



物理学研究中的电子计算机

季 理

(中国科学院物理研究所)

伟大领袖毛主席教导我们：“胸中有‘数’。这是说，对情况和问题一定要注意到它们的数量方面，要有基本的数量的分析。任何质量都表现为一定的数量，没有数量也就没有质量。”我们物理工作者在自己的科学实践中对毛主席的这一指示有着切身体会。物理学不仅从定性方面去研究物质的声、光、热、电等各种运动形式，而且尽可能地数量关系上去把握它们。各种物理测量的精确程度从来是物理实验水平的重要标志之一，而物理理论一向不满足于定性地解释自然现象，总是力求定量地说明实验结果和作出科学预言。定量关系在物理学中的作用，目前比自然科学的许多其它领域更为突出。我们正是从这样一个角度来讨论物理学研究中使用电子计算机的问题。

本文将着重介绍现代电子数字计算机为物理研究工作提供的多种可能性。先略述一些有关的基本概念，然后介绍几种（不是全部）重要应用。最后就物理学研究中推广使用电子计算机提一些看法。

一、电子计算机的一些基本概念

我们这里只讨论数字式电子计算机，不考虑模拟计算机。“数字”一词的意思，只是说计算机要用到的各种信息都以数字形式保存、处理和传送。例如，每个汉字可以借助电报明码或四角号码表示成四个数；罗马字母、数字符号和标点符号可以编成特定的代码；一幅五彩画面可以按各点的坐标、颜色、光强等编码而用一张数字表格的形式保存。计算机中保存这些数字对象的地方叫做“存贮器”。存贮器的主要指标是容量和存取时间。容量以字数和字长（二进制位数）表示。每个字可以存放一个或几个数，一个数也可能占几个字，看数的性质和精确程度而定。目前大量使用的各种磁性存贮器，取出信息时要破坏原来内容，需要“重写”使之恢复。读出时间加上重写时间称为存取周期，它至今是限制整机运算速度的主要因素。比较存贮器容量时往往把 1024 字 (2^{10}) 作为单位，简称一千字。现代计算机的典型容量是：小型机四千到三万二千字，字长 16 位；中型机一万六千到六万四千字，字长 32 位；大

型机十三万到五十二万字，字长 64—128 位。典型的存取时间在五微秒到五十毫微秒的范围内。为了提高运算速度，除了上述主存贮器外，有些机器还备有更小更快的超快速存贮器，并使各存贮和运算部件高度重迭并行地进行工作。

关于信息的处理，现代计算机的基本思想是内部程序控制：把机器应完成的任务也用数字代码表示出来（称为“指令”），与其它数字对象一样放在存贮器里，而若干条指令构成程序。计算机的“控制器”和“运算器”能自动从存贮器中顺序取来指令，对它进行分析解释，根据指令的要求，或者对某些对象进行加工，或者通过某些渠道与外部现场发生控制关系和交换信息……加工结果可以送回存贮器中去，也可以暂存在运算器中等待按下一条指令继续加工。执行指令的顺序可以由程序本身根据运算结果或外界要求来判断和改变。例如可以多次重复执行某一段程序（“循环”），可以判断某种条件是否实现而去执行不同的程序块（“分枝”）。多处重复出现的某组指令，可以只写一次，重复套用（“子程序”）。使用循环、分枝、子程序等等技巧，可以用少量的指令写出实现几十亿次运算的功能复杂的，但不特别长的程序。当然，编制程序和排除错误也就成为一种沉重的工作。

在使用计算机的实践中，人们很快认识到可以把编制程序和检查错误的繁重劳动在很大程度上交给计算机自己去作。为此要专门编写一套程序，它能把人们用“语言”（目前还不是自然语言，而是特别规定的“算法语言”）写出的一篇简练文字，翻译成机器能执行的程序，计算机再按照这个程序去计算。这类编译程序以及其它一些减轻程序设计工作量、增进整个系统自动化程度的程序，还有诊断系统内部故障的程序，都是计算机全套设备的重要组成部分。现在通称为“软件”。现代计算机从设计开始，就要考虑软件的要求。例如，机器的指令系统要满足软件的需要，而使用者的要求则由软件来满足。有了较完备的软件系统，更多的物理工作者就可以自己动手编写所需程序，专业程序设计人员则致力于发展各种通用和专用软件。

除了主机和软件，还必须有各种使人 and 机器发生关系的渠道。这主要是各种输入、输出和显示设备，例

如纸带(卡片)输入机和穿孔输出机,模数和数模转换设备,控制打字机,快速打印机,屏幕显示,笔绘仪等等。此外还有扩大存储器容量的各种外存贮器(磁盘、磁带、磁鼓等),增加运算速度的辅助电路(例如某些设备之间可能有快速交换代码的“直接通道”)。这一切都可以通称之为“外围设备”。计算技术的发展使主机体积和造价在全套设备中的比例愈益降低,计算机所能发挥的作用,越来越取决于软件和外围设备的配套和性能。

再解释几个常遇到的名词:

分时——一台计算机同时为多个用户服务,每个用户的感受是独自在使用机器。事实上机器以极快的速度轮流处理各个用户的问题,每个用户只分用了一部分机器时间。分时可以用电路实现,也可以由软件实现。

终端——能与计算机交换信息的终端,有时可离主机很远,由电话线路联接。简单的终端就是一些输入、输出和数字通讯设备,复杂的终端可能是另一台计算机。终端通常是分时的,用户可以从终端使用机器,不必与主机见面。

中断系统——外围设备往往与主机平行工作,完成一定任务后向主机发出信号,请主机中断正在执行的程序来照管一下。这种照管通常就是转去执行一段“中断处理程序”,给请求中断的外围设备分配新任务,然后再返回去执行被中断了的程序。当要求中断的设备很多时,要用电路或软件规定优先级别。优先级高的设备可以中断别的设备正在享用的中断处理,这样就形成了层层嵌套的中断处理系统。用一台计算机同时管理多台物理仪器时,中断是常用的一种办法。

实时处理——按照实在的而不是放大或压缩了的时间尺度去管理外围设备,为此要配备实时钟电路(它也是一种外围设备,可由程序来启停)。物理实验过程的控制通常要用到实时处理系统。

操作系统——多用户分时的计算机体系,特别是多个运算器甚至多台计算机并行工作的复杂情况,出现严重的工作组织和调度问题,它不可能由人直接给予解决。专门从事调度管理的软件,叫操作系统。

从上述种种可以看出,讨论本文标题中提出的问题,至少要注意以下两点:

第一,不要只从“计算”的观点看问题。计算机是一种能在一定条件下以极快的速度和很大的批量来代替人的某些脑力劳动的自动化设备。如果说各种工具机床是人手的延长,射电望远镜和电子显微镜是人眼的延长,计算机可以比作人脑某些特定功能的延长,能教给它作的决不止“计算”这一件事。因此,“计算机”并不是一个很恰当的名称。

第二,不要只从一台一台孤立的设备来讨论使用计算机问题,而要着眼于整个系统,包括人、计算机(往

往不是一台)和所用程序、外部环境,如物理仪器设备和研究对象,以及这些部分之间发生控制关系和交换信息的渠道。不从系统整体看问题,就容易局限于在研究工作的某一个环节上,以手工业方式使用计算机这种自动化程度很高的设备,既不能充分发挥计算机的作用,也不利于整个实验链条的技术革新。当然任何一个实验室的技术改造,都要从局部和具体的事情着手,而长远和总体的考虑有助于整个系统的不断发展和扩充。

我们以蛋白质晶体结构分析为例,作一些具体解释。确定象胰岛素这类每个元胞内有几千个原子的复杂晶体的结构,是工作量很大的研究课题。按照十几年前的作法,先要用X光衍射仪拍摄大量照片,再用显微光度计读测每个斑点的黑度分布,把记录下来数据送入一台独立的计算机处理。输出的电子密度分布用手工标注在坐标纸上,人工进行插值和描绘等电子密度曲线族。许多这样的平面分布堆砌在一起,才是三维电子密度分布的原始资料,可供生物化学和晶体学工作者着手分析。由于胰岛素中最重的是硫原子,而X光结构分析从数学上看是没有相角信息的傅立叶综合,往往要用特制的含重元素的样品和不同的计算方法,经过多次反复测算,才能获得比较可靠的结果。上述分析过程虽然不使用电子计算机就根本无法实现,然而计算机的使用并没有使它大幅度地自动化,这就是因为整个手工操作的链条中只有一环使用机器。设想对整个系统实行技术改造:衍射数据不用照相方法搜集,而改为计数管检测,已经数字化了的原始数据间接(经过磁带或纸带记录)或直接送往计算机,算出的电子密度先由计算机在荧光屏上显示,必要时由笔绘仪输出。还可以设想把衍射数据加上计算出的相位信息,换算成人工模拟的全息照象,再用激光方法恢复成放大的三维立体图形。这样效率会比原来高得多,而且能够较容易地适应更复杂晶体的分析要求。这里还有常被忽视的另一种繁重工作,就是编制数据采集和初步处理、结构分析、显示和绘图、全息模拟等各个阶段所需的程序。这件事也可以在计算机协助下大为简化。

这说明物理研究中使用计算机已经越出了简单“计算”的阶段。当前对若干物理实验系统进行类似的改造,一方面在技术上是可能的,另一方面也存在着不少经过研究才能解决的课题,希望引起物理工作者的广泛注意。

现在可以回答有时能听到的一个问题:“计算机能作什么事?”如果没有程序和必要的外围设备,它什么也不能作——连“计算”也不会。如果有各种配套的外围设备,有齐全和灵活的软件系统,有熟练使用这些设备和软件的人员,那就可以实现许多二十年前不能设想的事情。

二、物理研究中的几种重要应用

在这一节中我们讨论一些物理研究工作中应用电子计算机的实例和设想,目的在于说明计算机提供的可能性,而不在乎某一具体例证本身的意义。人所共知的数值计算放在最后谈,这里先介绍几个应当大力发展的方面。

(一) 物理实验设备的自动控制和实验数据的采集处理

物理实验设备有大、中、小型之分。大型设备如加速器、反应堆、某些受控热核聚变实验装置等。中型设备如各种光谱仪、波谱仪、质谱仪、电子探针、X射线衍射仪等。小型设备如用几台标准仪表对低温杜瓦瓶内的样品进行电磁测试等。对于各种类型的物理实验,要根据其数据量大小、处理方式、采样速度、实验周期和连续程度、物理过程本身能否停顿诸种因素,确定其使用电子计算机的总体思想。

大型设备一般兼有控制和数据处理两种要求。设备本身的许多参数(电流、磁场、真空度、冷却水流量等等),要达到一定范围才能进行实验和测量,因此要对这些参数不断进行巡回检测和闭环控制。参数变化情况往往要自动记录保存。参数调整到预定范围,发出启动信号,开始实验。即使实验在不到一毫秒内完成,通常也要使用许多通道采集大量数据。这里涉及到各种采样速度和响应时间的模数与数模转换设备。如果它们的速度过高或过低于计算机系统的基本速度,都宜采用中间缓冲处理。对于采集到的数据,要进行加工换算,统计分析,并尽可能用图表曲线等直观形式输出。这类大型设备要用一台或多台中小型计算机组成控制系统的核心,并且建立通往大型计算机的通道,以便必要时成批地把数据转交大型机处理。

若干个中型物理实验设备可以共同使用一台中小型计算机,例如使用一台容量为三万二千字、字长十六位、基本存取周期一到二微秒、配有适当外存贮器的小型计算机,可同时管理顺磁共振波谱仪、红外光谱仪、可见吸收光谱仪、真空紫外反射光谱仪、远红外傅立叶变换光谱仪、气体色谱分析仪等十几台设备。这些设备对采样速度的要求不同,有的必须在一段时间内连续工作,有的可以间断(如步进式转动光栅在接到机器指令后才改变波长),而在数据处理要求上又有许多相似之处,如要求计算谱线形状和强度,确定吸收峰中心位置,分辨互相重叠的峰等等。因此,恰当组织采样和处理程序,就可以形成效率很高的综合测试系统。

采用“脱机”方式实现小型物理实验数据处理自动化,是目前技术条件下值得重视的一种途径。它与前面讲的“连机”方式不同,仪器设备不和计算机直接沟

通,而是部分采用数字式测量仪表和输出设备,把数据记录和保存在一种中间媒介(磁带、穿孔纸带)上,然后再集中拿到计算机上去处理。例如用超导体隧道效应研究声子谱,要求测量隧道结伏安特性曲线的二阶导数,必须取得大量数据才能保证精度。这类试验在完成包括制备样品在内的准备工作后,只在液氦杜瓦瓶内进行几个小时,试验课题本身也非长期不变,因而“连机”的必要性不大。当然,随着微小型计算机的普及,许多小型物理试验也会把计算机作为测试系统的核心,从而设备精确度、灵活性和数据处理能力大为提高。

地球物理的实验台站网(地震、地磁、气象)是计算机的另一类用户,各台站的仪器和数据类型往往相似,数据要由统一的中心集中分析处理。有些测试要昼夜连续进行。由一台中型计算机组成多终端实时处理系统,就能很好地承担这种任务。

应当着重指出,物理实验工作中使用计算机,决不止于使原有设备自动化,而是开辟了前所未有的新的可能性,实现人工操作无法作到的测量。下面举两个例子:

基本粒子研究中,从加速器出来的高能粒子束引起各种反应,其中大量是已知的普通事例,但也可能出现产生了未知的新粒子的特殊事例。要对大量照片上的粒子径迹作测量和统计分析才能作出科学结论。1958年全年在气泡室中只得有 K^- 介子的反应137例,而十年后一次实验中就可能有一百万个以上这种事例。如此大量的数据用手工操作处理是极其困难的,必须使用专门设备,在计算机控制下才能有效地进行。

近几年在天文观测中开始使用的综合孔径射电望远镜更是射电天文与计算技术结合的产物。它的基本思想是使用排列在地球表面上的一系列小孔径射电望远镜,对它们收到的信号作关联分析,由此恢复射电源的本来面目。这种望远镜的孔径可与地球直径相比,但是它所看到的“象”在由计算机终端显示出来之前,只是一大堆数据。人类的眼界在数据处理系统协助下又向远开拓了一步。

(二) 计算机“实验”和模拟

可以靠计算机协助,用“实验”方法检验我们对某些物理过程的认识是否抓住了主要矛盾,或者验证某些基本理论前提的正确程度。

统计物理的基本前提之一,就是把对时间平均换成对系综的平均,这个代换的理论证明是很难的问题,以致早就转为数学工作者的研究课题。从物理上看,只要多粒子系统中对各个粒子平均所得的物理量与单个粒子的初始条件无关,系综平均就可以代替时间平均。考虑几百乃至上千个粒子组成的系统,给定某种

简单的相互作用势,就可以用计算机直接检查各种平均值对粒子初始条件的依赖性。实际计算表明,只要有几百个粒子,经过为数不多的碰撞后,统计规律就可以很好地起作用。

这种方法已发展成介于多体力学和统计物理之间的学科分枝——分子动力学。近十几年分子动力学计算已给出不少有益的结果,例如计算了液体氩的状态方程,算出了密度涨落谱(可与瑞利散射、布里渊散射实验比较),看到了气体与液体之间的范得瓦尔斯型一级相变,研究了临界性质与分子间作用势的关系。我们认为,这类工作可以看成统计物理的一种“实验”,是深入分析具体的特殊过程,为发现新的更普遍的一般规律准备“感性”资料,应当给予适当注意。低能核理论的难处之一,是粒子数不太多也不太少,看来也能从分子动力学的进展有所借鉴。

晶体生长过程也能借助计算机研究。一个完全无序的系统中,在一定条件下从某些点开始产生有序的新相(晶体);新相和缺陷(位错)的发展过程,在简单二维晶体情况下已经用电子计算机相当好地模拟出来。螺旋位错的形成、位错之间的相互作用、砷化镓的液相外延过程等等,也都可以用计算机模拟。这证明我们的认识已经抓住了这些物理现象的主要特点。

光学信息处理可能成为计算机“实验”的一个重要方面,由机器计算和形成全息图与各种空间滤波器,再用激光技术处理和显示,可以大为扩展光学信息处理的能力。用这种方法能提高电子显微镜摄得的图象的清晰程度,实现图形信息保密传输,乃至发展光学模拟和电子数字混合式的计算机。

对于计算机“实验”和模拟,各种图象显示和图形输入输出设备具有特殊重要的意义。分子动力学计算的直接结果是成千个分子在各个时刻(一秒钟有时就划分为 10^{14} 段)三维坐标、速度和加速度的数值。从成堆的这种数据中不可能直观地得到任何概念。然而由计算机控制的显示系统把运动图象按照放慢的时间尺度展现出来,甚至摄成电影,那就一目了然,十分生动了。诸如流体运动不稳定性出现,湍流的形成和发展,都可如法炮制。甚至很抽象的研究课题,也能期望靠计算机得到一些有助于思考的“直观”图象。如果把图形输入输出和专用软件结合起来,而且以人与机器互相对话的方式工作,那就成为很方便的系统:画一个滤波网络电路图,立即显示出通频带曲线和各种网络参数。不断改图,随时显示,很快就能确定较好的设计方案;画一个有机分子的结构式,随即显示出按计算好的键长键角组成的立体图象,甚至给出它的理想红外吸收谱,这对光谱分析人员当然很有用。

总之,通过物理工作者与计算技术软、硬件设计人员的共同努力,能够设想和实现许多理论与实验密切结合的新型科学研究工具。

(三)“非数值”计算

计算机速度和容量的增长,使得符号运算、定理证明等这些过去只能由人来从事的工作可部分地交给机器。这首先是把烦琐冗长的代数运算交给计算机去自动推导,并用文字说明和符号公式输出或显示结果。计算机处理的对象本来就不必是数字,而是用数代表的符号、文字、图形或任何其它东西,只要这些符号的“运算”是按照一定规则进行的,就能设计出相应的程序。目前已经出现一些这类代数运算的语言和软件。最简单的语言应处理多项式的相乘和归并同类项,进一步应实现分解因式和多项式除法,再增加矩阵运算、初等函数的微分、求积分等功能,就将为理论物理工作者提供一套有力武器,使他们从繁杂的手工演算中部分地解放出来,集中精力分析物理问题。近几年符号运算软件已在量子电动力学,广义相对论和天体力学几个物理领域中得到愈益广泛的应用。

量子电动力学里高阶辐射修正的计算(实验精度目前已要求考虑六阶效应),过去是一种很艰苦的手工劳动。可以设想:给定粒子数目、相互作用的类型、所要求的微扰论阶数,就能用软件产生和选择全部费曼图,写出矩阵元表达式,求狄拉克矩阵乘积的阵迹和计算相应的积分。非理想气体统计理论中集团积分的计算,是颇为类似的情形。

晶格统计中求各种三维模型热力学量的高温 and 低温展开式,要计算格点组成的不同拓扑结构的图形数目。人工数图工作量很大,容易出错,根本不可能求得高阶项的贡献。例如简单立方晶格上十二个顶点的闭合图形就有756类31754个之多。现在已把数图工作交给计算机自动实现并检验,因此可获得更多的展开项,更精确地估算三维模型的各种性质,得到与实验相当一致的结果。这种工作是促使相变和临界现象理论近来迅速发展的原因之一。

空间群、磁群以及其它有限群表示的推导,各种群表示直乘积按不可约表示展开系数的计算,广义相对论中给定时空度规求克里斯多夫符号和黎曼张量各分量的表达式等等,都可以实现“程序化”。这类问题的共同特点是计算途径已经原则上解决,而工作量太大限制了所得到的实际结果。在发展这类软件的过程中一定会积累很多经验,为进一步实现更富创造性的程序准备条件。

所谓“更富创造性”,是指不同于大部分现有软件按照既定途径重复大量事先规定的步骤达到预期目标,而是包含着更多试探、摸索和总结经验的因素在内,即更进一步模拟人的思维活动的某些具体特点。用计算机证明定理,进行博弈,都可列入这类课题。它们目前还主要是计算科学工作者的探讨对象,我们应注意可能由此产生的物理运用。

(四) 数值计算

现代电子计算机首先是作为数值计算工具而诞生的。数值计算是为人们所熟悉的应用领域，然而就在这方面也有若干需进一步说明的问题。广义地讲，迄今为止对电子计算机速度和容量要求最大的数值计算问题来自物理领域。物理研究的发展曾长期在计算能力方面受到限制，直到最近计算技术的长足进步才为物理研究提供了新的巨大可能性。这种可能性目前一方面尚未被充分利用，另一方面仍不能满足物理学新发展的需要。对这一段话要稍加解释。

首先，物理问题和工程技术问题之间没有，也不可能有固定的界限。任何工程计算都是从有关对象的物理规律出发，在对这些规律认识不足的地方，“物理”就相对多一些。薄壳、水坝、机翼或光学透镜系统的计算，在今天几乎可以全部归入技术领域。在电磁波或地震波的传播、带电粒子与电磁场的相互作用、中子迁移、大气运动与气象预报、导弹再入大气层时的物理现象等方面，界限已不那么清楚。而诸如高温等离子体在约束磁场中的运动规律、电子在晶体内的运动、高能粒子或强光与物质的相互作用、蛋白质晶体结构的确定等等，则还可以完全视为物理问题。这里提及的每一个问题的切合实际的数值计算，对于现有计算机都是一项沉重任务（布点较密的三维问题数值解多数计算机尚不能胜任），只有物理工作者与计算工作者密切合作、大力协同才能解决。

其次，人们对“结构”和“材料”的认识程度当前有很大差距。目前比较会“算”的，是给定了材料参数，确定宏观结构这一类型问题。例如给定弹性模量和强度数据，计算桥梁杆件系统的尺寸和稳定性，或是给定介质参数求某种形状的微波波导和谐振腔的特性。至于从物质的微观或亚宏观结构出发，预见材料性质，指导新材料的研制，人们掌握得还很少。这里正是物理工作者的广阔领域，由此提出的计算课题的规模和难度，使前面讲到的许多“结构”计算相形逊色。计算科学的发展正在迅速使可能变为现实。对于一种最简单的还未人工制成的新材料——金属氢，几乎全部现有知识来自直接计算。对于更复杂的材料，预期也将通过计算获得更多有实际意义的知识。

为什么必须作数值计算？第一，要解决实际问题，就要有定量关系。有时是数值本身，有时是大量数值结果所反映的定性规律，乃是实际工作的重要依据。第二，从基本研究的角度看，严格理论与精确实验的数值差别，往往预示着本质上新的认识发展。测定氢原子 $2S_{1/2}$ 和 $2P_{1/2}$ 两个能级的细微差别，曾是推动量子电动力学迅速发展的关键实验之一。为了检验量子电动力学的适用范围，理论和实验的比较现在已达到第六位数值的精度，而且在实际测量和理论计算两方面，都

已离不开电子计算机的协助。

概括起来说，数值计算是物理工作者认识和改造自然，获得新知识的一种工具，而决不只是检验已知公式的手段。新提出的物理计算课题，往往不能套用常规解决，而要创造新的计算方法。“计算物理”已发展成为独立的分枝学科，反映了这种动向。

以上所述，只是物理研究中使用电子计算机的举例。若干其它领域，如大量文件资料的保存、分类、检索和提取，图形和声音的识别和产生，在物理研究中也应有重要应用，我们根本未提及。然而我们确信，前面叙述的几种应用，已足以说明电子计算机为物理研究提供的广泛的可能性。

三、关于电子计算机的推广使用

电子计算机的推广使用已经成为物理实验室建设的重要内容。一些单位的经验表明，只要加强党的领导，放手发动群众，对于推广和使用电子计算机，入门既不难，深造也是办得到的。

本文最初已经提出，任何物理实验室的技术改造，必须从局部和具体的事情着手。逐步在测试系统中增加数字仪表和数字电路，引入计算机用的输出输入设备（如模数转换、快速打印、磁带记录等），为与计算机连接创造条件。各种传感和执行元件（如热电偶、步进马达、继电器等等）的灵敏度、可靠性和抗干扰能力，并不是采用计算机的自动控制和数据处理系统的特有问題，然而在配备了电子计算机从而使能力大为扩充的系统中，对它们的要求更为严格。常常不是由于主机故障，而是由于某个传感或执行元件的缺点，使整个系统失效。这些技术问题应当在与计算机连接之前，预先有所解决。

各种物理仪器设备与计算机的连接，把标准化问题尖锐地提上日程。标准化的内容，从接插件和电缆的选择，数据代码和通道的组织到与计算机接口的方式，而且应尽量考虑到技术进步和系统扩充可能提出的新要求。比较理想的情况是：一台仪器设备能容易地与任何计算机连接，一台计算机能容易地与各种设备连接。这样的标准化系统要从实践中摸索和建立。及早注意这个问题，有可能少走弯路，事半功倍。

大、中、小型计算机要适当配套。实验工作中大量需要的是各种中、小型计算机，而数值计算和大量数据处理则必须有大型计算机。有些中小型计算机要有通往大型机的通讯线路，以便必要时请大型机分担处理任务。这里应当澄清一下所谓“专用机”问题。最能适应不断发展的科学研究工作要求的，乃是配有较灵活和完备的通道和中断系统的通用电子计算机；比较“专用”的只是一部分外围设备；最“专用”的只是一部分软

（下转第 57 页）