

黑盒问题的研究

河北省安平县后庄中学 刘锋、刘文清

[内容提要]本文运用系统科学对黑盒问题进行了理论探索,得出了解决黑盒问题的关键在于对输入-输出信息之因果关系的认识和控制密码的建立。据此,对电学黑盒及光学黑盒的解法做了一般性探讨。

黑盒问题是指对某一未知系统(即黑盒),不打开和不损坏其结构,通过实验来研究其内部结构的问题。

对黑盒内部结构的认识是通过研究其输入-输出信息来确定的。因此,明确输入-输出信息之因果关系是解决黑盒问题的关键。

为了尽量减小信息的多余度,其输入信息要求具有目的性。控制论认为,系统的目的性是通过反馈完成的。所谓反馈,是把输出的信息后果收集回来,以此来调整下一步行动的操作过程(见图1)。

为了研究解决黑盒问题的思路,我们可把黑盒和实验者看做一个耦合的信息反馈系统。

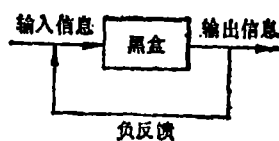


图1

应用唐纳德·M·麦基的人类行为信息流模型可对实验者的思路分析如下:

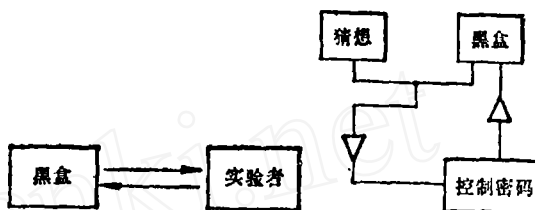


图2

图3 实验者的负反馈信息流

通过对输入-输出信息之分析,可得到相应的猜想。通过负反馈,逐渐使猜想完善,最终达到猜想与黑盒同构。这里,负反馈的控制是依据控制密码——信息输入程序而工作,可见,控

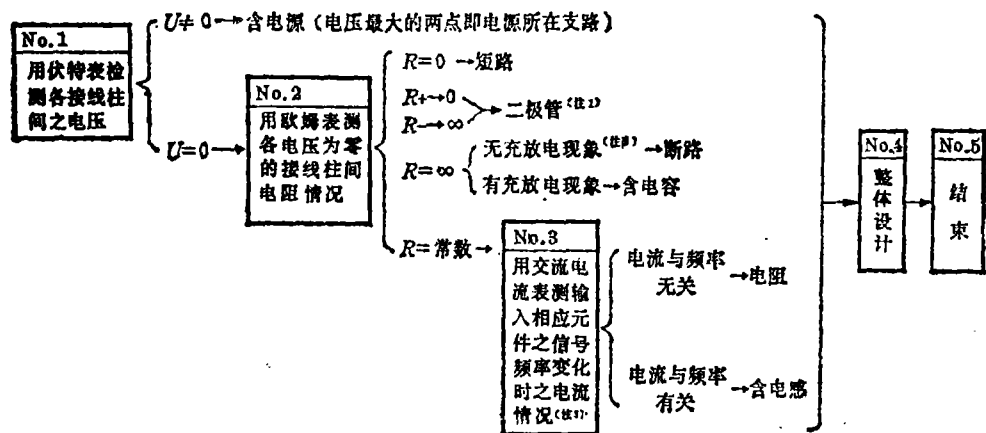


图4

[注1] $R_+ \rightarrow 0$, $R_- \rightarrow \infty$ 表示元件加正向电压时,电阻极小;加反向电压时,电阻极大。

[注2] 充放电现象即用欧姆表测试时,其指针有一偏转后又回到“ ∞ ”处。

[注3] 可将信号发生器、交流电流表和被测器件串联,保持信号发生器电压不变,改变其频率,通过交流电流表观察电路中电流与频率之关系。

制密码的建立是解决黑盒问题的又一关键。

总之,解决黑盒问题的关键在于对输入-输出信息之因果关系的认识和控制密码的建立。“要做到这一点,做实验的人很需要有技巧。”(G·克劳斯)它要求实验者必需具有坚实的基础知识、较高的分析判断能力,还应具备一定的联想能力和创造能力。因此,黑盒问题是一种较高水平的探索性问题。

〔应用〕 在中学物理中,我们接触到的主要是一些简单的电学黑盒和光学黑盒。

对电学黑盒,根据电子元件的特性及检测仪表的使用条件,可得简单黑盒中元件的检测方法及检测程序如图4。

例1. 有一黑盒,外有A、B、C、D四个接线柱。若盒内只有四只元件,试用万用电表研究其可能的内部结构。

下面是某学生的研究过程:

实验过程		分析过程	
输入信息	输出信息	猜 想	反馈控制
			判断盒内有无电源及电源之连接
用万用表电压档测定A、B、C、D任两点间之电压	$U_{AB} = U_{AC}$ $U_{AD} = 1.5V$ $U_{BC} = U_{BD}$ $U_{CD} = 0$		因B、C、D点电势相等,故可用欧姆表研究B、C、D间阻值
用万用表欧姆档测定B、C、D任两点间之电阻	$R_{BC} = 3\Omega$ $R_{BD} = 4\Omega$ $R_{CD} = 5\Omega$		整体设计 $\begin{cases} R_1 + R_2 = 3 \\ R_1 + R_3 = 4 \\ R_2 + R_3 = 5 \end{cases}$
			结束

需要说明,对于黑盒之可能结构,因对其认识发展之方向与猜想有关,故其一般不具备唯一性。如上例。

用万用表电压档可测得如图5的结论。

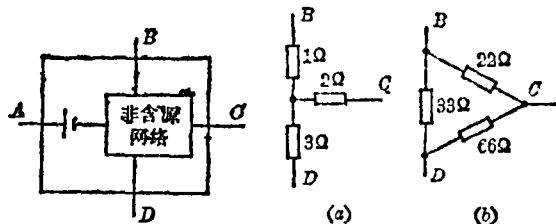


图5

图6

然后由欧姆档所测结果可知此非含源网络为一电阻网络,组合方式有二(见图6)。

故得如下之黑盒可能结构:

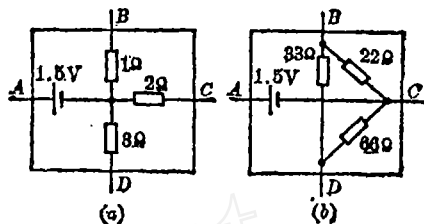


图7

改变电源与电阻网络连接方式,得:

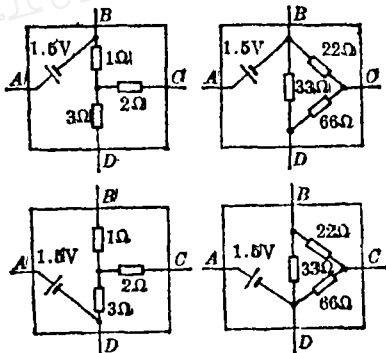


图8

可见,黑盒之结构一般不具唯一性。

例2. 黑盒上有A、B、C、D四接线柱。盒内有三个元件,按一定方式连接。每两个接线柱间最多有一个元件、可能没有,也可能短路。盒内的三个元件,可能是电池、电阻、电容、电感或半导体二极管。试用万用表及信号发生器研究其内部结构。

某学生研究过程如下(见第10页上部表格)

让学生自己做一些电学黑盒,互相交换进行研究,不仅能提高学生的学习兴趣,还能增强学生综合运用知识的能力,提高学生基本仪表的使用技能和实验素养。

实 验 过 程		分 析 过 程	
输入信息	输出信息	猜 想	反 馈 控 制
			判断盒内有无电池
用万用表电压档测量 A、B、C、D 任二接线柱间电压	$U_{AB}=U_{AO}=U_{AD}=0$ $U_{BO}=U_{BD}=0$ $U_{OD}=0$		因各柱等势, 故可用欧姆表研究盒内电阻情况
用万用表欧姆档测任二接线柱间电阻及反向电阻	$R_{AB}=R_{BA}=183\Omega$ $R_{AO}=R_{CA}=\infty$ $R_{AD}=R_{DA}=200\Omega$ $R_{BD}=R_{DB}=17\Omega$ $R_{OD}=R_{DO}=\infty$		判断 A、B 间及 D、B 间是电阻, 还是电感
用万用表欧姆档测任二接线柱间的充放电情况	AC 间 } 有充放电现象 BC 间 } DC 间 } 其余点间无充放电现象		判断电容的确切位置
用信号发生器与万用表 mA 档串联, 分别接在 AB 间及 BD 间, 逐渐改变输入信号频率, 观察电流变化	接 AB 间时, 电流强度不随频率变化; 接 BD 间时, 电流强度随频率变化		
将信号发生器加在 CD 间, 用万用表电压档测 AB 间之电压	$U_{AB} \neq 0$		整体设计
			结束

黑盒问题的输入-输出信息亦可用文字或示意图表达, 此即黑盒习题。下面仅就光学黑盒习题做一研究。

光学黑盒习题是一类用示意图来描述输入-输出信息的单程序黑盒问题。因此, 解决这类黑盒问题的关键是确定输入-输出之因果关系——光路。

我们知道, 光在同一媒质中沿直线传播。于是, 把入射光线及对应出射光线在黑盒中延伸至相交, 若不能相交则用对称线相连, 便可确定光路。

进一步确定黑盒之可能结构, 我们还应掌握光学元件对光路的作用(见图 9)。

据此, 可确定光路中光学元件及其位置, 从而揭示黑盒之可能结构, 思路(见图 10)。

例 3. (见图 11), 单色平行光束从左方射入

元件	平面镜	玻璃砖	棱镜	透镜
对光路的作用	 对垂直光路传播方向	 方向不变, 有侧位移	 方向改变	 凸透镜具会聚作用 凹透镜具发散作用

图 9

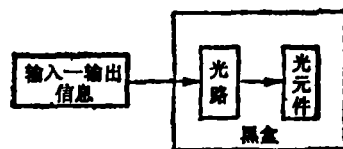


图 10

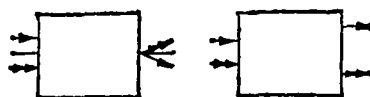


图 11

黑盒, 试画出每个黑盒内放上什么光元件才会
(下转第 4 页)

式 $W = FS \cos \alpha$ 计算。固然, 我们也可以用如图 8 的方法, 先将圆周作分割, 求出在每一小段中力 F 所做的功, 然后再作积累还原成圆周问题。但是, 这里我们看到, 因为力 F 的方向始终与物体运动方向一致, 而大小恒定不变, 故力 F 使小球运动一周的做功情况, 与力 F 作用于小球沿一长为 $2\pi R$ 的直线路径运动的情况(如图 9)等效。所以, 所做的功为 $W = F2\pi R$ 。这样, 我们就把一个复杂的变力沿曲线做功的问题转化成简单的恒力沿直线做功的问题。

又如图 10 的马德堡半球, 半径为 R , 球内抽成真空, 球外大气压为 p_0 , 试求两个半球之间的压力(不计球壳本身重)

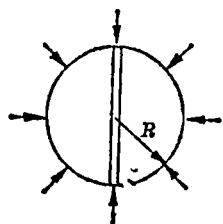


图10

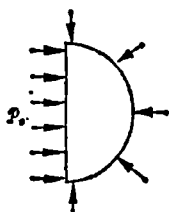


图11

求两个半球之间的压力, 实际上就是求空气对一个半球表面压力的合力。因为球面是一个曲面, 球壳表面不同点上所受的力方向并不相同。而力是一个矢量, 求解本题似乎超出了中学物理的教学要求。但是, 我们可以做如下转化: 设将一个半球面变成一个平面, 如图 11 所示。它在空气中处于静止状态。由力的平衡条件可知, 一个半球外表面所受的空气压力的合力一定正好等于圆平面上所受的空气的压力, 即 $F = p_0 S = p_0 \pi R^2$ 。所以, 图 11 中两个半球之间的相互作用力也等于 $p_0 \pi R^2$ 。这里, 我们通过用一个平面去等效地代替一个曲面, 使

问题的求解变得十分简捷。

如上以曲为直的方法也常用于电学问题的

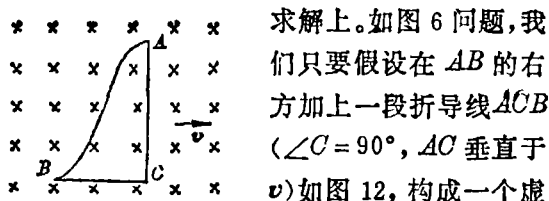


图12

求解上。如图 6 问题, 我们只要假设在 AB 的右方加上一段折导线 ACB ($\angle C = 90^\circ$, AC 垂直于 v) 如图 12, 构成一个虚回路 $ABCA$, 就可方便地解决之。因为闭合回路在匀强磁场中平动时, 其内部总电动势为零。而导线 BC 运动时不切割磁力线, 则它不会产生感生电动势。这样, 曲导线 AB 所产生的电动势一定与直导线 AC 所产生的电动势相等(方向相反), 即

$$\mathcal{E}_{AB} = \mathcal{E}_{AC} = Bdv. \quad (d = \overline{AC})$$

这与前述方法所得结果完全相同, 但做起来则更为简捷。

“曲”可用“直”去代替, 同样“直”也可用“曲”去代替。例如你若想粗测一段笔直公路的长度, 而手头又没有什么量具, 只有一辆 26 吋的自行车。你可以在自行车前轮轮胎上某一位置做一标记, 然后推着自行车走完这段路。一边走一边记自行车车轮转过的圈数 N , 则这段公路的长度即为

$$S = 2\pi RN \quad (R \text{ 为车轮的半径})$$

这种做法的实质就是用若干个车轮轮缘的圆周去等效替代一段直线路径。

上述浅述了曲与直的一些辩证关系以及对中学物理的启示。如果我们在教学中, 能够让学生认识到这些辩证关系, 这对于培养他们科学思维的能力, 形成辩证唯物主义世界观, 提高认识世界和改造世界的能力, 将大有裨益!

(上接第10页)

产生图11中的效果, 出射光束的单箭头和双箭头分别对应于入射光束的两个边缘。

分析: (见图 12)。

以上所论, 只是本人的点滴探索, 不当之处, 还望诸同仁斧正。

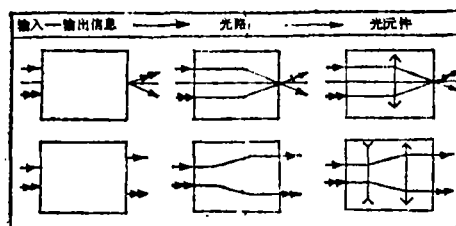


图12

关于增透膜的问题

四川泸州第六中学 张如翠

现行高中物理课本在介绍光的干涉的应用时,特别提出了增透膜。课本指出“……为了减少光在元件表面上的反射损失,提高成像质量,可在元件表面涂上一层透明膜(一般用氟化镁),当薄膜厚度是入射光在薄膜介质中波长的 $1/4$ 时,在薄膜的两个面上反射的光,路程差恰好等于半个波长,因而相互抵消,这就大大地减少了光的反射损失,增强了透射光的强度……”。高中第三册教参书上进一步解释,“当膜的厚度是 $\lambda/4$ 时,从前后表面反射的两列光波的路程差恰好是 $\frac{\lambda}{2}$,从前后表面反射的光波

的相位恰好相反,便产生相消干涉,反射光能量趋于零,因而增加了透射光在 λ 射光中所占的比例。”

但是照以上说法,常常使人产生这样的困惑:不是应该先有反射光,后有干涉,才能相互抵消吗?那么能量是怎么从反射光转移到透射光中的呢?再有,是不是只要薄膜厚度满足 $1/4$ 波长的关系,不论是什么膜、膜的下面是何种媒质,反射光都能相互抵消吗?

对于问题一,其思想方法是错误的。因为光线这一概念,虽然可以用来分析光的传播、反射、折射等某些光学现象,并计算光振动的位相(因为反射定律、折射定律和惠更斯原理都可由

麦克斯韦电磁理论导出),但它不能、也不应成为讨论一切光学现象的出发点,出发点应是麦克斯韦方程组。根据这个方程组,空间任何一点的电磁场的分布,都是由波源、介质性质和边界条件唯一决定,如果其中任一因素发生变化,那么麦克斯韦方程的解,也即空间电磁场的分布(包括场强、能量密度和能流密度)也跟随发生变化。

下面我们就用电磁场理论来讨论在折射率为 n_1 和 n_3 的两种无限媒质中间涂一层折射率为 n_2 厚度为 l 的单层电介质薄膜的情况,为简化起见,我们将推导正入射的情况。

设入射光束电矢量的振幅为 E_1 ,透射光束电矢量的振幅为 E_3 。在薄膜中向前和向后传播的波,其电场的振幅分别设为 E_2 和 E'_2 ,如图1所示。

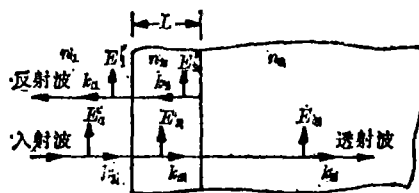


图1

边界条件要求在每一分界面上电场强度 E 和磁场强度 H 的切向分量必须连续,这些条件表达如下:

第一分界面

$$\text{电场} \quad E_1 + E'_1 = E_2 + E'_2 \quad (1)$$

$$\text{磁场} \quad H_1 - H'_1 = H_2 - H'_2 \quad (3)$$

$$\text{或} \quad n_1 E_1 - n_1 E'_1 = n_2 E_2 - n_2 E'_2 \quad (5)$$

其中相位因子 e^{ikl} 和 e^{-ikl} 起因于波从一个分界面通过距离 l 传播至另一个分界面。波矢量

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

第二分界面

$$E_2 e^{ikl} + E'_2 e^{-ikl} = E_3 \quad (2)$$

$$H_2 e^{ikl} - H'_2 e^{-ikl} = H_3 \quad (4)$$

$$n_2 E_2 e^{ikl} - n_2 E'_2 e^{-ikl} = n_3 E_3 \quad (6)$$

$$(2) \times n_2 + (6) \text{得: } E_2 = \frac{E_3}{2} \left(1 + \frac{n_3}{n_2} \right) e^{ikl} \quad (7)$$

$$(2) \times n_2 - (6) \text{得: } E'_2 = \frac{E_3}{2} \left(1 - \frac{n_3}{n_2} \right) e^{-ikl} \quad (8)$$