

3. 信息及其携带者

F Herrmann, P Schmäzle and G Bruno Schmid

信息在我们这个自然和技术的环境中起着重要的作用。本文介绍一种以信息为主要概念而建立起来的中学物理教程。作者在“能量及其携带者”(Energy and its carriers) (1982, Phys. Educ. 17) 一文中介绍了一种用类比方法建立起来的、为初学者设计的教程,它以“能量和能量携带者”为基本概念。本文介绍的借助于“信息携带者”(information carrier)这一概念而建立起来的物理教程是这一教程的推广。

香农(C Shannon)在1949年介绍了一个信息量公式:

$$H = -f \sum_{i=1}^{N} p_i \ln p_i. \quad (1)$$

式中 H 是信源借助于每个符号发射出来的信息量,右边对信源发出的总可辨符号数 N 求和, p_i 是第 i 个符号产生的几率, f 是几率常数。 H 通常以比特(bits)为单位。“bit”是数据处理中“binary digit”(二进制)的缩写。这里 f 的值是 $\text{bit}/\ln 2$ 。

正象前面提到的能量教程允许根据相同的能量及其携带者的流动规律来处理物理学的不同分支学科(力学、电学、热力学,甚至化学)(Falk et al 1983, Schmid 1984),这里所介绍的信息教程也允许根据相同的信息及其携带者的流动规律来处理物理学的其他分支学科(声学、光学),以及高保真、电视和计算机技术。这些课题通常被安排在教程的最后部分,并作为讲座内容。以上所提到的这三种技术的重要性在我们

的日常生活中日益显示出来了,因此,我们感到当今物理教程必须包括这部分内容。

利用刚在所介绍的概念,信息这一教程可对不同水平的学生进行教学。然而,作为一个具体的例子,我们讨论本教程在13或14岁学生中的应用。

在介绍教程本身之前,我们必须先指出,我们把Shannon的信息量 H 叫做“数据量”(amount of data)。我们这样做是由于Shannon的信息量 H 与信息的内容无关。特别地,与信息对信宿来说是否重要无关。然而,日常生活中的经验告诉我们,信息一词包括以下这一涵义:信息对信宿越重要,它所包含的“信息”就越多。另一方面,我们认为,“数据”一词与“信息”一词相反,在这方面是不大容许的。并且,“数据”一词已成为我们日常词汇的一部分;例如,常见的“数据线”、“数据携带者”、“数据流”等。(附带说一下,由于同样的原因,Schopenhauer用“数据”一词来表示从我们的感官到大脑的数据流。)

现在我们将先描述最简单的数据传递结构:源、携带者和接收器,理解这种结构无需对所传递的量加以精确的定义,也用不着详细描述如何测量它。然后,我们将介绍定量测定数据量的方法,接着举几个数据传递过程的定量例子,并引入数据流(data current)的概念。最后,我们将讨论数据储存器(data container)。

数据传递的结构

让我们以一间典型的房间作为例子。几根不同的电缆、管子和接口将房间内部和外界环境连接起来:有些通道把能量(借助于某种能量携带者)传递到房间内——例如,电缆、煤

气管道和热水管道。另一方面，电话线和屋顶上收音机或电视机天线的电线起着另一种作用：通过这些通道，人们获得了声音和图像。这些通道将数据从外界传入房间。

数据的传递和能量的传递一样：数据传递总伴随着数据携带者(data carrier)。上述例子中的数据携带者是电。其他数据携带者包括声音、光和其他电磁辐射。

正象描述能量传递需要源和接收器的概念，描述数据传递也需这二个概念。在每一种数据传递中，都包含数据源(data source)、数据携带者和数据接收器(data receiver)。数据携带者将数据从数据源传递到数据接收器。我们可以合理地将数据传递用数据流图(data-flow diagram)来描述(见图1)(类似于描述能量传递的能流图)。图2给出了三个例子。

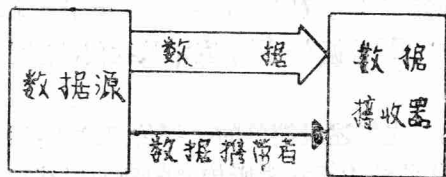


图1. 一般的数据流图

描述能量传递的另一个有用概念是能量收发器。(energy transceiver)。能量在能量收发器中由一个携带者传给另一个携带者。数据在传递中通常也改变携带者。例如，在话筒中，数据由携带者声音传给携带者电(图3a)。与此相反的传递过程发生在喇叭中(图3b)。因此，我们将能把数据从一个携带者传给另一个携带者的装置叫做数据收发器(data transceiver)(图3c)。

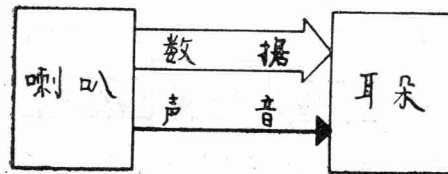
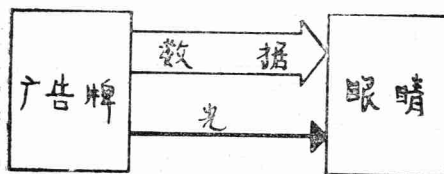


图2. 几个例子的数据流图

如能量收发器一样，数据收发器也可根据“多米诺”规则被串联起来。用这种方法，可方便地表示包含一连串复杂的数据收发器的数据传递过程。图4给出了用电视机传递数据的一组数据收发器。能量和数据收发器的概念相当有用，这是因为在日常生活中遇到的许多技术设备总与这个或那个有关。表1给出了几个常见的能量和数据收发器的例子。

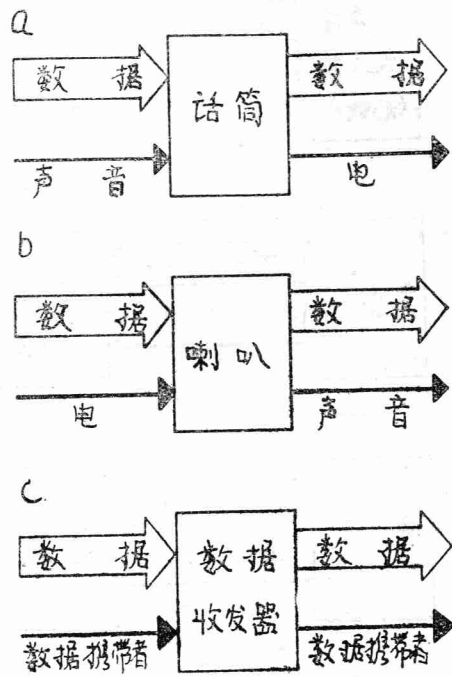


图3 a. 数据收发器话筒; b. 数据收发器喇叭
c. 一般的数据收发器图

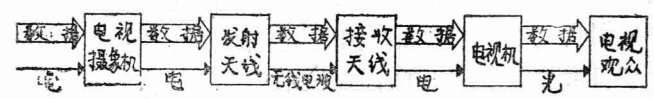


图4 一组数据收发器

表1 能量和数据收发器

种类	例子
能量收发器	发电机、电灯、电动机、压缩机、太阳能电池、水轮机、辐射器、空调器、汽油发动机、光车、太阳能收集器、蒸汽机、电烘炉
数据收发器	话筒、发射天线、接收天线、眼睛、耳朵、喇叭、电视机、发光二极管、光电二极管、无线电收音机、磁拾音器、广告牌、警报器

Shannon 的信息测量

教程的下一步是介绍适合于初学者理解的对数据量的定量测量。与方程(1)的一般形式不同,这里仅对出现几率相等的符号这种特殊情况作了处理。这样,避免了对数概念的明显出现。

首先,我们研究数据源只发射二个不同符号中的一个符号这种数据传递的例子。在这种情况下,数据源只能向接收器正确地发送一个是否判定(yes-no decision)。换句话说,一个事先约定好的并只允许有二个中的一个可能答案的问题可以通过一个符号的传递来回答。

在课堂中,我们用下面的例子来描述这种数据传递。夜间,有二个孩子在他们的房间之间用红灯和绿灯来回地传递信号;灯可以从一个卧室的窗门照到另一个卧室的窗门。有

几个不同的情况要向学生讲述清楚：一个事先约定好的问题既可以用“是”（绿灯）来回答，也可以用“否”（红灯）来回答。[在这个演示中，问题的实际内容在答案的传递中是不起作用的。这点是很重要的。]数据总是以相同的方式传递：或者绿光从一个窗口传出，或者红光从一个窗口传出。由于在每一种情况中数据的传递过程是相同的，并与所理解的问题的含义无关，因此，在每次传递答案时的数据量总是相同的。

根据这些数据传递的特殊例子，可以这样来定义“数据量”的测量单位——比特(bit)：只含有二种不同符号的数据源，这二种不同符号由数据源任意使用，每发射一个符号的数据量为1比特。

因而，在上述二个孩子的例子中，在每一个“是否”回答中，接收器收到1比特的数据。显然，只有一个由它任意使用的符号(如只有一种连续的音调或光)的数据源对于数据传递来说是没有意义的。(注意：当然，能够开和关的数据源在数据传递中是有用的。然而，这里要引入“开”和“关”二个符号。)

单独一个“是否”源也能发射一个比特以上的数据，这点是明显的。对几个不同的事先约定好的问题用先后几个是否来回答：接连二次回答，接收器便收到二比特数据；接连三次回答，便收到三比特数据，等等。这说明数据量有可加性。

下面要讨论的是这样的问题：对于有二个以上答案的问题可以用一串是-否(或绿-红)信号来回答。引入“判定树”(decision tree)(图5)可帮助我们讨论这个问题。从判定树中可以看出，含有四个可能答案的问题可以用一串二个1比特的判定来回答：在每回答这样一个问题时，接收器收到二比特的数据。

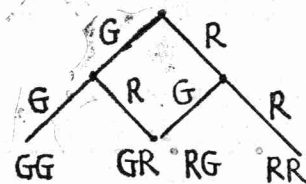


图5 判定树

一个数据源除了可以只有二个由它任意使用的不同的符号(如绿光和红光)外，也可以有四个不同的符号(如红、绿、蓝和紫光)。这时，含有四个可能答案的一个问题可以用一个符号来回答。这样，含有四种由它任意使用的不同符号的数据源每发射一个符号就向接收器传了二比特的数据。

对图5的判定树的一步步展开，最终可以列出表2。此表说明，每一符号的数据量取决于数据源所含的由它任意使用的不同符号的数目：含有 $N = 2^n$ 个由它任意使用的不同符号的数据源每发射一个符号的数据量为 n 比特。

为了确定含有 M 个不同的由它任意使用的符号(这里 M 不能用 $M = 2^n$ (n 为整数)来表示)的数据源的每一个符号的确切的数据量，我们需要引入对数的概念。但学这一教程的学生还未学过对数。因此，我们对于上述数据源的每一个符号的数据量作了近视估算。例如，对于含有由它任意使用的 $M = 26$ 个符号(相应于26个英文字母)的数据源，我们发现

$$2^4 = 16 < 26 < 32 = 2^5.$$

因此，发射或接收到的每一字母的数据量为4和5比特之间

(假定在信号传递中, 每一个英文字母出现的可能性是相同的)。对于用摩尔斯电码传送信号的情况也可作同样的估算。每一符号(点、线和空白)的数据量在1和2比特之间。对于中文“字母”(约2000个不同的字), 每一个字的数据量大约为11比特。

如果学生已经学过对数的知识, 他们就可以精确地计算数据量了: 含有 N 个由它任意使用的符号的数据源每发射一个符号的数据量为 $\log_2 N$ 比特。

表2 每个符号的数据量与数据源所含的由它任意使用的不同的符号的数目有关

不同符号的数目	每一符号的数据量(bit)
$2 = 2^1$	1
$4 = 2^2$	2
$8 = 2^3$	3
$16 = 2^4$	4

数据流

为了能量地比较各种不同的数据传递过程, 有必要引入数据流(data current)的概念, 以补充数据量的概念。学生通过日常生活的经验和以前学过的能量教程已经知道, 流是测量诸如水、电或能量等物质在给定时间内流过一给定界面的多少的。数据流的概念也有同样的含义:

$$\text{数据流} = \text{数据量} / \text{时间}$$

因此, 数据流的单位是比特·秒⁻¹(bit s⁻¹)。为简单起见, 我们

用符号 H 和 I_H 分别代表数据量和数据流。这样, 上述方程变为

$$I_H = \Delta H / \Delta t$$

表3给出了几种不同的数据传递过程的数据流。所给的例子中有些可以让学生在课堂中计算, 有些则简单地提一下。值得指出一下, 用声音传递时的数据流要比用图像传递时的小得多。比较用收音机和电视机时的数据传递, 或比较耳朵到大脑和眼睛到大脑的数据传递, 可以解释这一点。用图像传递时的数据流比用声音传递时的数据流大约大 10^3 倍。

表3 不同数据流的比较

数据传递类型	数据流(Kbits ⁻¹)
摩尔斯电码	~0.003
打字电报机	~0.04
电话	~64
无线电收音机	~10 ²
电视	~10 ⁵
听神经: 耳—脑	~100
视神经: 眼—脑	~10 ⁵

数据存储器

显然, 有大量的装置虽与数据有关, 但不是数据源、数据接收器或数据收发器。这种装置用来储存声音、图像等。我们把这部分储存数据的装置叫做数据存储器(data container)。

我们把真正的数据存储器和储存数据或从中找回数据所必需的辅助装置区别开来。对于有些数据存储器, “读”数据和“写”数据的装置是相同的; 对于另一些数据存储器, “写”数

据的功能则用别的装置来承担。表 4 给出了几种常用的数据储存器,以及相应的读、写装置。

课堂经验表明,学生已经熟悉了另外大量的数据储存器:书、人脑、计算机的记忆单元、打孔卡片、打孔带和在音乐匣或自动钢琴中的尖鼓。在课堂中,我们还讨论了纯读储存器和读-写储存器的区别。必须指出,这不是一个原则的区别,因为把一个数据储存器用作纯读储存器还是读-写储存器常常由用户本身来决定。唱片、幻灯片、书、音乐匣中的鼓、计算机只

表 4 常用的数据储存器

数据储存器	写装置	读装置
录像带	录像机	录像机
磁带	磁带录音机	磁带录音机
影片	电影摄影机	电影放映机
书	印刷机	人
幻灯片	照相机	幻灯机
唱片	制唱片机	电唱机
软盘	软盘输入/输出装置	软盘输入/输出装置

读存储器都是纯读储存器的例子。磁带、录像带、软盘、随机存取存储器都是读-写储存器的例子。对几种常见的数据储存器的最大数据流(以bits为单位)在课堂中作了估计或计算。

小 结

本文介绍了用信息概念来建立一种物理教程的方法。本教程的建立与我们以前介绍过的用能量建立起来的教程相同。这个相同点的物理基础我们已经作了讨论。我们已经指出,正象能量教程允许根据能量及其携带者的相同规律来处理物理学的不同分支学科,信息教程允许根据信息及其携带

者的相同规律来处理物理学的其他不同的分支学科。例如,正如前言中提到过的那样,本教程的后几个单元包括光学(信息携带者="光")、声学(信息携带者="声音")、计算机或数据还原(以"数据还原机"为标题)和数据技术(涉及到如高保真或录像机等日常生活中的装置。这里数据传递和能量传递间的密切关系就尤为显示出来了)。

我们借助于数据、数据携带者、数据源、数据接收器、数据收发器和数据储存器描述了一种最简单的信息流。尤其是,我们演示了测定bit的方法——在课堂中引入了数据量的概念,并利用数据流的概念研究了数据传递过程的几个定量例子。

参 考 文 献

Schmid G B 1982 "Energy and its carriers" Phys. Educ. 17 212

Shannon C E and Weaver W 1949 The Mathematical Theory of Communication (Illinois University of Illinois Press)

Schmid G B 1984 "An up-to-date approach to physics" Am. J. Phys. 52 794

Falk G, Herrmann F and Schmid G B 1983 "Energy forms or energy carriers?" Am. J. Phys. 51 12

Schopenhauer A 1977 Die Welt als Wille und Vorstellung II (Zürich, Diogenes) pp33-7

(译自Phys. Educ., Vol. 20, 1985)