概念与表象没有直接联系。

关于“物理概念形成”的“协作现象模式”，还可以对“特征表说”中的“网络模式”给予一定地说明。从科林斯与奎利恩关于意义记忆的研究中得出结论：意义记忆的内容是一个内容之间存在着相互关联的结构组织，它被称为“意义网络”。

我们知道在统计力学中，处理“协作现象”的基本理论之一就是点阵动力模型理论。所谓的“点阵动力模型”就是在规则排列的点阵上，布列着彼此间存在近邻（至少是最近邻）相互作用的粒子的集体模型。并且每一个协作对象在每一格点上还可以有几个不同的可能的状态。而且在格点网络上，粒子与粒子之间的相互作用是存在着等级之分的。“意义网络”与此有些相似。而每一个词一般都有几个不同的可能的状态（每一状态代表着不同的特征）。词与词之间相互关联也是存在着等级之分的。粒子与粒子之间的相互作用使得粒子的个性得以减退，共性得以放大。相似地在人的头脑中，思维将这些布列在意义网络上的不同的各个词相互关联起来。结果，可能使一群词的个性得以消除，共性得以放大，从

而形成对某一类事物的概念。

关于概念形成的“协作现象模式”，还能够对“原型说”给予较好的说明。我们知道“原型说”的基本特点之一，就是着眼于一类事物所具有的共同特征。一个概念所包含的个体都是千差万别的。一个概念的形成，是由于原型与原型之外的其他元素之间相互作用的结果。并且每个元素与原型之间的相关程序一般来说是不同的。相关作用的结果使得各个元素的个性得以淡忘和消失而突出其共性，即一类事物的家族相似性。从而概念得以形成。

由此可见，概念形成的“协作现象模式”能够较好地将各种概念形成的模式统一起来，是一个对各种概念形成过程都能给予一定说明的较好模式。它有一定生命力和发展前途。因为概念形成过程实际上是一种自组织现象。用自组织理论对它进行解释，就可能优越于其他的解释。

三、数理匹配模式

物理概念形成的“系统关联模式”用公式（2-1）表示，对（2-1）加以归类简化，可得一简明的公式：

$$\text{物理概念形成} = f(\text{感知经验, 数学逻辑, 问题方法}) \dots\dots (2-2)$$

“系统关联模式”以系统科学三原理为基础，研究物理概念形成，认为：“物理概念”与“数学概念”两者的“匹配”，对于物理概念形成有极为重要的意义。

在物理学中，我们知道，供应能量的一方与使用能量的一方，存在一个“匹配”问题。在技术上称为“能量匹配”、“功率匹配”、“电压匹配”等等。加工对象与工具使用，也存在一个“匹配”问题。用哲学术语讲，

“匹配”就是相互“适应”。

物理概念与数学概念的匹配，简称为“数理匹配”。它对于物理概念形成，无论从物理学理论创建，还是从物理学教育过程看，都起着关键作用。因为，它们这两者的“匹配”，关系到公式（2-2）中的后两大要素：“数学逻辑”、“问题方法”。“数理匹配模式”是“系统关联模式”的子模式。物理概念形成的过程，是一个“数理匹配”、“数理关联”的过程。某一物理概念的形成，总是伴随着相关物理概念和数学概念的形成。爱因斯坦写道：

“伽利略通过对一些最简单的经验事实的天才的解释，建立了这样的命题：凡是不受外力作用的物体，永远保持着它原来的速度（和方向）如果它改变了速度（或者它运动的方向），那末这个变化必定是由于外在的原因。

如果要在数量上利用这一知识，速度和速度变率——在任何被设想为无大小的物体（质点）的运动情况下，那就是加速度——这两个概念首先必须以数学的准确性来表述。这项任务导致牛顿发明了微积分的基础。

这本身就是一个第一流的创造性的成就。但是对于作为一个物理学家的牛顿来说，他发明这种新的概念语言，只是为了建立普遍运动定律的需要。对于一个既定的物体，他现在必须提出这样的假说：那个在大小和方向上都已由他精确表述了的加速度，是同作用在这物体上的力成比例的。这个表征物体的加速能力的比例系数，完备地描述了这个（无大小的）物体的力学性质；这样就发现了质量这个基本概念。”

这仅仅是一个实例。还有许多实例说明物理概念的

形成,总是伴随相关的其他物理概念和数学概念的形成。

从皮亚杰“发生认识论”和爱因斯坦“科学认识论”关于物理概念形成的公式(1-2)、(1-3)中可知,对于物理概念形成,“逻辑数学结构”起着十分重要的作用。

下面,从模式论的角度来分析物理概念与数学概念相“匹配”的问题。作者在研究“物理模式”、“数学模式”、“教育模式”等的基础上,提出了研究“一般模式论”,或简称“模式论”。特别从“问题—模式谱”的研究中,可以启发我们理解“数理概念匹配”的实质是:物理问题与数学方法的“匹配”,或物理模式与数学模式的匹配。可以从“问题—模式谱”上,直观地理解怎样才能使“物理概念”与“数学概念”相“匹配”、相“适应”。

模式论认为,建立某种思维模式,总是为了解决某类问题。按照问题的简单性、复杂性,或者说按照问题的因果性、随机性,或者说按照获得信息多少的具体情况,可以在问题谱上划分为五大类问题。从而形成五大思维模式。

1. 白色系统问题——决定模式

人们能完全明确该系统的信息,这种系统称为白色系统,例如,引力二体系统、简谐振动系统是属于白色系统。解决白色系统问题所采用的思维模式是“决定模式”,即是实验设计,系统控制。

2. 灰白系统问题——程序模式

人们能大部分明确,小部分不明确该系统的信息,这种系统称为灰白系统。例如,电路网络、飞机系统,是属于灰白系统。解决灰白系统问题所采用的思维模式是“程序模式”,即是控制过程,预见行为。

3. 灰色系统问题——预测模式

人们能部分明确，而部分不能明确该系统的信息，这种系统称为灰色系统。在灰色系统中，能够明确的信息与不能明确的信息，两者的比例尚难确定，例如，大气系统、生态系统，是属于灰色系统，解决灰色系统问题所采用的思维模式是“预测模式”，即是搜集信息，预测未来。

4. 灰黑系统问题——试探模式

人们能小部分明确，大部分不能明确该系统的信息，这种系统称为灰黑系统。例如，人的心理系统，社会系统，是属于灰黑系统。解决灰黑系统问题所采用的思维模式是“试探模式”，即是假设试验，观念探索。

5. 黑色系统问题——描述模式

人们完全不能明确该系统内的信息，这种系统称为黑色系统。例如，人脑记忆系统，夸克系统，基本上属于黑色系统。解决黑色系统问题所采用的思维模式是“描述模式”，即是整体洞察，专家选择。

沿着白色系统—灰白系统—灰色系统—灰黑系统—黑色系统的方向看，系统的复杂性、随机性增强，应用模糊表述、定性描述程度增大。

沿着黑色系统—灰黑色系统—灰色系统—灰白色系统—白色系统的方向看，系统的简单性、因果性增强，应用精确表述，定量描述程度增大。

上述关于问题与模式的论述，可以用“问题—模式谱”表示，简称“Q-M谱”：

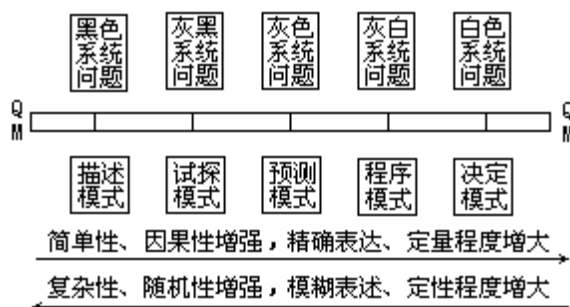


图2-7 问题—模式谱（Q-M谱）

从图 2-7 所示的问题—模式谱看，绝大多数系统是属于灰白系统问题或灰黑系统问题。纯粹的白色系统问题和黑色系统问题是极少的。在实际中，对于灰白系统问题，人们倾向于用“程序—决定”思维模式；对于灰黑系统问题，人们是用“试探—描述”思维模式。

由问题—模式谱，我们可以认识到“程序—决定”思维模式的应用条件，它的优点及局限性；我们也可以认识到“试探—描述”思维模式的应用条件，它的优点及局限性。具体问题，具体分析，具体解决；不同问题的解决，应用不同的思维模式。不同的思维模式，难以判断其“好”或“坏”。重要的是认清它们的应用条件、优点及局限。

上述对“问题—模式谱”的研究分析，完全可以应用于“物理问题—数学模式”相互“匹配”的研究。按照现代数学的观点，数学就是研究量化模式的建构。数学可以说是“对于模式的研究”。按照模式论，什么是数学？回答是：

“数学就是应用抽象的量化方法去研究关系结构模式的一门科学”。“从而具有不同抽象层次的理想化的关系量化模式（纯粹形式结构）就是数学研究的对象。因此数学不同于一般的自然科学，不能归属到自然科学的

范畴中去。又由于数学有其自身的内容和特质，故又不可能归结为逻辑。”

本书作者查有梁在美国加利福尼亚大学圣迭戈分校做高级访问学者时，查阅有关数学模式的专著就有百余本。“数学模式”、“数学建模”的研究，已成为数学的核心问题。

数学模式可以分为三大类：

1. 确定性数学模式（对应于问题—模式谱上的决定模式）
2. 随机性数学模式（对应于问题—模式谱上的预测模式）
3. 模糊性数学模式（对应于问题—模式谱上的描述模式）

由此，根据图 2-7，我们可给出“物理问题—数学模式谱”，也即是“物理概念—数学概念谱”。因为“概念形成”、“问题解决”、“科学方法”三者是一致的、对应的、可转化的。简称“P-M 谱”

“物理问题—数学模式谱”用图 2-8 表示。

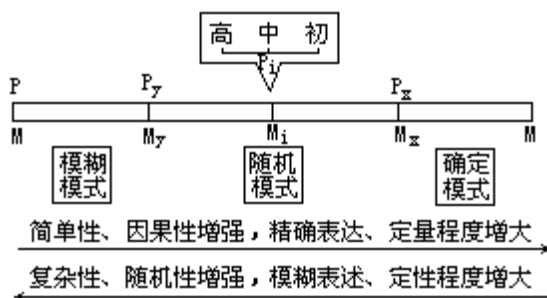


图2-8 物理问题—数学模式谱I (P-M谱I)

在图 2-8 中，解决物理问题 P_z ，我们选择数学模式 M_z ，则两者是“匹配”的；同样，解决物理问题 P_y ，选择数学模式 M_y ，则两者是“匹配”的，反之，则是不“匹

配”或不“适应”的。“P-M谱”为我们研究“数理匹配模式”提供了一个直观解释。从物理教育学看，解决一物理问题 P_i ，我们正确地选择了数学模式 M_i 。按照“非标准分析”的观点，可以把这一“点” i 放大。在点 i 内，我们可以分别用高等数学的方法，中等数学的方法，初等数学的方法，针对不同教育对象进行教育。

从教育实际看，我们还可以将物理问题—数学模式谱（P-M谱）表述成图 2-9。

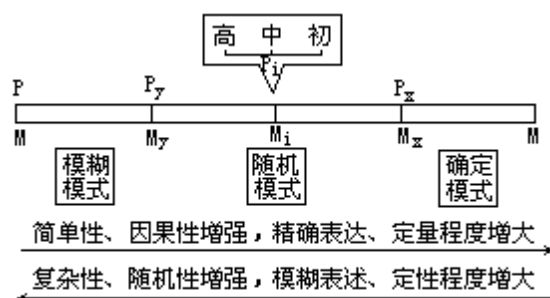


图2-8 物理问题—数学模式谱I（P-M谱I）

在图 2-9 中，为了解决某一物理问题 P_i ，我们可以在“P-M II 谱”上进行选择。从物理教育看，应尽量选择比较初等的数学方法去解决问题。但是并不是越初等就越好。有些物理问题必须用比较高等的数学方法，如果硬要用比较初等的数学方法解决，反而“很复杂”、“不经济”。下面的案例将作出具体的论述。从教学论看，对于一个特定的物理问题，对不同水平的教育对象，可以选择一个相“匹配”的数学方法。

显然，针对不同的水平的学生，在应用“数理匹配模式”时，必须具体问题，具体分析；具体对象，具体选择。这就有必要进行一系列专题研究。本书第七章第四节、第五节、第六节，以三个案例，具体研究“数理匹配模式”的应用。

物理教学的结构研究

现在首先研究牛顿力学的教学结构。论述了“教学结构”对物理教学的重要意义，从四种水平探讨了牛顿力学的教学结构。“教学结构”与“科学结构”既有联系，又有区别。由于它重在把握整体、把握联系，学生们会感到较为抽象。现在进而以生动的“对话”形式，说明高中力学部分的结构和电学部分的结构。不仅“物理知识”有其内在的“教学结构”；“物理问题”通过“一题多解”和“一题多变”也可以形成一个“方法-问题”结构。现在最后以一个具体的物理例题，说明怎样去建构“方法-问题”结构。

牛顿力学的教学结构

1687年，牛顿的《自然哲学之数学原理》发表，经过了相当长的时间，牛顿力学先后成为大学物理和中学物理学中的重要部分，至今仍是中学物理和大学物理的重要内容。本节着重介绍现今物理教学中关于牛顿力学的四种不同水平上的教学结构：初等水平的力学结构；中等水平的力学结构；大学水平的力学结构；高等水平的力学结构。

教学的基本内容及其相互联系，即教学结构。牛顿力学的基本概念和基本规律，以及这些概念和规律的相互联系，即牛顿力学的教学结构。教学结构一方面要适应该学科本身的现代结构，另一方面也要适应教学规律。

因此，在不同水平上讲述牛顿力学，其教学结构是不相同的。

一、教学结构的意义

分析教学结构有什么好处呢？

(1) 有助于给予学生比较系统的知识。教师分析了教学结构，才易于有计划、有步骤地，按照整体—部分—整体*的程序，给予学生比较系统的知识。让学生能理解知识的内在联系，形成结构，从而才能发挥所学知识的强大功能。

(2) 有助于分清主次、突出重点、抓住关键。教师掌握好教学结构，则易于从整体看局部，从长远看当前，能较准确地抓住重点和关键。在教学中应当反复地回到最基本的概念和规律上，让学生真正掌握教学结构。

(3) 有助于教师控制教学的深度和广度。不同水平的教学内容，有不同的教学结构。掌握教学结构，方知如何逐步地深化这个结构，如何周期地扩展这个结构，从而在一定水平上很好地把握教学的深度和广度。

(4) 有助于启发学生主动地学习。掌握教学结构，教师则易于处理哪些知识应当让学生去分析、概括、发现。学生则易于了解当前学到的知识在整体中的地位和作用，从而能调动积极性，主动地有成效地学习。

(5) 有助于加深学生的记忆和应用。根据人的记忆规律，如果把所学的知识纳入一个结构，就不容易忘记。所学的知识能形成一个良好的结构，这才能显示出在应用时的强大功能。

综上所述可知，分析教学结构是十分重要的。图 3-1 至图 3-4 概括地表示了牛顿力学的四种不同水平的教学结构。每一个箭头表示了各种概念和规律之间的逻辑

联系。

二、初等水平的力学结构

图 3-1 是初等水平的力学结构，相当于初中物理的力学结构。

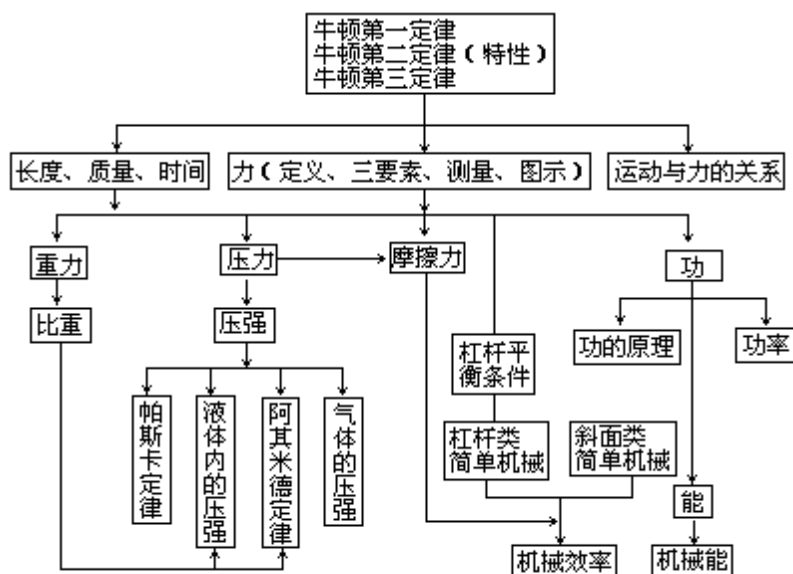


图3-1 初等水平的力学结构

虽然所讲的内容大多是古代就总结出的力学规律，但是，整个教学结构是以牛顿三大定律为核心展开的。如果只是平行地去教各种概念和规律而不突出牛顿力学定律的核心地位，就不能形成良好的教学结构。力、功、能这三个概念是关键性的概念。在教学中一直要贯穿着讲清楚牛顿第一定律、牛顿第二定律（定性）、牛顿第三定律。无论在讲重力、压强及其应用，还是讲功的原理、简单机械，都应逐步加深和巩固学生对牛顿力学三定律的认识和理解。要让学生了解：自然规律是简单的，然而它的应用却是无比丰富和生动的。

三、中等水平的力学结构

图 3-2 是中等水平的力学结构，相当于高中物理的

力学结构。在初等水平的力学结构的基础上，中等水平的力学结构是明确地以牛顿力学三定律、万有引力定律等为其重要内容。从牛顿力学

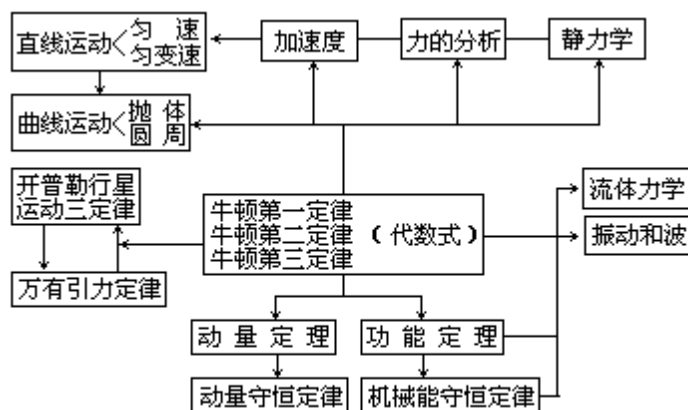


图3-2 中等水平的力学结构

定律可以演绎出动量定理及动量守恒定律，可以演绎出功能定理和机械能守恒定律。但是，实验验证这两个守恒定律是十分必要的。这两个守恒定律的普遍适用性比牛顿力学定律还要广泛，因为这两个守恒定律在宏观世界和微观世界都适应，而牛顿力学则不适用于微观世界。在教学上，既可以从开普勒行星运动三定律出发，应用牛顿力学三定律，演绎出万有引力定律；也可以从万有引力定律出发，应用牛顿力学三定律，演绎出开普勒行星运动三定律。

四、大学水平的力学结构

图 3-3 是大学水平的力学结构，相当于大学普通物理的力学

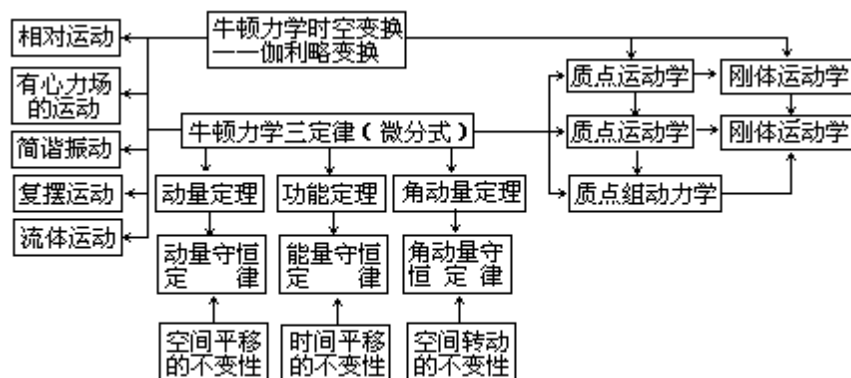


图3-3 大学水平的力学结构

结构。比之于中等水平的力学结构，观点更高了，内容更多了。引入了牛顿力学的时空变换——伽利略变换。不仅讲了质点的运动学和动力学，而且讲了刚体运动学和动力学。在基本规律方面，增加了角动量定理和角动量守恒定律。数学工具则主要应用了微积分。从空间平移的不变性可推演出动量守恒定律，从时间平移的不变性可推演出能量守恒定律，从空间转动的不变性可推演出角动量守恒定律——这应当成为大学水平的力学结构中的内容之一。在大学水平的力学结构中，所处理的力学问题，基本上是可以积分的力学系统，简称可积系统。

高中力学结构

甲：中学物理的重点是力学和电学。力学的重点是什么？我觉得力学中的公式太多，理不出头绪。

乙：应当理出头绪。抓住重点，掌握知识之间的内在联系，形成一个结构，那么，学的知识就有了头绪，就不易忘记，就便于应用。

甲：我很想了解力学的结构。

乙：请你看看下面这个有箭头的图 3-4，力学的重点内容都在图上。每个方框里是重要的物理概念和公式。每个箭头表明知识间的内在联系。牛顿三定律是力学的基础，十分重要，应牢牢掌握它的内容，理解它的意义。

甲：对于牛顿三定律，我们观察演示实验，还亲自做了实验，又做了不少练习。对于 $\Sigma F=ma$ 应注意合力的方向即加速度的方向，同时单位要统一，不能搞错；对于牛顿第三定律，作用力 F 和反作用力 F' 是分别作用在不同的物体上。

乙：对！容易搞错的地方你都弄清楚了。

甲：牛顿三定律的重大意义在哪里？

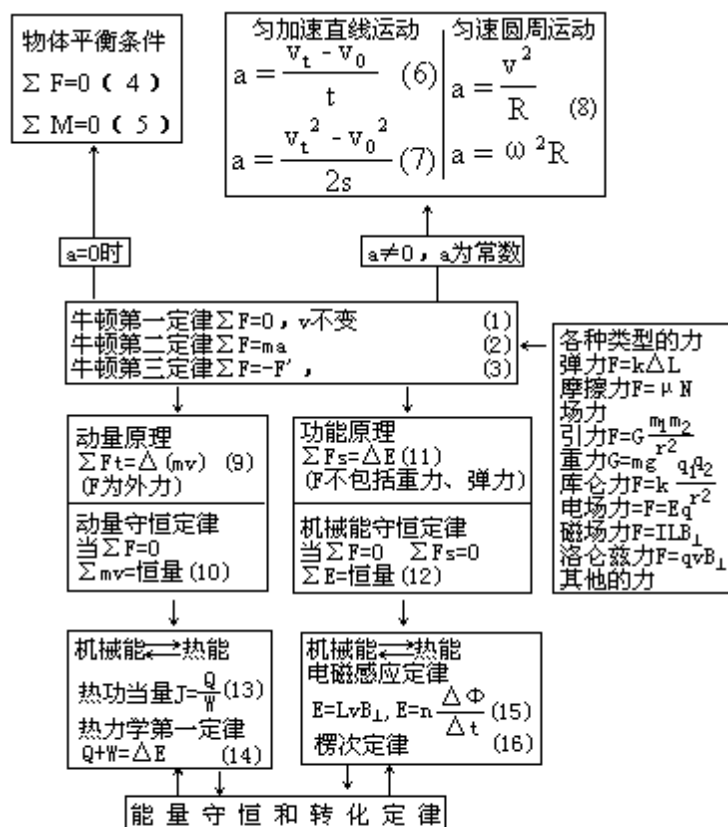


图3-4

乙：牛顿三定律是简单的，然而它的应用却是非常

生动和丰富的。牛顿三定律中的力，可以是各种不同的力：弹力、摩擦力、压力、万有引力、气体膨胀的力、电力、磁力、洛伦兹力等，它们可归结为场力、弹力和摩擦力（见图 3-4 的右边），同样在功能原理中，可以是不同的力做的功。牛顿应用他的三定律加上万有引力定律，完满地说明了宏观世界的整个图像：从地球的形状到潮汐的涨落，从落体的运动到天体的运行；它是工程技术的基础；应用它还出色地预言了未知行星的存在。牛顿本人就指出了发射人造地球卫星的可能，现已变为现实——实践是检验真理的标准，牛顿三定律的意义应当充分认识。牛顿三定律是简单和丰富、抽象和直观的辩证统一。

甲：我也感到定律本身简单，应用起来困难。当然多思考、多练习，也就逐渐不难了。

乙：当 $a=0$ 时，图 3-4 上标出了物体平衡的方程，这是静力学的内容，这些知识早在牛顿之前人们就总结出了，这里纳入牛顿力学的结构之中是易于理解的。

甲：(6)、(8) 两式是运动学的主要公式，为什么还要写上公式 (7) 呢？

乙：(7) 式也很重要。例如，一个物体在恒力 F 的作用下沿水平方向做匀加速直线运动，初速度为 v_0 ，末速度为 v_t ，通过路程为 s ，求力 F 所做的功。

$$\because Fs = mas$$

将 (7) 式代入上式得：

$$Fs = \frac{1}{2}mv_t^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

这便是功能原理的一个特殊情况：外力所做的功等于物体动能的变化。可见要 (2)、(7) 联立求解的问题，

用功能原理，一个公式（11）即可解决。注意（11）中的 E 包括动能和势能。一般说来，解决某些力学问题，既可应用运动学和动力学公式联立求解，也可应用动量原理（9）或功能原理（11）去求解——而后一方法常常更为简明些。在由牛顿三定律推出（9）、（11）中，（6）、（7）起了桥梁作用。

甲：老师曾经强调指出应用功能原理时，其中的外力不包括重力和弹力，但应用牛顿第二定律时却未加这个限制，这反而把我搞混了。

乙：这个问题绝不应搞混。因为重力做功已包含在重力势能中。举个例子说明：在沿斜面方向的外力 F 作用下，物体从高度

h_1 上升到 h_2 ，且速度由 v_1 增加到 v_2 （见图 3-5）摩擦力 f 和角 α 为已知，求外力 F 所做的功为多少？

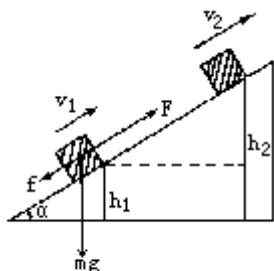


图3-5

解法 1 应用牛顿第二定律和运动学公式联立求解：

$$\begin{cases} F - mg \sin \alpha - f = ma \\ v_2^2 - v_1^2 = 2as \end{cases}$$

$$\text{得：} F_s = (mg \sin \alpha + f) s + \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$$

$$\text{而 } s \sin \alpha = h_2 - h_1$$

$$\therefore Fs = mgh_2 - mgh_1 + \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 + f \cdot s$$

解法 2 应用功能关系 $\Sigma Fs = E_2 - E_1$

$$\text{即 } (F - f) s = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 - mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$\therefore Fs = mgh_2 - mgh_1 + \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 + f \cdot s$$

两种方法得的结果一样。你可以看到应用功能原理时，其中外力不能包括重力。否则，算重力做功，又算重力势能，这就多算了一次，这就错了！（同理，外力也不能包括弹力。弹力做功已包括在弹性势能之中了）你应当真正搞懂这一点。

甲：通过这个例子我清楚了。但是应用动量守恒定律（10）和机械能守恒定律（12）的条件，我常常搞不清。

乙：这是很重要的，必须掌握。满足 $\Sigma F = 0$ 的条件（或所受外力比之于物体间的相互作用力很小，以致可以忽略时），才能应用动量守恒定律，否则就不守恒。注意：动量是矢量，在某一方向上 $\Sigma F = 0$ 时，则在该方向上动量守恒。满足 $\Sigma F = 0$ 或 $\Sigma F \cdot s = 0$ 的条件，才能应用机械能守恒定律。应该注意外力要除开重力和弹力。你自己可以找几个例题看看，这里不举例了。

甲：为什么动量守恒，只要一个条件即 $\Sigma F = 0$ ，而机械能守恒，还可以当 $\Sigma F \cdot s = 0$ 也可应用呢？

乙：问得好。当 $\Sigma F = 0$ 时，当然有 $\Sigma F \cdot s = 0$ 但当 $\Sigma F \neq 0$ 时，也可能有 $\Sigma F \cdot s = 0$ 。例如，使物体做匀速圆周运动的向心力，对物体不做功，因为在力的方向上没有通过一定的路程，这时 $\Sigma F \neq 0$ 时，但 $\Sigma F \cdot s = 0$ ，这时也可应用机械能守恒定律。你自己去找一个实例。

甲：教材上讲到牛顿定律的适用范围时，指出在微观世界牛顿定律失效，要代之以量子力学；当物体的速度接近光速时，牛顿定律已被修改，要应用相对论。可是在处理微观粒子之间的碰撞等问题中，都在应用动量守恒定律和能量守恒定律，而这两个定律又是牛顿定律的自然的推论，这岂不自相矛盾吗？

乙：问得很好，说明你认真看了书，还细心地进行了思考。这两个守恒定律可以照图 3-4 上的逻辑联系纳入牛顿力学的结构之中，到目前为止，中学教材大多数是这样的。实际上，这两个守恒定律是经实践检验正确的定律，在理论上它完全可以从另外的途径得出。它们可以纳入牛顿力学的结构中，但它们并非只能是牛顿定律的推论。这里不深入谈这个问题，因为超出了中学物理的要求。你现在不宜去钻研，今后可以去研究。但是，现在你就应清楚地知道：牛顿三定律在微观世界失效，可是动量守恒定律和能量守恒定律却从宏观世界到微观世界，只要条件满足，皆可以应用，这是被实验证实了的。中子的发现，就是使质子与中子做弹性碰撞，并根据动量守恒定律和能量守恒定律，从而发现中子的。这两个守恒定律十分重要，你应当真正掌握。

甲：好，我一定掌握。上面介绍的内容我大体清楚了，但你还漏讲了 (13)、(14)、(15)、(16)。

乙：机械能可以转化为热能，这就从力学进入热学的领域。热力学第一定律正是能量守恒和转化定律的特殊形式。在 (14) 中应注意符号的正负：物体吸热， Q 取正；物体放热， Q 取负。外力对物体做功， W 取正；物体对外做功， W 取负；物体的内能增加， ΔE 取正；物体内能减少， ΔE 取负。考虑到 (13)，其中 Q 可以表为功

W，则（14）式即为 $W_{\text{总}} = \Delta E$ 。可见，只要掌握了热功当量和功能原理，热力学第一定律是不难理解的。

机械能可以转化为电能，这就从力学进入电学的领域。法拉第电磁感应定律和楞次定律正是能量守恒和转化定律的具体体现。在物理世界中是一幅普遍联系、相互转化、丰富生动的图景。我们不应把力、热、电、光、原子和原子核等截然划分开来，它们之间是相互联系的。要着重理解各部分知识之间的联系，并能综合应用。在物理学各部分知识的相互联系中，能量守恒和转化定律扮演了极其重要的角色。它是物理学的骄傲，它是科学太空中的明星。恩格斯称它为“伟大的运动基本定律”。你如果对能量守恒和转化定律在不同情况下能灵活应用。可以这样说，你已掌握了物理学的精华了。

甲：能量守恒和转化定律把物理学的各部分联系了起来。对吗？

乙：正是这样。最后希望你把力学的结构多复习几遍，做到能在理解基础上默写得出来。同时，我要告诉你：只有真正掌握一个个具体的知识，能够解决一个个具体的问题，才能真正掌握知识的结构。单纯去背结构，而不认真看书、反复练习，结构对于你还是空的；同样，如果只去不断解题，不掌握知识结构，常常会事倍功半，盲目乱套。建议你在看书和做练习时，经常把具体问题和知识结构对照起来，相互强化，很有好处。这是一个较好的复习方法。

高中电学结构

甲：上次讲的关于力学的结构，在理解的基础上我

已能记住了。我感到把知识组织起来，从整体上、从相互联系去掌握知识，很有好处。有助于记忆，有助于应用。把知识一条条地孤立起来去死记硬背，效果不好。

乙：力学的结构中已涉及到电学的知识。电学的结构中必然要涉及力学原理。理解和掌握各部分知识之间的联系，才可能解决较为灵活和较为综合的问题。你觉得电学的结构是怎样的？

甲：要抓住重点才能形成一个好的结构。电学中的主要内容有两部分。一部分是“场”：电场、磁场，而电流周围存在磁场以及电磁感应现象，正是把电与磁的相互联系、相互转化揭示了出来；另一部分是“路”：直流电路和交流电路，应用电子技术，直流电和交流电是可以相互转化的。无论“场”还是“路”都与能量守恒和转化定律密切相关。其简单的框图见图 3-6。

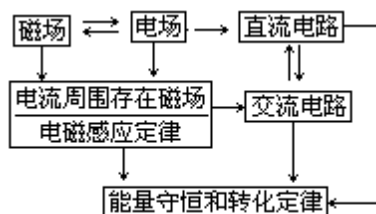


图3-6

乙：好！你基本上按照现行教材的要求理解了电学的结构，但还应更具体些。电与磁的相互联系是电学的核心。那么在中学阶段，下面这四个公式就极为重要了。

磁场对电流的作用力： $F = ILB \sin \theta$ (1)

洛伦兹力： $F = qvB \sin \theta$ (2)

$$\text{法拉第电磁感应定律: } \begin{cases} \mathcal{E} = LvB \sin \alpha & (3) \\ \mathcal{E} = N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} & (4) \end{cases}$$

甲：就是这四个公式常使我混淆：角 θ 与角 α 分

不清, 单位分不清。

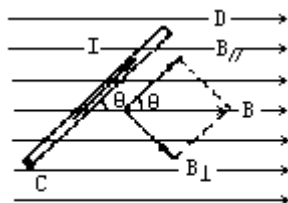


图3-7

乙: 必须搞清! 其中角 θ 为电流流动方向 (或正电荷运动方向) 与磁感应强度 B 之间的夹角, 如图 3-7 所示, $CD=l$ 为闭合导线的一部分, l 中流有电流 I , 应用左手定则判断导线受力方向时, 最好将矢量 B 分解为平行于电流方向的 $B_{//}$ 和垂直于电流方向的 $B_{\perp}$, $B_{//}$ 分量对导线 l 不起作用, 应用左手定则就容易判断导线 CD 受力方向。(1)、(2) 式亦可表为:

$$F = IlB_{\perp} \quad (5) \quad F = qvB_{\perp} \quad (6)$$

其中 $B_{\perp}$ 为 B 垂直于 l (或 v) 的分量。(5)、(6) 容易记。也易于应用左手定则去判断受力方向。

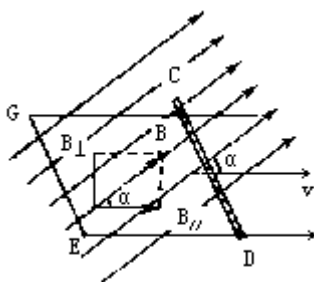


图3-8

至于 (3) 式中的 α , 是表示导体运动方向与磁感应强度 B 之间的夹角, 如图 3-8 所示。

闭合导体的一部分 $CD=l$ 在平面 $CDEG$ 内受外力向右运动。导体 l 运动速度 v 的方向与 B 夹角为 α , 在导体内产生的感生电动势由 (3) 式表出。应用右手定则判断导体中感生电流的方向时, 最好将 B 分解为平行于速度

v 的方向的 $B_{\parallel}$ 和垂直于速度 v 的方向的 $B_{\perp}$ 。 $B_{\parallel}$ 分量对产生感生电流没有贡献。这时应用右手定则就容易判定由 $B_{\perp}$ 所产生的感生电流的方向。(3) 式可表为：

$$\varepsilon = l v B_{\perp} \quad (7)$$

其中 $B_{\perp}$ 为 B 垂直于导线运动方向的分量。

甲：从上述两个例子，使我能分清 θ 和 α 的区别了。单位呢？

乙：对 (1)、(2)、(3)、(4) 必须是应用国际单位制。即 F ：牛顿， B ：特斯拉（即韦伯/米²）； l ：米； v ：米/秒； q ：库仑； I ：安培； ε ：伏特； t ：秒； $\Delta\Phi$ ：韦伯。如果应用过去教科书所采用的绝对单位制，则(1)、(2) 式右边要乘上比例系数 0.1，(3)、(4) 式右边要乘上比例数 10^{-8} ，为了简明，且符合考试大纲的要求，应当统一采用国际单位制。

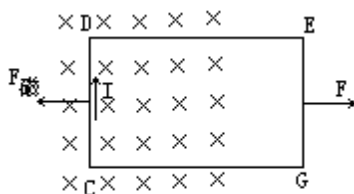


图3-9

甲：呵！我现在清楚了，老的物理教材以及上海编的物理自学丛中，(1)、(2)、(3)、(4) 就都有比例系数，这原来是因为单位选取得不同。(1)、(2)、(3)、(4) 的相互联系我还不清楚。

乙：(1)、(2) 实际上是一致的，因为

$$I = \frac{q}{t},$$

则可由 (1) 推知 (2)。应用功能原理可由 (1) 推出 (3)、由 (3) 推出 (4)。如图所示，闭合导线的一部

分 $CD=l$ 在磁场中, B 的方向垂直地进入纸面。在外力 F 的作用下, $CDEG$ 做匀速直线运动, 速度为 v , 在 $CDEG$ 内产生感生电流 I , 则磁场 B 对电流 I 的作用力 $F_{\text{磁}}=IlB$ 。因为做匀速直线运动 F 与 $F_{\text{磁}}$ 处于二力平衡, 则:

$$F=F_{\text{磁}}=IlB$$

外力 F 在 Δt 时间内所做的功为:

$$W=Fv\Delta t=IlBv\Delta t$$

这个功使机械能转化为电能, 根据能量守恒和转化定律, 则得:

$$I\varepsilon\Delta t=IlBv\Delta t$$

$$\text{即: } \varepsilon=lvB$$

这便由 (1) 推出了 (3), 这里 $\theta=90^\circ$, $\alpha=90^\circ$, 由 (3) 知:

$$\varepsilon\Delta t=lvB\Delta t$$

在 Δt 内磁通变化为 $\Delta\Phi$, 则 $\Delta\Phi=Blv\Delta t$

$$\therefore \varepsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

这便由 (3) 推出了 (4)。注意若线圈有 N 匝,

$$\text{则: } \varepsilon = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

甲: 我主要的问题已解决了。电学的结构还是想知道你的意见。

乙: 我同你的看法是一致的, 请看图 3-10。

除 (1)、(2)、(3)、(4) 外, 其余部分你自己通过看教材和做练习去理解吧! 库仑定律、全电路欧姆定律、焦耳-楞次定律一定要掌握, 十分重要! 对电学的这一结构, 把目前教材的重点是反映了。但并不是很满意的结构, 你在进一步的学习中可以体会到这一点。

甲：热学、光学、原子物理学的结构如何？能不能也介绍一下。

乙：力学、电学是重点，抓住重点是对的，但同时，其余部分也应当逐一搞清楚，否则，综合性的问题仍然解决不了。请记住一条平凡的真理：别人的努力不能代替自己的努力。你不下水，就学不会游泳。热学、光学、原子物理学的结构就留作练习，你自己去整理一番吧。培养自己组织知识的能力甚为重要，你也有所感受了。把知识系统化需要付出艰苦的努力。然而，知识一旦系统化，在应用时就能准确地选择恰当的部分去解决问题。在掌握知识的道路上，有时会经过一片荒凉的沙漠，但只要你努力前进，绿洲就会来临！

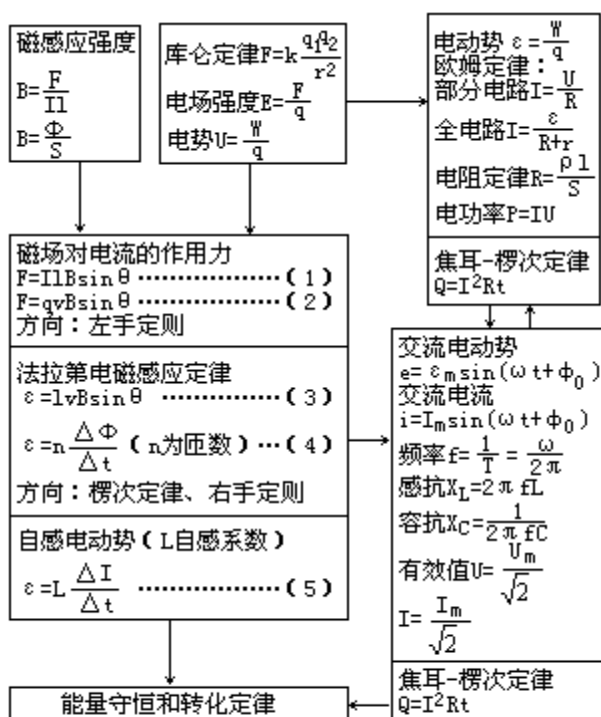


图3-10

方法—问题结构

物理学的基本概念和基本规律，以及这些概念和规律的相互联系，即形成物理学的结构。物理教学的结构论，是应用了系统科学的整体原理，重在把握整体、把握联系。在物理教学中，每一章有每一章的结构，每一部分有每一部分的结构，这容易被重视；但是，较为容易忽视“方法—问题”结构。物理方法、物理问题也并非孤立的，而是有联系的。一种类型的物理问题，通过“一题多解”和“一题多变”，也可以相互联系起来，形成结构。形成整体结构，才有整体功能。下面以一个物理例题，通过此题的4种解法和8种变化，来说明“方法—问题”结构。最后，以“分析—综合”形成结构，作为“方法—问题”结构的一个例子。

一、“一题多解”形成结构

理解力的概念、力的三要素，掌握力的图示法。是物体受力分析的基础。在分析物体受力情况时，关键是分清楚哪个物体施力，哪个物体受力，正确应用牛顿第三定律。

对于物体的平衡问题，要理解合力和分力的概念，正确应用力的平行四边形法则。关键是要善于根据力的平衡条件 $\Sigma F=0$ 和有固定转轴物体的平衡条件 $\Sigma M=0$ 正确列出方程，以解决实际问题。

一般地说，物体只有当满足 $\Sigma F=0$ 和 $\Sigma M=0$ 才能达到平衡。因而对一般物体的平衡问题必须把上述两个方程联立起来求解。对于在一平面上的共点力，常将 $\Sigma F=0$ 应用正交分解法（实际这是平行四边形法则的特殊应用）

化为 $\Sigma M_y=0$, $\Sigma F_y=0$ 来分别求解。

下面我们举一个例题，并通过它的一题多解和一题多变，把上述一般原理具体化，从而使读者知道：真正学会解决一个问题，即可易于解决一类问题。只要我们善于将复杂的问题归结为几个简单的问题，善于将未见过的问题转化为已掌握的问题，则分析解决问题的能力就会有较大提高。

例 1 如图 3-11 所示，横梁 AC 是通过钢索 AB 和绞链 C 固定在墙上。在 A 处挂一重物，其重量为 P 。AB= c ，BC= a ，AC= b ， a ， b ， c 及角 α 皆为已知， $\angle ACB$ 为直角，不考虑钢索和横梁的重量，求钢索 AB 和横梁 AC 所受的力是多少？

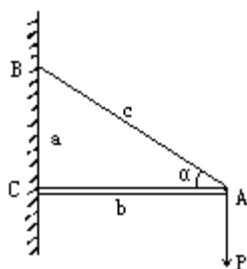


图3-11

解法 1 应用力的分解法。根据力 P 的效果可知 AB 受到重物 P 的拉力，AC 受到重物的压力。将 P 分解为 P_1 和 P_2 （见图 3-12），根据相似三角形可知：

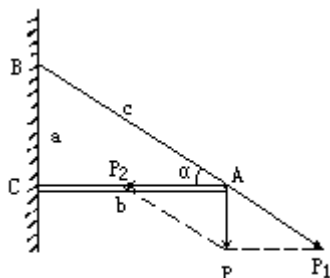


图3-12

$$\frac{P_1}{P} = \frac{c}{a} \quad \therefore P_1 = \frac{c}{a} P$$

$$\frac{P_2}{P} = \frac{b}{a} \quad \therefore P_2 = \frac{P}{\operatorname{tg} \alpha}$$

若用角 α 表示则为：

$$P_1 = \frac{P}{\sin \alpha}, \quad P_2 = \frac{P}{\operatorname{tg} \alpha}$$

注意应用相似三角形和三角函数实质是一样的，三角函数要更常用些。

解法 2 应用力的平衡法。把 A 点孤立出来的考虑，A 点受到三个力而平衡。其一为重力 P ，其二是钢索对 A 点的拉力 T ，其三是横梁对 A 点的推力 F （见图 3-13）。应用正交分解法，取 A 点为坐标原点，CA 方向为 x 轴，竖直方向为 y 轴，根据 $\Sigma F_x=0$ ， $\Sigma F_y=0$ 列方程：

$$\begin{cases} F - T \cos \alpha = 0 \\ T \sin \alpha - P = 0 \end{cases}$$

解方程得：

$$\begin{cases} T = \frac{P}{\sin \alpha}, \\ F = \frac{P}{\operatorname{tg} \alpha} \end{cases}$$

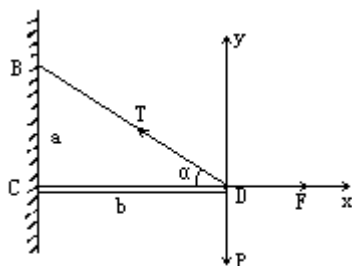


图3-13

这里是把 A 点孤立出来计算的， T 和 F 为 A 点受到的力，作用在 A 点上。根据牛顿第三定律，钢索受到的

力 $P_1 = -T$, 横梁受到的力 $P_2 = -F$ 。

注意这里的负号表示 P_1 的方向与 T 相反, P_2 的方向与 F 相反。力是矢量, 求解受力问题, 一定要指明作用点、大小和方向。

解法 3 应用力矩的平衡法。把 $\triangle ABC$ 看做一个整体, 它受到三个力: 其一为重力 P ; 其二为墙对钢索的拉力 T ; 其三为墙对横梁的推力 F (见图 3-14)。物体处于平衡状态, 则任取一点皆有 $\Sigma M = 0$ 。因为如果 $\Sigma M \neq 0$ 则要发生转动。既然物体保持平衡当然 $\Sigma M = 0$ 。既然任一点都成立, 那么为了方便起见, 我们先取转轴垂直于 $\triangle ABC$ 且过 C 点 (这样过 C 点的力即可排除在平衡方程之外), 根据 $\Sigma M_c = 0$ 则有:

$$T \cdot CH - P \cdot b = 0$$

$$\text{但 } CH = b \sin \alpha$$

$$\therefore T = \frac{P}{\sin \alpha}$$

再取转轴垂直于 $\triangle ABC$ 且通过 B 点 (这样过 A 点的力即可排除在平衡方程之外), 根据 $\Sigma M_b = 0$ 则:

$$Fa - Pb = 0$$

$$\therefore F = \frac{b}{a} P$$

$$\text{即: } F = \frac{P}{\tan \alpha}$$

钢索处于平衡, 则在 A 点处受力为 $-T$, 负号表示与钢索在 B 点受到力 T 方向相反; 同理, 横梁在 A 点处受力为 $-F$, 负号表示与横梁在 C 点处受到的力 F 方向相反。

注意这里 T 和 $-T$, 均作用在钢索上; F 和 $-F$ 均作用在横梁上, 是二力平衡, 而不是如第三定律所说的作用

与反作用力。与解法 2 对照，并仔细体会。作用力与反作用力分别作用在两个物体上，不是一对平衡力。对此，读者应牢固掌握。否则，很容易搞错。

解法 4 读者试根据 $\Sigma M_c=0$ 和 $\Sigma F_x=0$ 来求 T 和 F 。

注意要求解二个未知数，必须也只须列出两个独立的（不相关）方程即可。

二、“一题多变”形成结构

上面我们介绍了例题 1 的 4 种解法，学生应善于选择自己掌握得最熟悉的方法去解题。掌握多种解法是以掌握一种解法为基础，哪怕是这种方法不一定好。对于上述 4 种解法，如果认为只要掌握解法 1 就行了，其余三种麻烦，用不着掌握，这就不行。为什么呢？下面我们将例题 1 作几个变化，学生就会清楚。

变化 1 与例题 1 相同，仅仅横梁增长了 $AD=d$ ，重力 P 作用在 D 点，求钢索 AB 和横梁 CD 受到的力（不考虑 A B 和 CD 的重量），见图 3-15。

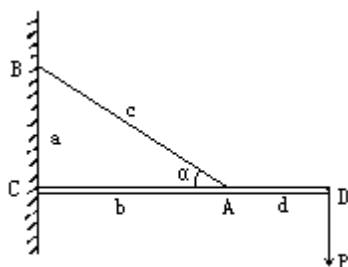


图3-15

解横梁 CD 受到四个力：其一为重力 P ；其二为钢索对横梁的拉力 T （根据牛顿第三定律，横梁对钢索的力则为 $-T$ ）；其三墙对横梁的推力 F_1 ；其四为墙竖直向下对横梁的压力 F_2 （为什么 F_2 向下呢？因为横梁在 P 的作用下，横梁在 C 点向上压墙，当然根据牛顿第三定律，墙在 C 点处向下压横梁），见图 3-16。

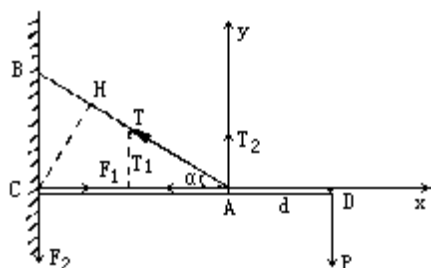


图3-16

取 A 点为原点, AD 方向为 x 轴, y 轴垂直于 CD。将 T 正交分解为 T_1 和 T_2 , 并取 C 点通过转轴, 根据 $\Sigma F_x=0$, $\Sigma F_y=0$, $\Sigma M_c=0$ 列方程求 T, F_1 , F_2 , 则有:

$$\begin{cases} F_1 - T \cos \alpha = 0 & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} T \sin \alpha - F_2 - P = 0 & (2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} T b \sin \alpha - P(b+d) = 0 & (3) \end{cases}$$

由 (1) 得: $F_1 = T \cos \alpha$ (4)

由 (2) 得: $F_2 = T \sin \alpha - P$ (5)

由 (3) 得: $T = \frac{b+d}{b \sin \alpha} P$ (6)

将 (6) 代入 (4)、(5) 则得:

$$F_1 = \frac{b+d}{a} P \quad (7)$$

$$F_2 = \frac{d}{b} P \quad (8)$$

(6)、(7)、(8) 式即为所求, 钢索受到的拉力为 -T (与 T 的方向相反)。

注意要解出三个未知数, 必须也只须列出三个独立的方程。一定要理解“独立的”三个字的含义。若三个方程中有一个不是独立的, 即与另外一个方程是相关的, 那就是说, 实质上只列出了两个方程, 要解出三个未知数, 当然不行。

试取转轴通过 C 点、A 点、B 点, 根据 $\Sigma M_c=0$, ΣM_a

$=0$, $\Sigma M_B=0$, 求 T , F_1 和 F_2 (A , B , C 应不在一直线上)。

试根据 $\Sigma F_x=0$, $\Sigma M_A=0$, $\Sigma M_B=0$ 求 T , F_1 和 F_2 (注意 A , B 的连线不垂直于 x 轴)。

通过变化 1 可以看到, 题目变了一点, 难度即增加, 解法 1 在此处就无能为力了。一定要学会善于应用 $\Sigma F=0$ 和 $\Sigma M=0$ 解决静力学问题。

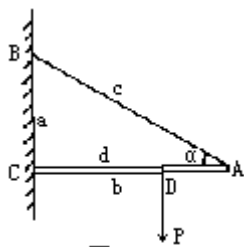


图3-17

变化 2 与例题 1 相同, 但重力 P 作用在 D 点, $CD=d$ (此处 $d < b$)。如图 3-17 所示, 求 AB 和 AC 受到的力 (不考虑 AB 和 AC 的重量)。

解这种情况横梁 AC 也受到四个力: 其一重力 P ; 其二钢索对横梁的拉力 T (横梁对钢索的拉力则为 $-T$); 其三墙对横梁的推力 F_1 ; 其四墙对横梁竖直向上的压力 F (为什么 F_2 向上呢? 因为横梁在 P 的作用下, 横梁在 C 点向下压墙, 则墙在 C 点处向上压横梁), 见图 3-18。

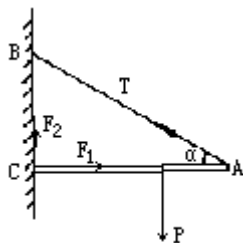


图3-18

此题的具体解决与变化 1 类似, 试应用 $\Sigma F_x=0$, $\Sigma F_y=0$, $\Sigma M_C=0$ 求出 T , F_1 和 F_2 。或应用 $\Sigma M_A=0$, $\Sigma M_B=0$, $\Sigma M_C=0$, 或应用 $\Sigma F_x=0$, $\Sigma M_A=0$, $\Sigma M_B=0$ 求解。

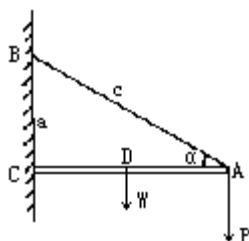


图3-19

变化 3 与例题 1 相同,但要考虑均匀的横梁 AC 本身的重量 W , 求钢索 AB 和横梁 AC 所受的力, 见图 3-19。

分析: 从表面看来, 似乎与例题 1 一样, 但很不相同, 先将 P 和 W 合成为一个力 P' , 其作用点在 AD 之间, 这可以计算出合力作用点的位置, P' 的大小等于 $P+W$, 则此题转化为变化 2 的情况了。实际上直接根据 $\Sigma F_x=0$, $\Sigma F_y=0$, $\Sigma M_c=0$ 联立求解更为简明。

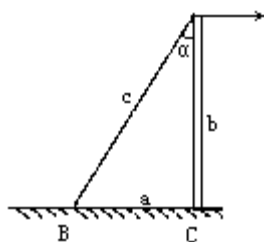


图3-20

变化 4 同例题 1 一样, 仅仅是图形旋转 90° , 如图 3-20 所示, 力 P 沿水平方向。AC 为一竖直的电杆, AB 为钢索。求 AC, AB 所受的力 (不考虑 AC, AB 的重量)。

此题可按例题 1 的 4 种解法去解。

图 3-21 与变化 1 相似; 图 3-22 与变化 2 相似。

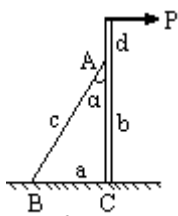


图3-21

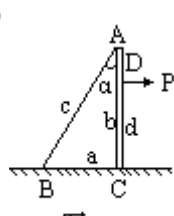


图3-22

读者自己练习求解 AB 和 AC 所受到的力。

注意一些问题仅仅变化一下方位，就显得是一个新题目了，应学会抓实质。

变化 5 在三相输电线的终端的电杆上，每根导线的拉力 F 各为 50kg ， $MD=ND$ ，钢索与电杆的夹角 $\alpha=30^\circ$ ， $CD=10\text{m}$ ， $AC=6\text{m}$ ，电杆竖直不弯。求钢索 AB 受的力和电杆在 C 点处受的力各为多少？（见图 3-23）

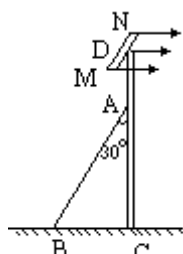


图3-23

分析：将三个水平方向的力 F 合成为一个作用在 D 点的力 $F_{\text{总}}=150\text{kg}$ ，则此题立即变化为变化 1 相类似的题目，亦即图 3-21 的情况，列出平衡方程，代入具体数字不难求解。练习后，再与变化 1 的 (4)、(5)、(6) 式比较，看解得对不对。

上例告诉我们，复杂的问题要善于将它归结为几个简单问题，逐一去解决就并不难。

变化 6 与变化 2 相同，如图 3-24 所示，但重量 P 可以沿横梁 AC 滑动，设 P 到墙面的距离为 x 。试求钢索受到的力 T （表示成 x 的函数）；试求墙对横梁所施的水平力 F_1 和竖直向上的力 F_2 各为多少？

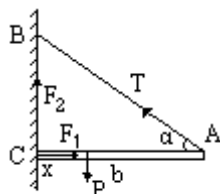


图3-24

解分别取转轴垂直于 $\triangle ABC$ 且通过C点、B点和A点, 根据

$\sum M_C = 0$, $\sum M_B = 0$, $\sum M_A = 0$, 即可求出:

$$T = \frac{P_x}{b \sin \alpha}$$

$$F_1 = \frac{P_x}{b \tan \alpha}$$

$$F_2 = P \left(1 - \frac{x}{b} \right)$$

注意我们如果能够从运动变化的过程来掌握规律, 解决问题, 则特殊情况就不难求解。上题还可列出另外三个独立的平衡方程来解, 让学生试一试。

变化7 如图3-25所示, 横梁AD的A处为一定滑轮, 钢索BE下端挂一重物P, $\angle BAD = \alpha$, $AC = b$, $CD = d$, 求钢索受的力和横梁受的力 (不计钢索和横梁的重量)。

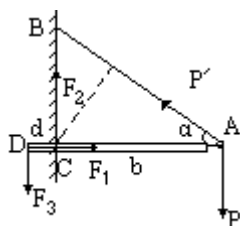


图3-25

解定滑轮只改变力的方向, 而不改变力的大小, 则知钢索所受的力为P。横梁在A处所受的力为P和P'的合力。P' = P (读者想想定滑轮的情况, 即可明白)。这里我们认为横梁在A处受两个力P和P' (注意考虑合力

就不能再考虑其分力, 反之, 考虑分力就不能再考虑其合力)。在 C 点处横梁受到墙对它向上的压力 F_2 , 在 D 点处横梁受到墙对它的推力 F_1 以及墙对它向下的压力 F_3 。

30

取 DA 方向为 x 轴, 竖直方向为 y 轴, 并分别取旋转轴通过 A 点和 C 点,

根据 $\sum F_x = 0$, $\sum M_A = 0$, $\sum M_C = 0$ 列方程, 并已知 $p' = p$ 则:

$$\begin{cases} F_1 - P \cos \alpha = 0 \\ F_3 (b+d) - F_2 b = 0 \\ F_3 d + P b \sin \alpha - P b = 0 \end{cases}$$

解之得:

$$\begin{aligned} F_1 &= P \cos \alpha \\ F_2 &= P \left(1 + \frac{b}{d} \right) (1 - \sin \alpha) \\ F_3 &= P \frac{b}{d} (1 - \sin \alpha) \end{aligned}$$

注意 此题选 $\sum F_x = 0$, $\sum M_A = 0$, $\sum M_C = 0$ 来求解

F_1 , F_2 , F_3 比列其他平衡方程组来解要简单些。此题从表面上看很像前面讲的例题, 但实际上变化很大。读者一定要学会具体问题具体分析。掌握类型, 举一反三; 反之, 不加分析, 硬套框框就不好。

变化 8 若例题 1 中 $\triangle ABC$ 为任意三角形, 这如何求 A 和 AC 受的力呢 (见前面图 3-11) ?

这并非实质性的变化。只要受的力在一平面, 即可由

$\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$, $\sum M_A = 0$ 或其他三个独立的平衡方程求解。

若力不在一平面上, 是一个三维的空间力系, 列解方程要更为复杂些, 但方法仍一样。

最后, 建议学生认真演算留下的练习, 并反复体会

例题 1 之前叙述的简短的要点，一般原理与具体实例相结合，这是学习物理学的重要方法。没有具体实例，难以掌握一般原理与结构；不掌握一般原理和结构，难以理解更多的具体实例。做到两者紧密结合，就可提高学习效率。

三、“分析—综合”形成结构

解物理习题离不开分析法和综合法。分析法与综合法是紧密联系，不可分割的。正确的分析法离不开综合法，正确的综合法离不开分析法。因此，从这种意义上，可以把分析法和综合法统称为分析—综合法。实践证明，在掌握物理规律的基础上，掌握分析法、综合法，可以提高解物理问题的能力。我们首先一般地从科学方法论上来论述分析法、综合法，然后再具体地论述解物理习题的分析法和综合法。所举例题只写出思考过程，没有写出完整的解答。本节是“方法—问题”结构的案例。

1. 分析法

什么叫分析法呢？把复杂的过程分解为几个简单的过程，把复杂的事物分解为几个单一的要素，把统一的整体分解为几个组成部分，并对各个过程、要素和部分分别进行研究的一种思维方法，称为分析法。

例如，以速度 v 匀速上升的气球，当气球到达高度为 h 处，从气球上自由落下一个小球，问小球落地的时间是多少？

对于这一问题，可把小球运动过程分解为两部分：小球先以初速度 v 做竖直上抛运动，继续上升 h' ，可求出上升时间 $t_{\text{上}}$ ；然后小球从 $(h+h')$ 处自由落下，可求出下落时间 $t_{\text{下}}$ ，则可求出 $t=t_{\text{上}}+t_{\text{下}}$ 。对于这个问题，运动过程分析清楚了，就易于解决问题。

又如，力学中常用的隔离法，正是分析法的具体应用。隔离法是把有许多相互联系着的运动物体“隔离”出来，把被研究的对象所受到的多个力，一个一个地分析出来，并根据运动状态的分析，列出方程求解。

又如，温度为 -10°C 的 1kg 冰，被加热而全部变为 100°C 的蒸汽，问吸收了多少热量？

首先应当把这个统一的过程分解为几个过程： -10°C 的冰变为 0°C 冰； 0°C 的冰变为 0°C 的水； 0°C 的水变为 100°C 的水；④ 100°C 的水变为 100°C 的蒸汽。对这类问题，物态变化的过程分析清楚了，才能正确解决问题。

又如，对一定质量的理想气体，根据理想气体的状态方程

$pV = \frac{M}{\mu}RT$ ，必须分析决定气体状态的三个要素：压强 p 、体积 V 、温度

T 。对于等温过程，则要分析 p ， V ；对于等压过程，则要分析 V ， T 。对于这类物理问题， p ， V ， T 三要素分析清楚了，状态分析清楚了，问题就易于解决。

再如，对于直流电路，常常要将整体分解为几个组成部分，根据电路的特点，逐一地解算问题。

上面只举了一些物理上的例子说明什么是分析法。在物理学中应用分析法，分析什么？主要分析物理过程、分析物理状态，分析力、分析能等。当然这种分析应是建立在对物理规律牢固掌握的基础上。

2. 综合法

什么叫综合法？把研究对象的各个过程、各个要素和各个部分联系起来，统一为整体的一种思维方法，称为综合法。

例如，对处于平衡状态的物体进行了受力分析，但

要解决问题，还应该把各个力统一为一个整体，根据 $\Sigma F = 0$ ， $\Sigma M = 0$ 来解出未知量。

又如，对于处于匀加速直线运动的物体，分析了力和加速度，必须根据牛顿第二定律 $\Sigma F = ma$ 把各个物理量联系起来，才能解出未知量。对于做匀速圆周运动的物体，分析了哪些力充当向心力和运动状态后，必须由

$$\Sigma F = \frac{mv^2}{R} \text{ 把各个物理量联系起来求解。}$$

又如，分析了一个运动物体在两个状态下的动能和势能，如果满足机械能守恒的条件（外力不做功），则可将各状态联系综合起来，并根据

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 \text{ 求解。}$$

又如，分析了光子的频率，分析了电子的逸出功和电子的动能，则应根

$$\text{据爱因斯坦光电效应方程 } h\nu = A + \frac{1}{2}mv^2 \text{ 把各个量联系起}$$

来，综合考虑，从而求解是否可能发生光电效应等问题。

再如，写核反应方程式，必须把反应前后的各粒子统一为有联系的整体，根据质量数守恒、电荷守恒来正确填写核反应方程。

综合不能主观任意地把研究对象的各个部分硬加在一起，而应当根据客观事物的固有联系加以联结。例如，力、速度、位移、加速度、电场强度等都是矢量，矢量相加就决不能用标量相加的法则，而必须用平行四边形法则。 $2+2=4$ ， $2N$ 加 $2N$ ，且两力互成一角 α ，则相加就不是等于 $4N$ ，只有当 $\alpha = 0^\circ$ 时才等于 $4N$ 。

综合也不能是各个部分的机械相加，不能是各个因素的简单堆砌和盲目乱套，而是按照各部分、各因素之间的有机联系从总体上把握对象的特征。例如，能量守恒和转化定律是物理学的一个基本规律，应用时必须首先考虑是否满足应用的条件，分析具体的物理过程中，从总体上把握研究对象的特征，从而才能决定是应用机械能守恒定律、还是热力学第一定律、还是焦耳-楞次定律等等。机械相加、简单堆砌和盲目乱套是十分错误的，一定要在具体分析的基础上综合。

没有正确的分析，不可能有正确的综合；仅仅是分析，没有综合也是不能解决问题的。分析法是化整体为部分的方法，着重于分解；综合法是化部分为整体的方法，着重于联系。解决一个物理问题的过程，是既有分析又有综合的过程。

3. 解题的分析法

大多数物理习题可以分为两部分：已知量和未知量。从未知量出发，首先找出求解未知量的原始公式，然后逐个找出求解未知量所需要的其他物理公式，称为子公式，若子公式右边的物理量均为已知量，则问题便能解答了。这种方法即解题的分析法。当然，必须在全面分析和综合已知量的基础上，才可能正确找出原始公式，可见分析法不能离开综合法。

例 2 在力 F 的作用下，物体在一平面上做匀速直线运动，已知位移 s ，角度 α ，求力 F 对物体做了多少功？

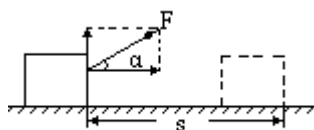


图3-26

思考从未知量出发，考虑到已知量、可直接写出：

$$W = F s \cos \alpha$$

这是最简单的题目，写出原始公式后，公式的右边皆为已知，代入即可求解。但是，为什么写出 $W = F s \cos \alpha$ 作为原始公式呢？为什么不根据 $W = JQ$ 或功能原理等作为原始公式呢？显然，这是整体地从已知量中综合而得到的。

例 3 在例 2 的基础上变一下：若物体的重量为 G ，滑动摩擦系数为 μ ，路程为 s ，物体沿水平方向运动，求摩擦力所做的功为多少？

思考从未知出发写出原始公式

$$W = f s \cos \alpha$$

f 与运动方向的夹角 $\alpha = 180^\circ$

$\therefore W = -fs$ （负号表示力与运动方向相反）

上式右边 s 已知，因此必须求摩擦力 f ：

$$f = \mu N$$

上式右边 μ 已知，因此必须求压力 N ：

$$N = G - F \sin \alpha$$

上面这个子公式右边皆为已知量，逐次代入可得：

$$W = -\mu (G - F \sin \alpha) \cdot s$$

上例除一个原始公式外，还必须有两个子公式。这里最容易错误的把摩擦力 f 写为 $f = \mu G$ ，这是把力 F 竖直向上的分力忘掉了。摩擦力 f 所做的功，是物体克服摩擦所做的功，是负功，这部分功显然转化为热能。

例 4 在例 2 的基础上再变一下：若物体是在冰块上滑动，在例 3 的情况下，有多少冰熔解（冰的熔解热 λ 为已知）？

思考从未知出发，设有 $m \text{ kg}$ 冰熔解，写出原始公式：

$$m = \frac{Q}{\lambda}$$

λ 已知，关键在于求冰吸收的热量 Q ：

$$Q = \frac{W}{J}$$

其中热功当量 J 为常数，于是必须求 A ，由例 2 已求出：

$$W = -\mu (G - F \sin \alpha) \cdot s$$

上式右边皆为已知，则问题可解了。

从例 2 变到例 4，可以看到，只要能熟悉应用分析法解简单的问题，解较复杂的问题并不难。

例 5 枪管长 L m，子弹质量为 m kg，枪的口径为 D m，测出子弹射出枪口时的速度为 v m/s，求炸药燃烧产生的气体对子弹的平均压强为多少（见图 3-27）？

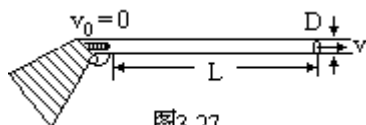


图3-27

思考 1 分析物理过程后，从未知出发，写出求压强的原始公式：

$$p = \frac{F}{S}$$

枪管的横截面积 S 是容易求到的：

$$S = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2$$

关键是在找力 F ，由于子弹在枪管里做初速度为零的匀加速直线运动，加速度 a 可以求，则应通过牛顿第二定律求 F ：

$$F = ma$$

m 为已知，必须求 a

$$a = \frac{v^2}{2L}$$

这时上式右边皆为已知了，依次代入可得：

$$F = \frac{mv^2}{2L}$$

$$\text{代入原始公式即可得 } p = \frac{2mv^2}{\pi D^2 L}$$

思考 2 从未知出发，找出原始公式：

$$p = \frac{F}{S}$$

根据功能原理（或动能定理）：

$$FL = \frac{mv^2}{2} \\ \therefore F = \frac{mv^2}{2L} \text{ 而 } S = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2$$

将 F , S , 代入原始公式，得到与思考 1 相同的答案。

解例 5 时，为什么原始公式选 $p = \frac{F}{X}$ ，而不选择 $p = dh$ ，

$$pV = \frac{M}{\mu} RT \text{ 等，这是综合考查了已知条件后才能正确写出}$$

的。原始公式一找错，题目就分析不下去，就不能正确解题。而原始公式的选定是必须采用综合法的。

通过上述例子，可以总结出解物理习题的分析法的思考程序如下：



从分析法的观点看来，所谓较难的物理习题，不过是由较多的简单问题构成。因此，善于分析，就表现为善于将复杂的题目分解成若干简单问题。这就必须要善于分析物理过程（运动过程、变化过程）、分析物理状态（力学中的力、速度、加速度等；热学中的压强、温度、体积等；电学中的电流、电压等）。

分析法关键的一步，是找出包括求解未知量的原始公式，这是离不开综合法的。只看未知量，不认真完整地看已知量，可以写出许多求解未知量的公式，这是不能解决问题的。必须全面地、完整地分析已知量、分析物理过程和物理状态，才可能正确选择出原始公式。

对于求解某一物理量的公式掌握较熟，则在分析时，才便于迅速选择出恰当的公式，这是一个基本功。例如求力可以有許多公式：

(1) 通过力的平衡求力 $\Sigma F=0$

(2) 通过力矩的平衡求力 $\Sigma M=0$ ($M=FL$)

(3) 通过压强求力 $F=pS$

(4) 通过形变求力 $F=k \Delta l$

(5) 应用帕斯卡定律求力 $\frac{F_{\text{大}}}{S_{\text{大}}} = \frac{F_{\text{小}}}{S_{\text{小}}}$ (在液压机中)

(6) 根据牛顿第二定律求力 $F=ma$, $F=\frac{mv^2}{R}$

(7) 应用牛顿第三定律求力 $F=-F'$

$$(8) \text{ 通过功求力 } F = \frac{A}{s \cos \alpha}$$

(9) 用功能原理求力

$$F_s = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2, \quad \sum F_s = E_2 - E_1$$

(10) 通过电场强度求力 $F = Eq$

(11) 通电导体受的力 $F = IlB \sin \theta$

(12) 运动电荷受的力 $F = qvB \sin \theta$ 等等

又如, 求周期有以下公式:

$$(1) \text{ 做匀速圆周运动的周期 } T = \frac{2\pi R}{v}$$

$$(2) \text{ 单摆的周期 } T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

$$(3) \text{ 交流电周期 } T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$$

$$(4) \text{ 振荡电路的周期 } T = 2\pi \sqrt{LC}$$

$$(5) \text{ 用频率求周期 } T = \frac{1}{f} \text{ (声波、光波、电磁波都是一样的公式)}$$

又如, 求电阻有以下公式:

$$(1) \text{ 应用电阻定律求电阻 } R = \rho \frac{L}{S}$$

$$(2) \text{ 应用部分电路欧姆定律求电阻 } R = \frac{U}{I}$$

$$(3) \text{ 应用电功率 } P \text{ 求电阻 } R = \frac{P}{I^2}, R = \frac{U^2}{P}$$

$$(4) \text{ 应用全电路欧姆定律 } R + r = \frac{\mathcal{E}}{I} \text{ 等等。}$$

读者可以练习: 找出求速度 v 、加速度 a 、求电动势 $\mathcal{E}$ 、求热量 Q 、求能量 E 、求功 W 、求电流 I 等等有哪些公式?

若一道物理习题, 只需写出一个原始公式, 原始公式右边都已知, 则是最简单的问题, 且称为“一步问题”,

若还需要一个物理公式,称为‘ 二步问题 ’,依此类推……二步和二步以上的问题,统称为多步问题。例 2 是一步问题,其他例题是多步问题。解一个物理问题可以用不同方法,使步数减少。例如,例 5 的思考 1,从力的观点来解,是属于四步问题。而思考 2 是从能的观点来解,是属于三步问题。

能熟练解答一步问题,是熟练解答多步问题的基础;练习多步问题,又有助于巩固加深对一步问题的理解。对于学习较差的学生应当首先多练一步问题,在此基础上再多练二步问题。一开始就练习过难的多步问题,这就不恰当。从原则上讲,熟悉了二步问题,解决多步问题应当是不难的。对于中等学生,在练习一、二步问题的基础上,要适当逐步加深。对于优等成绩的学生,不仅应当学会用分析法解多步问题,而且应当能一题多解、一题多变。从多种方法和多种变化中,熟练掌握物理规律。这是避免死记,培养能力的途径之一。

应用分析法解物理习题时,最好分步解题。从未知量出发,一步一步走到已知那里。叙述时,当然可以反过来,一步一步推演计算,最后代入原始公式,求出未知量。也可以将子公式代入原始公式,得到一个综合的总公式,最后计算。具体问题具体处理,不过在多数情况下,分步解题好些,因为这样条理清楚,便于检查。若不写清过程,直接得出总公式,既不容易检查错误,别人又看不懂,常常要吃亏。应用分析法时,每步的过程一定要写清楚为好。

4. 解题的综合法

将物理习题分解为已知量和未知量,从已知量出发,应用物理规律,通过已知量找出间接已知量,直到已知

量、间接已知量与未知量的联系式找出为止，则问题便能解答了。这种方法即解题的综合法。

前面的例 3 用综合法解：

思考已知 G , F , α ，则可求压力 N ：

$$N = G - F \sin \alpha$$

求出压力即可知摩擦力 f ：

$$f = \mu (G - F \sin \alpha)$$

则可求出 f 做的功：

$$W = f s \cos \alpha$$

$$\alpha = 180^\circ \quad W = -fs$$

$$\therefore W = \mu (G - F \sin \alpha) s$$

前面的例 4 用综合法解：

思考前半部分与用综合法解例 3 相同，求出 W ，则可求热量 Q ，

$$Q = \frac{W}{J}$$

J 为热功当量，求出 Q ，则可求出熔解了多少冰 $m = \frac{Q}{\lambda}$

前面的例 5 用综合法解：

思考 1 已知枪管口径，可求出枪管的横截面积 S ：

$$S = \pi \left(\frac{D}{2} \right)^2$$

已知子弹出枪口时的速度 v ，又知枪管长度 L ，则可求出子弹在枪管内运动的加速度：

$$a = \frac{v^2}{2L}$$

已知子弹质量 m ，又求出了 a ，则可求出子弹受到的平均压力：

$$F = ma$$

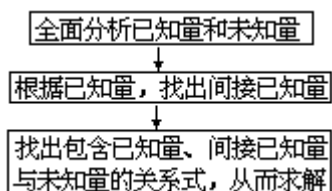
既求出了 F ，又算出了 S ，则可求平均压强：

$$p = \frac{F}{S}$$

读者自己应用综合法，从能的观点解例 5，作为思考 2。

应用综合法解题时，不仅应当全面地、完整地、充分地利用已知量，而且目标要始终对着未知量，偏离了这个目标，容易走弯路，甚至走错路。

通过上述例子，可以总结出解物理习题的综合法的思考程序如下：



从综合法的观点看来，所谓较难的物理习题，无非是根据已知量，需要推知较多的间接已知量，才能找出已知量与未知量的联系式，从而求解。因此，善于综合，就表现为善于全面地、完整地、充分地利用已知量，正确找出间接已知量，迅捷地找出包括已知量与未知量的联系式。对物理问题，重要的还是在于正确应用物理定律、公式、法则。没有掌握物理定律、公式、法则，即使懂得综合法也不能正确解题。但是，自觉掌握分析法和综合法，对于解题无疑是有好处的。

应用综合法关键的一步，是从已知量正确地找出间接已知量，从而找出已知量与未知量的联系。这里一点也离不开分析法，除了分析已知量和未知量以外，还必须分析是什么物理过程、是什么物理状态，应当用什么

物理规律，才能把已知量与未知量联系起来。

对几个已知量，可以应用物理规律求出什么间接已知量，如果掌握较熟，则便于应用综合法解题，这也是一个基本功。

例如，已知功 W 和做功时间，即可知功率。已知效率 η 和有用功，即可知总功。已知物距 u 和焦距 f ，即可知像距。已知线圈匝数 N 和磁通变化率

$\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ ，即可知感生电动势。已知角速度 ω ，和半径 R ，

即可知线速度。已知转速 n ，即可知角速度 ω ，等等。

应用综合法解题时，最好还是一步一步地表述清楚。跳一步，表面上看似乎快，但容易搞错，反而并不快，大多数情况下，分步解题好。

5. 避免“恶性循环”

在应用分析法和综合法解题时，要避免一种常见的逻辑错误：“恶性循环”。

例如，在例 5 中应用分析法，得到原始公式：

$$p = \frac{F}{S}$$

错误的思考 F ， S 又不知，如何求呢？

$$F = pS, S = \frac{F}{p}$$

那么 p 怎么来呢？ $p = \frac{F}{S}$ 这就构成“恶性循环”。

p 本来就是未知，应用 $F = pS$ ，怎么能够找到 F ？ p 本来就是未知，应用

$$S = \frac{F}{p} \text{ 怎么能够找到 } S \text{ 呢?}$$

上述思考就是犯了“恶性循环”的逻辑错误，永远在那里兜圈子，根本不能解决问题。

上述例子的循环周期很短，恶性循环的错误容易发现。但是，当经过一串推理后，发生恶性循环的错误就不易发现，这是解题时应当注意的。

例如，在例 4 中，应用分析法得到原始公式：

$$m = \frac{Q}{\lambda}$$

错误的思考 λ 已知，要求 Q ， $Q = \frac{W}{J}$ ， J 已知，要求 W ，

$$W = f s \cos \alpha$$

$$\text{而 } \alpha = 180^\circ - f s = \Delta E$$

$$\text{由热力学第一定律 } \Delta E = Q + W + \dots$$

这就又构成恶性循环。

出现恶性循环，常常是因为把物理规律用错，常常是因为没有注意充分利用已知条件。当有的已知条件还没有用到时，就想解出题来，东碰西碰，常常出现恶性循环的错误。懂得了什么是恶性循环的错误，一旦在解题时出现这一错误，应马上加以克服，另找思考的途径。这时，要检查应用的物理规律是否正确，要检查是否还有已知条件没有用到。

6. 隔离法是分析法

力学中的隔离法，实际是分析法在解力学习题中的一种具体方法。隔离法正是把有相互联系的物体“隔离”开来，根据研究的对象，逐个地研究被分出的“隔离体”的受力情况和运动情况。隔离法虽然主要是分析法，但

也离不开综合法。正确选择隔离体，正确进行受力和运动状态的分析是重要的。

但也必须进行综合，找出相互联系，列出方程式或列出联立方程组，求解方程，才能找到正确解答。

例 6 如图 3-28 所示，木块的质量为 $M\text{kg}$ ，绳的另一端挂的砝码的质量为 $m\text{kg}$ 。木块与桌面的滑动摩擦系数为 μ ，木块在桌面上做匀加速直线运动，绳的重量不计，求物体的加速度 a 和绳的张力 T 。

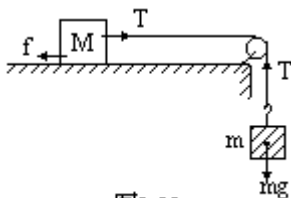


图3-28

思考应用隔离法，分别分析木块和砝码的受力情况和运动情况，可得：

$$\begin{cases} mg - T = ma \\ T - \mu Mg = Ma \end{cases}$$

联立起来，解方程组，即可求出 T 和 a （读者自己解）。

例 7 在例 6 的基础上变一下：O 为固定在桌面上的钉子，A 为定滑轮，B 为动滑轮，已知 M ， m ， μ ，木块由静止做匀加速直线运动，求砝码的加速度 a 和绳的张力 T （见图 3-29）。

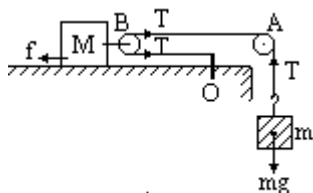


图3-29

思考应用隔离法，分别分析木块和砝码的受力情况

和运动情况, 可得:

$$\begin{cases} mg - T = ma \\ 2T - \mu Mg = M\left(\frac{a}{2}\right) \end{cases}$$

联立起来, 解方程组, 即可求出 a 和 T (读者自己解)。

注意这里木块受到绳的张力为 $2T$, 而木块的加速度

$a' = \frac{a}{2}$ 。因为 $s = \frac{1}{2}at^2$, 在相等的时间内, 砝码的位移为 s , 由于有定滑轮, 则木块的位移只有 $\frac{s}{2}$ 。则可知 $a' = \frac{a}{2}$ 。

例 8 在例 6 的基础上再作一个变化, 如图所示, 已知 M, m, μ, a , 木块沿斜面做匀加速直线运动, 求 a 和 T 。

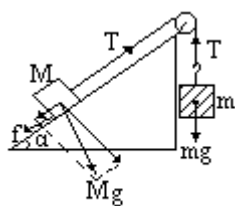


图3-30

思考应用隔离法, 分别分析木块和砝码的受力情况和运动情况, 可得:

$$\begin{cases} mg - T = ma \\ T - Mg\sin\alpha - \mu Mg\cos\alpha = Ma \end{cases}$$

联立起来, 解方程组, 即可求 a 和 T (读者自己解)。

从上述例子可以看出, 隔离法是以分析法为主, 当然也离不开综合法。

7. 证伪法与证实法

(3)、(4) 中介绍的解题的分析法和解题的综合法, 虽然应用较多, 但它们是有局限的, 只适用于解某些问

题。(1)、(2) 介绍的分析法和综合法，则是应用广泛、普遍适用的方法。

解有些物理习题，并不是明显地从已知去求解未知，而是着重于应用物理规律去判断错误还是正确。一些选择题、问答题等就是这样。给一个前提，列出几个说法，要求选择出正确的说法，也就是要求淘汰掉错误的说法。解这类物理题的程序，常常既不是从已知出发，推出间接已知；也不是从未知出发，找出原始公式；而是从物理规律出发，去证伪，从而否定；去证实，从而肯定。证伪与证实的过程，本质上也是一个分析和综合的过程。有的题目要着重于用物理规律去分析，有的题目要着重于用物理规律去综合。关键是要正确找出需要的物理规律。

例 9 单摆的周期在发生下述情况下将增大：

摆锤的质量增大；

摆长减小；

单摆从赤道移到北极；

④单摆从海洋平面移到高山上；

思考分析物理现象，找出确定单摆周期的公式为

$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{L}{g}}$ 。单摆从海平面移到高山上，根据万有引力定律

知重力要减小，则重力加速度 g 要减小，则周期 T 要增大，因而④正确。应用上述公式，可以证明、都是错误的，从而淘汰掉，只能选④才正确。

例 10 一个长螺线管通有交流电。把一个带电粒子沿管轴射入管中，粒子将在管中

做圆周运动；

沿轴线来回运动；

做匀加速直线运动；

④做匀速直线运动。

思考分析螺线管内磁力线的分布，得知磁力线的方向与带电粒子运动方向是在同一直线上，根据左手定则，带电粒子并不受到洛伦兹力，根据惯性定律，带电粒子在管内将做匀速直线运动，因而④正确。找出了正确的，不难分析出、、都是错误的。

例 11 在光电效应中，要增加逸出电子的速度

增大光的强度；

增大光照的面积；

增大光的频率；

④增大光照的时间。

思考 从爱因斯坦光电效应的方程出发， $h\nu = A + \frac{1}{2}mv^2$ ，得

知要增大电子的速度 v ，只能增大光的频率才起作用，因而正确。其他的、、④都是错误的，都违反了光电效应的方程。

上述例子可以看到，要选择正确，做到去伪存真，都依赖于选出适当的物理规律，并根据物理规律去分析，从而得到解答。下面再举几例表明要着重于用综合法。

例 12 下列粒子垂直地通过匀强电场，受到最大偏转力的粒子是

α 粒子 β 粒子

中子④质子

思考这显然要全面比较、综合考查，才能得到正确解答。根据电场力公式 $F = Eq$ ，因而，哪个粒子带的电量多，受的力就大。通过全面比较，知 α 粒子带的电量多，因而选。

例 13 下列粒子以相同速度垂直地通过匀强磁场, 弯曲最大的粒子是

α 粒子 β 粒子

中子④质子

思考首先要找出恰当的物理规律。带电粒子, 垂直地通过匀强磁场, 在磁场中受到洛仑兹力, 将做圆周运动

$$Bqv = \frac{mv^2}{R}$$

$$\therefore \text{半径} R = \frac{mv}{Bq}$$

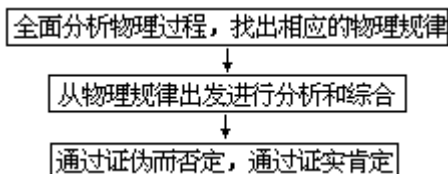
因此, 当 B , v 一定时, 由粒子的质荷比 $\frac{m}{q}$ 决定半径 R 的

大小, R 最小的弯曲最大。

通过综合比较知 β 粒子, 即电子质量最小, 且电量为 1 个基本电荷, 因而 R 最小, 弯曲最大, 选正确。 α 粒子的电量虽然是 2 个基本电荷, 但质量大大地大于 β 粒子, 因而弯曲并不是最大。

通过以上例题, 可以总结出用证伪法与证实法解题的思考程序如下页框图所示。

证伪法与证实法本质仍然是分析综合法。它与从已知出发和从未知出发的程序不同。它主要的特点是从物理规律出发去分析综合。



8. 方法的灵活应用

下面举几个例子, 说明如何灵活地应用分析法和综

合法。

应用分析法和综合法时，当感到已知量缺乏时，应当分析物理过程，正确增加辅助物理量，往往在分析或综合时是必须的，但后来又可消去。引入可消去的辅助未知量，是为了便于分析和综合。

例 14 冰的比重是 0.90g/cm^3 ，海水的比重是 1.03g/cm^3 ，一冰块浮在海面上，求这块冰露在海面部分的体积 $V_{\text{上}}$ 与浸入海水的部分的体积 $V_{\text{下}}$ 之比为多少？

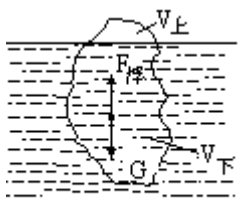


图3-31

思考 用分析法，找原始公式计算 $\frac{V_{\text{上}}}{V_{\text{下}}}$ 有困难。用综合法，

看从冰的比重和海水比重可得出什么间接已知量，也有困难。

既然已知比重，而比重与体积、重量有关，但两者均为未知。这时可设冰块总体积为 V ，总重量为 G ，则可写出冰的总体积为：

$$V = \frac{G}{0.90}$$

根据阿基米德定律， $V_{\text{下}}$ 即为排开海水的体积，这部分体积的海水的重量也应为 G ，则可表出：

$$V_{\text{下}} = \frac{G}{1.03}$$

经过上述分析，引入辅助量，则可直接计算 $\frac{V_{\text{上}}}{V_{\text{下}}}$ ：

$$\frac{V_{\text{上}}}{V_{\text{下}}} = \frac{V - V_{\text{下}}}{V_{\text{下}}} = \frac{V}{V_{\text{下}}} - 1 = \frac{\frac{G}{103}}{\frac{G}{103}} - 1 = 0.14$$

在解题过程中，虽然设了辅助量 V 和 G ，但最后都消掉了。如果不设 V 和 G ，则难于进行分析和综合。

应用分析法，从未知量出发，写出原始公式，如果一个一个物理量进行分析，找出子式有困难，可以联系起来去找。

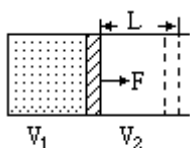


图3-32

}

例 15 横截面积为 S 的圆筒，其中装有 $m\text{kg}$ 气体，气体的克分子量为 μ 。当圆筒的温度从 $t_1^\circ\text{C}$ 上升到 $t_2^\circ\text{C}$ 时，已知理想气体常数为 R ，求气体膨胀对活塞作了多少功？

思考首先分析出，这是一个等压过程，然后分析初、末状态：

初状态体积 V_1 、温度 $T_1=273+t_1$

末状态体积 V_2 、温度 $T_2=273+t_2$

设活塞被推动的位移为 L ，活塞所受的压力为 F ，则可写出气体对活塞所做的功为：

$$W=F \cdot L$$

$$\text{但 } F=pS$$

$$\text{则 } W=pSL=p(V_2-V_1)$$

当然，对于等压过程可直接写出上式，

但式中的 p 和 V_2-V_1 都是未知，分别分析怎样求 p ，

怎样求 $V_2 - V_1$ 有一定困难。但联系起来思考求 pV_2 和 pV_1 ，则较容易。

根据理想气体的状态方程：

$$pV_2 = \frac{m}{\mu} RT_2$$

$$pV_1 = \frac{m}{\mu} RT_1$$

$$\text{则知 } p(V_2 - V_1) = R(T_2 - T_1)$$

$$\therefore W = \frac{m}{\mu} R(T_2 - T_1)$$

上式右边皆为已知，则可求 W 。

由上例可知，当逐个分析有困难时，应当整体地联系起来找子式。

有的问题可以有多种方法分析，解题时力求用较简捷的分析方法。

例 16 一个体积为 100cm^3 的软木块，软木块的比重为 0.2g/cm^3 ，问在软木块下面挂多重的铁块，恰能使软木块全部悬浮于水中（铁的比重为 7.8g/cm^3 ）？

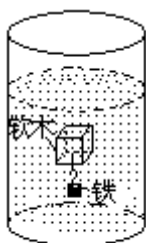


图3-33

思考 1 用综合法，从已知出发，可求出软木块的重量：

$$G = 0.2\text{g/cm}^3 \times 100\text{cm}^3 = 20\text{g}$$

当软木块全部浸入水中，其受到的浮力，由阿基米德定律可知为 100g 。那么，是不是在软木块下面挂（10

0g-20g)=80g 铁块就行了呢?当然不行。

因为80g铁块在水中又要受到浮力,其大小为 $\frac{80}{7.8^2}g$,如果再加上 $\frac{80}{7.8^2}g$ 铁,也不行,因为这部分铁又要受到浮力 $\frac{80}{7.8^2}g$,

如此分析下去,则在软木块下要挂的铁块重量应为:

$$G_{\text{铁}} = 80 + \frac{80}{7.8} + \frac{80}{7.8^2} + \frac{80}{7.8^3} + \cdots + \frac{80}{7.8^n}$$

应用等比数列的求和公式,当 $n \rightarrow \infty$ 时,

$$G_{\text{铁}} = \frac{80}{1 - \frac{1}{7.8}} = \frac{80 \times 7.8}{6.8} = 92(g)$$

上述思考,在数学中讲等比数列时可以用,也有趣,但在解物理习题时,显然麻烦了。

思考 2 既然软木块全部浸入水中后,还净有 80g 浮力。设需挂 xg 铁块,则根据阿基米德定律列方程:

$$\begin{aligned} x - \frac{x}{7.8} &= 80 \\ \text{解之 } x &= \frac{80 \times 7.8}{6.8} = 92(g) \end{aligned}$$

第二种思考法与第一种思考法,结果一样,但要简单得多。在用分析法和综合法解题时,所用的数学方法应当力求简明。

在解具体的一个物理问题时,可以采用许多灵活的方法,这里不一一举例。读者在解题过程中,应该经常注意总结,日积月累,就会有较大提高。

9. 方法的恰当选择

从上面的论述可以看到,分析法与综合法是不可分割的,不存在“纯粹的分析法”,同样也不存在“纯粹的综合法”。我们也看到,分析法与综合法是既相互联系,

又相互区别的。分析法着重于分解，综合法着重于联系。解题的分析法从未知量出发，解题的综合法从已知量出发。

当容易从未知量出发，直接找到原始公式时，以分析法为主较好；当容易从已知量出发，找到间接已知量，从而找到已知量与未知量的联系时，以综合法为主较好；当用上述两种方法都感到困难时，采用分析—综合法较好。就是说，既从已知量出发，看看可以推知出什么间接已知量，同时又从未知量出发，看是否能从已知量和间接已知量直接找到原始公式。即分析法与综合法交替使用。解决较难的问题时，用分析—综合法较好。有的题目又要用证伪法与证实法。

在解决一个具体题目时，究竟用分析法，还是用综合法，或分析—综合法呢？回答是：都可以。哪种方法熟悉，哪种方法容易，你就选择那种方法。方法的选择是相对的，因人而异的。这取决于平时的系统练习。但是懂得思维方法的三个途径，则可以有选择的余地。当分析法自己走不通时，就换综合法或换分析—综合法；当综合法走不通时，就换另外两种方法。可以有选择，这不是更好吗？

例 17 由两个带不同电荷的平行板组成的匀强电场，两板间的电势差为 UV ，两板间距离为 d ，一个电子在电场中由静止运动了 s ($s < d$)，电子电量 e 和电子质量 m 为已知，求电子的速度 v 等于多少（如图 3-34 所示）？

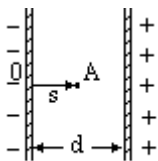


图3-34

思考 1 分析物理过程：这是电子在一个匀强电场中受力，做初速度为零的匀加速直线运动。

应用综合法，由电势差 U 和距离 d ，可以求出间接已知量电场强度 E ：

$$E = \frac{U}{d}$$

由 E 和电子电量 e ，可求出电子受到的力：

$$F = eE$$

由 F 和电子质量 m ，可求出电子的加速度 a ：

$$a = \frac{F}{m}$$

如果我们开始，没有看出应当选择什么作原始公式，但是当上述间接已知量逐步求出时，即可知：

$$v = \sqrt{2as}$$

思考2应用分析法，正确地找到了原始公式 $v = \sqrt{2as}$ 。

已知 s ，关键就要求出加速度 a ，

已知 m ，如果求出力 F ，则可求出 a 。

怎样找 F ？如果一时看不出来，应当充分利用还没有使用过的已知量： U ， d ， e 。

$$\text{由 } U, d \text{ 可求出 } E: E = \frac{U}{d}$$

$$\text{由 } E, e \text{ 可求出 } F: F = Ee$$

$$\text{于是问题可以解出: } v = \sqrt{2 \frac{Ue}{md} \cdot s}$$

上例表明，在解一些较复杂的习题时，需要分析法和综合法交替使用。

例 18 在例 17 的基础上变一下：如果不求速度 v ，而求经过 s 米后电子具有多少动能？

思考 1 在例 17 解答的基础上，既已求出速度

$$v = \sqrt{2 \frac{Ue}{md}} s, \text{ 即可求出动能:}$$

$$E_{\text{动}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{Ues}{d}$$

思考 2 根据功能原理，电子获得的动能 $E_{\text{动}}$ 等于电场对电子做的功即：

$$E_{\text{动}} = A$$

$$\text{而 } A = eU_{OA}$$

U_{OA} 为 O 点到 A 点的电势差，对匀强电场

$$U_A = E \cdot s$$

$$\text{而 } E = \frac{U}{d}$$

则代入原始公式知：

$$E_{\text{动}} = \frac{eUs}{d}$$

比较思考 1 和思考 2，可知用功能原理解此题要简单明了些，步子要少些。

例 19 电子以速度 v_x 沿水平方向射出，穿过平行板间的匀强电场，如图 3-35 所示。已知电场强度 E ，平行板的长度为 L 、电子质量 m ，电子电量 e ，求电子离开电场时的速度大小和方向（电子受的重力可忽略不计）。

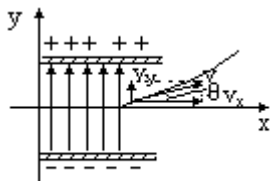


图3-35

思考电子带负电荷，电子进入电场后，受到一个竖直向上的作用力 $F = Ee$ （见图 3-36），便产生竖直向上的

加速度：

$$a = \frac{F}{m} = \frac{Ee}{m}$$

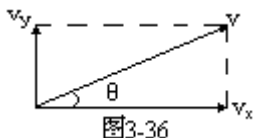


图3-36

电子在水平方向没有受到力的作用，根据牛顿第一定律，电子在水平方向保持速度 v_x 不变，经过 L 长度后所用时间为：

$$t = \frac{L}{v_x}$$

建立直角坐标系，水平方向为 x 轴，竖直方向为 y 轴，则知电子离开电场时， x 方向的速度为 v_x ， y 方向上的速度则为：

$$v_y = at = \frac{EeL}{mv_x}$$

应用正交分解法可知电子离开电场时速度的大小为：

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \text{ 即 } v = \sqrt{v_x^2 + \left(\frac{EeL}{mv_x} \right)^2}$$

其速度的方向，由矢量图可知：

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{EeL}{mv_x^2}$$

解此题的思考程序是分析法与综合法交替使用：一边分析物理过程，应用正交分解法，从 x 和 y 两个方向上，分别分析电子的受力情况和运动状态；一边应用综合法，从已知量出发，求出间接已知量，从而使之容易

看出求出 v 的大小和方向的原始公式。

例 20 在例 19 的基础上发展一步：在例 19 所述的平行板之间加一个磁场 B ，使电子进入平行板后，仍然沿水平方向以速度 v_x 做匀速直线运动（如图 3-37 所示），试求磁感应强度 B 的大小和方向。

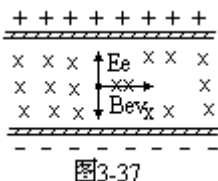


图3-37

思考从已知的要求出发：既然要使电子进入平行板后，仍保持 v_x 做匀速直线运动，则必须使电子所受的电场力与洛伦兹力大小相等、方向相反、在一直线，即应有：

$$Ee = Bev_x$$

由上式即可知 B 的大小。

既然知道了电子的运动是沿 x 方向，又分析出洛伦兹力必须竖直向下（沿 y 的负方向），应用左手定则（注意：左手定则规定四个手指是指正电荷运动的力向），可知磁场方向必须与电场方向垂直， B 的方向垂直地指向纸面（如图 3-27 所示）。

解此题，最好从已知出发，即要求电子做匀速直线运动，进而分析有关的各物理量应有的关系，从而判断出 B 的大小和方向。

例 21 在例 19、例 20 的基础上变一下：已知 E ， B ， L ， θ ，但不知

电子进入平行板时的速度 v_x ，如何求电子的荷质比 $\frac{e}{m}$ ？

思考同例 19 的思考一样可得：

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{EeL}{mv_x^2}$$

同例 20 的思考一样可得：

$$Ee = Bev_x$$

即通过调节 B 的大小使电场力与洛伦兹力相等。在上两式中消去未知的 v_x ，则得：

$$\frac{e}{m} = \frac{E \operatorname{tg} \theta}{B^2 L}$$

上例正是汤姆孙测定电子荷质比的方法。在例 19、例 20 分析的基础上，就不难理解。上述几例表明，一个较复杂的习题，既要分析，也要综合。

分析法和综合法是科学研究、工程技术等领域中经常采用的思维方法。这与解物理习题时用的分析法与综合法，原则上是一致的。在掌握了一定物理知识的基础上，应当自觉地学会分析法和综合法，这对于提高分析问题解决问题的能力，有较大的价值。在掌握知识的基础上，学习科学方法；又在科学方法的指导下，学习更多的知识。这才能较快较好地掌握知识，提高能力。将科学方法与所解决的问题，有机联系起来，形成结构。这既有利于问题解决，又有利于掌握科学方法。在物理教学中，重视“方法—问题”结构，是非常必要的。

物理教学的模式

现在首先论述了教育模式的原理，进而研究了物理教材对应的教育模式：实验模式、学术模式、文化模式、系统模式。然后，较详细地论述了中学物理的几种教学

模式：“导学—讨论”模式、“指导—探索”模式、“目标—掌握”模式、“图表—竞赛”模式。最后，分析了中学物理教学模式的发展趋势。

教育模式原理

一、为什么要研究教育模式

在现代科学方法论中，模式方法是一种重要的研究方法。用模式方法分析问题、简化问题，便于较好地解决问题。在自然科学中常称为模型研究方法；在社会科学中常称模式研究方法。例如，物理模型研究、数学模型研究、经济模式研究、文化模式研究，等等。

模式（模型）方法的主要特点是：排开事物次要的、非本质的部分，抽出事物主要的、有特色的部分进行研究。模式（模型）方法要将事物的重要因素、关系、状态、过程，突出地显露出来，便于人们进行观察、实验、调查、模拟，便于进行理论分析。

模式（模型）方法的主要程序是：按照研究的目的，将客观事物的原型抽象为认识论上的模式；通过模式的研究，获得客观事物原型的更本质、更深刻的认识。按照否定之否定规律，可以把模式（模型）方法表为：

原型 $\longleftrightarrow$ 模式（模型） $\longleftrightarrow$ 新型

其中，原型是提供抽象为模式（模型）的客观基础；而新型则是经过模式（模型）研究之后，更加深入认识了的原型。

建立教育模式，总是为了解决存在的问题。正因为学生学得太苦、太死，于是人们才去探索建立教育的“乐学模式”。正因为存在片面的“应试教育”的危害，于是

人们才强调建立“素质教育”的模式。建立各种学科、各科课程的“教学模式”也有明确目的，即是解决教学中存在的种种问题。也可以把模式（模型）方法表为：

问题 $\longleftrightarrow$ 模式（模型） $\longleftrightarrow$ 求解

上式表明：要从问题出发建立模式，使之有针对性；问题是否得到解决（求解），又是检验建立的模式是否恰当的标准。

模式（模型）方法，无论在自然科学研究中，还是在社会科学研究中，均显示出了重要价值。应用模式方法研究教育，就要研究各种教育模式。教育模式，推上，有理论基础；推下，有操作程序。模式处于理论与应用的中介。在理论与实践之间，模式能够承上启下，所以意义重大。可以把模式（模型）方法表为：

理论 $\longleftrightarrow$ 模式（模型） $\longleftrightarrow$ 实践

上式中，既有从理论到模式再到实践这一程序；也有从实践到模式再到理论这一程序。显然，模式能沟通理论与实践，既能促进理论的提高，又能促进实践的发展。

为什么要研究教育模式？这有科学方法论上的根据；同时，也是教育理论和实践发展的需要。在教育改革的实验中，许多情况都归结为研究现有的教育模式，创造新的教育模式。一个行之有效的教育模式，就有较大的推广价值。系统地研究教育模式，窥视教育模式的整体，尤有必要。因为，认识了整体，才能更好地认识部分，从而作出科学的选择。

二、教育模式与教学模式

研究教育模式，要处理好四个关系。

其一是教育模式与教学模式的关系。教育是培养人

的社会活动。教学是教师的教和学生的学的共同活动。显然，教育包容了教学。任何教学都具有教育性。根据作者所论述的大教育，其内容和形式就相当广义。既有家庭教育、学校教育，又有社会教育、自我教育；既有终身教育、整体教育，又有未来教育、通才教育；既有正规教育、正式教育，又有非正规、非正式教育等。教学模式这个集合，只不过是教育模式这个集合中的子集。可以表为：

$$\{\text{教学模式}\} \subset \{\text{教育模式}\}$$

上式清楚地表明了教育模式与教学模式的关系。可以说，教学模式是狭义的教育模式。本书是广义地研究教育模式，毫无疑问，它包含了众多的教学模式。

其二是教育模式与教育过程的关系。教育模式的研究是抓特点，抓关键；教育过程的研究是看顺序，看发展。两者有差异但又同一。从辩证法观点看：模式中有过程，过程中有模式。一种教育模式，总有相对应的教育过程；反之亦然，变换教育过程常常导致教育模式发生变换，两者具有对应性、同步性。大的教育模式可以包括多种教育过程；大的教育过程又可以包括多种教育模式，两者具有包容性、兼容性。两者既然有如此紧密的关系，那么，在研究教育模式时，就不能不对应地、相容地研究教育过程。因此将教育模式与教育过程结合起来研究，就是本书的特点之一。

其三是教育模式与教育结构的关系。教育模式的研究要认识特征，合理分类；教育结构的研究着重整体与部分、部分与部分的关系。两者既有差异性，又有同一性。从辩证法观点看：模式有结构，结构有模式。一种教育模式，总有相对应的教育结构；反之亦然。变换教

育结构常常导致教育模式发生变换。教育模式有宏观、中观、微观三个层次之分。宏观，指教育发展战略的模式；中观，指办学模式；微观，指教学模式。教育结构同样有宏观、中观、微观三个层次之分。宏观，指教育体制的结构；中观，指教育管理的结构；微观，指教学课程的结构。大的教育模式可以包括多种较小的教育结构；大的教育结构又可以包括多种较小的教育模式。所以，系统地研究各种层次的教育模式，实质上即系统地研究了各种层次相对应的教育结构。

其四是教育模式与教育方法的关系。教育模式要分析主要矛盾，认识基本特征；教育方法是为了达到一定教育目的而选择的教育方式、途径和手段。两者既有差异性，又有同一性。一般说来，教育模式较为概括、抽象；而教育方法则较为实在、具体。特殊地说，当然也有例外。从方法论看，模式是一种科学方法；从模式论看，方法可以形成模式。一种相对稳定、卓有成效的教育模式常常要应用多种教育方法；一种长期稳定使用的教育方法，有自身的特征，则可形成某种教育模式。大的教育模式要应用多种教育方法；大的教育方法可抽象出较多的教育模式。所以，较为完整地研究教育模式，就不得不涉及一系列科学方法和教育方法。

三、教育模式三原理

根据系统科学三原理，可以逻辑地引伸出教育模式三原理：

1. 模式变换原理

肯定表述 教育模式与教育过程是既区别又联系的，两者之间的反馈调整，不断变换，才可能实现一定的教育目的。

否定表述：没有反馈调整、不断变换的教育模式，不可能成功地达到教育目的。

模式变换原理与反馈原理是一致的；或者说，从系统科学的反馈原理，可以逻辑地引伸出模式变换原理。

2. 模式孕育原理

肯定表述：教育模式应是开放的、发展的、进化的。初级的教育模式中孕育高级的教育模式，高级的教育模式有待于发展到更高级的教育模式。

否定表述：教育模式不开放，初级的教育模式不孕育高级的教育模式，就不可能成功地得到发展。

模式孕育原理与有序原理是一致的；或者说，从系统科学的有序原理，可以逻辑地引伸出模式孕育原理。

3. 模式包容原理

肯定表述：应用教育模式应当是多种教育模式的综合，综合模式包容相关模式形成整体结构，从而才可能发挥更大的整体功能。

否定表述：不应用综合教育模式，不包容相关模式形成整体结构，就不可能成功地发挥整体功能。

模式包容原理与整体原理是一致的；或者说，从系统科学的整体原理，可以逻辑地引伸出模式包容原理。

物理教材对应的教育模式

现代物理学没有像现代数学那样存在着明显的几个学派，即：逻辑主义、直觉主义、形式主义、结构主义。但是，从物理学教材编写的指导思想及内容偏向来看，大致也可以分为四种教育模式：实验模式、学术模式、文化模式、系统模式。下面先用表 4-1 加以概括，然后

逐一论述。

表 4-1 现代物理教材对应的教育模式

模式名称	模式特点	基本教育过程
实验模式 K ₁ 型	实验中心， 问题讨论	观察→实验→问题→讨论
学术模式 K ₂ 型	学术中心， 研究中学	原理→结构→方法→能力
文化模式 K ₃ 型	文化中心， 历史地学	原理→结构→方法→能力
系统模式 K ₄ 型	系统中心， 联系地学	实验→原理→问题→结构→应用

一、实验模式

在基础物理教学中，物理教材的编写大多重视物理实验。我们举出两套较有影响的物理学教材为例。一套是苏联物理学家 Г.С.兰斯别尔格（Г.С.Ландсберг）主编的《初等物理学》，另一套是英国纳菲尔德物理学基金会资助的英国中学物理革新教材《纳菲尔德物理学》（NuffieldPhysics）。这两套基础物理教材的共同特点是把物理实验放在突出地位。

兰斯别尔格认为，物理学所特有的科学方法，就是实验法。物理学是实验科学，物理学的定律是借助于实验而得到的。他强调，必须使学生知道，合乎逻辑地表达出来的定义，只有依靠实验、通过量度，才能得到它的内容。作为苏联科学院院士、莫斯科大学物理教授，兰斯别尔格主编的《初等物理学》，成为中等学校的教材的一种典范。它的内容紧密结合实际，观察实验丰富生

动，习题深浅适度并有实际意义。这套物理教材的缺点是篇幅较多，有的内容较难。但仍不失为一本着重于“实验模式”的优秀教材。

《纳菲尔德物理学》分为两种水平，一种是普通水平（1966 年出版），一种是高级水平（1970 年出版）。这套物理教材把物理实验放在更为特殊的地位。学生用的学习指导书只有实验、问题、讨论。教师用书很详细。这套书主张让学生在学习指导书和教师的指导下，通过观察、实验、进行探索式的学习，以达到理解物理知识，发展研究能力的目的。

突出实验的教育模式，简称为实验模式（表为 K_1 型）。它的特点是：实验中心，问题讨论。

实验模式的基本教育过程是：

观察—实验—问题—讨论

实验模式应是物理教学的一种基本的教育模式，也应是理、工、农、医科教学的重要教育模式。从认识论来看，实验模式应当包容感知模式、游戏模式、具体模式、形式模式、直觉模式等。因为，实验模式本身也有一个由低级阶段向高级阶段发展的必要。

作者曾参与《中学物理实验》（1980 年）一书的编写。作者在为该书撰写的“总论”中指出了物理实验的六大功能：

- （1）丰富感性认识，提高学习兴趣；
- （2）突破重点难点，理解物理概念；
- （3）形成物理图像，认识物理过程；
- （4）启发学生思维，增强探索精神；
- （5）培养观察能力，掌握实验技能；
- （6）养成良好习惯，学会科学方法。

作者认为：没有演示和实验就等于没有自然科学的教学，离开了演示和实验的自然科学教学不可能是高质量的。

实验模式对于自然科学教学十分必要，但实验模式决不是唯一的教育模式。因内容变化、对象变化，教育模式理当发生相应的变化。在应用实验模式中，遵从教育模式三原理，注意教育模式之间的变换、孕育、包容，这同样是十分必要的。

二、学术模式

以美国物理科学研究委员会（Physical Science Study Committee）编写的物理教材，简称《PSSC 物理学》为代表，是充满科学主义色彩，以学术为中心的教材。

《PSSC 物理学》以培养科学技术的尖子人才为目的。该书要求通过掌握科学的基本知识结构和科学研究方法，提倡应用发现法学习。《PSSC 物理学》是集中了较多的物理学家、教师、仪器设计师、作家、美术家及其他专家，经过长时间编写和研制完成的。这套教材包括课本、实验教材、教具、教师参考书、教学影片、标准测试题。这套教材重视物理概念的逻辑发展，并按照现代物理学的成就，应用较新的观点去讲授基础物理学。每章附有大量习题，包括家庭作业题、实验性习题、课堂讨论题。习题的内容较多地取自现代科学技术的新成就。形式多样，内容新颖，从整体看有相当的广度和深度。

《PSSC 物理学》从 1960 年出版第一版以来，已几经修订，平均每 5 年修订一次。这套物理教材很快为许多国家翻译，产生了世界性的影响。这套教材对于课程现代化，培养尖端人才，有一定意义；但是，作为普通

中学的基础教育，这套教材显然失之于繁难。

突出学术的教育模式，简称为学术模式（表为 K_2 型）。它的特点是：学术中心，研究中学。

学术模式的基本教育过程是：

原理—结构—方法—能力

学术模式着重于培养有创造性的人才。根据认识论的发生发展过程，作者研究出创造教育的模式有：直觉模式、结构模式、综合模式、体系模式。因此，成功的学术模式，应当包容上述四种模式。然而，从认识阶段看，上述四种模式分别对应于高中生阶段、大学生阶段、研究生阶段、专家阶段。在基础教育中，不可能以学术模式为主，即使要培养尖子人才，也有一个发展过程，只不过上述阶段可以相对提前而已。实践表明，学术模式不可能成为基础教育的主要模式。重点名牌学校为培养尖子人才，可以适度地使用这种教育模式。但是，对于培养研究生，学术模式应该受到充分重视。

《PSSC 物理学》是科学主义、学术中心课程的代表，但决不是说《PSSC 物理学》只采用学术中心的教育模式。在具体的教学中，虽然可以偏重于学术模式，但必不可少地要应用实验模式等多种其他教育模式。

要成功地应用学术模式，仍需要重视应用教育模式三原理，注意恰当变换、自然孕育、合理包容其他教育模式。

三、文化模式

以美国哈佛大学教授 G. 霍尔顿 (G. Holton) 等编写的《哈佛物理设计》(Harvard Project Physics)，简称为《HPP 物理学》，后又改称为《物理课程设计》(The Project Physics Course)，简称《PPC 物理学》，是体现人文

主义精神，以文化为中心的课程。

《PPC 物理学》的特点是：把物理学作为人类文化的一部分来讲述物理学，包括相当丰富的物理学史，重视阐明科学思想和科学方法，注意物理学与社会的相互联系和相互影响，注意物理学与其他科学，例如，数学、天文学、化学、生物学、文学等学科的联系。这套物理学人文主义倾向十分明显。G.霍尔顿曾在1952年编写过一本《物理科学的概念和理论导论》，作为非主修理科的文科大学生的物理教程，该书重点放在科学中的发现、推理及概念形成的本性，着重从历史和哲学的角度进行阐释。这本《导论》的基本思想，正是《PPC 物理学》的主要特点。如果说《PSSC 物理学》，着重逻辑性的探索，体现科学主义精神的话；那么，《PPC 物理学》则着重历史性的探讨，体现人文主义精神。前者体现出的教育模式是学术模式，后者体现出的教育模式则可称为文化模式。

突出文化的教育模式，简称为文化模式（表为 K_3 型）。它的特点是：文化中心，历史地学。

文化模式的基本教育过程是：

背景—思想—阅读—实验—指导

G.霍尔顿在《物理科学的概念和理论导论》中指出，就科学史和科学哲学本身的价值而论，把它们纳入物理学的导论课程有三个目的：

(1) 提供赋予某一特定观念以意义和重要性的适宜背景；

(2) 了解科学建立者们的原始资料、动机及研究方法，阐明隐藏在纯粹抽象背后人类的胜利；

(3) 把科学作为对知识的伟大探求的一个侧面展示

给读者。

G.霍尔顿还强调：学生学完这类课程之后，将会知道主要定律和重要概念体系的演变；作为有责任感的公民，将理解判定科学思想正误的标准和促进科学繁荣昌盛的条件，以及使他们的教师留恋于科学职业的那种喜悦心情。在《PPC 物理学》中，通过一套课本和手册，还有一套学生读物，并且还编有教师参考书、程序教学指导书、补充读物、幻灯片、电影片、实验用具等，来达到上述目的。

1985 年作者在美国参加“第十七届国际科学史大会”，曾与 G.霍尔顿交谈，作者问 G.霍尔顿教授，《PPC 物理学》是否是想突出物理学是人类文化的一部分，突出物理学的思想性。G.霍尔顿教授作了肯定的回答。

文化模式包含有丰富的内容，作为物理教学，当然离不开使用实验模式。作为基础物理教材，以及文科大学生的课程，它不着重于学术模式，这是合理的。对自然科学课程采用人文主义的精神讲述，这是新颖的，有特色的。虽然，在突出自然科学的历史演变时，他们宣称绝非有意给实际材料涂上人文主义的色彩。所以，我们不称这种教育模式为人文模式，而称之为文化模式。

文化模式丰富了教育模式，它使我们认识到，将科学主义与人文主义统一起来的必要。在使用文化模式时，同样应遵从教育模式三原理，才能更好地发挥了文化模式的功能。

四、系统模式

作者在《控制论、信息论、系统论与教育科学》（1986 年）（1992 年再版时改为《系统科学与教育》）以及《大教育论》（1990 年）中，提倡应用系统科学研究教

育。同时，还在《牛顿力学的横向研究》（1987 年）和《牛顿力学与星际航行》（1991 年）中，试图体现出应用系统科学改造物理学的教学。作者在指导大学物理系研究生的硕士论文时，具体地探讨了以系统模式为特点的物理学的纲要，准备继续努力，编写出《系统模式物理学》（Systematic Model Physics），简称《SMP 物理学》。

《SMP 物理学》应当包容实验模式、学术模式、文化模式的长处，既体现科学主义内容，又体现人文主义的精神。《SMP 物理学》应是以系统科学为中心的课程。

《SMP 物理学》的特点是：应用系统科学三原理（反馈原理、有序原理、整体原理）指导教材编写与教学实施，改变 20 世纪物理教材的五大相对独立的“板块模式”。20 世纪上半叶，大学普通物理教材的基本结构是：

（1）力学；（2）声学；（3）热学；（4）电学；（5）光学。这五个部分的顺序，不同的教材略有差异。20 世纪下半叶，大学普通物理教材的基本结构是：（1）力学；（2）热学；（3）电学；（4）光学；（5）原子物理学。多数物理教材是按此结构与顺序的。毫无疑问，大学普通物理的教材结构，直接影响和制约着中学基础教育和物理学的教材结构。《SMP 物理学》要突破这种“板块结构”，建立以系统、信息、控制、有序、演化等为特色的“有机结构”，加强原有五大“板块”的内在有机联系。

回顾 20 世纪大学普通物理教材的发展，我们可以看到，教育价值观深刻地影响着教材建设。科学主义的教育价值观，可分为两种：一种是“理论至上”，在这种教育价值观指导下编写的教材，便是“重视理论，学术中心”，它所采用的教育模式，即“学术模式”；另一种是“技术至上”，在这种教育价值观指导下编写的教材，便

是“重视应用，技术中心”，它所采用的教育模式，即“实验模式”。人文主义的教育价值观，也可分为两种：一种是“个人本位”，在这种教育价值观指导下编写的教材，便是“发展个性，素质中心”，它所采用的教育模式，即“人格模式”。由于物理学的固有特点，体现“人格模式”的物理学教材极少。以“物”为中心的物理学，有没有可能演化为以“人”为中心的物理学呢？这是有可能的。在 21 世纪，“见物不见人”的物理学，有可能发展为“见物又见人”的物理学。另一种人文主义的教育价值观是“社会本位”。在它的指导下编写的教材，便是“面向社会，文化中心”。它所采用的教育模式的，即“文化模式”。作者预测：在 21 世纪，从世界范围看，大学普通物理教材以及中学基础物理教材，仍将会有偏向于上述四种模式的教材。作者所提倡的“系统模式”则是上述四种教育模式的“有机综合模式”，它体现出科学主义与人文主义的统一。

突出系统科学的教育模式，简称为系统模式（表为 K_4 型）。它的特点是：系统中心，联系地学。

系统模式的基本教育过程是：

实验—原理—问题—结构—应用

物理学是建立在实验基础上的科学。物理教学理当重视实验与应用。系统模式要包容实验模式。从认识的发生和发展进行研究，作者得出由低级到高级演化的八个教育模式：感知模式 (A_1)，游戏模式 (A_2)、具体模式 (A_3)、形式模式 (A_4)、直觉模式 (A_5)、结构模式 (A_6)、综合模式 (A_7)、体系模式 (A_8)。在教育过程中，如果学生对所学对象毫无所知，则教育应从 A_1 开始；如果学生对所学对象有所感知，但缺乏兴趣，则教育应从 A_2

开始；如果学生对所学对象有所感知又有所认识，则教育可从 A_3 开始；如果学生对所学对象既有感知和初步认识，且还了解一些具体事例，则教育可从 A_4 开始；如此类推。当然，选择较高级的教育模式时，同样要适当包容低级教育模式；更重要的是还应自觉孕育更高级的教育模式。由此可见，系统模式并不是无条件地应用实验模式，对初学者，物理内容必须从实验讲起，而对较高级程度的学生授课，当然不必事事都要从感知入手。

系统模式在具体教育过程中，同样要重视原理、问题、结构。这应当将学术模式和文化模式结合起来。这具体表现在，要将系统科学原理贯穿于教材之中，渗透于教学过程的始终。作者正是深入地研究了牛顿力学定律、热力学三定律、相对论原理等之后，才进一步认识到系统科学三原理的普适性。牛顿第一定律与整体原理有对应性。马赫原理告诉我们：任何一个给定物体的惯性依赖于宇宙中其他质量的存在和分布。由此可认识惯性定律与整体原理对应。牛顿第二定律与有序原理有对应性。因为动力学方程描述了力学系统的规律（有序）。牛顿第三定律与反馈原理有对应性，这是容易理解的。两者都可用符号表示为 $A \longleftrightarrow B$ 。其中的箭头，在力学系统中是指力；在一般系统中还可理解为信息。不难理解，热力学第一定律与整体原理对应；热力学第二定律与有序原理对应；热力学第三定律与反馈原理对应。应用系统科学原理来认识物理学原理，将有可能更新物理教学的结构。例如，着重从控制论的观点来讲授力学、电学；着重从信息论的观点来讲授声学、光学；着重从系统论的观点来讲授热力学、统计物理学和量子力学。这就可能形成一个不同于五个板块的新的物理教材结构。

系统科学三原理，它是辩证唯物主义三大规律在具体学科中的深入发展。对立统一规律包容反馈原理；量变质变规律包容有序原理；否定之否定规律包容整体原理。同时，它对我们更深入地理解中国古代科学的原理也大有好处。作者认为，中国古代科学有三大原理：

- (1) 阴阳互补原理；
- (2) 五行生克原理；
- (3) 天人合一原理。

这三个原理可以很好地成为反馈原理、有序原理、整体原理的古代原型的一种表述。

在经典物理学中，为了研究和改进热机总结出热力学三定律。大家知道，热力学第一定律可简单地表述为：第一种永动机不可能 热力学第二定律可简单地表述为：第二种永动机不可能 热力学第三定律可简单地表述为：达到绝对零度不可能。由此三个否定表述的原理，已建立起热力学的理论体系。它不仅成功地促进了热机的发展，而且也成为西医的重要基础。在中国古代科学中，为了研究人的“长生不老”，做了许多实验，形成了不同于西医的具有东方特色的保健医学体系：中医保健学。作者认为，这实际形成了保健学三定律。保健学第一定律可简单地表述为：第一种长生不老不可能。即要通过炼外丹、吃外丹达到长生不老是不可能的；保健学第二定律可简单地表述为：第二种长生不老不可能。即要通过炼内丹、做气功达到长生不老是不可能的；保健学第三定律可简单表述为：达到绝对不长不可能。即要通过不生长、不发育而达到不老、不死是不可能的。很明显，保健学三定律与热力学三定律极为相似，同样分别对应着系统科学的整体原理、有序原理、反馈原理。作者认

为，物理学中不仅应当研究“机”，而且应当研究“人”。应当实质性地拓展物理学的内容。这就具体地表现出要在物理学中，将科学主义与人文主义统一起来，形成既有物，又有人的物理学。

系统模式不仅要更新物理学的内容和结构，还应为物理教学的科学化提供理论基础和实际操作。作者在《系统科学与教育》、《大教育论》等著作中，从系统科学三原理出发，进行探索性演绎，得出了一系列更加具体化的原理。例如：

（1）从系统科学三原理出发，演绎出教育技术三原理：需要可行原理、经济有效原理、简单可靠原理；

（2）从系统科学三原理出发，演绎出教育美学三原理：情感转移原理、和谐奇异原理、多样统一原理；

（3）从系统科学三原理出发，演绎出教育经济三原理（微观经济）：供需制约原理、价值变化原理、最大效用原理；

（4）从系统科学三原理出发，演绎出教育管理三原理：情感沟通原理、层次递进原理、组合优化原理；

（5）从系统科学三原理出发，演绎出教育心理三原理：同化顺应原理、阶段发展原理、结构转换原理等等。

这充分显示出，系统科学原理可以成为教育的科学基础。当然，也可成为物理教学的科学基础。这无论是对于物理教育学的理论基础，还是对于实际操作，都有一定意义。

必须指出，系统模式仅仅是多种多样的教育模式中的一种，它不能“包打天下”，而且，只有在遵从教育模式三原理的基础上来应用系统模式，才可能取得较好的效果。

讨论模式

导学—讨论模式就是在教师的指导下，学生通过自学（主要是自己阅读物理课本，操作实验等）、相互讨论等积极主动地进行学习的一种教学模式。

一、模式的实验基础

概括模式依据的教改实验、教学实践经验有：成都市教育局中学教研室及成都市物理学会教学委员会教改试验组的“自学指导教学法”试验；天津市塘沽四中宋瀛铎的“实验学导法”教学法改革实验；山东省黄省县中村镇范作相的“启发诱导法”教学改革试验；大港油田教育培训中心教研室周延臣的“实验探求单元结构教学法”改革实验；辽宁省鞍山市第一中学李传成的“讨论式教学法”八年物理教学改革实践；李春霖的“四环节”教学法实践探索；成都市中学教研室与成都市物理学会教改试验组的“问题讨论”教学方式教改实验；陕西文峰中学杨新民的“五程序循环教学法”教学改革实践；山西绛县教育局教研室卢尚仁和绛县卫庄初中马占山的“自学讨论式教法”实践；湖北通城一中余拱焰的“四步启发式”教学方法实践；浙江兰溪市教研室的“六环节教学法”试验；广东省韶关市云顶中学卢秋云的“循环教学法”教学实践；辽宁省庄河高中王有山的“自学辅导法”经验；陕西省潼关县城关初中贾国华的“五环节单元导学法”教学试验；重庆市几所学校的“启发式单元教学法”试验；广东省教育科学研究所许铿泉、高凌飙、华南师大附中徐旭昭的“单元导学法”试验等。

二、模式的操作程序

现将以上各中学物理教改实验的实施步骤列在表 4-2 中。

表 4-2

A	启发讲解—指导自学—答疑小结—布置课后学习
B	实验设疑—自学探求—讨论质疑—练习总结
C	（创设情境，激发兴趣，调动思维）—（钻研教材，讨论争辩，获取知识）—（概括归纳，训练技能，开发智力）
D	实验探求—自学讨论—启发点拨—练习答疑—小结论文（写单元小结，小论文）
E	学生看书—师生提出问题—小组或全班讨论与答辩问题—教师课堂总结—学生灵活运用
F	（提出问题—重点辅导）—（师生讨论—突破难点）—（总结归纳—指导练习）—（扩大视野—知识升华）
G	提出问题—创设情境—组织讨论—归纳小结—联系、引伸、扩展
H	（联系生活实际—坚持课前自学）—（课堂讨论—取长补短）—（教师精讲—学生解惑）—（解疑补漏—巩固提高）—（布置作业—激发兴趣）
I	（激发兴趣—导入新课）—（依照提纲—指导自学）—（分析总结—启发解难）—（完成练习—巩固深化）—（精选习题—举一反三）
J	自学质疑—精讲释疑—讨论排疑—练习解疑
K	导—读—议—讲—练—结
L	→激发兴趣—指导阅读—解答疑难—布置作业—巩固提高
M	学生预习自学—（学生回答、讨论问题、师生共同研究，教师指导）—练习、应用
N	自学—启发—练习—改错—小结
O	（提出目标—创设情境）—（指导阅读—进行实验）—（启发讨论—加深理解）—（精讲结构—消除疑难）—（练习应用—洋讲改错）—（复小

P

〔学生阅读、实验、提出问题〕—〔议论、讨论小结〕—应用加深—巩固提高

在此基础上，笔者概括出如下的基本操作程序：

设疑激趣 → 指导自学 → 讨论答疑 → 启发释疑 → 练习小结

兹分述如下：

1. 设疑激趣

这是该模式操作程序的基础环节，该环节教师可通过生动有趣的演示实验或是设计简单的学生实验，讲述生动的物理学史，列举学生生活中常见的物理现象等多种方式设疑，激发学生的学习兴趣，引起他们解释物理现象、探索新问题的求知欲。当学生产生了疑问，有了解问题的需要，再让他们自学教材，他们才能专心研读，使自学获得好的效果。比如，一位教师在讲“大气压”一节时，先做了一个“用玻璃管吸水的演示”。把玻璃管插入广口瓶水中，用嘴一吸，水便沿着管进入嘴里。然后，把广口瓶装满水，用塞子把瓶口塞紧，瓶塞中间插入一根玻璃管，让前排学生吸，结果都没有吸上水。学生此时七嘴八舌，有的埋怨前排的同学不会吸，有的跃跃欲试，而有善于观察的学生则指出：瓶口塞了塞子就吸不上来。当教师追问为什么加上塞子就吸不上来了，学生答不出来。接着教师指出：要了解现象的原因，请阅读“大气压强”一节。这样教师通过实验设置了疑问，激发了学生的学习兴趣，自然而然地导入了下一环节。

2. 指导自学

教师分发自学提纲，提供实验器材，由学生按自学提纲个体独自阅读教材，进行实验操作，观察实验现象。同时，亦可向教师提问。教师作巡回点拨，对自学中出

现的问题，诱导启发，但不能包办代替，主要在于了解自学情况。

关于自学内容，起初，宜选择难度不大的，或是学生已有一定程度了解的教材作为自学内容。如初中的“船闸”，高中的“牛顿第一定律”、“功率”等。随着学生自学能力的不断提高，应逐渐加大自学内容的难度。

关于自学提纲，教师可事先刻印好，提纲要紧扣教材。应包括：要求学生掌握的基础知识和基本技能；有关旧知识的提示；引导学生实验、观察现象、记录数据进行分析得出结论的指导性材料等。至于自学提纲的详略应以教材的详略情况、学生自学能力的强弱等为转移，初二起始年级宜详细些，高中年级可适当简略些，但都应易读、明了，能起到应有的作用。

3. 讨论答辨

教师组织全班学生，针对普遍性的问题，结合教材的重点、难点（因为通常重点、难点是不能完全依靠自学解决的）以及学生自学中存在的问题，归纳整理出讨论题目进行讨论，相互答辨，以加深理解。这一环节需要注意以下几点：

（1）关于讨论的题目。讨论的题目要具有启发性。题目既不能过于简单，学生不加思索就能回答，也不能超出学生的实际水平太多，以至于学生茫然不解，不知所措。讨论的题目，估计经学生反复动脑思考，能“跳一跳，摘得到”为宜。讨论的题目最好具有程序性，题目的安排顺序要与学生思维发展的顺序相一致，问题层层深入，一环扣一环，这样更有利于学生思维的发展。

（2）关于讨论的方式可采取分组讨论、全班集体议论或是二者相结合。讨论中应注意充分调动学生积极思

考，尤其要特别重视中、下等学生的心理特点，他们常有自愧不如上等生的想法，因而发言总是有顾虑，不像上等生那样有自信心，发言比较主动，所以，应优先让他们发言和提出解答，鼓励他们，打消他们怕错的思想顾虑，动员他们发表自己的看法，只有把中、下等学生的积极性都调动起来，才能大面积地取得良好效果。

(3) 要注意引导学生紧扣讨论的题目进行讨论。对个别学生提出一些超出教材要求的问题，教师应肯定学生提出的问题有深度，指导他们在课外去阅读有关书籍，以防讨论漫无边际，影响教学进度。当然，也要注意保证讨论有充足的时间，让学生充分发表意见，估计学生讨论没有余力时，再予以指点、启发或补充，切忌匆忙讨论，仓促结束。

4. 启发释疑

通常情况下，疑难问题经过争辩议论之后，基本上能得到较为完善的答案，但也会出现学生对物理概念、定律、规则等的内在联系、区别理解不透彻的情况，这就需要教师启发精讲，帮助学生揭示它们的内在联系或区别，把抽象的概念具体化，必要时，可补充演示实验。解答个别学生讨论中仍未解决的遗留问题，应着重于指导学生掌握研究问题的思路，帮助他们掌握解决问题的方法。注意防止不管学生是否弄懂，讲得过细，重新回到“满堂灌”的老路上去的倾向。

5. 指导练习、小结

指导学生通过练习，加深对物理概念、公式、定律等的理解。如若这一模式以单元教学的方式进行，教师还要指导学生写好单元小结。如：用列要点、列表、写心得体会等方式，将整个单元主要内容、基本物理实验

进行归纳总结，使学生通过自己的思维活动把知识条理化、系统化。目前，练习的方式通常是做练习题，在学生分头练习的基础上，老师可请少数学生板演，以纠正练习中容易出现的错误。由于教学时间所限，课堂练习不同于课外作业，选题要“小”、“精”、“活”，形式要多样化。

三、模式的目标

该模式的目标概括如下：

（1）培养学生的自学能力，包括阅读、理解概括物理教材的能力，自己通过观察实验，进而独立思考，分析问题，解决问题的能力。这是该模式的主要目标。

（2）培养学生掌握一些基本的自学方法，逐渐形成良好的自学习惯。

（3）培养学生系统整理知识的能力和语言表达能力。

（4）调动起学生学习物理的主动性、积极性。

四、模式设计的理论依据

1. 心理学依据

（1）心理学研究表明，初中学生的观察力已有了显著的提高，他们一般能根据认识的目的有计划、有选择地观察，并能保持较长时间。

心理学一般都认为初中学生的思维处于从具体形象思维向抽象逻辑思维过渡的阶段，在他们的思维活动中有具体形象思维的成分，也有抽象逻辑思维的成分，但抽象逻辑思维开始逐渐占有相对的优势，主要表现在：初中学生已经能掌握一些基本的抽象概念，能较好地根据事物的本质特征和内在联系进行恰当的判断，并作出必要的说明和论证。他们的推理能力也在不断发展，已

能根据几个前提推出合乎逻辑的结论。他们对事物间的因果关系的理解逐渐加深，不仅能从原因推出结果，也能从结果找到原因，并且还能从许多原因中分出主要的、次要的原因。到了高中，学生的思维已开始具有辩证逻辑思维的特点，他们能够从一般的原理、原则出发，运用理论分析和综合事实材料，从事物的对立统一中进行合乎逻辑的推理。从初中到高中，学生的思维越来越具有独立性，高中学生尤其乐于独立地提出问题，并解决问题。他们喜欢探讨问题发生的原因，能解释和论证事物或现象间较为复杂的因果关系。中学生的所有这些心理发展的特点表明，他们已具备了初步的自学能力，这就为我们采取以自学为主实施教学的可行性奠定了基石。

（2）初中学生思维的批判性也有了显著发展。他们开始用批判的眼光来看待周围的事物，不满足于老师简单的说教和书本现成的结论，喜欢追根问底。到了高中，学生逻辑思维的批判性又有了进一步发展，他们对书本上的一些现成的结论，往往会从不同的角度提出自己的看法，对别人的见解和意见，有一定的分析、批判能力，喜欢开展不同意见的争论，与别人讨论问题时，希望对方拿出具有说服力的论据。他们对自己的观点和意见，也常常经过反复思考去寻找比较充分的理由或论据，这一切又为我们在教学中组织学生讨论，提供了可靠的依据。

（3）心理学的研究还表明，尽管初中学生的思维批判性、独立性有了较大发展，但还不成熟，容易产生固执、偏激的不良倾向。高中学生与成人相比，他们对事物的分析、判断能力也还没有达到成熟阶段，因此，这

就需要教师在教学中引导他们，帮助他们克服独立思考中可能产生的缺点和偏向，给予必要的指导，这又为不可替代的教师的指导提供了理论依据。

2. 我国传统的启发式教学思想

早在两千多年前，我国古代大教育家孔子就提出了“不愤不启，不悱不发”的著名教学原则，“启发”一词就源于此。这句话的意思是说，教学中，教师应在学生把问题想通而又想不通，想说而又讲不清的情况下进行启发，这就是最早的启发教学。后来，在我国著名的教育专著，也是世界教育史上最早的教育专著——《学记》中，对启发式教学又有了进一步发展，提出“道而弗牵，强而弗抑，开而弗达”的教学原则。这就是说，教师要引导学生自觉地学习，而不是牵着他们被动地“走”；积极地鼓舞、激励他们，而不是强加逼迫；启发他们独立思考，而不应立即把结论告诉学生。又指出：“独学而无友，则孤陋而寡闻”。这又告诉我们，学生通过对所学内容的讨论，可以集思广益，相互启发加深理解、提高认识。总之，这些极为精辟的教学思想，至今仍对我们中学物理教学有重要的指导意义。

3. 唯物辩证法关于内、外因辩证关系的原理

这一原理告诉我们，任何事物的发展都是内因与外因共同作用的结果。内因和外因对事物的发展起不同作用，内因是事物发展的根据，外因是事物发展的条件，外因必须通过内因才能起作用。教学过程中，教师的教属于外部条件，是外因。学生的学是内因，教师的教必须通过学生的学才能发挥作用。如果学生本人没有学的愿望，学生的主动性、积极性不高，教师的“教”就会由于没有学生的“学”这一内在根据而不起作用。因此，

教学中，可通过学生的自学、讨论等方法充分调动学生内在积极性、主动性，同时，辅以教师的指导。

探索模式

指导—探索模式是指在教师的指导下，学生运用学过的物理知识，针对研究课题提出假设，设计实验方案，验证假设，归纳出物理规律或抽象出物理概念，从而获取知识，发展能力的一种教学模式。

一、模式的实验基础

概括该模式依据的教改实验有：福建省中学物理教改研究会的“实验探索法”教法改革实验；辽宁省实验中学胡坤英的“物理实验探索法”实验；广西玉林高中刘殿雄的“指导探究法”试验；安徽马鞍山二中物理教改试验组汪延茂的“实验—综合—引探式”实验；江苏盱眙县教师进修学校南冲“实验探索法”教学实践；河北省石家庄市教育学院戴明华用“发现法”于初、高中物理教学的实践；辽宁省金县教师进修学校白娟和金县海滨中学苏福河的“实验探索”教学法教学实践等。

二、模式的操作程序

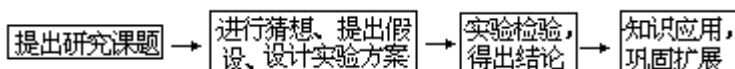
上述中学物理教改实验，其操作步骤列在表 4-3 中。

表 4-3

A	$\left(\begin{array}{c} \text{创设物理情境} \\ \text{提出问题} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{进行合理} \\ \text{猜想} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{设计实验方案} \\ \text{验证猜想} \end{array} \right) - \text{知识应用}$
B	$\left(\begin{array}{c} \text{提出研究} \\ \text{课题} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{组织实验} \\ \text{探究} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{组织讨论} \\ \text{总结} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{巩固练习} \\ \text{和考核} \end{array} \right)$
C	启动—指导探索—指导加工整理—启发发现

	— 运用知识
D	$\left(\begin{array}{c} \text{创设问题} \\ \text{情境} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{观察实验方法} \\ \text{理论思维方法} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{引导自取} \\ \text{自探结论} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{知识应用、} \\ \text{迁移再创造} \end{array} \right)$
E	启发质疑—实验探索—巩固扩展
F	创设问题情景—提出解决问题的假设—得出问题的结论
	提出任务、要求—实验研究—作出结论—检查应用
G	提出任务：提出所要研究的课题
	提出要求，包括：对所研究问题的程度和范围的要求
	对实验操作、分析、讨论方式的要求

在此基础上，笔者概括出如下的操作程序：



现分述如下：

1. 提出研究课题

就是教师根据教学内容，提出难度适宜的研究课题，同时，要激发学生探求新问题的兴趣，调动学生的积极性。关于研究课题的提出，一般可采用从学生已有的知识中引出研究课题。比如，在研究物体浮沉条件时，先提出：铁块放在水中沉入水底，但用钢铁制成的轮船却能浮在水面上，这是什么道理呢？进而提出决定物体的浮沉条件到底是什么的研究课题。

2. 进行猜想，提出假设，设计实验方案

这一步教师要引导学生根据已经学过的物理学知识

和生活经验，对问题进行“科学”猜想，鼓励他们大胆提出各种假设，并展开讨论，分组（或全班集体）设计出检验的实验方案（包括选用哪些实验仪器和器材，先后测量哪些物理量、具体怎样操作等）。

3. 实验检验猜想或假设，得出结论

通常是在教师的指导下，学生独立进行分组实验（如果实验器材有限可代之以观察教师演示实验），取得实验数据，通过自己对实验现象、数据的分析、综合、判断、推理等否定或肯定假设，最后得出实验结论，获得知识。

4. 知识应用、巩固扩展

即学生运用新获得的物理概念、定律等知识于新情境，解释物理现象，解答物理习题，让他们在运用中巩固、深化知识。

三、运用模式的注意事项

（1）通常学生对课题的猜想和假设难免有错误之处，教师对他们提出的猜想或假设不要轻易否定，要让他们通过实验去认识，当他们通过自己做（或观察演示实验）后，自我修正了错误认识，无疑要比老师讲解印象深刻得多。

（2）由于该模式需要教师、学生花费大量的时间和精力，受教学时数的限制，在教学中频繁运用该模式教学显然是不可能的。但是，为了培养学生的思维能力、创造性解决问题的能力等，适当安排若干次以指导一探索模式实施的教学还是非常必要的。以该模式实施教学，教学内容一般应该是重要的物理概念或规律。如：“阿基米德定律”、“楞次定律”、“功的原理”、“密度”、“电阻”、“玻-马定律”、“电流强度跟电压的关系”、“电磁感应现象”等。

(3) 初二年级起始阶段, 由于实验操作能力不强, 宜以演示实验探索为主, 随着学生实验能力的不断提高, 抽象概括思维能力的不断发展, 教师逐步减轻指导的分量, 逐步过渡到学生自我实验探索, 高中年级宜以学生自我实验探索为主。

(4) 如若以学生自我实验检验假设, 进行探索还要注意, 实验应用的器材不宜太多, 操作较为简便, 实验现象和变化过程明显, 测量的有关数据要比较精确, 实验误差应在允许范围内, 以便让学生在实验观测的基础上, 集中注意力进行思考分析, 比较总结, 探索规律。对于实验装置过于复杂, 实验操作难度过大, 或误差过大, 一般不宜学生自我实验探索。否则, 因为操作过于复杂的实验, 学生难于处理好实验操作与思考探索的关系, 实验过程反而会弄得忙乱不堪, 妨碍学生正常思维的发展, 无法达到模式的目标。

四、模式的目标

该模式的目标概括如下:

(1) 培养学生的发散思维能力和创新精神, 这是该模式的核心目标。

(2) 培养学生的观察力、实际操作能力、勇于探索的意志力、实事求是的科学态度及共同协作探索的良好的学术研究态度和风气。

(3) 提高学生学习物理的兴趣。

(4) 培养学生掌握归纳、综合、抽象等思维的基本方法。

(5) 培养学生掌握研究物理问题的科学研究方法。

五模式的理论依据

1. 皮亚杰的教学思想

当代瑞士心理学家皮亚杰，通过研究儿童的认识发展，创立了发生认识论的理论体系，内容十分丰富。皮亚杰根据他的研究，提出“知识源于行动”和“认识发生于主、客体之间的相互作用”的观点。他运用这些观点指导教育工作，提出：教育应大力发展儿童的主动性，儿童的学习必须是一个主动的过程，强调教师应当注重“自我发现法”的教学。他认为，只有儿童自我发现的东西，才能积极地被同化。他还强调“活动法教学”，他认为让儿童在活动中学习是儿童教育的最高原则，只有儿童自己具体地和自发地参与各种活动，才能形成他自己的假设，并给予相对合理的证实或否定，才能获得真实的知识。

2. 美国哈佛大学教授、心理学家布鲁纳（J.S. Bruner, 1915—）的“发现学习”的教学思想

布鲁纳认为：发现不限于寻求人类尚未知晓的事物，确切地说，它包括用自己的头脑亲自获得知识的一切形式。他主张，教学过程中，学生在教师的指导下，围绕一定的问题，依据教师和教材提供的材料，通过积极的思维活动，亲自探索和主动研究，并让学生亲自把事物整理就绪，使自己成为“发现者”。当然，这种“发现并不是真的让学生发现至今尚未发现的知识，而只是对学生来说是未知的而对人类是已知的问题。他要求教师培养学生的直觉思维，强调学生要大胆猜测，要用直觉思维去感知问题情境，从而“顿悟”，解决难题。

掌握模式

中学物理目标—掌握综合教学模式是根据中学（初、

高中)物理教学大纲的要求,制订出具体的教学目标,并以此目标为导向,综合运用各种教学方法,实施教学,并借助教学评价获得教学情况的反馈信息,进行矫正达标的一种教学模式。

一、模式的实验基础

模式依据的教改实验有:上海市新沪中学刘志述的“探索目标教学程序”试验;山东省教学研究室主持的“高中目标教学”实验;山东省王莲县教研室的“以目标分类教学的思想为指针实施‘启发式’综合教学”实验;烟台市教研室的“初中物理教学模式的探索”实验;贵州省开阳县第一中学的“初中物理目标教学”试验;吉林市吉林三中等几所中学的“初中物理目标教学探索”实验;黑龙江七台河矿务局教研室孙勤的教学实践;福建省 116 所学校参加的“中学物理教学目标管理”、“教改试验”等。

二、模式的操作程序

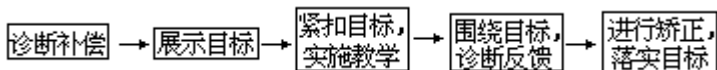
前述中学物理教学实验,其操作步骤列在表 4-4 中。

表 4-4

A	明确教学目标—展示教学目标—实现教学目标—检查教学目标
B	向学生交底—诊断性测试—印发单元教学目标—课堂教学达成目标—强化反馈—矫正
C	诊断补偿—设疑引学—解疑解难—巩固评价—矫正补救
D	$\left(\begin{array}{l} \text{依据目标} \\ \text{诊断检查} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{交待目标} \\ \text{引导自学} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{紧扣目标} \\ \text{点拨解疑} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{围绕目标} \\ \text{巩固练习} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{对准目标} \\ \text{自我评价} \end{array} \right)$ $- \left(\begin{array}{l} \text{完善目标} \\ \text{布置作业} \end{array} \right)$

E	(学前准备 创设情境) — (提出课题 合作教学) — (深化理解 分层训练) — (强化记忆 及时反馈)
F	(依据目标 诊断补偿) — (出示目标 形成意义) — (紧扣目标 精讲点拨) — (对照目标 阅读理解) — (对准目标 诊断评价) — (完善目标 布置作业)
G	引入目标 — 揭示目标 — 强化目标 — 测评目标 — 深化目标
H	明确目标 — 落实目标 — 反馈矫正, 达成目标

在此基础上, 笔者概括出如下的操作程序:



各个步骤分述如下:

1. 诊断补偿

在新课开始前, 用事先设置的诊断性测试题进行诊断检查目标, 目的在于检查学生所具有的与新的教学内容有关的旧知识的学习情况。通常是数学知识, 或是学过的物理知识。对检查出的知识缺陷进行补偿, 以扫清学生学习新知识的障碍, 为学习新知识铺平道路。

新课开始前的诊断, 通常采用书面的形式、问答方式或让学生“板演”的方式进行。如在学习新内容时, 无明显的前提知识缺陷, 就可省去诊断补偿这一环节, 直接进行下一环节。

2. 展示目标

教师可将事先刻印好的教学目标, 发给学生, 并简略加以说明, 学生明确了学习目标, 即明确了努力的方向, 利于有效地实施教学。

3. 紧扣目标，实施教学

根据教学目标中的内容，教师应依据学生的实际情况（包括学生现有的知识水平和智力水平）、教师本人的特长、学校的实验设备状况、教学时间等各种因素，采用集中、组合讲授、读书、讨论等各种中学物理教学方法，去达成目标。在教学中应注意向学生传授科学的学习方法，鼓励学生不断总结经验，改进学习方法。注重发展思维，培养能力。

4. 围绕目标，诊断反馈

这一步主要是检查学生对本节课教学目标的达成情况。教师分发给事先准备好了的围绕教学目标的形成性测试题，进行测试。测试结果一般采用教师公布答案，学生自我批改或同桌交换批阅的办法，不进行评分。教师可通过巡视学生做诊断题的情况及通过学生举手提问等方式了解题目的完成情况，这样，通过形成性测试，为教师和学生提供反馈信息。

5. 进行矫正，落实目标

对检查出的多数学生掌握不牢或还未掌握的知识点目标，教师可通过重新讲解、师生讨论、谈话等方法及时进行补救和矫正。特别要注意，对少数学生未能达标的知识点，应为他们提供额外的学习时间和不同的教学条件，个别辅导，进行补救性学习，师生密切合作，直到达标。对于全部教学目标，进行提高性学习，使他们百尺竿头，更进一步。总之，要考虑到学生的个别差异，根据学生的实际情况，因材施教。

三、运用模式的注意事项

（1）程序中 4.5. 是关键步骤，只有抓好这两个环节，教学目标才能得以落实，否则，容易导致教学失

败。

(2) 物理是一门系统性很强的课程，可将各章中的每节教材按其联系分成若干个相对独立的教学单元，每一教学单元都制订出具体而明确的教学目标，并据此实施教学。无需改变原教学班级。

(3) 关于单元教学目标的编制，必须考虑班级中大多数学生的基本学习情况，目标的制定要注意循序渐进，逐步提高，最终达到中学物理教学大纲的标准。

四、模式的目标

该模式的目标概括如下：

(1) 促使绝大多数同学都能达到中学物理教学大纲的基本教学要求，大面积提高教学质量。

(2) 帮助学生增强学好物理的自信心，进而提高学习兴趣。

(3) 培养学生掌握学习的方法，提高学习能力。

五模式的理论依据

1. 布卢姆 (B.S. Bloom) 等人的教学目标分类理论

布卢姆等人的教育目标分类的工作，雄辩地阐明了一门学科的教学目标可以按照由简单到复杂的一系列等级进行分类。在他的影响下，我国《九年制义务教育全日制初级中学物理教学大纲（初审稿）》把对知识的要求划分为以下三个层次：

(1) 知道。是对知识的初步认识，要求知道的知识，应该能够说出它的特点、大意，在有关问题中能够识别它们。

(2) 理解。是对知识的进一步认识，除了包含“知道”的要求外，还要了解知识的确切含义，并能用来分析、解决简单的问题。如解释简单的物理现象、进行简

单的计算。

（3）掌握。除了包含“理解”的要求外，主要是运用知识的要求比理解高一些，应能灵活地用来分析、解决简单的问题。如能比较灵活地运用知识解释简单的物理现象，能比较灵活地运用知识进行简单的计算。

对技能的要求用“会”来表示。所谓“会”，就是要求能正确操作并得出结果。

这就为我们实际教学中编制更为具体的物理教学目标，并据此目标实施教学提供了前提依据。

2. 布卢姆的“掌握学习”教学观

（1）布卢姆的教育观和学生观。

布卢姆等人认为，学校教育的主要任务是要充分培养与发挥每个学生的能力，而不是预测和淘汰大多数人和选拔少数英才学生。布卢姆等人在实验研究的基础上，进一步提出，只要进行适当的必要学习和提供通常的学习条件，几乎所有的学生（不包括那些智力有缺陷的学生）都能学好学校应教的东西，并达到很高水平。用他的话说，即“我们的孩子都能学习”。这就为该模式奠定了基石。

（2）布卢姆关于“先决认知行为”（Cognitive Entry Behaviors）的教学观。

布卢姆认为，学校的学习是建立在一系列大量带有认知特点的预先学习的基础上，每一个学习任务都具有某些所需要的必要学习。布卢姆把某项学习任务所需的必要学习称作是“先决认知行为”。如果学生对学习任务缺乏“先决认知行为”，那么花多大的力气也无助于他较好地学习，达到规定的标准。因此，教师可通过诊断性评价主动地改变“先决认知行为”，使学生在完成新任务

前具有适应的先决认知行为。

（3）布卢姆的“先决情感特点”（Affective Entry Character-istics）的教学观。

布卢姆指出，学习结果会影响学生的情感，学生完成某个学习任务，并达到规定的标准，在心理上会有一种满足感，受到积极的促动，那么他们会相信自己的学习能力，还想继续学习下一个学习任务。反之，如果学生在完成某个学习任务时，成绩不好，也没有得到更好的帮助，这样，他们就会怀疑自己的学习能力，在心理上受到消极的促动，感到害怕，不愿意再学习下去。为此，在教学中，教师可通过形成性测试题，运用反馈和矫正的方法，使他们都能达到规定的掌握标准，从而在情感上能受到积极的促动，增加自己对学习能力的信心，进而增加对学习物理的兴趣，为以后的学习在情感方面做好准备。