

## 中学物理思维方法丛书

顾问 周培源 于光远  
序言 阎金铎  
主编 王溢然 束炳如  
编委 (按姓氏笔划为序)  
王明秋 王溢然 刘宗贤  
束炳如 岳燕宁 谢 凯  
本册作者 王溢然  
插图 朱 然

“认识一种天才的研究方法，  
对于科学的进步，并不比认识天  
才的发现本身更少用处。”

——拉普拉斯

# 序 言

在中学物理教学过程中,学生获取知识的同时,要重视从科学宝库中汲取思维营养,加强科学思维方法的训练。

思维方法是一个很大的范畴,有抽象思维、形象思维、直觉思维等。以抽象思维而言,又有众多的方法,在逻辑学中都有较严格的定义。对于以广大中学生为主的读者群,就思维科学意义上按照严格定义的方式去介绍这众多的思维方法,显然是没有必要的,也是不会收到成效的。由王溢然、束炳如同志主编的这套丛书,不追求思维科学意义上的完整,仅选取了在物理科学中最有影响、中学物理教学中最为常见的这些思维方法(包括研究方法)为对象,在较为宽泛的意义上展开,立意新颖,构思巧妙。全套丛书共13册,各册彼此独立,都以某一二类思维方法为主线,在物理学史的恢宏长卷中,撷取若干生动典型的事例,先把读者引入到饶有兴趣的科学氛围中,向读者展示这种思维方法对人类在认识客观规律上的作用。然后,围绕这种思维方法,就其在中学物理教学中的

功能和表现、以及其在具体问题中的应用作了较为深入、全面的开掘,使读者能从物理学史和中学物理教学现实两方面较宽广的视野中,逐步领悟到众多思维方法的真谛。

这套丛书既不同于那些浩繁的物理学史典籍,也有别于那些艰深的科学研究方法论的专著,但却兼容了历史和方法、照顾了普及与提高、联系了中学教学实际、突出了对中学物理教学的指导作用和具体应用。文笔生动、图文并茂,称得上是一套融史料性、科学性、实用性、趣味性于一体的优秀课外读物。无论对广大中学生(包括中等文化程度的读者)还是中学物理教师、教学研究人员以及师范院校物理专业的大学生,都不无裨益。

科学研究是一项艰巨的创造性劳动。任何科学发现和科学理论都是在一定的背景下,经过科学家精心的实验观测、复杂的思维活动后的产物。在攀登道路上充满着坎坷和危机,并不是一帆风顺、一蹴而就的。科学家常常需及时地(有时甚至是痛苦地)调整自己的思维航向,才能顺利抵达成功的彼岸。因此,任何一项科学新发现、一种科学新理论的诞生中,决不会仅是某种单一思维活动的结果。这也就决定了丛书各册在史料的选用上必然存在的某些重复和交叉。这是一个不足之处,但反过来却可转化为使读者的思维层次“多元化”的一个优点。不过,作为整套丛书来说,如果在史料的选用上搭配得更精细一些、思维活动的开掘上更为深刻一些,将会使全书更

臻完美。

我把这套丛书介绍给读者,一方面希望引起广大中学生的兴趣,能从前辈科学家思维活动轨迹中汲取智慧,活化自己的灵感,开发潜在的智能;另一方面希望中学物理教师在此基础上继续开展对学生思维方法训练的研究,致力于提高学生的素质,以适应新时期的需要。

我也真诚地希望这套丛书能成为图书百花园中一朵惹人喜爱的花朵。

阎金铎

1992年10月

## 引 言

思维是精神的一部分,古人把思维归之于心,所谓“眉头一皱,计上心来”,后来人们逐渐认识到思维来源于脑,它是人类自觉地把握客观事物的发展和规律的一种高级的复杂的认识活动。

思维的机理及其运动规律的研究,依赖着脑科学的发展,20世纪60年代,美国加州理工学院斯佩里教授进行的裂脑实验,取得了历史性的突破,原来,大脑左右两半球各以不同的方式进行思维,左脑用语言进行思维,它以一步一次的方式进行着逻辑思维;右脑则以感觉形象进行思维,过去很长一段时期中,人们一直忽视对右脑的研究,我国著名科学家钱学森教授说:“形象思维常常连一点来龙去脉都搞不清楚。”裂脑实验极大地鼓舞了人们,应该努力去开发自己头脑中右边这块处女地,让大家都变得更加聪明起来,恩格斯曾说过:“终有一天我们可以用实验的方法把思维‘归结’为脑子中的分子的化学的运动,……”但在目前,人类离这个目标还很远。

本书的任务,不是研究思维的机理,仅从思维的方式着眼,先有所侧重地分别介绍形象思维、抽象思维和直觉思维这三种思维形式,并从现实意义上指出各种思维方式的渗透与互补,最后,结合中学物理教学,简要阐述有关思维训练的要求与方法,希望读者能通过对这几种思维方式的了解,有助于开发自身的思

维宝库。

作者

1995年初夏二稿于苏州九百居

# 目 录

序言

引言

一、生动的形象思维 .....	(1)
1. 形象思维的特征	
——普遍性、直观性 .....	(2)
2. 形象思维的基础 .....	(10)
3. 形象思维的科学功能 .....	(16)
二、深刻的抽象思维 .....	(29)
1. 抽象思维的特征	
——概括性、深刻性 .....	(29)
2. 抽象思维的方法 .....	(45)
3. 抽象思维中的一朵奇葩	
——思维实验 .....	(53)
三、可贵的直觉思维 .....	(68)
1. 直觉的特征	
——直接性、突发性 .....	(68)
2. 直觉的基础 .....	(72)
3. 直觉的科学功能 .....	(76)
4. 直觉的局限性 .....	(85)
四、不同思维方式的渗透与互补 .....	(93)



1.对落体运动的认识 .....	(93)
2.反射定律和折射定律 .....	(96)
3.生物原型——新技术的钥匙 .....	(100)
<b>五、中学物理教学与思维训练 .....</b>	<b>(109)</b>
1.以形象思维为入口 .....	(109)
2.以抽象思维为核心 .....	(121)
3.勇于伸出直觉的触角 .....	(140)
<b>结束语 .....</b>	<b>(145)</b>
<b>主要参考资料 .....</b>	<b>(147)</b>

## 一、生动的形象思维

把思想具体化,在脑海中构成形象能激发想象力

——贝弗里奇

形象思维是凭借外界事物作用于人的感官产生的感觉、知觉基础上所进行的思维活动,它与其他的思维形式一样,也是人类的一种基本的思维形式.它与抽象思维不同的地方是,整个思维过程中始终不脱离形象.

关于形象思维的研究,尤其是在自然科学领域内的形象思维,在以往很长一段时期里并未引起人们的足够重视.\*我国著名科学家钱学森说过:“直到现在,我们仅对逻辑思维(即抽象思维)有了比较系统的研究,从而总结出它的规律——逻辑学,而形象思维则研究得很不够,还没有形成一门科学.”

因此,下面阐述的,不是从思维科学的严格意义上去探讨形象思维,而是侧重在与物理学关系密切的并立足于中学物理教学的角度对形象思维的基本特征、产生基础、科学功能等方面作一介绍.

---

\* 20世纪50年代以来,受苏联学术界“艺术以形象思维为特征,科学则以概念思维为特征”的影响,我国学术界也一直沿袭这个说法.

## 1. 形象思维的特征

### ——普遍性、直观性

形象思维最基本的特征是它的普遍性与直观性。

#### (1) 普遍性

人皆有之。形象思维的普遍性，在某种意义上甚至超过抽象思维，在人类的认识活动中也早于抽象思维。钱学森说过：“人认识客观世界首先用形象思维而不是用抽象思维。就是说，人类思维的发展是从具体到抽象。”

无论是原始人或 1~2 岁的稚童，形象思维在语言之前就产生了。他们会用手势或姿势模仿客观事物或现象。原始人的象形字及会意字，就是他们形象思维的写照。如图 1 中 (a)(b)(c) 是三个象形字——木、壶、鼎。木的上面表示树枝，下面表示树根；壶的上面是盖子，下面是壶体；鼎的上面表示锅体，下面是一个支架。图 1 中的 (d) 则是一个会意字“觅”。上面像一只手，中间是一只眼睛，下面是一个人。表示一个人睁大眼睛正用手翻着什么，不就是在寻觅吗？

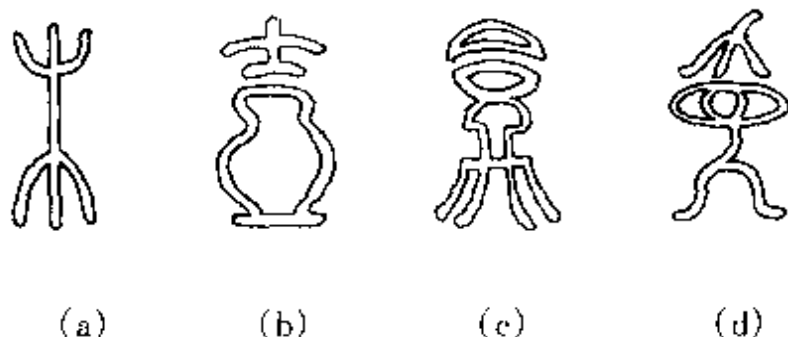


图 1 象形字和会意字

至今在美洲原始部落的人们，某些方面还不善于用概念的语言来表述，而是借助着形象。他们说一个人的勇敢，就说这个人像

一头狮子;说一个人的眼睛敏锐,就说这个人像一只鹰;……可以这么说,形象思维是人类思维活动的发端。“形象思维,人皆有之。”

遍及各个领域

形象思维的普遍性也表现在它广泛存在于人类实践活动的各个领域。

文学家、艺术家需要用形象思维反映现实生活.音乐、绘画、雕塑、文学创作等都需以生活中的原型去想象作品中的人物、情景,而作品中的人物、情景等一切有形之物,又都是一个形象,会唤起人们无穷的想象.当我们欣赏贝多芬的《田园交响乐》时,那山间小溪的潺潺流水,那林间吱喳鸣唱的鸟声,那夏天轰轰的雷鸣、雨后农村一片欢乐的情境,使人如闻其声、如临其境.著名的维纳斯雕像,芳臂断缺,双目无瞳(图2),但在每一个欣赏者心中,都可以根据各自的想象,得到完美的补偿.这正是形象思维的力量。



图2 维纳斯雕像

建筑、工程技术需要用形象思维构思造型.马克思在《资本论》中说过一段话:“最蹩脚的建筑师从一开始就比最灵巧的蜜蜂高明,是他在用蜂蜡建筑蜂房以前,已经在自己的头脑中把它建成了,……”这是对昆虫的本能和人类思维的区别极其透彻的比较,因为建筑师的头脑中已储存了有关房屋的具体可感的表象(图3)。

日用商品、广告宣传中更是大量地用形象性标志代替概念性语言的说明.如一些家电的外包装箱上,常用图4中的各种图案形象提请运输中小心轻放、防潮、不可倒置、禁止踩下等.某些剧毒化

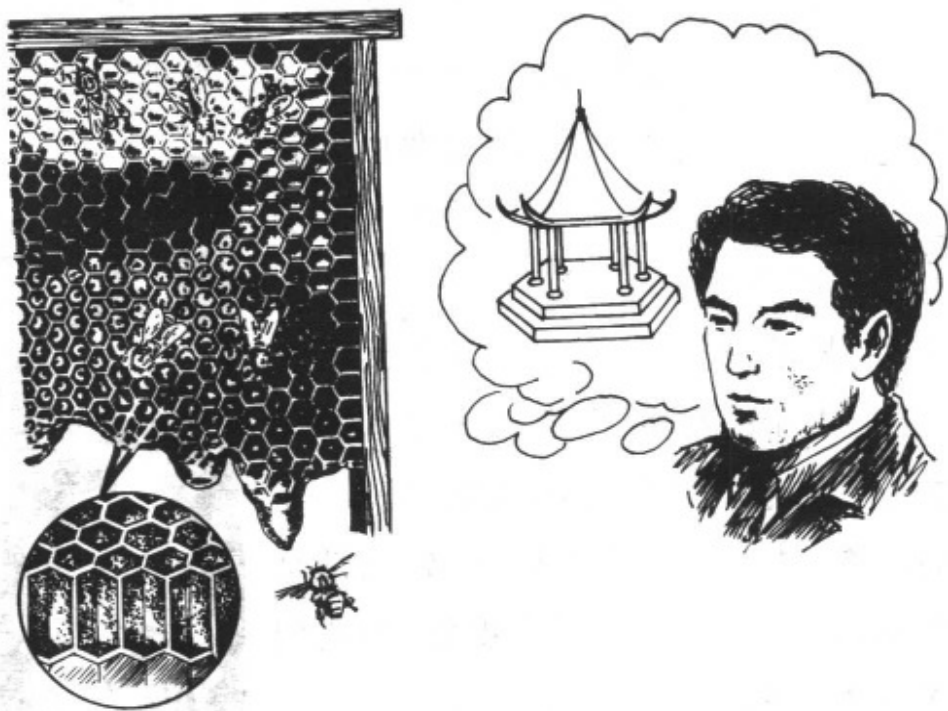


图 3 蜜蜂与建筑师

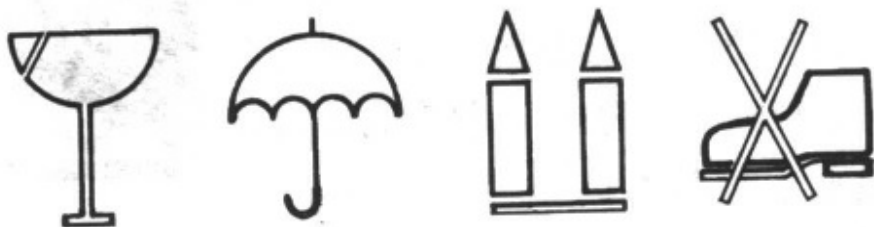


图 4 包装箱上的图案形象

学物品外常贴以图 5 中骷髅的标签,提醒人们谨防误食中毒.日本一家建筑公司还出奇招,把公司取名为“△□○”(三角四角圆)——当人们看到“△”时便联想到屋顶;看到“□”时便联想到门、窗;看到“○”时便联想到人(人的脸形).这真是绝妙的形象思维.\*

\* 这许多形象思维的事例中,实际也包含着抽象的成分.这里,侧重于形象思维方面而言.

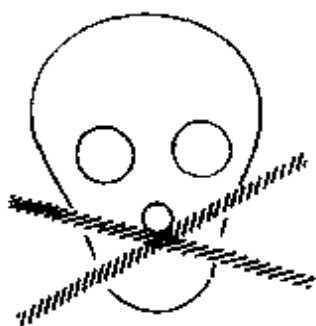


图 5 剧毒物品的标志

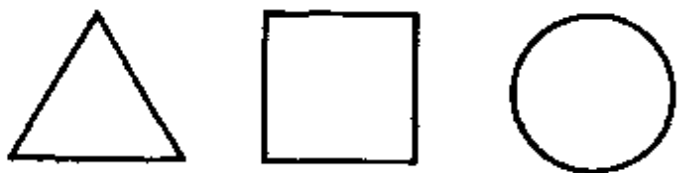


图 6 一个建筑公司的名称

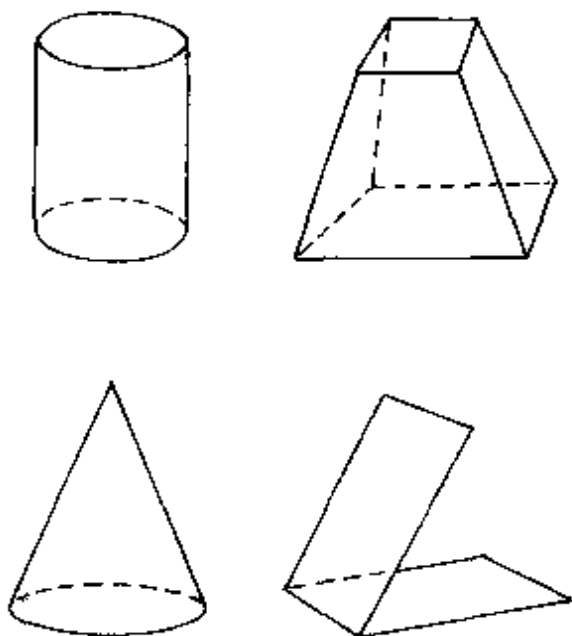


图 7 各种立体图形

即使在最抽象的数学领域,也并没有摒弃形象思维,有时反而还表现得相当活跃.我们能在二维平面上画出(或看出)三维空间各种各样的立体图形,如圆柱、棱台、锥体、二面角等(图 7),正是由于形象思维的作用.

德国著名数学大师希尔伯特(D. Hilbert, 1862—1943), 1932年曾在他的著名著作《直观几何》中写道:“在数学中,像

在任何科学研究中那样,有两种倾向.一种是抽象的倾向,即从所研究的错综复杂的材料中提炼出其内在的逻辑关系,并根据这些关系把这些材料系统地、有条理地处理.另一种是直观的倾向,即更直接地掌握所研究的对象,侧重它们之间的关系的意义,也可以说领会它们的生动的形象.”

## (2) 直观性

形象思维具有生动的直观性,这与它往往是从事物的整体出发(所谓整体显示)分不开的.因此,它最能给人们活生生的、鲜明的感官刺激.譬如,生活中我们能在一大群人中一眼认出自己熟悉的人,能一眼读出书写潦草、字体不一的字,虽然,一个人的脸部或一个字有许多特征,由于形象思维是把人、字当做一个整体来把握的,因此就能根据某些局部得出整体的直观形象.

下面,让我们结合中学物理教学中的几个实验来体会一下.

**奔腾的骏马** 这是一件教具——一匹威武、雄壮的马,它的两只前蹄已经腾空,两只后蹄有力地蹬着地面,正要向前高地跃起(图8).看到这件教具,不由使人联想起我国著名艺术大师徐悲鸿的奔马图.仿佛它就要从我们头顶飞越而过

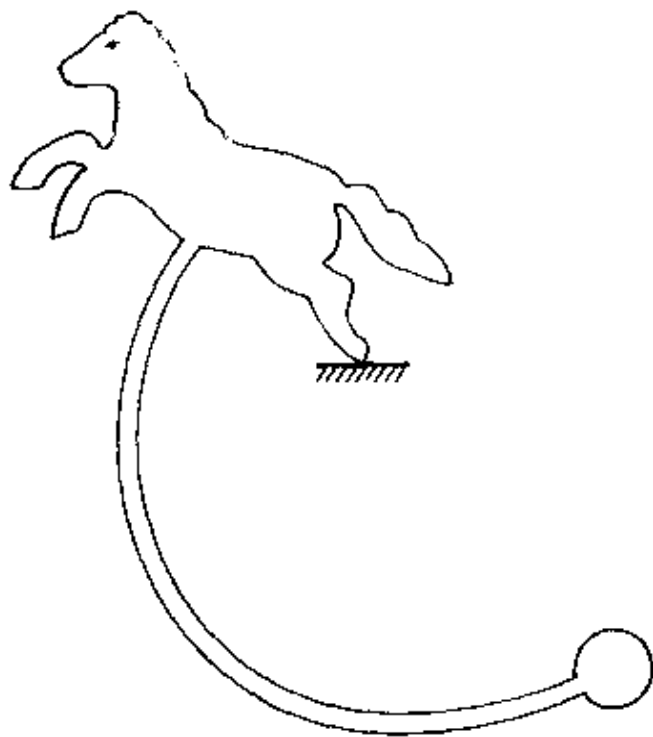


图8 奔马仪器

一样。

然而使人称奇的是,虽然这匹雄赳赳的奔马并未固定在底座上,也不是靠磁力维系着,还在不停地对你鞠躬作揖,可就是不愿意脱离支撑着它的底座,正像希腊神话中的勇士安泰,必须依偎着他的大地母亲一样。

如果你的物理老师演示了“奔马实验”,相信一定会在你的脑海中烙下非常直观生动的形象。

过去,只能观看杂技演员表演飞车走壁——观众围坐在一个圆桶形的舞台周围,演员骑着自行车或驾驶着摩托车先在桶底绕行几圈,然后沿着桶壁倾斜上爬。在高高桶壁倾斜着车身转着圆圈,不少观众都为之捏着一把汗,担心演员会从桶壁摔下去。可是演员毫无惧色,面带笑容,有时还单手或双手脱把,挥舞着手中的红绸带向观众招手呢!

飞车走壁当然并不是普通观众都能去尝试的。如今到游乐场去乘坐一趟升降滑道却几乎是每个游客都能享受飞车走壁惊险快感的事了(图 10)。

在课堂上,物理老师同样可以做一下演示:让一个小球沿着如图 11 所示的斜轨从一定高度滚下,这个小球就可以绕过竖直圆环的最高点而不致下落。

如果刚升入高中时,老师在第一节物理课——绪论课上演示了这个实验,它的直观生动的形象一定会诱发你对物理的极大兴趣。

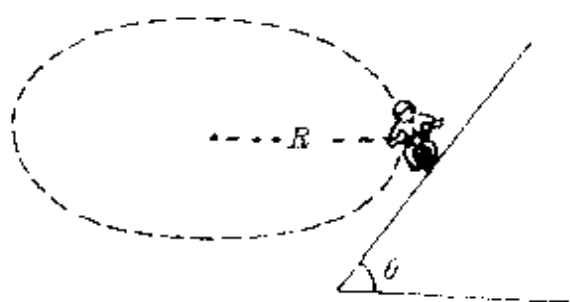


图 9 飞车走壁



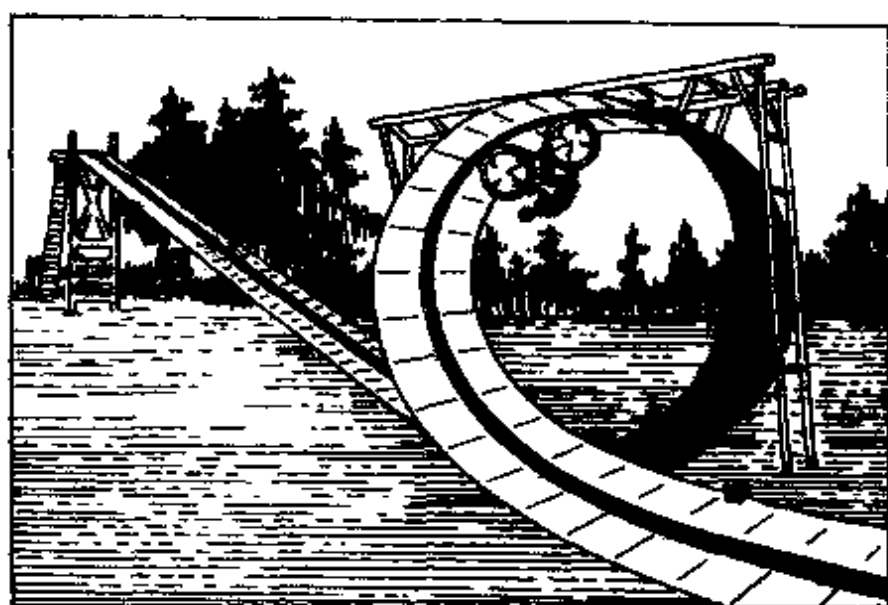


图 10 游乐场中的环形滑道

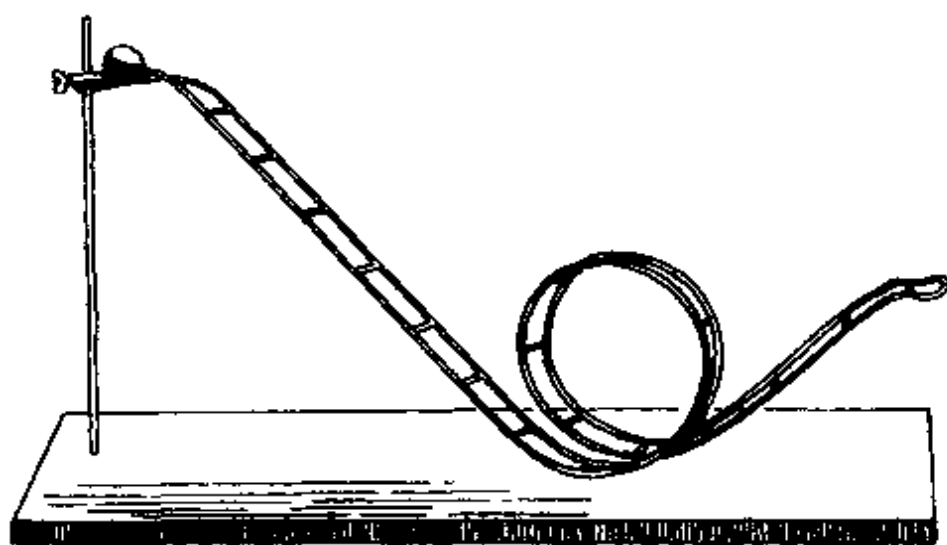


图 11 “离心轨道”实验

奇妙的  
液膜

你在小时候吹过肥皂泡吗？用一根细塑料管或麦秆，把它的一端在肥皂液里浸一下后，对着另一端可以毫不费力地吹出大大小小许多肥皂泡（图 12），在阳光下立即可以欣赏到它们表面美丽的色彩——这是吹肥皂泡时最先看到的现象。

如果你用细铁丝做几个简单的模型,那么还可表现出肥皂膜的另一个奇妙的特性.

①用细铁丝做一个圆环,在两对侧系一根细的棉纱线(或其他柔软的细线),将它在肥皂液里浸一下后提起.用一根烧热的针,小心地戳破棉纱线上方或下方的液膜,立即可看到棉纱线会被另一侧液膜拉成圆弧形(图 13).

②用细铁丝做一个圆环,环上系一根有一个小圆圈的棉纱线,将它在肥皂

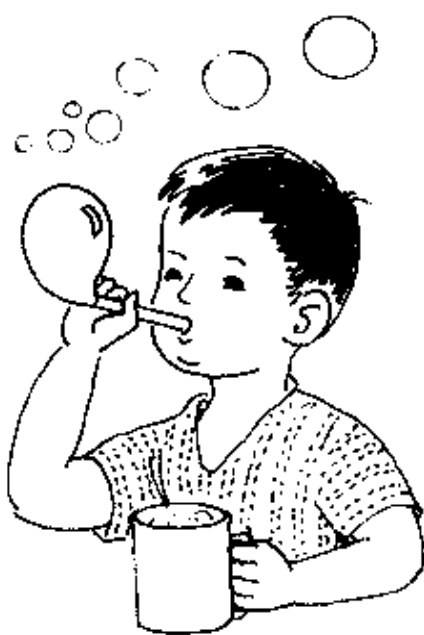


图 12 吹肥皂泡

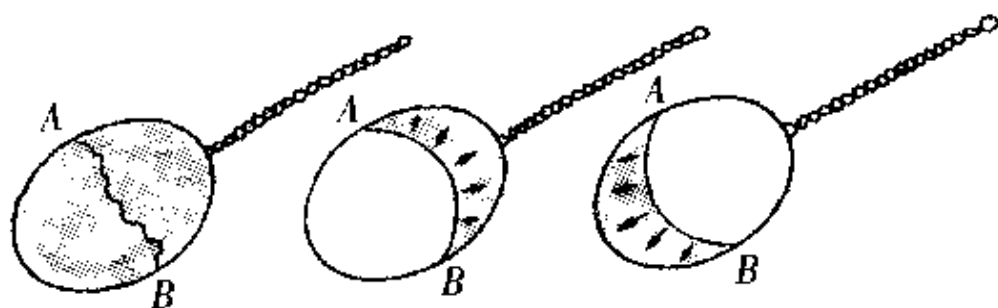


图 13 液膜收缩使棉线成弧形

液里浸一下后提起.用一根烧热的针,小心地戳破棉纱线小圆圈中的那部分液膜,立即可看到原来弯曲的附着在液膜上的小圆圈会被一股神奇的力量从四面向外拉引,形成一个圆圈(图 14).

③用细铁丝做成一个正方体、三棱锥或其他几何形体(图 15),当把它们从肥皂液里提起时,你也许意想不到,这些无底的框架并没有“竹篮打水一场空”,在它们四周形成的液膜会自行收缩,最后形成一个非常规则、奇妙的图形(图 16).

这些简单实验中的直观形象,自然地会使人们建立起液膜有使它的表面积尽量收缩的认识.

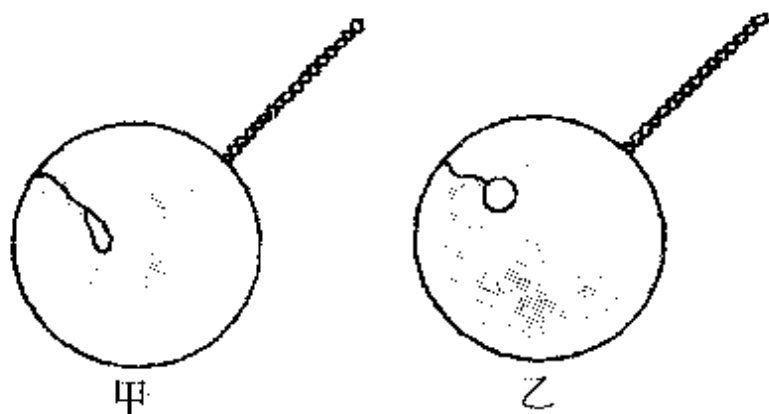


图 14 液膜收缩使棉线成圆形

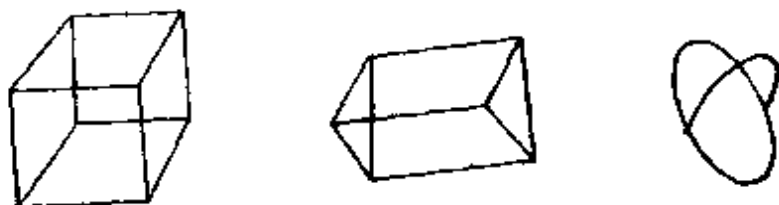


图 15 不同形状的细铁丝架

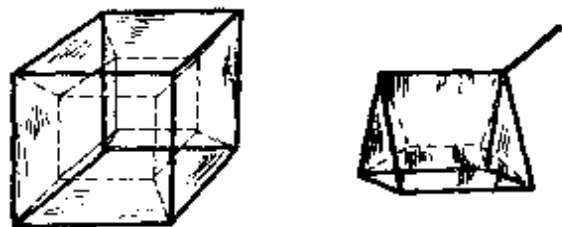


图 16 液膜收缩后形成的图形

## 2. 形象思维的基础

据说,法国著名的短篇小说家莫泊桑(G. Maupassant, 1850—1893)年轻时曾向福楼拜(G. Flaubert, 1821—1880)请教过写作

的方法,福楼拜没有直接回答,而是指着商店对他说:“请你给我描绘一下这位坐在商店门口的人,他的姿态、他整个的身体外貌;要用画家那样的手腕传达他全部的精神本质,使我不至于把他和别人混同起来。”福楼拜的话道出了写作技巧的真谛。一部文学作品,要使读者如身临其境般地产生真实的感觉,建立起具体可亲的形象,很大程度上决定于作者细致入微观察基础上的描写。

绘画更是如此!欣赏徐悲鸿的奔马图,虽然其背景一片空白,

不着点缀,我们依然可感到它犹如正奔驰在辽阔的草原上一样.究其原因,是因为徐悲鸿在仔细观察的基础上,画出了骏马奔跑的神韵,才使读者建立了栩栩如生的形象(图 17).



图 17 徐悲鸿的奔马图

文学、艺术是这样,自然科学也同样如此,因为形象思维是以表象为思维材料的,它的主要思维手段是图形(包括实物)、音响、典型材料等具体可感的事物.它们都强烈地依赖着人的感官,尤其是直接的观察.美国著名物理学家、1979 年度诺贝尔物理学奖获得者格拉肖(S. L. Glashow, 1933— )说过:

“假如你从未看过大象,你能凭空想象得出这种奇形怪状的东西吗?”

因此,只有丰富的表象积累,才能为形象思维、想象力提供广阔的天地.而观察和实验正是积累表象的浩淼的源泉,从这个意义上也可以说,观察和实验是产生形象思维的直感基础.

在物理学史上,有许多事实可以说明这一点.

一杯水放在平静的桌面上,你可曾想过水中的分子(水分子)是乖乖地各就各位不动呢?还是不甘寂寞地东窜西跑?对于这样一个如今的中学生已经取得共识的问题,19 世纪中许多科学家还不是十分清楚的.

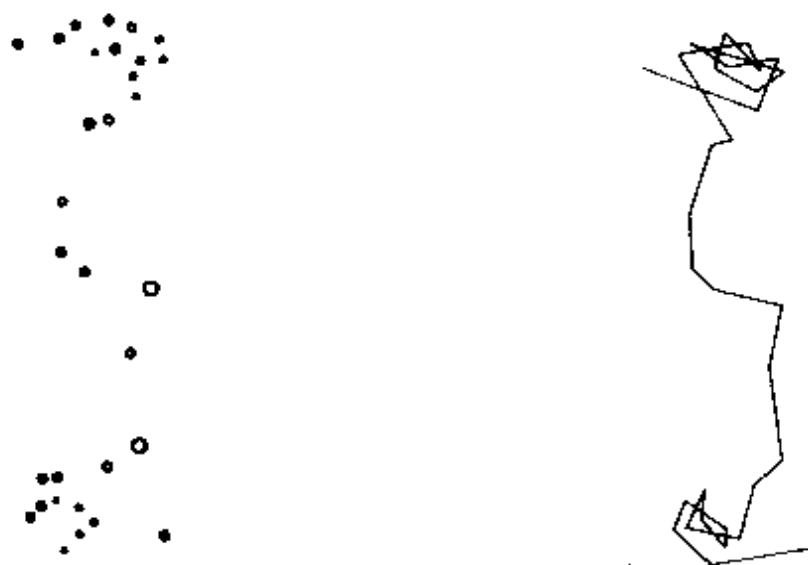
1827 年,英国植物学家 R·布朗(R. Brown, 1773—1858)用显微镜观察悬浮在水中的花粉微粒时,发现这些花粉微粒在不停地做着无规则的运动.布朗说道:“当我观察这些浸在水中的粒子时,我发现很多都在不停地运动着,……在经过多次重复的观察以后,我

确信这些运动既不是由于液体的流动也不是由于液体的逐渐蒸发所引起的,而是属于粒子本身的运动。”

微粒的这种永不停息的无规则运动,就被称为“布朗运动”。

当时曾有人认为这是一种生物现象或与布朗所取用的某种特殊的植物有关,但布朗用无机物、包括研细的石粉做试验,他发现只要微粒足够小——布朗所用的花粉粒子或其他粒子的最大尺寸,其长度从 $\frac{1}{4000}$ 英寸~ $\frac{1}{5000}$ 英寸——它们悬浮在水中时都会表现这样的运动。

这种运动确实很神秘,似乎和过去的全部经验都矛盾。如果我们每隔30秒钟对悬浮着的一个粒子的位置进行一次观察,就会看出它的路径奇怪的形状(图18)。这种情况极像一个醉鬼走路一样:



(a)从许多布朗粒子中认定一个粒子进行观察所得到的连续位置

(b)从这些连续位置平均出来画成的路径

图 18 布朗运动

先朝一个方向走上几步,然后换个方向再走上几步,曲曲折折,不

断随意地改变着方向(图 19),更叫人不可思议的是,这种运动看

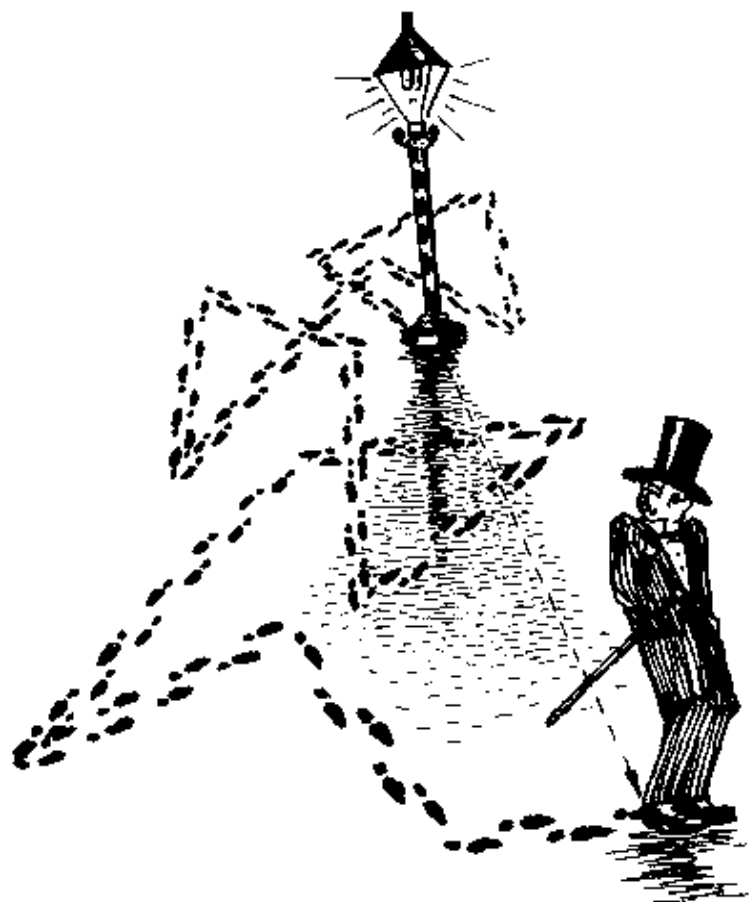


图 19 醉鬼走路

来像是永无止境.通常把一个摆动着的钟摆放在水中,如不加外力推动,它很快就会静止.因此,布朗粒子所显示出来的这样一种永不减弱的运动,一时难倒了物理学家.直到 50 年后,才有人指出这种粒子的运动是由于受到周围水分子的不均衡的冲击造成的.

1905 年,爱因斯坦和斯莫路霍夫斯基(M. Smoluchowski, 奥地利, 1872—1917)发表了他们对布朗运动的理论研究结果.他们证明:布朗粒子的运动,是由于液体分子从四面八方对它们的撞击引起的.由于布朗粒子非常小(线度约为  $10^{-4}$  厘米),使得来自不同方向的碰撞一般说无法完全抵消,这种碰撞的不均匀性使得布朗粒子的运动无规则.粒子越小,布朗运动越明显.

爱因斯坦利用统计方法分析了布朗粒子在  $\Delta t$  时间内的位移, 得出其均方距离与碰撞次数成正比的结论, 因此也与时间  $\Delta t$  成正比. 爱因斯坦的论文从理论上完全弄清了布朗运动产生的原因, 并且还推出了测定分子大小的新方法. 3年后, 由法国物理学家佩兰(J. B. Perrin, 1870—1942)做了实验验证.

这样, 由布朗从实验中发现的微粒的运动就可给我们描绘出一幅液体分子运动的形象化的图景: 表面平静如镜的一杯水, 实际上内部的水分子不停地做着无规则的运动. 通常情况下, 在液体中的每个布朗粒子 1 秒内竟受到液体分子  $10^{21}$  次的碰撞. 可见, 液体分子的运动多么激烈和混乱. 布朗粒子的运动正是周围液体分子无规则运动的反映.

对布朗运动的研究, 最终证实了分子和原子的真实性, 奠定了分子运动论的基础.

质子的  
来源

1919年, 英国物理学家卢瑟福(E. Rutherford, 1871—1937)用  $\alpha$  粒子轰击氮核, 首次实现了原子核的人工转变, 并发现了质子.

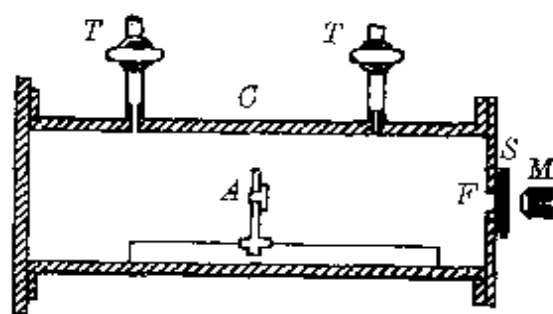


图 20 卢瑟福实验装置

卢瑟福的实验装置如图 20 所示. 窗口  $F$  处贴上铝箔, 其厚度恰能吸收从放射源  $A$  处发出的  $\alpha$  粒子. 实验中发现, 当从阀门  $T$  通入氮气后, 通过显微镜  $M$  可从荧光屏  $S$  ( $ZnS$  屏) 上看到闪光; 当从阀门  $T$  通入氧气或二氧化碳时, 则

看不到闪光.

上述现象表明: 闪光一定是由于  $\alpha$  粒子击中氮核后产生的新粒子穿过铝箔所引起的. 后来通过对这种新粒子质量、电量等特性

的研究,确定为氢原子核,被称为质子( ${}^1_1\text{H}$ )。

接下来的问题是,这个质子究竟是如何产生的?这种瞬息万变的微观过程仅靠肉眼当然是无法观察到的,只有借助实验。英国物理学家布拉凯特又在充氮的云室里做了这个实验,并作了设想:如果质子是被  $\alpha$  粒子从氮核中撞出来的,云室里会出现四条径迹:入射  $\alpha$  粒子的径迹,碰撞后  $\alpha$  粒子的径迹,质子  $p$  的径迹,抛出质子后的核的反冲径迹[图21(a)]。如果  $\alpha$  粒子被氮核“俘获”,先形成一个复核,然后发生衰变时放出质子,云室里就只能看到三条径迹:入射  $\alpha$  粒子的径迹,质子  $p$  的径迹,核的反冲径迹[图21(b)]。

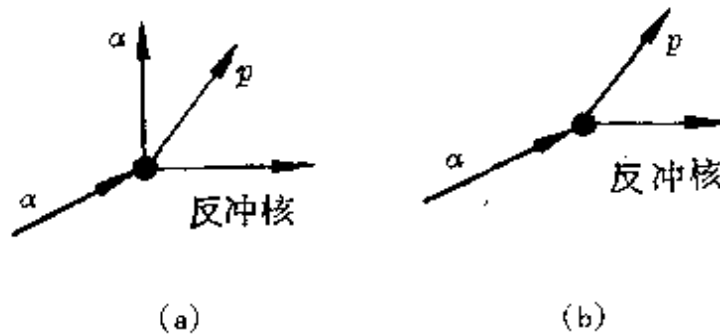


图 21 质子来源的分析

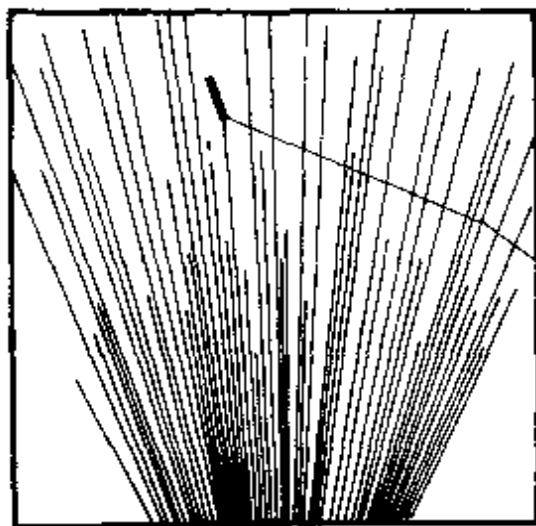


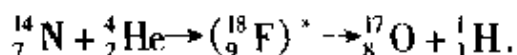
图 22 分叉的径迹

布拉凯特从云室的 2 万多张照片、40 多万条  $\alpha$  粒子径迹中,终于发现有 8 条产生了分叉(图 22)。这个现象,证明了布拉凯特的第二种设想。

由此,我们可以对  $\alpha$  粒子轰击核的过程建立一个具体的形象:来自放射源的  $\alpha$  粒子鲁莽地撞进氮核,形成一个新的原子核,然后这个新核再发生衰变,



放出质子,核反应也就可根据这个形象得到:



在云室照片中,分叉后细而长的是质子的径迹;粗而短的正是反冲氧核的径迹.

### 3. 形象思维的科学功能

形象思维是利用直观形象在解决问题时的一种思维过程,虽然科学研究从总体上说是一门高度抽象的“艺术”,但同样离不开形象思维,只是在不同的创造领域(艺术、自然科学、技术等)中,因思维的对象各异,形象思维的地位和作用方式也会有所不同.

自然科学中的形象思维,主要指的是在大量观察、实验基础上,在创造激情推动下,通过形象类比、联想,把记忆中能反映事物本质特征的那些映象(有时甚至毫无联系)加以选择、提炼,重新组合成新的映象的过程.

形象思维在科学认识中的主要作用,可概括为这样几方面:

#### (1) 作为新概念的 形象基础

任何一门科学的产生和发展的关键,都在于有新的概念的提出.J.J.汤姆生(J.J. Thomson, 英国, 1856—1940)在祝贺卢瑟福荣获诺贝尔奖的宴会上说:“在能够给科学做出的一切服务中,引进新的观念是最伟大的.一个新的观念不仅使很多人发生兴趣,而且它会启迪大量的新的研究.”

物理学上许多新概念(或观念)的提出,往往离不开形象思维.因为已有的科学知识不会为新概念提供现成的逻辑途径,靠归纳和演绎又都摆脱不了原有科学的规范,对新概念的诞生真正有效的,是观察和实验基础上的形象类比、联想与想象.例如:

## 古代 原子论

关于物质的组成,中国古代提出过五行说,西方提出过元素论,后来有了进一步发展,西方最早提出原子理论的是古希腊哲学家留基伯(Leucippus,约前500—约前440)和他的学生德谟克利特(Democritus of Abdera,前460—前370)。他们的原子理论的要点是:

①宇宙间一切物质都是由极小的、坚硬不能穿透、坚固不能压缩的不可再分的终极粒子——原子组成。原子是永恒的,不可创造又不可毁灭。

②原子在虚空中永恒运动着。

③各种物质特性的差异都来源于原子的形状、排列和位置的差别。

古原子论的提出,当然是缺乏实验基础的,但它作为哲学家思辨的产物,却有着广泛的形象基础。

德谟克利特等人看到:屋檐滴水的时间长了就会“水滴石穿”;手上的戒指带久后会变薄;铁犁耕地多了就会磨损;博物馆中铜像的手被参观者握的次数多了就会变小;物体蒸发时发出的气味会扩散到很远……这些损耗过程或气味,人们虽然看不见、摸不着,但可以想象它们一定是一点点、一点点、极小极小地耗掉或挥发出去的。因此,可以想象石头、戒指、铁犁、铜像等物体都是由许多极小的粒子组成的,由此可推知自然界的一切物质都是由极小的粒子组成的,这种粒子,他们称为原子(Atom)。

德谟克利特还从太阳光由狭缝穿入室内时,许多小粒子活跃在光线的通路里做着不停的运动作出想象:构成物质的微粒不是静止不动而是运动的。

德谟克利特的原子论后来经希腊哲学家伊壁鸠鲁(Epicurus of Samos,约前342—约前270)和罗马诗人卢克莱修(Lucretius,前

95—前 52)的发展,在自然科学的发展史上起过十分重要的影响。

### 力线与场的概念

磁力线(现称为磁感线)概念的提出,是法拉第(M. Faraday, 英国, 1791—1867)的一大创举。他仔细观察了放置在各种形状的铁磁附近的铁屑所形成的图案,并与磁铁周围的许多小磁针的指向相比较。他想象,即使没有铁屑,磁场中也应该存在这种可以表示磁针指向的线,由此他提出了磁力线的概念,并在电磁感应现象中用“切割磁力线产生电流”对电磁感应定律作出了解释。

电力线(现称为电场线)概念的提出则不同。法拉第通过对电磁感应实验现象的思考,意识到磁力线的传播是需要时间的。或者说,从载流导线向四周散发出来的力线只能以有限的速度向空间传播。因此在 1832 年 3 月 12 日写给英国皇家学会的一封密封信中,\* 法拉第提出了关于电和磁的波动传播性和非瞬时性的观点。他还假设静电感应也像磁力线一样是一个渐进的传播过程。两星期后,他通过电与磁的形象类比,提出了电力线的概念,并设想电力也像磁力一样是通过力线传播的。

从 1845 年开始,法拉第进行的一系列磁感应现象的研究,逐步证实了力线的实体性质,\*\* 他在 1855 年发表的《论磁哲学的一些观点》中详细论述了力线实体性的四个标志:力线的分布可以被物质所改变;力线可以独立于物体而存在;力线具有传递力的能力;力线的传播需经历时间过程。同时,也最终确立了他的物理场思想。他把“热力线”、“光线”、“重力线”、“电力线”、“磁力线”都列

\* 法拉第的这封信在皇家学会的档案馆里躺了 100 多年,直到 1938 年才为后人重新发现。

\*\* 这些实验如 1845 年法拉第发现的“磁致旋光效应”;同年,他对“抗磁体”的发现;1848 年关于磁晶体极性的研究等。

入空间力场的范围,指出力或场是独立于物体的另一种物质形态,物体的运动都是场作用的结果。

法拉第所提出的力线概念和场的思想,就是在实验基础上,通过形象类比、想象,创造性地提出来的,力线和场的概念对物理学的发展起着深远的影响。

## (2) 提供抽象问题的形象诠释

自然科学离不开理论模型和科学假设,它们都是在观察和实验基础上经过思维加工的一种抽象思维的结晶。不过,在它们的形成过程中也往往把形象思维作为抽象思维的基础,起着辅助和支援抽象思维的作用,从而可使抽象的理论模型和科学假设更为具体化,或可得到明确的形象化的诠释。譬如,日本物理学家汤川秀树(Hidiki Yukawa, 1907—1981)为了说明他的介子理论,建立了一个直观的形象——恶狗抢骨头。他把核子之间的“交换力”形象化地想象有两条恶狗在抢一根肉骨头,彼此咬住一口不放,都想独占,这根骨头不断地从一条狗的嘴里传到另一条狗的嘴里,拉来拉去,结果两条狗扭在一起分不开了,核子之间吸力的产生也是由于它们各自为了占有一种新的美味的粒子而进行着类似的争夺。\*

在科学史上,许多理论的提出常以直观的形象模型作铺垫,这样,可使思维力量得到更好的发挥,有利于创造性思维活动的开展。

发现一个  
小太阳

卢瑟福提出的原子有核模型,同样没有脱离形象思维。

1906年,卢瑟福在实验中发现 $\alpha$ 射线通过铝箔

\* 关于汤川的介子理论,请读者参阅本丛书《类比》一册。

或云母时发生小角散射的现象后,认识到由散射和引起原子内电场反应有可能探索原子内部结构,便指示他的助手盖革(H. Geiger, 德国, 1882—1947)和马斯顿(E. Marsden, 英国, 1889—1945)开展大角度散射的实验. 1909年,盖革和马斯顿把镭 Ra 放射的  $\alpha$  粒子经金箔反射到硫化锌荧光屏上,通过显微镜数出被反射的  $\alpha$  粒子数. 他们发现,当采用  $1\text{cm}^2$  的金箔做反射物时,约有  $\frac{1}{8000}$  的人射  $\alpha$  粒子被反射,平均散射角为  $90^\circ$ ,这使卢瑟福大为惊讶.

后来,他根据牛顿力学,对  $\alpha$  粒子射向中心电荷时被散射的轨迹作了计算,发现它们沿双曲线轨道的运动(图 23),就像太阳系中的行星或彗星一样. 卢瑟福曾兴致勃勃地说:“我发现了一个

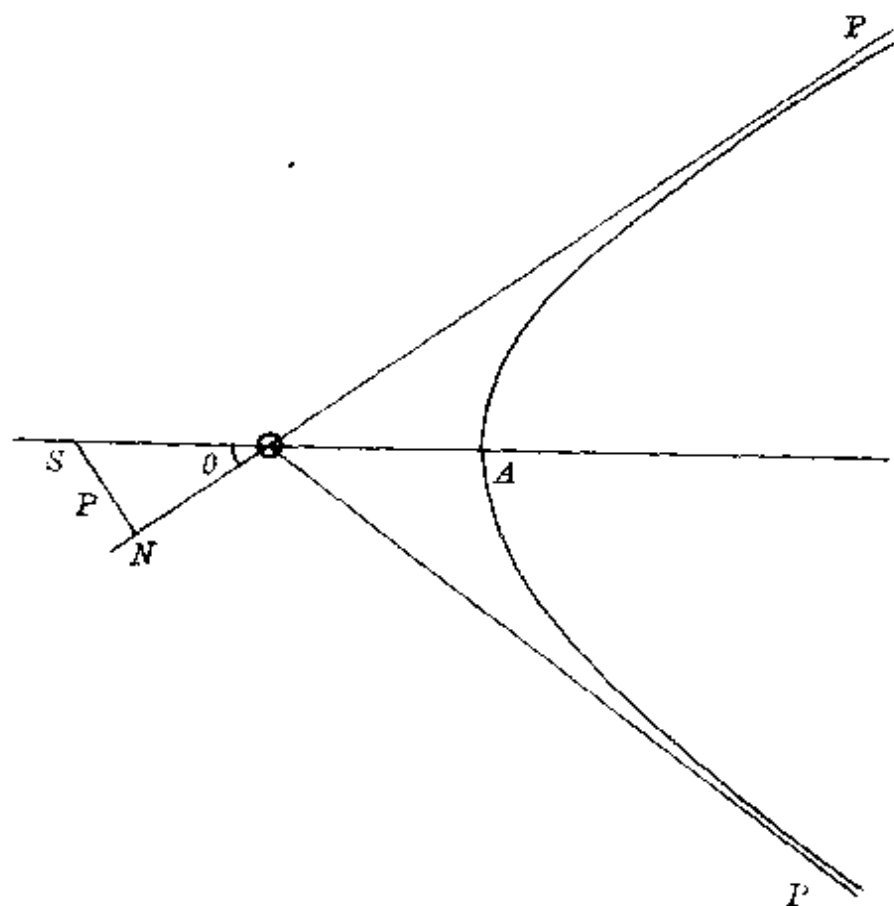


图 23  $\alpha$  粒子被金原子大角散射径迹

小太阳。”显然，太阳系模型已为他心中的原子模型提供了形象。

值得一提的是，起初卢瑟福还认为原子核带负电，因为用牛顿万有引力定律做的计算结果表明，中心电荷是正还是负，对得出 $\alpha$ 粒子大角散射的双曲线径迹并无影响。他在1911年3月第一次公开宣读原子有核结构的论文中写道：“大角散射的主要结果与中心电荷是正还是负无关，尚不可能肯定地解决这个符号问题。”他选择原子核带负电，正是从牛顿万有引力定律出发、类比于太阳系模型考虑的结果。

后来，只是出于更好地说明中心电荷与外围电子的电量平衡问题，才“为了方便起见，将假定符号是正的”（图24）。

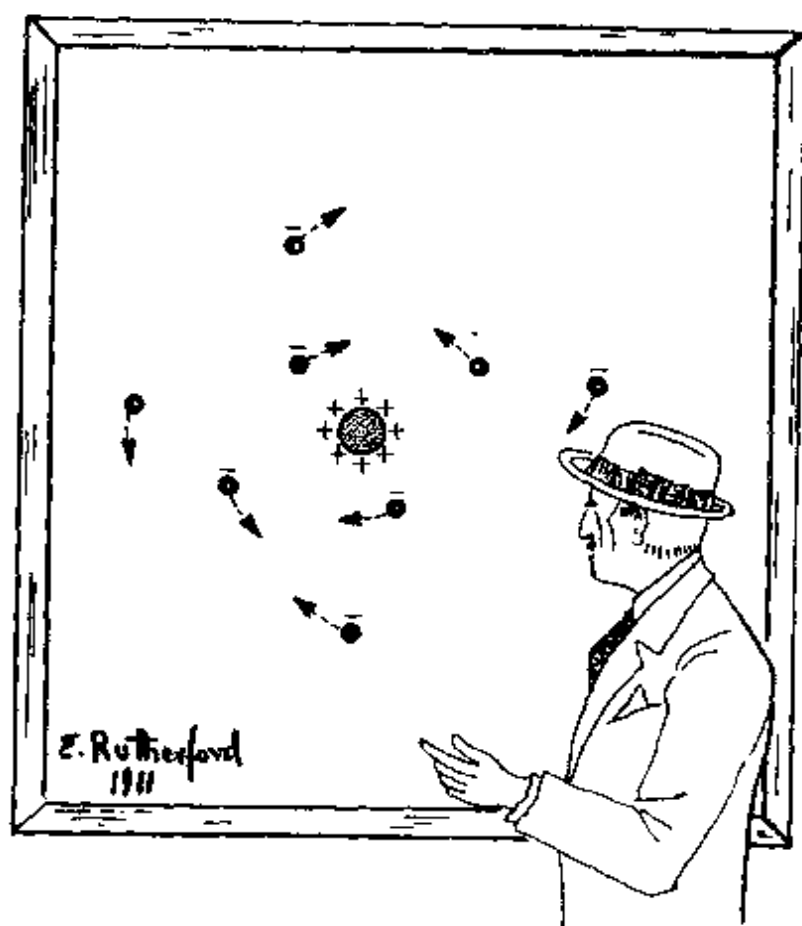


图 24 卢瑟福的原子模型

为了解决中心核电荷的正负问题,卢瑟福提出可以采用按这两种假设找出 $\beta$ 粒子被吸收的规律的差异去确定.当 $\beta$ 粒子从中心电荷释放后,如果它是减速效应,意味着中心电荷是正的.次年(1912年),由盖革和马斯顿所做的实验得到了验证.于是,才完善了卢瑟福的有核模型.

从这个简短的回顾中可以看出,卢瑟福提出的原子有核模型,不仅有 $\alpha$ 粒子大角散射的坚实实验基础,太阳系模型也确实起了铺垫的形象化的台阶作用,从而使卢瑟福登上“近代原子物理学的真正奠基者”的宝座.\*

### 太阳系的起源

哥白尼(W. Koppemigk, 波兰, 1473—1543)和开普勒(J. Kepler, 德国, 1571—1630)对太阳系中各天体的运动作了安排.牛顿(I. Newton, 英国, 1642—1727)则指出了它们绕太阳运动的动力学原因.可是,太阳系究竟是怎样形成的呢?这是一直萦绕在科学家们头脑中的一个谜.在没有资料记载和无法实验的情况下,科学家只能根据想象中的情景作出假设.

1745年,著名的法国博物学家布本(G. L. L. Buffon, 1707—1788)首先向人们描绘了这样一幅生动形象的图景:一颗拖着明亮长尾巴的“司命彗星”从当时孤零零的太阳的边缘上擦过,从它巨大的形体上撞下一些小团,它们在冲击力的作用下进入空间,并开始自转起来,即形成了行星(图25).现在我们知道,彗星的质量比太阳小多少亿倍,根本不可能从太阳中撞出这么多的物质来形成行星.

1755年,德国哲学家康德(I. Kant, 1724—1804)提出了太阳系起源的星云说.康德设想,早期的太阳是一个较冷的巨大的气体

\* 这是海森伯(W. K. Heisenberg, 德国, 1901—1976)对卢瑟福的评价.

团,它绕自己的轴心缓慢转动.由于不断向周围空间辐射,气团逐步冷却,并使它收缩,旋转的速度也加快.于是,由于旋转产生的离心力也随之增大,使得处于原始状态的太阳不断变扁,最后沿着不断扩张的赤道面喷射出一系列气体环,后来因某种原因气体环断裂,并集中成各个行星,在不同距离上绕太阳运转(图 26).

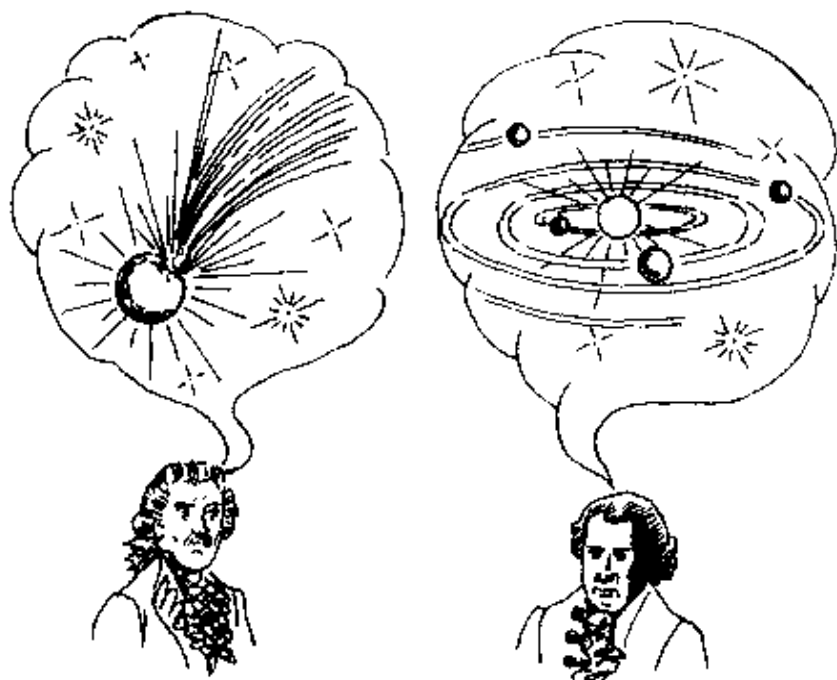


图 25 布本的碰撞说

图 26 康德的气体环绕

康德假设中的气团收缩、角速度增大是符合角动量守恒定律的,\* 因为收缩后气团各部分到旋转中心距离缩短,就像一个花样滑冰的运动员在旋转时突然收拢双臂,转速便会加快一样(图 27)。

物质团旋转时能形成圆环,后来也由普拉多(Plateau)做过验证实验:他使一大滴油悬浮在与油的密度相同的另一种液体里,然后迅速旋转容器.当转速达到某个限值时,油滴外围确会形成油

\* 关于角动量守恒定律,请读者参阅本丛书《守恒》一册。





图 27 演员突然收拢双臂,转速加快

环。

不过,按康德的假设推论,中心的太阳的转速应该很快.这却与实际观察相悖,太阳大约每 27 天才转一周。

40 余年后,法国著名数学家、天体力学家拉普拉斯(P. S. Laplace, 1749—1827)发展了康德的星云说.拉普拉斯认为:太阳系是由炽热气体的星云形成的.在冷却收缩过程中自转加快,星云变得扁平起来.在星云外缘,当惯性离心力超过引力时便分离出一个个圆环.圆环由于物质分布不均匀而进一步收缩,成为行星.中心部分就形成太阳(图 28)。

按照拉普拉斯假设,整个星云以相同的角速度旋转,因此各个圆环以至后来形成的行星都按相同的方向公转.环的外侧比内侧的线速度大,内外速度差使形成的行星自转,且自转和公转方向相同。

康德—拉普拉斯星云说,虽然都免不了存在着某些困难,但他们用自然界本身演变的规律性说明行星运动的规律,对 18 世纪的上帝观无疑是一次有力的打击.恩格斯高度评价了星云说的作用,

认为是“从哥白尼以来天文学取得的最大进步”，是在 18 世纪僵化的自然观上“打开了第一个缺口”。

在星云说后，太阳系起源和演化的问题吸引了许多天文学家，相继出现了多种学说（假设），几乎每一种学说，都有一个生动直观的形象作为诠释，各种学说展开了激烈的争论，太阳系起源之谜也将在这种争论中真相大白。

### (3) 触发科学发明和发现的灵感

文学家、艺术家常因触景生情、灵感勃发，创作出万世流芳的作品。科学家不仅具有缜密的思维，也同样具有满腔激情，在直感形象的触发下，往往能爆发出发明、发现的灵感。普朗克（M. Planck，德国，1858—1947）说过这样的话：“从表面看来，自然界的形象千差万别，但是在不相干的领域常常体现类似的简单原理。”这正是科学家以其特有的敏感，通过这种形象推理，取得辉煌的创造性成果的一个重要原因。

植物的根与  
钢筋混凝土

也许你很难想到，在现代建筑工程中几乎不可缺少的、作为重要基础的钢筋混凝土，竟然不是搞建筑的工程师、技术员或工人师傅发明的，它是法国园艺家约瑟夫·莫尼哀发明的。

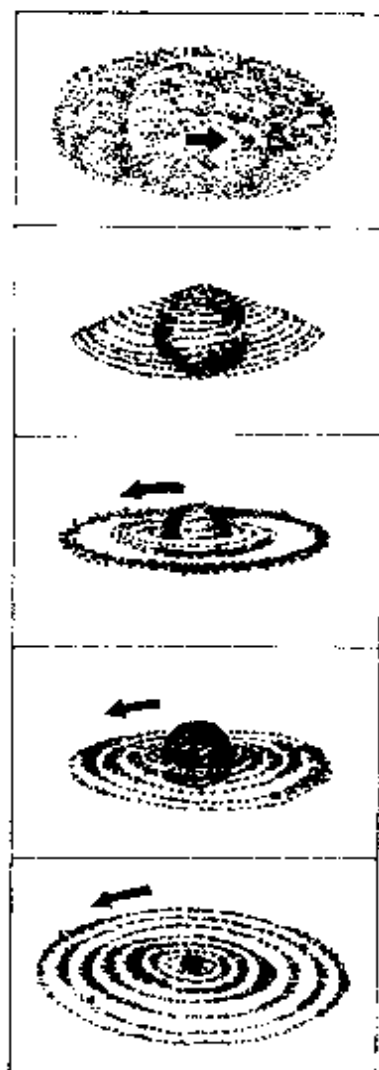


图 28 拉普拉斯星云说，从上到下，星云冷却收缩，形状变扁，分离出圆环形成行星

一天,莫尼哀去园中培土,发现植物的根系在松软的土壤中盘根错节,相互交叉成网状结构(图 29),土壤很不易松散,植物的根系也很难从土壤中拔出,这个鲜明的直观形象给了莫尼哀很大的启发:既然植物根系的网状结构可使土壤不易松散,在建造花坛时,在水泥中预先加入一些网状结构的铁丝,也应该可以使花坛加固。



图 29 植物根系的网状结构

于是,莫尼哀就动手实验,他将铁丝模仿植物根系的网状结构那样扎起来,然后再用水泥、砂石把铁丝包裹起来,制成了不易破碎的花坛,后来,他又把这个方法进一步改进并推广到建筑工程行业,钢筋混凝土就这样问世了。

### 山中云雾与 威耳逊雾室

放射性现象发现后,怎样能看到并拍摄到单个粒子的“径迹”就成为人们十分关注的一个问题,英国物理学家威耳逊(C. T. R. Wilson, 1869—1959)从对山中云雾的观察中通过形象推理在 1911 年发明的云室,使人们首先得以如愿以偿。

威耳逊曾自述过发明云室的思维过程,他说:“1894 年 9 月,我在苏格兰群山的最高峰尼维斯峰的观察站度过了几个星期,太阳照射山顶上的云雾时呈现的奇妙光学现象,特别是太阳周围的彩环(日晕)以及山顶和人在云雾上的影子周围呈现的彩环(光轮),使我发生了极大的兴趣,我想在实验室里模拟这些现象,1895 年初,我为此目的做了一些实验。”

在实验中,他发现原来存在于空气中的看不见的水蒸气,在一定温度下达到饱和状态,如果突然增大贮存这饱和蒸气的容积,使

之温度骤降,那么原来已经饱和的水蒸气就会处于过饱和状态.这时如果空气中有尘埃或离子作为凝结核,水蒸气就能够以它们为中心迅速凝结起来,形成微小的液滴.

他还发现,“凝结核的数目是有限的,而且总是会重新产生”,“凝结核的大小与分子的大小差不多”.这两个事实启发他,“是否可以用一种方法使特殊情况下的某些分子或原子成为可见的和可数的呢?”同时,他还想到这些凝聚现象的产生原因,是带电的原子或离子形成的吗?正巧到了 1895 年秋又传来了伦琴(W. K. Röntgen, 德国, 1845—1923)的伟大发现和汤姆生(J. J. Thomson, 英国, 1856—1940)研究了空气受 X 射线照射后会产生导电性的消息,促使威耳逊想到 X 射线能使空气导电和水蒸气的凝聚现象可能是带电离子的形成的.于是他就用 X 射线去照射云室,果然发现产生了大量的凝结核.

这个发现使他极为高兴,立即写报告给英国皇家学会.以后,他又根据这一原理,将铀射线、紫外线、 $\alpha$  射线、 $\beta$  射线对准云室,

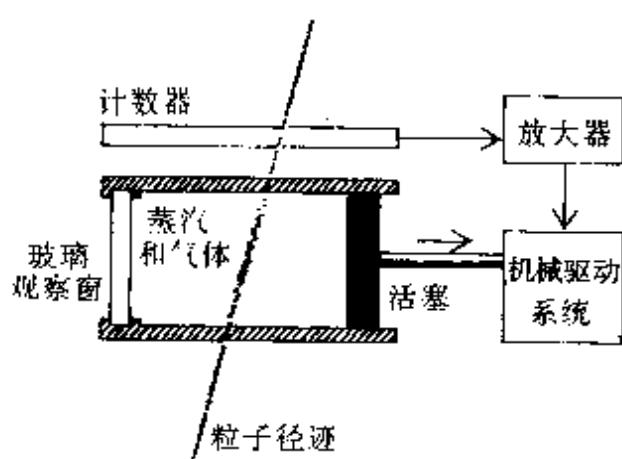


图 30 威耳逊云室

观察了不同射线使云室中的蒸气电离凝聚产生的各种不同的轨迹,并拍摄了各种射线因性质、能量不同而产生各种不同轨迹的对照图,为核物理研究中显示粒子的轨迹提供了方便的仪器.后人称为威耳逊云室.

图 30 是威耳逊云室示意图.粒子在通过云室前或在刚通过云室后,要通过计数器,使计数器产生电脉冲,从而指令机械驱动装置使活塞移动,云室内气体和蒸气迅速膨胀,使蒸气变得过

饱和.随后,蒸气开始形成液滴,液滴围绕带电粒子径迹上的离子凝聚,从而形成蒸气液滴的清晰尾迹.

带电粒子穿过威耳逊云室时形成尾迹的情况,与晴朗高空中一架喷气式飞机飞过后所留下的云状径迹(俗称“拉烟”)的道理一样.从飞机尾部喷出的高速气体中含有大量温度很高的水蒸气,原来处于不饱和状态,当气体迅速膨胀而冷却时,水蒸气就变为过饱和.由于高温气流中存在有大量的离子,它们可以作为凝结中心,促使水滴迅速凝成而显示出喷气机的飞行轨迹来(图 31).



图 31 喷气式飞机“拉烟”

威耳逊云室的发明,给观察和探索微观粒子的运动提供了有力的手段.正电子的发现,就是安德森(C. D. Anderson, 美国, 1905— )借助云室获得成功的辉煌事例.卢瑟福(E. Rutherford, 英国, 1871—1937)评价威耳逊云室是“科学史上最新最精彩的仪器”.威耳逊也因之获得 1927 年度诺贝尔物理学奖.

综上所述,形象思维在科学技术中的功能是不可抹杀的.今后,随着右脑的开发,形象思维在人类认识世界的活动中会愈来愈多地发挥它的作用.钱学森主张把形象思维作为研究思维科学的突破口,并高瞻远瞩地说:“我们一旦掌握形象思维学,会不会用它来掀起又一次新的技术革命呢?这是值得玩味的设想.”

## 二、深刻的抽象思维

一切科学的抽象都更深刻、  
更正确、更完全地反映着自然

——列宁

抽象思维又称逻辑思维,它是指用反映事物共同属性和本质属性的概念为思维基本形式的一种思维方式。

抽象思维既不像形象思维那样,始终离不开形象;也不像直觉思维那样,有灵感的突然降临。它是在人们充分的主观意念下,在概念的基础上进行严密的推理和判断,离开了概念,就不能进行抽象思维。

在认识事物的进程中,只有运用抽象思维才能深入了解事物的本质属性,它是思维发展的必由之路。列宁曾说过:“……当思维从具体的东西上升到抽象的东西时,它不是离开真理,而是接近真理,……那一切科学的(正确的、郑重的、不是荒唐的)抽象,都更深刻、更正确、更完全地反映着自然。”

### 1. 抽象思维的特征

——概括性、深刻性

抽象思维最基本的特征是它的概括性和深刻性。

## (1) 概括性

脱离了众多的具体事物,摒弃了它们的直观性,仅从本质属性和共同属性上去反映客观事物,这就是概括性.概念以及由概念为基础构筑的规律(定律、公式、法则等),都是科学的抽象、概括的结果.

譬如,我们从具体的一个墨水点、一根绳子、一把直尺、一块三角板、一块长方形台面、一个足球、一个木箱等几何形体中,可以抽象概括出点、线、面、体的概念.试问:有谁在现实生活中见过只有位置,没有大小的点;能无限延伸、没有宽度的线;只有形状、没有厚度的面;只有体积、没有重量的立体呢?几何学就是一门高度抽象概括的科学,它以这些概念为基础建立了若干公理,就可演绎出希腊几何的全部原理.

牛顿在深入研究了希腊几何的原理后,曾无限赞赏地说:“几何学的辉煌之处就在于只用很少的公理而能得到如此之多的结果.”

其实,跟牛顿赞叹希腊几何高度抽象概括时的心情一样,后人也以同样崇敬的心情赞叹牛顿:两个概念(质量、惯性)、三条定律(牛顿运动三定律)、一个发现(牛顿万有引力定律),几乎概括了从天上到人间的所有力学问题.牛顿所提出的一些概念和发现的定律确是他高度抽象概括的结晶.



牛顿把质量概念作为物理学的基本概念,在他的巨著《自然哲学的数学原理》的八个定义中列为榜首.他写道:“物质之量是由它的密度和体积一起来量度的.”所

---

\* 牛顿是以原子论的物质观念为基础,把密度作为一个已有的常识性的、更为简单和基本的概念直接加以应用,所以他没有定义“密度”.不能认为存在逻辑上的矛盾.

以空气的密度加倍、体积加倍,它的量(指质量,下同——作者)就增加四倍;……从每一个物体的重量也可知道这个量;……它……是和重量成正比的。”

牛顿的这个质量定义,概括了所有物体的共同属性,不仅指出了质量等于密度和体积的乘积,还指出了质量和重量成正比,实际上也揭示了引力质量和惯性质量的共同属性,\*质量概念作为整个牛顿力学体系中最主要的基石。

如果说,牛顿概括的质量概念还有着古原子论的知识背景的话,那么他所抽象出来的质点的概念则是牛顿的一大创造了。

在牛顿之前,虽然已有了重心的概念,但只是把它作为一个无大小和无质量的几何点,只能作为重力作用点的标志,不能在力学处理上代表一个物体或物体系。与牛顿同时代的一些物理学家(如胡克等)当时在引力问题上的困难之一就是不知道该如何计算庞大天体的各部分所产生引力的总效应。而牛顿所抽象的质点概念也正是从计算两球之间引力的需要派生出来的。

在《原理》中,牛顿写道:“所以,好像吸引力都是从位于这个球中心上的单个粒子发出来一样,在第二个球中所有的微粒被吸引的力,好像与这个球被第一个球中心上单个粒子发出的力所吸引是一样的……”牛顿把一个天体抽象为一个有质量的点以后,才有可能使他超越同时代人,完成对天体间的引力计算。

质点概念是通过思维高度抽象概括的结果,它摒弃了各个具体物体的形状、大小、组成成分等各种复杂多变的因素,抓住质量这个共同的基本的属性,把一个具体物体用一个有质量的几何点来表示。这在物理学和力学史上有着特殊的重要意义,也才有可能

---

\* 关于引力质量和惯性质量的阐释,请读者参阅本丛书《等效》一册。



使牛顿展开他的全部动力学计算。

### 力的概念与 第二定律

力的初步概念早在古代就产生了,人们通过自身的运动、肌肉的紧张和从推、拉、提、压物体中感受到力,进而又把它推广到风吹草动、水击砂移等自然现象,形成各种形式的“自然力”的概念,因此,如果把人们日常经验中形成的力汇总起来的话,真是名目繁多,如推力、拉力、托力、压力、打击力、支持力、膨胀力、收缩力、动力、阻力、重力、引力、摩擦力、弹性力、风力、水力、电力、磁力……到了伽利略手里,从机械运动的意义上,他虽然已意识到力是改变物体运动状态的原因,但并没有从原理性的高度上把力的概念概括和量化出来。

牛顿在伽利略的基础上,通过对物体运动的研究,剔除了笼罩在力上面的形形色色的外衣,剥离出它实在的本质,高度概括地、科学地给力下了定义:\*

一个外加力是施加于一物体上以改变其静止或一直线上匀速运动的状态的一种作用。

牛顿第二定律则又给出了力的定量表述,他指出:“运动的改变和外加的动力成正比,并且运动的变化发生在外加的力的直线方向上。”用现在中学物理常用的数学形式表示为:

$$F = ma.$$

牛顿第二定律高度概括了力与物体运动状态的变化即产生加速度之间的关系,任何一个物体——如一辆车子、一艘轮船、一个铁块、一杯水,乃至大如天体、小如电子,它们的加速度与所受外力

---

\* 牛顿的力的定义也经过几个发展阶段,在1665年他定义为“力是一个物体加于另一物体上的压与挤”,1668年定义为“力是运动和静止的原因”,1684年定义为“外加于一物体上的力是一物体极力改变其运动或静止状态的力”,在《原理》中才采用下述定义。

之间都遵循着同样的关系。

天上和地上  
的运动

在牛顿的一切卓著的伟大贡献中,将天上、地上的运动和力用科学的原理统一起来,恐怕是最为激动人心的事了。试想:两个小球之间的引力居然与被认为是神灵栖息的星星间符合同样的规律;神秘的月球绕地球的运动、行星绕太阳的运动竟然也与一个小孩用绳子将石块转着圆圈无多大差别(图32)。牛顿以运动三定律和万有引力定律为公理基础所建立的完整的经典力学体系,在当时可称为是包罗万象的概括了。

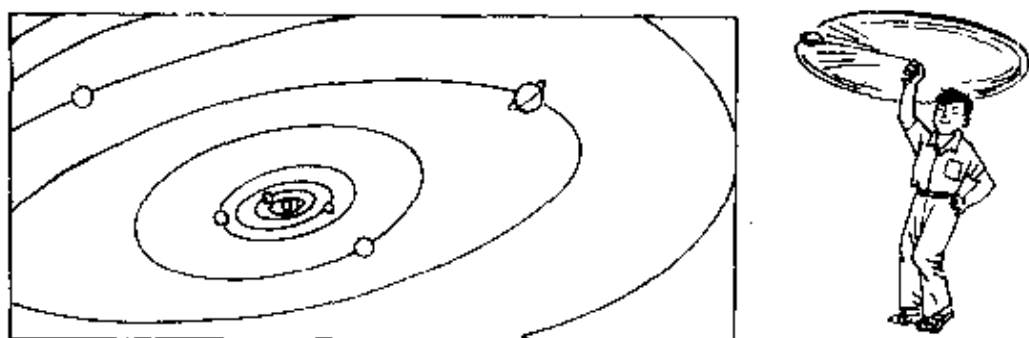


图 32 行星的运动与小石块的运动

虽然牛顿自己在去世前不久十分谦逊地说:“……我似乎只是像在一个在海岸边玩耍的孩子,以时常找到一个比通常更光滑的卵形石子或者更美丽的贝壳来自娱,而广大的真理海洋在我面前还仍然没有发现。”但随着天体力学所获得的一个个震撼人心的辉煌胜利(如地球形状的验证,哈雷彗星的回归,海王星的发现,引力恒量的测定等),已令人信服地证明牛顿力学能够对一切机械运动现象作出完满的决定性的解释.\* 法国杰出的数学物理学家拉格朗日(J. L. Lagrange, 1736—1813)把《原理》誉为人类心灵的最高产物,把牛顿看

\* 因为利用牛顿的力学规律,使人们在原则上可以根据体系在某一时刻的运动和力,准确地推算出这个体系以往和未来的运动状态,因此,牛顿力学的成功在很长的一段时期内形成了科学上的机械决定论。

做是人类历史上最伟大也最幸运的一位天才，“因为宇宙只有一个，而在世界历史上也只有一个人能做它的定律的解释者”。

## (2)深刻性

形象思维不能揭示事物的本质，直觉思维缺乏严密的逻辑程序，只有通过抽象思维，借助于概念及以概念为基础的规律所进行的推理、判断，才能直达事物的本质，洞察事物的底蕴。这就是抽象思维深刻性的表现。

例如，牛顿在发现万有引力后，曾经从事对天体运动的研究。他根据万有引力理论指出：“如果说，有两颗彗星，经过一定的时间间隔后出现，描画出相同的曲线，那么就可以下结论说，这先后两次出现的实质上是同一颗彗星。这时候我们就从公转周期本身决定轨道特性，并求出椭圆的轨道。”

牛顿的这个推论后来被哈雷(E. Helley, 英国, 1656--1742)验证了。哈雷收集了从1337年到1698年间有关彗星的各种记录，在牛顿思想的启发下，终于认出了在1682年出现的彗星和在1607年、1531年所出现的彗星是同一颗星，并推算出了这颗彗星的周期约76年，预言它在1759年将再度回归。这就是著名的哈雷彗星。

虽然在哈雷的计算预言之前，我国约在公元前611年已有首次记录，至1759年它再次光临地球时，累计已记录到29次之多。西欧也在公元66年开始了首次的记录。但是在牛顿的万有引力理论之前，仅仅是作为彗星出现的记录而已，并没有也不可能从它“出没无常”中洞察到是同一颗星的真相。牛顿作出的推论、哈雷的验证充分说明了只有运用抽象思维才能深入到现象的本质。

下面，我们再以前面提到的中学物理中几个鲜明形象的实验为例作一说明。

**奔马  
之谜**

“奔马”没有被底座粘着,并不停地打躬作揖而不会倒下,这是由于它的受力特点而形成稳定平衡的缘故。

如图 33 所示,在球形碗底放一个小球,它在重力( $G$ )和碗底支持力( $N$ )作用下处于平衡状态.当小球偏离底部时,小球的重心位置升高,它受到的重力( $G$ )和碗壁支持力( $N$ )的合力指向平衡位置,有使小球恢复平衡的趋势.小球在碗底的这种平衡状态,称为稳定平衡.

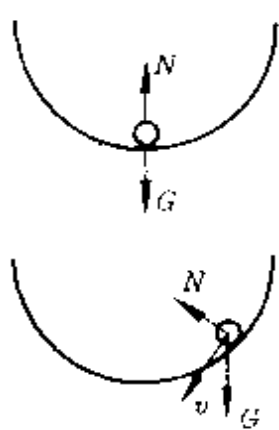


图 33 稳定平衡

如图 34 所示,在球顶放一个小球,它在重力( $G$ )和球顶支持力( $N$ )作用下也可处于平衡状态.可是当小球略微偏离一下后,球的重心位置降低,小球所受重力( $G$ )和球壁支持力( $N$ )的合力背离平衡位置,将使小球继续偏离.小球在球顶的这种平衡状态,称为不稳平衡.

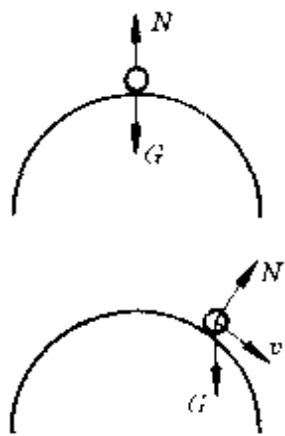


图 34 不稳平衡

实验中的“奔马”,其实就是异化了的碗底小球.结构上的奥妙之处在于它肚下通过一根弧形细棒连着一个重球,使得整个“奔马”的重心位置  $C$  落在底座上的支点之下(图 35).静止时,它所受到的重力的作用线正好通过马蹄在底座上的支点,与底座支持力在一直线上.若轻推“奔马”,无论使它的头、尾抬高或降低,整个“奔马”的重心位置都会比原来静止时升高,如图 36 中  $a$ 、 $b$  所示,于是在重力对支点的力矩作用下,都有使它回复到原来平衡位置的趋势.所以,尽管“奔马”不停地打躬作揖,却能安稳地立在底座上.

根据这个道理,我们还可以做个小实验:在一支铅笔的侧面插上一把折着的小刀,适当调整刀的位置,就可让这支铅笔稳稳地立

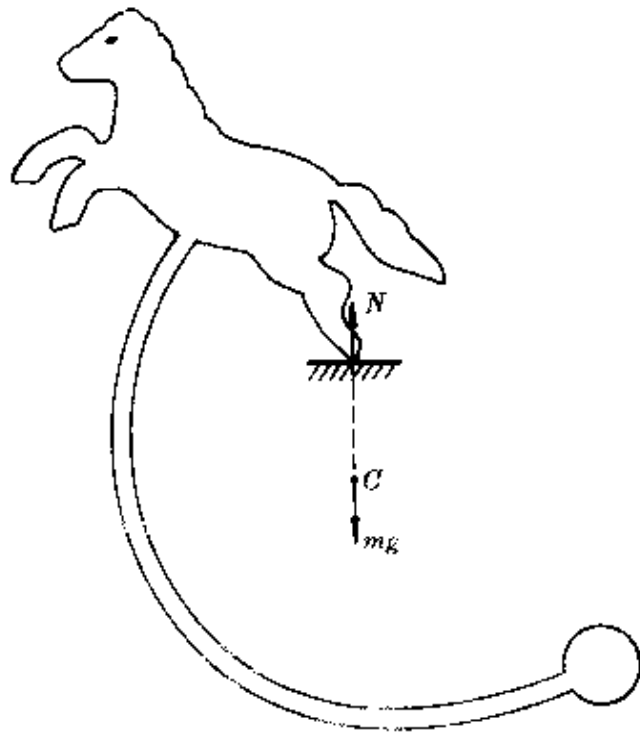


图 35 静止时奔马的受力情况

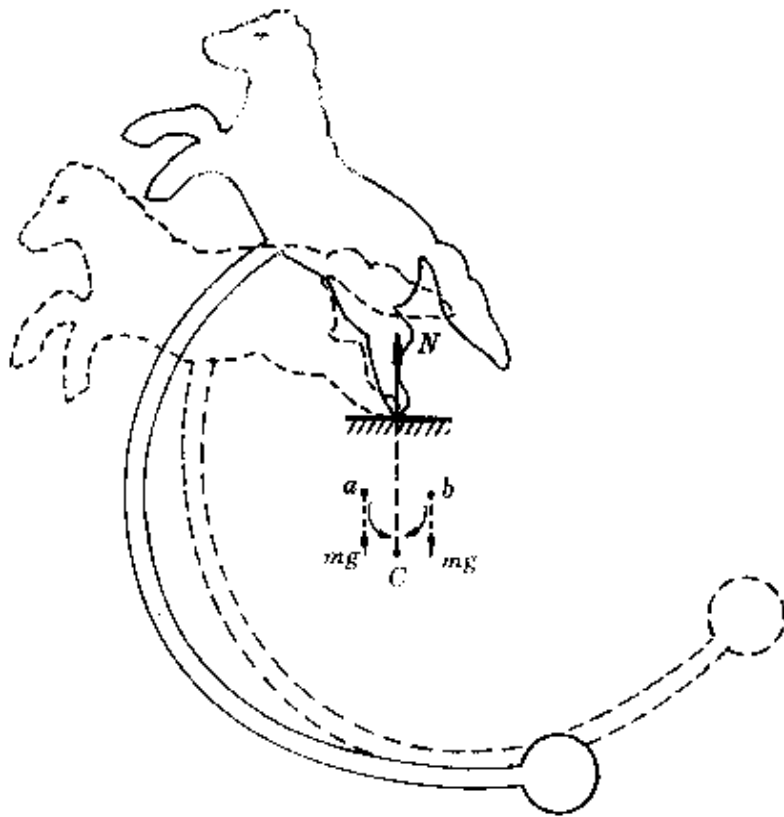


图 36 晃动后奔马重力会形成恢复力矩

在手指上而不倒下(图 37).

惹人喜爱的不倒翁等玩具(图 38),也是根据这个原理设计制成的.

从物体偏离平衡位置后的受力特点得出的稳定平衡概念,是类似这些现象的抽象概括.利用这个概念及有关的力的分析,才能真正揭示出“奔马”的不倒之谜——这,正是抽象思维的结果.

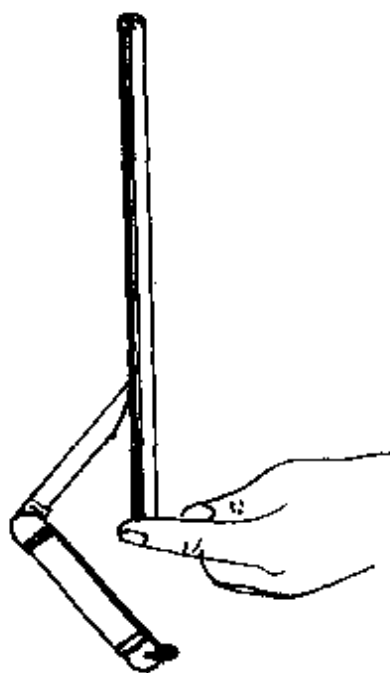


图 37 铅笔与小刀



图 38 不倒翁

飞车走壁  
的学问

先对图 11 中的离心轨道作一分析.如图 39 所示,小球在环的最高点  $C$  时共受两个力的作用:重力  $mg$ 、环对球的弹力  $N$ .这两个力都竖直向下,由它们共同提供小球在  $C$  点所需的向心力,设小球在  $C$  处的速度为  $v$ ,则

$$mg + N = m \frac{v^2}{R}.$$

小球刚好能越过最高点  $C$  时,对应的速度最小,设为  $v_{\min}$ .此

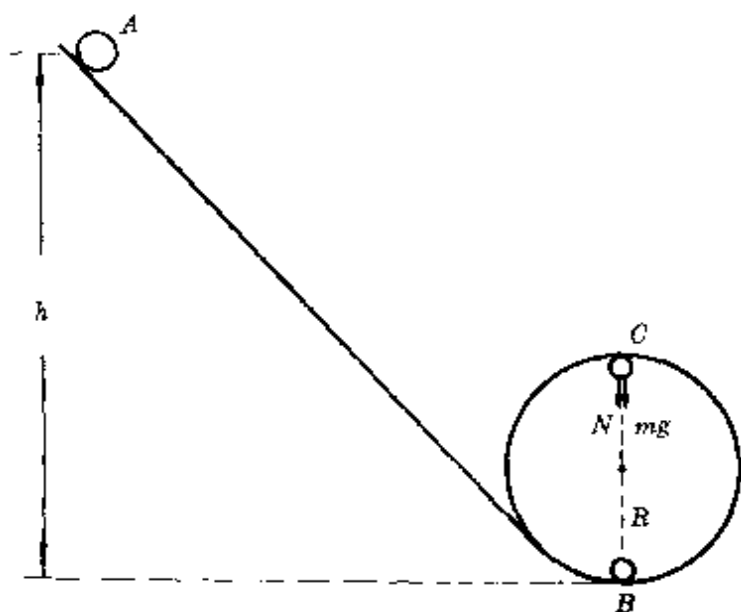


图 39 离心轨道的力学分析

时环对小球不产生弹力, 仅由重力提供向心力. 即

$$mg = m \frac{v_{\min}^2}{R},$$

得  $v_{\min} = \sqrt{Rg}.$

为了保证小球越过最高点 C, 从斜轨上滚下的起始高度 h 有一定要求. 当斜轨和圆环均光滑时, 由机械能守恒

$$mgh = mg \cdot 2R + \frac{1}{2} m v_{\min}^2,$$

即  $mgh = mg \cdot 2R + \frac{1}{2} m \cdot Rg.$

得  $h = \frac{5}{2} R.$

这就是说, 小球至少应从高(相对于环的底部 B)等于  $\frac{5}{2} R$  处静止滚下. 实际情况中, 由于不可避免的摩擦作用, 小球应从大于  $\frac{5}{2} R$  的位置滚下才能越过最高点 C.

游乐场中的滑道是同样的道理,由于有足够的速度保证,因此可以安然无恙地在环中飞越.飞车走壁的情况较为复杂些,它的桶壁是倾斜的.当把飞车抽象为一个质点时,同样可用牛顿第二定律分析.

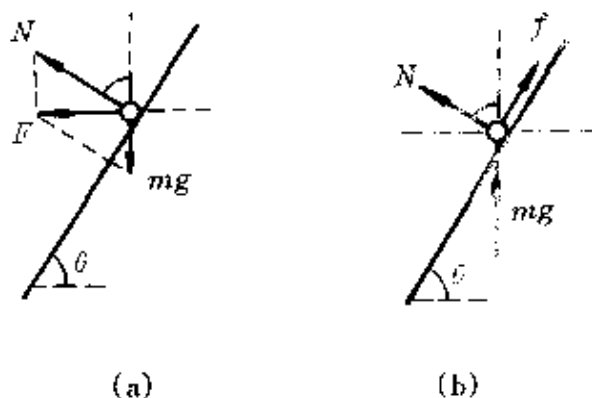


图 40 飞车走壁的力学分析

现分两种情况讨论:

① 不考虑桶壁的摩擦力 飞车运动时仅受两个力作用:重力  $mg$ 、竖直向下,桶壁支持力  $N$ ,垂直桶壁斜向上,如图 40 中(a)所示.这两个力的合力  $F$ (或看成  $N$  的水平分力)提供飞车的向心力,即

$$F = mg \operatorname{tg} \theta = m \frac{v^2}{R},$$

或 
$$R = \frac{v^2}{g \operatorname{tg} \theta}.$$

式中  $\operatorname{tg} \theta$  为一定值.因此在稳定的情况下,车在桶壁任何部位做水平圆周运动时,所需的向心力都相等.当车速增大时,半径  $R$  也随之增大,故车盘旋上升;车速减小时,  $R$  也随之减小,车就盘旋下降;车速保持一定时,车可在桶的一定高度处盘旋.因此,演员只需控制好车速,就可以驾车在桶内壁上任意盘旋,如履平地.

② 考虑桶壁的摩擦力 此时飞车除受到重力和支持力外,还受到桶壁的静摩擦力.当飞车有沿桶壁下滑趋势时,静摩擦力  $f$  沿桶壁向上,如图 40(b)所示.根据牛顿第二定律,列出竖直方向和水平方向的运动方程

$$N \cos \theta + f \sin \theta = mg,$$



$$N \sin \theta - f \cos \theta = m \frac{v^2}{R} . *$$

联立两式解得

$$N = m \left( g \cos \theta + \frac{v^2}{R} \sin \theta \right) ,$$

$$f = m \left( g \sin \theta - \frac{v^2}{R} \cos \theta \right) .$$

可见,这里的支持力  $N$  和静摩擦力  $f$  都是速度  $v$  的函数,它们都是随速度改变而变化的变力.

由于桶壁的静摩擦力的取值范围是  $0 \sim f_{\max}$ , 其中  $f_{\max} = \mu_0 N$  ( $\mu_0$  为静摩擦因数), 称为最大静摩擦力, 因此, 飞车运动中的速度也有一取值范围.

当  $f = 0$  时, 对应的车速

$$v_0 = \sqrt{Rg \operatorname{tg} \theta} .$$

这就是情况①中得出的结果. 它表示飞车以  $v_0$  速度运动时, 没有侧滑趋势, 因而也不存在静摩擦力的作用.

当  $v < v_0$  (即  $mg \sin \theta > m \frac{v^2}{R} \cos \theta$ ) 时, 车有沿壁下滑趋势. 刚好不下滑时, 对应着  $f = \mu_0 N$  的条件, 由

$$m \left( g \sin \theta - \frac{v^2}{R} \cos \theta \right) = \mu_0 m \left( g \cos \theta + \frac{v^2}{R} \sin \theta \right) ,$$

得飞车的最小速度

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{\sin \theta - \mu_0 \cos \theta}{\mu_0 \sin \theta + \cos \theta} Rg} .$$

当  $v > v_0$  (即  $mg \sin \theta < m \frac{v^2}{R} \cos \theta$ )

---

\* 飞车沿圆轨道切线方向的牵引力和摩擦力与本题无关, 未予涉及.

时,摩擦力为负,表示车有上滑趋势,静摩擦力方向变为沿桶壁向下(图 41).刚好不上滑时,同样对应着  $f = \mu_0 N$  的条件.由

$$m \left( \frac{v^2}{R} \cos \theta - g \sin \theta \right) = \mu_0 m \left( g \cos \theta + \frac{v^2}{R} \sin \theta \right),$$

得飞车的最大速度

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{\sin \theta + \mu_0 \cos \theta}{\cos \theta - \mu_0 \sin \theta} Rg}.$$

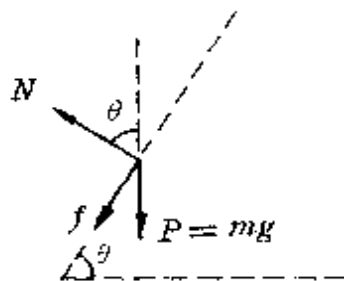


图 41

所以,为使飞车稳定在圆桶的某一部分,不发生侧滑,飞车速度的取值范围应满足条件

$$\sqrt{\frac{\sin \theta - \mu_0 \cos \theta}{\mu_0 \sin \theta + \cos \theta} Rg} \leq v \leq \sqrt{\frac{\sin \theta + \mu_0 \cos \theta}{\cos \theta - \mu_0 \sin \theta} Rg}.$$

### 肥皂泡中的力

肥皂膜所表现出来的收缩趋势,是由于表面张力作用的缘故.

对物质分子运动的研究告诉我们,分子间存在着相互作用的引力与斥力,它们的合力随分子间距的变化如图 42 所示.当分子间距  $r = r_0$  ( $r_0$  的数量级为  $10^{-10}$  米) 时,分子间的引力与斥力相等.液体内部的分子,通常条件下它们的间距可以认为等于  $r_0$ ,相互间的引力与斥力相等.液体跟气体所接触的表面层里的分子,它们的分布比液体内部稀疏些,分子间距比液体内部大些(即  $r > r_0$ ).因此,表面层里分子间的相互作用表现为引力.如果在液面上任意画一条分界线  $MN$ ,把液面分成(1)、(2)两部分,由于表面层中分子的相互吸引,结果形成了液面(1)对液面(2)的引力  $f_1$ 、液面(2)对液面(1)的引力  $f_2$ .这一对大小相等、方向相反,在液面内垂直于分界线的相互吸引力,称为液体的表面张力(图 43).在

表面张力的作用下,液体表面像一层张紧的橡皮膜,有收缩的趋势,会使液体表面收缩到一定条件下表面积最小的稳定状态.

在图 13 中,原来细线  $AB$  两侧液膜的表面张力互相平衡.当刺破一侧的液膜后,在另一侧液膜表面张力的作用下有使液膜面积尽量缩小的趋势,结果把细线拉成圆弧形——因为在等周长的几何图形中,

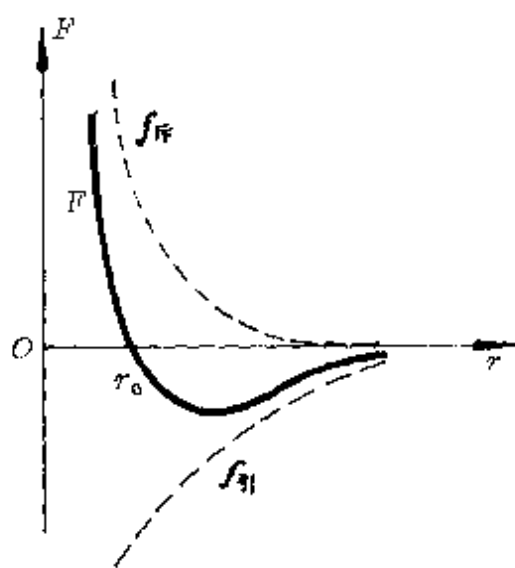
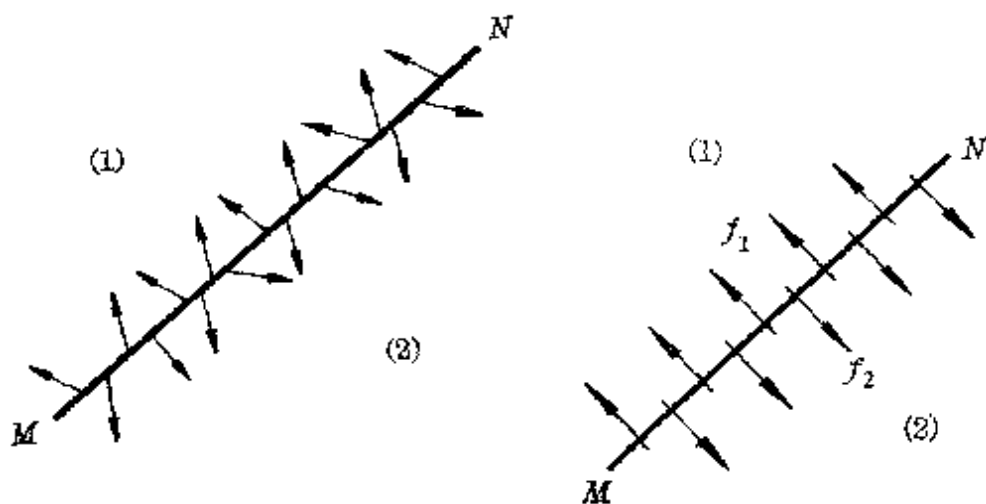


图 42 分子力随距离的变化



(a)分界线两侧分子相互吸引 (b)分界线两侧分子相互吸引的效果

图 43 表面张力

圆面积最大.

同理,图 14 中刺破线圈内的液膜后,因周围液面的收缩,会把线圈拉成一个圆圈.

图 15 也是同样道理,只是由于它们形成了更复杂的图形,必须用较深奥的计算才能证明.

**肥皂膜上的色彩**

这是光的干涉现象.根据波动理论,两束频率相同、位相差恒定的光(称相干光)在传播过程中叠加区域的某些地方,会出现亮度有明暗变化的现象,这种现象称为光的干涉现象.出现亮暗区域的位置,决定于到达这里(或从这里反射)的两束光的位相关系:同相时振动加强,呈现亮区;反相时振动相消,呈现暗区.

图 44 就是首先成功地观察到光的干涉现象的杨氏双缝干涉装置示意图.被外来单色光照亮的狭缝  $S$  形成线光源.从  $S$  射出的光,按惠更斯(C. Huygens, 荷兰, 1629—1695)的理论,激发出一列以  $S$  为轴的圆柱面波,这列柱面波同时传到狭缝  $S_1$  和  $S_2$ ,因此  $S_1$ 、 $S_2$  就相当于两个完全相同的光源.屏上某处  $P$  的亮暗情况决定于它到两个光源  $S_1$ 、 $S_2$  的距离.

若  $\Delta r = |r_1 - r_2| = 2n \cdot$

$\frac{\lambda}{2}$  (即半波长的偶数倍,  $n =$

1、2、3、…),则从  $S_1$ 、 $S_2$  发出的两束光在  $P$  处同相叠加,出现亮条;

若  $\Delta r = |r_1 - r_2| = (2n$

$+ 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$  (即半波长的奇数倍,

$n = 1、2、3、\dots$ ),则从  $S_1$ 、 $S_2$  发出的两束光在  $P$  处反相叠加,出现暗纹.

如改用白光照射  $S$ ,由于从  $S_1$  和  $S_2$  发出的两束光中

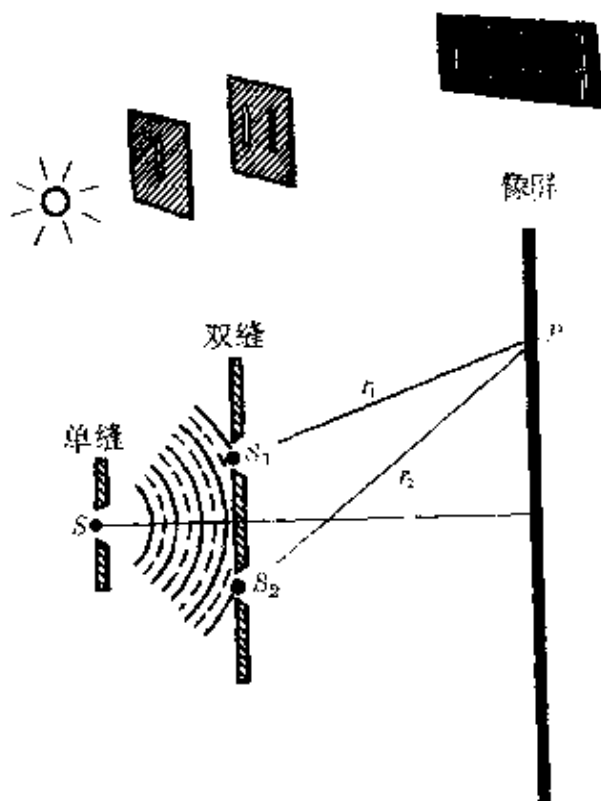


图 44 杨氏双缝干涉实验装置

包含有不同波长的各种色光,它们各自在不同的位置上形成亮、暗条纹,互相叠加的结果,就形成了彩色条纹.

肥皂膜在光线照射下形成的亮暗或彩色条纹,也是这个道理.

图 45 中  $F$  表示一个厚度不均匀的薄膜,  $E$  代表离膜适当远

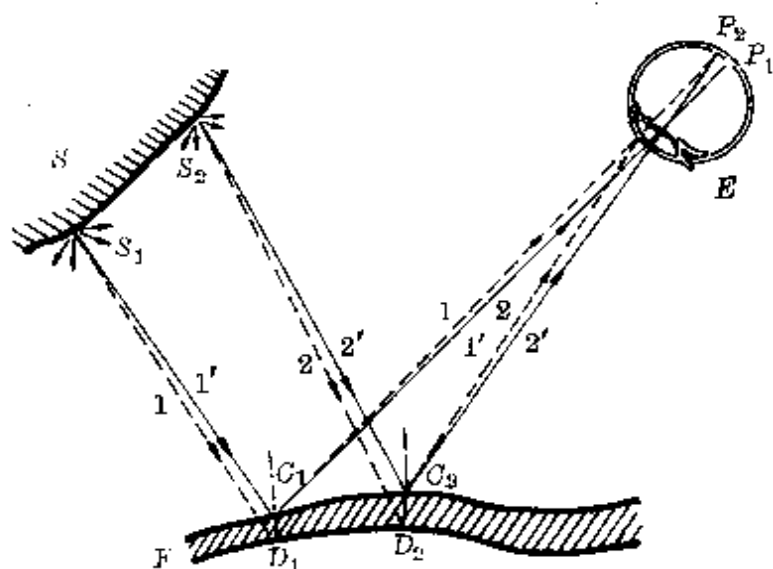


图 45 薄膜干涉

处的眼球,设来自发光体  $S$  (暂假设为单色光源) 上光点  $S_1$  有两条光线  $1, 1'$ , 其中光线  $1$  透射进液膜从  $D_1$  处反射后从  $C_1$  处折射进眼睛, 光线  $1'$  直接从  $C_1$  处反射进眼睛. 若来自  $C_1$  处的这两条光线正好满足反相叠加条件, 眼睛看到  $C_1$  处就是一个黑点, 与  $C_1$  排列在一起满足同样条件的各点构成一条暗纹. 从另一处  $C_2 (D_2)$  来的两条光线  $2, 2'$ , 若正好满足同相叠加条件, 眼睛就会在  $C_2$  处看到一个亮点, 由这些同样条件的各点构成一条亮纹.

用白光照射时, 白光中各色光(红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫)的波长不同, 它们在薄膜的不同地方形成的各单色亮纹互相叠加, 便会形成彩色条纹. 这就是我们在阳光下看到的肥皂泡呈现绚丽多彩的原因.

实际观看时还可发现, 薄膜上条纹的形状和色调, 与眼睛的视

线方向密切有关.如图 46 所示,当眼睛在位置  $E$  注视  $C$  点时,如

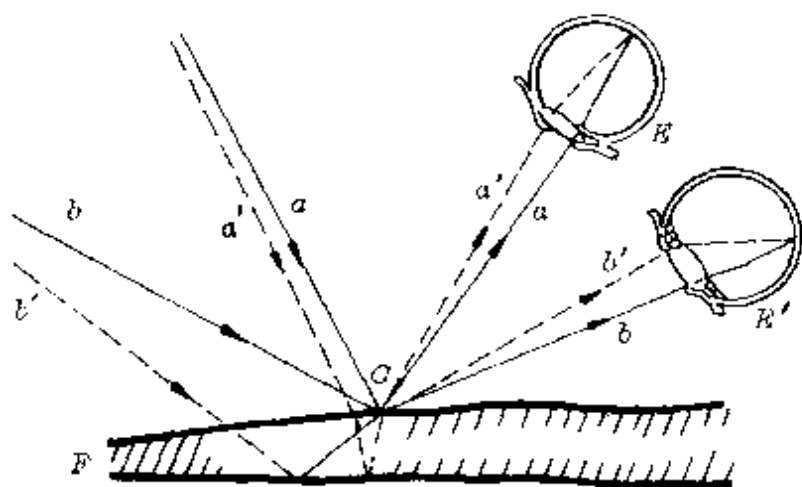


图 46 从不同位置观察

光线  $a$ 、 $a'$  在这里引起的光程差是波长的整数倍,则  $C$  点看来是亮的.当眼睛移到位置  $E'$  注视  $C$  点时,进入眼睛的反射光会换成另一对  $b$ 、 $b'$ ,它们在这里引起的光程差与  $a$ 、 $a'$  的不一样.若比  $aa'$  的光程差大(或者小) $\lambda/2$ ,则看到  $C$  点就变为黑点.\*

## 2. 抽象思维的方法

任何科学理论(包括自然科学、社会科学等)体系的建立,都是以概念为基本细胞,通过判断和推理(包括实验结果的分析),得到若干作为支撑它的基本骨架的规律而形成的.所以,一切科学理论体系的建立都要求助于逻辑思维(即抽象思维).并且,逻辑思维能力的强弱,也是一个人科学素养的重要标志,对于从事科学研究的人来说更为重要.

爱因斯坦说过:“科学家的目的是要得到关于自然界的-一个逻

\* 需要说明的是,这里从  $C$  处反射的  $aa'$ (或  $bb'$ )的光程差,不等于因  $a'$ (或  $b'$ )进入液膜增加的几何路程.需要进一步了解的读者,可参阅普通物理学有关内容.

辑上前后一贯的摹写,逻辑之对于他,有如比例和透视规律之对于画家一样。”

逻辑思维的方法很多,最基本的是归纳和演绎、分析和综合、抽象和具体等方法。

### (1) 归纳法\*

从个别事实中概括出一般的结论、概念、原理的思维方法,称为归纳法。

近代归纳法是培根(F. Bacon, 英国, 1561—1626)倡导的,他认为在认识客观事物的过程中,必须从因果联系,从分析个别事物、现象出发,任何可靠的真理都必须以大量的事实为根据,人们通过对大量事实加以比较后,才可能由单一的、个别的东西上升到一般、上升到理论。

归纳法通常分为三个步骤:

第一步:搜集材料。培根说:“我们必须准备一种充分精良的自然史,这种历史是一切的基础,因为要想知道自然究竟能起什么作用,或在受了人的支配后能起什么作用,我们只有亲自来发现,那不是我们所能想象出的、猜拟出的。”培根的话就是说,要认识自然或改造自然,必须先要客观地、实事求是地了解自然,任何马虎和虚假都是不行的。

第二步:整理材料,因为“……自然的和实验的历史,是纷杂繁多的,因此,我们如果不把它归类在适当的秩序以内,则它一定会使人的理解迷离恍惚起来……”(培根)。这是归纳过程中极为重要

---

\* 有关归纳法及以下演绎法方面较详细的阐述,请读者参阅本丛书《归纳与演绎》一册。

的一个环节,否则,尽管积累了大量的原始资料,仍然只像一个不会使用财富的富翁,不会得出有价值的结果。

第三步:概括抽象.对材料进行分析比较,把无关的、非本质的东西排除掉,最后把事物的本质和规律发现出来。

归纳法在科学研究中具有重要的地位,许多重大的发现都是通过对少数现象的观察或实验,经过归纳总结出来的.譬如开普勒行星运动定律、单摆定律、玻意耳定律、库仑定律……19世纪中叶,德国天文学家施瓦布(S. H. Schwabe, 1785—1875)通过对太阳活动的长期观察所记录的数据,归纳出了太阳黑子的活动规律——每隔11年太阳黑子有一次大的活动期.\*后来经过1947年、1958年、1969年、1980年几次验证,均没有发现反例,说明事实与施瓦布通过少数现象归纳总结出来的结论相符。

德国著名物理学家普朗克还特别钟情地说过这样的话:“物理规律的性质和内容,都不可能单纯依靠思维来获得,惟一可能的途径就是致力于对自然的观察,尽可能搜集最大量的各种经验、事实,并把这些事实加以比较,然后以最简单、最全面的命题总结出来.换句话说,我们必须采用归纳法。”虽然普朗克的这番话有失偏颇,但归纳法在物理学研究中所取得的辉煌成就确实将永远被人们所缅怀。

## (2) 演绎法

由一般原理、概念得出个别结论的思维方法,称为演绎法.它与归纳法的关系如图47所示。

---

\* 黑子是太阳上比较暗的区域,它是由伽利略于1609—1610年间,第一次用望远镜观测天象时首先发现的。



演绎法通常包括演绎推理和以演绎推理为基础的证明和公理方法.它与归纳法一样,都是抽象思维的一种基本方法.

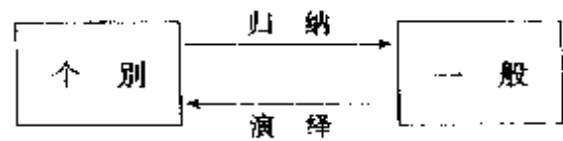


图 47 归纳与演绎的关系

与归纳法在培根之前没有科学地位的情况相比较,演绎法有着值得骄傲的历史,它很早就为人们所重视.古希腊著名学者亚里士多德(Aristotle,前 384—前 322)称得上是演绎的鼻祖.他研究了演绎的方法,建立了三段论逻辑推理体系的理论.亚里士多德把演绎的基本顺序分为大前提、小前提、结论三部分.其中:

大前提——已知的一般原理;

小前提——所研究的特殊场合;

结 论——将特殊场合归到一般原理之下得出的新知识.

例如:

大前提——电流是电子的定向运动形成的;

小前提——金属中的自由电子在电场力作用下能产生定向运动;

结论——所以,金属能导电.

伴随着科学的发展,演绎法自身也有了很大的发展.亚里士多德的演绎法,称为古典的形式逻辑方法.经过了漫长的历史时期,德国数学家莱布尼兹(G. W. F. V. Leibniz, 1646—1716)开创了现代的形式逻辑,即数理逻辑.它借助于数学中的人工语言的方法,将命题之间的必然联结形式化为符号演算,这就为演绎推理提供了有力的工具.后来,爱因斯坦又开创了探索性演绎法.因为从基本假设或公理到结论,虽有逻辑通道,但这条通道往往路途遥远,关系复杂,不可能存在直截了当的演绎法.就像深山探宝一样,需披荆斩棘,在前人没有走过的崇山峻岭中开辟一条新路,所以爱因斯

坦称之为探索性演绎法。爱因斯坦说：“我们的假设变得愈简单、愈根本，则我们所用的数学推理工具便愈艰深……”这正是他用探索性演绎法创立相对论的深切体会。

演绎方法一直在科学研究中起着极为重要的作用。早在公元前，古希腊著名学者欧几里德(Euclid, 约前 330—前 257)集大成而得的几何原理，就是用演绎方法建立起来的理论体系。作为当代科学支柱之一的狭义相对论，是爱因斯坦在两个基本假设(相对性原理和光速不变原理)基础上，只用了三个星期，通过演绎推理方法就建立起来了。

与普朗克钟情归纳法相映成趣的是，爱因斯坦则推崇演绎法。他甚至还显得过于尖锐地指出：“没有一种归纳法能够导致物理学的基本概念。”他说：“适用于科学幼年时代的以归纳为主的方法，正在让位给探索性演绎法。”从当代物理学前沿的发展情况来说，爱因斯坦的话也许更耐人寻味。

### (3)分析和综合\*

把复杂事物(思维对象)加以分解、割碎、拆开，变成各个部分或要素，然后对这些部分或要素进行研究和深入认识，这种思维方法称为分析法。

例如，在研究生物遗传现象时，往往把动植物有机体分解为最小的单位——细胞，为了考察细胞在遗传过程中的变化和作用，又把组成细胞的细胞膜、细胞质、细胞核分割开来分别研究。通过分析，发现遗传过程的主要部分在细胞核，从对细胞核的研究发现它又可分解为 DNA(脱氧核糖核酸)和 RNA(核糖核酸)，进一步深入

---

\* 有关这方面较详细的阐释，请读者参阅本丛书《分析与综合》一册。

考察它们的功能,终于发现了有机体的遗传载体原来是 DNA,由它传递遗传信息,构成生物遗传的物质基础.1953年,美国生物学家华特森(J. D. Watson, 1928— )和克里克(F. H. C. Crick, 1916— ),运用 X 射线衍射分析的方法,又发现了 DNA 的三维结构,弄清了早期染色体遗传理论中的基因实际只是 DNA 分子的一部分. DNA 中包含的四种不同的碱基(腺嘌呤、胸腺嘧啶、胞嘧啶和鸟嘌呤)在空间排列成各种不同的结构,组成了各种基因.这是 20 世纪生物工程中的一项重大的突破,开创了分子生物学的新时期.显然,遗传载体信息物质 DNA 及其三维结构的发现,正是依靠对各个部分功能的分析得出来的.整个过程可表示如图 48 所示.

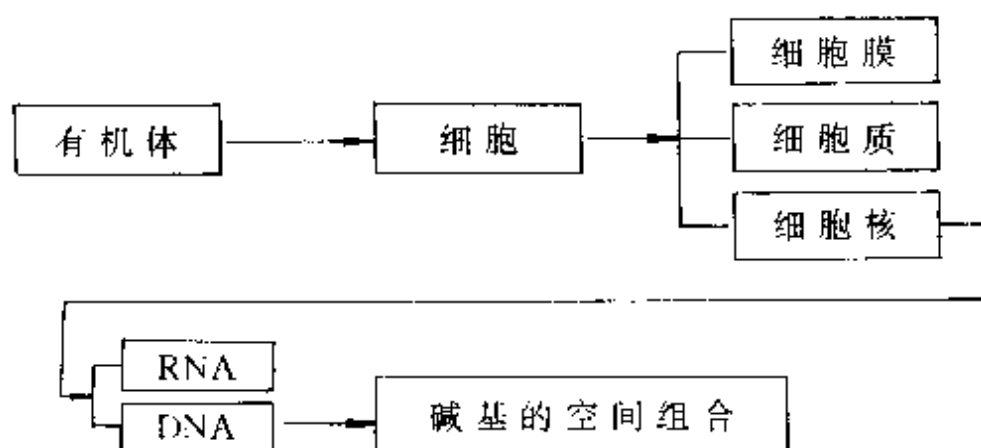


图 48 遗传机制的分析过程

对物质结构的研究同样是采用分析的方法,通过不断的分解、拆开才逐步认识的.整个过程可表示如图 49 所示:

综合则是把事物的各个部分或要素,联结和统一起来,从整体上去认识事物的特征,把握事物本质的一种思维方法.

例如,通过对 DNA 分子结构的研究,可了解蛋白质合成的分子机制,进而使有机体体外合成基因成为可能,这样,就有可能消除人类的很多遗传缺陷,创造出事先指定的有价值特性的动植物

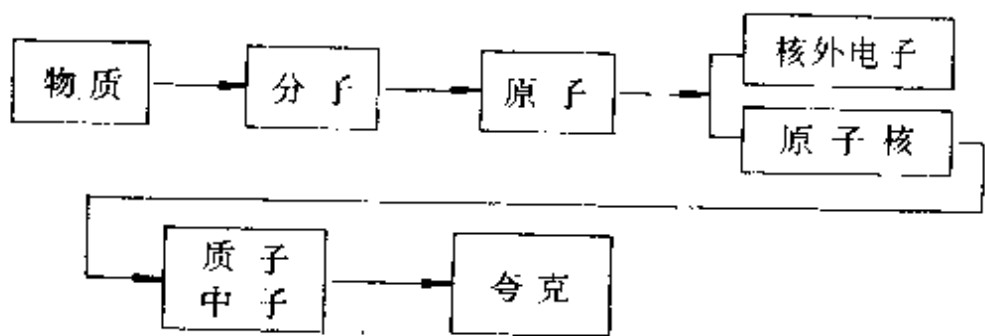


图 49 物质结构的分析过程

类型.不久前,我国科学家首次从恐龙蛋化石中成功地获得恐龙基因的片断,引起世界生物界的极大兴趣,还引发出不少复活恐龙的畅想曲.

在春光明媚的日子里,我们漫步在公园或乡间,感受到鸟语花香和温暖的阳光.即使这一种极其简单的感知行为,现代脑科学的研究已经证实,它是大脑将其分解成各种组分,并循着不同的途径对各类信息进行分析、综合后才感受到的.例如当眼睛看到玫瑰花时,传递到大脑中的其实并不是玫瑰花的整个图象,而是视网膜上神经细胞将图象分解成的组分,诸如轮廓、质地、色彩等.当耳朵听到小鸟的鸣叫时,也有不同的细胞对不同的频率作出反应,或测算出声音的方向和强度等.人的感官(眼、耳、鼻、皮肤)中的感觉细胞将它们感受到的信息传送到大脑皮层,大脑把繁多纷杂的信息碎片综合起来,才形成一个统一协调的图景.

当然,科学的综合决不是把各部分或要素简单的堆叠和捏合,它必须以分析为前提,通过对各个部分或要素的分析,才能从整体上对事物有全面的、完整的认识.许多时候,往往还可使认识上升到一个新的高度.

所以,分析和综合是互补的.分析是综合的基础,综合是分析的归宿.人们对客观事物的认识,就是一个不断分析和不断综合的

辩证的发展过程.

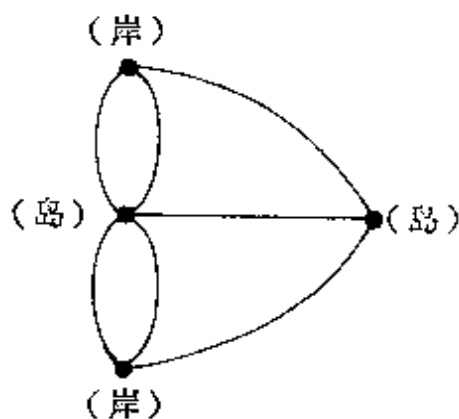
#### (4) 抽象和具体

在数学史上有一个很有名的七桥问题.

德国哥尼斯堡(Königsberg)有一条布勒尔河横贯城区,这条河有两个支流,在城中心汇合成大河,中间是岛区,河上有七座桥,如图 50(a)所示.



(a)哥尼斯堡的七桥



(b)欧拉的抽象

图 50

哥尼斯堡的大学生们经常在这七座桥上走过,作为一种游戏,提出了这样一个问题:能否以任何一点为起点,相继走过七座桥,而且每座桥只走一次,最后又回到原点.大学生们兴致勃勃地进行着各种尝试,但始终未能成功.于是,他们就写信给当时著名的数学家欧拉(L. Euler, 瑞士, 1707—1783),请求他帮助解决这一难题.这就是著名的“七桥问题”.

欧拉真不愧“分析的化身”(Analysis Incarnate),他很快就成功地解决了这一问题.欧拉解出“七桥问题”的关键就在于适当的抽象.他正确地认识到整个问题与所走路程的长度无关,这里的岛

(半岛)与河岸仅是桥梁的连接点,于是,他就把这四块地方(两边河岸、河中的两个岛)抽象成四个点,把七座桥抽象成七条线[图 50(b)],这样一来,原来的问题就被抽象成一个一笔画问题:能否一笔且无重复地画出图 50(b)的图形。

接着,欧拉通过对普遍情况下一笔画特征的考察,由计算证明了这一图形不可能一笔且无重复地画成.这就是说,哥尼斯堡的大学生提出的这个问题是不可能解决的.欧拉从理论上给出了证明.

欧拉解决这一问题的过程可归结如图 51 所示:

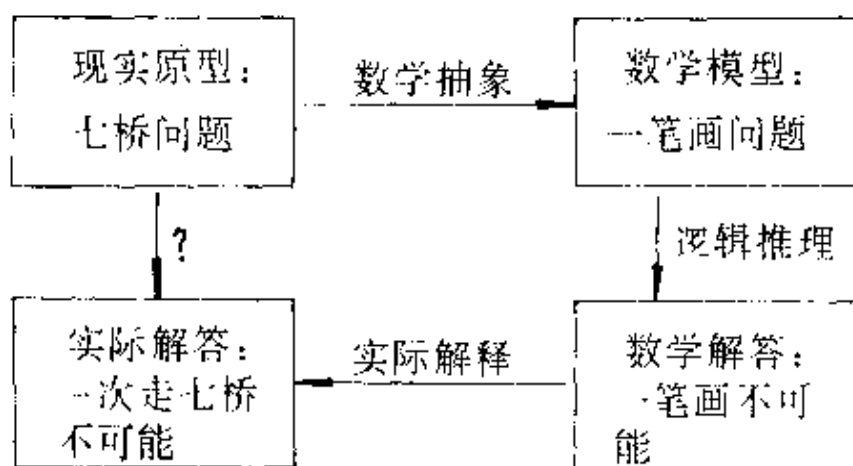


图 51 七桥问题的思路

欧拉解决这一问题所用的思维方法,就是抽象—具体法,即由感性具体到理性抽象,再由理性抽象上升到理性具体.这也是认识事物常用的一种抽象思维方法。

抽象思维的方法除了上面介绍的这几种外,还有假设、类比、等效、对称、理想模型等,读者可参阅本丛书其他有关各册。

### 3. 抽象思维中的一朵奇葩

#### ——思维实验

下棋时,棋手在落子前总要先在头脑中摆上一片假想的战场:

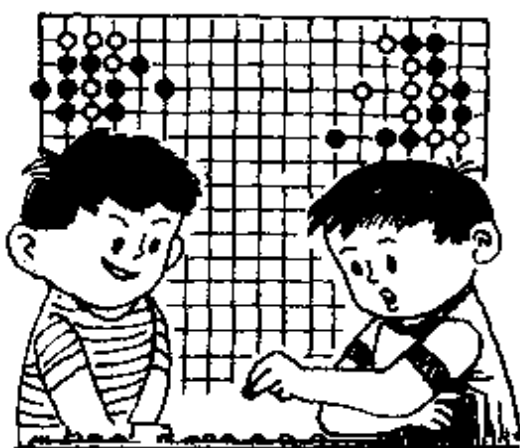


图 52 对弈

自己这么走,对手会怎样应付;下一步、下几步又该如何接应……对弈双方外表平静优雅,不动声色,脑海中却早已经历了几番激烈的厮杀。越是优秀的棋手,设想的战局方案会越多、越深入、越全面,然后才能走出惊人的妙着(图 52)。

与下棋时“在头脑中摆战场”一样,在科学研究中也常需要以大脑为实验室用思维操作着想象中的实验。这是科学研究的一种重要的方法,称为思维实验或思想实验、理想实验。

古希腊时代的阿基米德(Archimedes,前 287—前 212)就已应用了这种科学方法。他在研究面积和体积时,总是先作一种思想上的“实验”——想象着把均匀材料切成一定形状的平面,通过称量以测量它的面积,这样就对它们的关系有所了解,然后再从数学上进行证明。

思想实验是一种高度的抽象思维(也包含形象的成分)。由于它通过抽象造成理想化的实验对象和实验条件,具有现实的科学实验所无法达到的极度简化和纯化的程度。因此,它不仅可充分发挥理性思维的逻辑力量,还可以超越当时的科学技术水平,在想象的广阔天地里自由驰骋。

近代从伽利略(G. Galilei,意大利,1564—1642)起,科学家们应用思维实验在提出科学假设、建立科学理论体系和加深对科学原理的认识等方面,取得了一系列重大成就,称得上是抽象思维中的大奇葩。

爱因斯坦说:“从这个例子(指伽利略用思维实验发现惯性原

理——作者)以及后来的许多例子中,我们认识到用思维来创造理想实验的重要性。”

下面,我们仅选择若干著名的思维实验作一介绍。

### 永远滚动的小铜球

惯性原理是近代力学的基础,它是伽利略运用一个理想实验发现的。在伽利略的光辉著作《关于两大世界体系的对话》(1632年)一书中,他通过对话的形式设计了一个理想实验。

问:“如果这个平面是向下倾斜的,这个球会滚多远和多快呢?请记住我说过是一只滚动的球和一个精光的平面,完全没有一切外部和意外的阻碍。同样我要你排除任何由于空气阻力而产生的阻碍,以及其他可能发生的意外障碍。”

答:“只要斜面延伸下去,球将无限地继续运动,而且在不断加速。”

问:“如果这个平面是向上倾斜的,用力推一物体会发生什么情况?”

答:“它的运动会不断地慢下来,速度减低……”

问:“请告诉我,同样的运动物体放在一个既不向上也不向下的平面上,不论向哪个方向推它一下,会是怎样?”

答:“这里没有引起球体加速的原因,也没有引起球体减速的原因,更没有球体静止不动的原因。球体将无限运动下去,速度保持不变。”

接着,伽利略又设计了第二组对接斜面的理想实验。如图 53 所示,他令一个小铜球沿光滑斜面  $AB$  滚下后,它将用在  $B$  点获得的速度又滚上另一个斜面。如果不计摩擦力,小铜球就会上升到与  $A$  点相同的高度。逐渐减小斜面的倾角,这个铜球在对接的斜面 ( $BC$ 、 $BD$ 、 $BE$ 、 $\dots$ ) 上运动的距离会更远,速度的减小过程也将更



慢.如果第二个斜面是水平面( $BF$ ),这个小铜球就会以恒定的速度永远运动下去.

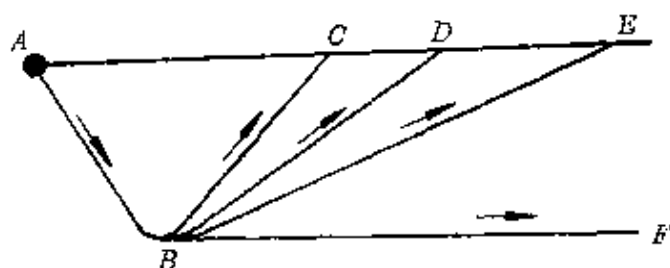


图 53 伽利略的对接斜面实验

伽利略写道:“任何速度一旦施加给一个运动着的物体,只要除去加速或减速的外因,此速度就会保持不变。”伽利略把物体的这种性质称为惯性.后来被牛顿进一步推广总结为牛顿第一定律.

伽利略的这个实验,虽然是想象中的实验,现实世界中是找不到没有阻力的光滑平面的,但它是建立在可靠的推理基础上的.爱因斯坦(A. Einstein, 德国, 1879--1955)高度评价伽利略的方法.他说:“伽利略的发现以及他所用的科学推理方法,是人类思想史上最伟大的成就之一,而且标志着物理学的真正的开端.”

小船上  
的碰撞

通过碰撞实验的详细研究,对奠定经典力学作出重大贡献的是荷兰物理学家惠更斯(C. Huygens, 1629—1695),在他的论文《论碰撞作用下物体的运动》中,他首先提出三个基本假设:

①“运动起来的物体,在未受到阻碍作用时将以不变的速度沿直线继续运动.”这就是惯性定律的内容.

②“两个相同的物体以相等的速度相向做对心碰撞后,二者将以原来的速度返回.”这一条可以作为不证自明的公理.因为既然

两个物体的情况相同,就没有理由设想它们碰后的运动会有不同.\*

③“……当两个物体相碰时,即使它们还同时参与另一匀速运动,从也参与这一运动的观察者看来,这两个物体的相互作用就像这个共同运动并不存在一样。”这就是相对性原理.这是惠更斯碰撞理论中显示的重要特色.为此,他独具匠心地设计了一个巧妙的理想实验:设想一个人站在以速度  $v$  做匀速运动的小船上,另一个人站在岸上观察.船上的人两手分别拿着挂有相同质量铁球的两根绳子,使两球所确定的直线与船速平行.现使两球以相对于船同样大小的速度  $v$  做对心碰撞(图 54).

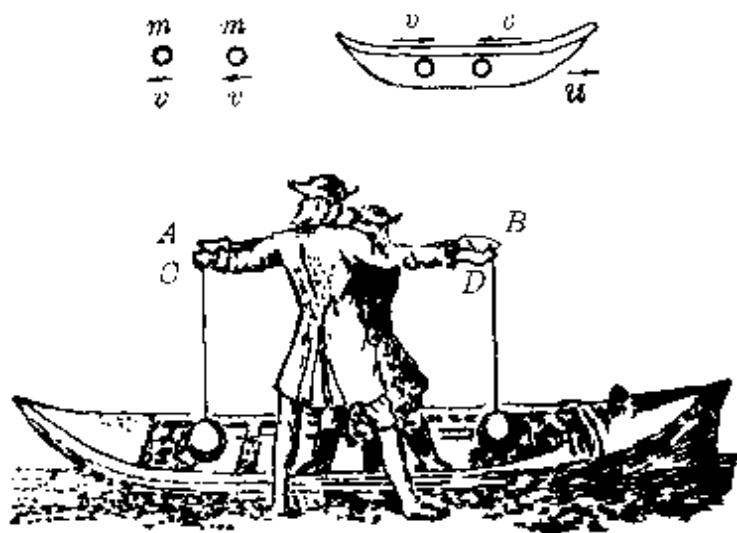


图 54 小船上的对心碰撞

船上的观察者:根据上述假设中(2)与(3),两球碰后仍以相同速度  $v$  分开.

岸上的观察者:两球碰前速度分别为  $v + u$ 、 $v - u$ ,碰后的速度分别变为  $v - u$ 、 $v + u$ .

\* 惠更斯的讨论局限于弹性碰撞范围内.

由此可得出这样的结果：质量相同的两球以不同速度发生对心碰撞后，两球将互换速度。

特殊情况下，如一个运动物体去碰撞另一个质量相同的静止物体，则前者静止，后者却以原来运动球的速度（包括大小和方向）运动。

这个理想实验，非常令人信服地化解了当时实验条件下较难测量的碰撞速度的困难，并由此发现相同的球碰撞互换速度这一重要规律。惠更斯绝妙的构思令人钦佩。

麦克斯韦  
小妖

生活经验已告诉我们：温度不同的两个物体放在一起，热量一定从高温物体传递到低温物体。德国物理学家克劳修斯（R. Clausius, 1822—1888）在理论研究基础上于1850年总结出热力学第二定律：“热量不可能无补偿地从较冷的物体转移到较热的物体。”\*

以往，人们研究分子运动时，一直是接受着经典力学的观点，认为每个分子运动符合牛顿力学基本原理，分子的一切物理过程（如它们的相互作用、碰撞等）完全是可逆的。

如今，热力学第二定律首先指出了热流的不可逆，是有方向性的（用熵的概念来表述，即系统的熵总趋于增大）。这在物理学理论的发展中是一个重大的进步。不过，克劳修斯、开尔文（即威廉·汤姆逊）（L. Kelvin, 即 W. Thomson, 英国, 1824—1904）却由此把自然界中这种局部过程的不可逆绝对化了，把这个定律外推到整个宇宙。根据“热量只能自发地从高温物体向低温物体转移”的道理，得出了最终会导致宇宙达到某种热的平衡，虽然还有热，但不会有任何

---

\* 热力学第二定律还有一种表述（开尔文表述）：“从单一热源吸热使之完全变为有用功而不产生其他影响是不可能的。”理论证明，这两种表述是等价的。

运动的死寂的状态,这就是历史上著名的“宇宙热寂说”。

当时,虽然许多物理学家不同意第二定律原理的绝对普适性,一时却苦于没有合适的例子加以反驳,麦克斯韦的小妖却挺身而出,勇敢地提出了挑战。

麦克斯韦(J. C. Maxwell, 英国, 1831—1879)在 1871 年设计了一个理想实验:设想有一个容器,分隔 A、B 两部分,开始时, A 中气体温度比 B 中的高,故 A 中气体分子的平均速率比 B 中气体分子的平均速率大(图 55),根据气体分子的速率分布(即麦克斯韦

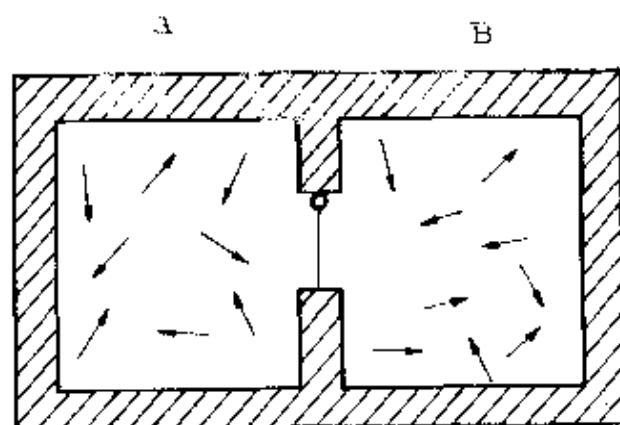


图 55 初始时 A 中分子平均速率大

分布), A 中也有少数速率低于 B 中气体平均速率的分子; B 中也有少数速率高于 A 中气体平均速率的分子,在 A、B 两部分之间,有一块质量不计的双向活门,开启它也无需做功,一个小妖守在门边,这个小妖的本领是如此之大,它能毫不费力地分辨各个分子速率的快慢,当它发现 A 中飞向活门的一个比 B 中分子平均速率小的分子时,它就立即打开活门,让这个分子进入 B(图 56);当它发现 B 中飞向活门的一个比 A 中分子平均速率大的分子时,也立即打开活门,让这个分子进入 A(图 57)。这样, A 中气体分子的平均速率会逐渐增大, B 中气体分子的平均速率就逐渐变小,虽然始终保持 A、B 两部分的分子数与初始时相同,但 A 中的温度却会逐

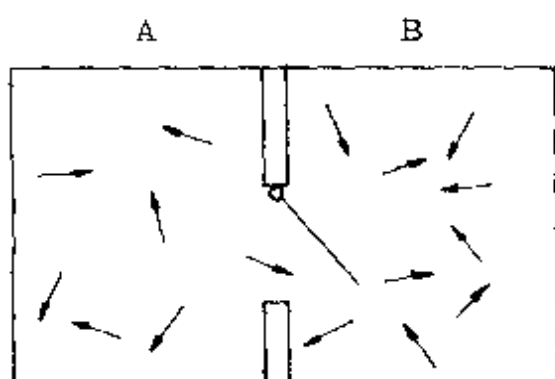


图 56 小妖打开活门,让慢速分子从 A 进入 B

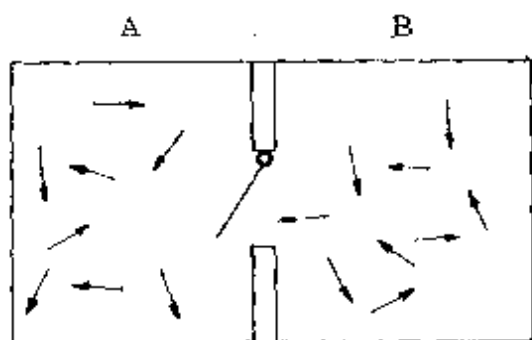


图 57 小妖打开活门,让快速分子从 B 进入 A

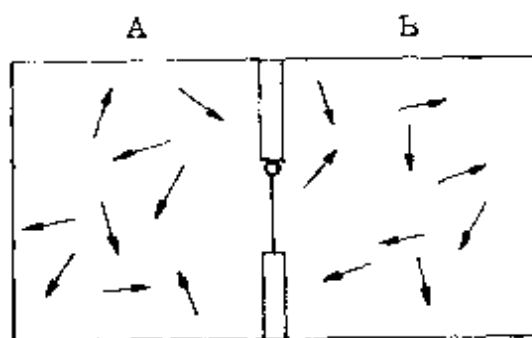


图 58 这种情况不断继续下去, A 的平均动能增加, B 的平均动能减小

渐升高, B 中温度逐渐降低(图 58). 不就实现了热量自动地从温度较低的地方向温度较高的地方转移了吗?

后人把这个小妖戏称为“麦克斯韦妖”(Maxwell's demon). 麦克斯韦利用这个理想实验指出热力学第二定律并不是绝对的, 它具有统计的性质. 1867 年麦克斯韦给泰特 (P. G. Tait, 1831—1901) 的信中指出:“热力学第二定律只适用于由大量分子组成的系统, 而不适用于个别分子.”

热流过程的方向性, 实质上相应于分子排列从有序向无序状态的过渡. 对于大量分子组成的系统, 有序排列的可能性是极少的, 但并不能说不存在. 正像打扑克牌时, 洗牌几次, 某一个人抓到 12 张红桃的可能性还是有的.

后来, 奥地利物理学家玻尔兹曼 (L. E. Boltzmann, 1844—1906) 用分子排列的几率更清晰、更本质地解释了热力学第二定律, 从而使牛顿力学单个分子运动的可逆性与热力学第二定律大量分子

的不可逆性间的矛盾得以消除。

麦克斯韦小妖虽然并不存在，但这个理想实验在深化和完善热力学第二定律认识上的作用是不可低估的。

爱因斯坦  
火车

人们常说，时间老人最公正，赐予任何人都是一样的1秒1分、1天1年。有史以来，有谁对时间产生过怀疑？偌大世界，亿万苍生，惟独爱因斯坦！

在 R. S. 桑克兰(Shankland)的《与阿尔伯特·爱因斯坦谈话》一文中写道：“我问爱因斯坦教授，1905年前他在狭义相对论方面工作了多长时间？他告诉我，他在16岁开始考虑这个问题，共搞了10年……在放弃了许多没有效果的尝试后，‘我终于认识到时间是值得怀疑的！’”

爱因斯坦究竟对时间提出了怎样的疑问呢？“时间是相对的”——如果某一参考系里的观察者发现两事件是同时的，但在另一参考系里的观察者将发现两事件不是同时的。这就是爱因斯坦在人们习以为常的经验中所发现的精深博大的底蕴。

“同时相对性”是爱因斯坦对时间概念的全新理解，也是他提出狭义相对论时最难为人们接受的一个概念。为此，爱因斯坦曾设计了一个著名的理想实验。

设想一列沿水平直轨做匀速直线运动的火车(简称爱因斯坦火车)，其速度为  $v$ 。在火车的正中央  $O'$  处有一强光源，在火车前、后两端各装一面反射镜  $A'$ 、 $B'$ 。当火车正中央  $O'$  点与地面上的  $O$  点重合时，强光源向火车前、后两端各发一个光脉冲信号(图 59)。

\* 自从麦克斯韦提出这个理想实验后的100年来，麦克斯韦小妖一直吸引着物理学家。1951年，布里渊才彻底弄清麦克斯韦小妖并不违背热力学第二定律。小妖要能识别分子，首先要用光照亮分子，这就要输入能量。把小妖、气体与光源作为一个整体，其熵总是增加的，仍然遵循着热力学第二定律。

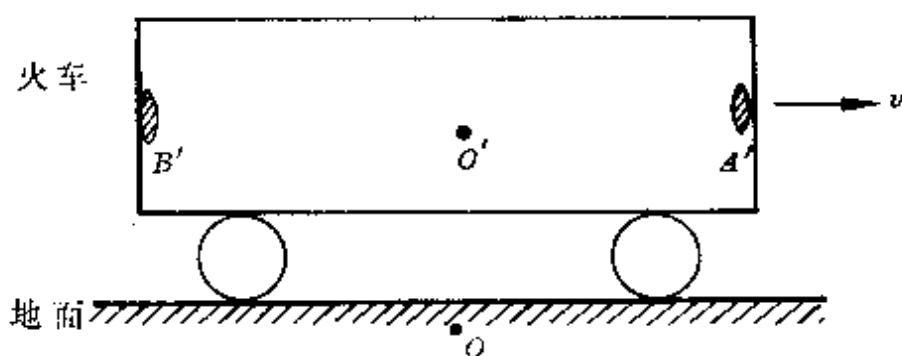


图 59 爱因斯坦火车

对火车中的观察者,根据光速不变原理,将看到这两面反射镜因光脉冲同时到达而同时发生闪光。

对地面上的观察者,虽然光脉冲对地面而言向前、向后的传播速度都是  $c$ ,但由于火车对地面以速度  $v$  运动,因此从地面看来,光对  $A'$  镜的速度为  $(c - v)$ ,对  $B'$  镜的速度为  $(c + v)$ 。这样,地面观察者将先看到  $B'$  镜闪光, $A'$  镜后闪光。

同样的两个闪光,在火车上的观察者看来是同时发生的,在地面上的观察者却是有先后、不同时的。这就是爱因斯坦所发现的同时相对性。实际上,这是作为狭义相对论基本前提的光速不变原理的必然结果。\*

爱因斯坦的“同时相对性”,是对经典的绝对时空观的一次革命。爱因斯坦曾写下一段科学史上闪烁着永恒光辉的话:“……牛顿啊,请原谅我!你所发现的道路在你那个时代,是一位具有最高思维能力和创造力的人所能发现的惟一的道路。你所创造的概念,甚至今天仍然指导着我们的物理学思想,虽然我们不知道,如果要更加深入地理解各种联系,那就必须用另外一些离直接经验领

\* 狭义相对论的另一个前提是相对性原理——在静止或任何匀速直线运动的实验室里,自然规律是相同的。

域较远的概念来代替这些概念。”高速领域中的同时相对性正是远离直接经验领域的全新概念之一。

测不准  
关系

学过物理测量后,都知道“误差是不可避免的”,把它表述得更为惊人一些,就是“物理量的真值是无法知道的!”因为你要了解一个物体的某种性质,无论用什么方法,你都必须同这个物体发生相互作用。譬如:

你想测出杯中热水的温度,就得把一支温度计插到水中。可是,温度计是凉的,它插入水中后就会使杯中的水温稍微降低,测到的已不是原来的水温了。

你想测量轮胎中的空气压强,就需使轮胎逸出少量的气体进入压强计,测到的显然会比原来的压强稍有降低。

你想测量电路中通过某个电阻的电流强度或电阻两端的电压,需串进一个电流表或并上一个电压表,实际上已改变了原来的电路结构。

.....

总之,由于测量仪器(包括观察者)跟测量对象的相互作用,我们是不可能精确地了解某个事物的。

通常,在宏观领域中,修正了测量误差后,往往认为是可以精确测定的,并且认为,测量两个不同的物理量时,相互间不存在牵制作用,可以独立地同时测准它们。譬如,发射出去的一枚导弹,可以准确地同时测出它在某时刻的位置和动量。

不过,对微观粒子的情况却不同。由于它们的波粒二象性,我们不能用实验手段同时准确地测定一个微观粒子的位置和动量。海森伯(W. K. Heisenberg, 德国, 1901—1976)在 1927 年从理论推得:测量一个微观粒子的位置时,如果不确定范围是  $\Delta x$ , 那么它的动量也必然同时有一个不确定范围  $\Delta p_x$ , 且两者的乘积满足条件



$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{2\pi} \quad (h \text{—普朗克恒量})$$

同样也有

$$\Delta y \cdot \Delta p_y \geq \frac{h}{2\pi}, \quad \Delta z \cdot \Delta p_z \geq \frac{h}{2\pi}.$$

这就是著名的“测不准关系”。它表示了同时测定一个微观粒子位置和动量时的精密度限制。当一个微观粒子的坐标愈确定时（即  $\Delta x$  愈小），它的动量就愈不确定（即  $\Delta p_x$  愈大）；反之，亦然如此。

为了进一步说明这种思想，海森伯设计了一个理想实验：如图

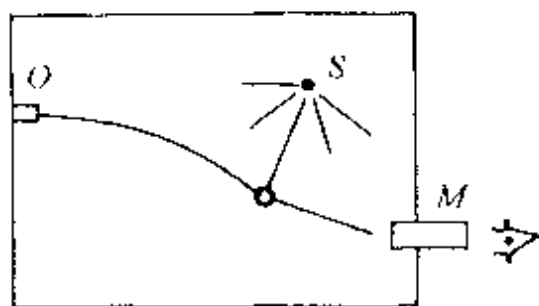


图 60 海森伯的理想实验

60 所示，在一个理想的绝对真空室内，有一个可以发射任意波长和任意数目光子的理想光源  $S$ 。壁上有一个可以发射单个电子的理想电子枪  $O$ 。 $M$  为理想显微镜。为了从显微镜中观察到从电子枪  $O$  中发出的某个电子的运动轨迹并测

出它的运动速度，从而得知它在任一时刻的位置和动量，就必须要先照亮这个电子——得有一个光子从这个粒子弹回来，再反射到显微镜里。由于电子是一个质量极小的微观粒子，光子照射到电子上反弹时必然会改变电子的位置或速度。

如果要尽量减少光子对电子运动的干扰，就必须减小照射光子的能量，即需增大它的波长（ $\epsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ ）。但光的波长越长，由于光的衍射现象，就越无法确定电子的准确位置。

相反，如果改用短波长的光照射电子，电子的位置虽测准了，但由于波长越短的光，光子的能量越大，与电子碰撞时的反冲作用

就越强,电子的动量就无法测准了。

所以,根据测不准关系,海森伯断言,我们所观察到的电子的径迹充其量也只是一条边缘模糊的带子,而不会是一条确定的线。

海森伯的测不准关系,绝对不是由于测量仪器的精度不够所引起的一种表面现象,而是深刻地揭示了量子力学在本质上的统计性,而不是严格的决定论。它和玻尔(N. Bohr, 丹麦, 1885—1962)的“互补原理”(Complementary principle)一起,构成了量子力学哥本哈根学派诠释的两大支柱。

对于量子力学的统计解释和测不准关系,爱因斯坦一直感到不满,认为这是由于系统知识的不完备才引进来的一个临时办法。1926年12月4日,爱因斯坦给玻恩(M. Born, 德国, 1882—1970)的信中说:“量子力学固然是堂皇的,可是有一种内在的声音告诉我,它还不是那真实的东西,……我无论如何都深信上帝不是在掷骰子。”爱因斯坦坚信“有一个离开知觉主体而独立的外在世界,是一切自然科学的基础”。

1927年10月,包括有爱因斯坦、玻尔、薛定谔(E. Schrödinger, 奥地利, 1887—1961)、玻恩、德布罗意(L. de Broglie, 法国, 1892—1986)、海森伯、洛仑兹(H. A. Lorentz, 荷兰, 1853—1928)、康普顿(A. H. Compton, 美国, 1892—1962)等当时世界最著名的物理学家出席的第5次索尔维会议上,在当时与会者大多数都赞成量子力学几率解释的情况下,爱因斯坦独自发表了关于量子力学理论不完备的观点。从此,由本世纪两位最伟大的科学巨人爱因斯坦与玻尔为首挑起了一场科学史上持续最久(至今余波未息)、争论最激烈、涉及面最广的大论战。

到了1930年秋天,第6次索尔维会议开幕了,各国科学家都怀着激动的心情,等待着这两位巨人之间的新一轮论战。

爱因斯坦选择“测不准原理”为突破口,精心设计了如图 61 所示的一个理想实验.这是一个盒子,一侧开有小孔 A,它可以通过由钟的机械装置控制的快门 K 来启闭.盒子内装有一定量的辐射物质.这只钟可调节得只在某一时刻使快门开启到刚好放出一个粒子(光子或电子)的时间就关闭.这样,从钟面刻度可精确测定放出粒子的时间,通过测量放出粒子前后盒子的重量,就可以准确测定粒子的质量,由质能方程  $E = mc^2$ ,就可以在准确的时间内测出准确的能量变化.\*于是,测不准关系就破产了.

这就是著名的爱因斯坦光盒.

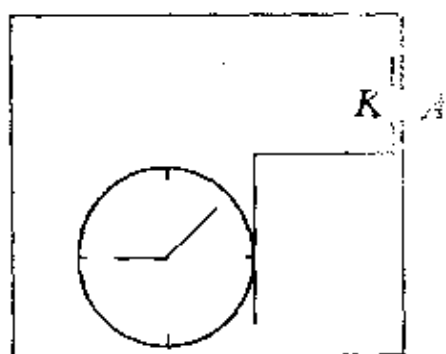


图 61 爱因斯坦光盒

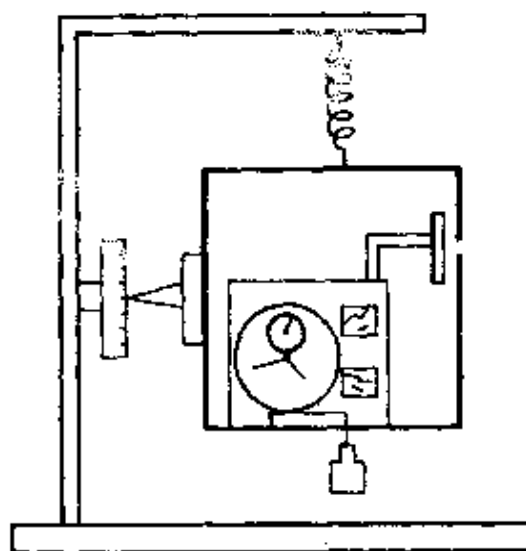


图 62 玻尔改进后的光盒

玻尔面对爱因斯坦巧妙构思的光盒,没有马上能找出问题的所在,感到十分震惊.当晚,玻尔和他的同事们一夜没睡.经过紧张思考,终于找到了反驳爱因斯坦的办法.

\* 测不准关系是微观粒子波粒二象性的反映,并不仅仅局限于位置与动量之间,在时间和能量间同样满足条件,  $\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{2\pi}$ .

第二天上午,会议开始后,玻尔喜气洋洋地走向黑板,也画了一幅图(图 62).与爱因斯坦光盒不同的地方是,他具体给出了称量小盒重量的方法:把盒子用弹簧吊起,通过指针在标尺上的位置读出粒子跑出盒子前后的重量.玻尔利用爱因斯坦的广义相对论的等效原理指出,粒子跑出盒子发生重量变化时,会引起盒子在引力场中位移,从而使钟的快慢发生变化,这样读出的时间就会改变.玻尔通过计算证明了能量和时间的不确定度仍然满足“测不准关系”.

爱因斯坦创立了相对论,在这个理想实验中却疏忽了相对论效应,真是一个天大的遗憾.从此以后,爱因斯坦对测不准关系已不再怀疑了,然而他仍坚持认为量子力学不是微观体系的完备的、最终的描述.他与玻尔之间继续着关于量子力学完备性等一系列理论问题的争论,也促使玻尔及其哥本哈根派的学者们对量子力学理论的进一步深入推敲.

值得称颂的是,论战双方都彼此友好并互相尊重.爱因斯坦始终认为玻尔是“我们时代科学领域中最伟大的发现者之一”.并且一直与玻尔、玻恩及其他哥本哈根学派的成员保持着诚挚的友谊.玻尔及哥本哈根学派的成员则一直把爱因斯坦的批评作为刺激自己改进理论的最主要因素.直到 1955 年爱因斯坦逝世后,玻尔在心中还在继续着与爱因斯坦的争论.每当他思考一个有争论的理论问题时,总要自问爱因斯坦怎么想.在玻尔停止呼吸的前一天(1962 年 11 月 17 日)傍晚,他工作室的黑板上所画的最后一张图,仍是爱因斯坦光盒的那张草图.

不过,总使人感到遗憾的是,这两位物理大师的思想始终未能互相接近.

### 三、可贵的直觉思维

真正可贵的因素是直觉

——爱因斯坦

直觉,也是人类创造性思维的一个重要组成部分。\*

直觉从词义上说,可以有两种意思。一是指人的感官对外界事物的直接感知,即直观感觉;二是指人的思维对客观事物及其内在关系的直接理解和认识——直接把握事物本质的过程,即理智直觉。

我们下面指的主要是后一种理智直觉。

#### 1. 直觉的特征

——直接性、突发性

直觉是人们认识过程中的一种跳跃性的思维形式,它最基本的特征是直接性和突发性。

---

\* 思维科学还是一门发展中的科学,我国著名科学家钱学森建议分为抽象(逻辑)思维、形象(直感)思维和灵感(顿悟)思维。就直觉思维的基本特征而言,也是一种灵感突然降临的顿悟。钱学森说:“外国人不常用 *inspiration*(灵感),而常用 *intuition*(直觉)……”根据本丛书的宗旨,不追求思维科学的严格定义,仅从较宽泛、浅显的意义上,侧重于对它的基本特征、产生基础、科学功能、教学中的指导意义等方面的介绍。

**直接性**

它是指对事物的这种理解或认识,缺乏思维的逻辑论证程序,不是从其他命题出发的自觉推理得出的,而是直接针对着目的,结论一下子出来了。

爱因斯坦(A. Einstein, 德国, 1879—1955)认为:科学家在观察和实验研究的基础上,是凭直觉形成概念和假设的.从经验到概念之间没有“逻辑的桥梁”.他认为:“没有一种归纳法能够导致物理学的基本概念.”爱因斯坦还画出了如图 63 所示的图式,说明科学原理有赖于直觉思维的直接领悟。

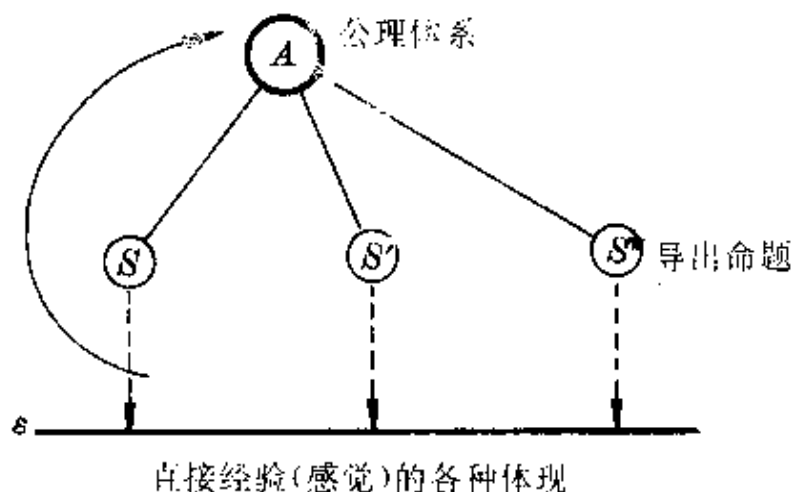


图 63 爱因斯坦关于直觉的图式

爱因斯坦的图式中包含有三个过程:

(1)从  $\epsilon$  到  $A$ ——科学基本公理  $A$  是以经验  $\epsilon$  为基础的,“但是在  $A$  同  $\epsilon$  之间不存在任何必然的逻辑联系,而只是一个非必然的直觉的(心理的)联系”;

(2)从  $A$  到  $S(S', S'', \dots)$ ——由基本公理推出个别命题  $S$ ,则是逻辑的道路;

(3)从  $S$  到  $\epsilon$ ——用经验  $\epsilon$  验证个别结论  $S$ ,又不是逻辑道路,“这一步骤实际上也是属于超逻辑的(直觉的),因为  $S$  中出现的概念同直接经验  $\epsilon$  之间不存在必然的逻辑联系”.爱因斯坦的图式

形象地指出了直觉的直接性。

从本世纪初普朗克(M. Planck, 德国, 1855—1947)提出量子说到 20 年代海森伯(W. K. Heisenberg, 德国, 1901—1976)和薛定谔创立量子力学, 物理学中的一些基本概念发生了重大的变化. 这些新概念的产生, 物理学家普遍把它归结为直觉的结果. 海森伯认为, 科学家“由于大量占有实际现象的材料, 从而使他有可能直观地理解现象之间的联系, 而不是从这些现象形式地推导出其间的关系”。

苏联著名理论物理学家福克(B. A. Фок)说:“伟大的以及不仅是伟大的发现, 都不是按逻辑的法则发现的, 而都是由猜测得来; 换句话说, 大都是凭创造性的直觉得来的。”

**突发性** 直觉是一种潜意识思维。“突然涌现”是它另一面的显著特点. 当人们在认识和思考某个问题时, 头脑中原先储存的某些信息在无意识状态下自觉地经过思考、加工而突然沟通时, 就产生了认识的飞跃, 表现为一个意象、一个概念、一个命题在脑海中的突然出现, 对某一问题的突然领悟和突然解决. 真似“忽如一夜春风来, 千树万树梨花开”. 哲学家费尔巴哈(L. A. Feuerback)幽默地说过这样的话:“灵感是不为意志所左右的, 是不由钟点来调节的, 是不会依照预定的日子和钟点迸发出来的。”

许多著名的科学家, 从其亲身感受的创造性思维的经验出发, 对直觉的突发性有着十分深刻的体会。

爱因斯坦的好友贝索, 曾叙述过爱因斯坦对狭义相对论创立过程的自我介绍:“他告诉我, 一天晚上, 他躺在床上, 对于那个折磨着他的谜,\* 心里充满毫无解答希望的感觉, 没有一丝光明. 但,

---

\* 指关于同时相对性问题。

突然黑暗里透出了光亮,答案出来了。”

爱因斯坦在创立广义相对论时,同样感受到直觉的启示,他在后来的回忆中说:“一天,我坐在伯尔尼专利局的椅子上突然想到:假如一个人自由落下时,他决不会感到自身的重量,我吃了一惊,这个简单的思想实验给我打上了一个深深的烙印,这是我创立引力论的灵感。”

德国物理学家亥姆霍兹(H. Helmholtz, 1821—1894)说,在对问题作了各方面的研究以后……“巧妙的设想不费吹灰之力意外地到来,犹如灵感”。

德国著名数学家高斯(C. F. Gauss, 1777—1855)说:“像闪电一样,谜一下子解开了,我自己也说不清楚是什么导线把我原先的知识和使我成功的东西连接了起来。”

20世纪法国大数学家阿达玛(J. Hadamard, 1865—1963)说:“有一次,在一阵突发的喧哗声中,我自己立即毫不费力地发现了问题的解答……根本不在我原先寻找这个解答的地方。”

美国著名科学家阿西莫夫(I. Asimov, 1920— )这样谈到英国科学家瓦特(J. Watt, 1736—1819)发明新型蒸气机的情况:“1765年初的一个星期日,瓦特独自一边思索一边散步,突然,一个想法在他脑海里出现,他不由得站住了,他发现,活塞每上下运动一次,气缸都要冷却一回,这样蒸气就被浪费了,因为第二次进入的蒸气首先要加热汽缸,待汽缸本身的温度升高后,才能推动活塞,想到这里,瓦特急忙回到自己工作的地方,开始制作新型蒸气机。”瓦特发明冷凝分离器等对蒸气机作出了重大的改进。

---

\* 关于蒸气机的发展过程及瓦特的重大贡献较详细的情况,请参阅本丛书《求异》一册。



著名的德国物理学家海森伯(W. K. Heisenberg, 1901—1976)在成功地建立了矩阵力学后,一直想用数学公式去描述矩阵力学中根本没有的轨道、径迹之类的概念,总是不得成功.有一次,他又冥思苦想到深夜,实在想不出来,就信步走出了哥本哈根的研究所.当夜天气晴朗,星光灿烂,当他走到附近的一个公园时,被寒冬的夜风一吹,突然想起了去年(1926年)春天与爱因斯坦会见时的情景,记起了爱因斯坦对他说的话:“……在原则上,试图单靠可观察量来建立理论,那是完全错误的.实际上,恰恰相反,是理论决定我们能够观察到的东西……只有理论,即只有关于自然规律的知识,才能使我们从感觉印象推论出基本现象.”海森伯茅塞顿开,他觉得不应当设法去描述电子径迹,从而使理论适应于观察到的现象,应该是理论本身决定什么东西能被实验观察到.想到这里,他马上返回研究所去进行计算,很快得出了著名的测不准关系式:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2\pi}.$$

## 2. 直觉的基础

虽然产生直觉的逻辑机制还有待深入研究,但直觉所显示出来的悟性的突然涌现和直接洞察矛盾结症的本领,实际上决不是虚无飘渺、毫无基础的.它是科学家长期科学实践中培养起来的一种能力的反映,也是必须以大量的观察、实验和科学知识为基础的.

爱因斯坦说:“物理学家的最高使命是要得到那些普遍的基本定律,由此世界体系就能用单纯的演绎法建立起来.要通向这些定律,并没有逻辑的道路;只有通过那种以对经验的共鸣的理解为依据的直觉,才能得到这些定律.”这里,爱因斯坦明白地告诉人们,

虽然从经验到普遍定律的飞跃,不是通过固定的归纳法程序完成的,而是凭借着直觉,但直觉的产生必须以对经验的共鸣的理解为依据。爱因斯坦正是用直觉去填补那个他认为不能用逻辑来填补的感觉经验与普遍定律之间的鸿沟的。

当代美国著名教育心理学家布鲁纳说,直觉思维“总是以熟悉牵涉到的知识领域及其结构为根据,使思维者可能实行跃进、超级或采取捷径”。

因为科学是理性的事业,科学理论是逻辑思维的结晶。在科学发现的探索中,只有当经过相当长时间的有意识的思考和追求后,才会在某一刻自发地或因意外的触动引起对经验的共鸣的理解而突然领悟。

美国著名教育家兰本达教授在他的《物理学家是怎样工作的?》一书中写道:“理论物理学家,在他们的生活中长达几周甚至几个月,确确实实坐在那里冥思苦想。他们要阅读所有与他们的课题有关的资料,要简明扼要地与实验物理学家交谈,还要和其他理论物理学家进行切磋探讨。经过各方面长期的实践检验,那令人难忘的日子、难忘的时刻终于来到了。在那一瞬间,茅塞顿开,所有的疑点都有了归宿。物理学家们欢欣鼓舞,惊叹不已:‘哎呀!理所应当,多么明显!’但是直到那一瞬间,这一切对世人来讲并不是明显的。”兰本达的话,对物理学家们的艰辛工作和突然的领悟作了十分生动的描绘。

这也正如美籍华人物理学家杨振宁教授在谈到灵感时所说的:“‘灵感’当然不是凭空而来,往往是经过一番苦思冥想后而出现的‘顿悟’现象。”

举个通俗的比喻,科学直觉的产生就像许多经验丰富的医生作出的诊断一样,由于他们积累了许多疾病的表象和特征,因此当

观察到病人的某种症状时,很快就能正确地作出判断、开出治病的良方。

很难想象,一个基础知识浅薄,缺乏实际积累、思维能力低下的人,能不断涌现出许多深邃、独特的直觉来,恐怕更多的只会得出许多谬误百出的错觉而已。

科学史上许多著名科学家的工作及他们的发现、发明成功的事例,同样可以雄辩地说明这一点。

**攸勒加** 这是阿基米德(Archimedes, 古希腊, 约前 287—前 213)在洗澡时获得灵感,冲出浴室时喊出的声音,意即“我想出来了!”

这个故事广为流传,表面看来,阿基米德的灵感得之偶然,事实上,不仅他已长时期思考着这个王冠问题,而且就在浴缸里获得灵感时,也是在经过了以已有科学知识为指导,进行了迅速而严密的推理后才得到的。据本迪克著《阿基米德》一书的记叙,阿基米德当时的推理如下:

“王冠和金块的重量相等,如果它们都是纯金,它们排出的水应该相等,假定说,金匠只用了部分金子,然后掺上银子,那么会怎样呢?”

“银子比金子轻,为了使王冠的重量和金块相等,就要多用些银子,金匠既然多用了银子,那么它占的地方是不是也应该更多一些呢?假使王冠是用金子掺银子制成的,它就会比纯金块大一些,因此它所排出的水也会多一些。”

阿基米德推论至此,才茅塞顿开,大彻大悟,高兴得忘了穿衣,口喊“攸勒加”跑到街上去了。

倘若阿基米德没有对金王冠的掺假苦苦思索,倘若阿基米德没有具备足够的知识和经验,只像人们通常的洗澡一样,是不会有

新的领悟的！

阿基米德一直认为，要获得科学知识，是一点也不能离开逻辑推理的。他曾指出：纯粹的论证，自始至终根据推理得出的概念，是世界上最美丽的东西，没有什么能比得上它。

一直  
思考它们

物理学巨人牛顿(I. Newton 英国, 1642—1727)具有惊人的直觉。据继承牛顿作为卢卡锡数学讲座的惠斯顿(W. Whiston, 1667—1752)教授说，牛顿在数学上“有时几乎能用直觉去领悟，甚至无需证明”。在物理学上，他同样直觉地做出许多正确的判断。如他从物体的惯性对外加力所显示的抵抗的特性，一下子认识到它是由于物质内部存在的本质属性决定的，从而提出惯性质量的概念。他从各个纬度上物体重力的差异，一下子意识到物质内存在同一的本质属性，实际上又提出了引力质量的概念。然后，他通过水平面上磁力吸引铁块的匀加速运动和重力迫使物体以匀加速运动下降两个同类实验的类比，又一下子意识到惯性质量和引力质量相当，从而建立了牛顿运动第二定律。

牛顿的直觉与他持续地思考是分不开的。

牛顿的朋友本特雷(R. Bentley, 1662—1742)说：伊萨克·牛顿爵士告诉他，他的全部优点是耐心地思考。

牛顿在1692年12月10日写给本特雷的信中说：“……如果我以这种方法对公众做了任何事情的话，那只是由于勤奋和耐心的思考。”

长期以来广为流传着牛顿因看见苹果落地而发现万有引力，这只能作为一个美丽的故事。在魏斯特法尔(R. Westfall)所写的《牛顿传》中，提到有人问牛顿怎样发现万有引力定律时，牛顿回答说：“靠持续地思考它。”安德雷德(E. N. da C. Andrade)也提到牛顿

告诉一位提问者说：“搞出他的发现是‘靠一直思考它们’。在另一情况下他又说：‘我持久地把这个课题放在面前，一直等待第一个黎明一点点变得充满着阳光。’”如果牛顿不去持久地思考引力问题，即使看见树上掉下1百个、1千个苹果，也不会由此发现万有引力定律。

俄国著名音乐家柴可夫斯基说得好：“灵感全然不是漂亮地挥着手，而是如犍牛般竭尽全力工作时的心理状态。”这正是对牛顿工作的写照。

闪光的  
条件

茫茫夜色中划破长空的一道闪电，是当两块云聚积了足够的电量，靠近到某个机会时引起的突然爆发。直觉，就像思维中的一道闪电，只有当具备了足够的实践经验和知识水平时，才会引发出耀人的光芒。

美国物理学家、1979年诺贝尔奖获得者温伯格(S. Weinberg, 1933— )说：“科学的直觉是建立在经验之上的。”

法国大数学家阿达玛(J. Hadamard, 1865—1963)说：“在我们看来像是自发产生的灵感，其可能性实质上是我们以往的有意识工作的间接结果。”

这些话深刻地道出了直觉的产生、灵感的降临的真谛。

### 3. 直觉的科学功能

苏联科学史专家凯德洛夫说：“直觉、直觉醒悟是创造性思维的一个重要组成部分”，“没有一个创造性行为能够脱离直觉活动。”

直觉在科学认识中的功能，主要体现在这样几方面：

## (1) 在创造性阶段提出新思想

科学理论是以广泛的事实材料为依据的,但材料本身并不是一个演绎性理论的出发点.爱因斯坦(A. Einstein, 德国, 1879—1955)说:“从经验材料到逻辑性演绎以之为基础的普遍理论,在这两者之间并没有一条逻辑的道路.”尤其是在科学发展的各个重要的关键性阶段,面对着已经积累的丰富的材料,要从特性中找到共性,往往需要科学家的直觉,它仿佛起了沟通经验材料到逻辑理论的桥梁作用.只有有着深邃直觉的科学家才能在这种孕育着创造性契机的阶段上提出新思想、作出新发现.法国物理学家德布罗意(L. de Broglie, 1892—1986)说:“……只有当科学家表现出所谓想象和直觉的能力,也就是摆脱严格推理的桎梏的能力,从而取得冒险的突进时,它才会达致辉煌的成就.”被尊为量子论之父的德国著名物理学家普朗克(M. Planck, 1858—1947)在自传中谈到创造性的科学家必备的条件时说:“对新观点的一种活跃的直觉想象力,这些新观点不是演绎得出的,而是通过艺术家一般的创造性想象而得出的.”

下面,让我们通过重温爱因斯坦的光量子假设,领会一下直觉在提出创造性思想上的作用.

**光量子假设** 德国物理学家赫兹(H. R. Hertz, 1857—1894)于1887年发现光电效应现象后,在近20年时间里,经过不少科学家的研究,积累了许多经验材料,但仅是总结出几条实验规律而已.\*当普朗克于1900年提出了量子说后,许多物理学家(包括普朗克本人)还在量子大门前徘徊犹豫时,爱因

\* 关于光电效应的实验规律,请参阅本丛书《猜想与假设》-册.

斯坦立即直觉地感到光的量子性,于1905年创造性地提出了“光量子”的新概念,\* 迅速揭示了笼罩在光电效应现象上的阵阵迷雾,建立了正确的逻辑性的理论.

爱因斯坦的光量子假说,完全不同于早期牛顿提出的微粒说.光量子的运动不遵守经典力学的规律;光量子与电磁波一样,在真空中有相同的恒定的传播速度;光量子的静质量为零;光量子与物质作用时,能把整个能量传递出去.

爱因斯坦的光量子假说,也发展了普朗克所开创的量子理论.普朗克的能量子假说还有不彻底、不完备的地方.他仍坚持电磁波在本质上是连续的,只是假定当电磁波与器壁振子发生能量交换时,电磁能量才显示出量子性.爱因斯坦认为,光不仅在吸收和辐射时是量子化的,光的传播过程也是量子化的.这是爱因斯坦对量子理论的一个重大的推进.

由于在此之前,光的波动理论已发展得非常完善,在理论与实验上都已取得巨大成功,人们对光是一种波已坚信无疑.而对光电效应的实验实际上还很粗糙、很原始.美国物理学家密立根(R. A. Millikan, 1868—1953)谈到爱因斯坦光电方程时说:“那个时候实际上根本没有任何实验数据能够说明上述电位差(指遏止电压——注)与频率 $\nu$ 的关系是什么性质的,也不能说明在方程中假设的物理量 $h$ 是不是比普朗克常量 $h$ 更大的一个数……”又由于爱因斯坦在提出光量子假设的这篇著名的论文中,\*\* 首先将人们还毫无认识的波粒二象性的困难展现出来——虽然他本人当时尚不清楚

---

\* 光子(photon)这个名词,是美国物理学家刘易斯(G. N. Lewis, 1875—1964)于1926年提出的.

\*\* 论文名《关于光的产生和转化的一个启发性观点》,发表在德国《物理学纪事》第17卷上.

如何摆脱这一困难。

因此,在这种背景下爱因斯坦在自己并没有通过实验验证时能直觉地洞察到光的量子性是很不容易的,他提出的“光量子假说”无疑是一种“冒险的突进”。当时,曾遭到包括普朗克在内的不少物理学家的反对,普朗克认为爱因斯坦“在其思辨中有时走得太远了”,并一再告诫物理学家们应以“最谨慎的态度”对待光的量子说。

不过,后来的历史证明爱因斯坦从直觉得来的这个观点完全正确。美国著名物理学家赛格雷(E. G. Segre, 1905— )谈到爱因斯坦这篇文章时说:“这篇文章是物理学最伟大的著作之一。那个时候,科学家知道光是由电磁波组成的;若说确切无疑,莫过于此了。然而,爱因斯坦却对它产生了怀疑,进而揭示光的双重性物质波粒二象性。这一发现和与其相应的物质的二重性,成了 20 世纪最伟大的成就。”

奥地利著名物理学家泡里(W. Pauli, 1900—1958)谈到爱因斯坦的光量子假说时说,爱因斯坦仰赖了他那非凡的直觉能力。

## (2) 在科学研究方向上作出正确的抉择

科学研究有时像下棋、打仗一样,具有重大战略意义的一步固然离不开对整个棋局或战局的分析(包括双方力量对比、当前局势、外界影响以及最高决策者的心理、个性等),但在对各种可能方案无法先尝试一下并难于决定其孰优孰劣的情况下,走出决定性一步相当程度上也受着直觉的影响,这种直觉称为“战略直觉力”。科学家也需要依赖这种战略直觉力决定科学研究的发展战略,在研究方向上作出正确的抉择。



## 卢瑟福 的选择

卢瑟福通过对  $\alpha$  粒子大角散射的研究提出原子核式结构,与他在战略直觉指导下正确、果断地选择研究方向是分不开的。

当 1897 年汤姆生(J. J. Thomson, 英国, 1856—1940)发现电子并提出他的“面包夹葡萄干”的原子模型后,虽然佩兰(J. A. Perrin, 法国, 1870—1942)和长冈半太郎(H. Nagaoka, 日本, 1865—1950)等先后提出过其他原子模型(如佩兰的行星模型、长冈的土星环模型),但都只能算是“作业模型”,从未试图、甚至想过用什么方法去证实他们的模型。当时大家都承认汤姆生的模型,在 1911 年召开的第一届索尔维会议上,被物理界公认的权威洛仑兹(H. A. Lorentz, 荷兰, 1853—1928)还论述了汤姆生模型的种种优点。可以说,对于原子核的真实结构,还几乎没有物理学家认真地对待过。

卢瑟福却不然。他在 1906 年发现  $\alpha$  粒子的小角散射现象后,凭着他敏锐的直觉,深刻地认识到从粒子的偏离情况可以获得该物质结构的信息。因此在 1908 年就指示他的助手盖革和马斯顿做大角散射的实验。1909 年盖革和马斯顿果然在实验中发现了  $\alpha$  粒子穿透金箔时的大角散射现象,他们在卢瑟福授意下写成论文提交英国皇家学会。可是盖革和马斯顿却并不了解自己实验发现的深刻意义,论文发表后,又回到对小角散射的实验研究上去了。又只有卢瑟福紧紧抓住  $\alpha$  粒子的大角散射现象,把它看做了解原子内部结构与电场的手段,深入探索引起大角散射的内在原因,终于揭示了原子的有核结构的秘密。

此后,卢瑟福又盯着原子核,做出了其他方面一系列重大的开创性贡献。

回顾这段历史,卢瑟福自己也曾经非常诚挚地表示,他感到大惑不解的是,为什么其他物理学家没有发现,应当去研究原子核,

因为沿着这条道路可以在最短的时间内做出大量重要的贡献,这确实是令人深思的:发现核式结构的不是电子的发现者汤姆生,不是当时的物理界权威洛仑兹,也不是作为核式结构实验基础、首次发现 $\alpha$ 粒子大角散射的盖革和马斯顿,耀眼的桂冠落在卢瑟福的头上,这只能归功于卢瑟福可贵的直觉所选择的正确.正如玻尔(N. Bohr, 丹麦, 1885—1962)所指出的:“卢瑟福很早就以他深邃的直觉而认识到由复杂原子核的存在及其稳定性所带来的那些奇异的和新颖的问题.”

### (3) 启迪新的发现、发明

科学上的许多发现和发明,是科学家在下意识状态中,受突然降临的灵感的启迪而作出的.

与威耳逊云室相映成趣的是格拉泽(Donald. A. Glaser, 美国, 1926— )对气泡室的发明.

一杯啤酒  
与气泡室

威耳逊云室是让带电粒子通过过饱和气体,使沿途的气体分子电离,过饱和气以这些离子为核心形成雾迹而显示出粒子的径迹的.气泡室则反其道而行之,它是使带电粒子通过过热液体时在液体中形成气泡而显示出粒子的径迹的.

气泡室的发明是一次直觉的突然领悟.1952年,年轻的格拉泽正在密执安大学从事核物理的研究.一天,他工作之余,像往常一样倒了一杯啤酒,不过这次他没有马上喝个精光,似乎觉得很无聊,下意识地凝视着啤酒杯,盯着杯中的气泡.突然,他领悟到了一个想法,不久就研制成一种新型的径迹检测器——气泡室.

图64是气泡室的工作装置示意图.容器中充有液体,如液态氮.在1大气压下,它的沸点是20K.当压强增大到5大气压时,它的沸点就上升到27K.如果开始时保持温度在27K,压强超过5大

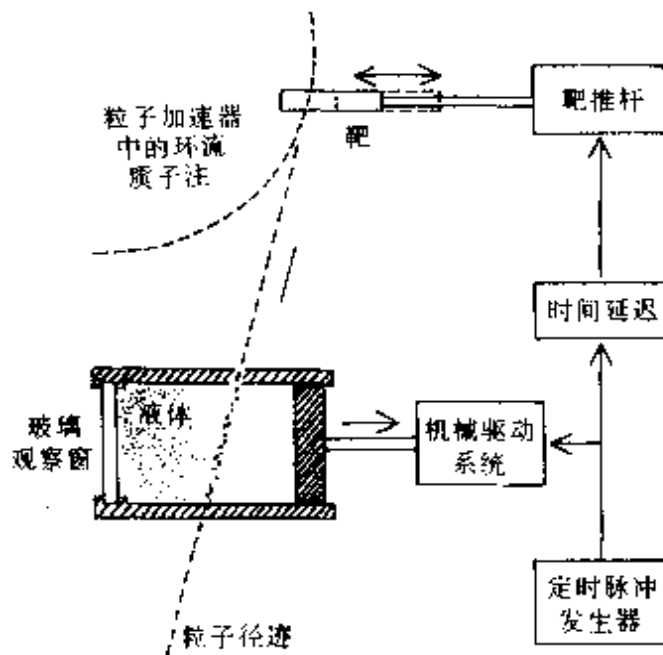


图 64 气泡室

气泡室内装有接近沸点的液体.当气泡室压力降低时,液体便处于过热状态.这时,沿带电粒子遗留下来的电离尾迹形成气泡.定时机构把靶移到加速器中的环流质子束中,因此,把粒子导入气泡室,在一刹那间,它对气泡的形成颇为敏感.

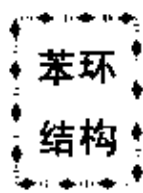
气压,它就不会沸腾.当来自加速器中的粒子(如质子)将注入时,通过驱动系统,在一二十毫秒内使容器内突然降压(约降到 2 大气压左右),容器中的液氢便处于一种“过热状态”,但它还没有沸腾.这种“过热状态”是一种亚稳状态(类似于云室膨胀后的过饱和蒸气),此时若有一带电粒子经过,在径迹上产生的离子,便立刻在过热液氢中作为形成气泡的中心,这些气泡在极短时间内(约 10 ~ 100 微秒)迅速长大到半径 100 微米以上,从而能清晰地显示出带电粒子的径迹.

气泡室比云室优越.由于液体的密度甚大于气体的密度(如液氢密度为  $0.0586 \times 10^3$  千克/米<sup>3</sup>,云室中空气在标准状况下的密度

仅为  $0.0013 \times 10^3$  千克/米<sup>3</sup>), 粒子经过时更容易电离, 形成的粒子径迹的清晰度高. 气泡室中的粒子经过后, 压强又恢复至正常高压状态, 气泡立即消失. 这样一次升、降压的周期较短(不到 40 毫秒), 也比云室的间断性好.

气泡室发明后, 立即被全世界的许多实验室使用. 1959 年, 在基本粒子物理的所有实验研究方面有一半以上使用了气泡室. 不少基本粒子就是在气泡室中被发现的. 格拉泽也因之荣获 1960 年度诺贝尔物理学奖.

来自一杯啤酒中气泡的灵感而使格拉泽走上了举世瞩目的诺贝尔奖的领奖台, 这是格拉泽在倾倒这杯啤酒时绝对没有想到的!

 德国著名化学家凯库勒(F. A. Kekule, 1829—1896)是原子价键理论创建中的一个中心人物, 他提出的苯环结构常被作为直觉的下意识活动中突然领悟而为人们津津乐道.

据说, 碳原子彼此键合成链的念头是凯库勒在旅行中突然想到的. 那是一个美好的夏夜, 凯库勒乘坐最后一班敞篷马车从伊斯林顿到克拉发莫旅行. 途中静寂荒凉, 他在颠簸中打起了瞌睡. 梦中, 他见到原子好像一条条银蛇在眼前跳跃、狂舞, 彼此绞合成链. 醒来后, 他就悟出了碳原子键合成链的图式. 以后, 并提出了苯环的结构(图 65).

1886 年, 德国柏林化学家啤酒聚会的日志中, 据此还画出了苯环的诙谐图案(图 66). 用猴子的手与手、手与脚或尾巴与尾巴相连, 形象地表示了单键或双键.

凯库勒关于碳原子价键的理论, 对有机化学的发展起了很大的推动作用. 在凯库勒提出苯环结构学说 25 周年时, 伦敦化学会指出: “苯作为一个封闭链式结构的巧妙概念, 对于化学理论发展

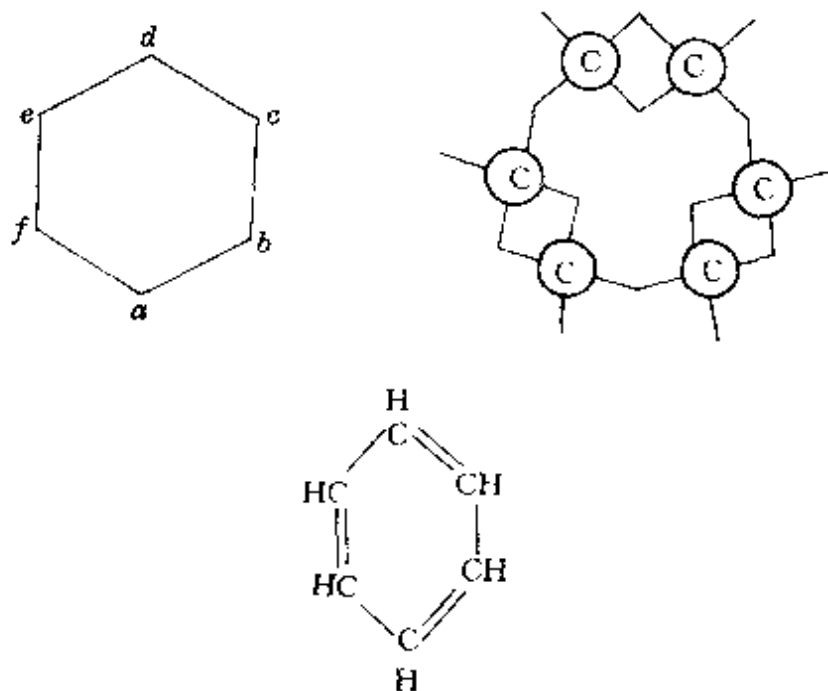


图 65 凯库勒关于苯的结构式

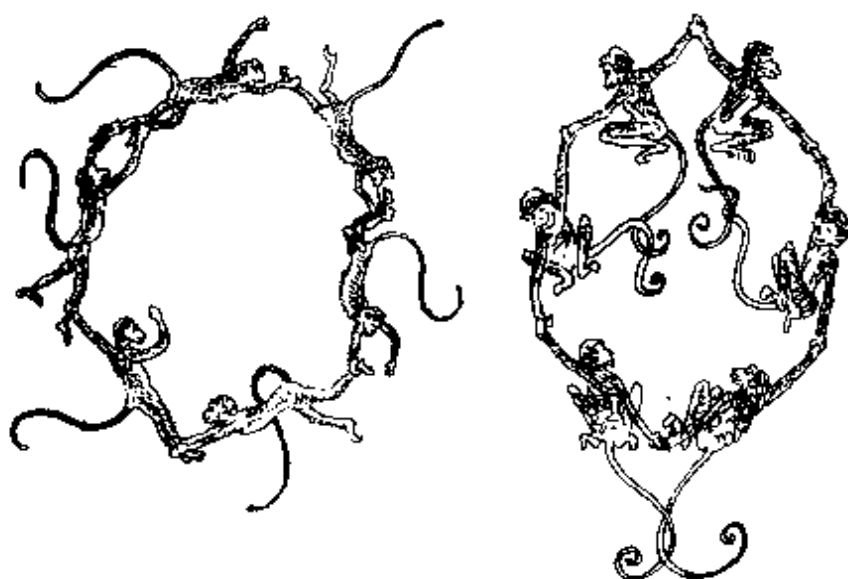


图 66 苯环的诙谐图案(示意为单键和双键交替)

的影响、对于研究这一类及其相似化合物的衍生物中的异构现象的内在问题所给予的动力,以及对于像煤焦油、染料这样巨大规模的工业的前导,都已举世公认。”

## 4. 直觉的局限性

由于直觉思维是一种非逻辑思维(或说得柔软些,是一种缺乏逻辑程序的思维活动),直觉的产生离不开个人的经验和知识基础,这就必然会使直觉带有一定的局限性,并非在任何直觉思维(无论是直观感觉或理智直觉)都能洞察事物的本质和规律,由直觉得来的结论也未必都是正确的、可靠的。

譬如,在科学发展的早期,人们对天体运动缺乏全面了解时,从站在地面上通过对太阳、月亮等天体的观察,直觉地作出太阳、月亮及天上的星星都绕地球运动的结论是不奇怪的。同样,当对力与运动的关系缺乏足够的认识时,从生活经验直觉地作出“力是维持运动的原因”也是十分自然的。爱因斯坦盛赞伽利略从理想实验得出的惯性概念后接着说:“这个发现告诉我们,根据直接观察所得出的直觉的结论不是常常可靠的,因为它们有时会引到错误的线索上去。”

即使是科学技术已十分发达的今天,仍然会由于多种因素导致人们作出错误的或片面的直觉判断。下面,我们先从几个有趣的直观感觉的错误谈起,进而介绍中学物理教学中容易产生的一些错误的理智直觉。

### (1) 直观感觉的错误

眼睛的“视错觉”是我们对外界事物直接感知时作出错误直觉的主要原因。这方面的例子收集起来,几乎能够汇编成可观的一册。下面选择几个较明显的例子与读者共餐。



不用直尺测量,请叫你的 10 位朋友分别判断一下,图 67 中的高度与宽度相比,哪边长些?

也许你的每个朋友都会自信地说,显然是高度一边较长些,这就错了!测量告诉我们,两边等长,你的朋友们在判断时,由于无意中把高度一边的各个间隔也加了起来,造成了直觉上的错误。

哪个大

再请你的这 10 位朋友分别判断图 68 中 A、B 两个椭圆的大小,这次,他们也许坚信 B 比 A 大些是不会有错了,然而,遗憾的是,你的朋友又错了,实际上 A、B 两个椭圆是一样大小的,只不过 A 的外面还有一个椭圆围着,从而造成直觉上的错误。

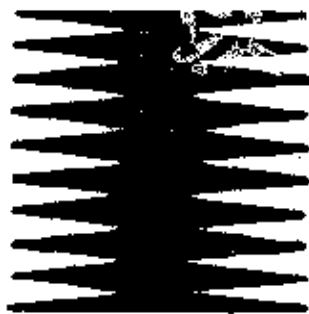


图 67 在这个图里,高度和宽度比较,哪个长些?

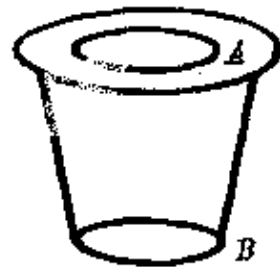
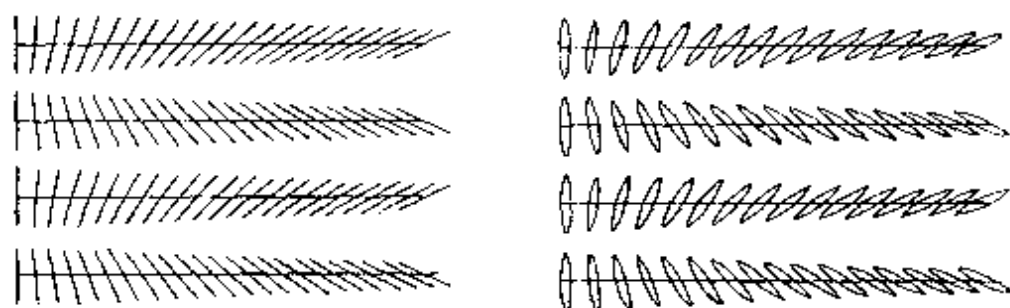


图 68 哪个椭圆更大些?是下面一个,还是上面放在里边的一个?

是否平行

当把图 69(a)和(b)让你的这些朋友判断其中的横线是否平行时,估计他们从眼睛得来的直觉都会告诉你“不平行”,不过,这回他们也许会再小心翼翼地用尺去比量一下,从直尺的移动中可以知道,又上了一次“视错觉”的当,这些直线完全平行。

关于“视错觉”的原因,有时是很难解释的,实际上,所有的“视错觉”的责任主要并不在眼睛,而在脑子,大多是由于人们在不知不觉的判断中无意中走入了迷途,生理学家证明“我们不是用眼睛看,而是用脑子看”,两千多年前古罗马诗人卢克莱修(Titus



(a)

(b)

图 69 是否平行

Lucretius Carus, 约前 99—前 55 年)就曾为眼睛作过辩护:

“我们的眼珠也不认识实在的本性，  
所以请别把这心灵的过失归之于眼睛。”

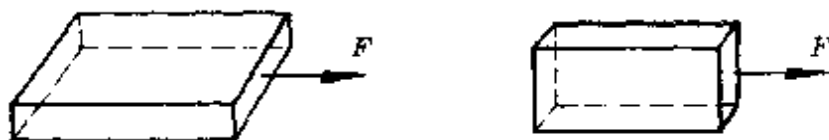
## (2) 理智直觉的错误

因知识的局限,对事物的真相缺乏深刻的认识,或面对新的、陌生的事物,仍然沿用人们以往的经验,“想当然”,或仅仅看到事物的表面现象,不去作深入、全面的分析,这是引起错误的理智直觉的重要原因.这方面的例子就中学物理知识范畴而言,已不胜枚举.



如图 70 所示,用一块长方体木块的不同侧面做接触面,比较它做匀速运动时的摩擦力.

由于摩擦力发生在两个物体的接触面上,在不作



(a)

(b)

图 70 不同面积的摩擦力



物理测量时,人们极容易凭直觉作出判断:接触面越大,摩擦力越大.

18世纪法国物理学家库仑(C. A. Coulomb, 1736—1806)在前人的基础上通过实验得出的结论是:摩擦力与作用于摩擦面的垂直力(即正压力)成正比,与外表的接触面积的大小无关.这就是常被称为库仑摩擦定律的内容.\*

后来的进一步研究指出,如果用高倍显微镜或光的干涉等方法检查物体表面的微观形状时,可以发现,即使经过很好磨光的表面,也还存在着许多凹凸不平的“峰”和“谷”.两个物体接触时,其实上面的物体只由下面物体的个别突出部分所支撑,绝大部分是不接触的,接触的这部分面积(称为真实接触面积)是异常小的,这部分面积几乎与外表接触面积无关,而与相互之间的正压力成正比.所以,对同一个木块,改用不同侧面放置时,由于正压力不变,真实接触面积不变,相互间的滑动摩擦力的大小也就保持不变了.



图 71 中  $A$ 、 $B$  两个小球,以相同的速率  $v$  分别沿着光滑水平面和光滑凹面运动,哪一个球先到达  $C$  点?

直觉的经验一是习惯于从路径长短着眼,二是认为  $B$  沿凹面前半段的加速作用跟凹面后半段的减速爬坡的作用相“抵消”,剩下的就是路径长短的因素了.于是得出了  $A$  球比  $B$  球先到达  $C$  的结论.

实际上,由于  $B$  球在凹面前半段的加速作用,使它在凹面前

---

\* 库仑摩擦定律还有两个内容,即摩擦力与滑动速度的大小无关;静摩擦力大于动摩擦力.实际上,早在库仑之前约 100 年,法国的另一位物理学家、工程学家阿蒙顿(G. Amontons, 1663—1705)已基本确认了这条定律.所以也有人称它为阿蒙顿-库仑摩擦定律.

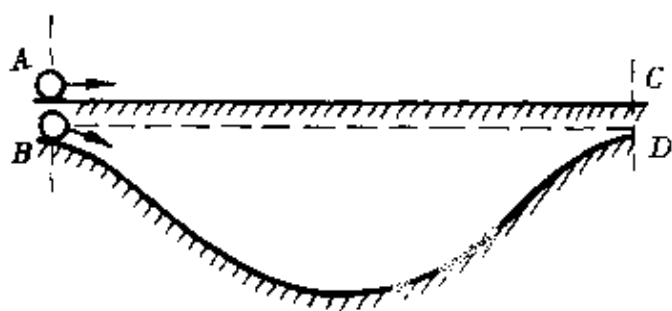
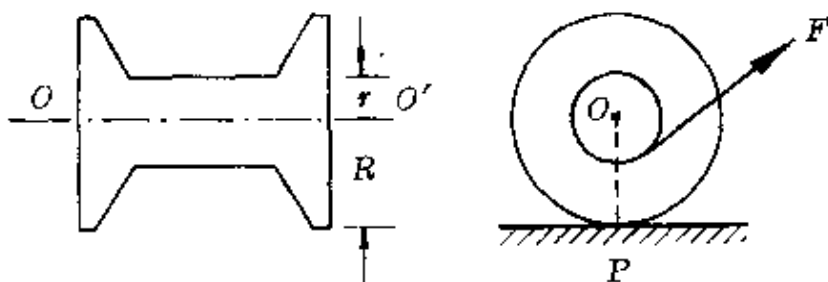


图 71 哪个球先到

半段和后半段的水平分速度都大于  $A$  球的速度, 因此正确的结论应该是  $B$  球先到达  $C$  点。



取一个缝纫机上使用的线轮, 绕上数十圈线, 放在水平桌面上, 当拉住线头使它在桌面上运动时 (图 72), 线轮是顺时针转动还是逆时针转动?



(a) 线轮剖面图

(b) 怎样转动?

图 72 线轮的滚动

人们习惯上总把转动看做仅是绕中心轴 ( $OO'$ ) 的运动, 因此根据图 72(b) 中拉力  $F$  对转轴  $O$  的力矩, 很容易直觉地得出线轮逆时针转动的结论. 实际上, 这个结论是不全面的。

线轮无固定转动轴. 纯滚动 (不打滑) 时, 线轮与地面的接触处  $P$  的瞬时速度为零.  $P$  点称为瞬时转动中心——即线轮的运动可以看成绕通过瞬时转动中心的轴 (过  $P$  平行于中心轴  $OO'$  的直线) 的运动。

当拉力  $F_1$  的作用线与水平地面的交点  $A$  落在  $OP$  线左方时(图 73),力  $F_1$  对瞬时转动中心形成顺时针向的力矩,线轮顺时针向转动;

当拉力  $F_2$  的作用线与水平地面的交点落在  $OP$  线右方时(图 74),力  $F_2$  对瞬时转动中心形成逆时针向的力矩,线轮逆时针向转动;

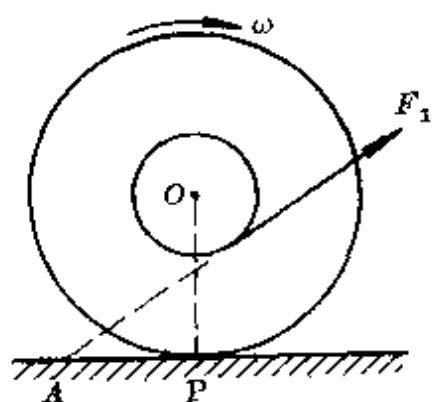


图 73

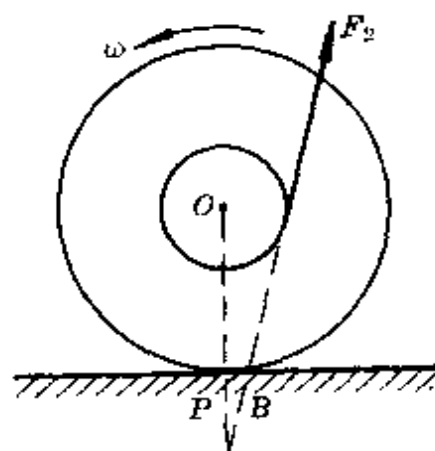


图 74

当拉力  $F_3$  的作用线与水平地面的交点恰落在瞬时转动中心  $P$  点时,拉力对瞬时转心的力矩等于零,线轮不转动而沿水平面滑动(图 75).

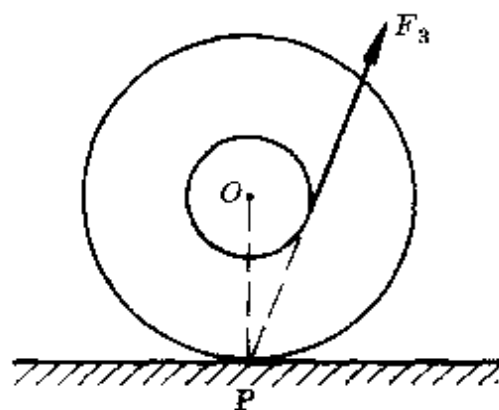


图 75

所以,这个问题中线轮的运动可以有三种情况.



如图 76 所示,坐在小船中的人手拿电风扇对着帆面使劲地吹风,想使帆船前进,有可能吗?

学过中学物理的读者,常由于对牛顿第三定律和

动量守恒定律有深刻的印象,会直觉地认为风扇、帆船系统的动量守恒,在内力作用下不会改变系统质心的位置,结论是无法推动帆船前进.

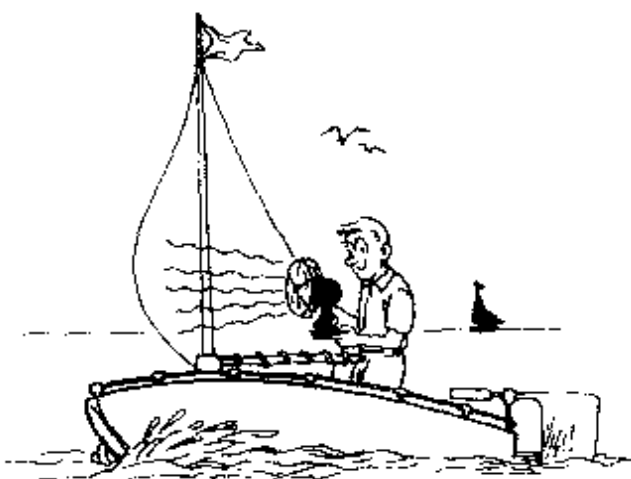


图 76 船能前进吗

实际上,这个方法是完全可行的.直觉的错误在于没有考虑空气的作用.这里应该把电风扇、帆船、空气分子作为一个系统.

设想开始时有一群分子静止在电风扇前.当电风扇的叶片转动时,这群空气分子获得动量  $p$  向帆面运动,根据动量守恒定律可知,在这群空气分子向帆面运动过程中,电风扇和帆船得到的动量是  $-p$ .

假设空气分子的动量方向垂直帆面,与帆面做完全弹性碰撞,则空气分子与帆面相碰后保持动量大小不变反弹.在这次碰撞中,空气分子的动量变化为  $\Delta p_1 = -p - p = -2p$ ,因此电风扇和帆船获得的动量为  $2p$ ,方向与空气分子碰前的动量方向相同(图 77).

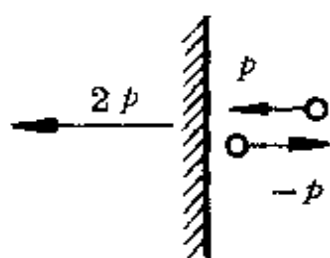


图 77

所以,用电风扇对着帆面吹风时,船最终可以获得的动量为

$$\Delta p_2 = 2p - p = p.$$

其方向就是吹风的方向.于是,帆面就可以在电风扇的吹动下不停地前进.

美国的波音 737 飞机上的“蚌壳”反推器,就具有类似的特性.

楼上、楼下的煤气

从同一根管道里、相同孔径的孔中喷出的煤气,楼上的孔中喷得“急”,还是楼下的孔中喷得“急”?

许多人会不假思索地回答,楼下的煤气喷得“急”.生活中常见的自来水的喷射,使他们“想当然”地作出这个直觉的判断.

可是,正确的结论却正好相反.

从孔中喷出的流体的缓急程度,决定于孔内外压强差的大小.压强差越大,喷射得越“急”.如图 78 所示的煤气管,上、下出口处 A、B 的内外压强差分别为

$$\begin{aligned} \Delta p_A &= p_A - p_0, \\ \Delta p_B &= (p_A + \rho gh) - (p_0 + \rho_0 gh) \\ &= (p_A - p_0) + gh(\rho - \rho_0). \end{aligned}$$

式中  $p_0$  为外界大气压,认为 A、B 两处相同. $\rho$  为煤气密度, $\rho_0$  为空气密度.由于  $\rho < \rho_0$ ,因此  $\Delta p_B$  中的第二项为负值.所以

$$\Delta p_A > \Delta p_B.$$

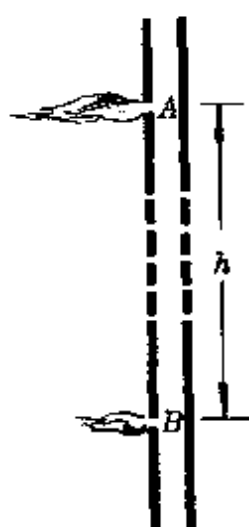


图 78

这也就是说,从楼下煤气管道中喷射煤气时,管口内外的压强差反而比楼上管道中喷射煤气时的压强差小,因而楼下煤气反而不如楼上的火苗大.

直觉固然十分可贵,它在科学技术史上确也功不可没.但由直觉得来的往往只是一种启发性的观点或思想,最终形成理论或完成发现、发明大业的还得依靠理论思维.邦奇说得好:“荒谬的是有人以为对于发明者来说,直觉超越于逻辑之上,如果事先不具备知识,事后不作逻辑加工,则不可能作出科学发现或技术发明.”

## 四、不同思维方式的渗透与互补

前面分别对三种思维方式作了介绍,实际上,人们思考问题时决不可能单独地只用某一种思维方式,常常是各种思维方式互相渗透、交织在一起的.形象思维中包含着抽象思维的因素;抽象思维也离不开形象思维;直觉的顿悟又往往伴随着形象思维和抽象思维的过程随时显露出来.前面提到的卢瑟福行星模型、威耳逊云室等事例,是在实验或自然现象的形象基础上,激发起科学家的想象力,并经过抽象思维所作出的合理的检验和创造性的设计才得以完成的.许多理想实验,本身就是形象思维和抽象思维的结晶.它们的诞生和作出解释,又都是“长期积累,偶而得之”的结果.

各种思维方式的渗透与互补,可以说是人类思维活动的一大特点.无论是科学研究、创造发明、物理教学乃至许多日常问题的处理,我们是很难把它们简单地归结为仅受着某一种思维方式的支配.

读者往下阅读时,请注意体会.

### 1. 对落体运动的认识

在物理学史上,伽利略从对落体运动的研究所建立的运动理论,是奠定经典力学基础打下的第一根桩.如今,几百年过去了,亚里士多德的理论早已被人们抛弃.不过,围绕落体运动,考察一下

教学中的思维认识过程,却是十分有意义的.

来自直觉  
的结论

如果对刚升入高中的学生作一次问卷调查:轻重不同的两个物体,从同一高度放手下落,哪一个物体先落地?也许会有超过90%以上的人认为重的物体先落地.千万不要认为这是他们受了亚里士多德的影响.因为,亚氏为何人,学生们可能很不了解.其实,这完全是人们从直觉中得来的结论,毫不奇怪.一个铅球与同样大小的一个泡沫塑料球从同一高度同时放手时,总是看到铅球先落地.我们可以随手取一本书和一页纸,从等高处同时放手,当听到“啪”的一声书本落地时,纸片还在空中悠悠然地飘荡着呢(图79)!

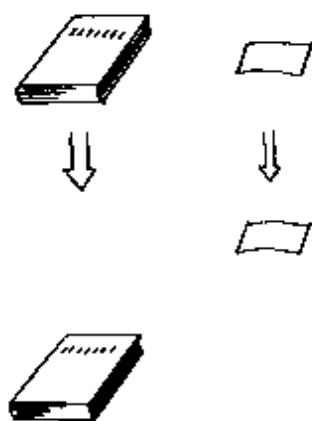


图 79 书本比纸片先落地

形象与  
抽象

从纸片的飘荡中,我们容易猜测到阻力的影响,为了尽量减少这个外界因素的干扰,人们懂得可把纸片捏成纸团试试.这一回,可以看到它们几乎同时落地,已初步验证了这个猜测(图80).

更精确些,我们可以让它们在无阻力的真空中下落,这就是著名的牛顿管(或称钱毛管)实验.在这样一个理想化的环境中,一切物体都会以同样的快慢下落(图81).

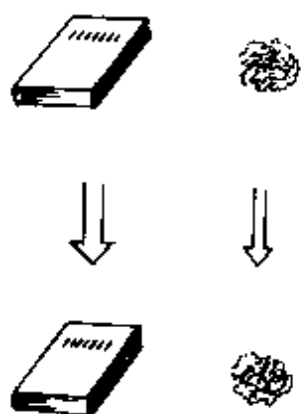


图 80 书本与纸团同时落地

接下来的问题是:从运动学观点考察一下,落体运动究竟是一种什么性质的运动?

可以设计这样一个实验:用一条纸带穿过竖直架稳的打点计时器(打点频率  $f = 50\text{Hz}$ ),下端悬一重物,上端用手拉住(图82).先开启

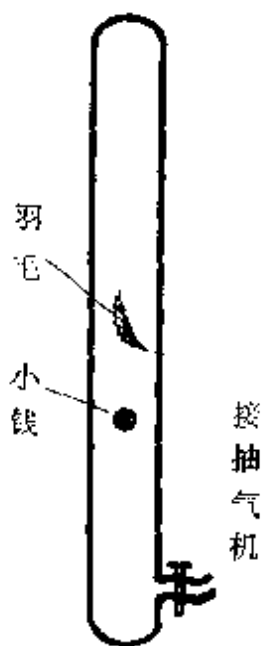


图 81 牛顿管

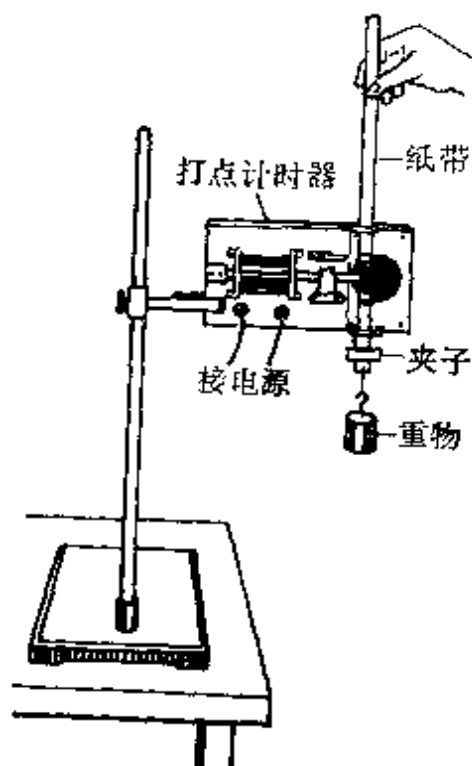


图 82 研究落体运动性质的装置

打点计时器,然后轻轻放手,让重物拖着纸带一起自由下落.这样就可以得到一条留有许多点痕的纸带.测量纸带上从任一点起,连续相邻的两点位移之差(图 83),发现它们在实验误差范围内都相等,即

$$s_2 - s_1 = s_3 - s_2 = s_4 - s_3 = \dots = \Delta s.$$

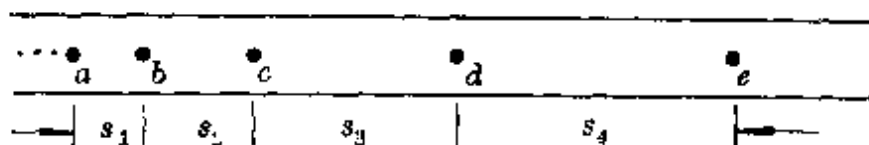


图 83 表示落体运动的纸带

这正好符合从匀变速直线运动规律推理而得的结果,可以判知,自由落体运动是一种匀变速运动.

由运动学公式  $\Delta s = aT^2$ ,利用上述纸带,根据打点间隔的时



间,立即可算出自由落体的加速度

$$g = \frac{\Delta s}{t^2} \approx 9.8 \text{ 米/秒}^2.$$

结合牛顿第二定律,可以再对存在空气阻力的下落运动作出判断:设铅球与塑料球下落时的阻力仅与球形状有关,令为  $f$ ,则铅球和塑料球的加速度分别为

$$a_{\text{铅}} = \frac{m_{\text{铅}} g - f}{m_{\text{铅}}} = g - \frac{f}{m_{\text{铅}}},$$

$$a_{\text{塑}} = \frac{m_{\text{塑}} g - f}{m_{\text{塑}}} = g - \frac{f}{m_{\text{塑}}}.$$

因为  $m_{\text{铅}} > m_{\text{塑}}$ , 所以  $a_{\text{铅}} > a_{\text{塑}}$ .

这正是我们平时看到重的物体落得快的原因所在.

一个常见的落体运动,经历了这样的“直觉——形象——抽象”的交织认识,才能透彻地掌握它的特性.

## 2. 反射定律和折射定律

**反射定律** 对于光的反射现象,人类很早就有了认识.中国古代在三四千年前,已盛行着利用水面反射成像的方法(图 84).

古希腊数学家欧几里德(Euclid,约前 330—前 257)在他的几何书中,已经得出了光的反射定律.

后来,亚历山大里亚的希隆(Heron,约前 150—约前 100)在他所著《反射光学》的书中,还以光程最短的原理论证了反射定律:光线在反射时所通过的路程  $SMS'$  比其他路程如  $SM'S'$  都短(图 85).从这一原理出发就可以得到反射角等于入射角的结论.因为若找出  $S'$  的对称点  $S''$ ,则必定有关系式



图 84 水镜

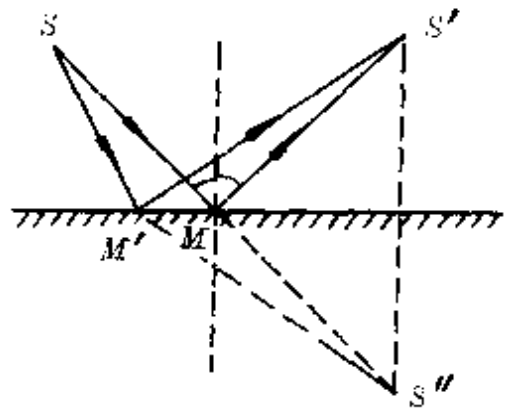


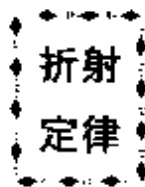
图 85 用光程最短原理讨论反射

$$SM + MS'' < SM' + M'S'',$$

即  $SM + MS' < SM' + M'S'$ .

希隆证明的依据,就是后来被公认的费马原理,不过在当时,希隆完全是凭直觉得来的,或者说只是一个合理的假设。

可见,反射定律的得出,既有着长期的生活形象的积累,也有着从直觉假设为基础的逻辑推理。



关于光的折射现象,虽然亚里士多德很早就描述过:水中的棍子好像是折断了的。

后来,托勒密(C. Ptolemaeus, 古希腊,约 90—168)还曾用图 86 所示的装置对光的折射现象作过实验研究:他在一个圆盘上装了两把能绕中心 S 旋转的中间可以活动的尺子,将圆盘竖直放置,一半浸入水中,转动两把尺子分别与入射线和折射线重合,测出光线从空气射入水中时对应着不同入射角的一系列折射

角,如下表所示.

入射角	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
折射角	0°	8°	15°31'	22°30'	29°	35°	40°30'	45°30'	50°

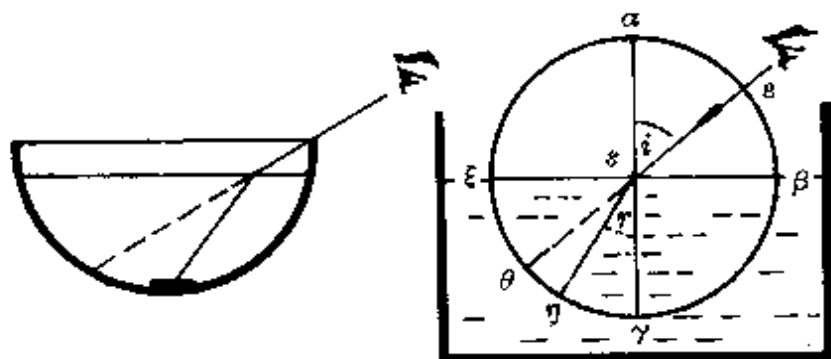


图 86 托勒密关于光的折射的实验装置

托勒密得出结论:折射角与人射角成正比.这个结论,在人射角较小时大体上正确,在人射角较大时,就有明显偏差.

托勒密所得出的结论,是以实验为依据所作的简单归纳的结果,从思维层次的角度上说,是在形象思维基础上,带有直觉的猜测作出的.

在托勒密后约 1500 年的漫长岁月中,许多科学家又作了多方面的尝试,直到 1621 年才由荷兰物理学家斯涅耳(W. Snell, 1591—1626)通过对实验数据的计算(如下表)才发现了其中的关系:入射角的正弦和折射角的正弦之比是个常数,即  $\frac{\sin i}{\sin \gamma} = \text{常数}$ .\*

入射角 $i$ (度)	折射角 $\gamma$ (度)	比值 $i/\gamma$	比值 $\sin i/\sin \gamma$
0	0	不确定	

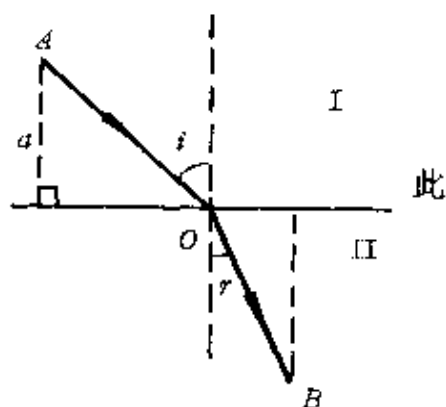
\* 用正弦函数表述的现代形式的折射定律是笛卡儿(R. Descartes, 法国, 1596—1650)在 1637 年首先提出的.

续表

入射角 $i$ (度)	折射角 $\gamma$ (度)	比值 $i/\gamma$	比值 $\sin i/\sin \gamma$
10	6.7	1.50	$0.174/0.117 \approx 1.49$
20	13.3	1.50	$0.342/0.230 \approx 1.49$
30	19.6	1.53	$0.500/0.336 \approx 1.49$
40	25.2	1.59	$0.643/0.426 \approx 1.51$
50	30.7	1.63	$0.766/0.511 \approx 1.50$
60	35.1	1.71	$0.866/0.575 \approx 1.51$
70	38.6	1.81	$0.940/0.624 \approx 1.50$
80	40.6	1.97	$0.985/0.651 \approx 1.51$

不过,斯涅耳没有作理论上的推导.后来,法国数学家费马(P. Fermat, 1601—1665)在 1657 年提出了“光在介质中传播时的光程取极值的原理”(后来被称为费马原理)后,才从理论上作出了证明.

折射定律的证明:如图 87 所示,设光从介质 I 折射入介质 II 时的入射角为  $i$ 、折射角为  $\gamma$ ,并设介质 I 的折射率等于 1,介质 II 的折射率为  $n$ .从 A 到 B 的光程为



$$L = \frac{a}{\cos i} + \frac{nb}{\cos \gamma} \quad *$$

因 A、B 两点在分界面上投影的长度不变,因

$$atgi + btg\gamma = \text{常数} \quad \text{①}$$

对  $L$  取微分,当光程最小时必须满足条件

$$\frac{dL}{di} = \frac{a \sin i}{\cos^2 i} + \frac{nb \sin \gamma}{\cos^2 \gamma} \cdot \frac{d\gamma}{di} = 0 \quad \text{②}$$

图 87 折射定律的证明 由①式得

$$\frac{a}{\cos^2 i} + \frac{b}{\cos^2 \gamma} \cdot \frac{d\gamma}{di} = 0.$$

将它与②式对照,即得

\* 在介质中的光程等于折射率乘以几何路程.

$$\sin i - n \sin \gamma = 0, \text{ 或 } n = \frac{\sin i}{\sin \gamma}.$$

这就是光的折射定律.

由此可见,从认识光的折射现象到从理论上得出折射定律,像其他许多定律所经历的过程一样,都是多种思维方式综合的结果.

### 3. 生物原型——新技术的钥匙

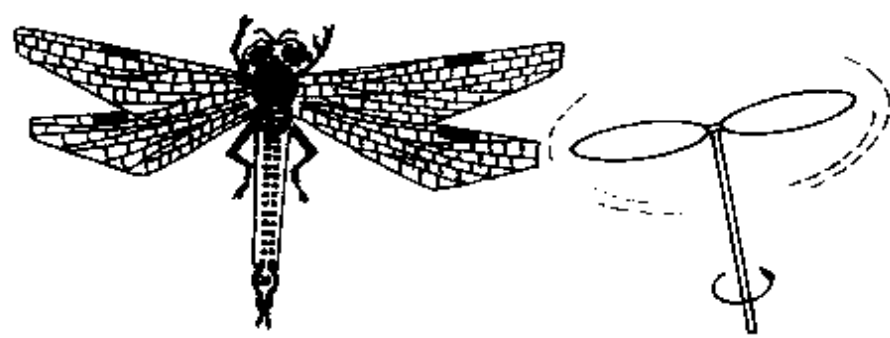
本节的标题,是仿生学上的一句名言.从技术角度而言,仿生学是生物学、数学、物理学和工程技术等学科边缘上的一门崭新的科学.从研究工作的思维着眼,则是形象思维和抽象思维(其中也渗透着直觉思维)的一次完美的综合.她通过对生物原型某方面的形象化的结构或功能特性的研究,借助数学分析,建立模型,抽象出它们之间的内在联系,然后有目的、有方向地将生物原理应用于工程技术上,对旧技术进行改革或形成新的创造与发明.目前,仿生学已在模仿生物的视觉、听觉、嗅觉、通讯、定位、计时、造型等各方面都有了很大的发展.

无论是从回顾仿生学的发展或剖析某一项仿生技术的研究与应用,我们都可以深刻地体会到,这里处处闪烁着人们多种思维互相辉映的光华.

外形与动作  
形象的模仿

仿生学的起步可以说是从对生物外形或动作形象的模仿开始的.

例如,我国古代模仿蜻蜓的飞行,制成了“竹蜻蜓”.它是用竹或木削成细长扭曲形薄片,在中间装一根主轴,用双手急搓主轴后,松开双手便会飞快旋转上升(图 88).18 世纪时传入美国后,发明飞机的莱特兄弟(W. Wright, 1867—1912 和 O. Wright, 1871—1948)在少年时曾怀着浓厚的兴趣仿制过“竹蜻蜓”.



(a)

(b)

图 88 中国古代模仿蜻蜓飞行(a)制成的竹蜻蜓(b)

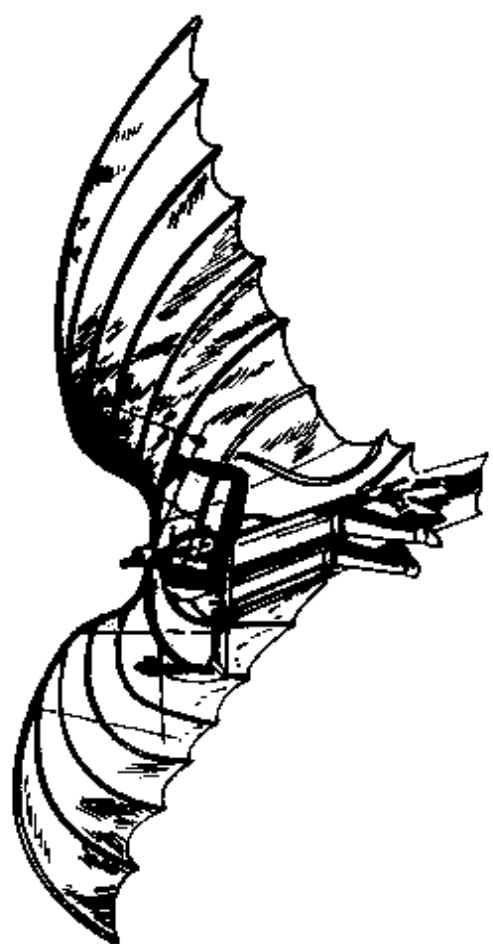
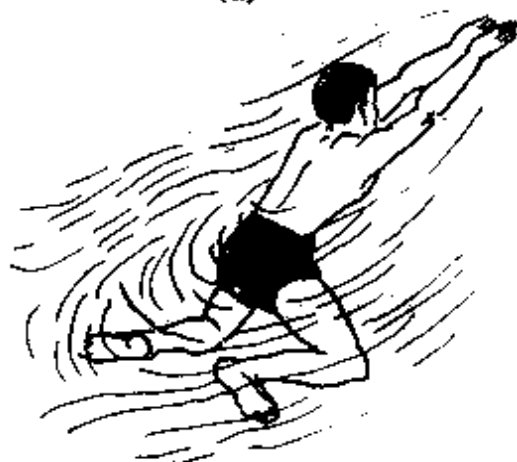


图 89 根据达·芬奇方案  
制成的扑翼机模型



(a)



(b)

图 90 青蛙的游泳姿态(a)与  
蛙泳(b)

据史料记载,我国在 1900 多年前,就有人用鸟羽绑在一起做

成一对翅膀,能滑翔百步之远.400多年前,多才多艺的意大利人达·芬奇(Leonardo da Vinci,1452—1519),根据对鸟类和蝙蝠的观察和研究,设计了试图用脚的蹬动来扑动飞行的扑翼机(图89).

游泳技术中的“蛙泳”,完全是人们模仿青蛙游泳的姿态创造出来的(图90).

潜艇和鱼雷的制造就是对鱼类的模仿(图91),而目前机器人的外观造型则是对人类自身的模仿(图92).

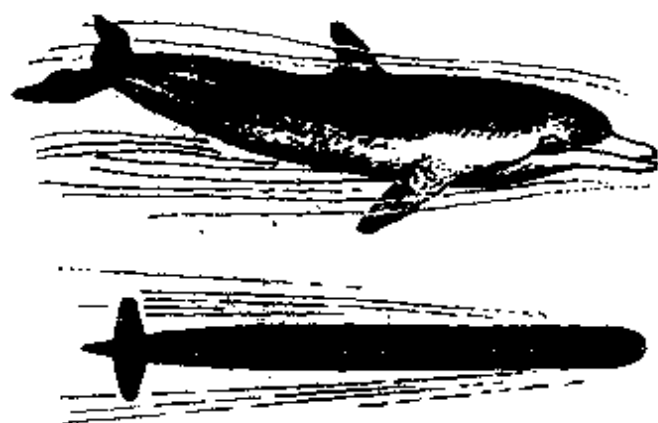


图 91 海豚和鱼雷

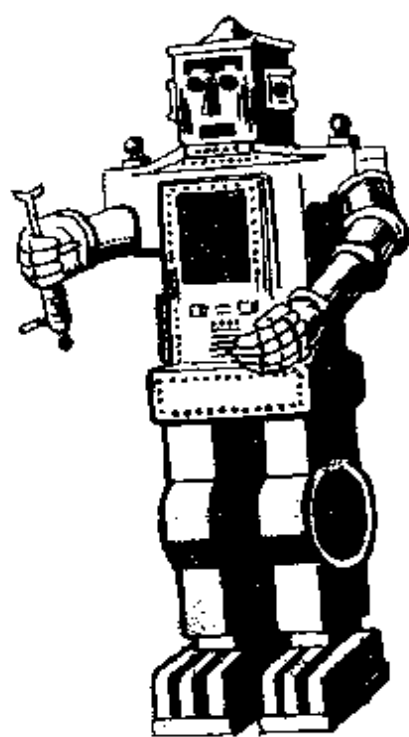


图 92 典型的机器人

英籍澳大利亚的著名科学家贝弗里奇(W. I. B. Beveridge, 1908— )说过:“很多人发现,把思想具体化,在脑海中构成形象,能激发想象力。”生物外形和功能特性在人们头脑中储存的形象思维,正是一种激发科学发明想象力的源泉.

**生物体机理  
的分析**

随着科学技术的发展,仿生技术也逐步地从外观形象、动作的模仿,上升到进一步对生物体各种功能机理的理性的分析。

例如,对鱼的流线型结构比例和运动中阻力进行测定.科学家对鲈鱼的分析指出,它的剖面形状相对长度为 3.6%,相对厚度为 28% (图 93).在风洞里的试验表明,鲈鱼采取了阻力最小的形状.海豚也具有类似的优良结构比例(图 94).

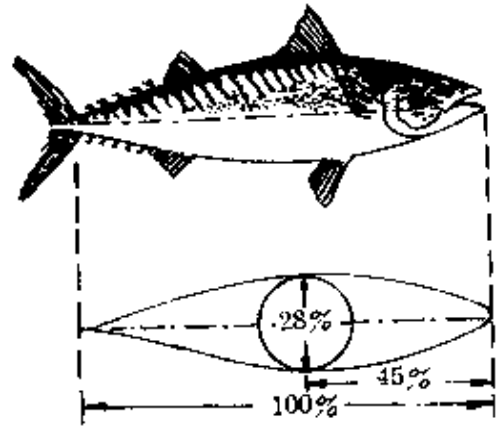


图 93 鲈鱼的流线型结构

研究中还发现,这种“游泳能手”的鱼,不仅有一个理想的流线型体形,它的皮肤、皮下肌肉还有着特殊的功能。

图 95 表示海豚的皮肤构造.它的皮肤分两层,外层薄而富有弹性,下面是乳头层或刺状层,在乳头下面有稠密的胶原纤维和弹性纤维联系,其间充满脂肪.皮肤的这种结构,像一个很好的消振

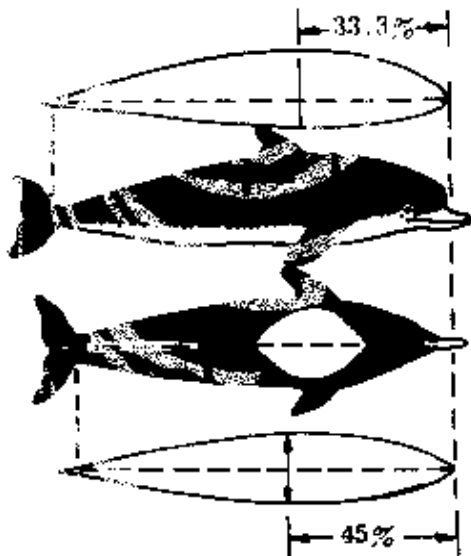


图 94 海豚的流线型结构

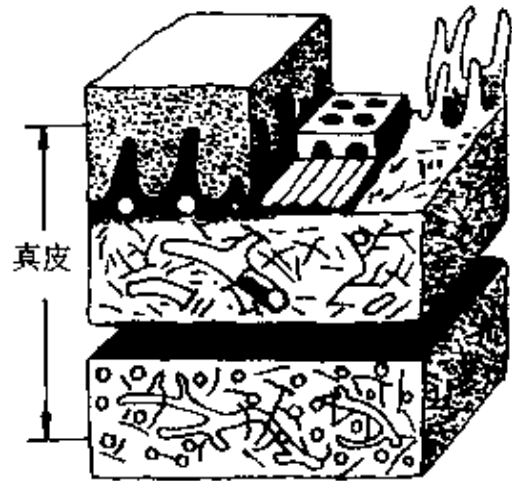


图 95 海豚皮肤构造模式

性纤维联系,其间充满脂肪.皮肤的这种结构,像一个很好的消振



器,可以起到使液流的振动减弱、防止湍流的发展的作用,因而使阻力明显减小。

此外,当海豚的运动速度很大时,还可依靠皮下肌肉的波浪式运动,帮助消除高速运动产生的湍流(图 96)。而这种湍流形成的

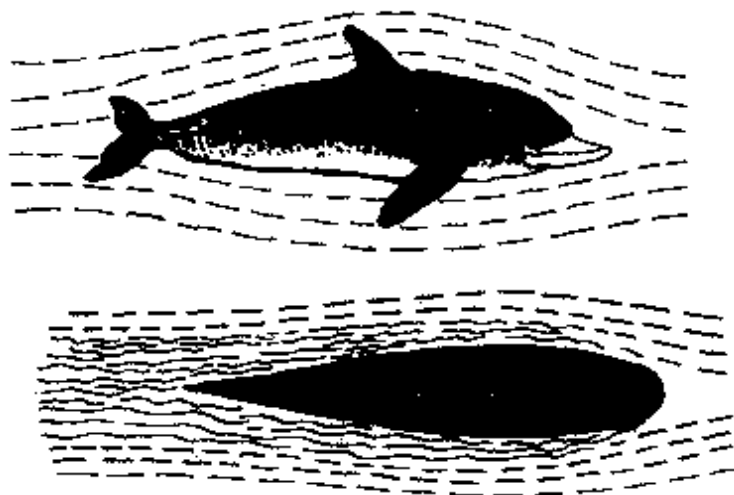


图 96 (a)海豚高速运动时表面流线平滑,不起湍流,运动阻力小;(b)具有流线体型的潜艇,缺乏海豚皮肤的特殊功能,表面仍会形成不小的湍流

阻力有时竟需消耗螺旋桨推动力的 90%。

又如,对会飞的昆虫翅膀的研究,发现它们在飞行中,翅膀的运动很复杂,迎角(翅膀平面和空气流所成的角)在不断变化(图 97)。有的昆虫,翅膀上有一种特殊的对抗颤振的装置(图 98);有的昆虫在飞行中,翅膀表面会生成一种波,用来增加推力和升力,或使身体绕轴翻转(图 99)。

蜻蜓、蜜蜂、苍蝇、象鼻虫等许多昆虫都有复眼,即它们的眼睛都由几十到几千个视觉单位(小眼)组成,这些小眼成蜂窝状聚在一起,它们的中心轴互成  $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$  的角度。这样,就使它们具有很高的时间分辨率(即时间分辨本领):一个物体放在人眼前,需有 0.05

秒的时间人眼才能看清轮廓,而苍蝇或蜜蜂等昆虫只需 0.01 秒就足够了.因此,在人眼看来是连续的动作(如电影中每秒放映 25 幅单镜头画面,人眼感觉到的是连续动作),这些有复眼的昆虫看来,仍是一个个分立的画面.因为它们观看运动的物体,是从一个小眼到另一个小眼,好像物体运动速度减慢了,所以它们在快速飞行中,依然能够分辨其他物体的形状和大小.

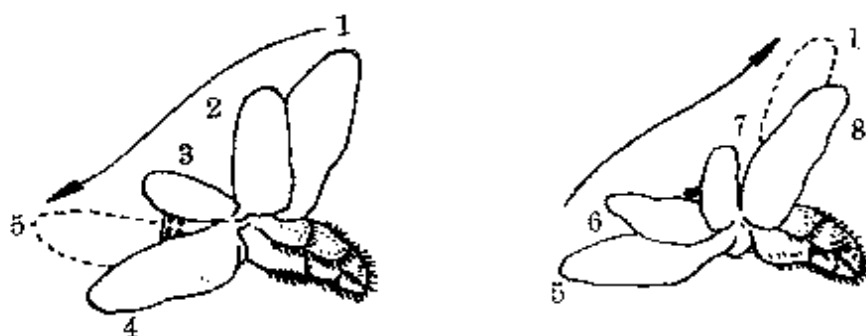


图 97 昆虫翅膀在 8 个基本位置上的倾斜度变化  
(箭头表示飞行翅膀的运动方向.左为落翅时,右为升翅时)



图 98 蜻蜓翅膀上的抗颤翅痣



图 99 飞行中的小星天蛾翅膀上的波

技术上的应用  
——形象与抽象的结晶

对生物机理的分析,为技术上的应用提供了依据和方向.

例如,根据鲑鱼流线型结构的比例,飞机设计师正设想一种机身仿鲑鱼形的喷气式客机

(图 100).

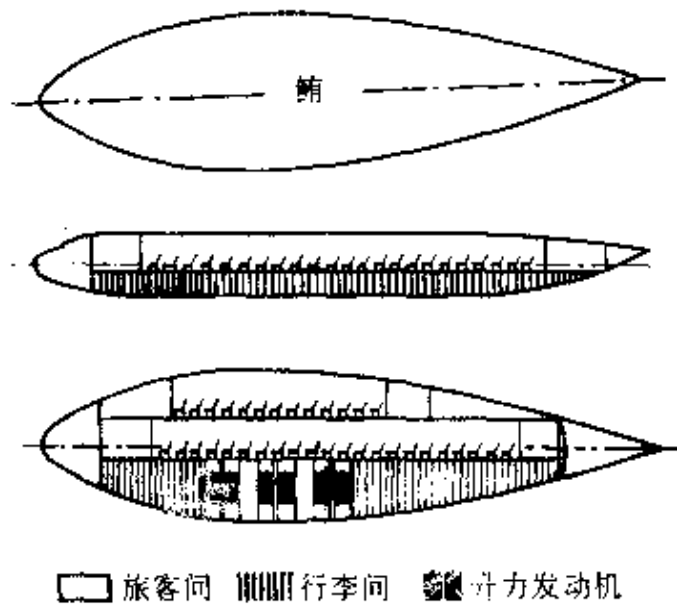


图 100 鲑鱼外形(上)和设想中把机身改成  
鲑鱼形的内部布置



图 101 人造海豚皮

了解海豚皮肤结构的奥秘后,人们已研制成人工仿海豚皮(图 101).这种皮由三层橡胶组成,总厚度 2.5 毫米.外层平滑,厚 0.5 毫米,模仿海豚的表皮层;中层有橡胶乳头,它们之间充满粘滞性的硅树脂液体,模仿海豚的真皮和脂肪;下层厚 0.5 毫米,它与模型体接触,起支持板的作用.当水的压力作用于人造海豚皮时,液体在橡胶乳头之间的流动起了消振器的作用,试验表明,覆以这种人造海豚皮的鱼雷,在水中运动时受到的阻力至少可降低 50% (图 102).

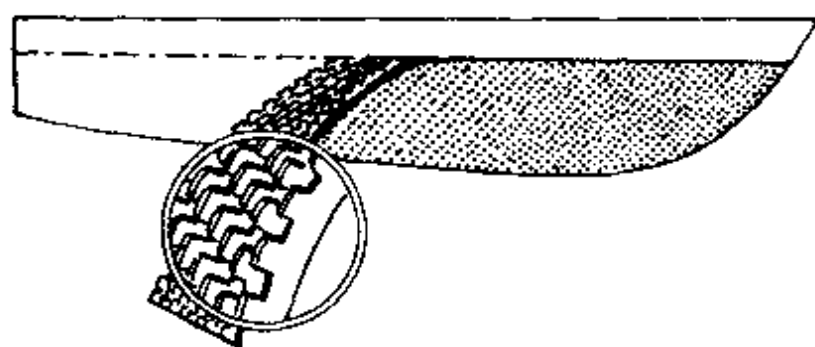


图 102 覆盖着人造海豚皮的小艇

通过对蜻蜓翅痣抗颤振作用的研究,已把它应用在飞机上,现代飞机机翼末端前缘也有类似的加厚区域或配重,用以消除颤振现象(图 103).

根据对昆虫飞行动力学的研究,第一架塑料做的蜻蜓翅膀仿昆虫飞机已成功地飞上了天空(图 104).



图 103 带抗颤振加厚区的飞机



图 104 模仿昆虫的飞机

模仿昆虫的复眼,人们研制出一种测量飞机对地速度的仪器——地速计(图 105).两个成一定角度的光电接收器,顺序接收地面上同一目标的光学信号,把这个夹角、信号时间差和飞行高度等数据送入计算机,便能指示出飞机(或火箭)对地面的飞行速度.

上述三方面的例子已经表明,无论是中学物理教学、科学发现还是应用技术上,各种思维形式总是交叉运用、互相补充的.

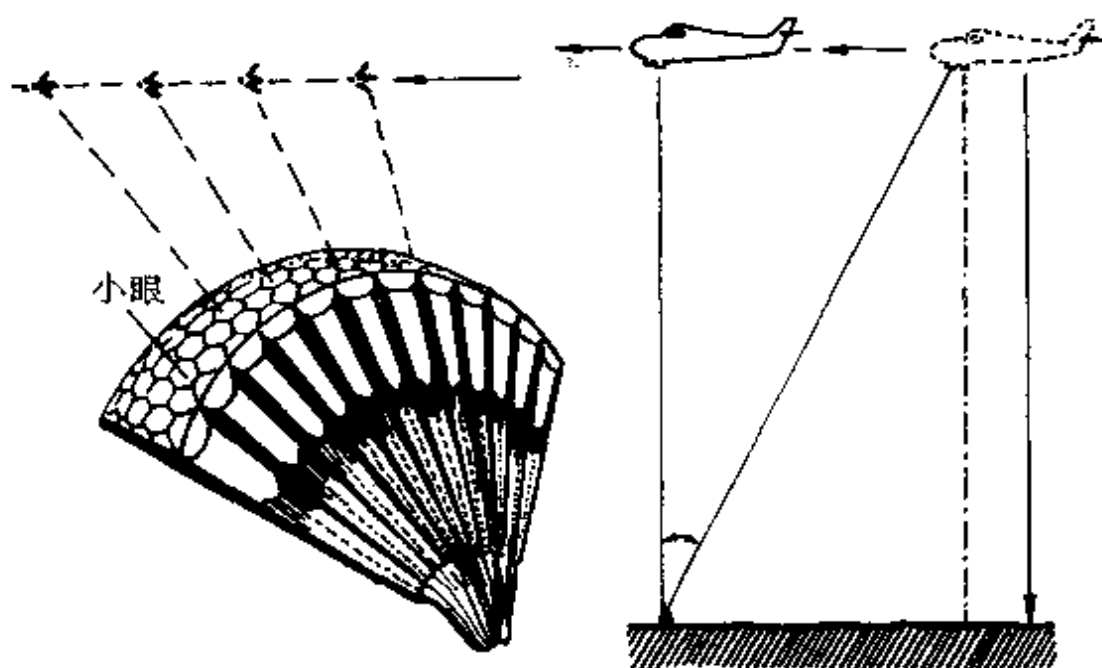


图 105 模仿象鼻虫复眼(左)的飞机对地速度计(右)

其实,人的思维活动(尤其是创造性的思维活动)本来就是十分复杂和灵活的,从来就没有单一的、刻板的模式.自觉地重视形象思维的人,他们的逻辑思维能力往往也较强.古今中外许多出类拔萃的奇才,往往集科学与艺术才华于一身.达·芬奇既是艺术大师,又是工程师、科学巨匠;科学泰斗爱因斯坦的逻辑思维深奥得叫人难以理解,他的小提琴拉得又极为出众.也许正是由于他们右脑形象思维功能获得了成功的开发,才促使他们左脑抽象思维功能得以淋漓尽致的发挥.


## 五、中学物理教学与思维训练

中学物理教学的目的,不仅仅是通过物理学习,能逐渐认识自然界物质运动的本质特征和普遍规律,还应从知识和技能的学习中,了解和掌握科学的思维方法(包括研究方法).这样,才能更好地从前辈科学家思维活动的轨迹中汲取智慧,得到启迪,有利于活化自己的灵感,开发潜在的智能.因此,在物理学习中,自觉地重视思维训练具有极为重要的意义.

### 1. 以形象思维为入口

人类思维的发展是从具体到抽象逐步上升的,也就是说,人们认识客观世界首先是用形象思维而不是用抽象思维.在中学物理教学中同样如此,形象思维可以作为进入宏伟的物理学殿堂的入口.

#### (1) 形象思维的教学功能

 经验表明,生动的直观总是容易引起人们注意并激发出求知的兴趣,而一旦引起兴趣,就可以转化为自觉学习、克服困难的动力.爱因斯坦说过:“兴趣是最好的老师.”

在物理教学中的直观,除了语言和图形(或模型)外,最重要的

则是物理实验.它能把物理现象(或物理过程)的本质特征鲜明、具体地展现出来.物理实验所产生的形象思维效果也最能激发人们的兴趣.这不仅是因为它所展示的现象生动,更在于它所蕴含着的内在的深刻原理是那样的刺激人们,使人们渴望着去探求它的奥秘.所以,形象思维能起着知识的先导作用.

例如,阿基米德小桶的实验(图 106),当石块浸入水中后,把从溢水杯中溢出的水倒入悬挂着的小桶时,弹簧秤重又恢复原来的示数.令人折服的现象真几乎会让你情不自禁地欢呼起来.

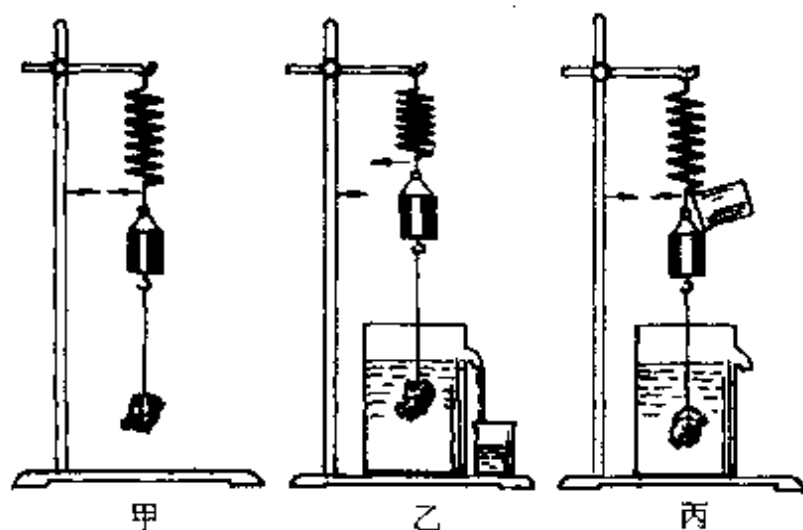


图 106 阿基米德小桶实验

图 107 中两个相等的弹性球的碰撞实验.当把  $A$  球偏离一个角度后放开,它回到原来位置与  $B$  球相碰后, $A$  球停下, $B$  球能摆到与  $A$  球原来高度几乎相等的地方.这两个小球仿佛有约在先地交换着运动,它所激发的惊奇感绝不亚于一次杂技表演那样的扣人心弦.难怪当年(1666年)在刚成立不久的英国皇家学会例会上表演时,曾迷倒过许多物理学家.

这些实验与中学物理中其他许多实验都极有趣味性,会自发地诱导着人们寻根刨底地追求下去.

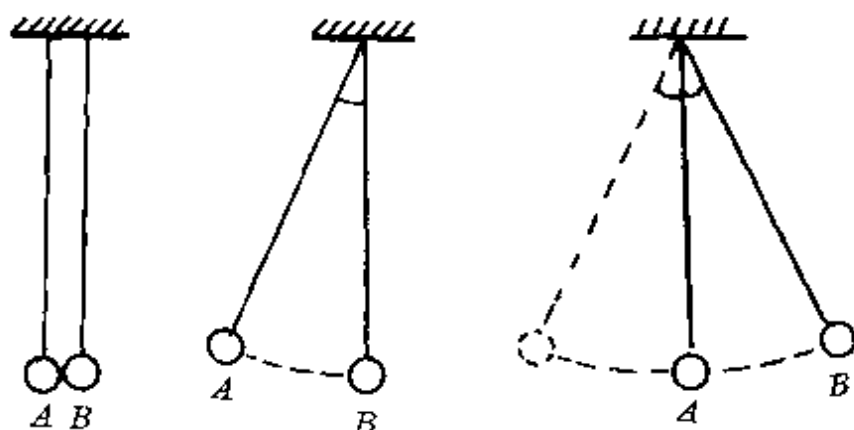


图 107 两个弹性球的碰撞

抽象的  
基础

形象思维不仅以它所引发的兴趣把你引进物理殿堂的入口,它还为你用抽象思维深入探求其中的奥秘打下基础。

无论是物理概念的引入、物理规律的得出或利用物理概念和规律所进行的推理、判断、论证等一系列抽象思维活动,借助直观的形象,可以使思维活动更加明晰,富有成效。



图 108 速度计

例如,瞬时速度是一个非常抽象的概念,教学中在引入平均速度后先建立感性认识,通过汽车上速度计的指针随车速的快慢不停地改变(图 108),说明它表示的是汽车在不同时刻的速度.再通过实验测量小车在某段时间内的平均速度,并逐渐缩短这段时间间隔,依次比较它们的平均速度,直到想象这段时间间隔无限小时,由平均速度所趋向于某一个确定的值,从而定义出瞬时速度。

用一个比喻,平均速度相当于计算按身高排列的一队人中某些人的平均身高,瞬时速度则相当于其中某一个人的身高.在这个



人前后较少的人数中计算出的平均身高,显然更接近于这个人的身高.

因此,做变速运动的物体在某个时刻(或某个位置)的瞬时速度,就是包含着这个时刻(或位置)在内、当运动时间趋于零时的极限.用数学式可表示为

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$

在  $s-t$  图上,从平均速度到瞬时速度的过渡,相当于从计算某两点间割线的斜率到计算其中某一点切线的斜率(图 109).

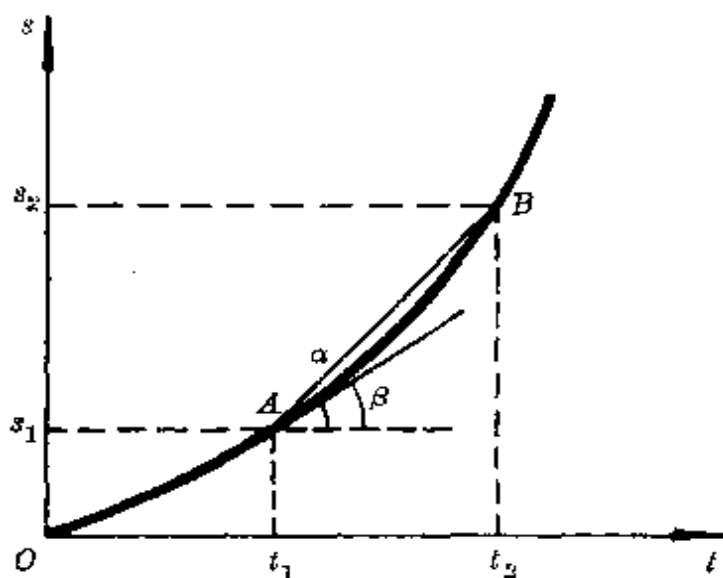


图 109 从割线到切线

在引入瞬时速度概念时所用的速度计实例、实验测量、比喻、图象等富有形象思维的手段,都为这抽象的概念铺垫了基础,使我们可以更深刻地认识和理解瞬时速度.

阿基米德小桶和弹性球的碰撞实验,同样为我们展开抽象分析和引入新的概念奠定了基础.

美国著名物理学家格拉肖(S. L. Glashow, 1933— )说:“对世界或人类活动中的事物形象掌握得越多,越有利于抽象思维.”

## (2) 形象思维的五朵金花

从前面对阿基米德小桶、两球碰撞以及瞬时速度概念的引入中可以体会到,在中学物理教学中建立形象思维的途径与科学研究中并无差别,主要是通过观察、实验、图形、比喻以及想象,仿佛是五朵金花,它们各有不同的特点,它们的通力配合、综合运用,可以使形象思维得到最佳的发挥。



观察被誉为“思维的触角”,科学的观察与单纯的感觉和知觉不同,它是通过感官和辅助仪器(如显微镜、望远镜、分光镜、加速器、云室、示波仪等)有目的、有意识地去认识各种自然现象自然发生的一种方法。观察是获得研究对象原始材料的重要手段,也是作出科学发现的支柱。俄国生理学家巴甫洛夫(И. П. Павлов, 1849—1936)说:“事实就是科学家的空气,你们如果不凭藉事实,就永远也不能飞腾起来。”

为了通过观察,形成对自然的客观形象,在中学物理教学中的观察需着重注意两个基本问题:

①观察什么?也就是首先要明确所跟踪的对象。

譬如,对水的沸腾过程的观察,主要是观察从开始加热到沸腾的全过程中气泡的变化——加热后,器壁产生小气泡;沸腾前,气泡在上升过程体积逐渐缩小,最后湮灭[图 110(a)];热至沸点时,气泡上升过程中体积增大,至液面破裂、放出大量水气[图 110(b)],就称为沸腾了。

②如何观察?这是涉及观察方法的问题。无论是直接观察或借助仪器、工具的间接观察,都必须掌握正确的方法(包括仪器、工具的调整、使用)。

譬如,用游标卡尺观察直丝灯泡发光时的衍射图样,应该使两

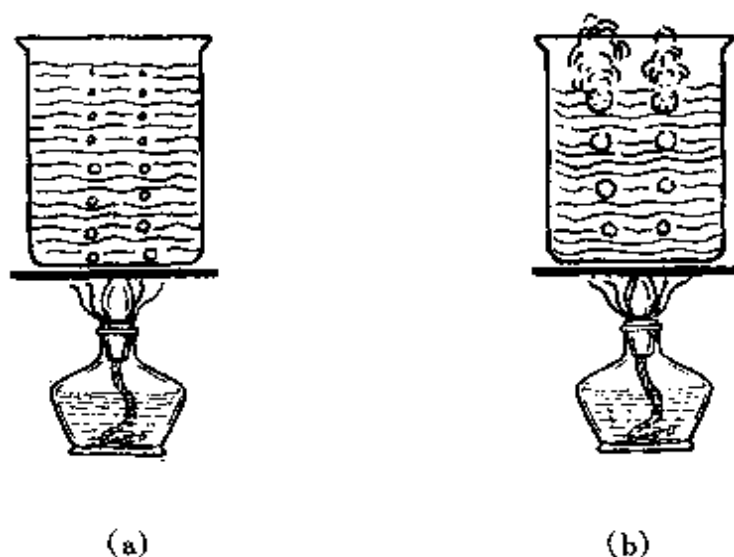


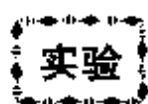
图 110 水的沸腾过程

侧脚间形成的狭缝较细,并使狭缝和灯丝平行。

用显微镜观察细小物体时,应把物体放在物镜焦点外很靠近焦点的地方,并调节镜筒长度(目镜位置),使从目镜中观察到的放大像成于明视距离处。

通过观察形成对自然事物的反映,许多情况下往往还跟观察者的知识素养、经验积累有关。一块石头,一般人只能从外表看到它的形状、颜色,矿物学家却可“看”出这块石头是长石、石英还是云母;同一张 X 光的病灶照片,不同的医生作出的判断有时会差异很大。因此,只有通过不断的实践,才能使从观察中得来的自然形象更加正确、完备,也才能从观察到的自然形象中发现深藏着的内涵。

爱因斯坦在《自述》里说过这样的话:“我在不久就学会了识别出那种能导致深邃知识的东西,而把许多东西撇开不管,把许多充塞头脑并使我偏离主要目标的东西撇开不管。”这也正是我们在观察中需要努力追求的目标。



实验是科学技术赖以生存和发展的“生命线”。它是根据一定的目的,在人为控制或模拟自然现象的条件下,

使自然现象或过程以纯粹的、典型的形式表现出来的一种研究方法。

实验和观察既有联系,又有区别,两者是相互依存的。观察是实验的前提,实验是观察的证实和发展。由于实验能更好地发挥人的主观能动性,因此它更优于观察,也更为重要。巴甫洛夫说:“观察是搜集自然现象所提供的东西,而实验则是从自然现象中提取它所愿望的东西。”

实验的直观性也是建立形象思维的重要依靠,例如,图 111 中三角支架上挂了重物后,杆  $AB$  和  $AC$  的受力情况,初学者常搞不清楚,可以设计一个实物教具,在直杆  $BC$  上与  $AB$  相连处开一孔,贴一橡皮。在横杆  $AC$  中开一槽,内置一弹簧。当在  $A$  端挂上重物  $W$  后,立即可看到斜杆  $AB$  因压直杆,橡皮向外凸起。横杆  $AC$  因拉直杆,弹簧伸长。根据这个直观形象就容易判断  $AB$ 、 $AC$  杆的受力方向  $F_1$ 、 $F_2$ ,画出的受力图如图 112 所示。

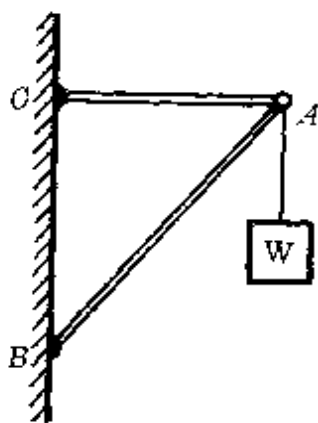


图 111 三角支架

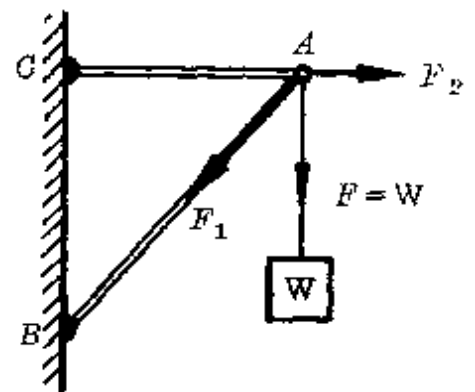


图 112  $AB$  杆受压力,  $AC$  杆受拉力

为了说明平抛物体在竖直方向的运动性质,可用图 113 所示的平抛和自由落体同时仪表演。  $A$ 、 $B$  两球放在水平角铁  $C$  上,当按动压片  $D$  时,角铁被弹簧拉动,小球  $B$  被水平弹出,小球  $A$  则因失去

支持自由落下.从两球着地声中,可以判断它们是同时到达的.

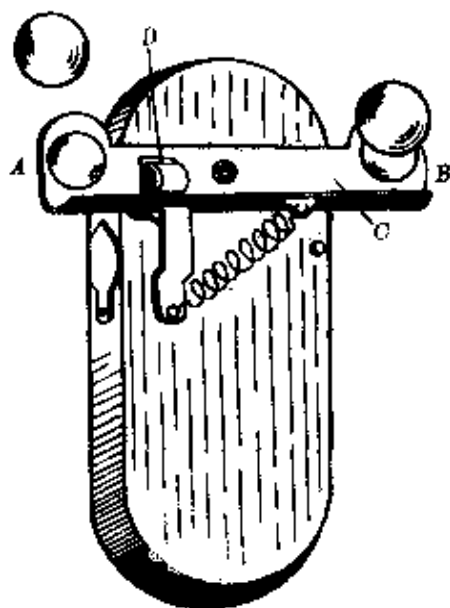


图 113 平抛和自由落体同时仪



图 114 压缩空气引火仪

又如为了说明对密闭容器里的空气受到急剧压缩时,温度陡升,会使燃料点火的现象(或狄塞尔内燃机点火原理),用图 114 所示的引火仪表演十分成功.当在圆筒底放有浸过乙醚的棉花(或硝化纤维)后,迅速压下活塞杆,立即可透过厚壁玻璃筒壁看到明亮的闪光.

中学物理教学中的许多实验(包括自制的教具),现象都十分生动、直观,都可以很有效地帮助展开形象思维.



图形也是一种直观.无论是物理图示或物理图象,它们的形象功能都是不言自明的.

如图 115(a)所示,用力推动一把匀质直尺(设质量为  $m$ ),至伸出水平桌面  $l/3$  长时计算尺所受摩擦力(设摩擦因数为  $\mu$ ).如果对此时尺的正压力不甚明白的话,相信你看了图 115(b)后会立即有所领悟:只要尺的重心落在水平桌面上,正压力恒等于重力,因此尺所受摩擦力  $f = \mu mg$ .

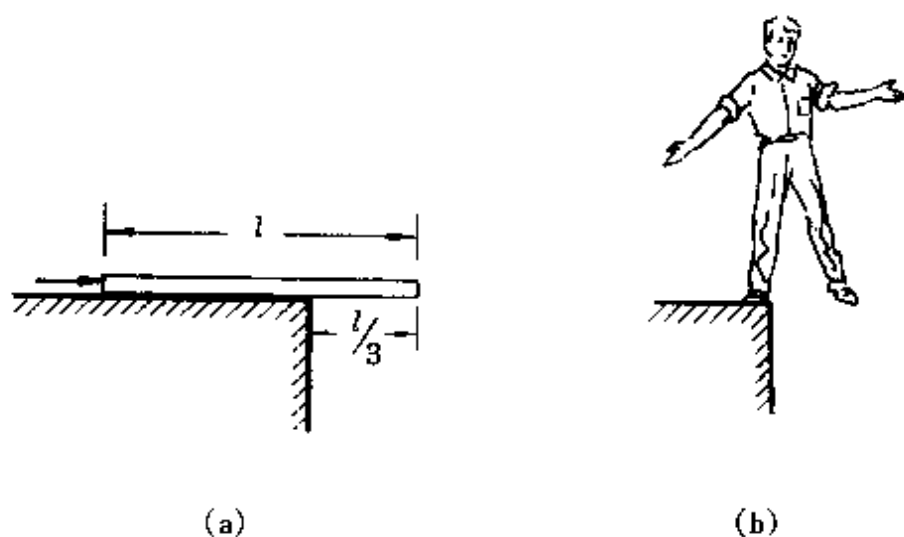


图 115 部分伸出桌面的尺与立在桌边的人

通常物理教学中的图形,虽然是静止的,但它同样能反映现象或过程的动态特征.

如图 116(a)所示,在一根 U 形管中灌以水银,开口向上竖直放置,当封其左端并使左端上部空气升温,两臂中水银面会形成高度差.如在封口升温后的图上画出原来液面的基准线[图 116(b)],并把两图并列画在一起,我们仿佛可以感受到随着左管温度的升高、水银面下降,最后达稳定过程中的这种动荡.

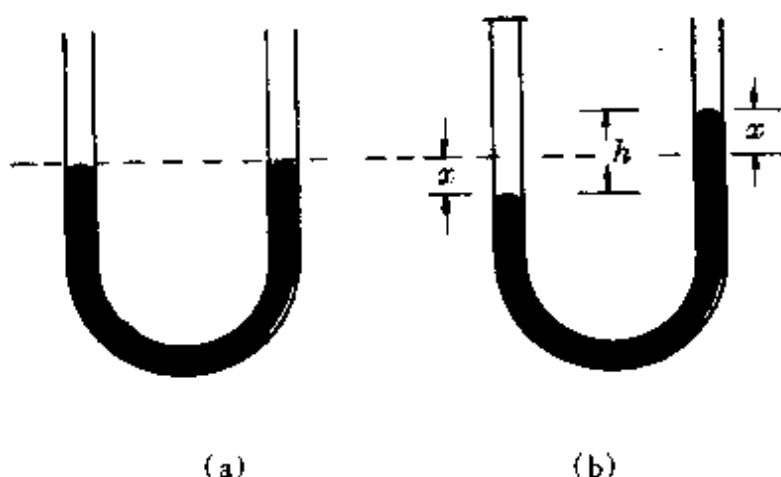


图 116 并列放置的 U 形管

物理图象,本来就是反映两个参量之间的一种函数关系,它给予人们的动感更为强烈.图 117 中画出的是几种不同金属受到光

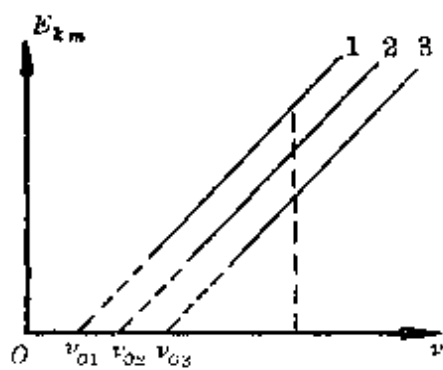


图 117 光电子的最大初动能与照射光频率的关系

照后,逸出的光电子的最大初动能与照射光频率的关系,从图中我们可以形象地感觉到,随着照射光频率的增加,从光阴极表面飞出的光电子的最大初动能也增加.对于不同金属制成的光阴极,在同样频率的光照射下,光电子的初动能则不同.

物理教学中的图形,尽管远不像艺术作品那样讲究比例、透视、明暗色彩,但同样能从平面上使我们得到空间的立体形象.

图 118 表示了地球上某处物体的引力  $F$ 、重力  $G$  和向心力  $F_c$  三者的方向及相互关系.

图 119 画出了磁感线斜向穿过平面  $S$  时与其在垂直磁场方向上的投影间的关系.

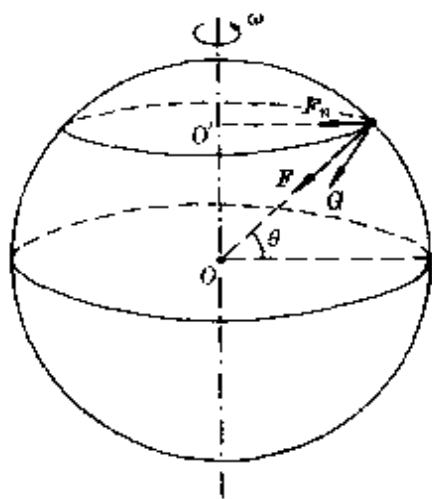


图 118 地面上物体的引力、重力、向心力的关系

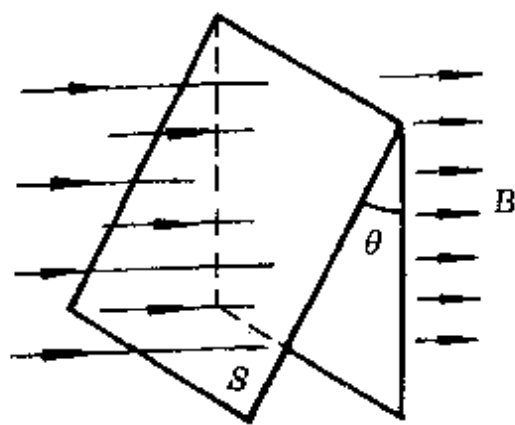


图 119 穿过平面  $S$  的磁通量

由此可见,无论是物理图示或图象,它们的形象思维功能并不亚于实物或实验演示.有时,一幅精心设计的物理图形,还会使你

回味无穷呢！

**比喻** 比喻是通过语言,用人们熟悉的、浅近的事物比拟陌生的、深奥的事物的一种方法.它属于语言直观.由于比喻的形象思维效果,往往能使许多不易理解或难以说清的抽象概念变得通俗、易懂,并获得深刻的印象.

古希腊哲学家德谟克利特提出构成物质的微粒不是静止的而是运动的思想时,曾用了一个生动的、含义深刻的比喻:一大群白羊在山坡上争食青草,奔跑跳跃,嬉戏角逐.我们在很远处观看时,好像在沉静的青山上点缀着许多小小的白点.这正像我们平时看到整块物质是静止的,其实构成物质的微粒正像山坡上的羊儿一样在极其活跃地运动着.

中学物理教学中,比喻也十分常用.例如:

在说明布朗运动时,常用一大群小鱼啄食池中的面包作比喻.由于四面八方的小鱼毫无秩序、争先恐后的啄食,使得水中的面包不停地忽东忽西,动荡不已.这正像悬浮在液体中的固体微粒被液体分子撞击做着无序运动一样.因此,从面包的运动可以反映周围小鱼的无规则运动,也像从悬浮固体微粒的运动可反映液体分子永不停息的无规则运动一样.

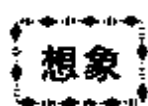
在说明金属导电微观机理时,可用节日游行队伍中扭秧歌(或跳迪斯科舞)的演员比喻电子.演员们前后左右不停地跳动,好像电子的无规则热运动;演员们随整个队伍的缓缓前行,好像在电压作用下电子的定向移动.金属导电时电子在无规则运动基础上叠加一个缓慢的定向移动,正像这些跳舞的演员们边跳边随着队伍徐徐前进一样.

为了说明振动图象与波动图象的不同意义,可把振动图象比喻为用摄像机对准一个独舞演员的连续拍摄,放映出来的是这一



个演员在不同时刻的不同舞姿,正像振动图象反映的是一个质点在不同时刻的位移( $y-t$ );而波动图象则像用摄像机对准一组集体舞演员的一次拍摄,放映出来的是同一个时刻、不同演员的舞姿,正像波动图象反映的是同一个时刻不同质点的位移( $y-x$ ).

一个生动、幽默、含蓄的比喻,常可胜过喋喋不休的一打语言,它所赋予人们的形象思维力量是不可估量的.



想象是一种高级的形象思维活动.自然科学中的想象是在头脑中把新、旧知识和科学概念进行加工和重新组合,建立新形象的过程.这种组合对科学技术的发展有着极为重要的意义.英国物理学家廷德尔(J. Tyndall, 1820—1893)论述想象的科学地位时说:“有了精确的实验和观测作为研究的依据,想象力便成为自然科学理论的设计师.”

在中学物理教学中同样需要想象.譬如:

想象一些理想化的物理条件——在空气中发射的炮弹不受阻力作用沿抛物线运动;在水中上下振动的木块不受阻力做简谐运动;气体分子间不存在相互作用力;绕制变压器的线圈没有电阻;……

想象一些形象化的物理图景——一个小球在半径很大的光滑圆弧槽内做小范围内的运动,可想象成以半径为摆长的一个单摆;计算两个氘核( ${}^2_1\text{H}$ )聚合成一个氦核( ${}^4_2\text{He}$ )的结合能,可想象先把两个氘核分解成四个自由核子,再结合成一个氦核……

进行一些创造性的想象和科学幻想——想象一架长臂天平(如一端在广州,另一端在北京)说明通常用天平称量质量是由于两端  $g$  值相同的缘故;想象一个振动中的单摆突然自由下落;想象到月球上去做落体实验、到月球上去奔跑、跳跃;幻想一个没有摩擦力的世界……

想象被誉为智慧的翅膀,它常能使知识得到升华甚至形成毕生的追求.爱因斯坦说他在 16 岁时就想象过,如果他以光速去追赶一束光,将看到什么?也许正是这个想象,诱导他走上创立相对论的康庄大道.

所以,从更深层的意义上说,想象并不仅只是建立形象思维的一种途径,正如爱因斯坦所说的:“想象力比知识更重要,因为知识是有限的,而想象力概括着世界上的一切,推动着进步,并且是知识进化的源泉.严格地说,想象力是科学研究中的实在因素.”

## 2. 以抽象思维为核心

形象思维以它所激发的兴趣把你引入物理学殿堂,但要真正认识其中的奥秘,主要还得依赖于抽象思维.在目前的科学发展水平上,中学物理教学中的思维训练还是以抽象思维为主,形象思维则起着辅助、补充的作用.

### (1) 抽象思维的基本要求

中学物理教学中对抽象思维的最基本要求可以认为有两个方面,即抽象概括和分析推理.

**抽象  
概括**

抽象就是把研究对象和过程进行合理的简化,摒弃或忽略它们次要的、非本质的因素,突出事物的本质特征的思维过程.

中学物理中研究的都是理想模型(如质点、刚体、弹性球、单摆、理想气体、点电荷、纯电阻、薄透镜等)在理想条件(如没有阻力、温度不变、匀强电场或磁场、均匀媒质、近轴光线等)下发生的物理现象或过程,如质点沿光滑平面的匀速直线运动、自由落体、简谐运动、等温等压等容变化等,这种理想模型和纯粹的过程,都是从实际

物体的现实运动变化中抽象出来的,它们只是实际的近似.

学会抽象,就是要懂得从现实原型中提取本质的成分作出合理的简化后,能与理想的典型问题联系起来,并用理想条件下的原理指导现实问题或作出分析、解释.

例如,在列车编组站里,质量  $M$  的机车以一定速度  $v$  撞上一辆不动的、质量为  $m$  的车厢,挂接后一起运动.由于在这个挂接过程中的相互撞击力甚大,且挂接时间(即从撞上车厢到一起运动的时间)很短,因此可以忽略摩擦力冲量这个次要因素的作用,把机车对车厢的挂接抽象为一次完全非弹性碰撞.于是由

$$Mv = (M + m)u,$$

立即可得到两者一起运动的速度

$$u = \frac{M}{M + m}v.$$

懂得了这样的抽象,就可以用中学物理的力学知识对起动重载列车时,先开一个倒车再前进较“直接起动法”省力的道理作出很有说服力的定量的解释.

因为火车缓缓进站停止时,连结各车厢间的铁钩是拉紧的(图 120).机车如要拖动列车驶出车站,必须同时克服全部列车跟铁轨间的静摩擦.即“一次直接起动”时要求机车的牵引力

$$F > \mu(m_1 + m_2 + \cdots + m_n)g,$$

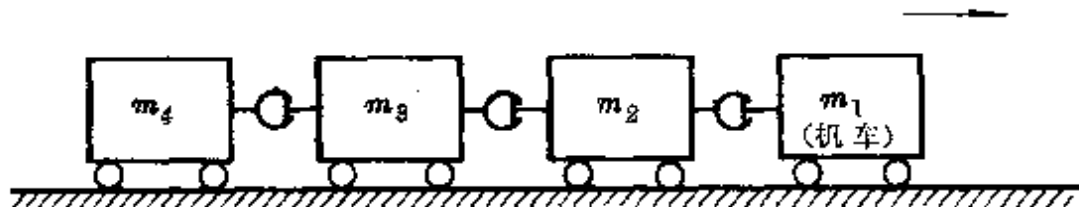


图 120 各车厢间的挂钩处于拉紧的状态

设  $m_1 = m_2 = \cdots = m_n = m$  时,即要求

$$F > n \cdot \mu mg.$$

如先开一个倒车,使连接各车厢间的铁钩依次撞松(图 121),设各节车厢间挂钩留的空隙均为  $\Delta s$ ,则起动时机车在牵引力  $F$  作用下先加速,其加速度为

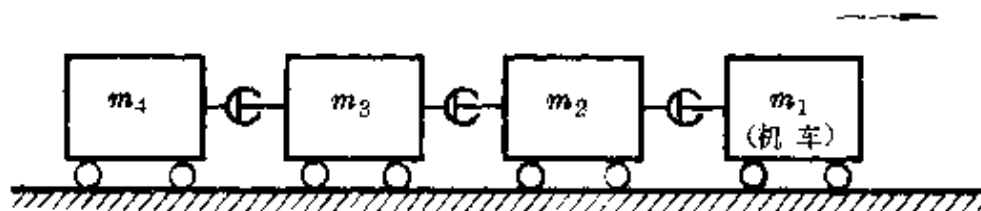


图 121 各车厢间的挂钩处于松弛的状态

$$a_1 = \frac{F - \mu m_1 g}{m_1} = \frac{F}{m_1} - \mu g.$$

经位移  $\Delta s$  后,拉紧机车跟后面车厢挂钩时机车( $m_1$ )的速度为

$$v_1 = \sqrt{2a_1 \Delta s},$$

或 
$$v_1^2 = 2a_1 \Delta s = 2 \left( \frac{F}{m_1} - \mu g \right) \Delta s.$$

挂上  $m_2$  后的共同速度,根据上面的抽象处理,应为

$$v'_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \sqrt{2a_1 \Delta s},$$

或

$$v'^2_1 = \left( \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1 \right)^2 = \frac{2\Delta s}{(m_1 + m_2)^2} (m_1 F - m_1^2 \mu g).$$

同理知,挂上  $m_2$  后( $m_1 + m_2$ )的加速度及又经位移  $\Delta s$  时的速度分别为

$$a_2 = \frac{F - \mu(m_1 + m_2)g}{m_1 + m_2} = \frac{F}{m_1 + m_2} - \mu g,$$

$$v_2 = \sqrt{v'^2_1 + 2a_2 \Delta s}.$$

$$\text{或} \quad v_2^2 = \frac{2\Delta s}{(m_1 + m_2)^2} (m_1 F - m_1^2 \mu g) + 2\Delta s \left( \frac{F}{m_1 + m_2} - \mu g \right).$$

再由动量守恒算出挂上  $m_3$  时的共同速度

$$v'_2 = \frac{(m_1 + m_2)v_2}{m_1 + m_2 + m_3},$$

$$\text{或} \quad v'^2_2 = \frac{2\Delta s}{(m_1 + m_2 + m_3)^2} \{ [m_1 + (m_1 + m_2)] F - [m_1^2 + (m_1 + m_2)^2] \mu g \}.$$

依次类推下去,可算出当带动第  $n$  节车厢( $m_n$ )时,全部列车的起动速度.在  $m_1 = m_2 = \dots = m_n = m$  的简单情况下,由数列知识可得

$$v'^2_{n-1} = \frac{(n-1)\Delta s}{n} \cdot \frac{F}{m} - \frac{(n-1)(2n-1)\Delta s}{3n} \cdot \mu g.$$

列车能起动时,必有  $v'_{n-1} > 0$ ,即要求

$$\frac{(n-1)}{n} \Delta s \left( \frac{F}{m} - \frac{2n-1}{3} \mu g \right) > 0.$$

$$\therefore \quad \frac{F}{m} > \frac{2n-1}{3} \mu g,$$

$$\text{即} \quad F > \frac{2n-1}{3} \mu mg.$$

当  $n$  较大时(如货车往往有数十节),上式可近似为

$$F > \frac{2}{3} n \cdot \mu mg.$$

把这个结果与前面的一次直接起动法相比较,采用倒车起动时所需的牵引力较小,表示容易起动.

上述计算完全是建立在对实际物体作了抽象化处理后的基础上:把每节车厢(包括机车)都抽象为质点;把车厢间的挂接抽象为一次完全非弹性碰撞.否则就无法用中学物理的知识处理.

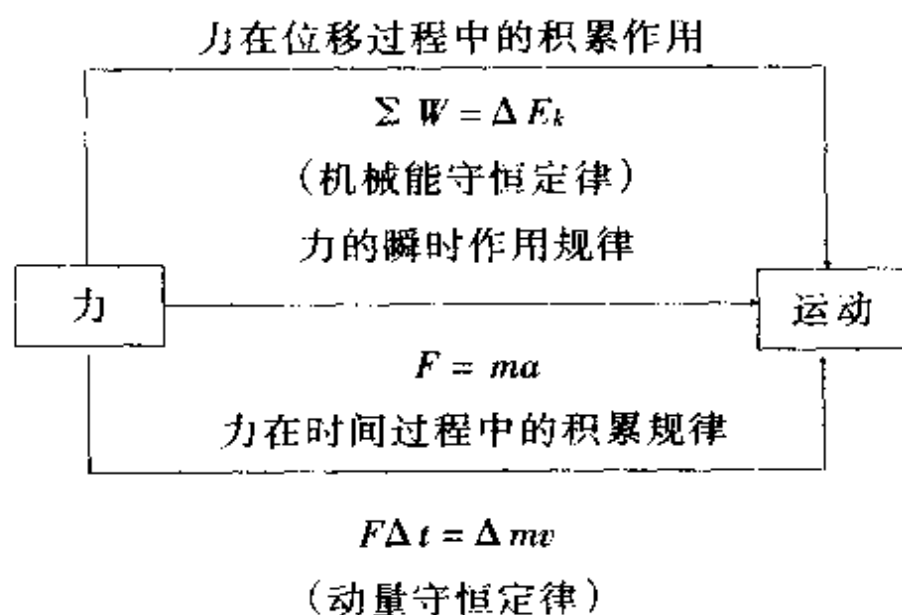
平时求解计算的各类中学物理问题,实际上也都是抽象化后的结果.

概括就是把抽象出来的事物间共同的、本质的属性联结起来的思维过程.物理学中的概念、规律,都是在实验和思维基础上概括出来的.

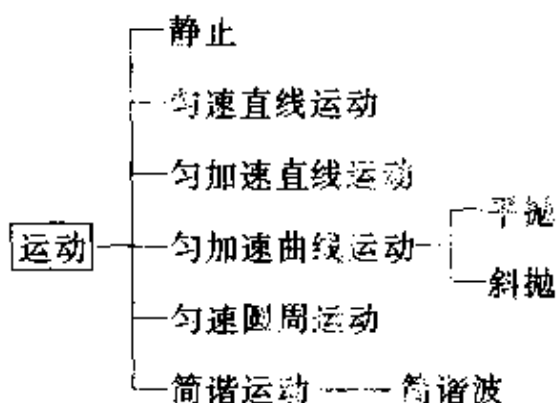
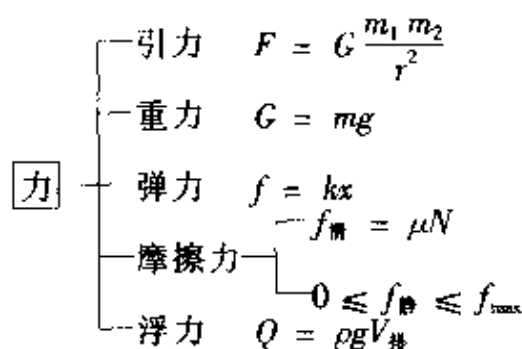
例如,从推车、拉犁、升旗、提水等一系列活动中,找出它们共同的特征:有力的作用和力的方向上发生一段位移,从中就概括出功的概念.

学会概括,从宽泛的意义上说,既要懂得物理学概念、规律的形成和发现(或导出)的过程,也体现在对知识的概括上,更要能从具体的同类事物或现象中概括出它们的普遍性质或普遍规律.

知识的概括是学习成效的一个重要标志.不论是每节、每章或每篇(每部分)的学习后都需概括整理,它可以使你更提纲挈领地掌握知识.例如,力学篇学习后,从对许多具体问题的研究中可作出概括:力学就是研究力与物体的运动变化关系的一门学问,沟通两者之间联系的有三条线索,包括五条规律,如下表所示:



其中的力和运动又可分别概括如下面两表所示。



如果再加上力的合成与分解原理、运动的合成与分解原理,已概括了全部的力学知识,可浓缩在一张小卡片上,非常便于掌握和应用。

从有关事物中概括出普遍性质或规律,是学会概括的最主要目的。

例如,感应电流的产生条件的研究,教学中根据导线在磁场中的切割运动(图 122),磁铁插入线圈或从线圈中拔出(图 123),利用原副线圈在接通断开原线圈电路或改变原线圈中电流时(图 124),都会产生感应电流的一系列实验中,可概括出普遍的结论:不论用什么方法,只要穿过闭合电路的磁通量发生变化,闭合电路中就有电流产生。

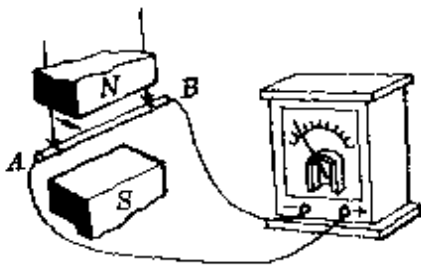


图 122 导线做左右的切割运动

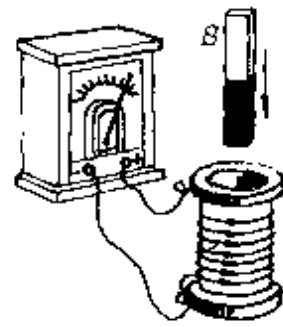


图 123 磁铁插入线圈或从线圈中拔出

关于感应电流的方向,就可以根据上面的概括以磁铁与线圈的相对运动为例进行研究.

如图 125 甲所示,当把磁铁的  $N$  极移近或插入线圈时,感应电流的磁场方向跟磁铁的磁场方向相反.当磁铁的  $N$  极离开线圈或从中拔出时,感应电流的方向与图甲中的方向相反,它的磁场方向与磁铁的磁场方向相同.

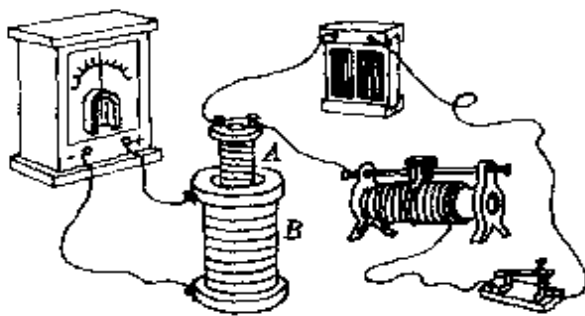


图 124 接通或断开原线圈电路、改变原线圈的电流

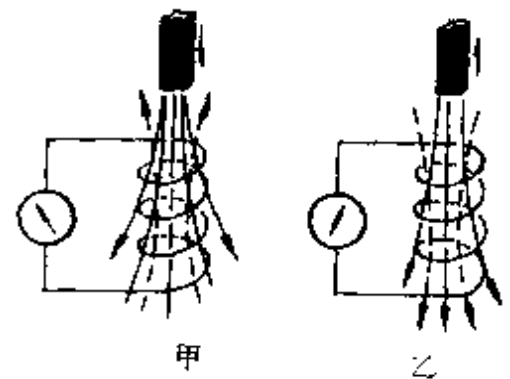


图 125  $N$  极插入或拔出时感应电流的磁场方向

如图 126 甲所示,把磁铁的  $S$  极移近或插入线圈时,感应电流的磁场方向又跟磁铁的磁场方向相反.当磁铁的  $S$  极离开线圈或从中拔出时,感应电流的磁场方向又与磁铁的磁场方向相同.



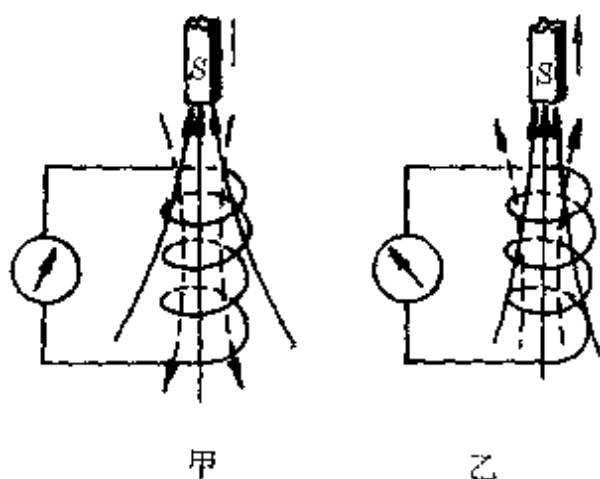


图 126 S 极插入或拔出时感应电流的磁场方向

根据这些实验现象,德国物理学家楞次(F. E. Lenz, 1804—1865)非常简练地作出了概括:“感应电流具有这样的方向,就是感应电流的磁场总是要阻碍引起感应电流的磁通量的变化。”这就是著名的楞次定律。

在物理解题中,通过对某些同类问题的解答概括出的结论,还常会给你带来“创造性发现”的喜悦感,请看对下面问题的讨论。

**问题** 用图 127 所示的劈式起重装置,不计劈重时,劈顶角  $\alpha$  满足什么条件,能依靠摩擦力的作用不被退出? 设接触面间静摩擦因数均为  $\mu_0$ 。

**分析与解答** 根据劈的受力分析(图 128)可知,平衡时需满足条件

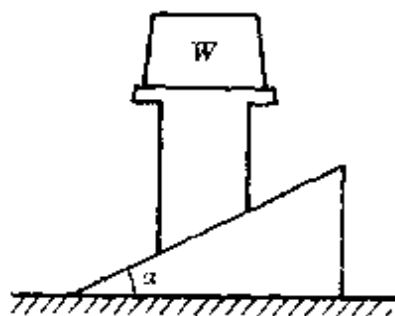


图 127 劈式起重装置

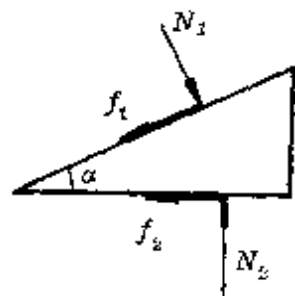


图 128 劈的受力图

$$N_1 \cos \alpha + f_1 \sin \alpha - N_2 = 0,$$

$$N_1 \sin \alpha - f_1 \cos \alpha - f_2 = 0.$$

式中静摩擦力  $f_1$ 、 $f_2$  的最大值分别为

$$f_{1m} = \mu_0 N_1, f_{2m} = \mu_0 N_2.$$

得  $N_1 (\cos\alpha + \mu_0 \sin\alpha) \geq N_2,$

$$N_1 (\sin\alpha - \mu_0 \cos\alpha) \leq \mu_0 N_2.$$

即  $\frac{\sin\alpha - \mu_0 \cos\alpha}{\mu_0} \leq \frac{N_2}{N_1} \leq \cos\alpha + \mu_0 \sin\alpha,$

或  $\frac{\sin\alpha - \mu_0 \cos\alpha}{\cos\alpha + \mu_0 \sin\alpha} \leq \mu_0.$

令  $\varphi_0$  为静摩擦角, 则  $\mu_0 = \operatorname{tg}\varphi_0$ , 代入上式得

$$\operatorname{tg}(\alpha - \varphi_0) \leq \operatorname{tg}\varphi_0,$$

所以  $\alpha \leq 2\varphi_0.$

这就是说, 当楔入一个直角劈时, 只要其顶角等于或小于 2 倍摩擦角, 即可满足自锁(依靠摩擦作用维持在静止状态称自锁)条件。

如楔入的不是直角劈, 为不失一般情况, 设为如图 129 所示的不对称劈, 它可以分解为顶角分别为  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  的两个直角劈, 平衡时的力图如图 130 所示(劈重不计)。

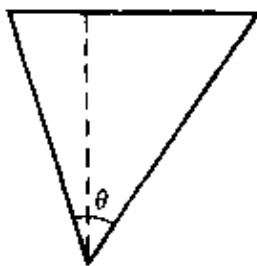


图 129 不对称劈

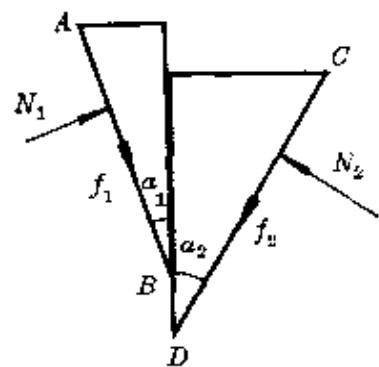


图 130 两个直角劈的受力图

取两斜边为投影轴, 由平衡条件

$$\sum F_{AB} = f_1 + f_2 \cos(\alpha_1 + \alpha_2) - N_2 \sin(\alpha_1 + \alpha_2) = 0,$$

$$\sum F_{\text{合}} = f_2 + f_1 \cos(\alpha_1 + \alpha_2) - N_1 \sin(\alpha_1 + \alpha_2) = 0.$$

两式相加,得

$$(f_1 + f_2)[1 + \cos(\alpha_1 + \alpha_2)] = (N_1 + N_2)\sin(\alpha_1 + \alpha_2).$$

因式中  $f_1 \leq \mu_0 N_1, f_2 \leq \mu_0 N_2$ . 代入后得

$$\mu_0 [1 + \cos(\alpha_1 + \alpha_2)] \geq \sin(\alpha_1 + \alpha_2).$$

所以  $\mu_0 \geq \frac{\sin(\alpha_1 + \alpha_2)}{1 + \cos(\alpha_1 + \alpha_2)} = \text{tg} \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$ .

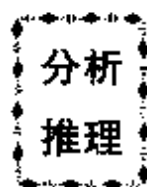
令  $\mu_0 = \text{tg} \varphi_0$ , 于是得到

$$\alpha_1 + \alpha_2 \leq 2\varphi_0, \text{ 或 } \theta = \alpha_1 + \alpha_2 \leq 2\varphi_0.$$

当  $\alpha_1 = \alpha_2 = a$  时, 即为对称劈, 有关系式  $2a \leq 2\varphi_0$ .

由此我们可概括出一个普遍结论: 不论是直角劈、等腰劈(对称劈)或不对称劈, 其自锁条件均为其顶角等于或小于 2 倍的摩擦角, 即

$$\theta(\text{顶角}) \leq 2\varphi_0.$$



分析就是把整体分解, 或从整体中区分出个别特征、个别方面的思维过程. 推理就是从已知的判断推出新的判断的思维过程.

学会分析与推理, 就是要能从相互联系着的、多因素的物理问题中通过力的分析、运动状态和物理过程的分析、电路的分析或光路的分析等等以后, 运用物理概念和规律, 通过逻辑推理作出正确的

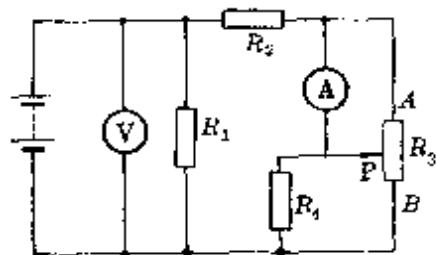


图 131

的结论.

下面, 结合几个具体物理问题的研究, 去体会一下分析、推理的要求.

**例 1** 如图 131 所示电路中, 电源内阻  $r = 0.4$  欧,  $R_1 = 6$  欧,  $R_2 = 3$  欧,

$R_3$  是滑动变阻器,  $R_4 = 18$  欧. 当滑动头  $P$  位于  $R_3$  中点时, 电流表示数为 0.9 安, 电压表示数为 8.1 伏, 不计两表内阻影响, 求:

- (1) 电源电动势;
- (2)  $R_3$  的阻值.

**分析与推理** 不计电流表内阻时,  $R_3$  上部 ( $AP$  段) 短路, 电流表示数即为流过  $R_2$  中的电流  $I_2$ , 也即  $R_4$  和  $PB$  段的并联总电流, 整个外电路由  $R_2$  与  $(R_4 // R_{PB})$  相串联后再与  $R_1$  并联. 电压表示数为路端电压, 亦即  $R_1$  两端电压. 根据上述分析, 可得

(1) 计算电动势  $\mathcal{E}$  的推理如下:

$$\mathcal{E} = U + Ir \rightarrow I = I_2 + I_1 \rightarrow I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U}{R_1}$$

因此可从计算  $I_1$  入手, 列出综合式为

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= U + \left( \frac{U}{R_1} + I_2 \right) r = 8.1 \text{ 伏} + \left( \frac{8.1}{6} + 0.9 \right) \times 0.4 \text{ 伏} \\ &= 9 \text{ 伏}. \end{aligned}$$

(2) 计算滑动变阻器的电阻  $R_3$  的推理如下:

$$\begin{aligned} R_3 \rightarrow \frac{1}{2} R_3 &= \frac{U_{PB}}{I_{PB}} \rightarrow U_{PB} = U - U_2 = U - I_2 R_2 \\ &\downarrow \rightarrow I_{PB} = I_2 - I_4 = I_2 - \frac{U_4}{R_4} \rightarrow U_4 = U - I_2 R_2 \end{aligned}$$

因此可从计算  $U_4$  入手, 最后结果为

$$R_3 = 18 \text{ 欧}.$$

**例 2** 两平行光滑导轨, 相距  $l$ , 一部分水平, 另一部分形成半径为  $R$  的圆弧形. 垂直导轨搁置一根质量为  $m$  的金属棒. 整个装置放在竖直向上的磁场中, 磁感应强度为  $B$ . 当通以如图 132 正视图中所标明方向的瞬间电流时, 金属棒恰能滑至圆弧部分的最高

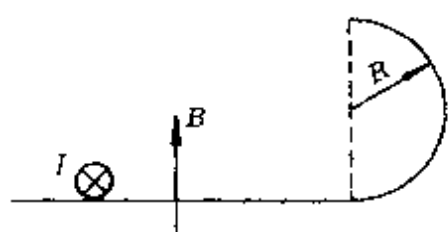


图 132

点.试求通电过程中通过金属棒的电量.

**分析与推理** 金属棒恰滑至最高点,由圆运动的瞬时特性知

$$mg = m \frac{v^2}{R}.$$

式中  $v$  为棒在最高点的速度.

根据机械能守恒定律,棒在最高点的速度与刚开始滑动时的初速度  $v_0$ 、轨道半径  $R$  有如下关系:

$$\frac{1}{2}mv^2 + mg \cdot 2R = \frac{1}{2}mv_0^2.$$

棒的初速度  $v_0$  是由于受到磁场力冲量的作用,故

$$F\Delta t = IlB\Delta t = mv_0.$$

通电时间  $\Delta t$  内通过棒的电量

$$Q = I\Delta t.$$

联立上述四式,即得

$$Q = \frac{m}{Bl} \sqrt{5Rg}.$$

类似上面这样的分析推理,在物理计算中十分常见.除此以外,还常渗透在各因素互相联系的其他一些定性判断和电路故障检测等问题中.

**例 3** 电表示数的变化.如图 133 电路所示,当可变电阻  $R_3$  的滑动头下移时,各表示数如何变化?

通过对电路结构的分析,明确各电阻间的串并联关系和各电表

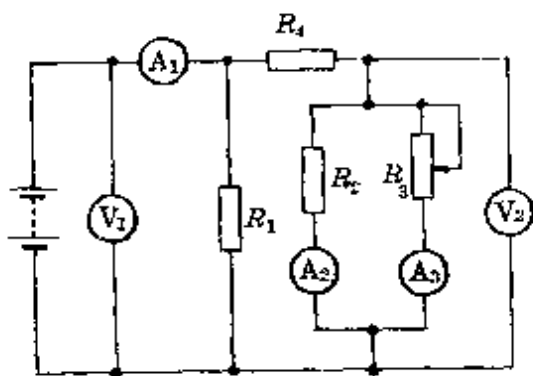


图 133 电表示数的变化

的测量对象的基础上,可从滑动头下移的直接变化开始,依次通过推理作出判断如下:

滑动头下移— $R_3 \downarrow$ — $R_{CD} \downarrow$ — $R_E \downarrow$ — $I_B \uparrow$  ( $A_1$  表示数增大)— $U_{AB} (= \mathcal{E} - Ir) \downarrow$  ( $V_1$  表示数减小)— $I_1 \left( = \frac{U_{AB}}{R_1} \right) \downarrow$ — $I_{R_4}$  ( $= I_E - I_1$ )  $\uparrow$ — $U_{R_4} (= I_{R_4} R_4) \uparrow$ — $U_{CD} (= U_{AB} - U_{R_4}) \downarrow$ — $I_{R_2}$  ( $= \frac{U_{CD}}{R_2}$ )  $\downarrow$  ( $A_2$  表示数减小)— $I_{R_3} (= I_{R_4} - I_{R_2}) \uparrow$  ( $A_3$  表示数增大).

如果不懂得作全电路的分析推理,仅从局部变化考虑,将难以作出判断或导致错判.

**例 4** 晶体管电路故障检查.图 134 所示为一简单直接放大式晶体管收音机高频放大管的电路,调试中发现在 3AG 的集电极上测不到电流,如何检查?

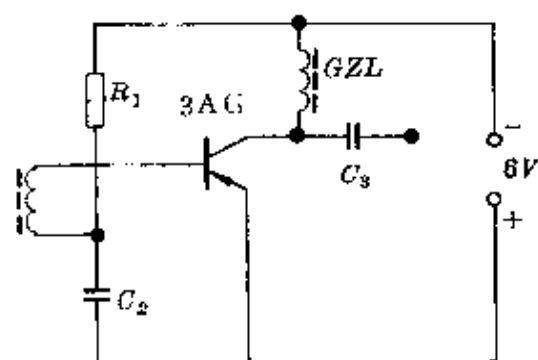


图 134 高效管的电路

根据对电路结构的分析,3AG 的集电极上测不到电流,在电源完好的条件下,可能原因是电源开关未闭合或电池两端接触不良,或者是高扼圈  $GZL$  断路、调谐回路次级线圈断路、偏流电阻  $R_1$  过大、晶体管各管脚或偏流电阻以及连接线等处出现虚焊,也可能是晶体管已损坏等原因.

结合电压测量法检查时的推理顺序如下:

测电源电压(正常时约 5~6 伏)→测高扼圈  $GZL$  上端对地电压(正常时等于电源输出电压)→测 3AG 集电极对地电压(正

常时接近电源电压)→测 3AG 的发射极和基极间电压  $U_{eb}$  (正常时约为 0.2~0.3 伏)→检查  $R_1$  是否虚焊或阻值过大,调谐回路次级是否断开→用判断管脚、估测  $\beta$  的方法检查晶体管是否损坏。

按照这个推理顺序,可以较快地找出故障所在。

## (2) 发展抽象思维的三重奏

客观存在和实践活动是人类思维的基础,因此,在中学物理教学中,培养和发展抽象思维能力必须紧密联系教学实际,置身于实践之中,其中最主要的是如下三方面:

**从具体到抽象** 与人们对事物的认识规律一样,抽象思维的发展也应从具体到抽象——先依托某个(或某些)具体事物,然后逐渐脱离依托,抽象出来。

譬如,研究杠杆平衡原理,先从认识具体的杠杆开始:撬棒、天平、杆秤、钳子、游乐场中的翘翘板、铡刀……然后从中抽象出杠杆的概念:一根绕固定点转动的硬棒,不同形式的各种杠杆中,各个具体物体对杠杆施加的力都可用一段有向线段(力矢量)表示,于是,各种杠杆都可抽象为图 135 中(a)或(b)的形式。

由此得出杠杆平衡条件:

$$F_1 l_1 = F_2 l_2, \text{ 或 } \frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}.$$

电场概念引入时,常常先从力的作用方式谈起,一种方式是直接作用,如用手击桌子、用手推动书本、机车拉车厢、水流冲击水轮机……另一种方式是借助介质(中间物体)的间接作用,如公共汽车上的司机借助压缩空气启闭车门;一支音叉发声时借助空气使另一支音叉产生共鸣;磁铁隔着一段距离能通过磁场对小磁针发

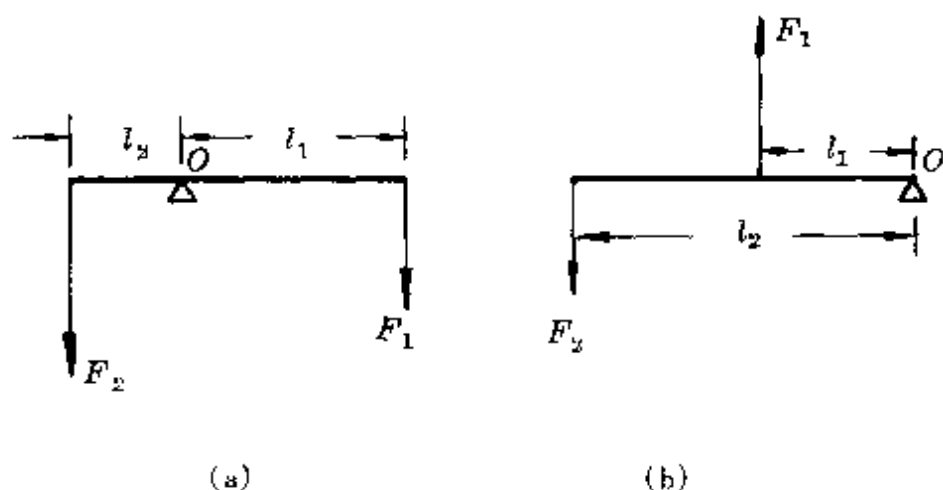


图 135 抽象后的杠杆受力图

生作用.由此归纳出“力的作用不能脱离物质”的结论.

接着,通过实验显示,一个电荷隔着一段距离(即使在真空中)也能对另一个电荷发生作用,表明电荷周围必存在着某种特殊的物质,这就是电场.

可见,电场概念是联系着电荷间相互作用的事实,作为由具体电荷产生的、分布于电荷周围的物质形式引入的.

定义了电场强度的概念后,用场强分布(或电场线分布)表示电场时,就常常撇开产生电场的具体电荷,只研究场的特性了.也就是说,已从具体进入了抽象的境界.

抽象问题  
形象化

这不仅指用电场线、磁感线等形象化的方法表示抽象的电场、磁场,更体现在对物理问题作抽象分析时,辅以形象化的情景,得以在形象思维的协同下,更好地发挥抽象思维的逻辑力量.

抽象思维形象化,可以说是解题的入门台阶.画出一幅形象化的图景(物体的受力分析图、运动状态变化图、电路图、光路图等)常是一种无声的、强有力的启发,可以为解题较方便地找到入口.

例 1 某种型号摩托车的最大车速  $v_m = 25$  米/秒,要求在  $t =$



2分钟内沿着一条平直的公路追上在它前面  $s_0 = 1000$  米处正以  $v = 15$  米/秒行驶的汽车,摩托车必须以多大加速度行驶?

**分析与解答** 由于最大车速的限制,容易判断摩托车不可能一直加速追赶.它的运动必是先加速,当达到最大值后改为匀速追赶.如果画出如图 136 所示形象化的情景,就很容易列出方程:

$$s_0 + vt = \frac{1}{2} at'^2 + v_m(t - t'),$$

$$v_m = at'.$$

联立即得摩托车的加速度应为

$$\begin{aligned} a &= \frac{v_m^2}{2(v_m t - s_0 - vt)} \\ &= \frac{25 \times 25}{2(25 \times 120 - 1000 - 15 \times 120)} \text{米/秒}^2 \\ &= 1.56 \text{米/秒}^2. \end{aligned}$$

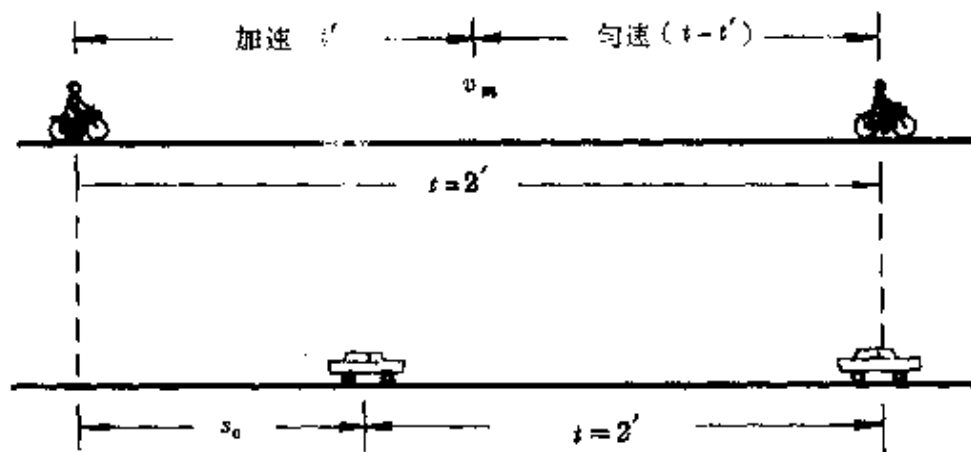


图 136 摩托车追汽车

**例 2** 一定质量理想气体,从某一初态开始经状态变化后最终温度不变,则下列过程中可能实现的是

- A. 先作等压膨胀,再作等容减压.
- B. 先作等压压缩,再作等容减压.

C. 先作等容增压, 再作等压膨胀.

D. 先作等容减压, 再作等压膨胀.

**分析与解答** 因为一定质量理想气体的某个状态, 相当于  $p - V$  图上的一点, 从一个状态到另一个状态的变化相当于在  $p - V$  图上从一点过渡到另一点. 利用图形的直观形象就很容易作出判断.

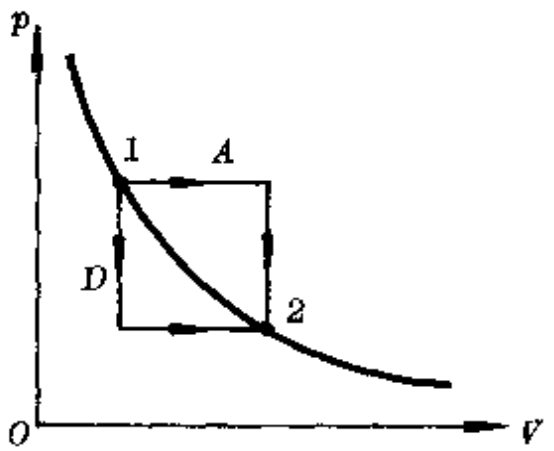


图 137

由题设条件, 终态与初态需在同一条等温线上, 因此可能发生的过程只能是 A 或 D. 如图 137 所示.

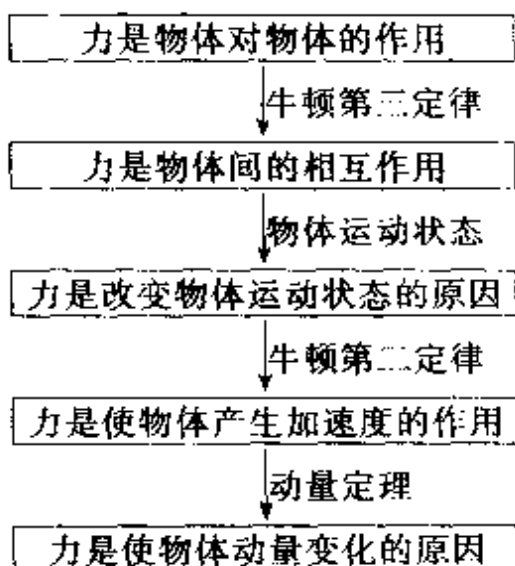
**从低层次  
到高层次**

思维的发展是有层次的, 抽象思维的发展也应从低层次到高层次逐步上升.

譬如力的概念, 最初是从推、拉、提、压等具体的作用方式中抽象出来的, 定义为“力是物体对物体的作用”. 学习牛顿第三定律后, 定义为“力是物体间的相互作用”. 已比最初的定义上升了一个台阶, 突出了力的相互性. 接着, 从力与物体运动状态变化的关系上, 按伽利略的意思定义为“力是改变物体运动状态的原因”. 这个定义又上升了一步, 已渗透入动力学思想. 学习牛顿第二定律后, 又把力定义为“任何使物体产生加速度的作用都称为力”. 这个定义, 不仅加入了量化的指标 ( $F = ma$ ), 并且已从具体物体上升到抽象的作用, 为在加速系统中引入惯性力和惯性离心力概念作了准备. 学习动量定律后, 把力定义为“力是使物体动量变化的原因”或“力就是物体的动量变化率” ( $F = \frac{\Delta mv}{\Delta t}$ ). 这个定

义,又从通常质量不变的情况扩展到质量可变的情况,适用性更为广泛,也更为抽象.

关于力的定义的整个演变层次可表示如下:



随着关于力的概念的抽象层次的不不断上升,我们对力概念的认识也日益深化.

功的概念最初也是从生活、生产实践中抽象出来的.初浅的定义是“作用在物体上力使物体在力的方向上通过一段距离,称为力对物体做了功”.相应的计算式是

$$\text{功} = \text{力} \times \text{距离}, \text{或 } W = Fs.$$

引入位移概念后,把初级定义中的“距离”改为“位移”,相应的算式是

$$W = Fscos\alpha.$$

式中  $\alpha$  便是力的方向与位移方向间的夹角.并进而引入正功和负功的概念.

实际上,物体的位移与在力的方向上的位移不尽相同.如图 138 所示,当用恒力  $F$  通过滑轮使物体沿水平地面滑行  $s$  时,绳头在拉力方向上的位移却是

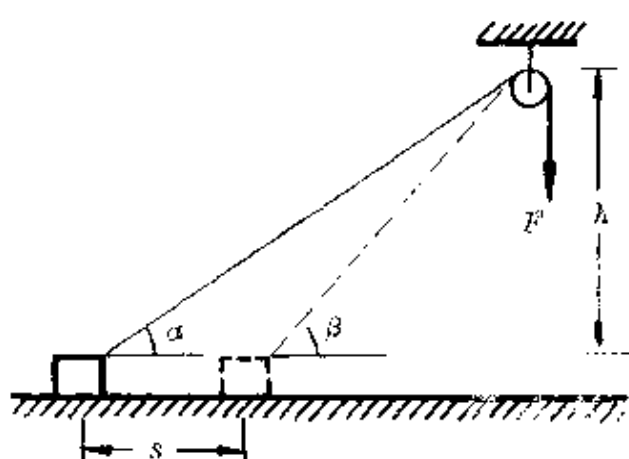


图 138

$$s' = h \operatorname{ctg} \alpha - h \operatorname{ctg} \beta.$$

因此在这个过程中拉力的功应为

$$W = Fs'$$

$$= Fh(\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg} \beta).$$

考虑到这一点,把功的概念中“物体的位移”又上升为“力的作用点的位移”。

在变力做功的情况下,

又需把整段位移分割成许多极小的小段,需要通过力在各小段上做功的叠加才能计算出整个位移上的功,于是,又引入“元功”的概念.如果我们把某个瞬时力的作用点称为“力的瞬时作用点”,并借用矢量的标积的概念,那么“元功”就可定义为“力与力的瞬时作用点位移的标积”.用算式表示为

$$\Delta W = \vec{F} \cdot \vec{\Delta s}.$$

力在整个位移中做的功等于各元段上做功之和,可表示为

$$W = \Delta W_1 + \Delta W_2 + \cdots = \sum \Delta W_i.$$

抽象的层次化并不只限于对某个概念的纵向深入上,也反映在各概念间的横向联系上.

譬如,从重力做功→分子力做功→电场力做功,由此认识电场力做功与电势能变化的关系.

把物体从地面举高,需克服地球引力做功,外界消耗能量;物体落回地面,引力做功,对外提供能量→飞船挣脱地球引力(把飞船与地球拆开),需提供能量;飞船降落地面时(飞船与地球结合),会放出能量→使处于基态的氢原子电离(把质子与电子拆开),需

吸收  $13.6\text{eV}$  能量；相距无穷远的一个电子与一个质子组成处于基态的氢原子(电子与质子结合)，会放出  $13.6\text{eV}$  的能量，由此认识原子核结合能的概念就更为深刻、牢固。


### 3. 勇于伸出直觉的触角

著名美籍华人物理学家杨振宁在回顾自己研究工作时说：“……我跟泰勒(杨振宁的导师——注)学了很多东西，他的想法比较直觉，其好处是触角伸得非常之远，往往在没有看清一个东西的时候就抓住了它的精神，然后再想办法把中间连接起来。虽然中间的路不见得每次都能连接起来，但是你如果不去伸那个触角，你就永远走不远。”

这段话很有启发性。无论是科学研究还是中学物理学习中，都应该勇敢地伸出直觉的触觉，否则，正如杨振宁所说的“永远走不远”。

勇于作出直觉的判断，当然并不是“瞎猜”。从前面介绍的直觉的基础中已经看到，没有一定的知识结构、实践背景和创造性思维的发挥，是无法作出深邃的直觉的。

在中学物理教学中，当然不要求也不可能(一般情况下)作出惊人的直觉，我们提倡的是勇于去尝试。

 为此，学习中应注意知识的积累、经验的积累。美国著名物理学家温伯格在谈到培养直觉能力时说过，首先要有一个哲学观点去指导……另一个重要的因素是经验，你试验过各种事情，在许多领域里工作过，知道哪些行得通，哪些行不通。除了自己的经验以外，还有你从别的物理学家的的工作过程中了解到的经验。我有时想，念一念科学史是很重要的，你可以了解科学家们如何走了那么远，然后停了下来，没有走下一步，走到偏的方

向是多么容易。所有这些，你读的，你试着去做的和想的，形成了你脑力活动的一部分，不管你是否想到它，它总是在起作用，并不神秘。

温伯格的话为我们揭去了笼罩在直觉头上朦胧的面纱。原来，物理学家们在长期实践中所积累的经验（包括从其他物理学家那里获得的经验）早已储存在大脑的某个角落里，尽管感觉上是无意识，没有想到它，实际上它一直在起作用。因此，在某个外来的刺激或紧张思考后的休整阶段，常会突然涌现。

在物理学习中也是这样。一些学习较优秀的学生，往往都比较自觉地注意知识（不仅是专业知识，也包括专业以外的知识）的积累。无论是自己的体会或是借鉴别人的经验，也无论是成功之道或是失败之见，他们都会有所选择，像海绵吸水一样十分珍惜地储存起来。积累得越多，头脑中各种物理模式也越丰富、深刻，对物理问题的直觉判断力也越强。解题中，他们往往能“一眼”看出问题的关键，迅速地找到入口，或能较顺利地越过一道道障碍，避开可能的泥潭。即使是在完全陌生的问题面前，也会从头脑中丰富的物理模式中通过联系实际问题的分析、比较、选择、组合，直觉地找出大致正确的前进方向。显然，这种“一眼”看出的本领是“冰冻三尺，非一日之寒”，这正是知识和经验积累的反映。



其次，在学习中要多思。刀不用要锈，脑不用会变得迟钝。法国著名的数学力学家、天文学家拉普拉斯回答一位女士问他“怎么会作出这么多的科学发现时”说：“靠多思，夫人，靠多思。”所谓聪明与愚笨之分，很大程度上可能决定于思考的经常与否。养成多思的习惯，尤其应注意发展广泛的联想，这是培养和形成直觉思维的一种重要的方法。每当学习新知识时，就应该自觉地思考它们与已学过的旧知识间可能的联系，努力架设沟通各

部分知识的桥梁.除了在相互间存在着逻辑联系的地方需作联想外,还常需要对超越原有知识的逻辑联系的方面作出更广泛的联想.这种联想,尽管开始时显得很朦胧、含混,却不失为是一种重要的启示,在科学发现和发明的征途上,常能折射出绚丽的光华.

例如,照相技术的发明和光的相干性的发现,这是 19 世纪两个互不相干的产物.在 100 多年中,谁也没有想到把这两者联系起来考虑.1947 年,匈牙利科学家丹尼斯·伽柏产生了一个大胆的联想,构思出一种利用光的干涉原理同时记录和再现景物光波振幅分布和位相分布信息的全息照相技术,这就是现今的全息照相技术.在 60 年代初具有高度相干性的激光出现后,伽柏的全息照相技术的设想也得到了实现.

英国著名生物学家达尔文(C. R. Darwin, 1809—1882),根据他于 1831—1836 年乘坐贝格尔号航行考察后所整理记载的与物种变化有关的事实,形成了生物进化的思想,确立了“选择”在人工培育的动植物种类中的作用.但生活在自然状态中的生物选择究竟是怎样进行的呢?这一点他在考察事实中是归纳不出来的.达尔文自己曾说过,“在相当的时期内对我来说,依旧是一个谜”.后来,他于 1838 年 10 月偶尔翻阅马尔萨斯的“人口论”时,从生存竞争的观点上使他对处于自然状态下的物种选择作了联想——在自然环境的条件下,生物的有利的变异有被保存遗传下去的趋势,无利的变异则有被消亡的趋势,从而引发新种的形成.达尔文从人文科学中得来的联想,使他最终建立了生物进化论的伟大学说.



第三,学会集中注意和合理的调节.英籍澳大利亚的著名科学家贝弗里奇(W. I. B. Beveridge)在谈到直觉的心理学时指出了重要的两点:

- ①摆脱争夺注意力的其他难题和烦恼;

②一段时间的休息有助于直觉的出现。

前者就是要求集中注意,能连续数天(或更多天)自觉地思考,对问题抱有浓厚的兴趣,对问题的解决抱有强烈的愿望.这样,可使头脑的下意识部分也在考虑这一问题,有益于直觉的产生.他还引用了两位科学家的话告诫大家:

“即使你在上班时把自觉的思考非常认真地用于工作,但如果对自己的工作沉迷不够,不能使思想一遇机会就下意识地去想它,或让一些更紧迫的问题把科学问题挤了出去,那么,得到直觉的希望也是不大的。”

后者是许多科学家的体会.在紧张的工作和思考一段时间以后,悠闲地放松一下,在林间、田野散散步或暂时变换一下去干些不费脑力的轻松活动,容易产生直觉.也有许多时候是在洗澡或躺在床上及睡梦中产生的.爱因斯坦说他关于空间时间的深奥概括是在病床上想到的.笛卡儿创立解析几何是一个晚上连续做了三个梦的启示.拉普拉斯这样说过:“我常注意到,把某个非常复杂的问题搁置几天不去想它,当我再拣起它重新进行考虑时,它竟变得极其容易.”这也正是我们平时在物理学习中会经常遇到的情况.

**交流  
和  
记  
录** 第四,多和别人讨论.不论是带着问题的有意识的或寻常无意识谈心式的广泛交流,都会有利于获得启示.许多科学家认为,尤其是与才思横溢、谈笑风生的人交谈,这是促进脑神经发达的最有趣和最有效的方法.

同时,还应养成随时记录感受启示的习惯.据说爱迪生(T. A. Edison, 美国, 1847—1931)十分习惯于记下想到的几乎每一个念头,不管当时这个想法多么的微不足道.也许,这正是他能作出一千多项发明的秘诀.因为许多新想法往往瞬息即逝,过后甚至很难再回忆起来.随时记下这种出现在意识边缘的想法,遇到适当时机



纳入逻辑思维轨道后,很可能就会结出硕大无比的果实了。

总之,直觉并不神秘,在知识和经验的积累基础上,充分发挥你自由创造的力量,她也会荣幸地降临到你的身上!

## 结 束 语

当写完本书最后一页时,作者真如释重负,百感交集.

这套丛书从 1985 年开始酝酿并着手资料准备工作,至今年出齐已整整 10 年.如果说前期准备阶段还属于“自发型”的话,那从 90 年代动笔开始写作的这几年来,已跃入了“自觉型”.这五六年中教学之余的几乎全部时间,都集中在这一套书上了.作者惟有一个目的,希望尽个人浅薄的能力,不辜负作为国家“八五”期间重点图书的使命,能对中学物理教学与研究有所贡献,让读者更满意一些.

回顾这几年来的写作,觉得该借这最后一册的机会,表达一下作者内心的真情,请允许我:

衷心感谢老一辈科学家、有关专家的巨大关怀.能荣幸地有周培源教授、于光远教授为本丛书顾问;全国物理教学研究会理事长阎金铎教授百忙中为丛书写了序言;原江苏省物理教学研究会理事长、首批特级教师吴保证先生、原《物理教师》杂志主编、苏州大学物理系倪汉彬教授等都不辞辛劳地审读了初稿.

衷心感谢我的良师益友、苏州大学物理系束炳如教授.从萌发编写丛书的思想开始,束先生就给予作者极大的鼓励、支持.几年来,难以计次的深夜长谈,束先生开阔的思路、活跃的创见、无保留地提供许多珍藏的资料和对具体问题的教诲,都给予作者极为有益的启发和指导,并从中得到强大的精神力量.

衷心感谢参与丛书工作的我的朋友们和为丛书精心绘制插图的朱然先生和陆正言先生,没有他们的理解与合作,没有他们的协助,本丛书也是难以完成的。

衷心感谢被采用的参考资料的原作者们(包括未列出的原作者们),使我从中汲取了许多珍贵的养料,得以扩展了思路,丰富了积累。

衷心感谢河南教育出版社(现为大象出版社)的大力支持,他们花了很多的人力、物力筹划了三次较大规模的审稿、定稿会。从社长先生到责任编辑等都十分重视,并给予作者许多方便。丛书的顺利出版,尤其是印得如此精美,都与出版社的工作是分不开的。

衷心感谢曾经帮助过我的所有同行和朋友们。

目前,丛书已经出齐了。由于我个人的水平和能力,感到有许多不尽人意之处,也难免会有所疏漏和错误。读者是最有权威的评论家,殷切地期待着得到读者的批评指正。

作者

1995年初夏于苏州九百居

## 主要参考资料

- [1]张永声主编《思维学》，江苏科技出版社，1988年3月第1版。
- [2]张光鉴等著《相似论》，江苏科技出版社，1992年10月第1版。
- [3]周忠昌《科学研究的方法》，福建人民出版社，1983年版。
- [4]W.贝弗里奇著、陈捷译《科学研究的艺术》，科学出版社，1979年2月第1版。
- [5]中国自然辩证法研究会筹委会《科学方法论研究》，科学普及出版社，1983年9月第1版。
- [6]江苏省高教局《自然辩证法概论》编写组编《自然辩证法概论》，江苏人民出版社，1982年7月第1版。
- [7]章士嵘《科学发现的逻辑》，人民出版社，1986年12月第1版。
- [8]栾玉广编著《自然科学研究方法》，中国科技大学出版社，1986年9月第1版。
- [9]张涛光《物理学方法论》，山东科技出版社，1983年版。
- [10]杨仲耆、申先甲主编《物理学思想史》，湖南教育出版社，1992年11月第1版。
- [11]林德宏《科学思想史》，江苏科技出版社，1985年7月第1版。

- [12]王梓坤《科学发现纵横谈》，上海人民出版社，1978年5月第1版。
- [13]张旺著《机遇·路径·发现》，吉林教育出版社，1992年6月第1版。
- [14]殷正坤《探幽入微之路》，人民出版社，1987年2月第1版。
- [15]阎康年著《牛顿的科学发现与科学思想》，湖南教育出版社，1989年12月第1版。
- [16]阎康年著《卢瑟福与现代科学的发展》，科学技术文献出版社，1987年10月第1版。
- [17]徐利治、郑毓信著《数学抽象方法与抽象度分析法》，江苏教育出版社，1990年11月第1版。
- [18]爱因斯坦、英费尔德著《物理学的进化》，上海科技出版社，1962年3月第1版。
- [19]申先甲主编《物理学史教程》，湖南教育出版社，1987年1月第1版。
- [20]张华夏、杨维增《自然科学发展史》，中山大学出版社，1985年9月第1版。
- [21]邢红军著《物理教学心理学》，成都科技大学出版社，1994年10月第1版。
- [22]杰拉尔德·霍尔顿等编，葛绳武等译《原子核》，文化教育出版社，1984年3月第1版。
- [23]倪光炯、李洪芳《近代物理》，上海科技出版社，1979年8月第1版。
- [24]李启斌《天体是怎样演化的》，中国青年出版社，1979年4月第1版。

[25]郑庆璋、崔世治编著《狭义相对论初步》，上海教育出版社，1987年12月第1版。

[26]王书荣编著《自然的启示》，上海科学技术出版社，1974年6月第1版。

[27]G. 盖莫夫著《从一到无穷大》，科学出版社，1978年11月第1版。

[28]别莱利曼著、滕砥平译《趣味物理学续编》，中国青年出版社，1956年12月第1版。