

编者按 物理学是高新技术发展的先导,其研究成果构成了孕育高新技术产品的平台.特别是和物理学密切相关的信息科学技术及其产业更是蓬勃发展、充满生机.为了深刻阐述信息科学技术与物理学之间的关系,系统反映建立在现代科学基础上的信息科学技术的进展,本刊以物理学与信息科学技术作为专题,组织系列文章,包括信息的产生、获得和处理(图像语声及生物医学信息等)、模拟和仿真、微电子和微加工、卫星通信与光通信、信息论和物理学,以及信息科学技术对物理学的促进等.陆续刊登,旨在沟通和促进物理学与信息科学技术之间的相互交融和借鉴.

## 第一讲 信息的产生与获得(上)

张 开 逊

(北京机械工业自动化研究所 北京 100011)

**摘 要** 信息是物质运动本身的属性.通过大自然发出的信息理解宇宙,发现自然规律,是科学永恒的主题.现代信息科学技术使人们能够超越感觉器官和神经系统的生理极限,以前所未有的方式获取自然的信息.文章回溯了人类获取自然信息的历史过程及其不同发展阶段的科学内涵与技术特征,阐述了信息对科学发展的决定性意义,概括地介绍了人类探寻科学信息的某些前沿活动,讨论了它们对探索者的启示.

**关键词** 信息,自然,物理学,发现,发明

## The creation and aquisition of information( I )

ZHANG Kai-Xun

(Institute of Automation for Machine-Building Industry, Beijing 100011, China)

**Abstract** Information is an inherent characteristic of matter and its motion. To understand the cosmos and discover the laws of nature through the information that nature reveals will always be the pursuit of science. Because of the rise of modern information science and technology, it is now possible to acquire nature's information in unprecedented ways beyond the physiological limitations of our sensory organs and nervous system. The historical processes and major features of each stage that mankind underwent to acquire natural information are reviewed. The significance of information for the development of natural science is presented. Some of the most prominent activities in the search for scientific information are described in brief, and their possible implications discussed.

**Key words** information, nature, physics, discovery, inventions

人类通过大自然发出的信息了解物质世界的属性和规律.获取与诠释这种信息的能力,使人们能够逐步理解宇宙.信息是人类活动的基础,在自然科学与工程技术领域内,学科的前沿常常止步于难以获取信息的地方.

信息既不是物质,也不是能量.在物理学家眼

中,信息是一种负熵.它们以物质和能量作为载体,人们通过对物质和能量特征差异性的研究得以了解它们.

从远古到今天,人类获取自然信息经历了6个发展阶段.在不同的阶段,人们获取信息采用的主要方法和依据的基本原理具有明显的时代特征,它们

与自然科学的进展和人类文明演进的历程密切相关,每个阶段获取自然信息的努力都会对人类活动产生深远的影响。

## 1 借助几何学与天文观测获取自然信息

在人类的工程技术的活动中,最早有历史记载的有关获取自然信息的事件,出现在距今 4750 年前。当时,古埃及人在尼罗河西岸的吉萨高地上修建胡夫金字塔,这座巨石垒成的金字塔高 146.5m,底面呈正方形,4 个边分别长 230m,总重约 700 万吨,至今仍然屹立在尼罗河畔,成为埃及古代文明的象征。使金字塔稳定牢固的关键,是使相互叠压的巨石均衡受力,塔体重心保持在中轴线上。为了使金字塔座落在理想的水平面上,古埃及人在高地上凿出纵横交错的渠道,从尼罗河取水倒入渠中,渠道互相连通,刻下水线的位置,以水线为基准,凿去基线以上的山石,在吉萨高地凹凸不平的山岗上清理出 50000m<sup>2</sup> 水平地基。他们利用静止流体表面呈水平状态的原理,获得精确的大范围可视高程信息,完成了这件亘古杰作。

大约 2000 年之后,古希腊哲学家开始以理性的方式关注自然,其中一些学者尝试运用几何学方法获取大地和天体的信息。

人们很早以前已经确信,自己居住的大地是球形的。因为在空旷的原野一直向前走,总会见到陌生的星星,原来熟悉的星星则会逐渐消失在身后的地平线以下。从海岸观察驶来的帆船,总是先见到船桅的尖顶,然后才渐渐现出船身。然而当时人们无法知道这个球到底有多大,因为经验和常识不会给出更多的信息。古希腊人继承和发展了古埃及人的智慧,巧妙地利用几何学原理解决了这个问题。天文学家埃拉托塞尼(公元前 276—194)注意到,每年夏至,在尼罗河上游一座名叫昔因的城市中,阳光可以直射井底,表明在这里阳光垂直于地球表面。他测出夏至中午位于尼罗河入海口附近亚历山大城的方尖碑影子长度,根据碑的高度,算出阳光在这里和地平面垂直线的交角大约是 7°。他知道亚历山大城到昔因的距离大约 800km,通过简单的几何学计算可以求出地球半径,这一结果与今天的测量值相差不到 80km。埃拉托塞尼的工作标志着人们已经开始出于非功利目的获取大自然的量化信息,这一重要信息在 1700 年之后成为哥伦布(1451—1506)在 1492 年冒险远航发现美洲的科学依据。

在科学发展的早期,人们已经能够用十分简单的办法获得几乎是不可能得到的自然信息。如古希腊天文学家希帕恰斯(公元前 170—120)仔细观察月全蚀的过程,依据地球阴影在月球表面上呈现的弧度,计算出月球直径大约是地球直径的 1/3。他测量了满月在夜空中的视直径,估算出大约需要 340 个依次靠在一起的月亮才能从东到西排满地平面上方天空中月亮轨道的半个圆周。从而得到月球到地球的距离大约是地球半径的 60 倍。牛顿在发现万有引力定律的过程中,采用希帕恰斯获得的这一信息,计算出地球引力在月球处产生的重力加速度应该是在地球表面处的 1/3600,正好与月球绕地球运行的向心加速度相等,使牛顿大胆地提出了万有引力与距离平方成反比这一假设。

通过天文观测,应用几何学方法获取科学信息的努力一直延续到今天。由于在宇宙尺度中发生的与光传播特性相关的许多物理过程能够在地面上以普通观测手段记录下来,从而有可能获得某些难以想象的科学信息。1676 年,天文学家罗默(1644—1710)通过木星卫星掩蚀时刻的变化,推断光速是有限的值,并计算出它大约是  $2 \times 10^8$  m/s。1728 年,布拉德雷(1693—1762)根据恒星光行差也求出了光速,数值是  $3.1 \times 10^8$  m/s。光速是人类继测量地球半径之后取得的另一个超越经验的自然信息,具有重大的意义。光速的测量加深了人们对光的本质的认识,不仅使人们能够正确理解天文观测中获得的许多异常信息的真正含义,而且后来还导致了人们的时空观念发生变化。

从公元前 4 世纪到欧洲文艺复兴时期,欧洲自然科学在很多领域受到古希腊学者亚里士多德(公元前 384—322)治学理念的影响,不再通过获取自然信息探索宇宙的奥秘。学者的探究活动以经验和直觉为基础,企盼通过演绎常识增长知识,对大自然做出想当然的解释。在亚里士多德之后近 2000 年岁月中,人们很少关心大自然的信息,自然科学几乎没有取得任何重大的成果。科学虚弱地依附在哲学和工匠的传统之上,对社会的影响微不足道。

## 2 以经典物理学的发现为基础获取自然信息

英国哲人罗吉尔·培根(1220—1292)和弗朗西斯·培根(1561—1626)曾先后指出“实验是自然

科学的基础”。16世纪后半期,以伽利略(1564—1642)为代表的一批物理学家使这一哲学论断成为可以操作的科学方法。他们不凭空想臆断,而是通过观察和实验,以科学仪器获取自然界的信息,以数据记录观测的结果,采用严密的数学方法进行高度抽象的逻辑推理,通过归纳和实证的方法探究自然界的因果关系。他们相继发现了惯性定律、自由落体定律和单摆等时性定律,为牛顿力学诞生准备了最重要的条件。

那个时代几乎每一位著名的科学家都发明过获取自然信息的新仪器和新方法,凭借坚实的自然科学基础和丰富的想像力,用新的装置为科学探索活动开辟道路。

伽利略利用空气热膨胀的效应,使温度转化为可以通过视觉识别的信息,发明了温度计。这项发明使温度测量不再依赖于人的主观感受,从而使人类能够认识的基本物理量继长度、质量和时间之后加上了温度。几乎一切自然现象都在一定程度上与温度相关,能够以科学的方式获取温度信息,意味着开启了一扇窥探自然奥秘的新窗口。通过精确的温度测量,可以得到机械能与热能相互转换的比例系数,热功当量的测定帮助人们发现了能量守恒定律,为热力学和热工学的发展奠定了基础。

伽利略的学生托里拆利(1608—1647)发现了大气压力,发明了获取大气压力信息的方法,使人们能够研究空气运动变化的规律,正确理解与空气相关的自然现象。荷兰物理学家惠更斯(1629—1695)发明了擒纵机构,利用单摆等时性原理制造出精确的时钟,后来又制造出采用游丝摆轮定时机构的怀表,由于这些发明,人们能够精确地研究随时间变化的自然现象,获得被观测对象在时域中的变化信息,使科学研究从物质空间关系的描述发展成为更加精确的时间过程的追踪,促进了运动学和动力学研究的进展。精确的计时仪器能够在大海上根据航行速度正确地测量经度,获得航海过程中不可或缺的地理坐标信息,促进了航海事业的发展,在波及全球的地理大发现中起到了重要作用。

获得这些新的自然信息之后不久,人们发现了空气温度、压强和体积三者之间的关系,开始理解地球上空气运动变化的内在原因。依据这些知识,开始预报气象,为公众提供未来的天气信息。发明家开始制造与空气相关的机器,利用大气压力做功,发明了蒸汽机,人类从此开始利用化石燃料为自己产生动力。差不多与此同时,人们开始制造抽除空气的机

器,获得真空,为白炽灯的出现和电子时代来临创造了条件;当蒸汽机演变为内燃机之后,依据空气动力学的原理发明了飞机。直到今天,人们依然能够感受到300年前物理学先驱们获取自然信息的深远意义。

差不多在牛顿力学诞生的同时,通过常微分方程演绎科学信息的方法受到关注,人们开始通过求解方程,根据特定时刻的初始条件预知某些简单物理系统参数随时间变化的规律,这种方法导致天王星和海王星的发现。

### 3 借助光学方法获取信息

17世纪以来,光学的进展增强了人类获取自然信息的能力。显微镜的发明,使探索活动开始进入肉眼看不见的世界,发现了细菌和细胞,孕育了现代意义上的医学和生物学。望远镜指向天空以后,拉近了人类和星星的距离,由于望远镜能够放大视角,提高了观测的空间分辨率,当物镜直径越来越大的时候,到达观测者的视网膜的光通量随之增加,从前隐匿的星体大量出现在观测者面前,天体的信息量迅速增加。望远镜使人们能够更加充分地研究天体发出的光所包含的丰富信息,使单纯观测天体几何位置的天文学发展成为天体物理学和天体化学,导致了20世纪20年代人们宇宙观念的巨变。美国天体物理学家哈勃(1889—1953)通过河外星系的光谱红移,计算出星体离地球远去的速度,通过观测造父变星亮度的变化,得知星系到地球的距离,从而计算出哈勃常数,发现了宇宙膨胀,为宇宙诞生的大爆炸理论提供了最重要的观测支持,使人们的宇宙观继哥白尼日心说之后发生了又一次巨大的变化。

通过光的反射、折射、散射、干涉、衍射、偏振和吸收,可以获得出现在光路上的观测对象运动状态与物性信息。物质发出的光携带着微观粒子能级结构和状态的“指纹”信息,1928年,拉曼(1888—1970)研究单色光在液体中的散射时,发现了与入射光频率不同的散射光谱,这些散射光的频率取决于散射体的特性。这些散射光是由于入射光子与散射体分子碰撞时,分子能量和光子能量叠加的结果。通过这种方法,可以把处于红外波段的分子能谱转移到可见光区段来研究,为研究分子结构提供了一种非常有效的方法。

### 4 电学的进展引起信息获取方式巨变

19世纪电学的发展从根本上改变了获取自然

信息的方式,人体感觉器官在获取自然信息中的作用降到了次要地位。1800年,意大利物理学家伏打(1745—1827)发明了化学电源之后,人们可以随意产生源源不断的电流,开始研究运动电荷产生的物理效应。1820年,丹麦物理学家奥斯特(1771—1851)发现了电流和磁场的联系,观察到运动的电荷可以通过磁场的作用引起视觉能够观察的物体空间位置变化,例如磁针偏转或线圈的转动。从而发明了灵敏的电流计,并且用悬丝和反射镜通过光点的位移进一步提高了检测微小电流的能力,从而使人们迅速联想到,如果首先把所关心的自然信息以确定的因果关系由非电学量转换成电学量,用灵敏的电流计进行测量,将使很多难题迎刃而解。自然界的许多种物质运动变化,能够通过不同途径直接或间接引起相应电学量的变化,人们通过对相应电荷、电流、电压、电阻、电容、电感、介电常数、导磁率、磁场、磁阻、电信号频率或相移、电脉冲信号的时间间隔或时序变化等等参数的测量,可以获得所关心的自然信息,有效地拓展了人类认知自然的信息范围。由于电信号能够以极高的速度沿着导线或通过电磁波传播,空间距离从此不再成为获取信息的障碍,人类获取信息的活动可以到达宇宙空间、大洋深处、原子内部。自然信息转换为电信号之后,可以与各种信号传输、处理系统衔接,构成具有多种功能的反馈控制系统,使以人为主体的多种操作控制系统发展成为由信息获得装置、信号传输处理系统和执行机构共同组成的各类自动化系统,深刻地改变人类在物质资料生产过程和其他许多领域中活动方式。

## 5 电子学拓宽获取信息的途径

20世纪电子学的诞生进一步增强了人们通过电信号获取自然信息的能力。电子学系统可以充分放大微弱的电信号,能够在背景噪声中识别所需要的信息,能够观测自然现象的细微变化和差异,甚至能够获得单个电子或光子的信息。电子学还改变了通过感觉器官识别电信号的方式,可以通过电子束在荧光屏上产生的图像,发光二极管、液晶或等离子体辉光构成的数字符号,以及计算机控制的打印机产生的曲线和图形,获得清晰丰富的自然信息,克服了19世纪指针式仪表许多固有的缺陷。此外,许多电子器件本身可以成为获取自然信息的器件,例如半导体霍尔元件可以对磁场和电流作出反应,CCD电荷耦合器件能够以极高的分辨率识别快速变化的

光信号,对还原性气体敏感的掺杂 $\text{SnO}_2$ 多晶半导体可以发现空气中微量的可燃气体,等等。光电子学提供的多种光敏器件能够非常方便地使光学信息转换成电学量,进一步扩大了通过电学手段获取自然信息的能力。

电子学使人们能够非常方便地利用波与物质的相互作用,通过分析物体发射的各种波的特性获取信息。利用电子学手段很容易激发生用于获取信息所需要的电磁波、超声波和激光,探测波所产生的各种效应。以这种方式获取的信息,不会扰动被观测对象本身的状态,很少消耗被测系统的能量,信息真实度高,没有滞后,可以实现不接触测量。根据波束在不同路径中传播时间的差异,可以在多种空间尺度下获得物体的三维坐标信息,依据波束被散射或反射之后引起的频率变化,可以获得物体运动的速度信息。分析波束频谱中不同频段对被测对象的不同反应(例如对某些特定波长的吸收),可以获得丰富的物性信息。化学、核科学和生命科学的进展,不断创造使非电量和非光学参数转换为电量或光学参数的新方法,使很多从前无法获取的信息进入人们的视野。进入20世纪时,人类已经能够获取电量、发光强度和放射性的信息,自然界中7个基本物理量以及它们的导出参数都可进行测量和计量。

## 6 通过传感器获取信息

基于物理学与相关自然科学的进展,通过电学手段或光学途径获取信息已经成为普遍采用的有效方法。那些能够使自然信息转换成相应电信号或光信号的器件或装置被称为“传感器(Sensor)”。“传感器”已经成为人们获取自然信息的重要手段。

从理论上讲,自然界中存在的各种物质运动变化的因果关系,都可以作为设计传感器的依据。然而,作为实用的器件,传感器应该满足一些必需的条件:输出信号与被测对象之间具有唯一确定的因果关系;输出信号是被测对象参数的单值函数;输出信号具有尽可能宽的动态范围和良好的响应特性;输出信号具有足够高的分辨率,可以获得被测对象微小变化的信息;输出信号具有比较高的信号噪声比;对被测对象的扰动尽可能小,尽可能不消耗被测系统的能量,不改变被测系统原有的状态;输出信号能够与电子学系统或光学系统匹配,适于传输和处理;性能稳定,不受非测量参数因素的影响,便于加工制造;在许多情况下,要求同一种传感器具有相同的特性,即具有可互换性。

在现代社会中,获取自然信息已经成为几乎所有科学与技术领域共同的需求.随着人类活动领域的扩大和探索过程的深化,传感器已经成为基础科学研究与现代技术相互融合的新领域,它汇集和包容多种学科的成果,成为人类探索活动最活跃的部分之一.自然科学基础研究的新成果不断丰富传感器的设计思想,使传感器的探测对象范围扩大,不断超越经典传感器的技术局限,获取更多的信息;不同学科领域的交叉融合,加深了人们对更加复杂的自然现象因果关系的理解,通过多重参数转换获取信息,导致新的传感器出现;传感器探测的空间尺度同时向微观和宏观延伸,传感器的探测阈值降低,动态范围扩大,信噪比提高,仿生传感器引起人们更多的关注;微电子技术和微处理器融入传感器设计,使传感器微型化、智能化,新的材料和工艺使经典传感器出现新的技术特征.

在现代信息科学技术中,传感器属于信息获得范畴,它与现代通信系统和信息处理系统共同构成现代信息科学技术的三大基石.在信息时代早期,人们主要关注的是社会自身活动信息(文字、图像、声音和数据)的传输和处理,传感器的发展居于次要

地位.在相当长的一段时间内,它们仅仅被当作是一类为专用设备配套的器件.随着工业、军事、医学和自然科学研究的进展,在越来越多的重要领域,传感器已成为制约其发展的关键,从而引起世界范围的广泛关注.

1991年3月,美国总统办公厅指定的“国家关键技术委员会”曾经向当时的布什总统提交报告,列举了22项对美国国家经济繁荣和国防安全至关重要的关键技术,其中第14项即为传感器技术.美国五角大楼国防研究与工程局吸取海湾战争中以美国为首的多国部队速战速决的经验,以及有感于20年内杀伤性武器如弹道导弹、巡航导弹、化学武器、生物武器和核弹等迅速扩散对美国构成的威胁,曾经制定了“国防关键技术计划”,以确保美国武器装备的优势.计划规定在1992—1997年间,重点研究和开发21项关键性技术,第一项就是传感器技术.与此同时,日本和德国把传感器技术产业列为21世纪上半期直接影响经济发展的带头产业,希望以传感器技术带动和推进一系列新兴产业,在工业、医学、军事技术和自然科学研究方面取得持久的技术优势,在高新技术世界市场占有尽可能大的份额.



## · 信息服务 ·

### 中国科学院力学研究所非线性力学国家重点实验室 招纳纳米、微米化学物理力学博士研究生

#### ——欢迎物理、理论物理、材料、物化、力学等专业青年加入纳米微米科技研究队伍

1、专业简介:化学物理力学是随着力学微观化的时代潮流而兴起的,以物理学和化学的观点和方法,从根源上研究力学现象及其规律的学科,是物理、化学与力学的交叉学科.以纳米材料和纳米、微米机电系统为研究对象的化学物理力学可称为纳米微米尺度化学物理力学,它是纳微科技的支柱.欢迎物理、理论物理、材料、物理化学、理论化学、力学等专业的有志青年勇于跨入纳、微化学物理力学领域,他们在这一交叉领域取得突破性成果的可能性远大于他们的母领域,著名的证据是诺贝尔奖中有70%属于交叉学科.

2、研究方向:研究纳米微米尺度的新现象、新规律.包括纳米材料的结构与性质,纳米毛细作用学,固体和薄膜的细观化学物理力学问题.它们是原子设计和纳米、微米机电系统设计的基础.选题具有较大自由,重视个人兴趣.

3、主要招生对象:材料物理、理论物理、物理化学、力学等专业硕士(优秀的学士可直读博士).

4、指导教师:朱如曾研究员(010-62638533; zhurz@lnm.imech.ac.cn)

5、考试科目:①英语②数学(一)③量子力学基础(周世勋《量子力学教程》)或量子化学基础或统计物理基础或结构化学基础(周公度《结构化学基础》)或流体力学或弹性力学.

(学士直博按报考硕士科目考试)

6、拟招生人数:博士研究生4名

7、报名时间:今后3年内,每年第一次为7月至9月30日,第二次为12月至次年2月28日

8、报名手续:请浏览网页 <http://www.imech.ac.cn/education/zs02.asp>