

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

物理能力测量研究



## 总序

师范院校中有一门必修课，叫做教材教法。它是一门培养教师技能的专业课程，但是历来不受人们所重视。在一些专业学科的教师、专家们的眼里，似乎教材教法不过是剖析中小学的教学大纲和教科书，教会师范生如何去上好一堂课，没有什么学术性。他们认为，上好一堂课，保证教学质量的关键主要是有高的学术水平。这是一种误解。但是这种误解不是没有缘由的。原因之一是，这些专家们不懂得，教育既是一门科学，又是一门艺术，只有高深学问，不懂教育规律，没有掌握教育教学的艺术，课就上不好，或者事倍功半。原因之二是，过去的教材教法课确实存在着不少问题，它只分析现有的教材，不对学科、课程以及教育教学的规律进行研究。因此要解决这个问题，除了改变专家们的误解以外，更重要的是研究这门学科的发展，提高学科的理论水平。我认为，师范院校的教材教法不能只分析一门课如何讲授，更重要的是要研究、分析一门科学的发展历史和现状，以及其发展的内在逻辑，结合学生的认知特点，遵循教育规律，把它组织成一门学科。学科并不等于科学。一门科学要变成学校里的学科，需要经过一番改造。改造的理论就是一门学问，本身也应该是一门学科。这门学科是跨学科的，它既要研究某门学科的科学规律，例如数学教材教法既要研究数学教学规律，又要研究教育规律，要把两者有机地结合起来，从这个意义上来讲，教材教法的名称显得落后了。因此把它改为学科教学论或学科教育学是适宜的。

讲到这门学科还有一段历史，不得不讲一讲。我国学位制度建立之初，在教育类门类中就设有教材教法作为二级学科培养研究生，授予学位。但是它的评议因为涉及文理各学科，因此分散在文理各学科评议组中。由于教材教法主要是研究学科教学的理论，文理各学科评议组的专家们认为难以对他们做出评议。这样这门学科的授权问题就处于无人评议状态。1983年在国务院学位委员会召开第二届博士、硕士授权点学科评议组会议期间，我向当时教育学评议组召集人刘佛年教授提出，把教材教法的硕士授权点拿到教育学组来评议，并把名称改为学科教学论，以提高对它的学术要求，从而提高它的学术地位。这个提议得到刘佛年教授的支持和学位委员会的批准，并在以后专业目录调整时把教材教法正式更名为学科教学论。从此学科教学论有了较大的发展。至今全国已有硕士授权点19个，培养了硕士研究生数百名，出版的专著也有几十部，这是十分可喜的现象。

学科名称的更改是十分容易的事，但要把它发展成一门真正的学科并非易事。当时有人提出改为学科教育学，我们认为时机还不成熟，首先要学科的教学理论研究好。教育学是一个更广泛的概念，它涉及到教育系统内部各个领域，而学科教学论主要涉及教育系统中教学方面的理论，即使把这部分研究透彻，成为一门学科也是不容易的。当然，有的学者愿意

把它称为学科教育学，如果确已研究成熟，这无疑是对教育科学发展的一个贡献。

把教材教法改造成为学科教学论是一次理论上的飞跃。教材教法过去只是教育学中的一个部分。学科教学论则变成了教育科学中的一个重要分支学科。这种飞跃有没有根据，具备不具备条件呢？1988年我在为《语文教育学》写序时就说，已经具备了必要的条件。这是因为：第一，近几十年来教学论、课程论、心理学、教育测量学、教育评价学等学科有了新的发展，它为学科教学论的建立奠定了理论基础；第二，我国改革开放以来引进了国外的各种教学理论，开拓了我们的视野，启迪了我们的思想；第三，我国有一批长期从事教材教法研究的学者，他们在师范院校有长期的教育实践，积累了丰富的经验，并且有较高的理论修养，这是建立学科教学论的组织基础。应该说，1978—1988年这门学科的建设是有成绩的，不仅培养了众多研究生和出版了多部专著，而且学科体系基本上建立起来了。更为可喜的是不少专家都在关心这门学科的建设。得到各学科的专家的重视是至关重要的。因为学科教学论这门学科毕竟是跨学科的，文理各专业学科是它的基础。

近些年来，许多学者把学科教学论又提高到学科教育学的高度来研究，这又是一次飞跃。学科教育学不仅要研究学科的教学理论问题，而且要从教育学的基本原理出发，从培养人的高度来讨论学科教育的问题。它不仅要揭示学科教学的教学规律，还要揭示学科教学培养人的规律。学科教育学不仅要讨论该门学科如何设置课程，如何编制教材，如何选择教学方法，如何组织教学，更重要的是要分析本门学科在培养人的整体工作中的地位和作用，并从这个角度出发研究课程、教材、教法，研究它与其他课程的关系，与学校中其他教育活动的关系等等。

广西教育出版社组织全国学科教育理论工作者和实际工作者编写一套大型丛书《学科现代教育理论书系》，我认为正是时候。这刚好是十多年来的一次大总结，大检阅。证明学科教育学这门新兴学科已经在中国大地上成长起来。我当然不可能通览这套丛书，但是从编辑出版计划中的书目可以看到，它涉及语文、数学、物理、化学、外语等中学教学计划中的主要学科，每门学科又分教学论、课程论、学习论、实验论、教育测量和评价等专著，有的学科还著有教学艺术论及其他更细的内容，真是丰富多彩。作者群中有老一代的学科教育学专家，也有年轻一代的学者。我认为，这套丛书的意义，不仅在于它总结了十多年来我国学科教育学研究的成果，而且在于它展示了学科教育学发展的广阔前景，在于它培养了年轻一代学者。这是从教育理论战线上来讲的。至于对我国教育的实际来讲，这套丛书的出版一定有利于我国广大教师业务水平的提高，有利于教育质量的提高。我预祝出版的成功。

1996年春节

## 序

### 阎金铎

随着社会的进步，科学技术的发展，教育的普及和提高，物理教育研究也日益繁荣。

物理教育，研究的对象是整个物理教育过程，即在物理学科范围内，结合物理学的内容、特点和方法，研究如何发挥物理学科的实验功能、理论功能、应用功能、教育功能、培养功能等。也就是说，要从理论上和实践上，探讨如何进行物理教育和怎样提高物理教育质量和教育效率。

物理教育作为教育学科群的一个分支，以其特有的功能，在提高全民族的素质、培育社会需要的人才这一使命中，起着重要的作用。

为了进一步发展教育学科群体，构建具有我国特色的物理学科教育理论，反映国内当前的研究水平，深化教育改革，广西教育出版社组织出版了这套《学科现代教育理论书系》中的物理现代教育理论丛书。本丛书各册的作者，都是在该领域内有研究成就的教授、副教授和专家。全体编著者在编写过程中，突出科学性和实用性，力求准确、系统，体现教育改革精神，从物理教育的特点出发，着眼于提高物理教育、教学质量，分别探讨物理教育的有关理论及其应用。

本丛书共6册，内容简要介绍如下：

《物理教学论》论述物理教学的认识论研究、系统论研究和结构研究，探讨物理教学的模式、技术和艺术，研究物理概念教学、问题教学和物理教学方法。

《物理课程论》从物理科学与物理课程的概念、特点、课程的结构谈起，简要介绍国外物理课程的特点和我国物理课程的演变和现状，着重论述制订中学物理课程的思想基础、制约因素、教学内容的确定、教材编写要求、教材的评价与选用，以及物理课程的展望等。

《物理学习论》揭示物理学习的特点，剖析影响物理学习的因素，提出物理学习的基本原理，建立公理化的物理学习理论体系，以提高学习的质量和效率。

《物理实验论》以辩证唯物主义认识论为指导，通过对大量教学实例的剖析，论述物理实验的基本思想、基本方法和基本技能。特别是从我国中学物理实验教学的实际出发，对实验研究方法、实验设计方法和实验教学方法进行系统地探究。《物理思维论》系统地论述物理思维的概念、特点、品质、形式和方法，并对物理模型、概念的建立、规律的发现，以及物理创造性的思维的方式、给构进行研讨。

《物理能力测量研究》针对物理能力的概念和测量理论，探讨物理教学中能力培养的规律，提出检测的新方法——等价排除法。

本丛书的出版，得到广西教育出版社的大力支持。在各册成书过程中，

得到不少同行的关心，并参阅和借鉴不少的国内外学者的研究成果，在此一并表示感谢！我衷心地期望本书的问世，能够得到物理教育界的同行和广大读者的关注与指教，使这套丛书在深化物理教育改革和发展物理教育理论方面，发挥它应有的作用。

1996年6月于北京师范大学

## 前言

物理教学要培养学生能力的必要性与重要性，已毋庸多言，但多年来能力培养效率低下，亦是师生的普遍感觉。我曾反复思考这个问题，觉得重要的原因之一，是能力不能像知识那样直接定量测量。这使能力培养方法的有效性变得难以判断，也使能力培养难于像知识学习那样可以及时弥补。

然而，真正想要深入研究直接定量检测单科教学所培养的能力的想法，则始于1989年和我系研究生蒋毅同学的谈话，是他谈及能力的直接检测苦于不能摆脱物理知识，等价排除法最初也产生于那个时期。1992—1993年，我到北京师范大学做访问学者期间，等价排除法的可行性检验论文得以发表。在此期间，我的导师阎金铎先生给予我极大的支持和许多重要的指点。

随后几年，主要工作集中在两个方面，一方面是等价排除法的实用性，另一方面是建立一个和其他学科相协相洽、本身又自治的物理能力的概念体系。前一方面的工作主要是不断完善A卷的评定方法，其中最关键的一点是增加了答卷速度因子 $V$ 。它的提出实际应归功于我的女儿。她指出了答卷速度在能力检测和知识检测中所起作用的不同；后一方面的工作使我不得不在相关学科，特别是心理学、思维学与逻辑学的概念群中苦游一番。这两方面工作的难度和繁杂，大大超出了预先的估计，以至几次想放弃研究。多亏了许多老师、朋友和亲人的鼓励，才磕磕绊绊走到今天。

出版这样一部专著，目的只是抛砖引玉，希望得到更多的有识之士和有志之人的指正与帮助，使这一研究能逐步走向成熟。应该说，脱稿时的感觉不是完成任务的轻松，而是艰苦工作的开始，今后还有很多工作要做。

就目前这方面研究而言，还确有许多方面需要进一步改进和完善的。例如，A卷评分的标准和方法应该更简化一点，阅卷工作量太大会明显影响能力定量检测的实用性；如何减小其他能力对所测能力的干扰，比如阅读能力的干扰，又如实验能力检测中观察能力的干扰；能力测量的等价系列试题如何与各年级物理教学所培养的能力层次相适应等。

还要说明一点，关于检测运用物理知识解决实际问题的能力，由于目前的研究成果在概念的相关性上还不十分自治，今后还需进一步深入研究。

最后，我要以非常诚恳的心情，衷心感谢在这些年的研究中给予我各种帮助的乔际平先生，王邦平、王瑶、苏明义、齐红、何麦秋、贾保成、艾克安、刘北秋、王少芳等老师，感谢阎金铎先生审阅本书并给本书写了序言，感谢戴相彬老师在阅读本书草稿后为本书增写了第一章。

续佩君

1996年5月北京丰台



## 第一章 引言

能力及其培养，已成为教育中极重要而热门的研究内容之一。然而相对知识教学来说，它普遍地处于“软”状态，而且培养效率很低。本书研究的主要目的，是针对这种实际情况，先在物理教育的范围内，提出一条出路和方法。

作为一本应用性质的理论专著，应该有清晰的科学概念、确定的科学方法和可实际操作的程序。于是，在尽量使用和充分尊重相关学科的科学概念和规律的基础上，还必须根据物理教育和教学的个性情况，必要时，在不逆反的条件下，拓展那些相关学科的科学概念，补充一些必须引进的新概念，并予以明确界定。然后，再综合这一切，建立自己的应用理论。



## 第一节 物理能力的基本概念

为了教学研究上的方便，本书将提出并使用物理能力的概念。

### 一 物理能力

1. 要注意的两个基本事实：

(1) 在学习物理的过程中，学习者的某些能力必然会获得发展，即使师生双方主观上都并没有在能力培养方面做出充分努力。

(2) 通过物理教学发展学生的能力，已成为许多国家物理教学的共同教学目的。

根据这两个事实，可以看出在物理学习或物理教学中，学生能力发展的必然性和重要性。

2 物理学习和物理教学所培养起来的能力与物理学工作者研究物理学的能力，在范围和深度、在量与质上，还有一定不同。这种不同，是区分这两种物理能力以及在实质上决定物理能力层次的主要因素之一。

然而，考虑到建立这一概念的原因和目的，本书将它暂时限定在主要指物理学的学习者在学习过程中必然要被培养起来的能力，而不是指物理工作者研究物理学所需要的能力。诚然，这两者有着紧密的联系，一般说，在学习物理时被培养起来的能力都是物理学研究所需要的，虽然物理学研究所需要的能力，在范围与内容上要更广泛，水平上要求更高。至于一个人在学习物理的过程中，某些能力之所以必然会获得发展的原因，请参考本书第九章的有关内容。

通过对物理学科的学习，学习者获得的能力发展也还很多。而且，它们对物理学的相关程度也并不等同。有的能力（例如物理书籍的阅读能力与学习能力），要较另外一些能力（如物理实验能力）稍微间接一些。本书所讨论的内容，将暂时限于那些与物理学知识相关较密切的能力；而且，研究内容也将暂限于物理学习者在普通教育阶段内的物理能力。

因此，关于物理能力的定义，我们可以做广义和狭义两种界定：

广义——顺利进行并完成物理学研究任务的个性心理特征；

狭义——物理学习中必然获得发展的、直接影响个体完成相应物理学习任务的心理特征。

在本书大部分的讨论中，将使用狭义的定义。

### 二 物理能力的外显与物理能力水平

能力完全属于心理的范畴。它与性格、气质、人格等概念一样都是个性的心理特征。心理特征的形成要依赖于心理现象。心理源于希腊语“Psyche”，原意指灵魂，现指人类内心世界的感知、记忆、思维、情感、意志、能力、性格等心理现象和心理特征的总和。心理现象与心理特征的区别和联系，将涉及到能力培养的方法和规律，本书将在第九章讨论到这一问题。这里想强调的乃是，无论是心理现象，还是心理特征，其微观机

制是相同的。辩证唯物论认为，它们都是大脑对外界现实的一种能动反映。分析这种“能动反映”的任何一个过程，都不难发现它必然包含“外在—内心—外在”的循环。前一个“外在”，当然是激发大脑产生反映的客观事物。后一个“外在”，则是大脑能动反映的客观事物。值得注意的是，能动反映的方式与产生反映的方式完全不同。除通常对能动的理解外，它还是针对性与自发性很强的认识。这种认识，在心理现象的层次，可能反映为一种具体的经验；在心理特征的层次，可能反映为一种稳定的，系列化的，有一定抽象程度的，逻辑的或情感的确处理模式。

例如，人们对一个一个实际的物理观察活动都会产生反映。这些反映分散进入大脑之后变为一种内在。它们在积累的过程中，陆续被分析、综合、比较、抽象和概括，从而使分散的积累，在上升为理性的过程中被集中为顺利完成物理观察的手段，如观察的步骤、观察的方法等。显然它们都属逻辑的确处理模式。这些确定的模式，在不必完成相类似的观察任务时，它们仍作为一种内在，并不被表现。然而一旦遇到相似的物理观察任务，它们就会立即显示出来，在应变中发挥能动作用。

在心理特征的层次，明确“能动反映”与“产生反映”这两种方式在内涵上的不同，对本书的研究有理论上的决定意义。它使我们有可能根据被动的心理现象的来源，跨入对所需要的心理特征的培养与测量。如果没有这一步，便只能停留在心理的“内在”特点上。对绝对内心的、缺乏外在显示的事物，宏观上便很难予以处理。不妨设想一下，没有宏观可测的特征量，物理学的一切微观研究会面临怎样的困境。

于是，本书界定一个新概念——物理能力的外显：原存在于大脑之中，能在物理能力实施的过程中显现出来的确定模式。通常被称为方法、程序、思路、步骤的内容，以及以某种较稳定的相互联系构成的系列内容，都是确定模式的具体表现。

分析物理能力的外显在实施（运作）物理能力的过程中的具体表现，不难知道，物理能力的外显可以直接表现个体的物理能力的强弱。以物理观察能力为例分析如下：

假设观察者已经具有贮存于大脑中完成物理观察所需要的某些确定模式。那么当观察者决定进行观察时，便要从其中选择，初步试用，确定使用或调整性地应变使用这些模式，从而最后完成了物理观察的任务。在有些情形之下，确定模式会发生简化，较大地提高观察的顺利程度。例如对熟悉的观察对象，试用的环节可能会大大缩短甚至消失。于是这些确定模式在某一个体大脑中的系列化水平，丰富、稳定和熟练的程度，以及应变使用的水平，便决定了该个体所具有的物理观察能力的强弱。

因此，本书以物理能力外显的概念为基础，界定另一个新概念——物理能力水平：对个体施用物理能力外显完成物理任务时，在稳定、灵活与成功等方面达到的高度。

作为个体内在心理特征的物理能力，能够外显为完成物理任务的一些确定模式，其重要意义有二。第一，它表明可以从这些确定模式的学习、建立、运用入手，来培养物理能力。第二，它表明可以从不同个体在运用这些确定模式时表现出的差异，来测量物理能力。而物理能力水平的概念则给这种测量的评价奠定了理论基础。

### 三 物理能力的层次

不同的物理能力有不同的外显，其实质是该种物理能力的内涵。称其为外显，只不过是强调它原本属于一种内在的状态，只有在能力实施的过程中才能表现出来。

然而，为了实现对物理能力的测量，仅从内涵的角度讨论是不够的，因为我们必须在能力实施的具体进程中来测量它，而不能仅从方法论的描述来测量它。因此，我们还必须涉及到物理能力的主要外延。

物理能力测量将涉及两方面：能力的内涵与能力的外延。内涵，就是物理能力的外显；外延，是承受能力外显的具体物理任务。一般情况下，它可用具体的物理知识和实际的问题概括。首先，注意到能力外显（如不同的方法）本身的难易程度和它的适用范围，以及各自对结果做出的贡献都不相同。例如，过程观察法要感知观察对象随时间的变化，这就比整体观察法要难，它适用于观察运动过程，可能导致发现物理规律；而整体观察法通常只了解仪器的外部构造。其次，注意到即使对同样水平的能力外显，当它们涉及到不同的物理知识时，其难度亦不同。例如都用过程观察法，但观察变速运动和观察液体加热与沸腾，后者难度明显要大。因此物理能力又是有层次的。它既与能力的外显有关，又与外延涉及到的物理任务有关。

根据以上的情况，本书对物理能力层次的概念做出两种界定：与待完成的物理任务相当的物理能力的外显；或与物理能力外显相当的物理任务。其中“相当”的主要含义，是综合难度、范围和运用效果等诸方面因素的基本均衡。为了在使用“等价排除法”（参看第五章）命题时的方便，本书前几章的讨论主要使用后一种界定。

此外，如果我们再注意到这样两个事实：

第一，物理能力的培养和发展，和具体物理知识的内容与教学方法密切相关。不同的知识，不同的教法和学法，有利于培养或不利于培养某种物理能力。例如，定性的与定量的物理知识，从实验得出的与从已有的物理概念规律推理得出的物理知识，宏观的物理现象、规律与微观的物理解释等等，各自所便于培养的物理能力显然是不同的。又如，对同一个物理知识——浮力的大小，据浮力成因推导出浮力等于上下表面的压力差值，

与用实验归纳出阿基米德定律，两种教法主要培养的能力也显然是不同的。

第二，学生是从不同年级的物理课程设置中学习物理知识的。那么不难看出，物理能力的层次与不同年级的物理知识，教师的教学方法和学生的生理基础之间，将有一定的关系。虽然我们不可能将它们视为一一对应，但是这关系的存在，对物理能力培养的规划与阶段性，具体的培养方法以及物理能力的测量，都是极有用途的。例如，它将成为本书第五章以及第六至第八章中各种物理能力试卷命题的基础。

以上两个事实指出了确定物理能力层次时还必须考虑的其他一些参数。特别是其中的年级因素，如果能将物理能力的层次处理得和年级有较好的吻合，将非常便利于物理能力的培养和测量。

建立物理能力层次的意义起码有两个。第一，针对不同年级都要培养同一种物理能力的教学实际，它为理顺同种能力的纵向发展提供了基础。第二，对能力测量的命题，特别是对反映某一阶段（如一学期）某物理能力是否得到了发展而编制的几份等价能力测量试题，它指出了可行性。

#### 四 物理能力的教育目标及分类

物理能力测量的基本问题之一是能力测量试卷的命题，因为无此便不能进行物理能力的定量检测。而物理能力测量试卷命题的关键问题，则是如何保证（提高）试题内容效度。内容效度难以确定的能力测试，极容易混同于知识的考试。而且，对不同内容的物理能力的测量，如物理观察能力与物理实验能力，在分别施测的情况下，试题的内容效度差，还意味着欲测能力与其他能力的混淆；进一步的连带反应，会导致对不同物理能力研究的混乱。这一切问题，都会使本书所提出的等价排除法在测量物理能力时的优势受到极大削弱。因此，需要寻找能提高内容效度的办法。

注意到每个人的能力形成依赖于客观外界的各种环境。在物理教学环境的作用下，物理能力的形成也还有一个过程。那么，在形成能力的不同阶段，亦就可以确定不同的目标。

此外还注意到，形成能力过程的实质乃是一个学习过程。因为在学习的概念中，技能、方法、能力等等，都与知识一样，是学习内容的重要成分。学习，就必然有运用的环节。那么，能力的形成，无论是学生自己从外界获得的不同能力外显，例如经验性的方法，还是学生从师长处学到的各种处理事物的方法、步骤、思路等等，都必须通过自身去实践运用，亲自去完成实际的任务，才能变成个体的心理特征。

以上所谈到的，能力形成过程的阶段性及其对运用环节的依赖性，都和知识的学习完全一样。这就提供了可能提高物理能力测量试卷内容效度的方法，即：

参考知识考试的有关研究成果——知识的教育目标分类 本书将建立物理能力的教育目标分类——从物理教育的角度对学生物理能力的发展提出不同的行为目标——并以此来提高物理能力试卷命题的内容效度。

应该说明，本书虽然从物理能力测量试卷命题的角度，提出建立物理能力的教育目标分类，但这并不意味着该目标分类仅适用于命题，或者说并不意味着该目标分类的提出，仅仅为了满足或主要用于物理能力测量命题。与知识的教育目标分类相似，物理能力的教育目标分类的建立与使用，完全可以在物理能力培养或运用的研究中进行。亦就是说，本书所建立的这一目标分类，亦将在培养物理能力与物理能力的施用过程中有更广泛的应用。

综合分析物理能力发展的实际心理过程，本书提出四类物理能力的教育目标。

### 1. 萌生

指学生个体与外界接触中初步产生的物理能力外显。

“外界接触”包括个体对外界从事的具体活动，各种正式和非正式的学习活动自然在其内。在涉及到外界的活动中，学生会自然产生一些经验式的联想。其中，属于能力外显的那些内容、在不断有相同内容、类似任务出现的情况下，逐渐会趋于固定的形式，从而向心理特征的方向发展。在遇到与其相似的任务时，它们会在大脑中有条理的涌现，帮助学生去解决问题。相信每个成年人对这一系列过程都有过自己的体会。“萌生”侧重强调产生过程中那种自然、不自觉、下意识的成分，正由于这些成分，造成“萌生”行为的水平是不稳定的。

本类目标可以包含两层行为分目标。

(1) 认识：获取关于物理能力外显的具体想法。这一目标下的主要工作，集中在生成想法，而不在于想法本身的正误、清晰或水平高低。

(2) 表述：把认识加以整理和表达。表达不一定见诸于文字，主要指在脑子里弄清、理顺，在需要的时候（如再次使用这些方法时）能给自己或别人说清楚。因此，这一目标下的主要工作是清晰与条理所生成的想法，去除自己感觉到的困惑与已发觉的错误，力求达到较高的水平。

### 2. 运用

指学生无把握完成某一具体任务时对物理能力外显的运用。

这里的物理能力外显，不限于萌生的成果，还包括（甚至可能是主要的）教师给学生明确的内容。“无把握”，是指学生尚不具备成熟的物理能力，对物理能力外显了解得极不全面，对它的理解与使用存在明显不妥等等。显然，对任何一个学生，完成任务的这种无把握情况，在培养某一能力的最初阶段都是必然要经历的。这一点，也是把它定为物理能力的一

个分类目标的原因。每个学习物理的人，只有完成这类目标，物理能力才能进一步发展。

本类目标可包含三层行为分目标。

(1) 比较与选择：把自己已获得的物理能力外显，结合完成的具体任务进行比较，并确定准备使用的具体外显。在实际过程中，比较与选择常常有所穿插，特别是它们在试用中还会反复。

(2) 试用：对所选择的物理能力外显进行试验性运用。一般情况下，若该外显无助于完成该任务，或需要进行一定的修正，就需要重新进行比较与选择。这种反复的次数越少，物理能力的发展就越趋于成熟。

(3) 形成：也可叫肯定，通过以最后成功为结局的多次运用所形成的积累，逐步使自己形成物理能力。至于一次具体的成功运用，虽然有助于“形成”，但它不能真正形成稳定的心理特征。

### 3. 施用

指学生有把握地使用物理能力外显去实际完成某一具体任务。本类目标与“运用”类目标的区别，首先是主体施用物理能力的自信程度，其次在于两者的着眼点不同。“运用”类目标，着眼点集中在对物理能力外显的运用，即完成任务是学习运用有关物理能力外显的手段，学习是目的。而“施用”类目标，着眼点则在具体任务本身的完成。因此，这两者反映了学习中过程性的目标与目的性的目标，反映了物理能力由不成熟向成熟的发展。

这一类目标可包含三层行为分目标。

(1) 使用：基本不用或稍加“比较与选择”，就进入运用物理能力外显解决问题的阶段。

(2) 应变：针对完成任务过程中的具体情况，调整原使用的能力外显，或创造性地运用有关的能力外显。

(3) 成果：使用物理能力外显或应变后要得出确定结论。按预想完成任务当然是一种成果，找出不能完成任务的确切原因，或找出了需要继续准备条件然后才能完成任务的那些具体问题，也是一种成果。

### 4. 评价

指学生对任务完成状况的判断。

任务完成的状况一般可分为完成、基本完成、局部完成、未完成与无法完成五种。基本完成，是指完成的部分属于任务的主要或关键部分，或者只余留下一些枝节（细节）问题。局部完成是指虽然没能完成关键部分，但已完成了相当一部分。对于任务的完成状况做出恰当的判断，本身就是一种能力。对基本完成、局部完成和未完成等各种情况的分析，很可能导致有价值的质疑，进而为最后对任务进行决断性处理提供参考。因此，需要把“评价”也作为物理能力的另一类目标。

本目标包含两层行为分目标。

(1) 审核：将施用物理能力外显后的具体成果与欲完成的任务本身进行比较，做出完成或基本完成，或局部完成，或未完成，或无法完成的判断。

(2) 补充：提出与所完成任务（或其他完成任务）相关的建议。在已完成的情况下，建议可表现为关于该任务的拓展与联想。在各种未完成的情况，建议应集中表现对具体原因，确切问题的分析。这些原因与问题一般都应在前述的“成果”分目标中有所明确。在无法完成的情况下，建议可集中在无法完成该任务的原因论证，以及由其联想到的某些其他事物。

## 第二节 导读：背景·思路 ·内容·结构

本节会帮助系统阅读本书的读者对我们的研究工作有更好的理解。会有助于了解全书创作的主要思路、观点与脉络；在读完全书之后重新阅读本节，相信读者会有更进一步的联想或收获，这正是笔者所期望的，它将使这一研究更广泛、更深入、更正确地进行下去。

本章的开头已指出本书的研究目的。但改变能力培养的软状态，解决培养效率问题，我们却认为首先并不是培养方法的问题。理由是：

第一，方法的选择与确定需要靠实践后的反映和调整。没有像知识考试一样的定量反映，能力培养方法调整的科学性和可靠性就将受到很大影响。

第二，方法的有效性，整体地讲，来自规律性。符合能力培养客观规律的那些方法，理论上都应是普遍适用且有效的。因此能力培养规律的研究应是更重要的。

第三，能力的培养方法和知识的教学方法的精髓——教学有法，教无定法——相类似：培养有法，培无定法。然而，灵活方法较规范方法更依赖于实践效果的反映和调整。

进一步分析这三点原因，可概括出两个关键：能力的定量检测和培养规律。于是，本书的研究选择了这两个突破点，它们将作为本书的第五章和第九章集中讨论的问题。

第五章提出的等价排除法，是在承认不可能有脱离任何载体的能力前提下提出的，是在“知识优”的条件下才能使用的。确定这一前提，是从考察传统智力测验方法时受到的启发，然后在哲学和能力的心理学理论中找到的依据。

区别于知识考核的智力检测，采用扩大知识面、降低知识难度的方法，来减少知识的掌握程度对智力检测的影响。实际上，这已经是承认了智力检测必然依赖知识做载体。然而，物理能力不可能总用小学自然常识或初中最简单的物理知识来做载体，因为同一种物理能力的层次随着年级的升高而变化，能力的培养也随着不同年级知识的学习而展开。辩证唯物主义和心理学的研究指出，人的任何心理来源和能动作用，都不可能离开外部的客观事物。于是，必须在接受和使用知识载体的前提下寻找另外的方法检测物理能力——在使用知识之后再在某种相当的情况下，排除它对能力检测结果的影响。

“相当”，起码是对两个对象而言，因此，除在检测能力时使用知识以外，要再寻找一次知识的使用。设计两次知识本身内容的“相当”并不难，但判断被检测能力者的“使用”却很不易。只有在全不掌握或全部掌握的两种极端条件下，才能断定被检测者在两次使用知识当中，“使用”



是相当的。注意到“全不掌握”知识对物理能力测量实际上是没有意义的，所以“知识优”可视为等价排除能力检测中知识因素的充要条件，而不是不同排除程度的参照。

用等价排除法实施物理能力的测量，操作的难点在于阅卷与评定，测量准确性的关键在命题。在检测中，施用能力与使用知识有许多不同的特点，例如：

——每正确使用一次知识（如解题每对一步），表明该知识已基本掌握；而能力每正确施用一次，则并不表示该能力（即使是在某一层面上）已基本具备。

——每使用错一步知识，表明该知识基本没被掌握；而施用错一次能力，则绝不表明该能力不具备，比较恰当的理解为，这是在施用能力顺利完成该任务的过程中所必须的。

——在一确定的解题过程中，知识错一步将造成底下全错；而施用错一次能力，则不意味着后面的能力施用全错，甚至，思绪的跳跃、方法的试探反而会导致正确思路和选择正确方法。……

知识使用和能力施用中的这些诸多不同点，说明还必须寻找一种与能力检测相适合的评定方法。

命题的最基本要求是能力检测的效度——测到的能力就是想要测的能力。知识的考核不难细化到只考一个具体的概念而基本不混入其他概念。能力的施用基本是内在的过程，卷面上表现出的最终施用结果，如果不能反映这一内在过程，就失去了区分与判断该能力施用水平的可能。如果反映出来的不仅是欲测能力的施用结果，就减弱了检测的效度。能力在施用过程中的综合性与内在性，特别是对物理思维能力，大大增加了命题的困难。要解决这些问题，首先，必须清晰待测物理能力的概念，而且要详细到一定的程度。其次，要细化检测的内容，即增加针对性——将能力的每一次施用限制在待测能力的某一个层次，甚至于某一个侧面与某一个方向。进而，有针对性地选择便于落实的题型。最后，还要考虑能使被测者能力水平充分发挥的测试方法，否则，测试的信度和区分度便容易失去原本的意义。

能力测量试卷的测试方法和能力检测的评定方法，特别是后者，可能成为读者的理解难点。

为了使被测者的能力水平充分发挥，本书的实例大都采用了定量计时法，试卷的题型大都采用开底型，这与通常的知识考试与智力测验有较大的不同。注意它们的不同，理解定量计时测试与开底题的特点，特别是进一步考虑由这些不同与特点，给具体实施能力测量带来的一系列可能的问题，应是读者阅读本书和随后的实践操作尤为注意的地方。

本书采用的能力检测的评定方法，力求体现物理能力水平。该水平的定量描述（能力级别），能力测量试卷卷面上的宏观统计量与较准确反映

施用能力的具体特点力求统一，并在此前提下尽量考虑实用与方便。评定中的自变量是能力测量试卷的答卷速度  $V$  与答卷质量  $M$ ；参变量有两个，一个是被测者解答能力测量试卷时每施用一次能力所能获得的分数值  $n_0$ ，另一个是每份能力测量试卷的基本分  $n^0$ 。自变量  $V$  与  $M$  均可由评定能力测量试卷时的宏观统计量算出：应试者答卷中的施用能力次数  $N$ （分为正确使用的与错误使用的），与相应的答卷时间  $t_0$ ， $n_0$  与  $n^0$  则需由命题者给出。

本书对答卷速度  $V$  的界定与速度的一般内涵是一致的，对答卷质量  $M$  的界定则是根据能力与知识在施用方面的不同点而做出的。而用  $V \cdot M$  的积与参变量  $n^0$  一起定义能力级别  $AL$ ，则是一个规定。

另外，为了便于读者更详细地理解与审核本书的研究，在第五章第三节中的最后一部分，对  $M$  与  $AL$  的不同意义、对  $AL$  为什么比  $M$  更能准确地定量描述物理能力的水平，又做了补充说明。

第九章提出的能力培养规律，是建立在能力产生的生理条件、能力培养的客观载体和能力形成的心理本质这三个客观现实的基础之上的，也是与广大教师多年物理教学实践中培养能力的经验相符合的。

生理适应律的实质是在人体能力最佳开发期开始系统运作。不同能力开发期的存在，在生理学与心理学的研究中基本属于定论，也被许多国家发现的狼孩或豹孩的教育实践所证实——如果人的大脑在开发期被完全隔绝于人类社会的开发，那么大脑就基本丧失智力活动的功能。开发期的后限大约在 17 岁左右，问题在于，在开发期内是否还有一个最佳开发期。

从小抓起，可以说是已被承认的实践经验。在教育史上，从小抓起（特别是在思维能力而不是在技能方面）的颇具影响的实例是十八世纪普鲁士王国的威廉牧师。但对思维能力的最佳开发期的系统而具规模的研究，由于各个方面的原因，很少有所实施。需要说明的一点是，对开发期使用“最佳”的提法，其实改用“关键”或者“早期”更为确切些，因为理论和实施表明，不同能力的这一时期，大都集中在幼儿或少儿阶段，其运作的特点并非是容易接受与当时效果极优，而是这一时期的开发，使人在后续的发展中可能（或说较容易）取得相当好（最佳）的发展成果。数学思维能力的早期开发研究，据现有的资料看已走到物理的前面。十年动乱以后，关于幼儿数学学习超常的报道已不止一次，南京师范大学关于高等数学的幼儿教育也已于 1993 年获得全国普通高等院校优秀教学成果一等奖。

本书所采用的湖南师大附中的小群体实例说明，15 岁以前的常智学生完全可以接受，甚至较好地培养起高中物理侧重培养的各种物理能力。如果我们注意到物理方法对科学方法论的巨大贡献，以及物理思维区别于数学思维的诸多特点，那么不难意识到，物理能力，特别是物理思维能力在生理适应律上的落实，会对学生思维素质的发展做出多大贡献。所以，尽

管这一落实工作涉及到课程设置，而并非基层教师力所能及之事，但它仍是值得我们给予充分注重和研究的一件事。由于生理是能力发展的基础，因此，对物理能力培养来说，生理适应律应该是影响培养效果的最主要的规律。

全面寓合律与独立形成律，分别从不同的角度，指出了培养物理能力要符合的两个客观过程。实际上，这两个规律共同揭示了作为特定的心理特征的能力，与作为能力载体的知识以及能力外显这三者之间的关系：能力培养要靠能力外显完成；能力外显从感知、顿悟到运用，都要与知识寓在其中、合为一体；当顿悟与运用达到这些能力外显已能脱离形成它们的任何具体知识时，它们才成为一种稳定的心理特征，即才能最终形成能力。

很长时间以来，物理教学是以传播知识与培养实验技能作为主要目的的。实践证明这一时期的物理教学并非没能培养出学生的能力，这实际上是教师在教学中下意识地实施了全面寓合律；学生在学习物理知识（获得实验结论、形成概念、建立规律）和运用物理知识的过程中，不断使用物理能力的各种外显，累积对它们的感知而萌发了顿悟，从而形成了脱离具体物理知识的方法、思路等等。也就是说，不管师生主观意图如何，物理能力是按这两个规律发展的。

从1965年公开发表毛泽东同志的春节谈话后，物理教学明确提出并不断强化能力发展这一教学目的。教师主观上的努力，意在提高能力培养的效率。这种努力的表现之一，是突出方法、思路及其运用的教学，但效果并不尽如人意。经常遇到的情况是，学生会说（即记住了）许多方法，但应用它们完成相关任务却并不顺利。这是由于对方法的理解不透，使他们还不知道什么时候用，用哪一种方法，怎么用这些方法，当然，亦就谈不上使用中的灵活与应变。“理解不透”，是指在教学中或是由于方法讲得过早——学生还没有对它们形成感知，于是仅仅将方法当做和知识一样的东西生记下来；或是由于将方法本身讲得不适当，如过深或过浅、过广或过少；或是由于讲述方法时，没能结合学生原先感知该方法的素材，没有做到从其中较自然地引出，以至使方法本身的抽象性妨碍了学生对方法的理解。当然，以上分析的几种情况，前提都是教师没有把能力的外显讲错。

之所以出现上述各种情况的原因，前两种情况，一是由于缺乏对知识足够的寓合，过早地脱离了知识；另一个则是虽寓而不合——例如方法与学习这些方法的知识之间不谐调、不相应，两者不能真正合为一体。这两者实际上是由于没能落实全面寓合律，而使“独立形成”成为虚设。而最后一种情况，则是因为教法不当，致使物理方法从具体知识脱离后仍难于独立形成为能力。所以，这里实际上没能落实独立形成律。

综上所述，这些年来物理教学中能力培养不像知识教学那样尽人意的原因，是在认识上和教学方法上，缺乏对知识、能力、能力外显的正确理解和妥善处理。因此，本书在第九章第三节，根据全面寓合律和独立形成

律的内容，探索了实际教学中综合使用这两个规律的操作模式。

全书的其余章节，大体是为这两章服务的。

第二至第四章，是考虑等价排除法的命题必须清晰相应物理能力的概念及常见外显，这三章的讨论，目的是三个清晰：清晰有关概念在相邻学科的科学含义；清晰该概念迁移至物理学后做出的必要的变异或重新界定；清晰各种物理能力的不同外显的主要内涵。这“三个清晰”是划分物理能力层次的基础，也是能力测量试卷命题的基础。同时，能力层次也是命题的又一重要基础。不同的是，物理能力层次的划分不像“三个清晰”的内容那么客观，它可以具有较大的灵活性。本书所提出的层次，是根据目前物理教材和教学的大致水平，考虑能力测量试卷命题的使用方便而做出的。这三章乃是全书的理论基础。

第六至第八章是等价排除法的实际应用。这些实际测试的题目，是从能力层次中选取一部分，用能展现该层次的具体物理知识做载体命出的。这三章的写作目的绝非是给出该方法使用或命题的范例，而是想帮助读者对能力检测形成一个较完整的概念。至于对等价排除法的使用——命题、评定、能力培养规划和方法的配合等等，这三章的实际作用仅限于抛砖引玉。

### 第三节 导读：概念及其系统

根据本章前言中指出的思想与原则，为了在理论和操作方面自洽运作，本书直接迁移使用相关学科的概念（不含物理学和数学）50多个，自定义概念40多个。此外，本书讨论中还将学科教学论（包括物理教学论）的几十个概念，作为了解本书的背景概念和前景概念。虽然由于篇幅的限制，本书没有直接使用它们，但无论是实践本书的研究，还是从理论上进一步理解本书的讨论，都必须运用这些概念。所以，书中对它们给出了较细致的注解。为了减少读者阅读时的困难，也为了使读者更好地理解本书概念的系统，本节将对涉及全书理论框架的主要概念间的逻辑脉络给出一个大致分析。

全书中主要概念间的脉络有三条，分别在图1-1中用不同粗细的线条表示。引线交叉处的圆点，表示引线出发内容的汇总。圆圈内的内容，表示提出相关概念的学科基础和实践基础，它们也是本书的理论与实践基础。

（1）第一条脉络，反映和确定了本书的主框架。

主框架的第一分支。

首先由物理学、物理教学的理论与实践以及教育心理学出发，建立了物理能力的概念。再依据该概念，结合物理学的方法、内容与心理学对能力形成和作用机制的论述，建立了物理能力的外显。继而，由物理能力的外显直接建立检测物理能力的等价排除法；同时，又由物理能力外显的概念和不同的内容相结合，沿着两个方面做出演绎。

其一，与物理学的方法、内容相结合，建立物理能力层次与物理能力水平两个概念。并由能力水平提出能力级别的概念。书中

之所以把物理能力层次与物理能力的水平放在第一节，等价排除法放在第五章第二节，不是因为方法本身的建立要依赖能力层次与能力水平的概念，而是因为实践等价排除法时，命题需要依赖物理能力层次的概念，评定要能直接反映物理能力水平。

其二，与物理教学实践相结合建立物理能力的两个培养规律：物理能力对物理知识的全面寓合律与物理能力脱离物理知识的独立形成律。

这两个规律以及由生理学和物理教学实践相结合建立的物理能力发展与学生生理发展的适应律一起，通过对培养规律的讨论，回到了物理能力的概念。

该箭头上的\*号，是想说明，在培养规律与物理能力的最终发展之间，在本书理论的实际运用中，该处还需有一个环节——符合物理能力培养规律的，经物理教学实践检验并由等价排除法区分其有效性的培养方法环节。

主框架的第二分支。

由等价排除法，通过讨论能力测量试卷的评定，提出了该卷的单位分值与计分起点、答卷速度与答卷质量等四个量，并用其解决能力级别的量化处理，从理论上完成对物理能力水平的描述。于是，通过物理能力水平的宏观定量评价，回到了物理能力的概念。

(2) 第二条脉络反映了目前普通教育中的物理教学所培养的物理能力的内涵。

本部分概念的基础有五个：物理学、心理学、思维科学、数学和生产与生活实际。

物理能力内涵脉络的第一分支。

首先从物理学的内容与方法直接建立物理实验的概念，用物理学的内容与方法分别结合心理学与思维科学建立物理观察和物理思维两个概念。然后根据这三个概念与已建立的物理能力的概念，提出了相应的三种具体物理能力。最后再从物理学和生产与生活实际这个基础出发，结合物理观察、物理实验、物理思维这三种具体物理能力，建立运用物理知识解决实际问题的能力。

物理能力内涵脉络的第二分支。

使用物理能力的外显分别讨论上述四种具体物理能力，就得出图 1-1 的中间部分所列出的一系列概念。其中，物理思维方法与形式是逻辑学概念的迁移，物理思维的基本思路与程序则是以物理学为基础提出的。

(3) 第三条脉络反映了四种具体物理能力的层次与测试。这一脉络是从物理教学实践，特别是目前中学物理教学大纲、教材的实际，使用物理能力层次的概念，具体分析对第二脉络中提出的一系列概念，来得出四种具体物理能力层次。然后，按这些层次对能力测量试卷进行命题，就可通过实测得到定量描述不同物理能力的级别。

## 第二章 物理观察能力

### 第一节 物理观察能力及其外显

观察与实验是两个不同的概念，但又密切相关。观察是一种有目的、有计划的知觉活动，必须以具备现象和过程发生的条件为前提。实验是一种有目的、有计划的操作活动，必须通过创造，调控某种现象和过程发生条件的人工活动为前提。

由于物理教学中的观察，通常是观察物理实验的现象，所以习惯上不将两者分开。实际上，物理学中的观察与物理实验，不但在概念上有根本的区别，而且自身的属性也迥然不同。因此，本书将分别讨论物理观察能力和物理实验能力的有关内容。

#### 一 物理观察

物理观察，是在既定条件下，以知觉物质及其运动中的物理因素、它们的形象、变化及其相互关联为目的的一种观察。物理观察主要依赖机体感官完成。

物理观察的基本特征是，其知觉过程必须在“既定”条件下展开。所谓既定条件，乃指导致物理现象或物理过程发生、形成、发展的各种直接的与较为直接的原因。按既定条件的成因，它分为自然条件下的观察和实验观察。自然条件下的观察，简称自然观察，指在不附加人为调控的自然形成过程中的观察；实验观察，指在人为复制，或附加人为调控过程中的观察。需要说明的是，实验观察不包括复制和调控本身的操作。复制和调控本身的操作，只是形成一种区别于自然条件的既定条件。

物理观察的对象主要包括物理现象和物理过程，学习或研究物理知识的各种工具，例如仪器、模型、挂图等等。

#### 二 物理观察能力及其外显

物理观察能力，即顺利进行物理观察并实现观察目的的个性心理特征。

物理观察能力的外显具体表现为哪些确定的模式，是和学习者学习具体的物理学知识密切相关的。在普通教育阶段的物理教学中，一般可归纳为物理观察的步骤和方法。

##### 1. 物理观察步骤（已具备物理观察的既定条件）

确定物理观察的目的、对象和具体内容。

需要说明，这三者既是相互影响的，又都可能直接影响观察方法的选择和运用。例如观察自感现象，若以观察现象本身特征为目的，则需以小灯泡做观察对象，以灯泡的亮度变化为具体观察内容；若以观察自感现象的原因为观察目的，则还需增加电感线圈为观察对象，并以灯泡亮度变化

与线圈的构造为具体观察内容。显然，以上观察目的、对象、内容的这种改变使观察方法也须作相应的变更。

选择、调整观察方法。

这一步骤往往不是一步到位的，并且，选择与调整的过程相对集中了物理观察中的思维活动。物理观察中的思维，主要是但不完全是依据所观察的物理现象及与其有关的表象进行的具体思维，还含有一定量的使用物理概念或前物理概念（指学生在系统接受物理教育之前已具有的物理概念）进行的抽象思维。物理观察中思维活动的基本特点是，其指向性主要由观察活动决定而不是由观察者主观意识决定，其表现形式通常是联想性的、间断的。

进行观察记录。

观察记录的基本要求是全面、真实、简明、条理、语言清楚、准确、记录格式的选择与记录内容相适合，直观地反应所记内容内涵的特征。

提出质疑或新的观察计划。

质疑并不局限于观察当中，它贯穿于物理实验、思维、运用等所有过程之中。质疑的基本概念是经过较充分分析后提出的疑问。由于进行物理观察的学生已具有相当的知识（自然常识的、物理的、化学的等等），因此，应当要求他们不再像小孩子那样简单地问“为什么？”，而是提倡在用已有的知识充分分析后再提出“为什么？”。正确的质疑往往是成功的开始，因此，善于质疑是物理工作者最重要的素质之一。

质疑的高级形式表现为佯谬：同一个对象按不同的推理而产生的“相悖”结论。例如，射程最大时的抛射角：理论上讲  $=45^\circ$  时射程最远；然而实际观察工人用胶皮管浇草地时，为什么射程最远时的  $\theta$  却大于  $45^\circ$  呢？

新的观察计划产生于物理观察中的质疑和联想，它应包括观察的目的、对象和内容，以及它与原来观察的关系，或者说它是如何从原来的观察中脱颖而出。

## 2. 物理观察方法

物理观察的具体方法很多，不同的标准亦可有不同的分类。从效果的角度来分，有六种最基本的方法。

整体观察法。

从整体的形状、结构、布局等不同角度观察，以获得总体的感知。

---

中国大百科全书总编辑委员会《心理学》编辑委员会：中国大百科全书·心理学卷，中国大百科全书出版社 1991 年版，第 357 页。

乔际平主编：物理学习心理学，高等教育出版社 1991 年版，第 202 页。

中国大百科全书总编辑委员会《心理学》编辑委员会：中国大百科全书·心理学卷，中国大百科全书出版社 1991 年版，第 356 页。



获取的步骤一般是按某种顺序，例如从上到下，从前到后，从外到内等。在顺序观察的基础上，再进行综合。整体观察，可以粗略地，也可详细地进行。

局部观察法。

从某一局部的形状、构造、功能及其和整体的关系等某一特定角度去观察，以获得对该局部的具体感知。局部观察一般比较详细。

现象观察法。

感知观察对象发生的全部现象，以及现象的性质，发生的条件和发生现象的具体部位、特征、发生的时刻、持续的时间等等。

过程观察法。

要了解观察对象随时间和空间的变化情况，它在变化中呈现的规律性以及这种变化中的阶段性，不同阶段的不同特征等等。

特点观察法。

重点感知观察对象的主要特点（现象的、过程的、形状的、结构的、布局的、材料的、功能的等等）。

特点观察不应忽略直觉的作用，但主要还是依据在一定基础上的客观分析或实事求是的比较。

印象观察法。

在不规定具体观察目的的情况下，先完成观察，然后再根据印象确定观察对象最主要的特点或拟定新的观察计划。

人们在许多情况下都无意识地运用着印象观察法。这种观察方法比较粗略，易含有由于个体经验和印象带来的主观性。但是，这种方法有利于减少由于观察对象和观察目的不当而引起的漏察，也比较容易发现观察对象的主要特征，因此，它常用于对生疏的研究对象或一时难于定出正确观察目的的物理观察。

### 3. 物理观察技巧

物理现象常常是复杂的，而有时又是隐蔽的，分散的。所以在物理观察中，除使用以上的观察方法之外，还常辅助以一些观察技巧。

连续观察。

即不是一次性观察，也不只观察过程的一部分，而是重复的、时间持久的、全过程的观察。

对于特点不明确的物理现象，或现象不明显的物理过程，或时间上持续较长的物理过程，这一技巧尤为重要。

综合观察。

即不只观察单一的方面或过程，而要观察各方面和相关的过程。

例如，既要观察事物的静态过程，又要观察事物发展的动态过程，以及观察两者的转化。

对比观察。

即观察相似的或相反的物理现象或过程，以期从比较中达到了解、区分事物的个性。

例如观察光的全反射现象，就需借助对光从光密媒质射向光疏媒质时的反射与折射现象的对比观察。

转换观察。

在直接观察有困难的情况下，将观察的对象有依据地转换成其他相关的对象。

例如，对温度高低的直接观察可以转换成对水银柱升降的观察。

此外，有没有良好的观察习惯，能否对周围环境中存在和发生的事物、现象和过程，主动地进行并完成物理观察，也属于物理观察能力在个体身上的一种外显。它集中表现了该个体已能稳定地、系统地运用哪些物理观察模式。

## 第二节 物理观察能力的基本层次

根据目前中学物理课程的情况，试将物理观察能力的层次做如下划分。

### 一 对学习物理知识的器具的观察

这一层次的物理观察，主要要求是了解观察对象直观显示的内容。对挂图来说，它基本都显示在外表面，且基本是静止的；对仪器和模型，则还包含内部的，以及运转时显示的内容。由于物理学的定量特点和物理实验误差的要求，对可计量某一物理量的仪器，刻度盘的观察则总是一项重要的内容之一（起码要包含仪表的精度级别标志与刻度两个方面）。对仪器和模型构造的观察，可分大致的与详细的两类。前者一般是为进一步观察仪器和模型的操作（使用）做准备的，后者则一般是为理解仪器和模型的工作原理做准备的。

根据上述观察目的和内容，这一层次经常综合或穿插使用下面一些方法：整体观察、局部观察、特点观察、综合观察及对比观察等等，并且一般要求是由外及里，由整体到局部再到整体，由静态（未工作时原始静态）到动态再到静态（注意，一般是指工作中的平衡或稳定状态），由一般操作顺序到操作要点（注意事项）等步骤来进行。

### 二 对物理现象和物理过程的观察

这一层次的物理观察，主要要求是了解全部的或特征的物理内容，了解有关物理量随时间和空间的变化情况。由于各种原因，这一层次的物理观察难度，比对物理仪器、模型、挂图的观察要难。概括地说，本层次的观察内容又可细分为以下层次。

1. 观察出某一现象和过程中的物理因素和物理要素（诸因素中的主要因素）

自然界和生活中发生的某种现象和过程，往往是不同学科的多种因素共同作用的结果，例如雷雨，还含有化学和气象学的因素；人提着桶不静止，还含有生物和化学的因素。在筛去其他学科的因素之后得到的（抽象成的）诸物理因素中，通常有一种或几种因素起着主导作用。有时这些物理要素还和研究目的相关。例如鼓掌，研究力的作用和研究响度，其物理要素显然不同。

#### 2. 全面观察物理现象和物理过程

这一层次的主要要求是减少观察中的遗漏。全面观察既是物理观察的基本要求之一，又是抓住物理现象或物理过程中关键点和特点的基础。在对观察对象了解不多，或难于准确把握观察目的时，全面观察对下一步的分析是极必需的。

#### 3. 观察出物理现象和物理过程的主要特点和相关的细节特征

通过观察，能够抓住现象和过程的主要特点，是物理观察的重要要求

之一，它直接关系到物理观察的质量。例如观察水的沸腾，如果只注意到表面的剧烈汽化，则只是观察出沸腾的一般特点。只有观察出水内部与表面同时发生的大量汽化，才是抓住了沸腾的主要特点；若又观察到水内部汽化还伴随着气泡产生的数量的多少，上升的速度，体积的变化等一系列细节特征，那么这一观察就是质量很高的一次物理观察。

#### 4. 观察出物理现象和物理过程发生、发展的条件和规律性

一切物理现象和物理过程的发生、发展都是有条件的，也有某种规律性，它们将导致物理概念和规律的建立和使用的条件及内涵。因此，这一层次的要求，乃是物理观察的又一重要要求。有些时候，条件和规律性是明显的；有些时候，必须注意观察现象随时间和空间的变化，注意观察物理过程中物理要素随时空的变化，才能观察出现象和过程发生和发展的条件和规律性。例如，用图 2—1 所示装置观察点电荷电场的场强和电势，观察笛膜条夹角 随时空变化的过程：不起电（ $\theta = 0^\circ$ ）；起电（沿放射方向逐渐张开，角度由大渐小）；终止起电后逐渐放电（由远及近 陆续变小直至闭合）。如此，才能观察出在金属球带电的条件下，E 与 U 随 r 增加而减弱；在金属球放电的条件下，E 与 U 随 t 的延长而逐渐丧失。

观察物理现象和物理过程，是难度较大的一个层次。常常需要综合并灵活使用各种观察方法。

#### 三 养成自觉观察物理现象的习惯

这一层次的物理观察，主要要求是自觉观察生活和大自然中的物理现象，激发学习物理的兴趣，在课外学习和日常生活中培养观察能力。应该认识到，对增强观察能力来说，观察习惯比掌握某一种具体的观察方法更重要，更困难。在这些意义上讲，观察习惯乃是物理观察能力中的一个稍高的层次。从观察方法上说，这一层次的特点是根据观察中的具体情境而灵活使用各种方法。

#### 四 在物理观察中提出质疑

由于质疑不是一般地提出不懂的问题，而着重指观察者在充分运用了自己的知识却仍不能解释的，带有一定难度的问题。因此，正确的质疑，对进一步学习和研究带有方向性和启发性，常常意味着少做无用功，也常常意味着一个新的观察或实验计划的诞生。因此，它在物理观察能力中处于更高的层次。质疑亦不一定总产生在观察的最后，或总跟观察结论有关，它可能产生于物理观察中的各个环节与联想。因此，这一层次的主要要求是善于在观察中提出问题，并且在观察的最后阶段对问题加以认真的分析，反复的推敲，正确地选出质疑的问题，并反映在观察结论之中。

#### 五 制定物理观察计划和表述观察结论

这一层次的特点是综合性较强，不仅用到物理观察能力，还需要一定的分析概括能力和某些心智技能（如画草图制表等等）。其主要要求是宏

观地反映一个物理观察的全过程。一般说，这一层次的难度不一定很大，但就其综合性和全面性的特点来看，它亦属于物理观察能力中较高的一个层次。

### 第三章 物理实验能力

#### 第一节 物理实验能力及其外显

##### 一 物理实验

物理实验，是以掌握物理要素及其相互间规律为目的，人为复制和调控物质运动的状态与过程的一种科学实践活动。物理实验主要依赖仪器进行。

物理实验的基本特征，是通过人工复制和调控。减小次要因素的干扰，突出研究对象和研究的过程，且便于重复操作。

需要强调，作为一种实践活动，物理实验是和操作息息相关的。但是，绝不应把物理实验仅理解为实验操作。物理实验的全过程包括：从质疑出的问题开始，经设计、实践、分析和排除异常现象，到分析实验现象和数据，分析误差，写出实验报告的系列活动。因此，物理实验的过程是一个动脑动手的过程。在该过程中，不仅运用物理概念和规律的抽象思维较物理观察要有明显增多（它们集中表现在实验设计以及对实验中异常现象和误差的分析当中），而且其中的具体思维的难度也往往较物理观察要大得多，这主要是因为实验中有许多实验仪器，以及具体思维的延续经常是和实验操作相互展开，互相影响的。

##### 二 物理实验能力及其外显

物理实验能力，即顺利进行物理实验并完成实验目的的个性心理特征。根据物理实验的概念，物理实验能力包括操作和思维两种能力，其特点是思维围绕着操作展开且其中夹杂着抽象思维。从功能上看，思维乃是使操作得以沿正确方向顺利进行的一种保证。注意到物理实验的操作总是灵活多样的，预料之外的情况是经常发生的，因此，实验能力中的思维是一种综合性的思维，即它是分析、综合、归纳、演绎等各种抽象思维，以及动作、形象、直觉等各种思维的综合运用。而实验操作，则是物理实验能力的核心部分。虽然在完成一个具体物理实验的过程中，物理实验操作直接表现为实验技能和技巧，但就整体的、抽象的（指不涉及某一个具体实验内容）物理实验而言，实验操作则是和思维有机地结合在一起，外显为某些确定的模式。所有这些，都将是对物理实验能力测量进行命题时，必须予以充分注意的。

物理实验能力外显出的具体模式，通常包括学科层次的物理实验方法，具体层次的物理实验方法，物理实验的一般程序，以及物理仪器的一般调试和操作方法等等。其中，前两种物理实验方法的主要区别，在于共性的层次不同：前者偏重物理学科和其他学科在实验方法方面的区别，多带有物理思想方法的色彩，拥有共性的抽象程度更高；后者偏重物理学科内不同类别，或者指目的相同但实现其目的的途径不同的实验在具体方法上的区别，多带有操作性色彩，共性的抽象程度相对较低。

## 1. 学科层次的物理实验方法

### 比较法。

通过与预先标定的标准进行比较，完成物理实验的方法。比较有定性、定量两种。例如，判断色彩的深浅，天平的平衡是否被破坏等等都是定性的比较。定量的比较，常常需借助某种特殊标准。当待测量与标定量具有相同的效应时，比较才能完成。标定量是一种不变的标准，例如，长度的标定量是以  $\text{Kr}^{86}$  在  $-210^\circ\text{C}$  的橙红色光波波长标定的米尺。

物理实验中的直接测量，采用的多是比较法。等效法。

通过与待测量之间存在着某方面等效关系的其他替代量的测量来完成物理实验的方法。

等效法的依据是变换原理。它通常可分为数值等效和运动等效两大类。

数值等效是指由于替代量在数值上和待测量有某种相等关系而导致的等效。例如测量物体的  $m$ 、 $a$  的值，计算它们的积，可以和它们瞬间所受到的合外力在数值上等效。物理实验中的间接测量大都采用数值等效。

运动等效是指替代量和待测量都作为运动的某种方式，由于具有共同的量度而导致的等效。共同的量度一般采用能量。例如，用光电效应测定电子的逸出功，利用的就是光、电两种不同宏观运动形式被稳恒电场能量量度时表现出的等效。现代信息技术中大量采用的各种传感器，实质上都是依据运动等效做成的能量变换器。物理实验中常用的有热电偶、压电传感器、光电传感器、霍尔元件，等等。

### 放大法。

把微弱或超强信号变为可测信号，从而完成物理实验的方法。

对超强信号，其放大率小于 1。常见的有长度放大，例如光杠杆；影像放大；电磁信号放大等等。

### 模拟法。

这是一种通过模型对物理现象或物理过程进行模拟来完成物理实验的方法。

在教学中由于某种原因，难于实验真实的物理现象和物理过程时，通常用模拟法。例如，用自然光的七种色光模拟天空彩虹。教学中为了达到学习或巩固的目的，也常借助模拟法，例如在键盘上完成的计算机模拟实验。

## 2. 具体层次的物理实验方法

这一层次的实验方法，内容非常多，名称亦不尽统一，但就其物理实质而言，基本都可归入学科层次的物理实验方法中的某一种。例如测质量、重力（弹簧秤）、电阻（电桥）、电动势（电位差计）的平衡法，实质乃是比较法的应用——使测试中和测试前的工作状态比较。又如电表改装实验中测电源内阻的半偏法和替代法，实质都是数值等效。因此，我们不再

从这些实验方法的内涵，而从实验方法的命名进行一些讨论，以期了解这一层次中常用的一些实验方法的意义。

据实验原理命名。

方法的名称主要反映了实验的不同原理。

例如测电阻的伏安法，测定重力加速度的单摆周期法和落体法等等。

据主要仪器的工作原理命名。

方法的名称主要反映了所用主要仪器的工作原理。

例如平衡法，用平衡法测质量反映了天平工作是靠力矩平衡原理，测重力反映了弹簧秤工作是依据二力平衡，测电阻则是反映了电桥平衡等等。

据实验手段的主要特征命名。

方法的名称主要反映了实验所用基本手段的主要特征。

例如用来反映运动过程和细节，验证完全弹性碰撞中动量守恒的频闪摄影法，用来观察磁力线分布的腊凝法与投影法等等，都主要反映了实验所使用的基本手段的主要特征。

### 3. 物理实验的一般程序

物理实验的一般程序，指在将物理实验方法施用于物理实验，并得出实验结果的过程中需遵循的共性程序。据这一概念，该过程可分为两个阶段。将实验方法施用于物理实验，即通常指实验设计程序；以及将实验设计付诸实际操作得出实验结果，即物理实验的一般操作程序。

物理实验的一般操作程序，在教学中常常不被师生注意，其原因一方面是由于其思维成分较少，另一方面是由于每个实验都有自己的具体步骤，因为这些具体步骤直接影响实验结果，于是它常常比一般操作程序更易引起注意。就实质而言，物理实验的一般操作程序乃是具体实验操作步骤的抽象和概括。但是应该注意到，对实验能力来说，它是一项很重要的外显，特别是在中学物理教学的阶段。

(1) 物理实验的设计程序可简括如下。

确定实验目的。

除目的一词的直接含义以外，在这一程序中，还需明确该实验属定性的还是定量的。若是定性的，下述程序中的有关测量和误差的内容可不考虑。若是定量的，那么所测物理量属于直接测量量还是间接测量量；若是直接测量量，可直接进入第 步。

选择并表述实验原理。

物理实验原理主要指实现物理实验目的的理论依据。对直接测量量来说，大都是比较法。对间接测量量来说，要指出等效法范畴内的具体原理，即究竟是依据什么概念、规律、原理将其转化为一系列直接测量量的，这些直接测量量的完成又是如何能导致间接测量量的完成。通常情况下，是与待测的间接测量量有关的某种物理过程入手，选择与该过程对应的物



理规律，并导出用可直接测量的物理量表达的待测物理量的计算式。一般说，对该物理过程的描述和公式的演绎即为该实验的基本原理。

确定直接测量的测量方法，仪器设备及操作装置。此一步骤常应考虑以下内容：

选择测量方法：不同的方法可能需要不同的设备，具有不同的误差，故需要根据具体要求找到最佳的可行方案。需要指出的是，不同的误差并非一定由不同方法所采用的不同设备引起，不同的方法本身就可能产生不同的误差，即使是对同一设备。例如，在用落体法测  $g$  的实验中，需用毫秒计直接测量出由电磁铁释放的钢球做自由落体运动中的一段时间。为此，可以从断电释放 ( $v_0=0$ ) 开始计时，也可从运动中某一位置开始计时。后一种方法，就可避免磁滞引起的误差。

估计直接测量量的值，用误差理论确定仪器的精度：对一个间接测量量涉及到的各直接测量量，应在使各项分误差保持同一数量级的前提下选择仪器的精度，以达到合理选配仪器。由于分误差中的相对误差因子等于仪器的极限误差与直接测量量（取算术平均值）之比，因此，估计直接测量量的值与确定仪器精度这两项内容相关性甚大，实践中常常需穿插进行。

考虑测量技巧，在保证或提高实验准确度的前提下努力简化测量。

了解所选仪器的具体性能、工作条件和操作要求，必要时需自制要用的仪器。

在仪器所要求的正常工作条件下实现仪器间的相互配接，必要时（如由于仪器间的配接过于困难）需对已选定的测量方法，仪器和测量技巧进行适当调整。

发现、分析和处理系统误差。

明确实验操作要求。

一般包括实验步骤、操作要领、测定次数、数据记录的范围、方式及处理方法建议等等。

估计可能出现的意外情况及处理方法。

(2) 物理实验的一般操作程序可简括如下。

将所需的实验仪器在操作空间内合理布局。布局一般要考虑到安全、操作方便、数据读取与记录方便、减少仪器间的相互干扰等问题，实验中使用的工具应放在习惯用手的一侧且与实验仪器有一适当距离，工具的柄把不应超出操作台台面。

实现仪器间的配接。

配接时一般要考虑接触良好，稳定与牢固，配接线相互间不应出现缠绕，不必要的牵动等影响实验或影响检查配接是否正确情况。

检查仪器间配接是否正确。

先按一定的顺序对照原理图、装置图或电路图、光路图等，核实仪器

间的配接，然后用极短时间运转的方法（例如点触电键），观察量程是否合适，运转方向是否正常等等。

严格按照规定章程操作。

不了解使用方法时不对仪器进行操作，不冒险和图省力、省事，做可能危害人身和仪器的非常规操作（如修理仪器或间断实验时不关闭电键等等）。需要分阶段操作和记录时，应该终止所有不必要的运转等。

处理异常现象。

在按规定步骤进行实验操作中，须随时注意观察（不只用眼）异常现象的迹象，并及时进行妥善处理。处理，一般包括对异常现象自己能否处理的判断，对异常现象产生原因的分析与具体的处理措施或操作。对自己能处理的应尽量自己动脑动手。在处理中临时选择的代用品，要注意符合安全（对人身及其实验仪器两者）、实用并且比较稳定的要求。当由异常现象的分析导致的质疑没有解决时，一般不应盲目继续实验，除非该质疑不直接干扰实验本身的正常进行。由于这一环节是思维和操作紧密结合的，对培养学生的独立性和创造性都具有相当有利的条件，因此，这一环节是需要给予充分重视的。

实事求是地进行观察与记录。

完成实验的善后工作。

实验结束后的工作主要包括对实验仪器和操作空间进行妥善清理。例如使仪器恢复零（空）档位，插件（附件）归匣，配接物拆除并收集放到原来位置等等。

#### 4. 物理仪器的一般调试和操作方法

物理仪器的一般调试和操作方法，指调试和操作某一类性质或功能相同的物理实验仪器时需遵循的共性方法。例如天平类（托盘天平，物理天平，电子天平，分析天平，快速天平等），示波器类（单踪示波器，双踪示波器，慢扫描示波器，记忆示波器等），电动记时器类（电动秒表，毫秒计时器，电子节拍器等），电表类（安培计，伏特计，检流计）等等。仪器的种类不同，调试的操作方法可能相去甚远。因此，我们这里不再详细讨论。

除上述内容以外，养成善于用实验进行释疑，验证或对有关对象进行粗略估计的习惯，也是物理实验能力外显的内容。由于物理学是以实验为基础的科学，所以当大脑中存在某种疑问时，当已有了一些直觉的或逻辑的结论而不能肯定其正确性时，当需要对研究对象做出数量级的基本估计时，能否在可能的条件下，设计并完成一个简单物理实验，进而根据实验结论进行有关讨论，便反映了个体的物理实验能力的强弱。

## 第二节 物理实验能力的基本层次

根据目前中学物理课程的情况，试将物理实验能力的层次做如下划分。需要说明，按照物理学的需要和不同层次的实验能力的难度来说，有些层次是很高的，例如实验数据的处理，设计实验，误差分析等等，但由于中学物理的具体要求，对这些内容的要求降低了很多，以至其难度变得较小，这导致在下面的讨论中，我们不得不把它们暂放到较低的位置。

### 一 按实验步骤完成操作

这一层次的主要成分是操作，其主要要求是使实验按照教材或教师的要求顺利进行。由于实验步骤已经被按学生水平作出了清楚表述，所以难度一般不大。学生的理解水平不同，实验步骤表述的简缩程度应有一定变化，例如是否需要交代所用仪器，操作要点交代到什么程度等等。这一层次的基本要求，一是要完成所有步骤，二是要规范操作。由于后者可能并不影响实验正常进行，所以当不出现意外事故的情况下，学生容易忽略操作的规范性。

### 二 设计实验记录的表格

这一层次的主要要求是使实验中的所有数据相对集中，便于阅览，便于分析和使用。由于学生从小学数学中就逐步接触过本层次内容所涉及的形式，所以当实验数据的数量较少时，学生列表一般不觉困难。问题经常出在表格列得不规范，例如物理量的单位不写在表头标题栏内而写在表内数字的后面，物理量平均值不取在直接测量的物理量后面等等。

物理实验数据记录表要能够反映出实验中直接测量与间接测量的各种数据，以及重要的中间数据，例如直接测量量的平均值，在数据分析时需要对其意义做特别分析的数据等等。数据的分布应符合物理过程（如从直接测量到间接测量，从几个测量量到一个计算量等等）和误差理论（如先从多次直接测量取各自平均值再得出间接测量量，而不能先计算与各次直接测量数据相对应的间接测量量，最后才取平均值）。物理量的名称代号，单位及百分号，都应纳入标题栏内，间接测量量的公式若不过于复杂，也应在标题栏内写出。

### 三 基本量具及仪器的使用

基本量具通常指经过很简单的操作即可直接度量某一物理量的用具，例如米尺，千分尺，卡尺，温度计，秒表，量筒，弹簧秤等等。基本仪器通常指物理实验中常用的一些实验仪器。它包括基本测量仪器和常用辅助器械两类。前者指通过适当操作才能完成对某一物理量的度量的仪器仪表，如打点计时器、天平、电流表、万用表等等。后者如量热器、稳压电源、滑动变阻器、透镜等等，这些器械一般不能度量物理量。中学生应掌握的基本量具和基本仪器的具体内容，是由大纲和教材决定的，因此，本书不准备给出一个确定的界域。

这一层次的主要要求是能够规范地、基本熟练地操作基本量具和基本仪器，以使物理实验能够顺利进行。由于这一层次有突出的操作性特点，因此要求学生亲自动手操作仪器，并且对同一基本量具和仪器的重复动手，必须有一定的次数保证。任何不接触实际仪器的操作，都将在实质上达不到本层次的目的。

#### 四 基本工具的使用

基本工具，这里指操作和调整物理实验仪器所经常使用的工具，如电笔、改锥、尖嘴钳、电烙铁等等。有些工具，虽然在物理实验中不经常使用，但由于在生活中常用（例如小槌），所以若有可能，例如在课外小实验，物理课外活动或物理小组活动当中，也应给予适当的注意。

这一层次的主要要求是会正确使用基本工具，并使物理实验顺利进行。在实验的实际过程中，除必要的仪器调整之外（如表针的零点调整），这些基本工具主要用来排除一些简单故障，例如仪器旋钮松脱，更换保险丝，焊接脱焊导线，固紧螺栓或木螺丝等等。要求学生自己动手，能够排除简单的故障，请部分学生参加某些简单的实验仪器的常规检修，检查物理课外小实验成果等等，都是在本层次培养学生能力的重要途径。

#### 五 运用误差理论分析物理实验

运用误差理论分析物理实验，是物理能力中的一种高层次的能力，在中学做了较大幅度的下调。

这一层次的主要要求是让学生理解误差研究是物理实验中的一个重要问题，而不在于让学生用误差知识解决什么具体问题。在涉及误差计算时，一般只要求到直接测量的物理量。本层次的基本内容包括：

（1）了解误差存在的必然性及其必然产生的一部分原因（如来源于仪器与操作者的）。

（2）知道一个不能确定误差的测量，在物理上是基本没有意义的。

（3）理解真值的存在并会选择某些真值（如物理常数的真值，直接测量量的算术平均值等等）。

（4）会用有效数字简易处理实验中数据的读取、计算及结果，知道这种简易处理本身存在较大误差。

（5）会计算某些仪器的极限误差，会计算算术平均绝对误差，并能用它们表示实验结果。

（6）会计算由仪器极限误差和算术平均绝对误差决定的百分误差。

（7）能够分析具体实验中误差产生的主要原因。

需要说明，上述内容中的有些名词，并不一定介绍给学生（视教材要求而定），但其具体内容是要在教学中落实的。

#### 六 写出物理实验报告

这一层次的主要要求是学会规范书写物理实验报告。由于实验课文的叙述不可能过分详细，所以这一层次中的思维成分较多，它们主要表现在对课文所述实验的目的、原理、步骤、要求的理解、区分与表达上。此外，阅读能力、表达能力和书写实验报告的技能（例如对报告基本格式和要求的熟练程度）也对本层次能力的形成和发挥起一定作用。由于这种综合性特点，使本层次的难度加大，成为物理实验能力中稍高的一个层次。

写实验报告时，除对简单的以直接测量结果为目的的实验以外，均应重视实验原理的书写。理解并简要表述实验原理，是将物理概念、规律直接应用于实验的过程，它可以表明：一个物理实验的测量过程据何而来，该实验的结果究竟为什么能实现该实验目的。可以说，不清楚实验原理的实验者，即使其操作和结果都是成功的，他从该实验学得的东西也将打很大的折扣。一般情况下，实验原理应从已知的物理现象、概念、规律出发，通过下述三方面内容的逻辑表达来说明：

- (1) 有关的公式变形。
- (2) 直接可测（或可观察）的实验内容。
- (3) 如何得以实现关键处（难点）的测量或较难获得的现象和过程。

对验证性实验和测定性实验，实验结果的图象可能是一个值或一种已知的关系；对研究性实验来说，它可能只是几个系列的值，研究它们之间的关系便可完成实验目的。

关于实验步骤，除极个别情况，均应以鲜明序号罗列表述，内容只涉及操作成分。一般应包括实验仪器、测量程序、操作要点（注意点）及调试的有关参数等等。

在原理和步骤的表述中，均应该注重以图代话，且图注中的字母、文字、标号等都必须与表述相对应。

### 七 分析物理实验现象和实验数据

这一层次的主要要求是分析（扬弃）实验数据和实验现象得出恰当的物理结论。本层次的特点是思维成分多，对探索性实验，特别是数据的规律性不太明显的时候，其难度有较大的伸缩性。

实验数据处理的常用方法有列表法、图象法、解析法等，原则上说，应采用最能直观表现数据间关系的方法。有时我们也综合采用几种方法。此外，数据处理还应包括去掉粗差和整理有效数字。

无论用何种方法，无论是定性的实验还是定量的实验，重要的一点是，应该对完成的实验有一个明确的结论，即使对验证性实验，亦是如此。除了测定性实验外，实验结论一般应含语言与数学的两种表达方式，误差说明和测试条件等方面内容。若实验结论中有意料之外的成分，还应予以特别的讨论。

### 八 设计简单的物理实验

本层次的主要要求是用可实际操作出的实验结果完成对某一物理问题

的研究。当问题本身属于质疑性的问题时，它还可以有效地配合教学，并使学生学习到物理学研究方法。例如，浮力由液体内部压强差形成，而同种液体的内部压强又由液体深度决定，那么浮力大小亦应与物体浸入液体的深度有关。然而，阿基米德定律却表明，浮力与该深度无关。对逻辑推出的这两个相悖的结论，能否用实验说明浮力与物体浸入液体的深度无关呢？

这一层次的主要特点是思维和操作两种成分并存，并且交织在一起，灵活程度大，而且初步设想的方案还常需要经过试探性操作进行修改完善。所以，这一层次的难度较大，是较高层次的一种实验能力。

关于这一层次的具体要求，应侧重在实验方案设计的规范性、创造性与可行性。可行性的基本含义是可比较稳定地重复操作并每次均获得有一定误差的结果，而不是简单地指可以进行操作。一般说，它包括仪器、操作与误差三个方面。对于不能找到（或不能做出）相应的仪器，或者找到（做出）的仪器稳定性极差；对于危及到人身安全的操作，或不能重复的操作；对于操作技巧对实验精确度影响极大，以及误差过大的实验方案；都不能认为是可行的。例如测定粗盐（晶体状）的密度，若机械套用测金属体积的方法和步骤进行单块测量，则体积读数就很困难；多块放入量杯测量，由于溶解会导致误差太大。因此，这些方案虽然可以进行操作，但作为物理实验，它们的可行性都较差。

### 九 排除简单故障

由于实验中异常现象和故障各种各样，原因各异，所以本层次的灵活性很强，而且思维和操作两种成分也相互交织在一起。甚至有的异常现象或故障虽能设法排除，但其原因并不十分清楚。因此，本层次是实验能力中的一个较高层次。

这一层次的主要要求是让学生养成习惯。在物理实验中遇到意外情况时，试着解决，在这一过程中培养自己的观察能力和实验能力。至于学生究竟对异常现象和故障的排除解决到何等程度，并不作为重点要求（当然以完全独立解决为好）。完成本层次任务的基本方法，是通过观察分析异常现象与故障发生的部位、过程、特征等等，缩小查找原因的范围，并针对设想的原因进行局部调整改正，然后进行试探性操作，确定解决方法。在异常现象和故障未被排除以前，应该中止实验；在排除过程中，应注意保护实验仪器。

### 十 根据需要寻找实验仪器的代用品

辅助操作的代用品，例如隔热物、支撑物、扶持物等等。寻找代用品，往往是设计实验或实验过程中突然产生的一种需要。代用品在稳定、牢固、精度上可以稍逊于仪器，但功能上应基本相同。由于寻找代用品是一种创造性的操作，而且有时还需要辅助以小加工，因此，本层次的难度和灵活性较强。这一层次的主要要求，是保证实验能够正常进行。

## 第四章 物理思维能力

### 第一节 物理思维及物理思维能力

#### 一 物理思维

物理思维，即物理学中的科学思维。其重要作用，是将物理观察与物理实验所得到的感性认识，上升为理性认识，并从已有的理性认识获得新的理性认识。

其主要含义，并不是泛指所有以物理学的研究对象为目的和内容的那些思维活动，而主要是指在物理学形成和发展成为一门科学的过程中，被证明为卓有成效的、系统化的思维方式。这些思维方式的内涵，虽然含有各种逻辑学的许多规则及其运用，但从根本上说，它们乃是由物理学本身决定的，而不是某种逻辑学决定的。而且这些由物理学本身决定的思维方式，甚至对逻辑学的形成与发展起了巨大的作用。这一点正像牛顿的力学，促进了数学微积分的发展一样，物理思维也促进了思维科学的发展。

例如，物理学不但是第一个引进数学辅助进行自身研究的学科，而且逐渐将自身内涵与其完整地结合，最先使自己由经验科学的范畴进入逻辑科学的范畴。实验物理学向理论物理学的成功飞跃，从思维科学的发展看，为与之同期发展起来的数理逻辑，即用数学方法研究思维形式的结构与规律的科学（又称符号逻辑）作了最好的注脚。

又如，在形式逻辑由于排中律在光的波粒二象性面前表现出苍白无力时，物理学以非排中律加对应原理形成量子逻辑，成功地代替了形式逻辑。进而量子逻辑又对辩证逻辑的形成和发展有着相当的影响。

但是，由于普通教育中物理学知识的范围和深度，物理思维的以上丰富内涵受到极大的限制。于是我们的讨论，不得不暂时主要集中到形式逻辑在物理学中的运用方面。

#### 二 物理思维能力

物理思维能力，即顺利进行物理思维并获得正确思维结论的个性心理特征。

首先应该注意到，虽然形式逻辑的各种规则可能在物理思维中都有运用，但只有那些频繁的、形式稳定的且卓有成果的运用才能形成个人的心理特征。与此不同的运用，诸如偶然的、零散的、变式太多的运用，只能作为一种心理现象，它们之中的一部分也可能会暂时或相当长久地被记忆在学生的智能结构中，但其大多数最终会被遗忘。无论是哪种“命运”，这一类运用都不易（利于）形成个性的心理特征。

---

张巨青主编：《辩证逻辑与科学方法论研究》，湖北人民出版社 1984 年版，第 5 页。

[日]武谷三男：《武谷三男物理学方法论文集》，商务印书馆 1975 年版，第 100 页。

因此研究的重点将放在那些在中学物理中频繁出现的、形式稳定的且卓有思维成果的思维方式上。形式逻辑的这些思维方式，外显为方法，主要有分析、综合、比较、抽象、概括；外显为形式，主要是物理概念、物理判断和物理推理；外显为思路或思维程序，主要是质疑与释疑（用观察、实验、推理、假说、检验等物理方法），唯象与机理，假说与验证，以及在较具体对象中的那些针对性较强的内容，如力学问题的处理思路；外显为成果，则是物理知识的组元。

和前面所讨论的观察能力与实验能力相类似，不同个体所拥有的上述外显在其数量与完善程度、系列化水平，以及运用它们时所表现出的稳定和熟练程度，就决定了不同个体思维能力的强弱，这里特别需要强调的是“它们”、“系列化水平”与“完善程度”。“它们”，这里代表方法、形式、思路诸内容的整体。如果脱离了此处强调的几种外显，就很难从实质上准确判断一个人物理思维能力的强弱。例如常见一些学生解题方法运用很稳定和熟练，或者说解题能力很强，然而，这绝不意味着他的思维能力很强。

其次还应注意物理学中较多使用的那些形式逻辑的规则，由于受到物理学本身及其特点的约束，它们已具有在物理学中的运用特征。这些运用特征可简略概括成以下几点。

（1）分析、综合与比较的方法渗透到整个物理思维之中。换句话说，不论用什么思维形式，是建立物理概念，还是做出物理判断或进行推理；不论什么思维过程，是进行抽象，还是提出质疑；不论是用这种方法释疑，还是用那种方法释疑；都离不开分析、综合和比较。

（2）抽象和概括的方法则主要用来形成物理概念，建立理想化模型，归纳与概括、演绎与概括则主要用来建立物理规律。

（3）物理中形式逻辑的思维形式已不再完全受形式逻辑本身法则的制约。例如物理判断并不总是物理概念或物理推理的产物，甚至不完全是分析与综合的结果，它可以直接来自科学想象，甚至来自直觉。其典型的例子如光电子的存在，能级的量子化状态等。

（4）形式逻辑天衣无缝的严密并不是物理思维正确与否的唯一判定依据。物理思维的正确程度，充分重视形式逻辑的严密，但不依赖这一点。例如，由不完全归纳得出的物理规律，物理思维已不重视其逻辑上的或然性。又如，不能验证的，然而在物质世界没有反例的牛顿第一定律，被物理思维仍然认为是真理。再如，对仅有几例验证了的物理假说，物理思维亦可以认为是客观规律。物理思维能力的外显，主要包括物理思维的基本方法、形式、思路与程序。这些内容将在下面的三节中分别给予讨论。



## 第二节 物理思维的基本方法

### 一 分析

将研究对象先分解为部分，然后逐一加以研究的逻辑方法。

分析的方法，便于对整体事物当中局部的、个别的、特殊的性质加深认识。这一认识是最终认识整体事物的基础。

物理分析的基本要求是必须符合客观的物理图象。例如，矢量的分解原则上是任意的。但对斜面上的物体与拐弯时高低不同的铁轨上的列车，同是重力的分解，前者必须沿平行与垂直斜面的方向分解，后者则必须沿水平与垂直两轨高度联线的方向分解（图 4 - 1）。

这是因为，斜面上的物体有沿斜面下滑的客观图象，而拐弯时的列车则需要向心力。

### 二 综合

将分立的研究对象或分析后的各部分的结论重新结合，并纳入一个新的整体认识的逻辑方法。

显然，此时对事物的整体认识，已经明显深化于将其分解之前的整体认识。“重新结合”的成功关键，在于正确确定相互的衔接点。例如，将动圈式电流计按其构造分解，并研究了磁铁、线圈、指针、游丝……各自的性质与作用后，进行重新结合时，只有找到游丝对指针的力矩与电流所受磁场力的力矩的动态关系与平衡——各元件组合后一齐运动时的衔接点——才能完成对电流计工作过程和原理的这一新认识。否则，将会回到它外型或构造的原有整体认识上去。

必须指出，在实际的思维过程中，分析与综合的方法不是简单的“并列使用”或“交替使用”，而是互相依存、互相渗透和互相转化的。从全过程看，则是分析——综合——再分析——再综合……直至达到理性认识的某一阶段为止。

### 三 比较

找出几个或几类事物间的共同点与差异点的逻辑方法。

比较不是分析，它既可以在分析中运用——几部分之间的比较；也可以在综合中使用——整体之间的比较。因此，无论是在内涵上，还是在外延上，它都是区别于分析的独立的思维方法。在物理思维当中，比较的结果直接表现为一个物理判断，但当它与抽象、概括、归纳相联结时，通常会导致物理概念、模型与规律。

科学的比较，首先必须有确定的标准或参照；其次应在同一条件下进行。例如，比较不同液体的沸点应在相同的大气压下进行，比较不同大气压下的沸点应对同一种液体进行。对相同的对象，比较应侧重于寻找不同点；对不同的对象，比较应侧重其相同点。不论哪种情况，比较是在全面

的基础上展开，在本质性的相同点或不同点上集中。本质性的同异，乃是科学比较的重点。

#### 四 抽象

抽出研究对象的本质内容，舍弃非本质内容的逻辑方法。

抽象是在分析、综合与比较的基础上进行的，抽象的结果要通过概括形成概念。

列宁指出，“一切科学的（正确的、郑重的、不是荒唐的）抽象更深刻、更正确、更完全地反映着自然。”科学抽象是物理学最重要的方法之一，它对物理学的卓越贡献主要是导致了大量的物理概念与理想化模型的建立。众所周知，物理概念与理想化模型是物理科学理论的主要根基之一。

物理学之所以能够大量使用科学抽象，是由于它的研究对象是复杂且相互间紧密关联的，但在一定的条件下，并非研究对象的所有性质对某一研究目的都起着同等程度的作用。例如物体的材料和形状，在忽略空气阻力的条件下，并不影响物体机械运动的状态。因此，在既定的条件和研究目的下，物理学必须抓住相对为本质的、主要的、共性的因素，才能得出科学的结论。于是在物理学研究中，为了更深刻、更准确、更科学地揭示其研究对象的物理实质，就必然根据不同的研究目的，在某种具体的条件下，设法去区分，进而暂时舍弃那些相对为非本质的、次要的、个性的因素。当然，这种“区分”、“舍弃”也同时带来了研究上的方便。

物理学中的抽象又可根据所使用的具体方法分为物理抽象和数学抽象。

物理抽象：指将科学抽象的方法施用于物理世界，在观察、实验的基础上，建立物理概念或理想化模型。

例如，建立力的概念。研究各种物体（质）的作用，首先舍弃物体的生活概念（如马、球、车等），以及化学的（如成分）、数学的（如体积）、美学的（如色彩）等等因素；其次舍弃温度、材料等与力相关甚小的物理因素，继而分析、综合出运动、速度等非本质的物理因素，突出相互作用、速度改变（运动状态改变）、形变大小等本质因素及其共同点，最终形成一个力的整体概念。

又如质点的理想模型，是在忽视空气阻力的条件下研究物体的平动，通过对大量平动物体的分析、综合，确定除质量外，材料、形状、体积、色彩等都不是影响平动的因素，于是舍弃它们，突出质量，形成质点的模型。但在转动的研究中，发现形状还是影响物理转动因果的因素，由此重新建立刚体的模型。进而在流体力学的研究中，质量、形状、体积都是影响力（阻力、浮力）的主要因素，于是质点与刚体的模型又需做进一步修改。然而，不论怎样改变，都是将复杂的、综合的实际图象，在保持某一物理因果的条件下所做的因素单纯化的近似模型。去掉的因素，是不影响该物理因果的因素或影响该物理因果的次要因素。所以，该模型对原图象

正是一种典型的科学抽象。统观物理学中的理想化模型，分为理想客体、理想状态、理想过程。质点、理想气体、点光源、光线、匀强磁场等等，都是理想客体；没有外力作用的惯性运动、准静态等都是理想状态；匀速直线运动、简谐振动、等压过程等都是理想过程。

数学抽象：对物理抽象后的概念与理想化模型，或对观察实验所得出的物理结论，进行数学描述，形成物理量或形成物理结论的数学表达式。

例如，通过物理抽象建立的平均速度概念，可用数学描述为 $\bar{v} = \frac{S}{t}$ 。这

种数学抽象的重要意义有两方面。其一是将脱胎于自然界、生活或实验的物理概念形成为物理量。其二是为暂时舍弃物理抽象中各概念的物理含义，进而为最充分地、最大限度地使用数学的科学成果创造了条件。然后，通过数学的运用就可以进而建立新的物理量。比如对 $\bar{v} = \frac{S}{t}$ 施用极限的数学

处理，在  $t \rightarrow 0$  的条件下，物理学建立了即时速度的概念。对物理观察和实验的结论进行数学抽象，也有类似的意义，甚至有时不继续施用数学的处理，就可直接产生新的物理概念。例如，对万有引力规律进行数学描述的结果，直接导致了万有引力恒量。又如实验发现，杠杆平衡时，力与支点到力作用线的距离之积恒为常量，数学描述为：

$$F_1 \cdot L_1 = F_2 \cdot L_2 = k$$

于是定义 FL 为力矩。

数学抽象显然为数学计算和推导奠定了基础。但应该说明，计算和推导已不属于抽象，而属于推理的范畴。

综上所述，物理抽象和数学抽象施用的对象不同，其所得结论的抽象程度亦不同，但其根本意义（或作用）却基本相同：都是建立（定性或定量的）物理概念和形成与某种更深刻于原图象的表达方式。

## 五 概括

将对个别事物属性的认识推广到同类事物的全体对象，形成对该类事物的一种普遍性认识的逻辑方法。

抽象后的结论需要经概括才能最终形成概念，但有待概括的内容并不只来自抽象。在物理思维当中，它们还经常来自观察、实验、归纳或一个数学演绎的结果。因此，概括也是物理学中最重要的方法之一。

概括的特点是从个别对象中发现同类对象的共同性。所以，概括又和比较紧密相关，概括是否正确，要看比较所得的共同性是否是事物特有的。只有当这种共同性确实是特有的、本质的，概括才是正确的。

概括的逻辑分类为经验概括和理论概括。区分的实质标准为概括的方法：将待概括的内容用归纳的方式直接推广到同类事物，完成概括；结合理论的演绎，推广到同类事物亦必然具有该待概括的内容，然后再完成概

括。前者即经验概括，后者即理论概括。这两类概括在物理学中都有大量的应用。例如，从水没有固定形状，油、酒精、石油等液体也没有固定形状，得出液体都没有固定形状，乃是一种经验概括。从这一概括出发，根据水的流动，演绎出水在流动中有内摩擦力，进而得出一切液体在流动中都有内摩擦力，则是一种理论概括。

物理思维中概括的过程，可以表达为语言的，也可以表达为数学的。虽然，两者在科学的程度上没有很大差异，但由于它们在抽象程度上的差异，数学的概括能更严密、更普遍、更广泛地概括出同类事物的物理内涵，例如，我们可以从分子物理学的那些偏微分方程的结论，很容易地得出热力学的结论。当实验的物理学发展到理论的物理学的阶段，它的概括主要是数学概括。

除了上述的形式逻辑方法，物理思维还在一定程度上，使用想象与直觉的方法。

想象属形象思维的范畴，指对已感知事物的形象回想，或指对原感知材料进行新的组合，创造新的形象，或指对未感知事物，甚至客观不存在的事物进行创造性设想，前者称为再造想象，后两者称为创造想象。它们在物理学中均有运用。

例如，在脱离观察和实验的物质条件时，物理学研究是依靠对已有观察和实验的形象回想（含有形象记忆表象）来辅助进行形式逻辑研究的。又如，物理中的微观模型都是借助于宏观形象的，像用同时被拉伸与压缩的两根弹簧连结的一对钢球描述分子力，乃是对球、弹簧、拉伸、压缩等已感知形象进行的重新组合。再如，爱因斯坦将光想成一个个光子，则是对未感知事物的想象。所有的理想实验亦都是想象，不真正想象出从斜面滑下的小球在无摩擦时的状况，就不能真正理解牛顿第一定律。

物理思维中的想象，都带有形象与概念、判断、推理交织的特点——想象的必要性，它的产生、形成和意义，都和物理概念、物理判断及物理推理密不可分。例如，核子结构模型，是在汤姆逊模型与 $\alpha$ 粒子大角度散射相矛盾的情况下，运用概念、推理做出的合乎逻辑的形象判断；又如电子的轨道，是借轨的宏观形象表达电子运转取向的几率性质。

直觉，是一个涉及到哲学、心理学、逻辑学的尚未统一其内涵与机制的概念。其最通俗的解释是直接的了解或认识，是洞察事物的特殊思维活动。直觉之所以被重视，乃因为它是创造思维的重要方法。灵感就是直觉的高级表现。直觉的特点是不依赖严密的逻辑。直觉在物理学发展中有过关键的作用，例如量子概念的产生主要是爱因斯坦和普朗克直觉的成果。根据辩证唯物主义观点，直觉不是神秘而不可言清的，亦不是主观随心所欲或凭空产生的，实际是以已有的经验和知识为基础的，“是以逻辑思维

的凝缩的形式自觉的思维的继续”。物理学发展中一切成功的直觉也证明了这一点，它们都是物理学家在最大程度地使用了所有已知的物理理论而未酬的条件下使用的，其意义乃是联通逻辑上的矛盾点。因此，物理思维中的直觉方法和生活中的许多直觉是不同的，不应将其只理解为猜测。

### 第三节 物理思维的形式

物理思维的形式，是物理思维方法施用于物理思维内容，使内容通过结构和组织而获得存在的一种方式。内容和形式相互依存，方法则有相对的独立性。

#### 一 物理概念

揭示研究对象具有的物理属性的一种思维形式。

物理概念包含的所有内容即为物理概念的内涵；该概念的使用范围，以及它解释的一切事物，即为物理概念的外延。

物理概念的内涵中有的是本质的物理属性，有的是非本质的物理属性。本质的物理属性可能不止一个，它们能起到区分其他物理概念的作用，达到此作用的最少数目的本质属性，即可用来作为该概念的定义。由此可知，物理概念的定义不是唯一的，例如，质量是物质的量度，也是物体惯性的量度，又是物质能量的量度，同时质量还与重力成正比，以及不随距地表位置的不同而变化等。其中，前三点都是质量概念的本质属性，取其一就可以区分质量与其他的物理概念，因此，它们都可作质量的物理定义。

定量的物理概念又称为物理量。按定义方法的不同分为基本量和导出量。不同单位制的基本量亦不相同。

定性的物理概念定义最常用的形式是“属+种差”，例如“使物体运动的能量叫动能”。其中“能量”是“属”，表示动能是能量之一；“使物体运动”即“种差”，表示动能与同属中的量（即其他能量）的区别。种差须是该概念独具的本质的物理属性。

物理基本量的定义必须采用实验操作定义，即规定一个标准以及可以与该标准比较的具体实验操作程序。物理导出量大都采用数学操作定义。不同的数学操作，例如对电势  $U$  有三种数学操作：

$$\text{单位电荷的电势能 } \frac{W}{q} ;$$

$$\text{电势能与电量之比 } \frac{W}{q} ;$$

$$\text{电场强度的线积分 } \frac{W}{q} E \cdot dl ,$$

它们在物理的深度上有相当的差异。

#### 二 物理判断

运用已有的物理概念对所研究的物理内容做出肯定或否定结论的一种思维形式。

物理概念的定义就是一个肯定的判断。概念内涵、外延以及物理规律的表述也都是物理判断。物理研究实际是由相互紧密联系的许多物理判断

表现的。做出物理判断的方法除了分析、综合、比较、抽象、概括、想象、直觉等以外，还有推理。推理和判断一样是思维的形式，但本身的结论却需要以判断的形式表达。从这一角度，推理也是获得判断的方法。

需要指出，通过逻辑学的方法做出物理判断虽然在物理学中是大量的普遍的，但使用观察、实验以及直觉与想象等方法对有关概念直接作出判断，则是物理判断的一大特点。例如，富兰克林运用正、负电荷的物理概念，用实验的方法对云层中的电直接作出否定判断：“雷电不是上帝的怒火。”在物理学发展史上，正如前面已提及的，直觉作出的物理判断是极重要的，例如爱因斯坦对光粒子的判断，普朗克的能量量子化的判断等等。

此外，在物理学中一切物理判断都要由实验（实践）作出最终的裁决。

根据组成，物理判断分为简单物理判断和复合物理判断。简单物理判断是只含有一个物理判断的判断。从结构讲，它属于逻辑学中的直言判断或关系判断。直言判断，即对对象是否具有某种性质的直接（即无条件）的断定。如：水是液体，或冰不是液体。关系判断，即对对象之间相互关系的直接断定。如：合力等于各分力的矢量和。由于它不能分解为一个以上的物理意义上的是与非，因此肯定形式的简单物理判断常被用来作物理概念的科学定义。例如物体由于运动而具有的能量叫做物体的动能，就是一个肯定形式的简单物理判断，它是对大量做机械运动（ $v=0$  的与  $v \neq 0$  的）的物体的做功情况进行分析与比较之后，再通过综合，经物理抽象和物理语言概括而作出的。简单物理判断还常用来表述物理概念的某些内涵，描述物理现象和表达某些物理观察和物理实验的结论等等。例如：滑动摩擦系数没有单位；匀变速运动的位移与时间的平方成正比；滑轮组的机械效率是  $\eta=80\%$ ，等等。

复合物理判断是含有一个以上物理判断的判断。几个相互关联的简单物理判断即可以组成一个复合的物理判断。由于每个简单物理判断都可能涉及到一个以上的概念，于是它常被用来表达物理概念之间或物理现象之间的联系，描述在具体条件下发生和发展的物理现象与物理过程，概括某些物理观察和物理实验结论。例如对处在磁场中的通电导体进行分析、综合、抽象、概括，可得出“处在磁场中的电流，都将受到磁场力的作用”。这里，前一个电流所在环境的判断是后一个电流受力性质的判断的条件，两个简单判断组合的时候，省略了后一判断的主语。整个判断则反映了相互的物理位置（一种物理现象）与物体受力（另一种物理现象）间的关系。又如“若浮力小于物体重力，物体下沉”，是用两个简单物理判断复合成一个物理判断来描述一个物理过程。

通过上面的讨论可知，物理规律必然要用复合判断来表达。由于物理学的规律都是因果性的（唯一的或几率的因果），因此它们的表达多采用假言判断，又称条件判断，即断定某一事物要具有某一属性，须依赖某种条件的复合判断。如：电压超过额定值，电容将会被击穿。其中最后的判

断表示果，而前面的判断表示因。上面的两个例子都属假言判断。在获得假言判断的过程中，选言判断、联言判断以及负判断亦都有广泛的应用。所谓选言判断，即在几个了解的情况中断定至少有一种情况存在的复合判断。依供选情况之间的关系，分为相容的与不相容的两种。前者如：物体或是平动，或是滚动，或是转动。后者如：平动的物体或是静止，或是匀速运动，或是变速运动。所谓联言判断，即断定几种事物同时存在的复合判断。常用联结词为：并且；不但……而且……；既……又……；虽然……而且……；等等。例如：研究浸在液体中的物体，不但要考虑它的质量，还要考虑它的体积。所谓负判断，即判断的否定。如：并非一切物质都是由分子组成的。下面再举几例请读者体会。分析木块下滑：“木块沿斜面下滑时，要么考虑摩擦力，要么忽略摩擦力”即为一选言判断；分析质量为  $m$  的带电液滴在电场中运动时：“液滴受到重力，并且受到电场力”即为一联言判断；而“合力为零，不意味物体一定静止”则是一负判断。

### 三 物理推理

物理推理，是由一个以上的物理判断获得另一个新的物理判断的思维形式。根据获得新判断的过程，通常将物理推理分为归纳、演绎与类比推理。不同的推理过程，主体方法不同，但除数理推理中的方法外，都属于逻辑学方法的范畴。还需要指出，在所有的物理推理当中，分析、综合、比较、概括等逻辑学方法仍被广泛运用。

#### 1. 物理归纳推理

由个别性的物理判断推出一般性的物理判断，即物理归纳推理。

物理归纳推理的一般过程是，对一定数量的个别性的物理判断，通过分析、综合，比较它们的不同点和相同点，然后在此基础上，进一步根据研究目的，将研究对象作相当范围的扩大，对这些相同点是否能在该范围上升为一种共性的结论作出分析、综合、判断。最后，再用物理语言和数学语言对其共性内容进行表述。表述本身，亦就是归纳的结论。在较为容易的简单的归纳过程中，相同点和共性内容的确定，常被合并为一个步骤进行。

根据归纳所依据的那些个别物理判断的数量，物理归纳又分成简单枚举归纳、科学归纳和完全归纳。

##### (1) 简单枚举归纳。

若由一个具体的物理判断，就直接得出一般性的物理判断，即为简单枚举归纳。例如由“氢原子光谱是分立光谱”的单一物理判断，玻尔提出了原子能级的定态假设这个一般性的物理判断。简单枚举归纳是将个别物理判断的结论——一般是某种物理现象或物理过程的主要特征，直接作为共性处理所做出的归纳。所以，它的或然性比科学归纳要大得多。然而，特别是在近代物理的发展中，颇有一些成功运用简单枚举归纳的实例。因此，我们在物理能力的培养当中仍需给予重视。重视的同时，必须让学生



明确：简单枚举归纳的运用，应该是在不得已的情况下（很难再获得类似的具体物理判断）才使用的。同时，它的结论只是一个假设，需要被进一步验证后才能被科学接受。在物理学之外的领域，特别是在社会和生活的领域，这一推理形式并不能滥用。

### （2）科学归纳。

所谓科学归纳，是从一些结论相同的具体物理判断之所以成立的物理内因入手，先分析出众多的研究对象也都具有同样的物理内因，然后再得出与具体判断结论相同的一般性的物理判断。例如，由三个具体的物理判断：木块在水中受到浮力，小球在煤油中受到浮力，铁块在水银中受到浮力，分析出其物理内因是由于物体的上、下表面受压强差。然后分析、比较其他各种液体，其内部亦都存在着压强，置于其中的各种物体的上、下表面亦均受到压强差。由此进行综合、概括得出一个共性内容——浸在液体中的物体都将受到浮力——作为归纳的结论。于是三个具体的物理判断便可上升为一个一般性的物理判断：物体在任何液体中都受到浮力。

从逻辑学角度说，科学归纳是一种不完全归纳（根据某类事物中部分对象具有某种结论，而作出该类事物全部对象都具有该种结论的推理），它的结论也是或然的。但由于科学归纳抓住了对物理内因的分析与比较，而没有停留在事实的简单重复上，从而使科学归纳的必然性几率显著增强。物理中的归纳推理，大多数都是科学归纳推理，它是培养和测量学生物理归纳推理能力的重点。

### （3）完全归纳。

完全归纳是在作出了有关研究对象在相同研究目的和研究条件下的所有具体物理判断之后，再作出的一般性物理判断。例如研究太阳系中行星的运动轨迹，在通过观察而得出木星、金星、地球、火星、水星、土星、天王星、海王星、冥王星都绕太阳转动的几个具体判断以后，得出一个一般性判断：太阳系的九大行星都在绕太阳转动。完全归纳的结论是必然的。物理学中完全归纳的运用相对来说不是很多。

## 2. 物理演绎推理

由一般性的物理判断推出个别性的物理判断，即为演绎推理。

物理演绎推理的一般过程是：根据已知的一般性的物理概念和规律，通过分析，确定符合该物理概念和规律所要求条件的具体对象，继而得出具体对象的从属，或具体对象亦具有一般性物理概念和规律所具有的特征的结论。例如，“摩擦力做功为零时，物体的机械能守恒。因此，自由落体下落中任一时刻的势能和动能之和不变”。这里第一句话是一般规律，因为它包括了一切作机械运动的物体。第二句话中的“自由落体”，符合第一句话中“摩擦力做功为零”的条件。于是可演绎出自由落体亦具有第一句话中的一般性结论：即“任一时刻的势能和动能之和不变”。

由上例还可使我们理解，物理演绎推理基本仍遵循逻辑学中演绎推理

的三段论模式——两个前提下的一个结论。三段论，又称直言推理，是以包含一个共同概念的两个直言判断为前提（大前提与小前提），推出一个新的直言判断为结论的演绎推理。其结论具有必然性。三段论的基本格式为（M P）（S M）（S P）。两个前提中含有结论中P项的前提为大前提。在大前提的科学性无误的条件下，结论所涉及的知识又没有超出大前提的范围，结论的判断就一定正确。其实，虽然演绎推理分许多种类，但不同类别的推理，主要是对三段论的前提和结论中所用判断的类型，加以条件上的限制。因此，从这一角度看，一方面，学习各类演绎推理的有关规则，可以提高物理演绎推理的必然程度，减少盲目性错误；另一方面必须注重研究物理演绎推理的特殊性。下面三点都是最基本的特殊性。

### 1. 较多使用假言判断组成的推理

在实际的物理演绎当中，直言选言推理（又称选言直言推理）与联言推理都有直接而规范的应用。所谓直言选言推理，是指由选言判断和直言判断分别组成两个前提的演绎推理。如：物体或是气态，或是液态，或是固态；水银不是气态，也不是固态。因此，水银是液态。所谓联言推理，是指推理的前提或结论为一联言判断的演绎推理。可分为合成式与分解式。两者的区别为：前者的结论为联言判断。如：实物粒子是物质，场也是物质，因此，实物粒子和场都是物质。后者的前提为联言判断。如：不但实物是物质，而且场也是物质，物质有质量，因此，场也有质量。但在物理演绎推理中应用较多的是假言推理、假言选言推理、假言联言推理和假言连锁推理。假言推理是指至少有一个前提为假言判断的演绎推理。如：在  $1 \times 1.01 \times 10^5 \text{Pa}$  压强下水的沸点是  $100^\circ\text{C}$ ，如果气压低于  $1 \times 1.01 \times 10^5 \text{Pa}$  时，水的沸点不是  $100^\circ\text{C}$ 。假言选言推理，又称选言假言推理或二难推理，是由两个具有合取关系的充分条件的假言判断，和一个具有两支以上的选言判断为前提的演绎推理。如：如果考虑库仑力，电子应被核吸引，如果考虑电磁辐射，电子轨道应愈来愈小；实际上电子既没被核吸进去，轨道也没变小；所以在研究原子内部结构时，静电场和电磁辐射的理论都受到了挑战。假言联言推理，是指由两个以上充分条件的假言判断的和相应的两个以上分支的联言判断进行的演绎推理。如：如果考虑质量，液滴受重力，如果考虑电量，液滴受电场力；现在既要考虑质量，又要考虑电量；所以液滴既受重力，又受电场力。假言连锁推理，是指所有前提和结论都为假言判断的假言推理。如：摩擦会使物体生热，受热会使物体膨胀，因此，摩擦会使物体膨胀。物理演绎中大量使用各种假言推理的根本原因是物理学的概念和规律在内涵和外延上都是有条件的，它导致物理演绎必须在一系列的条件才能进行，并保持其真与正确的程度。物理演绎中的这一特点。在详细理解上面各类推理的有关概念后，读者会有更深的体会。

### 2. 存在大量的省略

物理演绎的另一个特点是实际演绎过程中的大量省略。这些省略必然

造成一个个的跳跃，这种跳跃与学生的思维相脱离时，便会造成理解上的困难。例如在上面所举自由落体的例子中，小前提被省略了：自由落体的过程中，由于不计空气阻力而使摩擦力做功为零。物理演绎中的这种省略，类似于逻辑学中演绎推理的连锁三段论。连锁三段论是以一个三段论的结论作下一个三段论的前提而连续进行的演绎推理，并且表述中只保留最后的结论，而将中间的结论全部省略。如：煤是物体，物体有惯性，惯性使物体保持原有的速度匀速运动，因此，煤以铲骤停前的速度继续做匀速运动（进入炉内）。与其不同的主要是，连锁三段论只是省略了过程中的结论（或前提），物理演绎则在由各类演绎推理的复合运用中，尽可能省略掉可省略的一切成分。

剖析任何一段实际的物理演绎，最终都不难发现这一点。

### 3. 大前提须由物理学给出并保证其正确性

演绎逻辑的必然性并不意味着结论的真（或正确），而是指结论与大前提同真假。换句话说，只有在大前提真或正确的条件下，它靠本身法则的必然性（在正确运用这些法则的条件下）才可以保证结论也必然是真（或正确）。因此，大前提的正确与否是至关重要的。同时，也说明逻辑学本身并不能给出正确的大前提，亦不能审核大前提正确与否。例如，有大小和方向的量是矢量，电流有大小和方向，所以电流是矢量。这里，推理是完全正确的，而结论的错误来自大前提。

物理演绎的大前提可以来自物理观察和实验，可以来自已有的科学概念与规律，也可来自科学抽象、科学概括或归纳、演绎、类比的结论。但无论哪一种，它都应该是经过物理的检验已被证明是正确的。

根据演绎所使用的工具，物理演绎可分为物理语言演绎与数理演绎。

物理语言演绎。

主要靠语言文字作工具完成的物理演绎推理。

物理语言，包括物理名词、符号、图形、概念，以及一些事实上被约定使用于某些物理名词之间的联接性词汇（其本身不一定属于物理名词），像“正负电子中和”、“正负光子的湮没”、“电子和空穴的复合”、“电荷激发电场”等表述当中的“中和”、“湮没”、“复合”、“激发”等等。本节以上所举的物理演绎实例都属于物理语言演绎一类。

物理语言演绎在物理学中的使用非常广泛，特别是在中学物理及其教学之中。但是，由于某些原因，它们没有受到充分的注意，从而削弱了培养这一方面能力的自觉意识。这些原因主要有：物理语言演绎较多具有其他学科和日常生活中演绎思维的共同点，从而不易被区分；物理学中的数理演绎由于其特殊性而更多地吸引了人们的注意；物理语言演绎表式中的省略，削弱了演绎推理表式的规范，从而减少了人们对其演绎本质的理解等等。

数理演绎。

主要靠数学及其与物理学组元的相互关联作工具完成的物理演绎推理。

物理学组元，包括物理学中的观察、实验、概念、规律与理论。数学作为物理演绎的工具，其前提是完成对物理对象的数学抽象。一切数学概念、规律、技巧的运用，都是在此基础上继续展开的。数学与物理学组元的关联，起码包括两种：数学符号本身与物理内涵之间的关联，以及这些数学符号形成物理量或物理公式以后，它们之间在物理学范畴内的相互关联。这些关联既表现为一致，又表现为制约。例如，用来自物理观察和物理实验结果的数学表达式，代替物理判断作为大前提或小前提使用时，数学与物理是一致的；而把这些物理判断作为标准，依据其物理内涵对数学进行限定或修正时，数学是被物理制约的。例如对半径为  $R$  的带电球的电场强度  $E = \frac{KQ}{r^2}$ ：

当  $r > R$  时，一定的条件下  $E$  将显著增大，这里体现了数学与物理的一致；

当  $r = R$  时， $E$  不是  $\frac{KQ}{R^2}$ ，亦不是无穷大或不存在。根据对电荷

宏观分布的积分结果，它将是  $\frac{KQ}{8R^2}$ ，这里体现了物理对数学的制

约：以球面上场强的存在和  $\frac{KQ}{8R^2}$  的物理判断做标准，对  $E(R)$  的数

理演绎结论进行了修正。

由数学与物理的关联还可看出，数理演绎与数学演绎的主要区别之一，正在于两者所依据的前提，其必然性的程度可能有根本的差异。在数学的演绎推理当中，它的大前提必须是公理、定理或已知，它的小前提则往往是上一步演绎推理的结论。特别是在几何学当中，这一点是极明显的。而数理演绎虽然继承了数学演绎的这一特点，但在必要时，将随时用一些观察结论、实验结果补充作为推理的前提。它们可能由归纳得出，也可能只是一个假设。这一点，也正是物理学对一切逻辑学的结论，都坚持实践（验）检验的主要原因之一。

数理演绎也和物理语言演绎一样可省略掉某一部分。如果省略的内容属于数学的，那么，在理解上造成的困难将视学生的数学基础而改变；如果省略的内容属于物理的，那么，即使不造成学生理解上的困难，也会削弱整个推导中的物理图象，或妨碍学生对推导中所含物理图象的理解深度。因此，数理演绎中的省略，一般都不宜省略物理学的内容。

### 3. 物理类比推理

根据不同物理研究对象在某些方面具有相同点的几个物理判断，推出它们在另外的方面也可能相同的新物理判断，即物理的类比推理。

物理类比推理的一般过程是，对两个或两类对象的已知属性进行比

较，概括它们两者间具有的共同属性，然后，对它们之间未知的属性作出“也相同”的肯定判断。例如，物理学史上光的波动说就是类比推理的产物。惠更斯在研究光时，发现光和声音都能够发生反射、折射，所以他认为光也应和声音一样，是一种机械波。

逻辑学认为，类比推理的结论是或然的。物理类比推理亦是如此，其正确几率和物理归纳推理有着明显的不同，究其因，物理类比推理的方法主要依靠比较。波动说在物理学史上属于一个成功的物理类比，也仅指它的合理内核——针对光是一种波——而言。其余，如它对波的性质的类比，则是不正确的。物理学史上，物理类比推理的结论曾被充分肯定而最终又被彻底否定的典型例子是磁荷：根据磁场和电场在场强、能量、力线的描述等属性上的相同，类比得出永磁体像带电体带有电荷一样，也带有磁荷，并进而类比电场强度建立了磁场强度等一系列的物理量和计算公式，其计算结果和宏观检测也还是符合的。然而，科学最终还是以安培的分子电流否定了磁荷的存在。因此，物理类比推理的结果必须接受实验的检验。

在教学实际中，物理类比常被用来引入或建立新的物理概念，像用水流类比电流，水压类比电压等等。它的优点在于便于突破难点，但却容易让学生误解物理类比的结论总是正确的。因此，需要采用适当的方法进行“补救”，否则并不利于学生物理思维能力的发展。

减少类比推理的或然性，提高其正确性的基本方法，是广泛地比较两个事物的属性。比较越广泛，不但其个性易被察觉，而且共同的属性越多，其类比推理的正确性就越大。此外，进行类比推理后，有意识寻找与推理结论相排斥的现象，若找不到，则类比结论的正确性增加。这些做法，亦都适用于物理类比推理。

## 第四节 物理思维的基本思路与程序

首先需要明确的问题是，物理思维的基本思路与程序不等于解决物理问题的思路与程序。前者，是要解决一个物理研究对象确定以后，展开思维的方向和顺序问题。后者，是解决一个物理问题确定以后，展开思维的方向和顺序问题。显然，一个确定的研究范畴并不一定有明确的物理问题，而且即使有了明确的问题，在解决它的过程中还允许问题在研究的范畴内发生变化。换句话说，物理思维包含对问题的发现以及对那些“确而不定”的问题在变化和解决中的思考。

进而还需明确的问题是，解决物理问题的基本思路与程序，还不等于解答物理题的基本思路与程序。

因此，需要强调指出：用解答物理习题的思维代替物理思维，用习题教学挤占物理过程的教学，是物理思维能力培养的一个很大误区。

本节讨论的重点，放在物理思维的基本思路与程序。

### 一 质疑

纵观物理学史，每一个阶段性进展几乎都是以质疑开始的。例如，伽利略用重球与轻球联结的落体佯谬对亚里士多德的理论提出了质疑；再如，许多质子聚在核内不被库仑力斥散，以及电子绕核高速旋转却不因辐射损失能量等事实，都对经典电磁学提出了质疑。

在一个物理研究的范畴确定以后，必须首先选择需要研究和解决的问题。由于问题本身在相当程度上决定着研究的意义，成果获得的可能性与价值取向，因此，发现有价值的问题又成为整个研究的关键之一。这也就是物理学将质疑作为思维起始的必要性。

质疑概念已在第二章第一节中给出。物理中的质疑一般包括四个层次。

第一个层次，由于对问题本身缺乏清晰了解而形成质疑。例如对质子结合为核子的质疑，源于对核子缺乏了解。

第二个层次，由于已有知识不够，致使问题无法解释而形成质疑。例如光电效应的质疑，源于波动说的局限。

在物理学史上，以上两个层次的质疑性质不同，其作用亦不同。但对学习物理学的人，两者是难于分开的。例如，在尖端放电的实验中，通常看到“电风”将烛焰吹歪。但偶尔会观察到烛焰被“电吸”出一个分叉。对这一现象的质疑，来自不清楚尖端放电的微观机理。这里，由于“知识不够”会造成“对问题本身缺乏清晰的了解”。

第三个层次，由于察觉了问题的解释与原有的理论解释相矛盾而形成质疑。伽利略对落体的质疑属于此类，用亚里士多德的理论从不同角度解释同一问题将有相悖的两个结论。

第四个层次，由于理论内部的不自洽而形成质疑。例如麦克斯韦对介

质中没有电流将使电磁理论不自洽而提出的质疑；又如爱因斯坦就经典力学规律对伽利略变换协变，但对洛仑兹变换不协变这一问题而进行的质疑等等。

质疑不仅是物理思维的开始，正确的质疑还往往是成功的开始。众所周知，以上所举物理学史上的例子都导致了突破性的物理成果。因此善于正确质疑是物理工作者最重要的素质之一，学会正确质疑也是对物理学习者的重要要求。它不仅会激发学习者学到更多的知识，还有助于对知识的融会贯通，而进一步深刻理解知识。

## 二 释疑

有了确定的质疑之后，要考虑的就是如何释疑。

首先，释疑必须有具体可行的方法。物理学常用来释疑的有效方法包括：物理观察、物理实验、物理演绎、提出假设并加以验证以及先进行唯象处理等方法。分析、综合、比较、抽象、概括、想象、直觉、归纳、类比等等，则在上述这些释疑方法的具体实施中穿插综合使用。当然，上述释疑方法的具体实施，还会在更具体的层次上有更具体的方法。例如第二章第一节与第三章第一节中讨论的观察与实验的具体方法。

使用上述方法释疑，要有一个大体的顺序。一般是先考虑物理观察、物理实验或物理演绎，以便能由观察实验归纳出能解决质疑的结论，或尽量根据已有的知识进行系统地推理解答质疑。当这些方法遇到极大困难的时候，例如已有的物理知识不能回答质疑：如果质疑涉及的范围不大或比较具体，会考虑使用假说的方法并由假说演绎出可通过物理观察和物理实验进行检验的预言，然后再实践这些检验内容；如果质疑涉及的不是几个具体的问题，而是相当的一个范畴，而且对该范畴的基本事实性的内容还不十分清楚，会考虑使用唯象处理的方法，从宏观上去把握物理图象与规律，然后再考虑整体自洽地解释这众多物理事实的内在微观机理。

鉴于前面已对物理观察、物理实验、物理演绎进行过讨论，又注意到不同释疑方法在学习物理中的不同地位，下面只对假说与验证、唯象与机理进行一些简单的讨论。

其次，一个科学的释疑还必须满足下述三点要求。

### (1) 释疑应力求解释所有的质疑。

由于质疑的复杂性，以及在释疑过程中，它还会发展和演化，难于解释一切质疑的情况在实际中时有发生。但是，这种情况和“释疑应力求解释所有质疑”的原则并不矛盾。因为质疑不能被全部解释，释疑的置信度便大大降低。实际遗留的暂不能解释的质疑，可属未尽、未能一类的不能解释，然而不能与已作出的解释有矛盾。

### (2) 释疑须和已有的科学理论不矛盾。

已有的科学理论是释疑优先考虑使用的内容。不如此进行释疑，容易浪费时间，而且难保证其科学程度。只有当已有的科学理论对质疑的解释

明显有困难的时候，对困难的那一部分要进行创造性活动。需要注意的是，创造的成果在满足了释疑的需要后，还要分别审查它对已有的其他科学理论的关系。显然它们之间亦不能产生矛盾。所谓“释疑须和已知的科学理论不矛盾”，除了释疑本身和科学理论对质疑的解释之间无矛盾这一表面上的含义以外，主要指上述这一层含义。例如对于一个只满足某质疑本身的需要，但不能和已有科学理论有更广泛自洽的假设，最终是难于成立的。

(3) 释疑必须能经受实践（实验）的检验。

对释疑的实践（实验）检验，可以是直接进行的，也可以是间接进行的。物理学中的、涉及面较广的、特别是理论性较强的释疑，多使用后者。间接检验的主要方式，是不去直接验证释疑本身，而是验证以释疑做前提，结合已有科学理论的内容进行物理演绎而产生的，可供观察和实验验证的那些直接结论。不过，在学习物理的过程中，由于质疑通常是一些不大而具体的问题，所以对释疑进行直接检验还应受到相当的重视。

### 三 假说与验证

为释疑而提出的尚未经实践（实验）证明的逻辑命题或逻辑体系称为假说。为考察假说或其他推理的正确性而进行的实践（实验）活动称为验证。由定义可知，假说是释疑的方法之一。

假说只能是逻辑分析的结果，其中包括直觉判断。假说的基本特征有三个：第一是力求解释全部质疑，因而它具有明确的针对性；第二是尽量使用已有理论，必要时才补充新理论；第三，它应是对质疑最佳的最可靠的解释，即在诸释疑方案中，假说是能使质疑获得圆满解释中的可能性最大的一个。

验证的方法主要是物理实验。在物理学发展中，验证的内容主要是由假说出发，按物理演绎推出某种预言，这种预言或可被实验证实，或可在实践中发生。一般说，实现了预言的结果，假说就得到了验证。

在物理学习中，教材安排的验证内容则主要是已讲过的物理规律。这种处理固然有它不得已的原因，但从让学生理解验证在物理学发展中的功能，理解验证作为物理思维基本程序中的一个环节，以及理解这一环节对物理思维成果的贡献等角度来看，这种处理就显得很不足。作为弥补，教师宜指导和要求学生注意使用验证的方法去处理自己在学习和思考物理问题的过程中萌发的想法、做出的判断或推出的结论。

### 四 唯象与机理

不涉及问题的微观机理，只从宏观现象上充分占有问题的条件和结论，称之为唯象性处理。从微观机理上释疑，称为机理性处理。

唯象性处理得到的理论是唯象理论。热力学就是成功的唯象理论。物理学中进行唯象性处理的思考特点有三个：第一，思考的侧重点不是为什么，而是是什么；第二，思考的基础是与质疑有关的，甚至是彼此相类似的大量实验材料；第三，思考成果主要体现为实验定律，而不是物理定理、



原理。唯象理论虽然不能从理论上彻底释疑，但由于弄清了问题本身，并基本上全面占有了现象和结论，从而具有相当的实用价值。另一方面，唯象理论又是清晰微观机理的必要前提之一。因为只有清楚了全部的事实，才可能正确地去粗取精，去伪存真。所以，在质疑问题的微观机理一时难于清晰的条件下，先对其采取唯象性处理，然后采取机理性处理，便是释疑的一个有效的思维方法。

## 第五节 物理思维能力的层次

按照目前中学物理课程设置的情况，将物理思维能力层次做如下的划分。

### 一 对物理事实做出直觉判断

物理事实，狭义地讲，主要指自然中与生活中发生的物理现象与物理过程，实验条件下发生的物理现象，过程与结论；广义地讲还应包括在物理知识的逻辑运用中产生的正确结论——它们可以与已有的物理理论相符合，也可以相悖，但它们本身应该是正确的。在中学物理教学当中，通常在狭义的范围内使用这一概念。

实际教学中，学生对物理事实的直觉判断，通常发生在两种情形下，一种是在基本未对物理事实展开物理思维之前，另一种是在物理思维进行中遇到较大的困难之时。一般讲，物理学不过分提倡，更不依赖直觉判断，虽然，如本章第二节最后所述，直觉对物理学发展有过重大贡献，但是学生自发地、甚至在一定程度上说是习惯地使用直觉方法做出判断，乃是一种难于回避的事实。因为对处于学习过程中的学习者，习惯于直觉处理问题有着一定的必然性。因此，对物理事实做出直觉判断，事实上是客观存在的一个物理思维能力的层次。

为了提高学生在这一层次的能力，需要抓好三个事情。

其一，必须建立清晰、科学的物理概念，因为直觉实际上要依赖相当数量的经验和概念做基础才能产生。因此，清晰、科学的概念乃是正确地作出直觉判断的基础。

其二，在上述的基础上，形成常见的思维定式。须特别注意的是，要让学生在理解和熟练处理相互逻辑关系之后，自然形成对常见对象、常见条件下的常见结论，而不要靠机械记忆或超练习量的强化而形成思维定式。而且，要侧重在物理图象、物理思维逻辑链条、物理本质的联系等方面建立思维定式，而不是在数学处理，物理习题的图形、已知、求之间建立思维定式。

其三，必须让学生正确理解直觉的内涵（参看本章第二节），以及直觉的判断要接受逻辑与实验的检验。而不能把直觉理解成想当然、凭感觉或完全凭经验，甚至等同于毫无根据的猜测或瞎说。

### 二 对物理学习对象进行联想

联想是随时可以发生的，但只有有意识地将某一事物作为物理学习对象时产生的联想，才比较具有明确的评价意义。

联想，指由一事物想到另一事物的心理过程。它对物理学习中的理解与记忆，对敦促学生使用比较方法区分易混的物理现象、过程、概念、规律，对提高类比推理的正确几率，对扩展物理因果的演绎，都有重要的促进作用。而且，联想对通过发散思维的形式、提高创造思维能力、以及对

培养学生物理中的形象思维能力，都起着重要的影响。对联想的这些作用，读者可结合下面讨论的具体层次及实例进行体会。

影响学生联想的基本因素之一，是泛备信息量。所谓泛备信息，是指一旦进入认知结构，就会转化为知识信息或发展信息的信息。学生头脑中储存的泛备信息数量多，联想生成的机会就多，随之使用其他思维方法与推理所得结论的质量亦就容易提高。

这一能力层次可包含以下的细致层次：

(1) 对物理现象，物理过程与自己所知实例的相互联想。这一层次是指学生根据给出的物理现象与过程，联想到他们自己知道的其他实例，以及学生遇到实际问题时产生的与此相应的联想。一般讲，前者常发生于引入与建立概念、规律的阶段，后者常发生在概念、规律掌握以后。联想到的实例，对中学生，特别是对初中生而言，是以生活范围内的内容为主体。联想的类型，多属于以下几种。

类似联想：由某种物理特征相类似的事物而形成的联想。如由马拉车用了力，想到牛犁地也用了力；由用胶皮管给草地浇水或推铅球等想到斜抛，等等。

接近联想：由时间、空间或功能上相接近的事物而形成的联想。如由水的沸腾想到大量弥漫的蒸汽，由汽车刹车想到滑行的距离，由费力杠杆筷子想到镊子等等。在时间的接近方面，学生尤易联想到同时发生的现象或过程。然而，他们却往往不能区分出所联想到的事物，对原引发联想的内容是伴随性的同时发生，还是因果性的同时发生。这是由联想导致后续思维中可能发生错误的原因之一。例如，由水的沸腾想到蒸汽属于伴随性的，而想到壶盖掀动、哨音或噓伤手等等，则是因果性的。若将后几个现象作为认识沸腾的特征，就会形成沸腾概念的错误内涵。

形象联想：由与事物某一方面相关的形象所产生的联想。形象，往往是学生熟悉的实际事物的形象或抽象的形象。如由完全弹性碰撞想到两个钢球相撞，由电磁波的传播想到不断向四周运动且扩大的同心圆。联想，还可涉及到相关的物理现象与过程。如看到镜中出现自己局部变了形的像，就想到球面镜或哈哈镜的成像。在引入和形成概念阶段的形象联想，有助于学生渡过抽象的困难，但要防止概念建立在不贴切的形象之上。

(2) 对物理概念、规律和实验结果之间的联想。

这一层次主要指学生在领会、理解、形成和运用物理概念、规律或分析实验结果时所产生的，与原有的物理概念、规律之间的联想。与其他学科的概念、规律的联想，也可归于此层次。联想的类型除常表现为类似联想、接近联想、形象联想外，还有对比联想与因果联想。

这一层次的类似联想，或以深化理解，或以相互混淆来表现：抓住了

物理本质特性的类似联想，即表现出对概念的深化，举一反三或融会贯通；反之，常表现为相互混淆。

这一层次的接近联想，常表现为知识组块，即把同一个物理现象或过程的有关概念，或把在同一段时间（如同一节课，同一章节）学习的概念规律，相互联结记忆，提起一个，同时想起另一个。例如，提起沸腾就联想到沸点、蒸发、汽化等概念。这种接近联想，对思维的效率、技能的培养都有正作用，对创造和应变常有负作用。

这一层次的形象联想，通常指物理模型的形象。

对比联想：由有对应关系的事物产生的联想，如由反射想到透射；由力与初速度方向共线想到它们垂直与有夹角；由没有摩擦力做功机械能守恒想到有摩擦力做功机械能不守恒等等。对比联想，有助于概念规律的完善，有助于形成结构，有助于发散性思维与探索学习。

因果联想：由具有因果联系的事物产生的联想。由于物理学迄今为止的成果都是因果性的规律（包括必然性因果与几率性因果），而且，因与果都是用物理概念组成判断来表述的。因此，当学生所思考的物理图景中出现的物理判断，可以作为某一规律中的具体条件时，就会联想到相应的结论。因果联想的基本模式有两个。其一是辐射式，即一个或几个物理判断可以组成不同规律的不同具体条件，导致不同的结论。其二是连锁式，即一次因果联想所得的结论，或再结合原物理图景中的某个（些）其他物理概念后，可以作为另一个物理规律中的具体条件，从而导致新的结论。辐射式因果联想能使思路保持开阔，是用综合分析法分析问题的基础。连锁式因果联想能使思路延伸，便于导致一个相对的阶段性的成果，是用分析法分析问题的基础。实际过程中的因果联想常是这两种基本模式的组合。物理学习中的因果联想，形成了物理演绎推理的基础。

（3）对物理图景和物理方法的联想。

这一层次主要指学生对既定物理图景及可用于该图景中的具体物理方法的联想。联想的类型常表现为类似联想。如对运动状态变化的多参量研究，联想到获取欧姆定律时用到的单变量研究方法。

与前面涉及物理概念规律的类似联想相比较，学生对单纯物理图景的类似联想，很容易发生偏差，这是因为物理图景中一些较隐蔽的因素常常被忽略，或受到头脑中有较强印象的确定图景的诱导，或两者兼之，一强一弱更易导致联想后的判断错误。例如，学生常由飞机掷下的炸弹想到自由落体的运动图景，而不是想到曲线运动图景，这是由于他们只注意了炸弹下落而忽略了惯性；电键一闭合，电子就由电源正极沿导线迅速跑到负极，它们不断地经过电灯就使电灯不断发光，这是由于受到水流动的确定图景的诱导。

### 三 选择确定标准进行比较

这一层次涉及到标准与比较两个环节，顺序不能颠倒。实际教学中，

这两个环节有时是明显的，例如比较易混淆的概念规律，有时并不明显，即学生在已获得比较结论后，自己可能还没意识到是在做“定标”与“比较”这两个工作。

例如，在对用钢丝系住的铜球做出将其视为单摆的肯定判断时，学生意识不到这是在选择了单摆的理想模型做标准之后才做出的判断。与此类似的例子很多，这类例子中发生的判断错误，并不只源于被选作标准的那一个概念不清，首先还源于缺乏“定标”的意识。由于没有“定标”的意识，自然也就注意不到随之而来的比较工作；没有比较这一步，判断就必然带盲目性。

又如，在学习或进行某种物理事物的分类时，学生常意识不到，分类乃是在确定标准并与之比较得出共同点与不同点之后的结论。由于学生只记住了结论而忽略了分类的前提与比较的过程，于是当对同一物理事物的分类标准多元化时，概念必然发生混乱。典型的例子是将弹力、摩擦力、支持力、向心力、恢复力等等都视为对力的同一种分类。

由于上述的实际情况，学生在物理学习中常对思维能力的这一层次，持有简单化、形式化的理解，诸如认为比较就是对比（如区分易混淆知识），标准是不言而喻的，认为比较就是找相同点与不同点，等等。

因此，虽然比较的方法本身并不难掌握，但基于上面一些原因，学生能在本层次达到自觉、正确和熟练的水平，也并不容易。实际教学中运用比较方法，通常还可细分为以下三个层次：

#### （1）引入并建立物理概念。

这一层次主要指基于区分与描述客观事物在某一方面的物理属性的需要，而引入某一物理概念。例如，要描述不同物体（或同一物体在不同阶段）做机械运动时，总具有快慢之别，引入速度的概念；要描述不同机械在做功本领上的不同，引入功率；要描述不同材料的导电能力总有强弱之分，引入电阻率等等。概念的具体建立方法，大都是以某一特定的不变量做标准，通过与这些不变量间的相互比较达到区分的目的，从而完成概念的建立。为建立概念而做的比较，其具体内容一般是数值的大小（大量是比值），但也可以是其他内容，如可见光、红外光、紫外光、电磁波等是比较数域；矢量与标量则是比较方向有无及其是否符合平行四边形合成法则；金块的含金量则是比较颜色等等。不变的比值之所以能做标准，是因为它能在不断变化的相关参数当中保持不变，就意味着它表现了该事物本身的特定属性。

例如在位移和时间都瞬时变化的过程中，两者之比的极限为定值，意味着该值可描述物体瞬时运动的快慢。比较同一物体在不同时刻的这个值，就可区分不同性质的机械运动。

又如，在体积和质量都变化的过程中，两者之比不变，意味着该值表现了物体本身的某种属性，比较这个值，就可区分不同的材料。

在初中阶段，这一层次被简化称为取单位量做标准进行比较。另外，顺便指出，引入这些概念的实质是揭示了概念的物理意义。

### (2) 完成物理分类。

物理教学中的分类，按对象群的不同可大致分三种。这种不同乃是由学习的客观过程决定的。其一是学习某一物理知识的初期所面对的特定研究对象群，如学习机械运动时所对应的各种宏观物体的运动；其二是学完某些物理知识之后所具有的物理知识系统，如在学完力学以后所得出的解决力学问题的几种途径；其三是解题小结或知识小结中的经验、联系与问题。其中，第一种出现的次数最多，其主要的方法论特点是在分析的基础上完成比较，目的在于为进一步进行深入、科学、系统的研究做准备；第二种出现的次数最少，其主要的特点是在综合的基础上完成比较，目的在于理出和完善已掌握的物理知识的结构和系统；第三种出现的次数与学生个体的能力及学习方法有关，主要特点除了从方法论角度看，它需在分析、综合、概括、归纳、联想与顿悟的整体基础上完成这一点之外，还有基本由学生自己完成比较的特点，目的是力求获得一些带有个体色彩的规律性认识。

完成分类，首先必须有确定的标准。同一对象群可以有不同的分类标准。因此，选择标准需要考虑对象的内涵（或外延）与研究目的。两者之中，内涵（或外延）是决定性的，若标准并不属于对象自身内涵（或外延）中的共同成分，实际上就不可能落实该标准下的分类。研究目的则影响选择内涵或外延中的哪些共同成分。例如，要研究物体的机械运动，可将物体按决定其运动规律的主要因素分为质点、刚体、弹性体、流体；要研究物体的导电性，又将物体按导电能力分为导体、半导体、绝缘体。最后，确定标准还要注意，如果分类的结果要容纳全体对象，宜使标准中的条件单一化。若标准内含条件越多，满足标准的就越少，其针对性亦越明显，但容易造成漏分。在解题小结中，经常需要在标准中容纳多个条件，这是因为待分对象的界域不明显，难于考虑，亦不很需要过多考虑容纳全体对象的问题。另外，研究的目的是需要侧重于突出解题方法的针对性。

当对同一对象群采用了不同的标准进行分类时，对象群中的某一个具体对象就必然同时归属于不同的类别。因此在使用时，必须清楚是在哪一个或同时在哪几个标准下使用，不然，由于同时使用不同标准下的分类，就极容易在不知不觉中形成错误的判断、概念、推理。例如，学生在受力分析时常将效果力当作真实力同时处理。

### (3) 区分易混淆的物理知识。

在这一层次中使用比较方法，基本特点是定标的范围已被明确，它只需在诸个混淆的知识之中选择一个。

易混淆的物理知识，仍是学生要经常处理的问题之一。它通常包括相似的现象、过程、概念、规律以及某些仪器的操作。在处理的过程中，学

生大都能自觉运用比较、鉴别的方法，但区分的实际效果却并不理想。其主要原因约有以下几点。

第一，缺乏清晰的理解或牢固的记忆做基础，就急于进行比较。这里的基础，实质就是比较的标准，因为只有将发生混淆的去与清晰的比，才能区分，才能帮助理解或记忆。在混淆的诸个内容中，没有一个是真正清楚的，即使能一时比出不同，亦不能达到使用中的真正区分。通常会认为，已学过的，或过去使用中没发生过错误的，就是清晰的基础，其实并不尽然。

第二，在进行比较中缺乏稳定的标准，即比较中不断变换标准，从而难于形成一个系统的不同点。例如，对需比较的两个事物，拿谁去跟谁比，不过是结论换一个表述方式，实质应不会乱。但对已混淆的事物，这种频繁地变换不同的标准，及其产生不同的表述，就只能不利于区分、理解与记忆。

第三，比较和区分的标准缺乏深度。例如过度强调表面与形式上的不同，或者在缺乏理解的条件下强行机械记忆等等。

以上三个层次的难度，从比较方法本身的使用来看，是与我们所讨论的顺序相同的，即区分易混知识是较容易的。不过需说明的是，从知识的教学效果来看，并不一定如此。因为要在应用中将混淆的内容达到很好的区分效果，可能恰恰是最难的。究其原因，乃是由于知识掌握的实际效果，并不完全由这些过程中的方法唯一决定。

#### 四 使新旧物理知识发生联系

这是学习新的物理知识中常见的层次。其核心思想是通过分析，将新的、未知的、生疏的、不会的内容，转化为若干旧的、已知的、熟悉的、已掌握的知识，然后利用这些已掌握的物理知识对其重新进行综合，完成对新内容的学习。

例如，对平抛运动，将它分解成竖直方向的自由落体与水平方向的匀速直线运动，然后对运动中的任一时刻与运动的整体（射程、落体速度等等）进行合成，就得到平抛运动的规律。

又如，对理想气体在任一状态中瞬间均变化的三个状态参量，在质量不变的前提下，将其分解为其中某一个参量暂时不变的三种情况，可分别使用三个实验定律，然后对任一状态进行综合，就得到理想气体的状态方程。

大多数的仪器和机械的工作原理（如动圈式电流计、水压机、内燃机、显微镜、电动机、发电机等等），以及大多数动力学问题，包括各种场中的动力学问题，都可作为这一层次的直接而典型的例子。

对未知物理事实进行分析的方法可分两类。

第一类，对未知物理事实的分解基本是单一确定的。例如，电表通常只分解为磁铁、线圈、游丝、指针；斜面上的物体重力通常只沿垂直与平

行斜面的方向分解；磁场只能分解为电荷的运动；热运动只能分解为分子的运动，等等。

第二类，对未知物理事实的分解原本不是单一的，而是在考虑简单易解的原则后，经过选择，才确定出一个基本单一的模式。这里的基点是要尊重客观事实。通常处理的顺序是首先考虑物理图象，其次才考虑可解或简单易解；或者说，在符合物理图象的前提下求得和已知物理事实及物理知识的最简明联系。

例如，平面镜与凸透镜成像，都是先在运用了光线的理想模型之后，将入射光分解成无数条入射光线，再从所有的入射光线中，本着易解的原则选择特殊的光线作图定出像位。

分析未知物理事实的方法有以下一些特点：

分析的直接结果并不满足可解，而且这种情况是正常的，也是允许的。因为原有的知识和已知的物理事实，对需解释的新知识并不总是够用的。例如，对全电路中的电流与电压、电阻的关系，将电路分解为内电路与外电路之后，并不能通过对这两部分电路的直接综合得出结论；还必须借助等效电路图与另一个由实验概括出的结论——开路时路端电压等于电源电动势，才能彻底将含源的内电路转化到外电路，从而根据已学过的部分电路欧姆定律，推出全电路的欧姆定律。

本层次所涉及的综合方法，不是将分解后所得的单元，或将与未知物理事实发生联系那些已知物理事实和已学过的物理知识，简单进行与分析过程相逆的组合，而是要根据每一个单元的具体情况，找出相互间的具体衔接点，然后才能进行组合。这一步骤中的灵活性，使这一层次的综合有相当的难度。例如，入射凸透镜的不同特殊光线必须按各自的透射规律处理，才能综合出像；热运动中的分子，必须同时满足大量与无规则这两个条件，才能综合为热运动，因为大量分子的有规则运动仍是机械运动；显微镜中的两个凸透镜——物镜与目镜，只有在物镜所成的实像同时又能使目镜成虚像的特定镜位，才能综合出显微镜的原理。仅举数例，已不难看出，物理中的这种综合比证明几何定理中的综合要灵活得多。

在目前教学中，由于学生是将先前由数学中学习的分析与综合方法，迁移运用到物理解题中——从物理习题的求分析起，一直分析到已知条件，再逆着分析过程完成综合；或从所求的量找出几个未知量，列出相应的几个方程，再将它们综合为一个方程组求解。因此，对物理中的“综合”，学生常常保持数学化的理解。对物理综合的灵活性，特别是对物理概念、规律建立过程中和物理解题的过程中的两种综合的不同，缺乏足够的认识。

比较物理概念、规律的建立过程和物理解题过程中的相应层次，两过程中的分析和综合的主要步骤与方法都是相同的，其区别点主要表现在四个方面。



第一，解题中的分析偏重与已知条件发生联系，这使分析带有明显的方向性和局限性，分析难度也由此而降低。在本节这一层次所涉及的分析中，已知物理事实和物理知识的范围要比为数不多的已知条件大得多。因此，分析的难度其实很大。不过由于有老师的引导，不像解题那样完全由学生自己完成，因此学生往往反而觉得解题中的分析要难。

第二，解题中的分析最终一定满足可解，本节这一层次所涉及的分析，最终可以不满足可解。此时，需要补充用其他方法建立新的物理判断，然后达到可解。

第三，解题中的分析与综合可较多借助数学技巧，一题多解也缘于此。而本节这一层次所涉及的分析综合，则基本尊重物理的因果图象，因此它的分析综合较多地表现出符合物理事实的单一倾向。

第四，解题中综合的难度明显小于本节这一层次所涉及的综合。因为一般情况下，对物理题目的分析完成后，就可按其逆序直接进行综合，因此通常学生认为，物理解题的难点是思路与分析。最后顺便指出，这里的讨论再一次有力地说明，为什么用物理习题中的思维代替物理知识学习过程中的思维来培养思维能力，是一种误区。

#### 五 对具体物理结论进行概括

学生对概括方法的理解，常混同于归纳。概括与归纳都是从个别结论到一般结论，但两者处理的内容和表述的形式不同。

概括，是指对事物属性的认识。因此概括又可理解为将具体事物的属性扩展到同类的事物。事物客观属性的特点是不附带特定条件的，因为它是事物本身所固有的。这一特点决定了概括的语言表述形式一般是简单判断中的直言判断。例如，物体有体积，物体的体积是指物体占据的空间；液体没有固定的形状等等。物理学中的概括，根据其内容是事物的本质物理属性还是一般物理属性，可以形成概念的物理定义、物理内涵和外延。

归纳的对象与结论比概括广得多，它可包括事物属性之外的一切内容。在物理学中，归纳常表现为事物间的相互关系，以及在某种条件下的规律性认识等等。其表述形式可以是简单判断中的关系判断，也可以是复合判断。例如，太阳系包括九大行星，乃是一个用关系判断表述的归纳；物体的体积热胀冷缩，液体不易被压缩，理想气体在等温过程中压强与体积成正比，实质都是复合判断中的假言判断——受热、遇冷、被挤压与等温，都是判断的条件。根据归纳的具体内容，可以获得物理概念的内涵、外延与物理规律。

此外，运用比较方法得出的共性或共同点，可以作为抽象、概括、归纳的共同基础。不同的是：抽象只能涉及诸多共性或共同点中本质的、特有的那部分内容；概括和归纳则可涉及所有的共同内容。由于本质的、特有的，一定是该类事物共同的。因此，学生又时常将概括与归纳混同于抽象。

还需指出，由于抽象乃是指从大量的非本质的内容中抽出本质性的内容，这使抽象出本质属性后的概括导致了概念的定义。因此，抽象在物理概括中占有特殊的地位。

据教学中具体物理结论的来源，概括的这一层次还可细分为以下层次。不同层次的难度有较大差异。

(1) 对物理实验的现象、过程或结论进行直接概括。

当物理实验的现象、过程或结论，揭示出某些具体事物的物理属性时，一般可将具体事物直接换为同类事物。这种将该属性直接扩展为同类事物的物理属性，就是物理教学中的直接概括。

直接概括属于经验概括（见第四章第二节）。例如，用天平称出木块、水、空气都有质量之后，将实验结论直接概括为物体都有质量；将通电直导线周围存在磁场的现象，直接概括为电流的磁场。直接概括也是在抽象的基础上完成的。例如在上例中，就需要将通电直导线先抽象为电流。不过，一般说本层次的抽象难度不大。因为实验设计与操作中已人为突出了需抽象的本质因素，限制了非本质因素的出现。因此说，学生进行直接概括的难度不大。

(2) 对生活中与自然中的熟悉事物进行直接概括。

本层次与上一层次的主要区别在于抽象的难度。这不仅是由于生活中与自然中的物理现象或过程，常常伴随着其他学科的现象，也常常夹杂着属于物理的但对研究的目的来说却属于非本质因素，还特别是由于它们缺乏物理实验中的人为处理。

因此，对生活中与自然中的物理现象或过程的抽象常要做两步工作：从整体现象与过程中抽出物理现象与过程；从物理现象及过程中抽出决定研究目的的本质因素。例如，从生活中常见的实际运动：汽车的行驶，人的走动，飞机的飞行……直接概括出匀速直线运动的模型时，首先舍弃这些运动过程中燃料的反应、废气的污染等化学过程，舍弃它们本身的尺寸、造型、体积等数学因素，继而再舍弃它们的材料、形变、颜色等物理因素，舍弃路程的增长、时间的延展、能量的消耗等物理过程，才能抽象出速度因素与速度不变的过程这两个本质物理内涵。然后，再将这两个内涵扩展  $1 \times 1.01 \times 10^5 \text{Pa}$  到同类事物完成对质点与匀速直线运动的直接概括，建立匀速直线运动的理想模型。

(3) 对物理事实进行间接概括。

间接概括属于理论概括（见第四章第二节），若将直接概括的物理结论进一步进行分析、综合、比较、抽象后再完成概括，最后的结论对最初的物理事实就构成了间接概括。由于直接概括通常就已经建立了物理概念，因此，间接概括通常是在物理概念的基础上再做进一步地抽象，从而可能使它的抽象程度显著加大。物理中的间接概括是使物理概念具有“多

重抽象性”的直接原因。

例如，在通过对生活中常见物体的运动快慢进行直接概括，先建立直线运动与平均速度的概念，然后用它们分析变速直线运动的众多生活实例，可比较、综合、抽象出运动的位移与所花费的时间，仍是描述变速运动快慢的本质因素，从而可将平均速度的概念与数学表式扩展用于一段或全部的变速直线运动。这里，对变速直线运动的物理事实来说，已是一次间接的概括。继而，当我们进一步将一段变速运动的时间继续分解，分解得越短、越逼近物体某一时刻的真实速度，最后在  $t \rightarrow 0$  条件下，综合速度、平均速度、位移、距离、时间、极限等概念与变速运动任一时刻具有不同速度的物理事实，并抽象出位移与时间两个因素作为描述该不同阶段的本质因素之后，就可将速度的概念再度扩展到变速运动的每一时刻，于是建立了即时速度的概念与数学表式。对变速运动的物理事实，这是又一次间接的概括。

由于数学概括一般是在物理语言概括之后进行的，所以它也属于间接概括。由于物理语言概括常已包含较明显的数学关系，学生对这一层次中最后完成概括用的数学感到难度不大，倒是在根据直接概括进行的分析、综合等一系列工作中，数学的运用有时会使学生感到困难。

#### 六 对物理事实和实验数据进行归纳

由于简单枚举归纳的实例在中学物理中较少，只能满足学生对该方法感知，而难以继续完成对该推理能力的培养。而名副其实的完全归纳，大约只在特定的题目或实验仪器、工具的学习中出现。因此，本节所讨论的物理归纳能力的层次，将主要集中于科学归纳。

然而，又由于学生学习过程中知识不够用，或者限于教材的编排，有时会给科学归纳的使用带来困难。于是在物理教学中，不得不经常使用不完全归纳代替科学归纳进行教学。因此，虽然本书在“物理推理”（第四章第三节）中指出物理归纳推理主要是简单枚举归纳、科学归纳和完全归纳，但在本节的能力层次的讨论中，仍要强调一般不完全归纳的层次。

学生在本层次的工作，通常首先是占有由物理实验、生活或自然中的物理现象、过程或结论提供的材料，再由它们找出或是共同点、或是特点、或是某种关系或规律，然后再对其进行归纳——由这些具体的结论推出相应的一般结论；必要时还需将一般结论进行数学抽象和概括。

这一层次详细划分如下：

（1）由所占有的材料正确选择归纳推理的具体形式，并对归纳结论有正确的处理意识。

占有极少数材料，可以选择简单枚举归纳和科学归纳；占有较多材料，可以选择科学归纳与一般的不完全归纳；占有研究范围内的所有材料应该

选择完全归纳。对选择不同的归纳推理形式后作出的归纳结论，应具有明确的不同的处理意识（倾向），但不一定要求采取具体的处理措施。即：对科学归纳和完全归纳的结论，可直接使用——这表现了承认其正确的意识（倾向）；对一般不完全归纳和简单枚举归纳，应通过某种方式表现出验证的意识和倾向。例如对学生独立地从自然观察、生活体会、自行设计的实验中，或从知识小结与解题小结中做出的归纳，大都属于这一类。

需要强调，这里提出的对归纳结论的“处理意识（倾向）”问题，对学生将物理学习中的归纳推理迁移至其他领域有重大影响。为了使具有科学的思想方法，物理课堂教学中用一般不完全归纳获得知识时，教师必须有妥善的处理。应该说，从已往的教学情况看，这一点还没有受到应有的重视。

#### （2）正确判断需归纳的基本内容。

常见的物理归纳的内容，包括研究对象在物理现象、物理过程中表现出的共同点、特点，物理量之间的因果依赖和制约关系，以及研究内容中包含的某种规律性等等。例如，说话时触摸喉头，观察发声的皮筋与敲响的鼓等等，需要找出声带、皮筋、鼓面发声的共同点；观察导体切割磁力线和工作中的变压器，需要找出它们的各自的特点；研究弹簧的伸长，需要找出绝对伸长和所受外力的关系；观察电流在磁场中的运动方向，观察磁铁插入线圈获得的感生电流方向，以及学生在学习中据自己的经验教训归纳出的一些思想方法、研究方法等等，都是为了要寻找某种规律性。

需归纳的实际物理内容，也可以是同时综合以上所谈内容中的几个方面。

显然，这一层次的工作是能否正确进行归纳推理的重要基础。

#### （3）对生活 and 自然中的物理事实进行不完全归纳。

分离出这一层次，主要是由于它在使用分析、综合、比较的同时，还依赖于抽象。这里的抽象有相当的难度。例如，从晾干衣物的生活经验归纳出影响蒸发的因素——它属于在寻找共同点（如炉烤、日晒的相同点都是提高温度）的基础上进一步找出规律性——需要先舍弃衣物的颜色、质量、形状、晾晒中力的平衡，光的反射、透射等许多物理因素与物理过程，才能抽象出温度、暴露面积及空气流速等本质因素，然后再归纳推出影响蒸发的一般条件。能否较充分占有生活和自然中的物理事实，在这一层次非常重要。因为这一层次的物理事实比实验现象更综合更复杂，若缺乏这一要求，归纳结论的必然性将受较大影响。

#### （4）对物理实验的现象、过程或结论进行不完全归纳。

由于实验中突出了与研究目的相关的主要因素，也由于上课时间的限制，教学中这一层次归纳的难度，变得已远低于物理学实际研究中的这一层次。因此，这一层次的重点可放在对归纳内容的选择、判断以及规范表述归纳结论上。结论的表述，除物理词汇的准确、条件与结论间的因果正

确、简洁、无遗漏等一般要求之外，还要充分注意到底需要在什么地方将个别归纳为一般。例如，在比热实验中，对测量铝块体积的具体实验结论进行归纳时，上升为一般内容的，不是体积，也不是由铝块到物体，而是规则物体的测量方法。而对测量铝块比热的具体实验结论，归纳时上升为一般内容的，则是指具体的铝块到铝材料。又如，用石头放入水中演示阿基米德定律，归纳时上升为一般内容的，包括由石头到物体与由水到液体两个方面；用单摆测量重力加速度，需将具体的摆球和具体的地点都扩展到一般情况。

(5) 对物理事实进行科学归纳。

科学归纳的难度主要来自对具体物理事实的内因分析，以及科学归纳过程中用到的其他逻辑学方法，特别是演绎与类比推理。

以对“铜球受热膨胀”的具体实验结论，通过科学归纳得到“物体受热膨胀”的一般结论为例，分析如下。

科学归纳的思维过程：

先考虑铜球受热后体积之所以增大的内在物理原因：受热使铜原子间的距离增大；间距向四周空间的扩展，即造成球的体积增大。

再考虑具有相同内因的事物：由分子、原子构成的物体（如固体、液体、气体等），它们受热时分子或原子间的距离也将增大，因此，它们受热后的体积也应增加。

于是可以归纳推出一般结论：物体受热膨胀。

分析上一科学归纳的思维过程中的主要逻辑方法：

演绎推理：首先，铜球受热时原子间距增大的结论，是以分子运动论与温度的科学概念为大前提，用铜球及受热为小前提而演绎推出的。其次，铜球体积增大，又是以“间距增大体积增加”的命题为大前提，以铜球原子间距增大为小前提做出的演绎。因此，从“铜球受热”的条件到“铜球体积增大的”的结论，实质是一个连锁演绎推理。亦即：科学归纳过程中，对具体结论的内因分析主要应用了连锁演绎。

类比推理：由铜球受热膨胀到物体受热膨胀的扩展，是一个典型的类比推理——由不同事物间的某些相同点，推论它们在其他方面亦相同。注意到它们之间在组成上的物理共性，以及在受热的条件下，都具有分子或原子的间距增大的共性，于是联想到物体受热后亦应具有与铜球受热后一样的物理因果——体积增大。

综合上面分析可知，科学归纳过程中的内因分析，演绎推理与类比推理既是三个重要环节，也形成了科学归纳的难点。不过，由于内因分析不仅涉及到逻辑方法的运用，更是以物理的科学概念为基础，以正确选择有关概念和正确判断一定条件下的物理过程的性质与因果关系为前提。因此，对学生来说，内因分析的难度经常会大于使用逻辑方法的难度。这一切都是使科学归纳这一层次成为难度较高的能力层次的原因。

需要强调的一点是，科学归纳中的内因分析与演绎的使用，有效地增加了其所推结论的正确几率。

### 七 运用物理概念规律进行演绎

在物理学习过程中，物理演绎的运用常集中表现在以下三个环节之中。

某个物理概念规律建立之初：此环节运用物理演绎的主要特征是以新学的物理概念规律为大前提，寻求该知识的外延。例如，在定义弹力之后，据所遇各种力的具体情况符合不符合弹力定义中的种差，得出其是否为弹力的结论。

形成物理概念规律的过程中：此环节运用物理演绎的主要特征是演绎与分析、综合、抽象、概括及归纳等其他逻辑方法与推理交织在一起，以物理研究对象或内容所处的具体物理图景为小前提，选择相适应的大前提形成新的物理概念规律。例如，在使用分析方法的一个典型例子——平抛运动被分解为水平方向的匀速直线运动与竖直方向的自由落体运动当中，包含了两个演绎推理，它们是：以匀速直线运动与自由落体运动的定义作为大前提，以平抛的具体条件为小前提分别完成的两个演绎，其结论经综合后才能形成平抛运动的规律。

运用物理概念规律解决问题的过程中：此环节运用物理演绎的主要特征是以题设条件为小前提，向题目所求的方向展开连续演绎。

若对上述三个环节的实际过程加以细致的考察，不难看出无论在上述的哪一个环节，物理演绎的过程都有以下两个共同点。其一，演绎的大前提是已学过的物理概念与规律；其二，数学的演绎基本要在物理的语言文字的基础上展开。

还应该说明，在学习过程中对物理演绎的两个共同点的理解，不应止于本书讨论的范围，它们还反映了物理演绎在中学物理学习与大学物理专业学习阶段的区别，反映了物理学习与物理研究中物理演绎的不同特征。例如，在物理研究或大学专业学习之中，一个得到承认的实验结论，一个假设，一个基于实验基础之上的数学命题，甚至一个有实践基础的直觉判断，都能经常成为物理演绎的大前提，而数学演绎也已经基本脱离物理的语言文字而独立地能动地展开等等。理解这些，对在中学培养学生物理演绎能力的意义与尺度有重要作用。

综合上述学习过程中运用物理演绎的三个环节与它们所包含的共同点，考虑其难度与所获结论的正确性，本书将能力层次再做以下细致的划分。

#### (1) 运用物理语言文字进行物理演绎。

这一层次主要指不依赖数学的运算和推导完成的物理演绎推理。

例如，洛仑兹力的引入——带电粒子水平射入一方向竖直向下的匀强磁场，根据电流的定义与电流在磁场中受力的规律，该粒子必将受到磁场

对它的作用力——乃是分别以“电荷的定向移动叫做电流”的定义和“与磁场方向不平行的电流在磁场中将受到磁场给它的作用力”的规律为大前提，而完成的一个连锁演绎。

又如，对单摆的能量分析：由于摆动中总有（拉力） $T \perp v$ ，所以  $T$  不做功，只有重力做功，因此，振动中的单摆的机械能守恒。这里虽然有数学代号，但推理并不依赖数学的运算和推导，它是分别以功的定义与机械能守恒的规律为大前提而完成的一个连锁演绎。

必须指出，虽然数学描述可以更深入、准确地揭示物理概念规律，使学生对概念规律的物理内涵理解得更深刻，但特别是对中学生，数学演绎还难以使学生深入认识物理演绎这一思维形式的特殊性，难以突出物理演绎对揭示物理因果图象的重要作用，亦难于使学生在弄清小前提、选择大前提的过程中，通过分析、比较、区分、判断等一系列关于物理内涵的细致思考，达到深化理解物理概念规律的目的。因此，尽管数学的运算和推导每一步都是一个典型的直言演绎或假言演绎（大前提常被省略），尽管数学运算和推导的整体都是一个典型的连锁演绎，但本层次的物理语言文字的演绎绝对不应被忽略。恰恰相反，它对学生是很重要的，是在学生头脑中建立物理因果关系图象的结构，培养物理演绎思维能力的一个最基本层次。另外，它对培养每个学生的物理语言能力亦有极重要的作用。

运用物理语言文字正确地进行物理演绎，要抓住两个环节。

首先，被选择为大前提的命题，其物理内涵必须是正确的。虽然形式逻辑本身并不管大前提是否为一个正确命题，但物理作为一门研究因果关系的科学，则要求物理演绎的大前提必须是正确的命题，否则演绎推理本身的必然性，就不能保证其结论亦符合物理世界中的因果必然性。

例如，“一切物质都是可以加速的。场是一种物质，因此场亦是能被加速的”。在推理规则上它是符合演绎推理的，但其结论并不符合迄今已知的物理规律。究其原因，大前提乃是一个不正确的物理命题。学生在物理学习中发生这一类错误，多是源于对概念规律的记忆存在错误，或使用了自以为正确而实际上错误的物理认识做命题，例如一个不正确的前科学概念。

其次，被选来作为大前提的物理概念规律必须与所研究的物理问题相适应。在大前提的选择上，学生又一常见错误是选择了与所研究的物理问题不相适应的概念规律做大前提（不是指在所选概念规律本身的物理内涵上发生错误）。例如，在分析合外力不为零的系统中的动量问题时，选择了动量守恒定律做大前提；在电梯加速上行的过程中，分析与它一起上升的单摆的周期时，选择了单摆周期公式做大前提；在判断力  $F$  保持大小不变地推着车，从  $A$  点出发作匀速圆周运动一周后又回到  $A$  点的过程中，力  $F$  是否做了功时，选择了  $W = Fscos$  做大前提，推出由于位移为零故  $F$  不做功的错误结论等等。在这些情况下，作为大前提的物理概念规律并不是错

误命题。结论的错误乃是由于违反了演绎推理的规则而造成的。在演绎推理中，小前提必须满足大前提命题中的条件，即小前提与大前提中的条件在内涵上必须同一。例如在上面所举的单摆例子中，以单摆周期公式做大前提，其条件是单摆理想化模型与周期公式的适用范围。而在电梯加速上升过程中的单摆，其物理内涵已不属于惯性系统运动。于是两者的内涵不同一。

在用物理语言文字进行连锁演绎时，由于前一演绎的结论可以做下一演绎的大前提，因此应注意侧重审视继续演绎的小前提是否与已推得结论中的条件相符，相符时才能进行连锁演绎，不符或不完全相符时，需考虑重新选择与其相符的大前提，展开新一轮演绎推理。

## (2) 运用数学完成物理演绎。

这一层次主要指要依赖数学的运算或推导才能完成的物理演绎。其具体表述可以基本是数学的，也可以是物理语言文字与数学交替进行的。因此上述讨论的内容，原则上也适合于这一层次。

在纯数学的演绎过程中，大前提是数学的概念规律，小前提是具体的数学表达式。物理演绎过程中的大段连续的推证与计算，包含了大量的纯数学演绎。在中学物理学习中，主要包括恒等变形、解方程（组）与几何证明。被选为大前提的数学概念规律分别是各种数与式的运算法则和函数性质，同解方程（组）与数学的公理与定理。从演绎逻辑的角度看，大多数数学技巧（如换元、配方、辅助线等等），乃是在创造能与被选为大前提的那一个数学概念规律中的具体条件相符合的小前提，以使其能够进行正确的数学演绎推理。

然而，物理演绎中的数学演绎并不都是纯数学的演绎过程。其基本原因有三个。

第一，数学演绎的大前提是物理概念规律的数学表达式。由于该数学表达式难于反映或常常只反映大前提中的主要条件。因此在书面表述的推理过程之外，实际还常有未形于字面的物理限制，如果忽略这些限制，一个正确的数学演绎却不一定是一个正确的物理演绎。例如选择功的定义式做大前提时，很少再用数学形式注明  $F$  是常力。但若忽略了这一点只照公式的数学式去计算，在  $F$  大小不变地推小车匀速圆周运动一周后回到出发点的例子中， $F$  所做的功：

$$W = Fscos$$

又小车回到出发点时  $s=0$

$$W=0$$

虽然是一个正确的数学演绎，却不是是一个正确的物理演绎。第二，数学演绎的小前提与演绎的结论，亦大都是物理概念规律的数学表式，或虽不是概念规律却也具有一定的物理意义。因此对小前提与数学演绎结论的物理意义的理解，特别是在连锁演绎当中，就将直接影响能否正确判断小



前提与所选大前提中的物理条件是否同一。

第三，纯数学演绎的过程往往还包含着物理的内容，这一点集中体现了数学对物理学的能动贡献，体现了数学与物理学的和谐。充分重视和理解这一点，会有助于深入理解客观的物理图象。

例如从压强定义分析，液体内部压强应与受力面积有关，因为受力面积是压强的决定量。然而，用液体内部所取的小液面推导液体内部压强公式时，小液面的面积  $S$  被约掉了。分析  $S$  的处理，不过是以约分法则为大前提的一个纯数学演绎。但它包含了一个物理内容——与固体压强概念相比较，受力面积将不再是液体内部压强的决定量。

又如，在下列推导中：

$$\begin{aligned} F &= ma \\ \text{又 } a &= \frac{v_t - v_0}{t} \\ F &= \frac{mv_t - mv_0}{t} \\ Ft &= mv_t - mv_0 \end{aligned}$$

这里，式等号两边同乘以  $t$  得出式，是以方程的同解原理为大前提而进行的纯数学演绎，但它包含了：物体动量的变化来自力对时间的积累。

再如：从物体动质量推出：

$$\begin{aligned} m &= \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \\ \text{当 } v \ll c \text{ 时} \\ \left(\frac{v}{c}\right)^2 &= 0 \\ m &= m_0 \end{aligned}$$

这个过程，是以近似计算法则为大前提完成的纯数学演绎，但它却表明了相对论力学与牛顿力学的和谐。

综上所述，如何充分利用数学演绎获取正确的物理演绎结果，如何能善于并力求全面与深入地理解数学演绎中隐含的物理内容，而不是将物理演绎中的数学演绎等同于数学中的数学演绎，则是本层次演绎能力的重点所在。

(3) 交替运用物理语言文字和数学完成物理演绎。这一层次可基本视作前两个层次的综合运用。然而，与前两层次不同，本层次的物理演绎必须是一个连锁演绎。通常，在语言文字的物理演绎中穿插数学演绎，能使演绎的整体显得更简洁，更深刻；在数学演绎中穿插语言文字演绎，往往是一些必要的说明。

#### 八 根据研究目的思考相关因素

当研究对象与研究目的确定之后，物理学研究首先要进行的一步工作，通常是区分相关因素和无关因素。其重要性，在于为确定实验方案，

或为形成概念规律明确出进一步的研究对象——一般是被判断为相关的那些因素。继而，对概念规律的形成，要抓住相关因素，寻找它们之间的联系。对实验的设计，则往往还需要进一步从相关因素中区分出主要的相关因素，然后在抓住主要因素的同时，考虑如何防止无关因素和次要因素的干扰。因此，区分相关与无关因素是物理学研究的重要基础步骤。然而，由于有下述两个原因，本节对这一能力层次的讨论将不采取深入的态度。

原因之一，从寻找和区分相关因素的实际过程看，它乃是观察、思维与实验密切交叉进行的综合过程，而不是单纯的思维过程。在物理学的研究中，区分出一个预料与其相关而实际与其无关的因素，往往是相当困难的。

顺便说明，在目前的物理教学实际当中，由于各种原因，寻找相关与无关的因素的过程变得很简明，从而其难度亦就不能被真实地反映。

原因之二，从方法的角度看，它又是一个观察、分析、综合、比较、抽象、概括、归纳、演绎、类比、直觉、联想、假设、实验、验证等方面的综合运用过程。为此，在能力层次的归属上，可认为，该层次原则上宜归属于应用物理知识解决实际问题的能力。

考虑以上原因，本节的讨论，止于实际区分相关与无关因素中的第一个阶段——思考可能的相关因素，并考虑可以用什么方法去协助做出判断，而不过多涉及如何判断一个因素究竟是相关还是无关，从而亦不涉及相关与无关因素的甄别问题。从思维能力的角度出发，本节对该层次能力细分如下：

#### (1) 具有寻找相关因素的明确意识与习惯。

即在接触一个新的研究对象并确定了研究目的以后，自觉开始分析哪些因素对研究目的是相关的，哪些可能是无关的。

在这种意识和习惯当中，要首先明确，研究对象与研究目的是思考相关因素的两个基础，并且这两个基础又是相互影响的。同一个对象，目的不同，无关因素可以变为相关因素，反之亦然。例如，研究宏观物体的自由落体运动规律，体积是无关因素；研究它的浮沉条件，体积则变为有关因素；而研究它对光的反射时，质量又变为无关因素。同一个研究目的，不同的对象，因素的相关与无关也会发生变化。例如研究摆动，摆线的质量对不同的摆锤，可能是相关因素，也可能是无关因素。

其次要明确寻找相关因素的一般程序：运用已学过的所有知识，分析处于既定研究目的下的对象，找出可能相关和无关的因素；用逻辑的方法，特别是数理演绎的方法确定相关并区分无关的因素；用实验的方法验证和甄别上述两步所得的结果。

#### (2) 根据生活经验感觉可能的相关因素。

提高这一层次的正确率，主要需抓住所根据的生活图景，是否正确反映了研究对象在既定研究目的下的物理图象。当两者的物理内涵相同时，

感觉认为的相关量一般确实是相关的。例如，从站立在齐胸深的水中，缓慢平稳地转动身体面向四周呼吸时，感到胸部所受的压迫没什么变化，于是认为水对身体的压力与方向无关。又如从使用尖图钉和断头图钉的经验中认识到，图钉对墙的压强和接触面积有关等等。

必须充分认识到：对这一层次的结论需要做进一步的分析与验证。对中学生来讲，此种意识的程度亦应成为本层次水平的一个标志。这主要因为，在很多情况下，对生活图景是否确实比较集中（专一）地、本质地反映所研究的物理图象，是很难做出中肯的分析的。例如，从冬天在室外玩铁单杠和木双杠时，由手握双杠所感觉的温度，认为温度与材料相关，乃是因为该图景并非单一的温度图象，还包含热导的图象。又如，从箱不推不动、车不开不走，感觉到运动和力有关，则是该图景不能本质地反映力与运动的关系。

（3）根据已学过的物理知识推论出相关量。

推出相关量的常用推理方式是演绎与类比。例如，从安培力的公式和洛仑兹力的定义，推出洛仑兹力的大小应和磁感应强度相关；从电阻决定式中的电阻率和温度相关，推出电阻的大小也应和温度相关等等，都是演绎推理。而由直线运动的位移与速度有关，推出圆周运动的角位移也应与角速度有关；由重力势能的大小与物体的质量有关，推出电势能也应与带电体所带电量有关等等则都是类比推理。

值得注意的是，用演绎推理推出的相关量也只是一种可能，并不一定正确。例如，浮力与液体内部压强差有关，压强差也是压强，液体内部压强与深度有关，因此浮力大小亦应与深度有关。另外，用数学演绎完成的物理演绎，若推导中介入了相应物理量的非决定量，那么根据其所得结果而判断出的相关量，常常都不属于实质上的相关。

本层次所得到的相关量，比从生活经验通过感觉或归纳得出的相关量，其正确几率要高。这正表明了科学抽象的深刻性与理论的能动性。特别是在演绎中，严格地按照物理因果图象进行语言文字演绎，或用物理量的决定式进行数学演绎，所得出的相关性结论常常最后被实验证实是正确的。

还想说明，本层次的学习与练习，会非常有助于学生巩固和熟练物理概念和规律。因此，根据已学物理知识推论相关量，应在物理学习中给予特别的注意，高中尤应如此。

### 九 深化物理概念和规律的学习

由于质疑是在充分分析的基础上提出的疑问，特别是以相悖的不同结论表现质疑时，其各结论必然都有自己鲜明的逻辑基础。因此，在物理学习中，学生能自觉运用质疑的方法，会在分析中有效地加深对物理概念规律的理解，并使所学的有关知识融会贯通。而且，根据心理学研究，由个体独立进行深入思维而产生的问题，其个性化与思维投入的程度越强，释

疑愿望也越强。亦就是说，它将转化为直接的学习动机。进而，一方面，释疑行为中的主体成分和科学成分会有效地影响着人格的发展——越在独立基础上合作地寻求科学释疑，人格中的依赖性，教条主义与盲目崇拜权威的因素就越少；另一方面，释疑行为中的方法论成分，又将进一步在运用中深化对物理概念和规律的理解，并提供产生联想的机会，从而形成质疑、释疑的良性循环。以上这一切，实际都是活生生地运用物理方法、培养物理能力的过程。因此，物理思维能力的这一层次是涉及培养学生思维素质的一个重要层次。当然，由于本层次需综合使用各种逻辑方法去发现问题和解决问题，它又是难度较大的一个层次，所以本节将它放在最后讨论。

学习过程的客观规律和广大教师的教学经验都表明，不发现问题，学习难以深入，学生在学习中提不出问题，并不等于学生没有问题。教学中学生之所以提不出问题，主要是因为习惯于让思维顺着教师讲解的逻辑系统运行。在听讲的过程中如此，在做巩固性练习和习题中，由于针对性（单一运用新知识）较强，亦如此。这就要求教师要注重创造条件并敦促、鼓励学生思索。注意到质疑与释疑两过程中的细致层次难有相应性，又考虑到释疑的实际过程是一个综合过程而不是单纯的思维过程，根据寻找相关因素的层次中相类似的理由，本书认为释疑能力宜归属于解决实际问题的能力。故本节讨论将侧重于质疑方面。

#### （1）弄清疑点，清楚地提出质疑。

这一层次主要指通过具体细致到一定程度的分析，弄清问题到底出在何处。这是因为学生在学习物理的过程中所提出的一些问题，往往只是觉得不懂或不清楚，而不是出于认真细致的思考。其最典型的表现是向教师提问题，却连问题本身都说不清楚，或所提的问题其实只须稍加细致地考虑一下，自己就能解决。

在这一层次，质疑概念中的充分分析，集中体现在弄清“问题所在”的过程之中。清楚的表达在于清晰的思维。弄清疑点，是清楚地提出问题的基础。当然，有了清楚的思维，并不等于一定能形成清楚的表达，但此状态下的困难则属于物理语言能力的范畴。

（2）在充分分析所遇问题的基础上，提出相悖的质疑。这一层次主要指对遇到的问题，善于从不同角度思考并充分利用已学知识进行分析，从不同理论或不同角度审视对同一问题所作的解释，看它们彼此之间是否相互矛盾，从而形成质疑。例如，在物体加速度与其相关量  $F$  及  $m$  进行定量研究的实验结论中，对  $a$ 、 $F$  与  $a$ 、 $m^{-1}$  可有数学推理：

$$\begin{aligned}
 a &= k_1 F \\
 a &= k_2 m^{-1} \\
 a^2 &= k_1 k_2 F m^{-1} \\
 a &= k \sqrt{F m^{-1}} \quad (\text{令 } k = \sqrt{k_1 k_2})
 \end{aligned}$$

显然，从数学角度做出的这一推理与物理学对该实验结论的推理是相悖的。

又如，教师在讲课中强调蒸发和沸腾的区别时指出：蒸发是在任何温度下都可进行的；又在解有关冰熔解的许多问题中强调冰块化成水后的质量不变。那么从这两个角度可提出：先化成的水在整个熔解过程中有没有蒸发？有，则质量不能不变；没有，则蒸发不是在任何温度下都可进行的。

再如，当温度升高时，水的体积膨胀，密度值应下降，但教材中为什么讲水的密度是一个常数呢？

(3) 根据生活实际或实验，提出与所学物理知识相悖的质疑。

对同一个(类)对象，在一定条件下的物理因果关系应该是确定的。然而，由于物理学本身理想化处理的研究方法，由于中学物理知识内容限制了研究广度与深度，由于实际问题的复杂与综合性等诸多原因，学生在生活中的实际经验或自做的实验结论，与所学物理知识(概念、规律、实验等)完全可能有所不同。当然，亦有可能由于学生个人的水平，只是貌似不同其实还是相同的。无论哪种情况，都属于本层次质疑的范围。

例如，漂浮在开水中的一小盆水，由于热平衡导致无法获得汽化热而不能沸腾；但实际生活中有学生透过玻璃锅盖发现，盆中的鸡蛋羹却可以沸腾。又如，玻璃是透明的，平面镜才能成像；但有学生却从眼镜中看见了身后物体的像，其像甚至叠在眼前看到的物体上。这两者都属于根据生活实际中观察到的现象，提出和所学物理知识表面相悖的质疑。而在下例当中，提出的则是和所学物理知识结论实质相悖的问题(客观上不属于或不完全属于物理学或所学物理知识的范畴)：既然作用力和反作用力相等，为什么挨打的人觉得疼，而打人的人却不觉得那么疼？

下面是一个根据实验提出质疑的实际例子。一个高一学生让家长从22层楼的居室给他投下钥匙和揉成一团的纸团，发现钥匙比纸团先落到地面。于是他用灌入沙土的乒乓球和正常的乒乓球“重复”了“比萨斜塔”实验，结果仍然是重球先落地，而不是同时落地。然后他对教师关于比萨斜塔实验的分析——只要用形状、体积相同的物体，例如等大的球自由下落，由于空气阻力对它们的影响一样而可以不予考虑——提出了质疑。

在教学过程中还经常出现，实验情况和理论分析似乎相悖的情况。例如，理论上认为双缝干涉现象中条纹的宽度应相等，而激光双缝干涉实验中亮纹宽度却明显大于暗纹，甚至人民教育出版社出版的高中统编教材中给出的彩图亦是如此。又如，理论上认为用丝绸摩擦玻璃棒时，越用力，摩擦的次数越多，做的机械功越多，玻璃棒上带的电就应越多，静电计张角亦应越大，而实际操作时未必如此，等等。

在实验教学中，要求启发、鼓励学生发现问题、试作分析、提出质疑、尽力释疑，只要教师重视，应该是不难做到的。

## 第五章 物理能力测量 的基本方法

现行物理考试，已被证明是评价学生物理学习水平和辅助物理知识教学的一种有效手段。由于在一定程度上，它可直接反映出教师讲授知识方法的有效性，反映学生对知识的掌握程度，以及存在的问题，从而使师生双方及时采取措施，因此物理教学能使学生对物理知识的学习迅速而稳定地提高。但是目前还没有与此相当的，能对学生具有的物理能力进行直接测量的方法，从而导致物理教学中的能力培养效率较低。本章将在分析直接测量物理能力之困难所在的基础上，提出一种可行的直接测量物理能力的方法。

## 第一节 物理能力测量的概念与意义

### 一 物理能力测量的概念

根据前述的物理能力的有关概念，这里将物理能力测量限定为对学生个体已具有的物理能力水平进行的定量测试和评价。它是一种评价学生物理能力水平的方法，也是检查和判断教师在教学中所选择的能力培养方法（或学生在学习中自己选择的培养自己能力的方法）是否得当的有效办法，又是一种培养学生物理能力的辅助手段。此外，通过对大量学生个体的物理能力测量，即可得出与某一教学时期相对应的学生群体已有的物理能力水平。那么，学生群体通过教学应有的（可能获得的或未来可达到的）物理能力，就可以通过测出不同水平的学校与不同年级的大量学生群体已有的物理能力的差异，继而进行推测得出。显然，这一工作对了解我国物理教育的水平，对制定能力大纲和能力培养指标都具有重大意义。

需要指出的一点是，学生个体通过教学可能获得的（未来可达到的）实际物理能力，由于和他未来的各种主客观因素有关，基本是无法通过测试而知晓的。

### 二 测量物理能力的方法与困难

物理能力测量有直接测量和间接测量两种方法。

目前教师通常使用的通过学生对物理知识考卷中的解答情况，间接分析学生某种物理能力的强弱，即是一种间接测量。间接测量难于有效地区分和判断学生的物理能力水平。这主要是由于试题含有大量的物理知识，当学生对题目所涉及的物理知识，没能掌握或偶有漏洞时，甚至由于马虎造成的知识上的解答错误，都将导致试卷分数不佳。此时，该分数不能准确说明学生的实际能力，该题目亦已不再能达到检查学生能力的目的。因此，物理能力的间接测量，虽然能在一定的程度上反映学生物理能力的水平和发展，但这种反映基本上是一种模糊的，不独立的，不精确的反映。

物理能力难于直接测量的主要原因，是物理能力发展必须以物理知识为载体展开。由于这一特点，很难找到不通过任何知识内容来直接（单纯）判断能力水平的方法。这使学生对知识的掌握程度成为对能力测量的一种必然干扰。

为了减少这种干扰，心理学曾采用低难度，广范围的办法制定多种系列试题进行智力测验，例如用大量幼儿时期就熟识的图形和只含算术、语文、自然常识的知识编制试题。然而用这一方法检测物理能力是极困难的，因为物理教学乃是密度大，速度快的单科知识教学。因此，需要在承认知识掌握程度对能力测量必然形成干扰的前提下，寻找可操作的直接测量物理能力的方法。

### 三 物理能力测量的作用

假设能够找到一种直接测量物理能力的方法，该方法能够比较清晰

地、独立地、精确地从物理知识和其他学科培养的能力中区分出物理能力，区分出物理能力的不同水平。根据本节最初所述的“能力测量的概念”，这种方法将对物理教学和学生的发展产生相当大的积极的作用。

### 1. 提供某一时期的学生物理能力水平的常模

决定学生物理能力水平的因素很多。在一个确定的教学时期，从整体上说，起决定作用的因素是教学大纲、教材和师资水平。这些因素在相当长的一个时期内，例如5—10年，可能是基本稳定的。因此，学生群体的物理能力水平在这个期间也是基本稳定的。反映这种基本稳定的物理能力水平的数据，可以称为物理能力水平的常模。只要用直接测量物理能力的方法去进行足够多与有足够代表性的采样，然后再对所得数据进行统计处理就可得到这种水平常模。它既可反映我国物理教育在不同时期获得的成就和发展，也可为同一时期内，不同地区，不同学校提供一个能力水平标准的参考数据，供他们在物理教学中培养学生能力使用。

### 2. 提供学生个体能力水平发展的相对参考标准

对学生个体而言，重要的问题是经过努力后，自己的物理能力究竟是否有所发展。这一信息可直接影响学生学习物理知识，培养自己能力的主观积极性。要获取这一信息，可以把任何一次物理能力的直接测量结果当做相对标准，进行与这次试题等价的另一次直接测量。将第二次测量的结果与前一次比较，即可了解自己的物理能力水平是否有所提高。显然，如果一个学生能了解到自己的物理能力提高的幅度（定量的），那将会有效地促进学生的成就性动机。或者，对能力水平发展快慢的原因进行具体分析，从而亦就会有于提高以后的能力水平发展速度。

### 3. 帮助教师区分不同的能力培养方法的有效性

长期以来，为培养学生的物理能力，广大物理教师创造、推荐、使用过许多方法，师生在实践中也花费了不少时间和精力。然而，普遍的感觉是，能力培养方法不像知识教学方法那样实用和好用。应该说，能力培养的不同方法，其有效性除和方法本身的好坏有关外，还主要取决于它与师生双方的实际基础是否适应。显然，依靠经验感觉和物理能力的间接测量结果，对此难于做出准确判断。但如果使用等价的几次试题进行物理能力的直接测量，同时教学中注意控制其他参数，则测量结果即可给区分不同能力培养方法的有效性，提供有说服力的依据。



## 第二节 直接测量物理能力的基本方法

上节已指出，物理能力测量总离不开具体的物理知识，因此，只有寻找排除能力测量中“知识干扰”的方法，才能完成直接测量物理能力的任务。

### 一 基本思路

对含有能力与知识双重因素的试题，只有假设解题人的物理知识达到全优水平，那么扣除偶然因素，影响试题解答的因素就主要是能力因素。因此，我们用试题的解答成绩，就可直接描述解题人能力的高低。需强调指出，这一思路成立的条件是：知识优。

### 二 等价排除法

首先，我们以能力测量为单一目的，命出能力测量试卷（下简称 A 卷），根据 A 卷涉及物理知识的范围、内容、程度，我们再命出与 A 卷中的知识等价的知识试卷（K 卷）。在检测时，学生先解答 K 卷试题，凡达到优者才获准参试 A 卷。从而排除了 A 卷中知识的掌握程度对能力测量中的干扰作用。A 卷评定即视为能力水平标志。

### 三 等价排除法的检验

为探索等价排除法的可行性，初中以应用物理知识解决实际问题的能力，高中以物理思维能力中的演绎能力为测试内容，在北京和湖南的四所中学的 8 个班级，用开底型题目进行了测试。参加 K 试 352 人，达优参加 A 试 269 人。

判断本次测试的可靠性的标准，由于缺乏目前我国中学生的物理能力水平的常模，只能以教师的经验评定为参考标准。为增加经验评定的准确程度，请相关性较强的学科教师共同做出评定。应用能力采用理、化教师，演绎能力采用理、数教师对学生做出经验评定。经验评定分能力强，较强，中等，弱四个等级。此外，还让学生作了自我评定做备考。

由于经验评定是在不同学校中相对成立的，所以在经验评定与 A 卷评定的对应关系上，重点中学取 7.1 级与能力强的经验评定相对应，非重点中学则取 6.6 级与能力强的经验评定相对应。

测试的直接结果反映在表 5 - 1 中。根据该结果，表 5 - 2 给出了它们与参考标准——经验评定的符合情况，并由此得出四校的平均重合率（表 5 - 3）。两个表中的平均重合率的意义不同：表 5 - 2 中的平均重合率侧重表明等价排除法对不同类型学校的适用情况，表 5 - 3 中的平均重合率，侧重表明等价排除法对不同能力水平的适用情况。

表 5—1 四校能力测量等级一览

学 校	应试 (人)	能力等级(人)								
		4.5	4.6-5.0	5.1-5.5	5.6-6.0	6.1-6.5	6.6-7.0	7.1-8.0	8.1	
初 中	W中	37	2	2	8	8	11	5	1	
	J中	47	2	3	5	12	6	11	8	-
高 中	H中	82	5	3	8	14	23	19	73	
	F中	103	10	18	5	28	30	11	1	-
初中总计		84	4	5	13	20	17	16	9	-
高中总计		185	15	21	13	42	53	30	8	3
总计		269	19	26	26	62	70	46	17	3

注：记分起点 4.0；W 中，普通中学；F 中，职业高中；J 中，区重点；H 中，省重点。

表 5 - 2 能力测量对经验评定的符合情况一览

学校	能力测试		经验评定		重合情况		平均重合率 (%)
	等级	人数	能力标准	人数	人数	比率 (%)	
W 中	6.6	6	强	5	3	60	73.5
	6.1—6.5	11	较强	8	6	75	
	5.1—6.0	16	中等	19	15	78.9	
	5.0	4	弱	5	4	80	
F 中	6.6	12	强	9	6	66.3	74.4
	6.1—6.5	30	较强	28	22	78.5	
	5.1—6.0	33	中等	46	31	67.4	
	5.0	28	弱	20	17	85	
J 中	7.1	8	强	7	5	71.4	73.7
	6.1—7.0	17	较强	10	7	70	
	5.1—6.0	17	中等	28	15	53.5	
	5.0	5	弱	2	2	100	

续表

学校	能力测试		经验评定		重合情况		平均重合率 (%)
	等级	人数	能力标准	人数	人数	比率 (%)	
H 中	7.1	10	强	15	10	66.7	77.5
	6.1—7.0	42	较强	28	27	96.4	
	5.1—6.0	22	中等	33	21	63.6	
	5.0	3	弱	6	5	83.3	

表 5—3 能力测量对经验评定的平均重合率

	能力强	能力较强	能力中等	能力弱
四校平均重合率	66.2%	79.9%	65.8%	87%

#### 四 关于“可行性检验”的分析与结论

##### 1. 检测数据的分布状况

为了考察表 5 - 1 所示的能力等级的分布 ,对其进行了统计假设检验中的  $\chi^2$  检验 :对零假设的可靠程度 (或拒绝零假设的显著性水平) 进行检验的一种统计学方法 ,适合于总体抽样分布为未知的情况。

假设 :  $H_0$  为能力测量结果是正态分布 ;

$H_1$  为能力测量结果是非正态分布。

检验有关数据如表 5 - 4 所示。

表 5—4 能力测量结果的分布状况

	< 4.5	4.5-5.0	5.1-5.5	5.6-6.0	6.1-6.5	6.6-7.0	7.1-8.0	> 8.1
$f_o$	19	26	26	62	70	46	17	3
正态 8 等分概率	1%	6%	16%	27%	27%	16%	6%	1%
$f_e$	2.7	16	43	73	73	43	16	2.7
$f_o - f_e$	16.3	10	-17	-11	-3	3	1	0.3
$(f_o - f_e)^2$	2.65	100	289	121	9	9	1	0.09

$$\text{计算值 } \chi^2 = [(f_o - f_e)^2 / f_e] = 16.01$$

确定显著性水平  $\alpha = 0.02$

判断 : 因为  $df = 8 - 1 = 7$  , 据此查出理论值

$$\chi^2_{(7)0.02} = 16.62 > 16.01$$

因此 , 接受  $H_0$  假设。

即所测四校平均能力等级分布为近似正态分布的可靠度为 98%。

##### 2. 检测的效度与信度

从表 5 - 2 可得出本次检测结果与经验评定中重合与不重合的人数 ,以经验评定的四个等级为效标 , 计算能力测试的等级效标效度的主要数据如表 5 - 5 所示 :

表 5—5 能力测量的等级效度数据

N (人)	不同 D 值的人数				D <sup>2</sup>
	0	1	2	3	
269	196	38	25	10	228

其等级效率：

$$r_{xy} = 1 - \frac{6 \sum D^2}{N(N^2 - 1)} \approx 1$$

用分半法对全部测试出的能力级别进行信度计算的有关数据如表 5 - 6 所示：

表 5 - 6 能力测量的信度数据

N	组		组		xy
	$\bar{X}$	$S_x$	$\bar{Y}$	$S_y$	
269	2.9	0.22	3.2	0.30	2510

$$r_{hh} = \frac{\frac{1}{N} \sum XY - \bar{X} \cdot \bar{Y}}{S_x \cdot S_y} \approx 0.77$$

据 C . Spearman-W . Brown 校正公式，整个实验的信度为

$$r = \frac{2r_{hh}}{1 + r_{hh}} = 0.87$$

### 3 . 对检测的综合分析

在对各校测试数据的细致分析当中，我们还注意到下述一些情况：

重点中学的高能力等级百分比大大高于一般中学。以高中的能力测量为例：在 5.6—6.5 的能力等级段，普通中学共有 58 人，占参试人数的 56.3%，相应的重点中学数据为 37 人，占参试人数的 45.1%；两者仅相差 11.2%。但在 6.6—8.0 的等级，普通中学有 12 人，占参试人数的 11.7%，重点中学相应的数据则为 29 人，占参试人数的 35.4%；两者已相差 23.7%（此处数据均可由表 5-1 推出）。

整体看学生能力都不够强。

从测量数据看，只有少数学生能力达到 8.0 级以上，大部分能力强的学生，其能力等级比能力弱的学生高得并不多（仅 5.0—7.0 两级），这种能力等级差表明，从整体看目前学生能力都不理想。

存在方向性偏移。

在将本次测量结果与经验评定结论相比较时发现，在测试结果与经验

评定不重合的人中，存在着方向性偏移：高分低能的学生，能力等级比经验评定下降，成绩较差但聪明、好动手的学生，能力等级比经验评定上移。

综合研究上述三种现象，不难发现以上这些现象也都与我们在教学中的经验感觉相吻合。

#### 4. 对不重合学生的回归分析

从表 5-2 还可看出，四校的总平均重合率为 74.7%。其中能力差的等级，符合程度最好，平均为 87%。这可能是因为对能力差的学生，按经验容易较正确地做出区分和判断。符合程度最不理想的是能力强的等级。对此，我们进行了部分回归分析：请教师对这部分不重合的学生逐人进行甄别，并参考学生的自我评定。回归分析表明，能力测量的结果更符合学生的能力实际。之所以出现上述情况，老师们认为，主要是由于第一次经验评定时不自觉地受到考试成绩的干扰。例如，在四所学校中原认为能力强的学生共有 36 名，其中有 12 名未被检测证实。按能力测量，这 12 人中，中等与差等各一名，其余为较强。查阅自我评定，8 名为较强或中等，他们属于成绩优秀且学习刻苦的学生。而在能力测量认为能力强的学生中，也恰有 12 名分别被经验评定为较强（7 名）和中等（5 名），他们大都属于聪明但不用功，或不喜欢物理的学生。

#### 5. 本次可行性检验的结论

通过上述讨论可知，本次能力测量的结果是与人们目前对学生能力状态的常规认识和评价相符合的，由此可以认为，用等价排除法在物理教学中直接测量学生物理能力的水平，还是基本可行的。

### 第三节 等价排除法在物理教学中的实施

在物理教学中使用等价排除法，可直接测量学生的各种物理能力水平。对其在具体实施当中的步骤和应注意的问题我们作如下讨论。

#### 一 按年级确定物理能力的具体内容

由于学生物理能力发展的主要载体是本学年或本学期的物理知识，所以，依据本书前几章中所讨论的物理能力的内容，直接命 A 卷试题是不合适的。需要将前几章中的有关内容结合具体各年级的物理教材，对不同年级学生，确定出某种物理能力在该年级的具体外显及层次。物理能力内容的这种细化处理，是以物理教材中的知识内容和学生年龄（主要涉及由年龄决定的生理与心理的基本特征）为依据的，且随教材改变而改变。教材一旦确定，物理知识的体系、内容、讲述方法等等，就将暗示自身有可能培养什么物理能力，以及可能培养到什么程度。

例如，通过对人民教育出版社出版的初级中学课本第一册的整体分析表明：其中的物理现象多，归纳多，模型、挂图及天平、量筒等基本仪器的操作多；而演绎少，知识的综合运用少。由此可知：它能够和便于培养学生的物理观察能力、实验能力、分析概括能力，而难于培养学生的物理抽象能力，演绎能力和综合应用物理知识解决问题的能力。而在物理观察能力当中，它能够和便于培养的内容相对集中在四个方面：观察模型、挂图、仪器；察觉物理现象的主要特点；养成观察习惯；以及观察质疑的习惯。

#### 二 针对不同的物理能力命 A 卷试题

为了减少能力间的互相影响，一份 A 卷以检测一种物理能力为宜。A 卷命题应该紧紧围绕所测量的物理能力展开。像检测物理观察能力时，就应努力避免试题中含有需要让学生进行分析总结的因素。例如在编制检测目标为“观察能力：尽量多地观察物理现象”的一道题中：“先观察 3 分钟烛焰，然后再阅读下述内容并做出正误判断。烛焰有两种颜色；烛芯并不燃烧；烛焰是由小变大的；烛焰使周围的氧气变少。”其中就是不适宜的。因为 的答案不是直接观察的结果，而是对蜡烛燃烧时需要氧气的推理结果。需要说明，对大多数物理能力测量来说，阅读能力是不可避免的一种干扰，所以试题语言应注意简单易懂，并可辅以在考场先统一阅读、统一答疑的方法。

此外，A 卷题目需注意在一定程度上包含待测能力的不同内涵和外延。设计题目时，每一道题目的检测目的，应力求保持在所测量能力的同一个方面。例如在检测观察能力中“全面观察”的这一侧面时，尽量不要有“抓住特点”的检测内容。这是因为，要较准确地描述某种能力某一层次的实际水平，应该在学生施用该种能力成功解决这一方面的实际问题时，考虑他所表现出的稳定程度。这是能力测量和知识测量的主要区别之

一。为此，A 卷的评阅将采取每正确施用一次能力得正分，每错误施用一次能力得负分，最后用其代数和表示能力的稳定程度。因此，当一道题目的检测内容所反映的能力，不属于同一能力的同一方面时，将造成所取代数和的意义不确定。

题目类型的设计，测试的具体方法，都应尽量能使学生待测的能力得以充分发挥，并易于区分出该项能力的不同水平。为此，可使用定量计时测试法。所谓定量计时测试法，指必须做完所有题目，但不限制一个具体完成时间的测试方法。这种方法给每个被测试者提供了充分发挥自己能力——到自己认可自己的能力到此为止的可能，从某个角度讲，一定程度上模拟了生活中能力施用的实际状况，从而能较客观地反映被测试者的能力水平。由于答卷时间的不同引起的速度对测试者结果的影响，将通过评卷方法解决。定量计时测试法的题型宜采用开底型试题，即题目的正确答案数目是不确定的。正确答案的数目，将依每个学生使用能力的具体状况而定。例如，将上面举出的例子，改为“观察 3 分钟烛焰，然后用简练的语言说出你观察到的所有物理现象”，即将原题改为一道开底题。

顺便指出，在能力测试中采用开底型试题具有三个较明显的优点：第一，它能使被测试者的能力得到自己认可的充分发挥。这一点与定量计时的方法相协调；第二，它能在相当程度上防止目前知识测试中应试有效的“题海”战术；第三，学生对开底题的训练，将从根本上有助于发展他们的思维能力，特别是发散思维。

需要说明，以上的讨论并没有否定其他的测试方法（例如定时计量法）和其他题目类型在能力测量中的应用。在后续章节的实例中可以看出，根据需要，我们仍将使用其他的方法和题型。

对同一年级的同一种物理能力，若能命出等价的两份 A 卷试题（一份可以涉及第一学期的物理知识，一份可以涉及全年所学的物理知识），那么就可以比较清楚地了解这种物理能力的发展情况。

### 三 完成与 A 卷相应的 K 卷命题和测试

对每一份 A 卷，基本上都有一份相应的 K 卷试题。K 卷命题应该完整覆盖 A 卷所用的物理知识。为此可先根据 A 卷各题，列出该题所涉及的知识细目及运用知识的程度，选择确定的几种题型，将所有涉及的知识纳入这几种题型，然后再行命题。K 卷题目中知识的运用程度宜和 A 卷相当，过深则加重学生负担，过浅则容易产生对能力测量的干扰。在保证运用程度相当的前提下，K 卷的题型还应便于学生解答，以节省学生答题时间。当 A 卷采用开底试题时，需要估计 A 卷题目中可能的答案，找出其中的知识成分。若这种估计较为困难，可将知识运用的程度适当做稍深稍广的扩展。作为运用这些原则的例子，读者可参考第六章至第八章的具体 K 卷试题进行分析。

为防止 K 卷试题对 A 卷试题的暗示作用，K 卷中一般不宜出现和 A 卷

中物理条件、过程、现象都一样的题目，而且在将知识分别纳入 K 卷所选题型时，应注意使 A 卷中某一题所用的知识分散到 K 卷的几个题目中去，序号也应和 A 卷完全不同。

K 卷未达到优的学生，补课后可再参加 K 卷测试，获优者与首次获优者都具有参加 A 卷测试的同等资格。

#### 四 A 卷评分与能力级别

为描述不同的物理能力水平，我们引入能力级别的概念。

能力级别是学生某种能力水平 (AL) 的定量标志。为符合人们用等级描述某事物的常规印象和表达上的方便，AL 值宜为一不很大的正数。AL 值越大，能力水平越强。为描述简便，我们将设法由 A 卷评分直接计算应试者的 AL 值，并使其数值在一般情况下可限在 1—10 之间。

根据能力的概念可分析出，与 AL 相关的主要因素不应少于两个：一为顺利地（成功地）解决问题的速度；二为完成任务的质量。为此，在物理能力的测量中，我们又引入下述两个参数：A 卷的答卷速度 V 与 A 卷的答卷质量 M。

设同一份 A 卷中施用能力的总次数为 N (次)，所费时间为 t (分钟)，每正确施用一次能力得正分  $n_0^+$ ，每错误施用一次能力得负分  $n_0^-$ ，再设  $N_1$ 、 $N_2$  分别为 A 卷中正确施用能力与错误施用能力的次数，则界定：

$$V = \frac{N}{t} \text{ (次/分)}$$

$$M = \sum_{i=0}^{N_1} (n_0^+)_i + \sum_{j=0}^{N_2} (n_0^-)_j$$

其中， $N_1 + N_2 = N_0$  从 M 的计算式可知，A 卷的答卷质量 M 表示了 A 卷中正确施用能力的稳定值。

显然，V 值与 M 值均大的学生，才是能力真强的学生。两者均小的学生，才是能力真弱的学生。

需要说明之所以需要采用正、负分的代数和描述 A 卷的答卷质量，其根本原因是，某种能力的一次成功（或不成功）的施用，基本上完全不能说明这种能力的强（弱）。一个任务的解决，实际往往是某种能力多次施用（含试探性施用在内）的结果。正、负分的代数和，反映了能力发挥过程中，成功施用能力与不成功施用的差，当此差值大于 0 时，其值越大，灵活并成功施用能力的稳定程度越好，能力越强。其对应的宏观意义是：表明被测者对完成某种任务的胜任程度。M 越大，表明被测者越有足够能力胜任该项任务；当  $M=0$  时，表明被测者的能力不胜任该种任务；而  $M < 0$  的情况，可以理解为被测者非但不能完成所要完成的任务，而且还会对任务的顺利完成起负作用。

对如何用这两个参量完成 A 卷评定，通过 A 卷的评定，又如何确定物理能力的级别，我们还将做如下分析。



首先，对能力测量来说， $V$  是能力水平的重要标志之一。

因为能力是影响人们办事效率的重要因素，它作为一种心理特征，在解决问题或完成任务的实际过程中，必然反映出一种试探操作。即能力施用过程中的错误施用是必然的，正常的现象。施用能力中的一次错误，不但可能不意味着其后都是错误，而且可能意味着减少以后的错误。这和解题中用错一次知识，后面的题将全会解错是不一样的。例如在观察烛焰的开底题中，某一个错误的观察结论可能并不影响另一个观察结果的正确性。而且，在一定程度上，能力的施用次数越多，还意味着试探操作及其不断纠正会最终导致正确操作的几率越大，即能力越强。我们知道，在知识测量中，错误并不是必然的，也基本不具有会导致答案正确的功能。因此，能力水平的高低，不能像通常评定知识卷那样只用 A 卷中做对题目的总数量，或单位时间内做题的正确率来评价，还必须考虑  $V$  对能力水平的贡献。

其次，我们还注意到，能力测量也不用单位时间内正确施用能力的稳定值 ( $M/t$ ) 来简单描述能力水平。例如在某次能力测试中，甲、乙在相等时间内对测试能力的同一方面（即对同一道题），甲施用能力 10 次，对 5 次错 5 次，稳定值为 0；乙仅施用 1 次，无错，稳定值为 1；然而经验告诉我们，不能说乙的能力水平比甲高。

于是，综合以上两点，应该考虑用  $V$  与  $M$  共同描述学生的能力级别。考虑  $V$  与  $M$  对能力水平影响的宏观图象，并注意到当 A 卷的题目不止一道时，整卷的能力施用稳定值不可能为零，本书暂时规定：用  $V$  与  $M$  的积表示能力级别。

实际确定 AL 值时，还要涉及两个参量。

单位分值  $n_0$ ——施用一次所测能力的分数，由  $n_0$  可得出各题的  $n_0^+$  与  $n_0^-$ 。 $n_0$  值可因题而异，可视各题涉用的能力层次而定。计分起点  $n^0$ ——每份 A 卷均具有的基本分。其中  $n^0$  是人为的设置，目的是为了在对  $n_0^+$  与  $n_0^-$  取代数和时不出现负值，因为 AL 为负值是没有意义的。

设置  $n^0$  以后，能力级别的计算方法为

$$AL = V \cdot M + n^0$$

我们将发现，这种形式的规定很容易使 AL 值为一个不大的正数。无论用定量计时法还是定时计量法测试 A 卷，都不难获得下列数据：完成试卷的时间  $t$ ，答卷中施用所测能力的总次数  $N$ （可通过题目设计，使  $N$  表现为答案总题目，或从阅卷过程中通过分析学生答题的内容和步骤获得），以及  $N$  次中做对与做错的具体分数  $\sum n_0^+$  与  $\sum n_0^-$ 。由这些数据可直接计算  $V$  与  $M$ 。因此，对一份 A 卷来说，AL 值是确定的。

由于学生运用一次能力和记录其结果都需要时间，所以，当  $t$  以分钟做单位时只要 A 卷题目不是极其容易，答卷都需要相当的时间。根据  $V$  的定义可知， $V$  在一般情况下都将小于等于 1。此时，只要设法使  $M$  为一不大

正数，AL 即可为一不大正数。因此，可考虑  $n_0$  在 0.1—0.5 之间取值（视一份 A 卷中不同题目施用能力的层次或难度而定）。例如，对一份  $t=100$  分钟的 A 卷测量，第 1—3 题的  $n_0=0.1$ ，第 4—6 题的  $n_0=0.2$ ，第 7—10 题的  $n_0=0.3$ 。某学生在各题中成功与不成功施用能力的次数分别为：8, 2；6, 3；6, 2；5, 1；4, 3；2, 3；4, 0；4, 2；8, 3；3, 4，则该生的 AL 计算如下（取  $n^0=5.0$ ）：

$$N=8+2+6+3+6+2+5+1+4+3+2+3+4+4+2+8+3+3+4=73$$

$$V=N/t=73/100=0.73$$

$$M = \sum n_0^+ + \sum n_0^-$$

$$= [(8-2)+(6-3)+(6-2)] \times 0.1 + [(5-1)+(4-3)+(2-3)] \times 0.2 + [(4-0) + (4-2) + (8-3) + (3-4)] \times 0.3 = 5.1$$

$$AL = V \cdot M + n^0$$

$$= 0.73 \times 5.1 + 5.0 = 8.7$$

### 五 几个必要的说明

由 AL 与 M 的计算式，可以看出用能力级别表示的物理能力水平与用 A 卷的答卷质量表示物理能力水平之间的区别：由于 AL 考虑了 A 卷答卷速度的因素，因此它的意义已不限于表示应试者成功施用能力的稳定程度与对完成相关物理任务的胜任程度，而还具有表示应试者施用能力的灵活与成功程度的作用。因为当灵活度增加，施用不成功几率随之增加，施用能力的总次数 N 亦随之增加，于是 V 将减小。由于参量 V 的引入使 AL 能够描述应试者施用能力中的灵活与成功。注意到本书在第一章中界定的物理能力水平的概念——对个体运用物理能力外显完成物理任务时在稳定、灵活与成功等方面达到的高度——就可以理解为什么可以用 AL 描述的能力级别作为物理能力水平的定量标志。

此外，为尽量准确反映应试者的被测能力水平，答题过程中出现的知识性问题或答案错误，经辨认确与被测能力不直接相关，则可不扣分或少扣分。

为减少其他能力对准确判断所测能力的干扰，学生在答 A 卷前尽量弄明白答此类卷子与答日常做的考卷的区别，弄明白 A 卷的成绩评定方法。在答 A 卷的过程中，若学生对题意不清或不懂，应注意向教师提问，凡不涉及本卷所测能力的内容，教师均应尽量给以帮助；如知识问题，阅读能力障碍等等。又如在物理观察能力的测试中，若对按题目要求的步骤理解或操作有困难的，教师完全可以协助学生完成；但在物理实验能力的测试中，则只能协助学生阅读理解而不能帮其完成（可参看有关章节的有关题目）。

最后说明：上述 A 卷评定方法所得出的能力等级，只是相对于阅卷时自选计分起点  $n^0$  的能力等级。因此，对某一种能力的若干份（系列）难度相同的 A 卷，阅卷时必须以同一个计分起点进行评价。当此系列 A 卷在不

同时间（例如期中与期末）测于相同的学生时，才可判断出这些学生在这段时间内的能力是否有了相对的提高。进而，通过培养方法的选择和培养过程的调节，就可提高能力培养的效率。

## 第六章 物理观察能力 的实测与分析

本章所举用等价排除法检测物理观察能力的实例,是1994年3月在北京市朝阳区某所一般学校初二(4)班施测的。测量前向该班物理教师提供了下述材料:物理观察能力A卷试题及与其配套的K卷试题48套;A卷试题中教师的操作要求一份;学生回答A卷时使用的有关器材48套;教师考场演示用的器材一套。

A卷测试中需穿插教师的演示。由于演示时间会因不同的A卷试题设计而不同,不宜计入学生的答卷时间。因此,要求学生记录个人参试时间,要求教师记录考场演示时间(各次演示时间总和)。拟用两时间之差作为计算A卷V值的答卷时间 $t$ 。

严格说,这个时间并不是学生参加测试时施用物理观察能力的准确时间。准确时间实际在教师演示和学生答卷中都各占一部分,然而这使它很难于测定,故需要找一个相对稳定易测的时间做替代值。在不同次的物理观察能力的检测中,这个替代值应不受每次不同的演示时间的影响,并且还要便于学生通过不同次等价A卷测试,分析个人物理观察能力是否有所提高。注意到这一系列要求,才考虑采用学生参试时间与教师演示时间的差值,作为学生施用物理观察能力时间的替代值。不同次的测试,这个时间替代值亦不相同,由此可参与对答卷速度的影响。

在定量计时法的测量中,每个学生参试时间的结束,应由个人认为自己的能力发挥充分为准。这样,该替代值是因人而异的。然而,由于本次测试现场被临时处理成统一在120分钟交卷,于是形成这次测试中每个人的时间替代值相同。这种变故,主要给能力强的学生带来系统误差,他们的能力级别可能因 $t$ 值增大而偏低。

本章将具体讨论有关这次测试的内容与评卷,以便读者体会如何使用等价排除法测量物理观察能力。由于本章是讨论能力检测实例的首章,必然含有相当多亦可用于分析其他种物理能力检测的概念和内容。这一点,请读者阅读本章时给予特别的注意。

## 第一节 测试使用的基本材料

### 一 A 卷试题

说明：下述试卷中的波浪线是原试卷中已有的。

#### 物理观察能力的测量（能力卷）

学校\_\_ 班级\_\_ 姓名\_\_

性别\_\_ 考号\_\_ 参试时间\_\_

答卷注意事项：

1. 要使答案最大程度地体现你的能力。
2. 用钢笔或圆珠笔在附纸作答，注意标清题号，不抄题。
3. 仔细审题，看清题目要求后再答。
4. 第二至第六题，观察完毕给 5 分钟答题时间，到时若没作完，可于所有演示做完后（第七题）再行补答。为防止遗忘，请在观察过程中集中精力并随手做些零星速记。

5. 答题语言要简练，但表述要清楚。

6. 全卷做完后，注意填写参试所用时间。

一、观察挂在教室前方的方形石英电子挂钟，简单写出你观察到的所有结论，与由此你总结出的观察经验。

二、根据对鸡尾酒调制成功与不成功过程的几次观察回答：（1）影响调好鸡尾酒的因素都有哪些？（2）成功调制鸡尾酒的最主要因素是什么？

三、观察三次教师演示的乒乓球下落实验，记下你观察到的各种现象，并指出主要现象是什么？

四、将一竖直悬挂的弹簧小球拉伸或压缩，松手后你看到的现象叫振动。观察片刻后，请教师将振动着的小球和部分弹簧下移到水中，观察三遍后，写出你观察到的该过程的主要特点。

五、根据对教师演示实验的观察指出，使纸张发出很大响声的具体条件是什么？

六、先观察两次演示，将你观察到的一切结论按下述项目分别填写。填写后再重新观察一次，修改并补充有关结论。（1）研究对象（2）初始情况（ $t_0$ 时刻）（3）中间情况（ $t_0 < t < t_1$ 一段时间）（4）末状况（ $t_1$ 时刻）（5）整个过程中大小不变的物理量。（在附纸上答题时，请分别注明“研究对象”、“初始状况”等字样，并在修改补充的内容下标明横线）

七、先阅读下述观察计划，再观察教师的演示，最后回答：（1）根据你的观察，你产生了什么疑问？凡是想到的都请写下来。（2）从物理学的角度，在上述问题中选出一个或几个最重要的（或你认为最值得研究）问题。

[观察计划]

观察目的：了解位于冷水下部的热水将如何运动。

观察内容：如图实验装置，盛满红色热水的小烧杯被一塑料薄膜封盖。用粗铁丝将膜捅破，观察此后的物理现象。

八、你见过汽车疾驶过马路上积水时的情况吗？据平时观察的积累，尽可能多地写出你观察到的物理现象。

九、观察放在你桌上的圆珠笔，记下所有的观察结论。

十、按下述要求自行操作并记录：

(1) 从桌上找出盛有一定量水的滴鼻净药瓶(注意拿取药瓶时勿将药瓶倒置)；

将药瓶慢慢倒置成竖直方向，并陆续挤出几滴水；

将药瓶重新正立放好；

记录你观察到的一切现象；

按、重复一次，对你记下的结论进行修改和补充。(在修改和补充的内容下用横线标明)(2) 从桌上找出酒精灯、火柴、铁钉、盛凉水的烧杯、尖嘴钳；

点燃酒精灯，用尖嘴钳夹住铁钉的一端，将另一端放在外焰上加热至足够的时间；

将钉的加热端迅速放入冷水中；

熄灭酒精灯；

记录你观察到的所有物理现象。

十一、请看黑板上的现场命题。

## 二 A 卷实测使用的器材

(1) 教师演示用器材。

A 卷第一题使用的器材；

家用电子石英挂钟一个，外壳方形，表盘上刻度沿外壳也呈方形非均匀分布，正常工作。

A 卷第二题使用的器材：

鸡尾酒四瓶，带包装盒与小漏斗。包装盒上印有调好的鸡尾酒图案。

无色高脚玻璃酒杯 3 只。

A 卷第三题使用的器材：

三合板一块，宽 300mm，高 700mm，板面贴黑纸，纸上 500mm 高处画一条水平白线(图 6-2)。此板也可用小黑板代替。乒乓球一只。

A 卷第四题使用的器材：

弹簧振子一个，悬挂在铁架台上；

1000mL 烧杯一个。

A 卷第五题使用的器材：

60mm<sup>2</sup> 筒卫生纸的方形包装纸数张；

1号电池手电筒一个，能正常工作；牙签一根。

A卷第六题使用的器材：

气球3个；

小型直筒式打气筒一个。

A卷第七题使用的器材：

1000mL与50mL烧杯各一个；

白胶布一条，略长于小烧杯口的周长；

足够罩住小烧杯口的塑料薄膜一块；

粗铁丝一根（可用小号十字改锥或长镊代替）。

A卷第十一题使用的器材：

三个以上物理器件组成的简单物理仪器一架，要求学生知道具体器件名称但不知仪器名称。例如，初中可用铁架台上悬两个摆长不等的单摆，两摆球体积等大且斜向相切。

(2) 学生操作用的器材。

A卷第九题使用的器材：

可拆卸以观察内部元件与结构的圆珠笔，人手一支，或两人一支。

A卷第十题使用的器材：

每个考生或每两个考生有下述器材一套：

酒精灯一个；

火柴一盒；

60mm左右的粗铁钉一枚，用砂布磨亮；

1000mL烧杯一个，内装大半杯冷水；

尖嘴钳一个。

### 三 测试中对教师的要求

#### 1. 基本要求

仔细对照学生试题，阅读此要求和下述关于操作的内容、步骤与注意事项。

在A卷正式测试前，按操作内容、步骤与注意事项熟练有关操作。

考试时须按A卷题序进行操作，前六道题目须注意掌握好留给学生答题的时间。试题中未说明演示次数的均为一次。

演示时尽量采用后体位操作（身体位于所操作仪器的后面），并注意有关的展示动作能让位于教室两侧及后面的学生都看清演示的现象。

整体演示动作连贯，但要注意使每个动作到位（演示者的肢体到达并略停顿于能满足较好观察该现象所需要的位置）。动作之间要注意停顿，以使学生的观察能跟上教师的动作。

除试题要求的必要说明外，操作中不进行讲解。

可在第十题中指导或辅助学生按题目要求规范操作，但不要在第九题中辅助、指导或暗示学生如何操作。

A 卷测试现场要记录教师演示操作的累积耗时。

学生交卷时，检查学生是否填写了参试所用时间。要保证每份答卷上都有该时间数据。

## 2. 操作内容、步骤与注意事项

### 第一题：

将石英电子挂钟悬挂在黑板上方，7 分钟后开始让学生做第二题。在此时间内，注意不要有任何暗示性动作与语言。

### 第二题：

展示包装盒上的鸡尾酒图案。

进行由于酒序颠倒而未能成功的调制，并对比展示未调制成功的酒与盒标图案。

按说明书进行成功调制，并与盒标图案对比展示。

进行由于漏斗下端过高而当时未能马上成功的调制。展示调制结果。

调制时每种酒每次倒入量应保持相等（在 3 漏斗以上），酒量太少，成功的现象不明显。

### 第三题：（连续演示三次）

左手将背景板竖立立于讲台桌中央略靠后的地方，白线距讲台面 500mm（图 6-2）。

右手拇指与中指水平捏住一乒乓球，使背景板上的水平白线穿过两指。

两手指同时张开，使球竖直下落。注意使球在桌面上反弹至自然停止，不让球中途落到地上。

### 第四题：（连续演示三次）

将烧杯中盛入大半杯水。

将静止的弹簧振子拉伸，松手，使振子振动。

片刻后（振幅基本没缩小），移水杯至振子正下方。

将振幅未明显衰减的振子缓慢下降并浸入水中，直至振动停止。

### 第五题：

打亮手电筒，面向学生水平放在讲台上。

取一块 60mm<sup>2</sup> 方形纸（用卷筒卫生纸包装纸剪制），贴近手电筒竖直遮住灯光，然后将纸在竖直面内做上下左右移动，展示纸上没有破洞。

左手半握拳，虎口水平。将纸放于虎口上。

举起右手。五指紧紧并拢且手心略向上拱起，然后猛然扣击于纸上，使纸发生很大响声。注意在整个过程中拇指和掌体之间不要有缝隙，动作要迅速。操作可取左侧体位，以便向学生展示举起的右手五指紧拢，各处无隙。

将发过声的纸重新遮住电筒光，注意让光从纸洞中射出。



重新取一张 60mm<sup>2</sup> 方形纸（同上材料），重复步骤 、 、 两次。但右手在击下时，一次速度缓慢，另一次拇指已与掌体间有一空隙（图 6-3），使手击下后纸不发声。注意在击下前向学生展示右手的间隙。

重复步骤 。

将该纸重新放在左手虎口上。

先将右手食指与中指间夹紧一牙签，再行迅速击下，然后重复步骤 。

第六题：（先连续演示两次）

展示瘪汽球，然后将球嘴套于小型直筒式打气筒的出气口上。

缓慢向球内打气。当球相当大时，穿行教室，向学生迎光展示的同时并告诉学生：“大家可以用你想到的各种方法进行观察。”注意不要暗示任何具体的观察方法。

继续给球打气直至球爆。

重复 — ，再演示一次。

学生答卷 8 分钟后，再重复步骤 — ，重新演示一次。

第七题：

让学生阅读观察计划 2—3 分钟。

在 1000mL 大烧杯中接入大半杯自来水（水温能低一些更好）。

向 50mL 小烧杯内滴入几滴红墨水，再倒入热开水。然后用塑料薄膜将杯口罩住，一边沿杯沿四周向下弯折薄膜，一边用白胶布在杯四周将其贴紧密封。

将小烧杯放至大烧杯杯底部的中央。

用粗铁丝垂直大烧杯水面插下，将罩在小烧杯口的薄膜捅破一个口，然后迅速将铁丝竖直向上提出水面。

第九题与第十题：

课前将这两题的有关仪器放到学生实验桌上。仪器不够用时可两人一组，各组将每题所用仪器只配一套，测试时让两人错开做题顺序，轮流使用。必要时，可帮助学生克服对这两题的阅读和第十题中操作上的困难。但注意禁止学生交换意见，要求他们独立完成。在帮助学生阅读和操作时，不要有任何对观察方法的暗示。

第十一题：

学生进教室前，在讲台或卫生角台面上放一个由 3 个以上元件组成的常见仪器。注意仪器附近不要有其他物品。

发卷后，在学生填写姓名等内容时，悄悄将仪器取下放入讲台内。

当第一个要做本题的学生询问题目内容时，板书下述内容：“本卷最后一题：进教室后你在讲台上（或卫生角上）看到了什么？尽可能多地写出你观察到的内容。”注意不要对此题的解答做任何语言或动作上的提

示或暗示。

其他：

请记录在 A 卷考场上教师演示操作的时间累计（第一题至第七题）。  
注意，凡在学生开始计时测试以后教师又占用的时间，如统一解题、统一释疑等占用的时间，也应累计在内。

#### 四 K 卷试题

说明：下述 K 卷是与本节“一”中的 A 卷配套使用的知识试题。

物理观察能力的测量（知识卷）

学校\_\_\_班级\_\_\_姓名\_\_\_

一、解释下列名词：

1. 势能——

2. 速度——

二、填空：

1. 质量是指物\_\_含物\_\_的多少。

2. 单位\_\_的物\_\_的\_\_叫密度，它是物\_\_的基本属性。

3. 重力是指物\_\_由于受地球的\_\_而受到的\_\_。

4. 物\_\_由于\_\_而具有的能量叫动能，动能与势能的和叫\_\_。

三、如图，在图上标注（用箭头和边界线指出所标数字符号的范围）。

1. 楼房窗户的两对角顶点间的距离  $a$ 。

2. 楼高  $H_1$ 。

3. 楼层的层高  $h_1$ 。

4. 水位高度  $H_2$ 。

5. A 点在水中的深度  $h_2$ 。

6. A 点在水中的高度  $h_3$ 。

四、在图 a 中标出物体所受重力  $G$  与浮力  $F$  的方向；在图 b 中物体的旁边，用  $v$  和箭头指出它的运动方向。

五、选择填空：

1. 热水的密度比冷水的密度\_\_。（ 大 小 不大亦不小）

2. 从壶底加热能使全壶水的温度最后都升到同一温度，其主要原因是\_\_。（ 水的对流 火焰的热辐射 邻近水层间的热传导）

3. 油能漂浮在水表面的原因是\_\_。（  $G_{油} < G_{水}$  油  $<$  水  $V_{油} < V_{水}$ ）

六、回答：

1. 放鞭炮时，你观察过未响的鞭炮吗？说出它和已响过的鞭炮有什么主要区别？

2. 左手半握拳，并使拇指和食指贴近嘴边。长吸一口气，再沿左手拳中均匀吹出，边吹边紧缩。实践一下，说出声音变化的主要原因。

## 第二节 命题与评定

A 卷命题的基本出发点，是物理能力的基本层次，而不是物理知识。这是 A 卷命题和普通知识测试命题的根本区别之一。

本次物理观察能力的 A 卷命题，只注意限在初中阶段，即试题的内容取样主要考虑初中生可能达到的物理观察能力的层次。没能具体到年级，是因为命题时还未能找到测试的合作者。是否具体到年级命 A 卷试题，主要涉及到命题是否与不同年级的能力培养规划相呼应。若能相呼应，则可以考虑继续命出与其等价的几份试题，供测试在规划所安排的能力层次的能力是否有所提高。但本次测试的物理观察能力 A 卷，不具备这种年级阶段的呼应性。至于知识方面倒不用过多考虑，在本节的分析中将看到，未学过的知识在能力测试中能具有特殊可利用的价值。

本节讨论的重点，将放在对题型的选择及每道题命题时所思考的内容上，以帮助读者理解本次命题的基本意图，进而体会物理能力试题与常见知识试题命题的不同。关于 A 卷试题具体内容与所测行为目标之间的关系，将放在下一节讨论。此外，由于此次 A 卷基本采用了开底题，并没有太多标准答案可列；而且由于知识的难度不大，一些基本答案也没必要给出。因此，本节仅对阅卷中确定正确答案需注意的事情，评卷的基本规定及某些具体掌握，做出必要的讨论。

### 一 对 A 卷命题的基本思考

根据第五章第三节讨论能力试题题型时所指出的理由，并考虑到充分体现观察能力的诸种品质，如选择性、敏锐性、细致性、全面性、准确性等等，在题型上，除第二、三、四题中的部分问题以外，本次试题都采用了开底题型。

下面讨论中涉及到的大多数概念，例如不同的物理观察能力层次、方法等等，其内涵可在本书的第二章中的第一、二节中找出。必要时，读者可以自行对照阅读和理解。

第一题重点测试物理观察能力的最基本层次——对物理仪器、模型、挂图的观察。它主要反映观察能力的全面性与细致性。学生所使用的物理观察能力外显，大体涉及到确定物理观察的目的、对象与具体内容，局部观察法以及连续观察与综合观察的技巧等几方面。

选择刻度沿钟壳呈方型非均匀分布的钟做观察对象，一是希望借助熟悉的事物，减少与测试目的无关的或不必要的难度；二是暗示学生与生活中的印象进行对比观察——常见挂钟的刻度大都是圆状均匀分布的；三是为了给学生进行静态和动态的观察创造条件——静止刻度的不均匀与秒针转动角度的均匀。

第二题重点测试对物理现象和过程中物理因素和物理要素的观察，主要反映观察能力的敏锐性与选择性。学生所使用的物理观察能力外显，大

体涉及选择、调整观察方法、现象观察法、局部观察法、特点观察法以及对比观察的技巧等几方面。

选择鸡尾酒的调制，主要考虑到可以通过兴趣使学生集中注意力，而且现象比较鲜明。安排两次调制失败的操作，一个目的是为了突出调制鸡尾酒的主要因素：材料的密度与操作中漏斗下口的位置。这里的过程实际是简单地模拟了物理研究中通过观察寻求物理因素的过程——在失败与成功中对比地观察思考。另一个目的是给学生创造选择、调整观察方法的机会。因为要观察漏斗下口所处位置，必须从原来的观察方法转变为局部观察法。

第三题的测试重点是观察物理现象与物理过程的主要特点及其相关的细节特征，主要反映观察能力的敏锐性与细致性。学生使用的物理观察能力的外显，大体涉及到过程观察法、特点观察法以及综合观察的技巧等几方面。

本题是这份 A 卷中难度较小的一题，但其原因并不全在于答案简单——跳起的高度越来越小，而主要在于物理过程和现象基本一览在目，且又是学生熟悉的现象与过程。不过，对初二学生来说，他们需要从跳起高度的变化，落下的快慢，声音间隔及响度的变化，运动的方向及运动状态的变化等许多现象中，抓出主要特点，因此，本题也不像乍看起来那么容易。

第四题的测试重点含有和上一题相同的成分——观察物理过程和现象的主要特点，此外，本题还包括了观察物理现象与过程的发生与发展，以及其中的规律性。该题主要反映的是观察能力的敏锐性与准确性。学生使用的物理观察能力外显，涉及到观察目的和具体内容，过程观察法、特点观察法及对比观察的技巧等几个方面。

本题的物理过程不但有从空气进入水中的空间环境变化，还有拉伸、入水等产生现象与变化的具体条件。整个物理过程已不能一览在目。此外，“振幅变小，迅速停止”的主要特点，要依赖于入水前后两个过程的对比观察。因此，本题难度要比第三题大。

还要说明的是，本题有意采用了初中学生未学习过的物理过程——振动（1994 年测试时初中物理教材不含声音及振动的知识），并在题目的第一句叙述中给出了一个学生一读就能接受的描述性定义。如此处理能力测量试题的好处，是把每个学生都置于同一个“不会”或初次接触的知识水平上，从而在能力测量中用简单的方法，基本回避由于知识基础不同引起的干扰问题。这种处理手段也是能力测量命题区别于知识考试命题的一个特点。

第五题的测试重点在于观察物理现象的产生条件，主要反映了观察能力的深刻性与准确性。解题中学生要使用过程观察法、局部观察法、特点观察法以及对比观察、综合观察等技巧。

本题涉及的物理知识——声音的产生条件及空气柱的振动——仍是参

试学生未学习过的知识，观察的要点是气流引起纸迅速振动的效果。命题的基本思路：通过透光，观察出纸破；对比手速与手形的不同，观察纸破的条件与破因；然后对比不同方式造成的破因——振破还是扎破，以及伴随破裂时是否发声；综合观察出纸片发出很大响声的具体条件，是空气使纸迅速振破。由于本题中对局部与特点的观察要在整体观察与对比观察的过程中进行，造成本题的综合性较强，也使本题成为本卷较难的题目之一。

第六题的测试重点是物理过程随时空的变化及发生变化的条件，主要反映观察能力的细致性与深刻性。解题中大体涉及到选择观察方法，并对所选方法进行调整，以及具体使用过程观察法、现象观察法等能力外显。

随时空的发展观察物理过程，对初中学生可能难度较大。因此，为了降低难度，也为了通过测试让学生感受观察物理过程的具体方法，本题要求学生先确定研究对象，再按初始、中间、结尾的顺序进行观察记录。最后一问的目的，是引导学生注意过程观察中的一个重要问题，同时又检查学生是否能综合全部观察结果得出结论，考察了观察的深刻性。

第七题重点测试根据既定计划确定观察目的、内容，选择观察方法，以及在观察中正确提出质疑。命题主要反映了观察的敏锐性与深刻性。学生应用的物理观察能力外显，大体涉及到物理观察的步骤，以及现象观察法与特点观察法。

本题的现象与水的温差及操作方法直接相关。在温差较大，且捅破塑料薄膜后将铁丝“竖直向上迅速提出水面”的操作条件下，红色热水会形成一直向上的水柱，在冷水表层下面无规则漫开，状似蘑菇云。为了突出在观察中正确质疑的测试目的，在给出的观察计划中，明确指出观察目的是观察“热水将如何运动”。本题的难度在于质疑的质量直接依赖于观察到的现象。如果只观察到水的色差，热水的上升，就不能提出有质量的质疑。如果观察到热水上升的形状，漫开的位置，漫开形状的不规则等等，就可以从不同角度提出较高水平的质疑。

第八题与第十一题的测试重点，都是物理观察习惯，但两题反映观察力的品质不完全一样。第八题侧重细致性与敏锐性，例如能观察出溅起的水花中小的飞得比大的远，水花是白色的而不是透明的，车过后回流的水比较混浊等等，就属于细致性与敏锐性均比较好。反之，只看到有水花溅起，车过后又回到原地的，细致性与敏锐性就差一些。第十一题偏重准确性，因为本题与第八题不同，它是一次性的短暂观察，而且组成仪器的元件是学生熟悉的。学生使用的观察能力的外显大体是印象观察法与特点观察法。

围绕观察习惯命两道题，除了以上所谈到的观察能力的品质不同以外，还考虑到观察习惯在一次性观察中的表现与日常积累中的表现不完全相同。

第九题的测试重点与第一题相同，但学生使用的观察工具与实际观察

的过程则有很大的不同，在根据不同观察目的、对象、内容而选择不同的观察方法上也较第一题灵活了许多。这是由于本题选择了可拆卸的圆珠笔，即让观察过程成为伴随操作而进行的观察，观察工具除了眼睛之外，增加了手与皮肤。

第十题仍是伴随自己操作而展开的观察。与第九题不同的是，本题的操作过程是有序的，属于按既定实验步骤动手操作与观察。本题测试的重点，放在对物理现象与过程的全面观察，对现象发生条件的观察，以及记录和表述观察的结论。本题主要反映观察能力的全面性与细致性。学生运用的物理观察能力外显，涉及到现象观察法与特点观察法。本题的第(1)小题还需运用连续观察的技巧，因为水的滴落进程较快，需要重复操作。第(2)小题中对温度的观察需要转换观察——从铁丝的颜色变化与水的汽化，观察铁丝的温度。

## 二 关于 A 卷的评定

本次 A 卷评定方法基本与第五章第三节提出的方法相同，只对答卷时间  $t$  做了一些具体处理，其理由已在本章前言中说明。各题的单位分值，主要是根据物理观察能力层次的难度确定的，其次也适当考虑了引导学生的意向。例如对“物理观察中正确地质疑”的层次(第七题)，为了引导学生采用有助于他们清晰概念。融会贯通的佯谬形式提出质疑，对其规定了本卷中最高的单位分值。当然，这种“引导学生”的考虑，只有在连续性的能力测试中才有明确的意义。

### 1. AL 值评定办法

确定 M 值：以各题可分辨出的物理观察能力的施用次数为单位(注意：一句话中可能包含几次能力的施用)，分别乘以各题的单位分值  $n_0$ ，运用正确的为  $n_0^+$ ；运用错误的为  $n_0^-$ ；然后取代数和得到各题的得分。

对各题得分再取代数和即为 M。注意两点：对知识的正确运用和其他能力的正确施用，不给分；对知识运用有错误，但未影响物理观察能力的正确施用，不扣分。例如，在第一题中答出“钟受重力”，属于知识运用，不给分；答出“钟受重力与托力而静止”，属思维能力施用，不给分。又如，第一题中答出“表盘发黄光”，其中“发光”属知识错误，但未影响对颜色的观察，可不扣分。

确定 V 值：取各题运用物理观察能力的次数和，为卷面施用能力的总次数 N，取学生参试时间与教师演示时间之差为卷面运用物理观察能力的时间  $t$ ，则每份试卷的  $V = N/t$ 。

本卷 AL 值评定为：

$$AL = MV + n^0 = \frac{N}{t} \sum_{i=1}^{11} (n_0)_i + n^0$$

### 2. 计分基本标准

本次 A 卷计分起点  $n^0 = 0.50$ 。各题的单位分值  $n_0$  规定如下：除下述说

明的题外，本卷的  $n_0$  均取 0.1。

第六题中的第(5)小题，第十题中的第(2)小题，第十一题的  $n_0$  均取 0.2。

第七题：该题中按所提问题施用物理观察能力的次数计分。对佯谬式质疑（参看第四章第五节中的 9）， $n_0$  取 0.3；对非佯谬式质疑的问题，若问题涉及到流出热水形状、上升速度、扩散的散度等方面的内容， $n_0$  取 0.2；其他内容的问题， $n_0$  取 0.1。

例如，所提问题为：“从小杯溢出的热水遇冷后应体积收缩，或在大杯冷水中缩为一团，或与冷水混合，它为什么却呈一细股直线上升，到液面才散开呢？”因为该问题属佯谬形式质疑， $n_0 = 0.3$ 。其中“溢出”，“一细股”，“到液面才散开”为三次施用观察能力正确，得  $3n_0^+ = 0.9$ ；“直线上升”为一次施用观察能力错误（一直上升但不呈直线），得  $n_0^- = -0.3$ 。

### 3. 部分题的参考答案

第二题：影响调制鸡尾酒的主要因素：一是遵循酒的调制顺序或密度由小到大的顺序；二是漏斗下端尽量贴近杯底中央。其他有影响的因素可从酒色、酒序、酒量、漏斗下口位置、高度、出酒速度及这三者的稳定程度，取出漏斗的方式等方面观察。

第三题：主要现象是球弹起的高度逐次降低，其他现象可从能量、声音、落地次数、球的形变、路径、走向、终态等方面观察。

第四题：小球入水前后振动的主要特点是振幅迅速变小，振动迅速变慢，很快停止。

第六题：整个过程中大小不变的物理量，从研究对象来说是气球的质量，从环境条件来说是气压、气温与湿度。

### 三 K 卷命题

本次 K 卷命题的基本思路有三条。

第一条，基本不考虑学生未学过的物理知识与学生肯定已掌握的知识（例如第三、四题的振动都未纳入当年的初中教材）。所谓不考虑这部分知识，即允许学生在 A 卷回答中使用不准确的概念。这样处理的原因，一是保持所有学生都处在同一个知识线上参加 A 卷测试，二是客观上也无法对学生的前科学概念进行统一清理。又如第一题中的颜色、形状等等，都属于学生肯定掌握的知识，在 K 卷中亦不再处理。

然而，在第五题中，对空气振动在 K 卷中做了处理。这是因为注意到空气是看不见的，难于用眼睛观察，而不观察到空气的振动，该题手形的变化便失去了意义。因此，在 K 卷中让学生对空气的发声做了一个实验，以初步了解到空气振动的现象。

第二条，从 A 卷各题中所涉及的，学生学过的物理知识点中，选出所有不相同的内容，参考 A 卷使用的难度，重新组合为知识题。组合时注意



不与 A 卷使用这些知识点的顺序相同，但和解答 A 卷试题时的运用方式基本一致。例如，在 A 卷第二题、第三题、第十（1）题的解答中，都可能涉及到高度，第二题、第七题的解答中都可能涉及到深度。运用的方式都是概念本身的直接运用。因此，K 卷中将深度与高度合并在一起，采用在图上直接标注的形式命题。

第三条，对于开底题，在充分估计学生可能涉及到的知识的基础上，对其进行分类处理。一般可以将这些知识分成三类：初二阶段应掌握的物理知识，小学或中学其他学科学过的知识，以及未学过的生活常识。K 卷命题要考虑第一类与第二类中必然要用的科学概念。

例如 A 卷第一题涉及的知识可能有：

第一类：速度；

第二类：两点间的距离；

第三类：未学过的知识可包括匀速转动、角速度或转动速度、角位移；生活常识可包括转动、颜色、形状、长度、材料、位置、均匀与不均匀等等。

按上述要求，将速度与两点间距离纳入 K 卷命题范围。再根据第一、二条思路，考虑到在运用方式上有利于速度概念的自发扩展（如估计学生会不自觉使用转动速度），K 卷命题时对速度采用了“解词”的形式；考虑到两点间距离只在观察表盘刻度时使用，因此将它与高度、深度合在一起，采用在图上标注的形式命题。

#### 四 关于等价 A 卷的命题

第五章第一节与第五章结尾，以及本章的许多地方，都曾涉及到 A 卷的等价测试。用能力的定量检测来判断学生的物理能力是否提高，或区分某一培养方法是否有效，都必须依赖等价的 A 卷测试。因此，本节再对等价 A 卷及其命题略做讨论。

首先需注意，等价 A 卷中的等价，与等价排除法中的等价，内涵不完全相同。等价排除法中的等价，指解答 K 卷试题所使用知识点的内容与运用难度，与解答 A 卷所用知识点的内容与运用难度基本相同。等价 A 卷中的等价，是指不同能力试卷在题目数量、检测能力的种类及其能力的具体层次上，基本相同。

其次还须明确，等价 A 卷中的等价，一般不应含有答卷者所使用的能力外显的等价。因为对同一能力层次，例如观察仪器的层次，可以使用不同的观察步骤、观察方法等物理观察能力外显而获得相同的结果。这就如同一道知识题可以用不同的解法得出同一答案。若取知识题做类比，能力层次相当于知识点内容，能力外显相当于解题方法。如对不同知识题的命题，只存在范围、内容与难度上的等价一样，能力题的等价也是指能力的种类、层次与难度上的等价。

在评定标准不变的情况下，等价的 A 卷试题所获得的不同 AL 值，是通

过施用不同能力外显解决相同难度的能力层次的问题时表现出的速度与质量的差异，来表现能力水平的变化和发展。

下面结合本次物理观察能力测量试卷中的某些题目来讨论等价命题，仅供读者参考。

例如，欲命与本次 A 卷第六题等价的能力测量试题，可不改变题目叙述，只将教师演示与操作的内容改动如下：

穿行教室，手托一小长方块泡沫海绵体（可从洗澡用泡沫块上裁下）向学生展示，并告诉学生：“大家可用各种观察方法观察。”（注意不要有具体方法的暗示）

取一大烧杯水，将海绵块水平放在烧杯中央的水表面上。

待海绵块在水中稳定后，将其取出，放在分开的四指上，并使海绵上流出的水流回杯内。

海绵不再出水后，将它放入一平盘内，平端着重复步骤。如此改动后的题目，由于海绵吸水下沉的过程与原题一样，亦有明显的时空变化，过程的发展也需要条件。因此，在物理观察能力的层次上，可视为与第六题等价。

又如，欲命与本次 A 卷第八题等价的能力试题，可保留原题中第二句话，仅将第一句话改为：你见过石子落进湖（河）水中的情景吗？

再如，欲命与本次 A 卷第十一题等价的能力试题，基本处理方式亦可不变，仅将观察的内容由摆放的仪器变为教师本人的服饰或头饰等等。要求该装饰与教师平时着装有几处明显不同。在开考前教师佩戴着这些饰物，学生开始书写卷头时，教师将它们去掉。然后在适当的时候，板题：现在教师身上与刚进教室时有何不同？写出你观察到的所有不同。

### 第三节 物理观察能力测试的结果与分析

本次物理观察能力的测试，参加 K 卷测试 45 人，达优进入 A 卷测试 32 人。学生参试 A 卷时间为 120 分钟，教师演示时间 55 分钟。本节将按上一节的标准讨论本次 A 卷的测试评定。

#### 一 阅卷中的具体处理

##### 1. 常见问题及处理

阅卷中遇到的普遍问题，是学生的答案语言极不规范，从知识说，不准确不清晰。但基本意思一般却不难理解。根据 A 卷评定的基本精神，在具体处理时，抓住了对本卷所测能力施用得是否正确的分辨，对知识或其他能力施用的不妥之处，采取不计负分的处理。

例如，29 号考生的第三题解答中有“乒乓球刚着地时弹得很高，以后就一点点下降”的表述。这里，并未交代第一次弹起最高，“一点点下降”也没指明是指球后续几次的高度下降。但联系他的下句话——“直至最后着地不动”，可推敲出他的基本意思就是指几次不同的弹起高度的变化。因此，该句话按三次正确施用观察能力正确处理：“弹”，“最高”，“一点点下降”，得了 $3n_0^+ = 0.3$ 分。

又如，25 号考生的第十题中的第（2）小题解答中，将赤热铁钉插入水中的汽化现象写成“冒起一股白烟”，虽属概念错误，但亦可获正分。

另一个较普遍的问题是非观察能力的运用较泛，特别是思维能力。这种情况的出现，估计和学生不适应能力试题的答法有关，他们习惯于平时答题的分析，忽略了此次测试只需答出观察到的结果即可。在处理这种具体情况时，对所有非观察能力的施用，一律不计分（无论其对错）。

例如，19 号考生的第一题解答中有：“挂钟受到竖直向下的重力和向上的拉力，两个力平衡，所以处于平衡状态。”这里，钟的静止状态不是观察的结果而是分析的结果，因此不计分。

又如，12 号考生的第八题解答中有“当车轮胎接触水的时候速度变慢，因为受到水的阻力。”这里，“变慢”是观察结论，“受阻力”是对观察结论的原因分析。虽然该生回答的物理图象整体并不错，但是，由于水的阻力而导致的车速变慢，其实是人眼观察不出的。因此，此句答案的处理为：观察能力施用错误，得 $1n_0^- = -0.1$ 分；思维能力施用正确，不计分。

除上述两个普遍的问题外，还常遇到一些意想不到的答案。对此，需要根据能力检测的总目的具体分析。

例如，17 号考生的第十一题答案，在答出原命题所涉及的元件之后（铁架台、小球、系绳等），又出现了“乒乓球、钩码、气球、手电筒、调酒瓶子”等等。按该题命题的原意，是检查观察习惯。那么，多答的内容，反映了他具有这一习惯，均应该给分。但其中乒乓球当时并未在桌上，调

酒杯而不是调酒瓶，这些，均是不正确的。因此，乒乓球与调酒瓶这两项得 $2n_0^- = -0.4$ 分，其余3项得 $3n_0^+ = 0.6$ 分。

### 1. 题目评定范例

为帮助读者了解物理观察能力试题的评定方法，举出下面两题为例。

说明：在实际阅卷中，用“ ”或“×”的位置标出所测能力施用之处与施用的正误，用 $N_i$ 表示某题能力运用的次数。

第03号考生，A卷第六题：

表6-1 物理观察能力测量A卷个人各题得分一览表

题号 分数 考号	一	二(1)	二(2)	三	四	五	六	七(1)	七(2)	八	九	十(1)	十(2)	十一
	01	0.8	0.3	0	0.2	0.1	0.1	0.8	0.2	-0.1	0.1	0	0.1	0.2
02	0.1	-0.1	-0.3	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.1	0.4	0.2	0.2	0.4	
03	0.7	0.4	0.1	0.4	0.3	0.1	0.7	0.2	0.1	0.2	0.4	0.2	0.2	0.1
04	0.3	0.1	0.1	0	-0.1	0.2	0.8	0.3	-0.1	0.1	0.5	0.2	0.5	0.3
05	0.6	0.2	0.1	0.1	0	0	0.4	0.3	0.3	-0.1	0.4	0.5	0.8	0.4
06	0.7	-0.2	0	0.1	-0.1	0	0.8	0.2	0	0	0.3	0.3	0.4	0.3
07	1.2	0.3	0.1	0.1	-0.1	-0.2	0.5	-0.4	-0.1	0.2	0.2	0.1	0.3	-0.2
08	0.6	-0.3	0.1	0.2	0.3	0.7	0.2	0.1	0.1	0.4	0	0.4	0	0.3
09	0.3	0	0.1	0.5	0.2	0.1	0.5	-0.1	-0.1	-0.1	0.8	0.2	0.2	0.2
10	0.9	0.4	0.1	0.1	0.2	0.2	0.6	0.2	-0.1	0	0.6	0	0.1	0.2
11	0.3	0.2	0.2	0.3	-0.1	-0.1	0.8	0.2	-0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.4
12	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.3	0.3	0.4	-0.1	0.1	0	0.2	0	0.3
13	0	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5	0.2	0	0.3	0.4	0.3	0.1	0.3
14	0.6	0.3	-0.1	0.1	0.3	0.1	0.8	0.4	0.1	0	0.8	0.4	0.2	0
15	0.6	0.4	0.1	0.1	0.2	0.1	0.6	0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
16	0.2	0.4	0	0.2	-0.2	0.4	0.6	0.5	0.2	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2

### 续表

题号 分数 考号	一	二(1)	二(2)	三	四	五	六	七(1)	七(2)	八	九	十(1)	十(2)	十一
	17	0.4	0.3	0.1	-0.1	0	0.4	0.5	0.2	0.2	-0.2	0.8	0.1	0.3
18	0.2	0.3	-0.1	0.3	0.1	-0.1	0.6	0.2	0.1	0.3	0.4	0.2	0.7	0.1
19	0.3	0.3	0.1	0.2	0.1	0.1	0.6	0.1	-0.1	0.3	0	0.2	0.3	0.3
20	0.6	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0	0	0	0	0.3
21	0.4	0.1	0	-0.3	0.2	0	0.1	0.2	-0.1	-0.1	0.6	0.1	0.2	0.4

22	0.5	0.4	0.1	0	-0.1	0	0.3	0.4	-0.4	0.2	0.5	0	0.4	0.1
23	0	0.4	0.1	0	0.1	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0	-0.1	0.1	
24	0.3	0.2	0.1	-0.1	0.2	0	0.5	0.2	0	0.4	0	0.2	0.3	0.3
25	0.4	0.2	0	0.2	0.1	-0.1	0	0.1	0	0.2	0.2	-0.1	0.3	0.2
26	1.0	0.3	-0.1	-0.1	0.3	0.5	0.4	0.3	0.1	0.3	0.8	0.4	0.4	0.3
27	1.1	0.3	0.2	0.1	-0.1	-0.1	0.5	0.1	-0.2	0.4	0.5	0.3	0.3	0.2
28	0.5	0	0.1	0	0.2	-0.2	0.4	0.4	0.1	0.3	0.4	0.4	0.3	0.1
29	0.3	0.4	0.1	0.2	0.1	0.1	0.6	-0.1	-0.1	0.1	0.3	-0.1	-0.1	0.3
30	0.7	0.3	0	0	-0.2	-0.1	0.9	-0.1	-0.1	0.2	0.4	0.1	0.1	0.2
31	0.8	-0.1	-0.1	0.3	-0.1	0.1	0.4	0.1	-0.1	0.2	0.4	0.2	0	0
32	0.2	0.3	-0.1	0	0.2	0.2	0	0.1	0.1	-0.1	0.2	0.1	0.1	0.1

解 答	$n_0$	得 分	评 定
研究对象：气球 $t_0$ ：球壁贴 在一块，球皮上出现窗 户的影子 $\times$ ，气球变大 $\times$ $t_0 < t < t_1$ ：气球变大，球皮变 薄，窗影的格变均匀 $\times$ ，倒立，摸 着不光滑 $t_1$ ：爆炸，球皮不能承受压力，由 于体积变大，有破口 气体密度 $\times$ ，球外大气压强，球壁 质量	0.1	$8n_0^+ = 0.8$ $3n_0^- = 0.3$	$N_6 = 14$ ， $\sum_{i=1}^{14} (n_0)_i = 0.7$
	0.2	$2n_0^+ = 0.4$ $1n_0^- = -0.2$	

16号考生，A卷第八题：

解 答	$n_0$	得 分	评 定
看见过，我观察的现象是汽车驶过马 路上的积水，积水便会变成无数小 水点向左右 $\times$ 方向飞 出去。此时 积水下的路面便会露 出来了。汽车 过后积水又会流回来。	0.1	$5n_0^+ = 0.5$ $1n_0^- = -0.1$	$N_8 = 14$ ， $\sum_{i=1}^6 (n_0)_i = 0.4$

## 二 测试的基本情况

表 6-1 反映了在本次测试中每个考生 A 卷各题得分的情况，由这些分数，可以计算本次 A 卷的信度。

由表 6-1 和 A 卷中的其他数据可得出表 6-2。表 6-2 反映了本次 A 卷的能力等级评定的全面情况。由这些数据，可以研究本次测试的分布以及关于标准 AL 值等一系列问题。

表 6-2 物理观察能力测量 A 卷评定基本情况汇总表

考号	性别	答卷 时间 t	能力运用 次数 N	答卷 速度 V	答卷 质量 V	计分 起点 $n^0$	能力 等级 AL
01	男	65	54	0.83	3.0	5.0	7.5
02	女	65	63	0.97	3.2	5.0	8.1
03	男	65	80	1.23	4.1	5.0	10.1
04	女	65	60	0.92	3.2	5.0	7.9

续表

考号	性别	答卷 间时 t	能力运用 次数 N	答卷 速度 V	答卷 质量 V	计分 起点 $n^0$	能力 等级 AL
05	女	65	75	1.15	4.0	5.0	9.6
06	女	65	57	0.88	2.8	5.0	7.5
07	女	65	54	0.83	2.0	5.0	6.7
08	女	65	71	1.09	3.1	5.0	8.4
09	女	65	60	0.92	2.8	5.0	7.6
10	男	65	61	0.94	3.5	5.0	8.3
11	女	65	74	1.14	3.2	5.0	8.6
12	男	65	49	0.75	2.8	5.0	6.9
13	男	65	63	0.97	3.2	5.0	8.1
14	女	65	72	1.11	4.0	5.0	9.4
15	女	65	63	0.97	3.8	5.0	8.7
16	女	65	76	1.17	3.9	5.0	9.6
17	女	65	63	0.97	3.4	5.0	8.3
18	女	65	82	1.26	3.3	5.0	9.2
19	男	65	51	0.78	2.8	5.0	7.2
20	女	65	42	0.65	2.0	5.0	6.3
21	女	65	51	0.78	1.8	5.0	6.4
22	女	65	66	1.02	2.4	5.0	7.4
23	男	65	27	0.42	1.6	5.0	5.7
24	女	65	51	0.78	2.6	5.0	7.0
25	女	65	37	0.57	1.7	5.0	6.0
26	男	65	86	1.32	4.9	5.0	11.5
27	女	65	66	1.02	3.6	5.0	8.6
28	女	65	42	0.65	3.0	5.0	6.9
29	男	65	75	1.15	2.1	5.0	7.4
30	女	65	66	1.02	2.4	5.0	7.4
31	男	65	49	0.75	2.1	5.0	6.6
32	女	65	40	0.62	1.4	5.0	5.9

## 1. 关于测量结果的分布

为了观察本次测量结果的分布，对表 6-2 中所列的能力等级采用 0.5 间隔的分段，可得出本次测量 A 卷能力等级的频数分布（表 6-3）。根据该分布数据绘制出物理观察能力等级频数分布直方图如图 6-6 所示，连结各直方的中点，可进而得出频数分布曲线（图 6-7）。

表 6-3 物理观察能力测量 AL 值的频数分布

分类 人数 AL 值	男生		女生		合计	
	人	男生比 %	人	女生比 %	人	全班比 %
5.5-5.9	1	10	1	4.5	2	6.2
6.0-6.4	0	0	3	13.6	3	9.4
6.5-6.92	20	2	9.0	4	12.5	
7.2-7.4	2	20	3	13.6	5	15.6
7.5-7.9	1	10	3	13.6	4	12.5
8.0-8.4	2	20	3	13.6	5	15.6
8.5-8.9	0	0	3	13.6	3	9.4
9.0-9.4	0	0	2	9.0	2	6.2
9.5-9.9	0	0	2	9.0	2	6.2
10.0-10.4	1	10	0	0	1	3.1
10.5-10.9	0	0	0	0	0	0
11.0-11.4	0	0	0	0	0	0
11.5-11.9	1	10	0	0	1	3.1
人数合计	10		22		32	

从图 6-6 与图 6-7 可以看出，本次物理观察能力测量的结果略呈负偏态分布，在 7.5—8.0 与 10.0—11.0 段，分布出现小局部歧变，跳跃值各占测试总人数的 3.1%。因此，AL 值的分布表明，本次测试过程基本正常。

## 2. 关于测量的评价

由于物理能力的直接定量检测现在还处于试验阶段，目前的首要目标是能够较准确地反映不同学生的能力水平差异。另外，由于目前还没有可依据的权威能力目标，因此，本次物理观察能力的测量性质，属于常模参照测试，目的是对学生的能力水平在测试群体内进行相对评价。

内容效度。

根据第一章第一节提出的物理能力的教育目标分类与第二章第一节讨

论的物理观察能力的基本层次，本次物理观察能力测试的命题，依据表 6 - 4 给出的双向细目表进行。表中的 e, m, d 分别表示题目难度为易、中与难；P, OT, OS 分别表示问答型题、教师操作型题与学生操作型题，其下角码 1, 2 分别表示开底型与定解型。为了便于与 A 卷题目对照表中[]内给出 A 卷对应题号。

表 6 - 4 物理观察能力命题双向细目表

行为目标题型与难度取样范围		萌生	运用	施用	评价
对物理仪器、模型、挂图等学习工具的观察		P <sub>1</sub> (m) [-(2)]	OS <sub>1</sub> (m) [九]	P <sub>1</sub> (e) [-(1)]	
观察物理现象与过程	物理因素及要素		OT <sub>1</sub> (d), [二(1)] P <sub>2</sub> (m), [二(2)]	OT <sub>1</sub> (e) [三]	
	全面观察		OS <sub>1</sub> (m), [+ (1)]	OS <sub>1</sub> (d), [+ (2)]	OS <sub>1</sub> (e), [+ (1)]
	主要特点与相关细节		OT <sub>2</sub> (m), [四]		
	发生、发展的条件与规律性		OT <sub>1</sub> (d), [六] OT <sub>2</sub> (d), [五]		OT <sub>1</sub> (m), [六]
养成自觉进行物理观察的习惯		P <sub>1</sub> (m), [八] P <sub>1</sub> (d), [十一]			
在物理观察中正确质疑			P <sub>1</sub> (d)[七(2)]	OT <sub>1</sub> (m), [七(1)]	

表 6 - 4 中附出题号的目的，是请读者根据有关概念和本次试题，自行审查本次物理观察能力测试的内容效度。为此，再补充说明以下问题。

第一，教师操作型与学生操作型题，是指通过教师或学生自己操作，然后才可能去完成的题目。

第二，“运用”与“施用”两类目标在实际测试中的区分，主要是靠学生对任务本身的心理感觉，即自认为对任务的完成有无把握感。它来源于对题目已知部分的熟悉程度与对问题难度的直观感觉。对已知部分的物理图景越熟，直觉该问题的难度越小，学生觉得越有把握。有无把握，是不同的心态，不同的心态影响学生能力水平的发挥，从而导致行为表现不同。这些理解，是根据表 6 - 4 进行本次 A 卷命题的基本依据之一。

第三，物理观察能力的开底题，都在一定程度上具有对“全面观察”层次的检验作用，但因为难于从该开底题的原定检查目标中分离出这种检验作用，使其进行准确评定较为困难。一般情况下，观察越全面，能力



施用正确的次数越多；然而，能力施用正确的次数多，却并不一定是全面观察。因此，应该对“全面观察”的能力层次独立命题，不宜将其作为观察能力其他层次开底题的副产物。而且，对全面观察层次单独命题，也有利于增加测量长度，降低测量误差。

第四 本次 A 卷命题将表 6 - 4 中所列的同一层次取样范围的不同行为目标，合并在一个题中进行。即第六题与第十题的第 (1) 小题，都分别包括了“运用”与“评价”两个目标。例如第六题中，要求学生做完题后再观察一次，观察后进行修正或补充。这样，“评价”的行为目标便与“运用”的行为目标合并在一道题中检测。为了便于分辨，命题时要求学生用横线将所修正或补充的内容标出来。第十(1)题的情况与第六题基本相似。应该说明，这种处理，在物理观察能力测试中并不是必然的固定模式。

最后还需说明，由于采用了开底题型与特定的计分方法，导致了各题得分不确定，因此不能在命题时计算出不同难度题目在全卷的占分比例 (e : m : d 的值)，从而也较难估计能力测试的分布。和知识测量的情况相比，这是能力测量的一个普遍问题，目前本节的研究还不能解决这一问题。

信度。

为用分半法计算信度，将本次物理观察能力测量的 A 卷试题，按自然编号分成两组。由表 6 - 1 可得出每道题在本次测试中的所得总分 (表 6 - 5)，由各题总分可计算出两组数据的相关系数  $r_{xy}$ 。计算  $r_{xy}$  的有关数据见表 6 - 6。

表 6 - 5 物理观察能力测量 A 卷的各题总分一览

X 组	题号	一	二(2)	四	六	七(2)	九	十(2)
	总分	16.3	1.6	2.7	15.6	0.3	11.2	7.7
Y 组	题号	二(1)	三	五	七(1)	八	十(1)	十一
	总分	7.0	3.5	3.6	6.1	4.7	6.1	7.0

表 6 - 6 计算相关系数  $r_{xy}$  的有关数据一览 (i 取 1—7)

计算项	$X_i$	$(X_i)^2$	$X_i^2$	$Y_i$	$(Y_i)^2$	$Y_i^2$	$X_i Y_i$
计算值	55.4	3069.16	703.72	38.0	1444	219.72	348.21

X、Y 两组的相关系数：

$$r_{xy} = \frac{N \sum_{i=1}^7 X_i Y_i - \sum_{i=1}^7 X_i \cdot \sum_{i=1}^7 Y_i}{\sqrt{[N \sum_{i=1}^7 X_i^2 - (\sum_{i=1}^7 X_i)^2] [N \sum_{i=1}^7 Y_i^2 - (\sum_{i=1}^7 Y_i)^2]}}$$

考虑全卷题目分半后引起的测量长度缩短，本次物理观察能力 A 卷修

正后的信度为：

$$r = \frac{2x_{xy}}{1 + r_{xy}} \approx 0.39$$

数据表明，本次测试结果基本是可靠的。

需要提醒读者注意，此处信度的计算，使用的是各题的分数（即 M 值），不是能力等级评定的 AL 值。这是因为注意到信度是考察命题的指标，AL 值不过是引入另一个参数后的评定方式。

### 3. 标准 AL 值

由于物理能力测量属于常模参照测试。因此，判断学生在群体中的相对位置便是极重要的一项任务。根据教育统计学的理论，只有标准分才能科学判断个体在群体中的位置。于是，类比标准分，本书建立标准能力等级（ $Z_{AL}$ ）的概念——以标准差为单位来衡量学生个体某次测试的能力等级与所试群体的平均能力等级之间的差别。

由于  $Z_{AL}$  与标准分的概念没有本质意义上的不同，因此可直接使用有关标准分的计算公式来计算标准能力等级。计算时，标准差与标准分公式中的原始分数与平均分数，均改用学生 A 卷的 AL 值与所测群体的平均 AL 值

即可。

AL 的平均值为

$$\overline{AL} = \frac{\sum_{i=1}^N AL_i}{N}$$

AL 的标准差为

$$S_{AL} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (AL_i - \overline{AL})^2}}{N}$$

则标准 AL 值为

$$Z_{AL} = \frac{AL_i - \overline{AL}}{S_{AL}}$$

当  $Z_{AL} > 0$  时，表示该学生的实际 AL 值高于  $\overline{AL}$ ；当  $Z_{AL} < 0$  时，表示该学生的实际 AL 值低于  $\overline{AL}$ 。

采用标准 AL 值表述学生的 A 卷测试结果后，像采用标准分一样，给分析测试结果带来很多方便。这些，本书将在不同的物理能力测试的分析中酌情体现。值得特别注意的是，在综合各种具体物理能力的 AL（物理观察能力、物理实验能力、物理思维能力等）评价不同学生之间的物理能力水平时，取  $Z_{AL}$  的和，比直接取 AL 的和要科学与准确。

计算本次A卷的 $\overline{AL}$ 的原始数据可从表6 - 2中获得：

$$\begin{aligned}\overline{AL} &= \frac{\sum_{i=1}^N AL_i}{N} \\ &= \frac{250.8}{32} \\ &= 7.8\end{aligned}$$

据 $\overline{AL}$ 与表6 - 2可得出本次A卷的标准差：

$$\begin{aligned}S_{AL} &= \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (AL_i - \overline{AL})^2}}{N} \\ &= \frac{\sqrt{54.56}}{32} \\ &= 1.3\end{aligned}$$

再据 $S_{AL}$ 与表6 - 2中各考生的AL值，可得出每人的标准AL值 $Z_{AL}$ 。为读者方便，表6 - 7给出计算本次测试的 $S_{AL}$ 与 $Z_{AL}$ 的有关数据。  
表6 - 7 物理观察能力测量A卷的 $S_{AL}$ 计算数据与 $Z_{AL}$

考号	性别	AL	$\overline{AL}$	$AL_i - \overline{AL}$	$(AL_i - \overline{AL})^2$	$S_{AL}$	$Z_{AL}$
01	男	7.5	7.8	-0.3	0.09	1.3	-0.23
02	女	8.1	7.8	0.3	0.09	1.3	0.23
03	男	10.1	7.8	2.3	5.29	1.3	1.77
04	女	7.9	7.8	0.1	0.01	1.3	0.08
05	女	9.6	7.8	1.8	3.24	1.3	1.38
06	女	7.5	7.8	-0.3	0.09	1.3	-0.23
07	女	6.7	7.8	-1.1	1.21	1.3	-0.85
08	女	8.4	7.8	0.6	0.36	1.3	0.46
09	女	7.6	7.8	-0.2	0.04	1.3	-0.15
10	男	8.3	7.8	0.5	0.25	1.3	0.38
11	女	8.6	7.8	0.8	0.64	1.3	0.62
12	男	6.9	7.8	-0.9	0.81	1.3	-0.69
13	男	8.1	7.8	0.3	0.09	1.3	0.23
14	女	9.4	7.8	1.6	2.56	1.3	1.23
15	女	8.7	7.8	0.9	0.81	1.3	0.69
16	女	9.6	7.8	1.8	3.24	1.3	1.38

续表

考号	性别	AL	$\bar{AL}$	$AL_i - \bar{AL}$	$(AL_i - \bar{AL})^2$	$S_{AL}$	$Z_{AL}$
17	女	8.3	7.8	0.5	0.25	1.3	0.38
18	女	9.2	7.8	1.4	1.96	1.3	1.08
19	男	7.2	7.8	-0.6	0.36	1.3	-0.46
20	女	6.3	7.8	-1.5	2.25	1.3	-1.15
21	女	6.4	7.8	-1.4	1.96	1.3	-1.08
22	女	7.4	7.8	-0.4	0.16	1.3	-0.31
23	男	5.7	7.8	-2.1	4.41	1.3	-1.62
24	女	7.0	7.8	-0.8	0.64	1.3	-0.62
25	女	6.0	7.8	-1.8	3.24	1.3	-1.38
26	男	11.5	7.8	3.7	13.69	1.3	2.85
27	女	8.6	7.8	0.8	0.64	1.3	0.62
28	女	6.9	7.8	-0.9	0.81	1.3	-0.69
29	男	7.4	7.8	-0.4	0.16	1.3	-0.31
30	女	7.4	7.8	-0.4	0.16	1.3	-0.31
31	男	6.6	7.8	-1.2	1.44	1.3	-0.92
32	女	5.9	7.8	-1.9	3.61	1.3	-1.46

### 三 几点讨论

对本次物理观察能力测验的结果和统计处理，可以从不同角度提出不同信息。限于篇幅，也限于本次测试人数较少，本节只给出一些利用这些可能的方向，不做过多展开。

从 A 卷命题内容的取样，以及同一取样的得分情况，可以分析出不同物理观察能力的层次对初二学生的适宜程度。得分高（或低）的能力层次（在大群体测试的情况下），趋于表明该观察能力的层次对初二学生较为适宜（或不适宜），即对他们的年龄（生理与心理两方面），在现行教材的教学中较为适宜（或不适宜）。在小群体测试，如本次测试的情况下，得分高（或低），则着重表明了与教师在该观察能力层次所用的培养方法得当（或不得当），从而为教师选用不同方法培养学生的某一层能力，提供一个直接的参考依据。

例如，关于不同物理观察能力层次对不同年级的适宜性，在本书的研究过程中，一直倾向认为，仪器观察的层次较容易，适宜初中年级；观察物理过程随时空展开的层次与在观察中正确质疑的层次对初中学生较难，不太适宜。但从表 6 - 5 中数据可知，第六题的总分（15.6）很接近第一题（16.3），第七题的总分（6.4）则与第一题相差甚大。即测试的结论偏向表明：预先对质疑层次的判断基本正确，对物理过程随时空展开的观察可能不太准确。如果取消第六题中的暗示——分小题的序列要求，并且在

群体测试中仍有类似结论，那本次检测的这一结论将会真正成立。那么，它将给制定不同年级的物理能力培养规划，提供有效的实验依据。

从一份 A 卷中 AL 值的具体来源，可分析该学生目前的能力状态；进而对不同学生的能力现状确定有针对性的培养方法。注意，这里的“培养”不单指教师教学中对学生的培养，还包括学生自我的处理。AL 值由三部分组成，除去  $n^0$ ，来源于由各题所得分决定的答卷质量 M，与由能力运用次数与时间所决定的答卷速度 V。对 M 与 V 进行细致分析，可有四种情况：M，V 均高；均低；M 高 V 低；M 低 V 高。前两种情况趋向表明，学生在运用有关能力外显的固定模式时，其成熟程度与应变的敏感水平基本相当，都较强或都较弱。后两种情况趋向表明了两者的差异。处于后两种情况的学生，特别需要有针对性加强自己的薄弱环节，才能有效地（或效率较高地）提高自己的能力水平（AL 值）。

例如，本次测试中的第 29 号考生与第 06 号考生，AL 值极相近：29 号考生的  $M=2.1$ ， $N=75$ ；06 号考生的  $M=2.8$ ， $N=57$ （见表 6 - 2）；据

$$AL = vM + n^0 = \frac{NM}{t} + n^0$$

可知，29 号考生的 AL 值为 7.42，06 号考生的 AL 值为 7.46。不难看出，29 号考生的能力施用次数多，但成功的少，故需注意增强常见物理观察能力外显的运用；而 06 号考生的能力施用次数较少但成功的较多，可考虑注意提高施用能力的速度，增强应变的敏感水平。影响能力施用速度的关键因素是应变的敏感性——察觉不能用某种熟悉的能力外显解决问题，却又不能想到如何应变，就会造成时间延长，施用能力的次数下降，即 V 值降低。一般说来，N 或 V 值高，表明学生头脑较灵活，能力发展前景较好；M 值高，表明对完成现阶段任务的胜任程度高。

从 A 卷一道具体题目中的  $n_0^+$  与  $n_0^-$  之比，或获  $n_0^+$  的次数与该题施用能力次数  $N_i$  的比，可分析考生在该层次的能力强弱。若  $n_0^+ / n_0^-$  或  $n_0^+ / (n_0^+ + n_0^-)$  的比率较低，趋向表明该层次的能力较弱。由此可知需对学生群体或个体增加该层次能力的训练。需注意，从这种分析方法得出的结论，要比仅从不同题目的得分高低（ $n_0$ ）分析这类结论的方法严谨。因为  $n_0 = n_0^+ + n_0^-$ ，相同的题， $n_0^+ / n_0^-$  与  $n_0^+ / (n_0^+ + n_0^-)$  的两个比却可以不一样。由  $n_0$  相同得出的结论，应是学生对两题所测层次的能力，强弱基本相同；而比率不等导致的结论却正相反。究其原因， $n_0$  的值中没有反映能力施用次数的影响。

例如，本次 A 卷得分最高的第一题与第六题的总分仅相差 0.7（表 6 - 5），但随机抽出任何一份 A 卷都不难发现，第一题的  $n_0^+ / n_0^-$  或  $n_0^+ / (n_0^+ + n_0^-)$  的比都大大高于第六题。这表明初二学生观察仪器的能力比观察物理过程随时空展开的能力要强得多。这一结论与教学中的直观感觉相符。从表 6 - 7 中的  $Z_{AL}$  值可知，本次物理观察能力测试中有 15 人高于全班的平均能力等级，17 人低于全班平均能力等级。从图 6 - 7 可知，

本次物理观察能力测量的 AL 值分布只是近似正态分布。因此，利用标准正态分布概率密度函数的有关数据（见附录 ）处理关于  $Z_{AL}$  的一些问题，如确定每个人的名次，可能会有一个不大的误差。

由于本次 A 卷参试人数不多，本章不举排名次的例子，而用  $Z_{AL}$  分析任一  $Z_{AL}$  间隔内的人数。

例如，从表 6 - 7 中任取两个  $Z_{AL}$ ，如 18 号考生的  $Z_{AL}=1.08$ ，07 号考生  $Z_{AL}=-0.85$ ，那么在 -0.85 与 1.08 之间会有多少考生呢？查书后附表，对  $+Z_{AL}$  值取较小部分的对应值，意为小于  $+Z_{AL}$  的几率  $P(Z < 1.08)$ ；对  $-Z_{AL}$  值取较大部分的对应值，意为大于  $-Z_{AL}$  的几率  $P(Z > -0.85)$ ；则在两个  $Z_{AL}$  值间的几率  $P(Z_1 < Z < Z_2)$  为两对应值之差（图 6 - 8）。即

$$P(-Z < 1.08) = 0.1401, P(Z > -0.85) = 0.8023$$

$$P(-0.85 < Z < 1.08) = 0.8023 - 0.1401 = 0.6622$$

用该几率乘以测试总人数 N，其积即为两  $Z_{AL}$  值之间的可能有的人数：  
 $NP(Z_1 < Z < Z_2) = 32 \times 0.6622 = 21$ （人）

即本次测试中，有 21 人的 Z 在 -0.85 至 1.08 之间。

## 第七章 物理实验能力 的实测与分析

本章用等价排除法检测物理实验能力的实例,是1994年6月在北京海淀区一所一般学校初二(1)班施测的。测量前向该班物理教师提供了下述材料:物理实验能力A卷及与其配套的K卷试题1套,A卷所用仪器清单、教师操作要求及A卷中操作题的评分标准各一份。在实际测试中,K卷试题又经任课教师针对班级情况做了修改补充。

A卷检测采用定量计时法,要求每个学生记录自己正式参试的时间。因为本次测试中的操作时间,都是施用物理实验能力的时间,故应全部计入正式参试时间。该参试时间即可视为在测试中学生施用被测能力的时间,直接用它计算A卷的答卷速度。本章将仿照上章的结构进行讨论。有关概念及某些重复性的内容,一般不再赘述。读者阅读时可适当参考第六章的有关段落,或请先阅读第六章后再阅读本章。本章第三节中最后的几点采取和第六章第三节全新的角度进行讨论,是为了继续阐述从能力测量数据中提取有用信息的方法,而又不使本书篇幅过长。在实际分析某次物理能力测量时,上章第三节和本章第三节中讨论的各种方法,均可使用。

## 第一节 测试使用的基本材料

### 一 A 卷试题

#### 物理实验能力的测量（能力卷）

学校\_\_\_\_\_班级\_\_\_\_\_姓名\_\_\_\_\_

性别\_\_\_\_\_考号\_\_\_\_\_参试时间\_\_\_\_\_

答卷注意事项：

尽量使你的答案体现出你现有的物理实验能力水平。用钢笔或圆珠笔在附纸作答，图可用铅笔画。标清题号，不抄题。

仔细审题，理解好题意后再行作答。

答卷语言要简练，表述要清楚。实验中要注意安全，皮肤受伤时要立即告诉监考教师。

全卷做完后注意填写参试所用时间。

一、测量桌上烧杯中水的质量与体积，并记录杯的质量  $m_1$ ，水的质量  $m_2$ ，水的体积  $V$  以及你做此题的时间。然后根据测量过程提出你弄不懂的问题。

二、用直尺测量物理课本的面积时，若各次测得的长为 18.30cm、18.29cm、18.03cm、18.32cm 与 18.30cm，测得宽为 12.70cm、12.68cm、12.72cm、12.75cm 与 12.07cm。请将所有数据及本实验的测量结果全部列入一个表格，并将表中各项填好。

三、物理实验一定会产生误差。请你尽量说出：用黑板上挂的电子表测量物体从 A 点匀速运动到 B 点的时间，其可能产生误差的各种具体原因，并指出你所认为的主要原因。

四、按下述步骤操作并做记录（数据与时间）：

从桌上找出铅笔（或毛笔、圆珠笔）、乳胶管、剪刀。

剪下一窄条乳胶管（1—2cm）。

将笔的两端放在水平伸直

的两食指关节上，两手手心相向，然后握成半拳状（如图）。

两食指缓慢地相向移动至相遇为止。

在笔上确定出两食指相遇的位置：保持食指的接触点不动，前伸左手拇指，使拇指右侧的外沿和触点对齐按在笔上，腾出右手确定两食指相遇的位置。

将乳胶管套在两食指相遇的位置上。

测定并记录该位置与笔上已有标记间的距离（取已有标记上距相遇位置近的一端）。

写出：对上述操作，你觉得哪一步最不方便？试提出你想到的各种改进方案。然后记录做此题的时间。



五、若在实验中突然发现下述情况，试写出你想到的一切解决办法，并对你在第 一题所想到的不同方法进行比较，找出有助演示的最简单的办法：

在第二题实验中，书外侧的两个角均已严重磨损变圆。

如图，弹簧秤的指针不能回到零点，总停在刻度线 0—25N 之间的某一刻度上。

在用小木桌和沙子演示固体压强的实验中，当演示四脚触沙的情况时，砝码一放上面，木桌的脚突然折断一根（如图）。

六、请写出你想到的一切切实可行的代用品：

需取 150mL 水，但没有量筒和量杯。

演示阿基米德定律时，溢水杯被损坏。

七、阅读初二物理课本第二章的小实验，然后写出实验目的、仪器、步骤。

八、设计一个测定馒头块（不规则）密度的实验，请写出实验原理并用简图表示实验步骤，必要时在图旁注明该步中的操作要点。

九、从桌上找出相应工具和材料，将 3 个木螺丝在标出的位置上拧入木板，将 4 个机螺丝穿过木板的孔然后用螺母上紧。记录你所用的时间。

说明：第七题的课本指人民教育出版社编的初级中学课本物理第一册。该小实验内容如下。

“前面讲了几种形状规则的物体的重心。对于形状不规则的物体的重心，可以用下面的简单的实验方法求出来。像图 2 - 21 那样，先通过物体上的任一点 A 用绳子把物体挂起来。当物体静止时，根据二力平衡的条件可以知道，物体所受的重力一定跟绳子的拉力在同一条直线上。也就是说，物体的重心一定在通过 A 点的竖直线 AB 上。再通过另一点 D 用绳子把物体悬挂起来，当物体静止时，同样可以知道，物体的重心一定在通过 D 点的竖直线 DE 上。既然重心在直线 AB 上，又在直线 DE 上，所以 AB 和 DE 的交点 C 就是物体的重心。同学们可以用上面的方法求出一块形状不规则的硬纸板的重心。

为了验证 C 点是纸板的重心，我们可以在纸板上任意另选一点 M，通过 M 点用绳子把纸板挂起来，画出通过 M 点的竖直线 MN，那么，MN 也应该通过重心 C 点。大家做一做，看是不是这样。”

二 A 卷实测使用的器材

(1) 第一题。

100mL 烧杯一个（内装多半杯水）；

量杯、托盘天平（带砝码盒）各 1 架。

（2）第二题。

物理课本 1 本；

大于 300mm 直尺一根。

（3）第三题。

电子挂钟一个（有秒针，60 分刻度）。

（4）第四题。

铅笔（圆珠笔、毛笔也可）一支；

乳胶管一段（参考直径 $\varnothing 8$ ，应略小于所用笔直径；长度大于 30mm）；

小剪刀一把；

小三角板一个。

（5）第九题。

约  $100 \times 100\text{mm}^2$  九合板一块（薄木板或压花板亦可，要求板面平整）；

2 寸铁钉一枚；

型号不同的一字头改锥两支（锥头尺寸宜相差稍大）；

型号不同的十字头改锥两支（要求同上）；

平头木罗螺丝三个（两个一字口，分别与型号不同的改锥相适应；一个十字口）；

M3、M5、M6 圆头机螺丝三个（M3 与 M6 为十字口，分别与两支十字改锥相适应；M5 为一字口），M6 六角螺丝一个；

M3、M5 螺母各一个，M6 螺母两个；

钢丝钳（尖嘴钳、小型活扳手亦可）一把；

锤子一把。

说明：上述仪器中第（1）、（3）、（5），若采取并进式测试，需人手一套；采取轮换式测试可酌情减少。第（2）可人手一套。第（3）全班只用一个。

### 三 A 卷测试中对教师的要求

（1）理解物理实验能力测量（能力卷）的有关题目及第一、四、九题的评分标准后，再准备所用器材。在因故换用器材清单上的器材时，必须保证原测试意图不变。

（2）能力卷中第一题的仪器摆置初态（学生动手前仪器状态）：托盘叠放一侧，游标未置零点，平衡螺母不在平衡位置。

（3）对能力卷中第四题的每一支笔，需事先在距笔质心 10mm 处作一标记（标记上靠近质心的一端距质心 10mm）。标记应牢固地绕笔一周。

（4）对能力卷第九题中使用的薄板，需事先在板上散打 4 孔（ $\varnothing 3$ 、 $\varnothing 5$  各一， $\varnothing 6$  两孔），再定出三个位置标记。标记间距不小于 20mm，用十字线定出中心点，线迹要牢固。

（5）所有参加能力卷第一、四、九题评定的人员，均需亲自操作参与

评定的题目，并对照评定标准熟悉评定细节。

(6) 参加评定第四题的人员，应对该题中的创造性操作事先统一认识，确定判断标准。

(7) 对操作题的评定，应做到现场随看随计分，不能事后补计。

(8) 在操作题的测试中，除安全因素的需要外，一般不向学生做暗示、催促或辅助性动作和语言。注意让学生自己完成测试。若操作测试需用并进式进行，要提醒学生记录参加各次操作测试的时间，并将它们加入其他题的答卷时间后填入卷面上的参试时间一栏。

(9) 为让学生注意并理解能力测试和平时考试之不同，测试前需向学生讲解答卷注意事项，注意解释画波浪线的词句。

#### 四 A 卷中操作题的计分标准

为避免重复，请参阅第七章第二节 2 中有关部分。

#### 五 K 卷试题

##### 物理实验能力的测量（知识卷）

学校\_\_\_\_\_ 班级\_\_\_\_\_ 姓名\_\_\_\_\_

#### 一、解释名词：

弹簧受力伸长的规律——

重心——

密度——

误差——

粗差——

#### 二、填空：

实验室测质量常用\_\_\_\_\_。托盘天平使用前要\_\_\_\_\_，调节前要注意\_\_\_\_\_。测质量时把待测物体放在\_\_\_\_\_盘内，然后按照估计的物体质量在\_\_\_\_\_盘内放砝码。加减砝码，移动\_\_\_\_\_直到\_\_\_\_\_为止。物体的质量等于\_\_\_\_\_。

测力用\_\_\_\_\_。实验室里常用\_\_\_\_\_测力，其测力的原理是\_\_\_\_\_。根据弹簧受力伸长的规律，弹簧秤刻度是\_\_\_\_\_的。

液体的体积常用\_\_\_\_\_或\_\_\_\_\_测量，读数单位是\_\_\_\_\_。规则形状的固体体积可通过测量各自体积公式中诸量的\_\_\_\_\_值计算得出。不规则的小固体的体积可借助\_\_\_\_\_中液体体积的\_\_\_\_\_来测量。这一方法要求该固体既不\_\_\_\_\_，又不\_\_\_\_\_。

实验数据的简单读取方法是\_\_\_\_\_。如图 a 中物体的长度为\_\_\_\_\_mm，图 b 中物体的长度为\_\_\_\_\_mm。

固体压强的大小是由\_\_\_\_\_与\_\_\_\_\_两因素决定的。

使用量筒时，应放在\_\_\_\_\_的桌面上，读数时视线应和液面

\_\_\_\_\_。图中量筒的量程是\_\_\_\_\_，一个大格表示\_\_\_\_\_，每个小格表示\_\_\_\_\_。若现在量筒中装水如图所示，其体积为\_\_\_\_\_  $\text{cm}^3$ 。

### 三、选择填空：

图中塔式起重机的配重是为了\_\_\_\_\_。（A．使塔吊不翻 B．美观 C．减小塔吊所吊重物的重力）当吊起的重物增加时，配重应\_\_\_\_\_。（A．向左移 B．向右移 C．不动）

用实验中直接测出的量去计算另一个物理量时（如用测出的时间或距离去计算速度时），应选用\_\_\_\_\_进行计算。（A．误差最小的数据 B．所测出的数据中值最小的数据 C．所测出的数据中值最大的数据）

物理实验中直接测量某一个量时，误差最小的数据是\_\_\_\_\_。（A．测量所得的最大的数 B．测量所得最小的数 C．测量所得的数据中最大数与最小数之间的任何一个数 D．测得各数的算术平均值）

在阿基米德定律的演示实验中，溢水杯的作用是\_\_\_\_\_。（A．使水不溢到桌子上 B．物体刚一浸入，水就会流出，即被挤出的水不留在溢水杯内 C．便于收集排出的水 D．通过奇特造型使人对该实验留有深刻印象）

四、如图，过 A 点用两种方法作一直线 AB MN。（尺规作图与三角板作图）

五、在用小木桌和砝码与沙盘演示固体压强的相关因素的实验中，要将小木桌由正放变为倒置，这一步是要说明什么问题？实验时观察的重点在什么地方？

六、说出书写实验报告时，对实验目的、实验仪器、实验原理、实验步骤等项，都要写出什么内容？

七、写出测定水的密度的实验步骤。

## 第二节命题与评定

此次物理实验能力测量，是针对初二下学期或初三上学期的学生进行的。所考虑的能力层次，也以这一对象的物理实验能力发展为基础。在知识方面，优先考虑初二的内容。本节讨论中涉及到的物理实验能力层次，请参看本书第三章第二节，具体外显内容请参看第三章第一节。

### 一 对 A 卷命题的基本思考

物理实验能力命题，不可能全部以开底题出现。其主要原因是由于实验能力首先要求规范的施用，例如对数据的处理，按既定步骤完成操作等等；另外，操作题的仪器、材料与安全性，也限制让学生充分发挥。因此在命题中，考虑了测试目的、测试内容与题型的相互配合。这一点请读者对照 A 卷各题自行领会。

第一题的测试重点是基本仪器和基本量具的规范操作。学生使用的物理实验能力外显，大体涉及比较法、平衡法，天平与量筒的规范操作，以及实验操作程序中的仪器布局、数据的多次测量与记录等等。

检测基本仪器与基本量具的使用，之所以选择天平与量筒，不仅因为它们是初中物理仪器中最基本的仪器与量具，还考虑到两个因素。一个因素是学生对质量与体积的测定，感到较力的测量复杂，较长度与时间的测量生疏——生疏的内容容易让学生注意规范。再一个因素，是天平与量筒是精度相差极大的仪器。精度相差大的仪器在多次测量中表现出完全相反的情况：对同一个量，高精度仪器多次测量的结果次次不同，低精度仪器的多次测量值则经常相同——这反映了它的系统误差远远大于每次测量的偶然误差，从而使偶然误差表现不出来。于是，当两种精度相差很大的仪器共用于一个实验中时，可以允许低精度仪器进行单次测量。这第二个因素，可能导致学生提出一些高质量的质疑。

第二题把测试重点放在处理实验数据。学生使用的能力外显是列表法。列表法处理数据，是物理观察和物理实验都常用的方法。而就列表法本身而言，它是各种能力运用中广泛使用的方法，如物理思维能力中的比较，物理语言能力中的表述等等。列表法本身的学习是小学阶段的任务。本题的目的并不在于检测列表法本身，而在于检测用它来处理物理实验数据时的规范。诸如：表述数据的项目分类；去除粗差数据；如何用物理量及代号表述各栏表头；数据单位加括号附于表头栏内；以及算术平均值应在表中放在哪些量的后面等等。

本题选用与长度和面积有关的数据，主要考虑学生对它们的代号、单位都比较熟悉，省去知识上的一些麻烦。选用测量物理课本，是为判断粗差时，给学生参考实际测量结果提供便利条件。

第三题测试重点是分析具体实验中误差产生的原因，学生使用的能力外显大体是观察仪器的方法与对实验过程进行分析和综合。

本题的实验不准备让学生亲自操作，以减少测试工作量。因此要求题设实验仪器和过程能完全为学生可想象，为此选择了电子表与时间的测量。要求使用表盘上有 60 分刻度的电子表，意在避免学生误认为秒的数据要估读 1 位（由于电子表是蹦字式走动，极限误差是 1 秒而不是 0.5 个最小刻度，不存在估读问题）。实际上，从本题的测试目的讲，采用机械钟表更合读数的普遍规律，但机械挂钟现在难于找到。

第四题重点测试按照既定实验步骤完成操作，其次是实验的设计与改进。学生应用的能力外显包括阅读能力的分句阅读，物理实验能力的比较法测量，物理思维能力的创造联想。

本题是本次 A 卷中难度较大的一题，主要难在理解与操作。题目选择确定笔管重心位置的趣味操作，不只是为了提高阅读和操作的兴趣，原意主要想回避实验仪器，减少准备器材的工作量，也避免仪器本身的知识运用会对本题的能力测试目的带来不必要的干扰。此外，这一实验内容还具有这样一个特点：实验的最后结论极易受到操作准确性的影响，从而使不同学生的答案存在较明显区别，既便于教师评判操作质量，又便于学生认识严格操作的重要性。这一点，有利于突出本题的测试重点。

第五题的检测重点在物理实验中的应变，可以划入实验中排除简单故障的层次。由于题目只要求学生写出方法，不要求实际运作，所以学生使用的能力外显，主要涉及运用物理思维能力的分析与综合处理实验问题。

本题包括的三道小题，代表三类情况。第 1 小题是常见情况，侧重让学生认识在生活中要随时注意应变。第 2 小题是仪器的系统误差，侧重提醒学生注意在使用仪器前审查仪器的状态。这两题的共同点，是应变时把思考的重点放在出现问题的具体地方。第 3 小题才是真正的意外情况，突出了应变时需根据实验的整体目的具体处理所发生的意外。三个小题中，第 3 小题的难度较大。其难度在于学生不容易根据观察对象与实验目的去考虑怎么处理意外，而是容易局限在折断的桌脚处，思考一些具体的补救方法。该题的观察对象与实验目的是：对比观察桌脚与桌面陷沙的深度，了解受力面积与固体压强的关系。从这一点入手考虑，该题较巧妙的方法，是在桌上向未折断的三脚支撑面内移动砝码，不让小桌翻倒，然后因势利导，让学生对比观察三个桌脚下的沙坑和折断那一桌脚下的沙坑深度，得出结论：三脚支撑时比四脚支撑时陷得深。

第六题主要检测寻找仪器代用品的能力，涉及到的能力外显主要是联想。

本题第 1 小题的代用品寻找，要以日常生活的观察为基础，第 2 小题，侧重功能的代偿。此外，两题的代用品，一个是定量的，一个是定性的。

第七题将测试重点放在阅读实验课文，书写实验报告的层次。学生使用的能力外显，涉及到阅读能力中的分析、归纳，表达能力中的语言叙述、图文表述，以及物理实验能力中的试运作等等。

按照课文书写实验报告，应选择在目的、仪器、步骤上都不能过于简单的课文，要选择存在着“加工点”的课文，才易于分辨实验报告的书写水平。本题所选课文在目的和器材上，都有一个将“不规则物体”具体为“不规则硬板”的过程。在实验步骤上，也有着需做细小补充的地方，如课文没有交代悬挂方式，然而悬挂方式却会影响在板状物上的画线操作，影响“交点”的产生。例如，若把物体挂在铁架台上，由于板后无支撑物，画线是较难完成的。

第八题测试重点是设计简单的物理实验，学生使用的能力外显主要是物理实验的一般设计程序。不过，由于缺乏日常的练习，估计学生不会明确地按照该程序运作思维。由于初二学生的物理知识学得太少，检查设计实验时在目的、原理上不会有太大的命题余地。因此，在目的、原理类似的情况下，学生将以模仿或应变的方式施用能力。

本类题的内容大体可分两类，一类是学生在教学中接触过（见过或做过）类似的实验，一类是教学中没有接触过的实验。对初中学生，后者的例子有匀速直线运动的速度，物体在气体中受到浮力，颜色与吸热的关系，蒸发的相关因素，摩擦起电的电压等等。考虑到初二学生初学物理不久，不能要求太高，本次命题采用了学生接触过且又较熟悉的实验内容，并注意让难度不高。题中用不能直接放进水里的馒头块，就是较明显地告诉学生，不要模仿课本上的方法——馒头会吸水并支解，而不仅仅像糖块、沙子等物体那样，用书上的方法，还能得出结论，只不过是误差较大。此外，本题要求用图与操作要点作答，一是为了不造成与上一题的重复，二是为了突出操作要点。

第九题的目的是检测基本工具的使用，相应的能力外显，主要是不同工具的使用方法和不同元件各自的规范操作要求。例如改锥的尺寸（型号）应与螺丝的槽口一致（若用小型号改锥去拧大号的槽口，极其容易损坏槽口）；上螺丝时最后一般要拧紧等等。

本题在确定内容时，注意到从生活中最常用的工具和元件出发，从事最常遇到的操作活动，强调操作要求（见计分标准），也是最基本的要求。

## 二 关于 A 卷的评定

物理实验能力测试中 A 卷评定所遇到的主要问题，是在未答出规定答案的情况下，不计分还是计负分（ $n_0^-$ ）。这一问题在观察能力的测量中不突出，因为开底题基本不存在未答规定答案（未施用能力）的情况。而在实验能力测量中，未答出规定答案的情况甚多。例如第二题中，物理量未写单位，第九题不紧固螺丝等等。在知识考试中，未答出规定答案仅仅不计分，并不扣分。也就是说，不答与错答丢分相同，不可能比错答对总分有好处。然而，在能力测试中，如果也照此处理，由于能力施用错误要计负分（理由已在第四章第三节讨论），会出现不答比错答合算的情况，从而造成“不求有功，但求无过”的心理。严重的问题是由此“求无过”的

心理产生的一个连带反应——能力水平的评定由于应试者的能力没有充分发挥，而失去其意义。因此，能力测试的评定方法需要具有“逼迫”学生施用能力的功能。而且，只有如此才能充分体现 AL 值评定中的 V 因子的作用。

考虑到以上这些问题，在能力测量中未答出规定答案（实质为未按要求施用能力），要视同错误施用能力一样处理，计入  $n_0^-$ 。在某些计入  $n_0^-$  极不妥的少数情况，可特别说明。这样，整体上不会形成学生“不求有功，但求无过”的心理。从本次 A 卷评定来看，采用这种处理方法的影响，是  $n_0^-$  使能力施用的次数大量增加，而 M 的数值显著下降。例如本次 A 卷中固定计分点最多的第七题（固定计分点 45 个，固定计分 5.6 分，另有若干非固定计分点），大多数学生实得分都在 2.0 以下。但 M 值的下降，对其意义和 A 卷最后的评定分析并没有妨碍。有关实际计分中的细节问题和具体掌握，请参看第六章第三节。

关于各题单位分值  $n_0$  的确定，和上章的考虑一样。例如，第八题中设计方案的创意优秀， $n_0=0.5$ ；有较好的可行性， $n_0=0.3$ ；第一题中由仪器误差提出的质疑  $n_0=0.3$ ；第七、八题中，操作要点  $n_0=0.2$ ，一般步骤  $n_0=0.1$ ；等等。

#### 1. AL 值评定办法

本次 A 卷的 AL 值评定方法和观察能力测试基本一样。下面只讨论一些不同的地方。

##### （1）操作题中能力施用次数的确定。

以计分标准中的计分点为准（含固定计分点和非固定计分点），统计在计分点施用的能力次数。具体判断是：以计分点处的某项操作的正式开始为界，每一次正确操作计一次  $n_0^+$ ，每一次错误操作计一次  $n_0^-$ 。即：在开始某项操作前的选择、犹豫等，不计入施用能力的次数。例如第九题中，学生拿起木螺丝，犹豫，又放下换拿机螺丝；又如选择改锥，拿起一个，看看口，甚至放到螺丝帽上一比，又放回去换了一个；如此等等，都不计入能力施用次数。此期间如此表现的学生与没有犹豫动作者的差异，通过 t 值反映在 AL 中。在以上例子中，如果学生将改锥放到螺丝帽上，开始拧后才发现不对，又回去换另外的改锥，则视为正式开始操作之后的动作，视为错误操作一次，计一次  $n_0^-$ 。

##### （2）答卷时间 t 的确定。

用操作题的完成时间加上其他题的答卷时间，即 A 卷卷面上需填写的参试时间，作为本次 AL 评定中的答卷时间  $t_0$ 。操作题的完成时间，从教师宣布开始，计算到学生声明结束。

##### （3）其他注意事项。

在非操作题中确定物理实验能力的施用次数，还要注意分辨施用的能力是实验能力还是观察能力、思维能力。观察能力的施用不参与评定。思



维能力中，凡以解决物理实验的有关问题为目的展开的物理思维，要参与物理实验能力的评定。无论操作题还是非操作题，都应以卷面语言中实际显现的能力施用统计次数，卷面语言内含的能力施用不重复计入能力次数。例如卷面答“重复步骤1”，只能计一次施用，不计被重复步骤内包含的能力施用次数；分值的计算也照此处理。

## 2. 计分基本标准与有关的参考答案

A卷计分起点 $n_0=5.0$ 。各题的单位分值 $n_0$ 和答案有关，分述如下。答案中指出的计分点，除特别声明的以外，漏答一个，一律与错答一个一样处理，计一次 $n_0^-$ 。

### (1) 第一题。

本题固定计分点22个，共2.2分，另有若干非固定计分点。

天平调节，3个计分点：托盘复位，游标归零，横梁平衡，每个 $n_0=0.1$ 。

各计分点处没有操作、错误操作、提前在托盘复位与游标归零前调节横梁，按相应次数，每次均计一次 $n_0^-$ 。

测量顺序与记录数据，7个计分点：测量杯与杯内水的质量并记录数据，测水的体积并记录数据，测空杯质量并记录数据，清理仪器用品，以上每计分点 $n_0=0.1$ 。各计分点没有操作，错误操作或错序操作，每发生一次计一次 $n_0^-$ 。

测量操作细节，12个计分点。测杯水质量：左盘放待测物体，右盘放砝码，取砝码用镊子，调节游标到天平重新平衡，正确读数。测水的体积：将待测的水全部倒入量筒中，平视读数；测空杯质量；计分点与测杯水质量相同；以上各操作， $n_0=0.1$ 。每漏作、错作一次，计一次 $n_0^-$ 。

本题中非固定计分点主要分布：添加砝码的过程，多次测量的过程与回答问题的过程。砝码每加减一次，按取用方式的正误分别计分一次。多次测量，5次以内（含5次），按操作正误分别计分，5次以上不计分。所提问题中，每正确施用一次实验能力计一次 $n_0^+$ ，每错误施用一次计一次 $n_0^-$ 。除涉及误差的问题 $n_0$ 为0.2外，其余均为0.1。

此外，若事先列表做好记录准备，一次性计 $n_0^+=0.2$ 。不列表或先记数据后补列表，均不计分。

### (2) 第二题。

本题固定计分点32个，共3.4分，原则上无非固定计分点。

列表，16个计分点，如表7-1所示。各点的单位分值在表周或表内给出。其中最后一栏中间的计分点，为该栏内的分隔线（有的学生会错误地把此线连上）。除下述情况外，各计分点的内容错误或遗漏，计一次 $n_0^-$ 。表头上栏与侧栏整体互换，表中物理量代号换用其他英文字母，物理量单位换用其他长度与面积单位，表头顶栏内的文字不用“次数、数据、项目”，

换用其他类似表述。以上四种情况不按错误处理，不计  $n_0^-$ 。但“平均值”与“面积”移放到其他位置，例如先对每一次测的长、宽取面积，再对每次面积取平均值；或者将“面积”与“平均值”顺序颠倒，均计为错误。物理量单位放到表内随数据填写，也计为错误。

表 7-1 物理实验能力测量 A 卷第二题中列表的计分点与  $n_0$  值

	0.1	0.1	0.1				0.2	0.2	
	数据	次数	1	2	3	4	平均值 (cm)	课本 面积 S (cm <sup>2</sup> )	
0.1	项目								0.1
0.1	课本长 $a$	0.1					0.1	0.1	
0.1	(cm)								
0.1	课本宽 $b$	0.1							0.1
0.1	(cm)								

选填数据，10 个计分点。去除 18.03cm 与 12.07cm 两组粗差数据；选择其余 8 组数据正确填入表的长、宽栏内(顺序不限)；每个计分点  $n_0=0.1$ 。缺填、增添或错填一次，计一次  $n_0^-$ 。

计算数据，6 个计分点。按正确公式计算平均值与面积并正确确定有效数字。使用公式是否正确，可从所得数据中准确位上的数字判断；长、宽、面积的有效数字的参考数据为 18.30cm，12.71cm，232.6cm<sup>2</sup>。以上各计分点  $n_0=0.1$ 。错误使用公式，有效数字错误，每发生一次计一次  $n_0^-$ 。缺算某次数据，计一次  $n_0^-$ ，由此引起的后续缺漏不累计负分。

### (3) 第三题。

本题无固定计分点。非固定计分点及计分标准为：分析原因的过程中，每施用一次实验能力计一次  $n_0$ 。在主要原因中，选择“不同步计时”的(可换用其他语言表述)， $n_0=0.2$ ；其余情况， $n_0=0.1$ 。

### (4) 第四题。

本题固定计分点 18 个，共 1.8 分，另有若干非固定计分点。前 7 个步骤的操作只含固定计分点，分布在下面叙述的画线处。

- ① 剪下一窄条(1—2mm)乳胶管。
- ② 将笔的两端放在水平伸直的两食指关节上，然后两手呈半握拳状。
- ③ 两食指缓慢相向移动至相遇为止。
- ④ 在笔上确定两食指相遇位置：保持食指的接触点不动，前伸左手拇指，使拇指右侧外沿和接触点对齐按在笔上，腾出右手确定两食指相遇的位置。
- ⑤ 将乳胶管套在两食指相遇的位置上。
- ⑥ 测定并记录该位置与笔上已有标记间的距离(取标记上到相遇位置近的一端)。

以上各固定计分点的正确操作计一次  $n_0^+$ ，漏做或错做一次，计一次  $n_0^-$ 。

非固定计分点的分布及计分标准为：前 7 个步骤中的操作流利准确，一次性计  $n_0^+=0.2$ ；有成功的创意操作，如用小刀切割出均匀的乳胶管细条，用长度差的办法处理重心到标记的距离等等，每次计  $n_0^+=0.3$ ，且不计没照原步骤操作的  $n_0^-$ 。但动作不流利、不准确、无创意者均不计负分。第 8 个步骤中，按一个明确的语意（属物理实验能力施用）的正误，计一次  $n_0=0.1$ 。本步骤漏答改进方案，不计负分。

#### （5）第五题。

本题无固定计分点，非固定计分点分布在两部分内容中。

先不考虑方法的可行性，按方法中每一个可分辨的操作点计分， $n_0=0.1$ 。对语言叙述不够准确，但从意思可判断出正确操作的，仍可计正分；意思不明确而导致无法确定如何操作的，要计负分。

再按方法总体上的可行性，将方法分为可行性较好、基本可行、勉强可行、可行性差四类，分别一次性加入： $n_0^+=0.4$ ， $n_0^+=0.2$ ， $n_0^-=-0.1$ ， $n_0^-=-0.3$ 。

#### （6）第六题。

本题无固定计分点，非固定计分点的分布如下：对每一个代用品，按可用与不可用，分别为  $n_0^+=0.2$  与  $n_0^-=-0.2$ 。可用的标准为同时满足两个条件，即能够找到（一般情况下）与具有代偿功能。对可用的代用品的操作，每一个能分辨出的操作环节， $n_0=0.1$ 。语言表述的影响参考上一题的方式处理。对不可用的代用品的操作，一般不计分，但有明显的错误操作环节，计负分。未能找到代用品的，视为漏答，按“不可用”情况处理，计一次  $n_0^-=-0.2$ 。

#### （7）第七题。

本题有固定计分点 45 个，共 5.6 分，另有若干非固定计分点。

分步，1 个计分点， $n_0=0.1$ 。即只要列有步骤序号，分步表述步骤，就可计一次正分，不用序号分步表述，计一次负分。其余固定计分点，分布在下述参考答案的画线处，单线处的  $n_0=0.1$ ，双线处的  $n_0=0.2$ 。不要求语言、字母和答案完全一样，但意思应不变，含有的可分辨操作环节应与答案相同。步骤第 、 、 的表述可用“重复步骤 — ”一类的语句代替，但只计一次  $n_0^+=0.1$ ，不计被重复步骤中的计分点的分数。漏答或错答上述计分点处的内容，计负分。增加 MN 过 C 点验证重心一步，不计分，但其中有错要计负分。

参考答案：

实验目的：确定不规则板状物体的重心。

实验仪器：不规则硬薄板一块，绳子 1—2 根，图钉数个，直尺 1 把，铅笔 1 支。

实验步骤：

将图钉按到门背后。

在板上靠外侧确定一点A，在A点按上图钉。

用绳系住A点图钉，将薄板悬挂于门上图钉处。

薄板静止后，沿绳在板上作竖直线AB。

在薄板外侧另取一点D，按上图钉。

用绳系住D点图钉，将板悬挂于门上图钉处。

薄板静止后，沿绳在薄板上作竖直线DE。

DE交AB于C，C为薄板的重心。

本题非固定计分点，分布在增加课文之外的某些内容中。对这些内容中，按答案中每个可分辨的操作点，计一次 $n_0=0.1$ 。例如，答出“在薄板上贴一白纸”，可在“贴”处计一次 $n_0^+$ ；答出“A点宜取在靠中心处”，则要在“靠中心处”计一次 $n_0^-$ 。

(8) 第八题。

本题的固定计分点仅有5个，共0.5分，大量为非固定计分点。

固定计分点为实验原理与步骤编号。对原理，下述答案中每个横线处 $n_0=0.1$ ：根据     $=m/V$ ，测出  $m$ 、 $V$ ，则可计算出    。对步骤，将有无步骤标号处理为一个计分点。

非固定计分点的分布与计分类似第五题，分两部分处理。

先不考虑方法的可行性，对每个独立图形（可表示一个操作点的一个或几个图）， $n_0=0.1$ ；对操作要点中每一个可分辨的操作点， $n_0=0.2$ 。图形不规范但图意明白正确，或语言表述的意思可判断为正确的，均可计 $n_0^+$ ，否则计 $n_0^-$ 。

再按实验方案的可行性与是否具有创造性分为：有创造性（指成功的创造）， $n_0^+=0.5$ ；可行性较好， $n_0^+=0.4$ ；基本可行， $n_0^+=0.2$ ；勉强可行， $n_0^-=0.1$ ；不可行或可行性差， $n_0^+=0.3$ 。有创造性的方案，多指较巧妙解决馒头支解于水的问题，如用橡皮泥包裹馒头，测出合体积再减去橡皮泥的体积；又如用精盐或绵白糖代替水，将馒头放在其中，先测出合体积，再测出盐或糖的体积，取其差。可行性较好，指方案可以执行得较精确，如用塑料薄膜包住或用薄蜡裹住馒头块，再放入水中测体积，膜或蜡的体积忽略不计。基本可行的方案指可行，但精确度较差，如将馒头块削成规则长方体，测出长宽高，算出体积；削下部分装入塑料袋，裹好等放入水测出体积，与算出的体积相加。勉强可行，如一个袋装入馒头块放入水中测体积。或按书上测金属块的方法，将馒头块捏碎装入袋中再放入水中测体积，都属于不可行或可行性差的方案。获创造性计分的方案不累计可行性分。

(9) 第九题。

本题固定计分点27个，共2.7分，基本没有非固定计分点。在计分点

未进行规定操作计  $n_0^-$ 。

工具与安装物的配合，计分点 11 个：六角螺丝帽与上螺母用的扳手或钢丝钳（上下可互换）为 2 个计分点；木螺丝与机螺丝的拧帽分别与相应的改锥配套，机螺丝上螺母要用扳手或钢丝钳夹持，共 9 个计分点，均  $n_0=0.1$ 。确定配合前的选择动作不计分。已经开始操作，发觉不合适再改正，视同错误选择一次，计一次  $n_0^-$ 。在螺丝帽与改锥的配合上，用大拧小（如用大的一字改锥拧小号的螺丝），不计  $n_0^-$ 。

拧木螺丝前的钻孔，或先用锤将木螺丝钉入一部分，计分点 9 个：选铁钉或锤，定准孔位，用锤钉钉子或钉木螺丝各三次，均  $n_0=0.1$ 。没按标定的位置钉钉子，用钳或扳手代替锤子钉钉子，没有钻孔，或用锤一直钉木螺丝入板而不用改锥拧，均计  $n_0^-$ 。钉的深度不够，二次复钉；木螺丝的垂直度不够好，不记负分。

对螺丝的紧固动作，计分点 9 个，均  $n_0=0.1$ 。

### 三 K 卷命题

K 卷命题原则上和上一章相同，需说明的是 A 卷操作题所涉及的内容如何处理。

操作题涉及的知识不多，操作技能较多。从概念上讲，技能属知识和能力的中间环节。在能力测量中，若将操作技能划入知识一边，做与知识一样的等价排除式的处理，就要达到技能优的条件。如此，需要的时间、物力、人力太大，因为操作技能的训练不能靠“纸上谈兵”。于是，本次 K 卷命题，将学生学过的操作技能，如天平的使用，划到知识一边，作为 K 卷命题内容；将学生未在课内学过的技能，划到能力一边，即作为 A 卷命题的内容，K 卷中不再涉及。从能力检测来说，这种处理方式可能不是最好的方式，因为这使能力测量包含了技能测量，但本次测量仍暂时采取了这种方式。

对心智技能，本次 K 卷命题也采用了同操作技能一样的原则：将实验目的、仪器、步骤等课内学过的内容放入 K 卷，而实验原理、图示等学生未接触过的，才在 A 卷中出现。

下面举出 A 卷的第五题为例，讨论它涉及的知识点、分类及处理。

第一类：胡克定律，弹簧秤的工作原理，弹簧秤的刻度、读数，固体压强与外力及受力面积的关系及其演示实验，重心及其移动。

第二类：过两点作直线，过直线外一点作直线的垂线。

第三类：未学过的知识：系统误差、稳度、极限误差。生活常识：重心移出支撑面发生倾倒，粘接木器，断柱夹板等等。

以上第三类知识不做处理，第二类处理为作图题，第一类知识与 A 卷其他题所涉及的第一、二类知识统筹处理。考虑到重心及其移动与初中起

重机中配重的使用类似，便以该知识的形式出现。对固体压强的决定量，其本身的内涵与演示实验还不完全相同，又考虑到 A 卷第六题还涉及到阿基米德定律的演示，故在 K 卷中将压强决定量的概念与其演示实验分开命题。

#### 四 关于 A 卷等价命题

物理实验能力测量的等价 A 卷，其概念与物理观察能力的等价 A 卷是一样的，即指不同 A 卷在所测物理实验能力的层次、题目的数量上等价，是靠各相应等价的能力试题实现的。

关于操作题的等价命题，比较稳妥的方式是，若原 A 卷操作题所涉及的操作技能为课内学过的，其等价题所涉及的操作技能也应是课内学过的；反之亦然。至于两 A 卷题涉及操作技能的具体内容，可以完全不同。例如本次 A 卷第一题中涉及的天平操作，属于课内学过的技能，命与该题等价的能力题，可使用弹簧秤、量热器、电流计等课内学过的仪器的操作做题目的具体内容，而不宜涉及天平的修理，自制非等臂天平课内没学过的操作。

如此处理 A 卷命题的等价以后，根据上面讨论 K 卷命题时对操作技能划分的原则，两份等价 A 卷所对应的不同 K 卷，命题时就也将保持处理方式上的对等性，即原 A 卷某操作题涉及的操作技能若参与其 K 卷的命题，则等价 A 卷对应的操作题所涉及的操作技能，亦参与 K 卷命题；反之亦然。

下面举例，请读者体会物理实验能力 A 卷的等价命题。

欲命与本次 A 卷第五题等价的试题，可保留原题要求，仅将小题更换为下列题：

用家用弹簧秤称菜肴是否缺斤短两时，发现秤的局部刻度已模糊不清了。

用量筒测液体体积时，发现筒壁牢固粘有一不规则物块。

调节托盘天平平衡时，不慎将平衡螺母拧脱落遗失。

以上三道题中，第 题仍属对生活中常见测量所遇意外的应变；第 题仍属对仪器系统误差的应变；第 题仍属对实验中意外情况的应变。能力的基本层次和发挥方向，都与本次 A 卷第五题基本一样。

能力的等价检测题，可以有不同的等价程度。例如命与本次 A 卷第八题的等价试题，可有以下不同的等价程度。

若将该题中的馒头块改为大粒粗砂糖，则因为题设物体既速溶于水，又在堆积中有颗粒间隙，使题目难点仍在测体积的方法，从而可认为与本次 A 卷第八题的测试目的在同一能力层次，属等价试题。但新题很明显的缺点是学生解此题时的应变思路可模仿旧题进行。这一点，是与原题在 A 卷中的本质意图不甚符合的，原题在 A 卷中的意图乃是检测应变中的创造性。

若将第八题的第一句话改为：“设计一个在冬天测定冰是否有升华现

象的实验”，由于检测的能力层次没变，仍可视为原题的等价试题。或者，将原题改为“有半个整齐的空心核桃壳，试设计一个测定其重心的实验方案”。由于测定不规则板状物的实验已为学生熟悉，测量原理并没变化，变化的是测量对象。学生要应变的内容，是由测量对象改变后引起的具体操作（在悬挂、处理垂线、确定交点等等）。从这些方面看，这两题都与第八题保持了较好的等价性。

对第九题这一使用基本工具的层次，等价性也可向两个方向扩展。一个方向是保留第九题的工具，靠材料、数量、时间的变化来表现能力的提高，另一个方向是介入新的工具，突出根据工具的功能，型号进行选择使用的内容。比如用尖嘴钳夹物体、剪断，用元嘴钳卷圈，用鹰嘴钳剪平面线头，用桃嘴钳剪断角落线头，以及平锉、圆锉、三角锉、四方锉对不同锉面的使用等等。对初三和高中学生，可适当介入电学基本工具。根据能力与技能的不同概念，此处所言的第一个方向，所检测出的变化更多地反映了技能的发展，后一个方向才是能力的发展。

### 第三节 物理实验能力测试的结果与分析

本次物理实验能力测试，参加 K 卷测试 56 人，对初次未达优者进行知识补课，最后累计知识达优而参加 A 卷测试的学生 52 人。每人自行记录个人的参试时间。

本节主要讨论依据个人参试时间与本章第二节所示评定标准进行阅卷时的情况。

#### 一 阅卷中的具体处理

##### 1. 常见问题及处理

一个基本问题是操作题的现场打分如何能较准确地进行。为了减轻现场评分的紧张，减少评分的遗漏分，只要求教师在现场边观察边用  $n_0^+$  或  $n_0^-$  在纸上顺序记录各计分点的得失。考完以后，再据每个人的记录，根据每个计分点的  $n_0$  值，算出实际分数，按  $n_0^+$  与  $n_0^-$  的总数数出能力施用的次数。

在实际评定操作题时，一个普遍性的问题是学生犹豫、迟疑、反复的动作太多，一是使时间延长，二是造成大量计  $n_0^-$  的趋势。为了避免对学生的这一情况形成双重评定——既通过  $n_0^-$ ，又通过 V；也为了避免高负分现象—— $n_0^-$  太多将使  $n_0^+$  失去检测意义；在具体评定中适当放宽了对“反复操作”的要求：对刚开始就反复的情况，不计  $n_0^-$ ；对同一操作对象的多次反复，只计一次  $n_0^-$ 。

在第六章第三节指出的语言表述不规范、语义不清晰、不明确的问题，仍显见于本次 A 卷答案之中。此类问题的处理，仍遵循抓住所测能力进行评定的原则。例如第 23 号考生在第五题第 一 小题的答案中有一句：“量书长宽中间的一段，避开磨损的书角”。对此答案的前半句，可有多种理解，如测量图 7-10 中的 AA'，或 BB'，或 MN，还可以理解为 AC，BD 等等。就测取上述不同线段的效果而言，AA'、BB'、MN 都可算出面积。联系答案的后一句“避开磨损的书角”，可知原意应指测长或宽的过程中避开书角，不从书的顶点开始，而从书四边的中间测量。因此实际处理为：对长与宽的测量分别应各计一次  $n_0^+$ ；对漏答如何保证 AA' 为长、BB' 为宽的措施，如使 AA' 平行书脊或 AA' 垂直书底边等，却只计一次  $n_0^-$ （理由见下面讨论）。

上面这个例子还反映出本次 A 卷答卷中出现的一个普遍性问题：对开底题的漏答如何计分？特别是在第五、六、七、八题，漏答的现象比较普遍，特别是漏答的内容是操作的要点，会影响他们自己所提办法的操作准确性，就如同上例中，若没有 AA' 平行或垂直书的某一边的要求，AA' 的值可能并不等于书的长。又如在第六题第 一 小题中，只答出烧杯、喷壶、茶壶、茶碗，没答出如何让它们体现溢水的功能；在第七题中，只答挂上，



没答出挂在哪儿；在第八题中只答出“把馒头块放到一个瓶子里，放入水中”，不答封住瓶口；等等。对此类问题的处理，考虑到宜和原定评分方法中对固定计分点漏答的处理相协调。因此，定出以下处理原则：

在非固定计分点的答案中，若漏答的内容对解决问题的精确度有较大影响，则对产生影响的直接步骤中的每一个操作点，计一次  $n_0^-$ ；影响方式相同的漏答内容不重复计分。对解决问题的精确度影响不大的漏答内容，可不计分。

根据这一原则分析上面所举各题的漏答，处理如下。

第五题第 一小题中，漏答的平行或垂直，对测长和宽的影响方式是相同的，故只计一次  $n_0^-$ 。

第六题第 一小题中：对“茶壶”，漏答溢水方法不明显影响使用，不计负分。对“烧杯”、“茶碗”，漏答倾斜、垫高的步骤，计一次  $n_0^-$ 。对“喷壶”，本身不宜做溢水杯的代用品，属一次施用能力错误，按原定评分标准计一次  $n_0^- = -0.2$ ，不再考虑漏答问题。

第七题，对漏答挂到何处者，因悬挂位置将影响画线操作，如悬挂铁架台上就难于作竖直线，故要计一次  $n_0^-$ 。

第八题的例子，漏答了两个直接操作点：封瓶口的材料与方法，计两次  $n_0^-$ 。

## 2. 题目评定示例

说明：下面示例中，用 ( ) 表示漏答，( × ) 为因漏答计  $n_0^-$  一次，( 0 ) 表示不计漏答分。括号前的数字表示对漏答做出同样处理的次数，如 2 ( 0 )，表示漏答两次，均不扣分。

第 45 号考生第六题 一小题：

解 答	$n_0$	得 分	评 定
( × ) 方法 1：用玻璃杯取水， ( 0 ) 称出总质量，减去杯质量 ( 0 )， 再用 $\rho = m/v$ 计算（水的密度知道）出 体积  × 方法 2：用酒瓶估计，一斤  一瓶。用葡萄糖瓶子，500mL，取 ( × ) 一半刻度 150mL	0.1 (操 作) 0.2 (可 行 性)	6 ( 0.1 ) + 2 ( 0.2 ) = 1.0 3 ( -0.1 ) + ( -0.2 ) = -0.5	$N_6 =$ 7 $n_0 = 0.5$

上例方法 1 中，(×) 处表示漏答“用天平”，两个(0)处分别为“秤出空杯质量”与“得出水质量”，因为均不对测量结果产生重大影响，不计  $n_0^-$ 。方法 2 中，据所答 150mL 可知“一半”不是指全程一半，而是指一个格的一半，故(×)表示对漏答“格”字计一次  $n_0^-$ 。150mL 处的 ，指读取数据的操作步骤计一次  $n_0^+$ 。另外，在得分中包括可行性得分，但可行性不算施用能力的次数，故  $N_6$  的值不等于得分栏中计算  $n_0$  的次数。

第 49 号考生第七题：（解答栏下的文字为阅卷说明）

解 答：	$n_0$	得 分	评 定
<p style="text-align: center;">×</p> <p>实验目的：测量不规则物体</p> <p>的重心</p> <p style="text-align: center;">实验仪器：绳子、不规则</p> <p style="text-align: center;">×</p> <p>物体、铅笔、尺子</p> <p style="text-align: center;">实验步骤：</p> <p style="text-align: center;">×</p> <p style="text-align: center;">先通过物体上任一点 A</p> <p>用绳子把物体挂起来</p> <p style="text-align: center;">用铅笔沿绳子在物体上</p> <p>画出竖直线 AB</p> <p style="text-align: center;">重复</p> <p style="text-align: center;">重复 ，得 DE ，两直线</p> <p>交点记为 C ，即重心</p> <p>漏答：仪器 6(×)，悬点(×)，在物上定点 2(0)，在点打洞 2(×)，静止后划线 2(×)，挂哪 2(0)</p>	<p>0.1</p> <p>0.2</p>	<p><math>3(0.1)+(-0.2)</math> =<math>0.1</math></p> <p><math>3(0.1)+(-0.1)</math> =<math>0.2</math></p> <p><math>6(0.1)+(-0.1)</math> =<math>0.5</math></p> <p><math>3(0.2)=0.6</math></p> <p><math>(0.1)=0.1</math></p> <p><math>3(0.1)+(0.2)</math> =<math>0.5</math></p> <p><math>8(-0.1)</math> +<math>3(-0.2)</math> =<math>-1.4</math></p>	<p><math>N_7=2</math></p> <p><math>n_0=0.6</math></p>

在此示例中，考生实际答出了 45 个计分点中的 30 个：现有的 23 个减去标准答案不包含的两个“重复”（即上一解答中的 、 ），再加上该“重复”中实际包含的 9 个计分点。但由于使用了“重复”表述，显示出

的只有 23 个，能力施用为 23 次。

## 二 测试的基本情况

表 7-2 反映了每个考生在本次 A 卷测试中的得分情况。由表

表 7—2 物理实验能力测量 A 卷个人各题得分一览

题号 分数 考号	一	二	三	四	五	五	五	六	六	七	八	九
01	-0.1	-.1	0.4	1.2	0.1	0.2	0	0.2	0.2	0.9	1.0	0.6
02	1.0	0.4	0.3	1.2	0.2	0.2	-0.1	0.3	0.2	0.8	0.8	1.6
03	0.4	0.1	0.4	0.9	-0.1	0	0.1	0.1	-0.1	0.7	1.0	0.6
04	0.4	-0.1	0.3	1.0	0	0.2	0	0.1	-0.1	0.5	0.7	1.5
05	0.5	-0.2	0.5	1.1	0.2	0.1	0.1	0.1	-0.1	1.0	1.3	0.7
06	0.2	0	0.2	0.6	0.2	0.2	0.4	0.2	0.1	0.5	1.0	0.4
07	0.4	0.2	0.3	1.2	0.1	0.4	-0.2	0.1	0.2	1.2	1.1	0.8
08	0.6	0.3	0.7	1.4	0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	2.0	0.8	0.7
09	0.9	-0.1	0.5	1.0	0.1	0.2	-0.3	0.1	-0.1	0.8	1.3	1.0
10	-0.1	0.3	0.3	0.8	-0.1	0.1	0.1	0	0.2	1.6	1.1	0.5
11	0.3	0.1	0.3	0.9	-0.2	0.1	0.2	0.2	-0.1	0.8	0.7	0.8
12	0.6	-0.1	0.5	0.9	0	0.2	0.1	0.1	0.2	0.8	1.3	0.8
13	0.6	0.2	0.4	1.1	0.2	0.4	0.3	0.2	-0.1	1.6	1.0	1.3
14	0.5	0.1	0.7	0.5	0.3	-0.1	0.1	0.2	-0.2	2.0	0.9	1.0
15	0.3	-0.1	0.4	1.2	0.1	0.2	-0.1	0.1	-0.1	2.1	0.7	1.0
16	0.9	0.5	0.7	0.5	0.4	-0.2	0.2	0.1	-0.1	1.4	0.8	1.5
17	0.8	0.2	0.4	1.0	-0.1	0.2	-0.1	0.1	0.2	1.2	1.3	0.6
18	0.4	0.1	0.3	0.8	-0.1	0.1	-0.2	-0.1	0.2	1.0	1.9	0.7

续表

题号 分数 考号	一	二	三	四	五	五	五	六	六	七	八	九
19	0.5	-0.1	0.4	1.1	0.1	0.2	0	0.2	0.1	0.8	1.1	1.2
20	0.3	0.1	0.5	0.8	-0.1	0.2	-0.1	0.2	0	0.4	1.0	0.8
21	0.4	0.3	0.8	1.1	0.2	0.4	-0.1	0.2	0.3	0.7	0.6	1.1
22	0.7	-0.3	0.3	0.9	-0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	1.4	1.2	0.4
23	0.3	0.2	0.4	0.7	-0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.9	1.2	0.9
24	0.6	0.4	0.2	1.0	-0.2	0.1	0.1	-0.1	0	1.0	0.8	1.1
25	0.5	-0.1	0.4	0.6	0.1	0.2	0	0.1	0.2	0.9	1.3	1.0
26	1.0	-0.3	0.3	0.9	-0.2	0	-0.1	0.2	0.1	0.6	0.8	1.5
27	0.6	0.3	0.7	1.0	0.3	0.1	0.4	0.2	-0.1	1.2	0.7	0.7
28	0.7	0.1	0.5	0.9	0.2	0.3	0	-0.1	0.2	1.5	0.8	0.9
29	0.6	0.2	0.3	0.8	0.2	0.1	0.1	0.1	-0.3	0.9	1.6	0.8
30	0.9	0.1	0.5	1.2	0.2	0.2	-0.1	0.3	-0.1	1.2	0.6	1.3
31	0.1	0.1	0.4	1.0	-0.2	0.2	0.1	0.1	0.3	1.6	1.2	0.9
32	0.3	-0.1	0.3	0.8	-0.1	0.1	0	0.2	0.1	0.8	1.2	0.8
33	0.6	-0.1	0.4	0.8	-0.1	0.2	0.1	0.1	0.3	0.7	0.8	1.3
34	-0.1	0.2	0.6	-0.1	0.1	0.2	-0.1	0.2	1.0	1.4	0.8	
35	-0.1	-0.1	0.2	1.0	0.3	-0.1	0.2	-0.1	0.1	0.8	1.1	1.1
36	0.9	0.2	0.3	1.0	-0.1	0.2	0.1	-0.2	0	1.0	1.3	1.0

分 数 考号	题 号	一	二	三	四	五	五	五	六	六	七	八	九
37		0.6	0.4	0.6	0.9	-0.1	0.1	-0.1	0.3	0.2	0.9	1.2	1.1
38		-0.1	0.2	0.3	1.3	-0.2	-0.1	-0.1	0	0.1	1.0	0.7	0.4
39		0.2	-0.1	0.3	0.8	-0.2	0.1	-0.3	-0.1	-0.1	2.0	0.8	0.7
40		0.3	0.4	0.7	1.2	0.2	0.2	0.1	-0.2	0.2	1.5	0.5	0.9
41		0.6	0.3	0.5	0.9	-0.1	0.1	0.2	0.1	-0.1	0.9	1.1	0.6
42		0.5	0.2	0.8	0.9	0.1	-0.1	0.2	0	0.2	0.9	1.0	1.1
43		0.7	0.3	0.7	1.0	-0.1	0.2	0	0.2	0.1	1.0	0.7	1.2
44		0.5	0.3	0.4	0.6	-0.1	0	-0.2	0.1	0	0.8	1.0	0.8
45		0.2	0.5	0.5	0.9	0.4	-0.2	0.2	0.5	0.2	1.2	0.6	1.0
46		-0.1	0.2	0.3	0.7	0.3	0.2	-0.1	0	0.2	0.7	1.2	0.4
47		0.2	1.1	0.4	0.8	0.2	0.1	-0.1	0.1	0.1	0.9	1.0	0.5
48		0.2	0.8	0.4	1.2	-0.1	0.1	-0.2	0.2	-0.1	0.7	0.9	0.7
49		0.4	0	0.5	0.7	0.1	0.2	-0.2	0.1	-0.3	0.6	1.2	0.9
50		-0.1	0.6	0.3	0.5	-0.1	0.2	0.1	0.1	0	0.9	0.7	0.5
51		0.8	0.3	0.6	1.0	0.2	0	0.1	-0.1	0.1	1.3	0.5	1.4
52		0.6	0.2	0.3	1.0	0.2	0.2	-0.1	0	-0.1	0.5	0.6	1.2

7 - 2 和其他数据可得出表 7 - 3。表 7 - 3 反映了本次 A 卷测试的能力等级评定的全面情况。

表 7 - 3 物理实验能力测量 A 卷评定基本情况汇总表

考号	性别	答卷 时间 t (分)	能力施 用次数 N (次)	答 卷 速 度 V (次/分)	答 卷 质 量 M	计 分 起 点 n <sup>0</sup>	能 力 等 级 AL
01	女	106	74	0.70	4.6	5.0	8.2
02	男	60	72	1.20	6.9	5.0	13.3
03	女	105	69	0.66	4.1	5.0	7.7
04	女	81	77	0.95	4.5	5.0	9.3
05	男	106	87	0.82	5.3	5.0	9.3
06	男	95	62	0.65	4.0	5.0	7.6
07	女	106	76	0.72	5.8	5.0	9.2
08	男	105	78	0.74	6.0	5.0	9.4
09	女	112	75	0.67	5.4	5.0	8.6
10	男	95	72	0.76	4.8	5.0	8.6
11	女	80	51	0.63	4.1	5.0	7.6
12	男	93	74	0.80	5.4	5.0	9.3
13	男	75	80	1.06	7.2	5.0	12.6
14	男	75	78	1.04	6.0	5.0	11.2
15	男	75	66	0.88	5.8	5.0	10.1
16	男	75	78	1.04	6.7	5.0	12.0
17	男	68	62	0.95	5.8	5.0	10.5
18	男	60	71	1.16	5.1	5.010.9	
19	男	65	75	1.15	5.6	5.0	11.4
20	男	60	81	1.354.1	5.0	10.6	
21	男	55	70	1.27	6.0	5.0	12.6
22	女	95	75	0.78	5.1	5.0	9.0
23	男	89	64	0.72	5.0	5.0	8.6
24	男	101	61	0.60	5.0	5.0	8.0
25	男	97	73	0.75	5.2	5.0	8.9
26	男	110	75	0.68	4.8	5.0	8.3
27	女	98	71	0.72	6.1	5.0	9.4

续表

考号	性别	答卷 时间 t (分)	能力施 用次数 N (次)	答卷 速度 V (次/分)	答卷 质量 M	计分 起点 $n^0$	能力 等级 AL
28	女	98	82	0.84	6.0	5.0	10.0
29	女	90	69	0.76	5.4	5.0	9.1
30	男	100	70	0.70	6.3	5.0	9.4
31	男	105	82	0.78	5.8	5.0	9.5
32	男	102	65	0.64	4.4	5.0	7.8
33	女	100	61	0.61	5.1	5.0	8.1
34	女	104	60	0.58	4.8	5.0	7.8
35	女	104	55	0.53	4.4	5.0	7.3
36	女	105	70	0.67	5.7	5.0	8.8
37	女	105	75	0.71	6.1	5.0	9.3
38	女	106	63	0.59	3.5	5.0	7.1
39	女	125	73	0.58	4.1	5.0	7.4
40	女	105	80	0.76	6.0	5.0	9.6
41	女	105	68	0.65	4.9	5.0	8.2
42	男	113	75	0.66	5.8	5.0	8.8
43	女	100	71	0.71	6.0	5.0	9.3
44	男	112	60	0.54	4.2	5.0	7.3
45	男	110	80	0.73	6.6	5.0	9.8
46	女	110	66	0.60	4.0	5.0	7.4
47	女	110	68	0.62	5.3	5.0	8.3
48	男	110	62	0.56	4.8	5.0	7.7
49	女	107	59	0.55	4.2	5.0	7.3
50	女	100	52	0.52	3.7	5.0	6.9
51	女	90	75	0.83	6.2	5.0	10.1
52	男	106	72	0.70	4.6	5.0	8.1

### 1. 关于测量结果的分布

为了观察本次 A 卷测试结果的分布，对表 7 - 3 所列的能力等级采用 0.5 级的间隔分段，可得出本次测量的能力等级的频数分布（表 7 - 4），根据该分布数据绘制出的能力等级频数直方图与分布曲线，分别如图 7-11 和图 7-12 所示。

表 7-4 物理实验能力测量 AL 值的频数分布

分数 人数 AL 值	男 生		女 生		合 计	
	人数	占男生 %	人数	占女生 %	人数	占全体 %
6.5-6.9	0	0	1	4.0	1	1.9
7.0-7.4	1	3.7	5	20.0	6	11.5
7.5-7.9	3	11.1	3	12.0	6	11.5
8.0-8.4	3	11.1	4	16.0	7	13.5
8.5-8.9	4	14.8	2	8.0	6	11.5
9.0-9.4	4	14.8	7	28.0	11	21.2
9.5-9.9	2	7.4	1	4.0	3	5.8
10.0-10.4	1	3.7	2	8.0	3	5.8
10.5-10.9	3	11.1	0	0	3	5.8
11.0-11.4	2	7.4	0	0	2	3.8
11.5-11.9	0	0	0	0	0	0
12.0-12.4	1	3.7	0	0	1	1.9
12.5-12.9	2	7.4	0	0	2	3.8
13.0-13.4	1	3.7	0	0	1	1.9
合计	27	100	25	100	52	100

从图 7-12 可以看出，本次物理实验能力测量的 AL 值是一个明显的负偏态分布，在 8.5—8.9 与 11.5—11.9，12.5—12.9 段出现的小跳跃，完全不影响分布的整体形态。本节最后的部分将试图对这种分布的原因作出分析。

此外，还应说明，本次测出的 AL 值有相当一部分超出 10.0，给人的表面印象是比物理观察能力水平高。这是一个明显的误解。不同次的 A 卷的得分和 A 卷试题的计分点（特别是固定计分点）的多少直接相关。因此，只有等价试题，AL 值才具可比性。到目前为止，等价试卷（题）的概念还被限在同种能力的界域内，靠同种能力的层次、题型、题量以及各种相应因素的共同或类似来衡量判断。从宏观印象说，人们常能判断一个个体的这种能力强于另一种能力。从科学研究的角度，本书认为可暂不处理不同种能力的水平比较。其实，对知识水平的比较与判断，目前也处在类似的情况——力学考 80 分，电学考 70 分，只能说力学考得好，不能断言力学比电学学得好。那么，如果想要不引起实验能力比观察能力强的误解，只要令本次实验能力测量评定中的  $n^0$  取得小一点，即可使 AL 值基本分布在 10.0 级以内。

## 2. 关于测量的评价

本次物理实验能力测量的性质和观察能力测量一样，属常模参照性测



验。

内容效率。

依照第六章第三节中这一部分的相应思路和符号，给出表 7-5 所示的物理实验能力 A 卷命题双向细目表。表中补充代号 D，表示设计题。其余代号含义同上一章。[] 给出本次 A 卷题号，以方便读者根据表 7-5 评价本次 A 卷的内容效率。

表 7-5 物理实验能力测量 A 卷命题双向细目表

行为目标 题型与难度 取样范围	萌生	运用	施用	评价
照实验步骤操作		OS <sub>2</sub> (m) [四、一]		OS <sub>1</sub> (d) [四、]
设计表格记录数据			D <sub>2</sub> (m) [二]	
基本仪器、量具使用			OS <sub>2</sub> (e) [一]	
基本工具的使用	OS <sub>2</sub> (d) [九]			
误差的简单分析		P <sub>1</sub> (m) [三]		
根据课文拟就实验报告			P <sub>2</sub> (e) [七]	
设计简单物理实验	D <sub>1</sub> [d] [八]		D <sub>1</sub> (e) [八]	
应变实验中突出情况	P <sub>1</sub> (e) [五、]	P <sub>1</sub> (d) [五、]	P <sub>1</sub> (m) [五、]	P <sub>1</sub> (m) [五、]
寻找仪器代用品	P <sub>1</sub> (m) [六、]	P <sub>1</sub> (d) [六、]		

信度。

将本次 A 卷试题按自然题号分成两组，由表 7-2 中取出各题总分（见表 7-6），再根据各题总分计算出求信度的有关数据见（表 7-7）。

表 7-6 物理实验能力测量 A 卷各题总分一览

X 组	题号	一	三	五	五	六	八
	总分	24.2	22.3	2.4	1.2	2.7	51.1
Y 组	题号	二	四	五	六	七	九
	总分	8.3	47.9	6.5	4.5	54.1	47.1

表 7-7 计算物理实验能力测量 A 卷相关系数  $r_{xy}$  数据

项目	$X_i$	$(X_i)^2$	$X_i^2$	$Y_i$	$(Y_i)^2$	$X_i^2$	$X_i Y_i$
数据	103.9	10795	3708.6	168.4	28358	7571.0	3842.9

相关系数为：

$$r_{xy} = \frac{N \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{\sqrt{[N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2][N \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2]}}$$

$$= \frac{52 \times 3842.9 - 103.9 \times 168.4}{\sqrt{(52 \times 3708.6 - 10795)(52 \times 7571.0 - 28358)}}$$

$$\approx 0.71$$

则本次 A 卷的信度为：

$$r = \frac{2r_{xy}}{1 + r_{xy}} = 0.83$$

$r$  值表明，本次物理实验能力的测试可以接受。

### 3. 标准 AL 值

从表 7-3 可计算本次 A 卷测试中能力等级平均值：

$$\overline{AL} = \frac{\sum_{i=1}^{52} AL_i}{N}$$

$$= \frac{472.6}{52} \approx 9.1$$

由  $\overline{AL}$  和表 7-3 可算出本次测试的标准差：

$$S_{AL} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (AL_i - \overline{AL})^2}{N}}$$

$$= \sqrt{\frac{116}{52}} \approx 1.49$$

由  $S_{AL}$  值和  $\overline{AL}$  值，以及表 7-3 中每个人的 AL 值，用下式求出每个人

的标准 AL 值：

$$Z_{AL} = \frac{AL_i - \overline{AL}}{S_{AL}}$$

表 7-8 汇总了计算  $S_{AL}$  的数据及本次参试学生的标准能力等级。为下面讨论的方便，表 7-8 里对表 7-3 中相同的 AL 取出不同的精确值。

表 7-8 物理实验能力测量 A 卷  $Z_{AL}$  及  $S_{AL}$  计算数据一览

考号	性别	AL	$\overline{AL}$	$AL_i - \overline{AL}$	$(AL_i - \overline{AL})^2$	$S_{AL}$	$Z_{AL}$
01	女	8.22	9.1	-0.88	0.77	1.49	-0.59
02	男	13.3	9.1	4.2	17.64	1.49	2.82
03	女	7.71	9.1	-1.39	1.39	1.49	-0.93
04	女	9.28	9.1	0.18	0.03	1.49	0.12
05	男	9.34	9.1	0.24	0.06	1.49	0.16
06	男	7.60	9.1	-1.50	2.25	1.49	-1.01
07	女	9.2	9.1	0.1	0.01	1.49	0.07
08	男	9.44	9.1	0.34	0.12	1.49	0.23
09	女	8.63	9.1	-0.47	0.22	1.49	-0.32
10	男	8.64	9.1	-0.46	0.21	1.49	-0.31
11	女	7.58	9.1	-1.52	2.31	1.49	-1.02
12	男	9.32	9.1	0.22	0.05	1.49	0.15
13	男	12.63	9.1	3.53	12.46	1.49	2.37
14	男	11.2	9.1	2.1	4.41	1.49	1.41
15	男	10.10	9.1	1.0	1.00	1.49	0.67
16	男	12.0	9.1	2.9	8.41	1.49	1.95
17	男	10.5	9.1	1.4	1.96	1.49	0.94
18	男	10.9	9.1	1.8	3.24	1.49	1.21
19	男	11.4	9.1	2.3	5.29	1.49	1.54
20	男	10.6	9.1	1.5	2.25	1.49	1.01
21	男	12.62	9.1	3.52	12.39	1.49	2.36
22	女	9.0	9.1	-0.1	0.01	1.49	-0.07
23	男	8.6	9.1	-0.5	0.25	1.49	-0.34

续表

考号	性别	AL	$\bar{AL}$	$AL_i - \bar{AL}$	$(AL_i - \bar{AL})^2$	$S_{AL}$	$Z_{AL}$
24	男	8.0	9.1	-1.1	1.21	1.49	-0.74
25	男	8.9	9.1	-0.2	0.04	1.49	-0.13
26	男	8.26	9.1	-0.84	0.71	1.49	-0.56
27	女	9.39	9.1	0.29	0.08	1.49	0.19
28	女	10.0	9.1	0.9	0.81	1.49	0.60
29	女	9.1	9.1	0	0	1.49	0
30	男	9.41	9.1	0.31	0.10	1.49	0.21
31	男	9.5	9.1	0.4	0.16	1.49	0.27
32	男	7.82	9.1	-1.28	1.64	1.49	-0.86
33	女	8.11	9.1	-0.99	1.98	1.49	-0.66
34	女	7.78	9.1	-1.32	1.74	1.49	-0.89
35	女	7.33	9.1	-1.77	3.13	1.49	-1.19
36	女	8.82	9.1	-0.28	0.08	1.49	-0.19
37	女	9.33	9.1	0.23	0.05	1.49	0.15
38	女	7.1	9.1	-2.0	4.00	1.49	-1.34
39	女	7.38	9.1	-1.72	2.96	1.49	-1.15
40	女	9.6	9.1	0.5	0.25	1.49	0.34
41	女	8.19	9.1	-0.91	0.83	1.49	-0.61
42	男	8.83	9.1	-0.27	0.07	1.49	-0.18
43	女	9.26	9.1	0.16	0.03	1.49	0.11
44	男	7.27	9.1	-1.83	3.35	1.49	-1.23
45	男	9.8	9.1	0.7	0.49	1.49	0.47
46	女	7.40	9.1	-1.70	2.89	1.49	-1.14
47	女	8.29	9.1	-0.81	0.66	1.49	-0.54
48	男	7.69	9.1	-1.41	1.99	1.49	-0.95
49	女	7.31	9.1	-1.79	3.20	1.49	-1.20
50	女	6.9	9.1	-2.2	4.84	1.49	-1.48
51	女	10.15	9.1	1.05	1.10	1.49	0.70
52	男	8.13	9.1	-0.97	0.94	1.49	-0.65

### 三 几点讨论

限于篇幅，仅据以上资料做以下几点讨论。

#### 1. 从学生应试现场看教学中实验能力培养

在施用能力完成的过程中，试探性施用是正常的。然而，在本次A卷第一、四、九题的测试中，发现学生表现出的迟疑、犹豫、反复，已不属于正常的试探性施用。学生常常不是想好再试（有目的地试用），而是不想就干，边干边想，一想又改，从而使他们不能通过少数几次试用，就较快地走上解决问题的正确道路。即使在第四题，已给出明确的操作步骤，仍有相当多学生不是全读懂再做，而是看一点做一点，边看边做，都

快做完了，发现不对再返回题看全步骤，再做再改。这种情况给我们一个提示。在日常教学中培养学生的操作能力，应让学生理解并养成好的习惯：在具体操作之前需要有相对整体的观察、阅读、理解、计划，想出需要试探性操作的地方。而且，还应要求学生在日常生活中注意进行自我训练，如先从全文到完整段落，再到局部详细地阅读说明书，然后再进行仪器操作。

在卷面作答中，很多学生对第二题、第八题一挥而就，结果失分甚多。例如，学生答第二题时，只将表的主要格局列出，一填数据就完事。对表内每项的细节处理，既不知规范要求，更无遵循规范的习惯。很多学生不知道表头栏内的物理量应写出代号；在同一表中，单位有时写在数据后面，有时写在表头上，有时画括号，有时不画括号，有时用字母写单位，有时用汉字写单位；还很少有人有剔除粗差的意识等等。在答第八题时，则照搬课本上测金属块密度的实验步骤，不考虑题设的具体情况。

学生以上的这些表现，说明在教学中培养实验能力时，不重视讲清解决某类问题的规范要求，学生也不重视规范。造成这种现象的原因，从根源上说，恐怕与将实验能力等同于操作能力的理解有关。关于物理实验能力的内涵，形象地说，是以操作为基础，以思维为链条的，因此不能忽略实验能力中的任何思维成分。这种思维成分的重要表现，就是与各种实验问题相关的不同规范要求。对物理实验能力中思维与操作各自的内涵，请参看《物理教学论》的有关内容。

## 2. 对学生个人情况进行微观分析

确定个人在群体中的位置。

根据  $Z_{AL}$  值，可以知道个人在群体中的名次，以及在其后面还有多少人。不过，由于本次 A 卷的 AL 分布是较明显的负偏态分布，按下述方法估计的结果可能会略有误差。

对正  $Z_{AL}$  值，例如对 20 号考生， $Z_{AL}=1.01$ ，查书后附录，取较小部分对应值  $P(Z > 1.01)$ ，得出大于 1.01 的几率为 15.62%，则第 20 号考生的名次近似为

$$NP(Z > 1.01) = 52 \times 0.1562 \approx 8 \text{ (名)}$$

若取较大部分对应值  $P(Z < 1.01)$ ，表示在他后面的人的几率是 84.38%，具体人数为：

$$NP(Z < 1.01) = 52 \times 0.8438 \approx 44 \text{ (人)}$$

对负  $Z_{AL}$  值，如第 03 号考生， $Z_{AL}=-0.93$ 。查表取较大部分对应值  $P(Z > -0.93)$ ，得出在其前面的人的几率为 82.38%，则第 03 号考生名次：

$$NP(Z > -0.93) = 52 \times 0.8238 \approx 43 \text{ (名)}$$

若取较小部分对应值  $P(Z > -0.93)$ ，表示 17.62%的人可能在其后面，

具体人数为

$$NP(Z < -0.93) = 52 \times 0.1762 = 9 \text{ (人)}$$

经查核表 7 - 8, 可知第 20 号考生确为第 8 名, 其后有 44 人; 而第 03 号考生实为第 42 名, 后面尚有 10 个人。

分析一个考生物理实验能力中的薄弱层次。

即使获 A 卷第一名的学生, 在物理实验能力的不同层次也不都一样强。分析自己在某种能力的不同层次是否均衡发展, 可以有针对性地加强薄弱层次的能力培养。

比较简单和有效的方法, 是对照被测群体的各项平均指标进行个体分析。分析时, 不必注意微小的差异。微小的差异, 比如某人的答卷次数比参试群体的平均答卷次数高一次两次, 说明不了什么问题。分析的重点, 是在单题对照的基础上, 注重参考与其同类的题在整体上与平均指标的差距。如果同类题中的每一题, 分数都比相应的群体平均分低, 说明该学生在这类题所代表的能力层次比群体的平均水平低。进而, 在所有不同类的题都进行了上述这种比较对照后, 就可以找出与平均水平相差最大、次大的那几类题, 找出与其相应的能力层次, 它们就是该个体物理能力中较薄弱的层次。

例如, 本次 A 卷可将第一、四、九题归成操作类, 第三、五、六、八题归成创造类, 第二、四题归成规范类。当然, 取不同的标准, 也可以做另外的划分, 如将第二题与第八题分为设计类, 第五、六题归成应变类。总之, 对 A 卷试题的分类不是固定的, 可以从不同的角度, 不同的侧面进行不同的分类, 也可以对具体个体选择比较符合其实际情况的分类。

为什么不能像知识试卷那样, 根据各题的不同丢分情况, 简单地判断出知识的薄弱环节呢? 主要原因是, A 卷各题一般没有预定的满分, 从而就没有判断丢多少分标准。正是为了寻找可供对照的标准, 才给出参试群体的平均指标。而且, A 卷各题的单位分值  $n_0$  不同, 非固定计分点的个数不同; 得分多, 已不能反映该题所检测层次的能力就强。

下面以 06 号和 08 号考生为例, 说明如何用上述方法分析他们的具体情况。

两考生的测试情况可从表 7 - 1 与表 7 - 2 中取出, 为方便对照, 重列为表 7 - 9。考生所在群体本次 A 卷测试的各项平均指标, 也可从表 7 - 1 与表 7 - 2 中算出, 列入表 7 - 10。将每个人的情况分别与平均指标相比, 综合使用上面提到的几种归类, 不难得出以下结论。

第 06 号考生:

和平均水平比较——因能力施用次数少导致答卷速度慢; 创造性、应变性高于平均水平; 操作能力低于一般水平; 规范操作也较差。

自身各层次能力相比——操作能力是该生的薄弱环节, 创造性思维能力比操作能力强得较多。

对该生特点估计——好动脑，懒动手，平时学习欠细致。

表 7-9 两考生物理实验能力 A 卷测试情况一览

W

考号	性 别	时 间	次 数	速 度	题 号											质 量	AL	Z <sub>AL</sub>	
		t	N	V	一	二	三	四	五	五	五	六	六	七	八	九			M
06	男	95	62	0.65	0.2	0	0.2	0.6	0.2	0.2	0.4	0.2	0.1	0.5	1.0	0.4	4.0	7.6	-1.01
08	男	105	78	0.74	0.6	0.3	0.7	1.4	0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	2.0	0.8	0.7	6.0	9.4	0.23

表 7-10 物理实验能力测量 A 卷测试结果的平均指标 (参试 52 人)

分类	答卷时间	能力施用次数	答卷速度	题 号											答卷质量	—AL	
	t	N	V	一	二	三	四	五	五	五	六	六	七	八	九		M
总量平均值	4964	3660	0.74	24.2	8.3	22.3	47.9	2.4	6.5	1.2	4.5	2.7	54.1	51.1	47.1	272.3	9.1
	95.46	70.38	0.74	0.47	0.16	0.43	0.92	0.05	0.13	0.02	0.09	0.05	1.04	0.98	0.91	5.24	

第 08 号考生：

和平均水平比较——N 值与 t 值都高于平均指标，但 V 值却相同，说明其他相关能力（如阅读能力、理解能力、书写能力等）可能稍差；操作能力稍高于平均水平；规范性也较好；创造性和应变性差得较多。

自身各层次能力相比——创造性、灵活性是较突出的薄弱环节。

对该生特点估计——学习细致认真，踏实，但脑子反应较慢。

### 3. 物理实验能力水平的性别分化

物理实验能力水平会有一些性别分化，原在预料之中，因为生活中的经验与教学中的观察印象，总是男生的动手能力强一些。然而，考虑到物理实验能力不只是动手能力，所以这种分化亦不应很大。但是，本次测试的结果却与这种分析和预料相差甚远，物理实验能力的性别分化比估计的大得多：从表 7-4 可看出，AL 值大于 10.5 级的学生共 9 人，竟均为男生，约占应试男生 27 人的 33%。进一步的分析可以发现更有意义的问题。

如果观察一下 AL 值的低段，并没有呈现合乎高段逻辑的结果——低段应全是女生。在小于 8.4 级的分布中，除最后的一个 0.5 间隔外，大部分分段中男生也还占有相当比例：从 8.4 到 7.0 级的段落中共有 20 名学生；男 7 人占该段总人数 35%，占男生总人数的 26%；女 13 人，占该段总人数 65%，占女生总人数的 52%。综合物理实验能力 AL 高段与低段的性别分布情况，比较合理的结论应该是：物理实验能力的性别差异，只具有生理性的自然取向，并不具有生理性的必然归属。如果此结论成立，那么，提高女生的物理实验能力是完全可能的。如果此结论不成立，即女性的实验能

力，或物理实验能力必然要差，那就应该尊重事实，扬长避短地去培养男、女生的不同能力。当然，这完全是一个需要继续研究的问题，但从本次测试结果来看，偏向肯定前一结论。

如果对男生和女生的本次 AL 值分别进行统计，分别绘制他们在本次 A 卷测试中各自的 AL 分布曲线，可得到一个有趣的性别分布曲线（图 7 - 13）。

图 7 - 13 表明，女生曲线虽已完全不是负偏态分布，但对图 7-12 所示的整体负偏分布却起了决定作用。对图 7-13 进行具体分析可知：一方面，男生的 AL 值分布较广，故曲线相对平滑，跳跃间隔较宽；女生的 AL 值分布密集，故曲线相对尖锐，跳跃间隔较窄。另一方面，随 AL 值的变化，男生人数变化的幅度较女生小得多，男生曲线的跳跃幅度小，女生曲线的跳跃幅度大。AL 值分布范围的差异比较容易解释，它表现了生理性的自然取向。如何解释男女生随 AL 值变化而表现出的人数变化幅度差异呢？

注意到男女生的人数原和基本相当，又都是在同一个教学环境下学习的，参加本次测试的外部条件亦相同。那么，造成这一差异的原因理应属于内在因素。再注意到内在因素主要是生理的、心理的、健康的，将健康因素暂放一边。生理因素可作为群体划分，在一个群体内其影响应表现有共同趋势；而心理因素则多因个体而异，人和人之间相差很大。

那么，男生曲线的 AL 分布广，随 AL 变化的人数变化幅度小，这种整体的平稳偏向说明，在目前的物理实验能力的培养中，对男生而言，生理因素的影响大于心理因素。与男生相反，女生曲线整体上表现出的不平衡，说明在目前的物理教学中，影响女生物理实验能力发展的是一些心理因素。由于个人的随机的原因形成对物理实验的兴趣、动机、重视程度、毅力等心理因素的强弱分化，进而造成女生人数相对集中在几个 AL 值段。

现在，将这一分析和前面讨论中所谈到的倾向性结论——物理实验能力的性别差异，只具有生理性的自然取向，并不具有生理性的必然归属——联系起来，可以推出教学中提高女生物理实验能力的基本途径，乃是抓住心理导向。这一结论对物理教学实验，具有确切的方法论意义。

为了进一步分析女生物理实验能力水平较男生低的具体原因，以对教学实际提出较为具体的建议，可分别统计本次 A 卷中男生和女生的能力施用次数与参试时间，分别统计各题的得分情况（表 7 - 11）。

表 7-11 物理实验能力测量 A 卷指标的性别分类统计



数据分类 项目	总分		平均值	
	男(27人)	女(25人)	男生	女生
答卷时间 t(分)	2417	2547	89.5	101.9
能力施用次数 N(次)	1945	1715	72.0	68.6
第一题	13.8	10.4	0.511	0.416
第二题	4.3	4.0	0.159	0.160
第三题	12.0	10.3	0.444	0.412
第四题	24.9	23.0	0.922	0.920
第五题	1.6	0.8	0.059	0.032
第五题	3.0	3.5	0.111	0.140
第五题	0.5	0.7	0.019	0.028
第六题	3.4	1.1	0.126	0.044
第六题	1.7	1.0	0.063	0.044
第七题	29.0	25.1	1.074	1.004
第八题	26.8	24.3	0.992	0.972
第九题	26.2	20.9	0.970	0.836

从表 7-11 看出，女生的能力施用次数平均每人比男生少 3.4 次，而所费的时间却平均比男生多 12.4 分。据该表数据可算出男生的答卷速度的平均值应是 0.80 次/分，而女生为 0.67 次/分。速度的差距不会由于阅读和书写引起，主要由物理实验能力中的思维成分与操作成分（单独或同时）引起。

继续分析表 7-11，可知女生与男生间答卷速度差距的主要原因在哪里。先看操作类题目。从 A 卷第四题看，男女生的平均分基本一样，这表明在给出明确操作步骤的条件下，男女生的答卷速度差距不大。第一题，女生平均较男生低 0.095，第九题低 0.134。这两个数据说明，女生在学习过的实验操作方面，要比生活中实用性工具操作方面较男生的差距为小。再来分析创造、应变类的题目。第五题中，第 一 小题女生得分较男生少，但第 二、三 题却比男生多；整体的总分也要高于男生。第六题中，女生每题都较男生为低。这两大题的区别，就内容而言，第六题更偏向于以日常生活观察和体验为基础。将这一点与上面第一、九题的分析结合起来，说明女生在物理实验能力方面表现出的差距，主体原因在于对生活中与物理有关的观察、操作、创造等活动不感兴趣；而不是在泛义的操作与创造能力上与男生有差距，亦不是在物理实验能力的其他方面有多大差距（从第二题看，女生在规范性上高于男生）。这恐怕正反映了性别对物理实验能力发展的自然取向作用所具有的一种重要表现形式，也提示教师应重视结合生活中物理现象进行物理教学，应重视要求学生在生活中运用物理知

识、培养物理兴趣。

## 第八章物理归纳能力 的实际测试

本章用等价排除法检测物理归纳能力的实例,是1995年4月在北京海淀区一所一般学校高一(2)班施测的。测量前向该班物理教师提供了:物理归纳能力A卷及与其配套的K卷试题各一套。实际测试中,K卷试题又经任课教师针对班级实际情况做了修改。

A卷检测采用定量计时法,以学生自己记录的答卷时间计算答卷速度。

本章命题针对高一年级学生。命题思考中所涉及的一些概念,请参阅本书第四章第三节与第四章第五节中的有关内容。

为了避免与前两章的讨论角度重复,本章基本上不再进行分析式的讨论。

## 第一节 试题与命题

### 一 A 卷试题

本次 A 卷测试时，教师需备有一些平面直角坐标纸，以备学生解答本卷最后一题时索用。学生正式答卷前，教师须向学生讲清能力答卷与知识答卷的区别，强调要充分发挥出自己的能力，并详细讲解答卷注意事项。学生自带计算器。

#### 物理归纳能力的测量（能力卷）

学校\_\_\_\_\_班级\_\_\_\_\_姓名\_\_\_\_\_

性别\_\_\_\_\_考号\_\_\_\_\_答卷用时间\_\_\_\_\_

答卷注意事项：

1. 要使答卷最大限度地体现你的分析归纳能力。
2. 先整题审题，看清全题的要求以后再逐小题（逐步）作答。
3. 语言表述力求明确、清楚。
4. 用钢笔或圆珠笔在附纸作答，标清题号，不抄题。
5. 答卷完成后注意填写答卷所用时间。

一、船先停在船台上，后来下到水里漂在那儿；人原先坐在游泳池边沿上，随后站到水里；一只鸭在塘边站了一会儿，又浮到池塘水面上呆着；树上的一个鸟巢，被风刮落在水上……

写出几个类似的例子，然后尽可能多地找出这些现象之间的相同点。

写出你根据这些相同点所能归纳出的所有一般性结论。例如由相同点：陆上的质量和水中的质量都一样，得出：物体入水前后，质量不发生变化。

审查你得出的一般性结论。在审查时又觉得怀疑的结论，后面用[?]标明，也可在中括号内注明理由；对审查觉得不对的结论，在后面所加括号内写出一个反例。

二、用凸透镜在阳光下可点燃一根火柴，又用它点燃一堆干枝。试分析这一过程中都涉及到哪些相关的物理量？从这一实际过程你能归纳出几个一般性结论？写出你想到的一切相关物理量和归纳出的所有一般性结论。在你认为需要再进行验证才能确定其是否成立的归纳结论后面画出[?]

三、想想你学过的物理规律（如下面一些定律），尽量多地说出：物理规律都有什么特征？再根据相关的特征尽可能多地做出归纳推理。

胡克定律：在弹性限度以内，弹簧的伸长与所受的拉力成正比（ $F=kx$ ）。

部分电路欧姆定律：在直流电路中，通过导体的电流和加在导体两端的电压成正比，和导体的电阻成反比（ $I=U/R$ ）。

玻-玛定律：一定质量的气体，在温度不变的情况下，压强和体积成反

比 ( $P_1V_1=P_2V_2$ )。

四、在下述各题中，尽量多地找出能表明题中各项内容相同特征的那些物理词汇。再从中找出相关的相同特征，做出尽量多的归纳推理。例如第 小题：由相同特征：都内含多个物理量，均采用比的数字形式；归纳出：多个变化物理量中有不变的比值，常反映物质本身的属性。

小鸟被箭射中；落下的石块把沙滩砸成坑后静止。

太阳系在银河系中转动；电视屏上满是尘埃；指南针的北极向地球磁场的南极偏转。

摩擦生热；举起杠铃；急刹车。

汽油、氢气、食油。

比热、密度、电阻率。

(附参考知识。电阻率：材料不同，其导电能力不同，如铜比铁的导电能力强，银比铜的导电能力更强。描述不同材料导电能力强弱的物理量是电阻率，它定义为：长度为 1m，横截面积为  $1\text{mm}^2$  的导体的电阻，称为该种导体材料的电阻率。电阻率是导体本身属性，一般情况下，材料不同，电阻率亦不同)

五、用三种不同材料分别做成体积相同的三个小球，陆续放进一个盛满水的透明水槽的中间。放手后发现：

A 球很快上升到几乎全部露出水面，一会儿又慢慢下沉了相当一部分，然后漂浮不动了。

B 球和 A 球最初一样，可后来 B 球下沉到刚好全部浸没水中。用手触之，发现推它到哪儿，它就停在那儿不动。

C 球最初也和 A 球一样，但 C 球很快就一直沉到水底。

将三球取出后，发现它们的体积没有明显变化。

请写出你由此实验现象归纳出的所有结论，并在其中你认为一定正确的结论后面画出[ ]。

六、海绵厚垫可以使撑杆跳高运动员从 4 米多高的标杆处落下而不受伤。从生活中举 1—2 个类似实例，然后在分析这几个例子的基础上再得出一些一般性结论。写出例子与分析过程，然后再写出一一般性结论。

七、假设通过实验分别获得以下两个规律：

当环境温度、通风条件、蒸发面积都相同时，水的蒸发速度与水温的关系为  $v=f_1(t)$ 。

当环境温度、通风条件、水温都相同时，水的蒸发速度与蒸发面积的关系为  $v=f_2(s)$ 。

试表述在环境温度与通风条件都恒定时的蒸发现律。

八、下面是某物体运动过程中测出的位移  $s$  和时间  $t$  的数据记录，试根据该记录找出  $s$  随  $t$  变化的规律（若需用辅助用品，请用字条向教师索取）。写出你确定  $s$  与  $t$  变化规律的理由或寻找过程，并对该物体运动过

程中的规律性用语言加以归纳表述。

物体运动 起止点	所测 物理量	测量次数				
		1	2	3	4	5
A—B ( $v_0=0$ )	时间 t(s)	0.55	1.09	1.67	2.23	2.74
	位移 s(m)	0.2511	0.5052	0.7493	1.0014	1.2547
B—A ( $v_0=0$ )	时间 t(s)	0.89	1.24	1.52	1.76	1.97
	位移 s(m)	0.2545	0.5009	0.7450	1.0036	1.2549

## 二 K 卷试题

物理归纳能力的测量 ( 知识卷 )

学校\_\_班级\_\_姓名\_\_

一、用线段联接所有直接相关的概念：

透镜

比热

形变

密度

摩擦生热

阻力做功

刹车

吸水

合力为零

聚焦

物质

燃点

透光量

静止

二、解释名词：

1. 悬浮 2. 势能 3. 动量定理

三、从括号内选词填空 ( 可不用或重复使用同一个词 )

( 物体 液体 气体 流体 形变 吸引 碰撞 冲量 冲力 平均冲力(11)上浮(12)下沉(13)漂浮(14)悬浮(15)压强(16)液体内部压强(17)势能(18)动能(19)浮力(20)重力(21)支持力(22)平衡力(23)质量(24)体积(25)颜色(26)密度(27)燃点(28)比热(29)吸水率(30)作用时间(31)阻力做功(32)克服阻力做功(33)增加(34)减少(35)二(36)三(37)正(38)负 )

1. 举重是重力做\_\_功，势能\_\_。被举物若突然掉下，\_\_将变动能。若落地弹起，其过程是一\_\_过程，由于\_\_太短而造成\_\_太大，使水泥地面损坏。若落在软垫上，重物最后静止时动能被\_\_消耗，此时的阻力实际是软垫由于\_\_而产生的弹力。若落在水中，重物一直下沉是由于\_\_小于\_\_，最后它沉到水底时受\_\_个力，分别为\_\_。

2. 海绵、木头、煤油的\_\_不同。用这三种材料做成的物体，浸没水中都会\_\_，因为此时各自的\_\_大于\_\_，从而使它们最终\_\_在水面，此时\_\_等于\_\_。其实，把这三个物体放在任何\_\_中都受到浮力。但\_\_中的浮力是由物体上下表面受到的\_\_差产生的，而液体内部的压强又是由自身\_\_形成

的；\_\_中的浮力与压强是由分子的\_\_产生的。

#### 四、填空

1. 用适当的词表述下列现象中能量是如何转化的。双手相互摩擦感觉暖和是\_\_转化为\_\_。弹弓能将石子射出是\_\_转化为\_\_。树上的苹果落下来越落越快是\_\_转化为\_\_。

2. 匀速直线运动中  $s$  与  $t$  成\_\_，比例系数是\_\_。初速为零的匀变速直线运动中  $s$  与  $t$ \_\_，比例系数是\_\_。

3. 带电体之间的静电力有\_\_力与\_\_力，磁铁的两极间有\_\_力与\_\_力。中性的两个非磁性物体间具有\_\_，它使物体在地球上具有\_\_，使\_\_绕地球转动。

4. 函数的表示法有\_\_法，\_\_法与\_\_法。 $y=f(x)$  中的  $f$  表示自变量间的一种\_\_，如在  $y=3x^2$  中， $f$  代表\_\_。在  $a=F/m$  中，若对一个确定的物体而言，该式表示因变量  $a$  可看作自变量  $F$  的\_\_，其\_\_应为  $m^{-1}$ 。

五、据单摆周期公式画出  $L=f(T)$  的图象。(  $g$  取  $9.86\text{m/s}^2$ ， $\pi$  取  $3.14$  )

#### 三 对 A 卷命题的基本思考

考虑到高一学生已学习了两年多的物理，命题基本可涉及到物理归纳能力的各个层次。为了让学生充分发挥能力，除必要处外，应尽量以开底形式命题。

第一题测试目的是通过寻找归纳对象的相同点，正确判断需归纳的内容；以及检查对不完全归纳的结论是否具有正确的处理意识。测试的重点，是根据日常的观察和生活经验的积累，进行不完全归纳，以及对不完全归纳或然性的理解。学生使用的物理思维能力外显，一般有联想、分析、比较、综合、抽象。本题中使用的抽象方法，其特点是和归纳的角度有关：欲从不同角度对同一类对象进行归纳，如从质量、体积、运动状态、受力分析等不同角度选用概念时，抽象掉的非本质因素会不尽相同。

题目给出的四个例子，均属一个物体的位置变化，因此中间要用一个和时间序相关的词。之所以不采用“一只船停在船台上，另一只船（或另一只同样的船）漂在水里”的表述形式，是不想涉及两个物体的状态对比。用一个物体随时间变化的物理图景命题，主要考虑突出物理过程中的各种因素是否发生变化（如质量、体积等本身因素，速度、加速度、能量等运动状态参量，以及功、热量等过程参量），从而引导和暗示学生在分析物理过程，寻找物理规律的时候，使用归纳方法。

寻找相同点是归纳推理的基础之一。第 1 小题给出较多的实例，是让学生便于从中正确找出相同点以后再举例，避免只受某一题中的某一个特点的影响就想去举例，否则将直接干扰第 2 小题的作答。第 2 小题给出一个实例，只是为给学生开扩思路，降低难度。这是考虑到学生很不熟悉本卷中的能力题型，最初答卷会有困难。若不是此情况，本小题的例子可以不给。第 3 小题中只要求给出一个反例，不是为了省时间，而是从逻辑角

度讲，欲否定一个一般性结论，只需一个反例即够。此外，由于对不完全归纳结论要侧重强调其或然性，因此第 1 小题在体现“评价”的行为目标时，采用让学生从怀疑和否定的角度去审查归纳结论。

第二题测试目的是通过寻找物理量之间的制约关系，正确判断需归纳的内容，以及对简单枚举归纳是否有正确的处理意识。测试的重点是根据物理实验与生活经验进行简单枚举归纳。学生解题中涉及的物理思维能力外显，主要包括想象、分析、综合、抽象。由于本题所示的实验过程并不让学生实际完成，从而使本题中的想象运用，具有以生活经验和物理实验表象为基础的特点。

本题选择凸透镜在阳光下聚焦的实例，一是考虑它易于和学生的生活经验结合，基本满足命题双向细目表（表 8 - 4）的要求；二是考虑该过程涉及的物理量较多，它包括阳光的强度，聚焦的时间，凸透镜的孔径与焦距，火柴与枯枝的不同燃点，火柴杆的长度，枯枝的点燃时间等诸多物理量，便于学生从较广泛的角度做不同的归纳。

第三题和第四题的测试目的是一个，要测试在较广泛的范围内如何正确地找出归纳内容。第三题的测试重点是根据物理规律的相同点进行归纳，第四题的重点则放在物理现象、过程与物理概念。这两题合起来基本概括了学生在学习物理过程中常遇到的，需要进行归纳的情况。学生使用的物理思维能力外显，主要涉及到联想、分析与比较。

第三题的内容比第四题抽象，虽然给出了三个具体规律，但并不是要求学生仅从这三个规律中寻找相同点，而是以其为例去寻找物理规律的相同特征，所以学生联想到的也都是抽象内容。但是第三题的难度也因此而较第四题小一些，因为抽象会使某些共性的东西更明显，更容易寻找。另外，物理规律在条件、结论、因果关系、解析表达式等方面与几何定理的相似，也使物理规律的共同特征，较物理概念、物理现象与物理过程的共同特征更容易寻找。该题作为规律实例给出的三个例子，暗示了三种不同的情况，帮助学生在寻找物理规律的共同特征时克服盲目性：胡克定律强调物理量的因果关系，欧姆定律是多变量研究的典型，玻 - 玛定律强调的是物理量相互间的依赖与制约，而且给出了单变量研究的具体结论。

第四题的第 1、2 小题均属于物理现象，一题偏重能量，一题偏于重力；第 3 小题属于物理过程；第 4、5 小题属于概念范畴，其中一题是从实物直接抽象得出的概念，另一题是从概念再抽象而得出的多重抽象概念。为了降低该题难度，选择了集中反映物质属性的三个抽象度不高的概念。第四题是本次 A 卷中难度较大的题目之一。其难主要来自三处。首先是相同点的寻找。和第一题不同，本题是从实际不同的事物中找出高于事物本身层次的相同点，这样就使寻找的难度增加很多。其次在于确定归纳的内容。归纳的内容实际是所找相同点之间的共性联系。在第一、二题中，这种共性联系比较明显。如第一题中，不同物体在陆上，在水中，先在陆



而入水（时间差）以及物体都有质量等等，是四个相同之处；而入水前后的质量不变中的“不变”，则是这四个相同点之间的共性。此共性较明显。又如第二题，阳光、时间、燃点，是该过程中相关的三个量；阳光强、时间长、材料燃点高，是用凸透镜在太阳下易于点燃某物的共性条件。此共性条件在该物理过程中，也较明显。相形之下，本题各不同物理图景之相同点间的共性关系，并不那么明确。这一点，对学生来说可能是最大的难点。第三个难，是在第 、 两题中，学生非常容易将归纳混淆于概括，比如，只据一个相同点就做出判断；或没能找出一般性结论所要求的条件，就将某相同点像属性一样直接扩展到同类事物；如此，都极容易形成概括。例如在第 小题中答出：“它们都是流体”；在第 小题中答出“物理常数都有单位”。前者是正确的概括，后者是错误的概括，然而无论哪个，都不是归纳。考虑到以上讨论的一些问题，为了降低难度，命题时对较难的第 小题给出了一个实例。

此外，根据第六章第二节对物理观察能力测量 A 卷第四题的命题分析中已指出的原因，本卷第四题第 小题将高一学生未学习过的电阻率概念，附在该题后面，而不在 K 卷中涉及。

第五题的测试目的，是通过寻找物理实验现象的特点和共同点，正确归纳出物理实验的结论，以及检查对完全归纳结论的处理意识。测试的重点是物理实验中的完全归纳。学生使用的物理思维能力外显，主要涉及到想象、比较、分析与综合。本题中的想象与第二题不同，是以物理实验的表象与有关的物理概念规律为基础。由于在削弱生活经验所起作用的同时，又没将知识相对集中在流体静力学的范围，使本题中的想象对物理知识好的学生要相对容易一些。而第二题中的想象则对具有观察习惯、杂闻博览的学生来说相对容易一些。

据本题实验现象做出的归纳，并不一定是完全归纳。例如当归纳为下述结论时，它只是从有限个具体事实做出的归纳：当物体吸入液体的重力与物体本身的重力之合力小于物体所受浮力时，物体将上浮并最后呈漂浮状态。由于很难穷尽归纳的对象，使物理学研究中完全归纳的情况较少见。本题也不是在穷尽所有吸水材料这一层次上具有完全归纳的意义，而只是在下述两个层次上才具有完全归纳的意义：一是仅涉及到三种材料或三个物体的归纳；另一个是涉及到漂浮、悬浮、沉底三种运动状态或涉及上浮、悬浮、下沉三种运动过程的归纳。前者穷尽了本题的运动主体，后者穷尽了物体浸没液体后的运动情况。例如，三种材料都是吸水材料，是属于前一类的完全归纳。浸没水中的非溶性吸水材料，吸水后或是上浮，或是下沉，或是悬浮，是属于后一类的完全归纳。由于本题含有完全归纳与其他类归纳推理，因此在题目的表述中，用“一定正确”的字样来体现命题双向细目表中对完全归纳的“评价”行为目标。

在题目的表述中，还给出了三个小球体积相同的条件，这主要是为了

通过减少可变因素来降低题目的难度。对三个小球上升到水面以后的运动，题目采用不同的语言描述，如“一会又慢慢下沉”、“随后很快就”等等，其目的是暗示吸水过程的存在与吸水速度的不同，以便于学生拓宽归纳的内容，例如归纳出：不同的吸水材料可具有不同的吸水速度与吸水量。

第六题的测试目的放在科学归纳，重点是对生活中的物理事实进行科学归纳。学生使用的物理思维能力的外显，涉及到分析、联想、演绎。

由于物理教学中并不向学生讲解科学归纳，而且由于各种原因，教学中引导学生进行科学归纳的范例也不是很多，因此，命题时在题目的表述中写出“在分析这几个例子的基础上再得出一般性结论”。这样，就以解题要求的形式，引导学生进行科学归纳。另外，本题所举实例是以  $t$  延长减小冲力，归纳的方向较窄，但是由个别上升到一般的内容点却并不仅有一个，其分布为：被归纳的对象，运动员——物体，归纳结论成立的条件，海绵—柔软体、弹性体；归纳结论本身，不受伤——完好、不受损坏等等。由于归纳并不一定将三个内容同时上升到一般，所以得出的归纳推理不是唯一的，故题目仍要求写出“一些”归纳结论。

第七题的测试目的，是对实验结论进行归纳的规范表述。和第三题比较，本题侧重对多变量的已有结论进行进一步的归纳。涉及到的物理思维能力外显主要是综合，此外还涉及一些数学上的知识和能力。

采用假设实验命题，主要是为回避对单变量结论进行综合过程中的具体数学推证，回避日常教学中形成的下一误解：一个物理量与两个物理量分别成正比，就与这两个物理量的乘积成正比。在假设实验中，不给出单变量研究后的具体数学解析式，希望以此来暗示学生，不要将物理量之间的关系都理解成“比”或“积”等简单形式；进而，启发学生对能否总用“积”的运算综合两个单变量的实验结论产生质疑。采用学生熟悉的蒸发作为多变量的载体，一是考虑学生对该图象都很熟悉，是小学、初中都重复过的内容，将其引入新思路，易让学生较自然地把思维集中到多变量的综合点去思考；二是从熟悉的内容中提出问题，有利于活跃学生的思维，认识到学无止境。

第八题的测试目的与上题相同，但测试重点放在对数据的分析处理与归纳。学生使用的的能力外显，要涉及到物理实验能力中的数据处理方法，物理思维能力中的分析、比较、综合，以及用数学解决物理问题能力中的一些具体方法和某些技巧。

题设运动是一个往复运动，一往一复分别是匀速直线运动和匀加速直线运动。这样命题的主要考虑，是在学生的知识范围内，增加测试重点处的容量。本题是本卷中另一道难度较大的题。其难点，首先在于数据采用了较严格的有效数字，从而使比例关系既不明确又不很准确，需要使用近似方法得出比例关系。这样处理的目的是，考虑能力的实质是要完成实际

任务，而不是只完成“半成品”式的习题任务。由于教学中很多教师习惯使用整理得比较规整的数据（即所谓“半成品”），学生会对本题的数据很不习惯。其次，难点在于匀加速运动中的平方正比关系，不易从数据表中直观看出，须做精确的数学运算才能判断。题目之所以没有给出实验过程图示，是因为从表格中的起止点一栏，已可以较容易地判断出往复运动。题目中的“辅助用品”，主要指平面坐标纸或直尺。考虑到减少学生间的相互启发，题目中要求学生在需要时要书面索取。对某些学生来说，用图象法找规律要比用数据分析法找规律更为容易一些。题目最后要求归纳出“物体运动过程中的规律性”，既暗示出该题实验的目的，又指出了本题第一问（分析  $s$  随  $t$  变化规律）的目的。因此这一问的意义，使最后答案不能够停留在数据自身的数学关系，还要涉及到运动的往复、初态、末态，主要过程的运动性质，以及初末态与运动主过程之间的变化等等。这样，命题将使水平高的学生的能力有了发挥的余地。

## 第二节 评定与测量结果

本节将讨论本次测试中 A 卷的评定标准与评定实例，以及本次 A 卷测量的情况与评价。

### 一 关于 A 卷的评定

物理归纳能力的 A 卷评定较为简单。能力施用次数基本上和物理观察能力 A 卷评定一样，可按各题计分点处的实际表现统计，个别不计的地方将在具体题目的计分点处给予说明。在规定计分点处漏答，需计负分的计负分，但不计能力施用次数。答卷时间即采用学生卷面上自填的时间。

本次 A 卷计分起点定为零，即  $n_0=0$ 。这是因为就实际阅卷的结果看，答卷质量 M 值的分布基本都在 10.0 以内，且没有负值。各题的单位分值  $n_0$  与某些题的答案分述如下。

#### (1) 第一题。

第 小题：对所举实例，计分点分布在每个例子的后半句，共三个基本计分点，分别为表示或暗示时间性的词语，指出液体的词语，以及表示静止状态的词语，各为  $n_0=0.1$ 。在上述三处，所举例子缺漏一处或错误一处，均计负分。在所答例子中，若物体为吸水材料，不计负分；但为速溶性材料要计负分。对各实例间相同点的分析，每一个相同点的单位分值为 0.1，以物理、化学、数学中的科学概念判断其是否正确，决定计正分还是计负分。对虽然是正确的相同点，但不属数理化范围的，可不计分。第

小题：对答案中每一个完整的（即有结论的）归纳表述，计分点分布在三部分：归纳对象、归纳结论与归纳结论成立的必要条件。各部分内所含每个独立的成分（如诸多条件中的每个独立条件）是一个计分点：对归纳对象及归纳结论，每个计分点  $n_0=0.1$ ，对归纳条件， $n_0=0.2$ 。

在归纳对象和归纳结论中，没使用一般性词汇进行表述的，计负分。一般性词汇用错的：在归纳对象，要计负分；在归纳结论，只对那些按学生水平本来可采用一般性词汇表述而未使用一般性词汇的，计负分。对非此种情况，可不计分，既不计负分也不计正分。对归纳结论本身就属错误的情况，也按此精神处理。这是因为，归纳推理的结论，其本身就是或然性的；但在学生已熟悉的知识范围，又不允许归纳错误。所谓“一般性词汇”，这里是指相对被归纳内容原用的词汇来说，更具普遍意义的词汇。

在归纳的整体表述中，若出现概念前后不谐调的情况，每出现一次计一次  $n_0^-=-0.2$ 。

例如答案为：固体与机油后来的状态都是合力为零与静止。计分如下：“固体”属一般性词汇， $n_0^+=0.1$ ，“机油”，非一般性词汇， $n_0^-=-0.1$ ；“后来的”属错误条件， $n_0^-=-0.1$ （正确条件应为“在水中”或“在液体中”）；“状态”为一般性名词，“合力为零”与“静止”为结论中两个一般性词汇，三个共计  $3n_0^+=0.3$ ；但作为归纳对象的“状态”与作为归纳结论的“合力为零”，属概念不谐调——状态）相应的结论是静止，静止

状态之因才是合力为零——计  $n_0^- = -0.2$ ；综合，该答案得分  $n_0 = 0$ 。

第 小题：只考虑学生在答案后括号内写出的内容。括号内的内容计分点分布在每一个问号、每一个独立的理由，以及每一个反例， $n_0 = 0.2$ 。

若括号前的归纳原本不正确，括号内画了问号，写出了反例，不管反例本身正误，均分别计一次  $n_0^+$ ；对反例本身错误的，在错误点记一次  $n_0^- = -0.1$ 。

若括号前的归纳原本是正确的，括号内又画了问号，写了反例，均分别计一次负分。

(2) 第二题。

每一个相关的物理量为一个计分点， $n_0 = 0.1$ 。若所答并无明显相关的关系，计负分。相关与否的判断，以题设过程中各环节间的直接相关为标准，即由直接相关的物理量再经演绎得出的物理量，不能算为直接相关。另外，相关的非物理量不计分。每一个归纳结论，除下述指出的情况外，均可参考第一题第 小题的计分标准处理：涉及到热量向空间散发，或不可逆等问题的归纳，对归纳的结论及结论的成立条件，每个计分点  $n_0 = 0.2$ 。在相关量中提出能量、热能、热量、辐射的，每个可计  $n_0^+ = 0.2$ 。由于本题属简单枚举归纳，每一个归纳结论都应划上[?]。因此，每一个[?]，计一次  $n_0^+$ ，没有问号的，每个结论计一次  $n_0^-$ ，但不计能力运用次数， $n_0 = 0.2$ 。

(3) 第三题与第四题。

对相同特征，两题的计分方法均参考第一题第 小题的计分标准处理。对归纳的计分，均参考第一题第 小题的计分标准处理。对将概括混淆于归纳的情况，无论概括正确与否，一律不计分。这是考虑到在目前的教学情况下，学生区分这两者困难较大而采取的临时措施，目的是避免出现大量负分。

(4) 第五题。

本题评阅时须首先注意分清学生的答案属完全归纳，还是不完全归纳。凡涉及到三个小球，或三种材料共性，属于完全归纳。例如，三个小球所受浮力均大于自身重力，三种材料的密度都小于水的密度，三种材料都是吸水材料等等。除以下所指出的情况外，不管是完全归纳还是不完全归纳与简单枚举归纳，计分点的分布与单位分值均参考第一题第 小题处理：在归纳对象中所用一般性词汇为材料或物质；在归纳条件中指出了非溶性、吸水性；在归纳结论中涉及到吸水率、吸水速度；上述情况下该计分点单位分值  $n_0 = 0.2$ 。

在正确的完全归纳后面画[ ]的， $n_0^+ = 0.2$ ，未打[ ]者，计负分。在进行完全归纳时发生错误，无论有无[ ]，均计  $n_0^- = -0.2$ 。在正确的非完全归纳后面打[ ]，计  $n_0^+ = 0.2$ ，不打者不计负分；在错误的非完全归纳后面打[ ]，计  $n_0^- = -0.2$ 。归纳的正确与错误可用正确的物理图象和规律对学生卷面所答内容做出判断。

(5) 第六题。

所举实例若不属于动量定理的应用，计一次  $n_0^- = -0.2$ ；若虽属于动量定理应用，但不满足由  $t$  变化而导致冲量变化的类型，计一次  $n_0^- = -0.1$ 。但这两种情况均不计入能力施用次数。对属于该类型的实例，实例中的垫物、物体及落到垫物上的效果，为三处计分点， $n_0 = 0.1$ 。按垫物是否切实可用，下落物体是否需设置垫物（如下落物为石子即不需垫物），以及有无表述物体接触垫物后的效果的语言，决定计正分还是计负分。对需设置垫物的物体，切实可行的垫物，正确描述效果的词语，计正分。

在实例的分析中，若分析的原因确属使下落物不受损伤的原因，分析中每一步正确的分析环节， $n_{0+} = 0.1$ ；明确指出由于  $t$  大导致平均冲力  $\bar{F}$  小的，在这两个环节各记一次  $n_{0+} = 0.2$ 。若分析的原因并不属于下落物体不受损伤的原因，分析正确者不计分，分析错误者，在错误的每一个环节计一次  $n_0^- = -0.1$ 。

对最后的归纳结论，仍参考第一题第 小题的计分办法处理。对概括形式的答案，仍按第四题中的计分办法处理。

#### (6) 第七题。

本题固定计分点 12 个，另有非固定计分点若干。

固定计分点共 1.5 分，分布在下述参考答案的横线处：在环境速度与通风条件都确定的情况下，液体的蒸发温度和自身温度及蒸发面积有关，其关系满足  $v = f(t, s)$ 。其中，单线处  $n_0 = 0.1$ ，双线处  $n_0 = 0.2$ 。计分点处的语词可在不影响物理意义的情况下换用同义词，但对计分点漏答或错答者要计负分。在“关系满足”一处，只要表述的意思基本一样，即可计分。在解析式中， $f$  可换用其他字母，但不能用  $f_1, f_2$  或  $f_1 f_2$  表示。若用  $f_1, f_2$  或  $f_1 f_2$ ，或  $f_1(t) f_2(s)$ ，以及用反映相应数学关系的语言进行描述时，均计  $n_0^- = -0.2$ 。

非固定计分点主要分布在语言叙述方面。比上面给出答案增加的语言，无物理性错误可不计分；有物理性错误，每一个计一次  $n_0^- = -0.1$ 。语言的整体感觉过分繁琐冗长，另计一次  $n_0^- = -0.1$ 。语句顺序不影响逻辑结论的，不计负分，能引起逻辑误解的，另计一次  $n_0^- = -0.2$ 。

#### (7) 第八题。

本题计分点分布在数据处理方法本身、处理具体过程、与归纳结论三部分。

数据处理方法本身：使用数字分析法，一次性计  $n_{0+} = -0.1$ ；使用图象法，一次性计  $n_{0+} = 0.2$ ；两种方法都用者，累积计分；只写出具体结论而无法断定用什么方法分析数据者，此计分点不给分。无论怎样计分，都不统计能力施用次数。

数据处理过程：用数字分析法，按考生得出规律的逻辑系统，对最后正确结果有积极作用的比、比值或表示比例相等的等号，每有一个，计一次  $n_{0+}$ 。对最后获得正确结果没有起积极作用的，如在 A—B 的分析中取物理量的相邻值作比而无法得出结论的，又如在 B—A 的分析中取  $s/t$  的等

等；每有一次，计一次  $n_0^+$ 。最后的正确结果应是：A—B， $s$  正比于  $t$ ；B—A， $s$  正比于  $t^2$ 。用估算法处理比值的，只要最后结论正确，增计  $n_0^+=0.2$ 。用图象分析法，坐标系的单位是否均匀， $n_0=0.1$ ；横轴与纵轴单位长度的配合是否便于展示图象的形状， $n_0=0.2$ ；坐标轴是否有标注， $n_0=0.1$ ；以上各项，均以肯定性的答案计正分。对经验曲线，描点不计分。曲线的基本分值  $n_0=0.2$ ：在 A—B 段，整体为直线者计正分，折线计负分；B—A 段，光滑指数曲线记正分，逐点连线记负分。明确指出（包括“近似为”）正比例图线、指数曲线，每个增计  $n_0^+=0.2$ 。在数据或图象分析中涉及到 A—B 段的速度或 B—A 段的加速度，可不计分，因为其数值将放入下面的结论表述中计分。

结论表述：对  $s$  随  $t$  变化的数据规律：A—B 段，物体的位移与时间成正比；B—A 段，物体的位移与时间的平方成正比。上述计分点，错答与漏答计负分。在 A—B 段，只答出位移随  $t$  的增加而增大，没有答出增加的倍数亦相等的，只计  $n_0^+=0.1$ 。在 B—A 段也只如此做答则计负分  $n_0^-=-0.2$ ，但若同时又指出“增加”比 A—B 要快者，计  $n_0^+=0.1$ 。对物体运动规律：该物体做往复运动，自 A—B 速度为  $0.45\text{m/s}$  的匀速直线运动，自 B—A 为初速为零的匀加速直线运动，加速度约为  $0.65\text{m/s}^2$ 。上述标出的计分点，错答与漏答计负分；语句、语序无物理性误解，不影响计分。运动速度与加速度的值分别在  $0.45 \pm 0.05$  与  $0.65 \pm 0.05$  范围内均计正分  $n_0^+=0.2$  超出此值之外，在计  $0.2$  的同时，增计  $n_0^-=-0.1$ （不统计进能力施用次数）。此外，在运动规律的表述中涉及下述内容的语句，按使用的物理概念为计分点， $n_0=0.1$ ，按概念使用是否正确决定计正分还是负分：物体从 A 点由静止进入匀速直线运动的过程；从匀速直线运动到 B 静止的过程；以及返回到 A 时由匀加速又变为静止的过程。不答这三个过程，不计分。

## 二 题目评定示例

第 07 号考生第四题第 小题：

解答	$n_0$	得分	评定
<p>×</p> <p>相同：克服摩擦力、重力做功，刹车也是克服摩擦力。机械能变热 × 能，杠铃接受人体热能。</p>	0.1	$(0.1) + 2(-0.1)$ $= -0.1$	$N_4 = 9$ $n_0 = 0.1$
<p>归纳：三个都是物理过程，× (×)</p> <p>都有人做功。做功要消耗能量。            [漏答：做功条件 (×)]</p>	0.1	$5(0.1) + (-0.1)$ $+ (-0.2)$ $= 0.2$	

在此示例中：杠铃吸收人体热量，应忽略不计，但物理上没有错误，故不计负分；它吸收的热量不是由机械能转变而来，故对“机械能变热能”作相同点计负分。最后一个归纳，缺条件“克服阻力”，应记为（×），但不计入能力施用次数。按题设过程，也可认为不缺条件，则该结论应为“能量改变”，即要按结论错误计负分。两种计分方法， $n_0$ 的值不变。

第 18 号考生第五题：

解 答	$n_0$	得分	评定
最初三个小球都向上浮，说 × 明比水轻，小球的密度都比水的 (×) 密度小。后来有的漂着，有的悬 浮，有的沉底，只能因为吸了水，	0.1 0.2	$2(0.1)+(-0.1)$ $+(-0.2)$ $=-.1$	$N_5=13$
所以三种材料全是吸水性物质。 (×) [ ]吸水物质的沉浮要考虑 ×	0.1 0.2	$(0.1)+2(0.2)$ $=0.5$	
吸水多少。[ ]下沉的小球吸水 后整体变重，大于浮力，沉到 × × 水底的球总重力(包括吸的水)	0.1 0.2	$(0.2)+2(0.1)$ $+2(-0.2)$ $=0$	$n_0=0.6$
等于支持力与浮力的合力。 [漏答：对完全归纳的判断 (×)；归纳的条件(×)]	0.1	$(0.2)+(0.1)$ $+(-0.1)$ $=0.2$	

此示例中，除去解释归纳原因的文字，解答包含四个归纳。第一个归纳是结论正确的完全归纳，故其后应有[ ]，现漏答扣分。第三个归纳可视为完全归纳（若条件为：这三种），也可视为不完全归纳（若条件为：密度小于液体密度），无论哪种，均漏答条件，均属错误归纳。若认为不缺条件，则结论应视为错误，计分结果不变： $(0.2) + (0.1) + (-0.1) + (-0.2) = 0$ 。第四个归纳是不完全归纳，其后不答[ ]不计分。在得出第一个归纳的理由分析中有知识性错误，由于不涉及所测能力，没有扣分。

第 14 号考生第八题：



解答	$n_0$	得分	评定
<p>从 A 到 B , s 随 t 增大而增 × 大, 但增加的倍数不等, 如对 t : <math>1.09/0.55 \doteq 1.98</math> , 而 <math>1.67/1.09</math> <math>\doteq 1.53</math> , <math>2.23/1.67 \doteq 1.34</math> , 对 s : <math>0.5052/0.2511 \doteq 2.01</math> , <math>0.7493/</math> <math>0.5052 \doteq 1.48</math> , <math>1.0014/0.7493 \doteq</math> <math>1.34</math>。但取到 0.1 位, s 与 t 增加 的倍数又相等, 分别是 2.0 , 1.5 , 1.3 ..... t 增加几倍, s 就增加几 倍, 是近似的匀速运动 ( 直线 )。</p> <p>B — A , 随 t 增加得比 A — B 快, 但 s 增加的倍数近似了也不 × 相等, t:<math>1.24/0.89 \doteq 1.39</math> , <math>1.52/</math> × × <math>1.24 \doteq 1.23</math> , s:<math>0.5009/0.2545 \doteq</math> × <math>1.97</math> , <math>0.7450/0.5009 \doteq 1.49</math> , A — B 是非匀速运动。( × )</p> <p>物体从 A — B 做匀速直线运 动, v 大约是 0.45 ( 取各段速度的 平均数 ) <math>v_0=0</math>。从 B 回 A 是非 × 匀速直线运动, 有可能是匀加速 ( <math>v_0=0</math> )。( × )</p> <p>[漏答: B — A 段的数据规律 <math>s \propto t^2</math> , ( × ) ; B — A 段的运动规律 中 a 值, ( × )。又: 数字分析方法, 另加 0.1。]</p>	<p>0.1</p> <p>0.2</p> <p>0.1</p> <p>0.2</p> <p>0.1</p> <p>0.2</p> <p>0.1</p> <p>0.2</p>	<p><math>9(0.1)+(0.2)</math> <math>+(-.1)</math> <math>=1.0</math></p> <p><math>2(0.1)+4(-0.1)</math> <math>+(-0.2)</math> <math>=-0.4</math></p> <p><math>(0.1)+2(0.2)</math> <math>=0.5</math></p> <p><math>(0.1)+(0.2)</math> <math>+2(-0.2)</math> <math>=-0.1</math></p> <p><math>(0.1)=0.1</math></p>	<p><math>N_8=23</math></p> <p><math>n_0=1.1</math></p>

该示例中，分析 A—B 段数据规律时所答“增加的倍数不等”，属典型的能力试用过程中的错误，故虽在原计分标准中没明确计负分，按能力测量的基本原则，此处仍计一次负分。在 B—A 段分析中的相应一句，因不违背该段物理图象，不计负分；又因没指出正确的比例关系，也不计正分。

表 8 - 1 物理归纳能力测量 A 卷个人各题得分一览

题号 分数 考号	一	一	一	二	三	四	四	四	四	四	五	六	七	八
01	1.3	0.6	0.4	0.3	0.6	0.3	-0.2	0	0.3	0.1	0.7	1.4	1.3	0.7
02	0.8	0.1	0.2	0.3	0.2	0.4	0.1	0.1	0.2	0	-0.2	1.0	1.2	1.0
03	1.0	-0.1	-0.3	-0.1	0.4	0.3	-0.1	0.1	0.4	0.2	-0.4	0.8	1.7	0.5
04	-0.1	-0.1	0.1	0.4	0.4	0.2	-0.2	0	0.2	0.1	0	0.7	1.1	0.2
05	0.4	0.4	0.2	0.2	0.8	0.3	0.2	-0.1	0.1	0	0.5	1.3	0.9	0.5
06	1.0	0	-0.2	0.5	0.6	0.6	0.3	0.2	0.3	0.1	-0.2	1.6	0.9	1.2
07	0.9	0.7	-0.1	0	0.6	0.4	-0.1	0.1	0.2	-0.1	0.3	1.2	1.0	2.4
08	1.1	-0.1	0.2	0.2	0.5	-0.2	-0.1	0.1	0.4	-0.2	0.8	1.2	1.2	0.7
09	1.7	0.8	0.2	0	0.8	0.4	0.3	0.1	0.3	-0.1	0.2	0.7	1.5	1.9
10	0.7	1.0	0	0.1	0.6	0.3	0.1	0.2	0	0.2	0.4	0.9	1.1	0.6
11	0.5	0.8	-0.1	0.1	0.7	0.1	0.2	-0.1	0.2	0.1	0.8	0.7	0.9	1.3
12	0.8	0.7	-0.3	0.4	0.2	0.6	-0.1	-0.1	0.1	0.2	-0.3	1.0	1.0	0.4
13	1.1	0.3	-0.2	0.3	0.8	0.4	0.2	-0.2	0.2	-0.1	0.1	1.6	1.4	0.1
14	1.1	-0.1	0.3	0.3	0.9	0.2	0.4	0	0.4	0.2	0.7	1.2	1.2	1.1
15	0.9	0.6	0.3	0.4	1.1	-0.1	0.1	0.1	-0.1	0.1	0.6	0.3	1.3	-0.1
16	0.6	-0.2	0.2	-0.1	-0.1	0.3	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.7	1.0	0.7
17	-0.2	0.5	0.1	0.2	0.5	-0.1	0.2	0.1	0.3	0.2	0.5	0.8	0.8	0.2
18	1.2	0.8	-0.2	0.5	0.7	-0.1	0.1	0	0.4	-0.2	0.6	1.0	1.5	1.3

续表

题号 分数 考号	—	—	—	二	三	四	四	四	四	四	五	六	七	八
	19	1.0	0.4	-0.1	-0.1	1.2	-0.1	0	0	0.4	0.1	0.7	1.5	1.4
20	0.9	1.3	0.3	-0.2	0.2	0.3	0.2	-0.1	0.1	0.3	-0.2	0.9	1.1	0.9
21	1.3	0.4	-0.1	0.3	0.9	0.3	-0.1	0.1	0.2	-0.2	-0.2	2.3	1.3	1.1
22	0.5	-0.1	0.2	0.4	1.0	0.3	-0.1	0.2	0.1	0.1	0.3	0.6	1.2	1.7
23	0.9	0.2	0	0.2	0.3	0.4	0.1	0.1	-0.1	0.1	-0.1	0.8	0.8	0.9
24	0.8	-0.1	0	0.1	0.4	0.3	0.2	-0.1	0.3	0.2	0.1	1.0	1.0	0.2
25	0.4	0.7	0.1	-0.1	0.5	0.3	0.4	0.2	0.3	0	0.4	0.7	1.1	0.3
26	-0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	-0.1	0.1	0.2	0.2	-0.3	0.5	0.8	1.0
27	0.5	0.8	-0.1	0.1	0	0.2	0.3	-0.1	0.2	0.1	0.4	1.2	0.7	0.7
28	0.7	-0.1	0.2	0.3	-0.1	0.2	-0.1	0	0.2	0	-0.2	1.0	0.9	1.1
29	1.2	1.0	0.2	0.2	0.7	0.3	-0.2	0.2	0.5	0.3	-0.1	1.9	0.9	-0.2
30	0.7	0.8	-0.1	0.4	1.0	-0.1	0.2	-0.1	0.2	0.2	0.4	1.1	1.1	1.4
31	-0.3	0.2	0.1	0.1	0.4	0.4	0.1	0.1	0	0.1	0.3	1.0	0.7	0.7
32	0.6	-0.2	0.2	0.2	1.2	0.3	-0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	1.1	1.0	0.9
33	1.1	0.8	0.1	0.5	0.8	0.3	0.4	0.2	0.5	0.3	0.7	2.1	1.4	1.5
34	0.9	-0.1	0.3	0.2	1.2	-0.1	0.2	0	0.1	0.2	0.3	0.7	1.1	2.1
35	1.2	0.4	0.1	0.3	0.9	0.4	0.1	0.2	-0.1	0.2	-0.2	1.4	1.0	1.7
36	0.8	-0.3	0.1	-0.2	1.1	0.3	0.1	-0.1	0.2	0.1	0.1	1.0	1.3	0.7

### 三 测试的基本情况

本次测量，参加 K 卷测试 46 人，达优者参加 A 卷测试 36 人。A 卷各题的计分结果如表 8 - 1 所示，A 卷的评定结果反映在表 8 - 2 中。

表 8 - 2 物理归纳能力测量 A 卷基本情况汇总

考号	性别	答卷时 问 t (分)	能力施 用次数 N (次)	答卷速 度 V (次/分)	答卷质 量 M	计分起 点 $n_0$	能力等 级 AL
01	女	98	105	1.07	7.8	0.0	8.3
02	女	90	81	0.90	5.4	0.0	4.9
03	男	90	62	0.69	4.4	0.0	3.0
04	女	55	47	0.85	3.0	0.0	2.6
05	男	90	72	0.80	5.7	0.0	4.6
06	男	110	81	0.74	6.9	0.0	5.1
07	男	95	92	0.97	7.5	0.0	7.3
08	女	85	67	0.79	5.8	0.0	4.6
09	男	90	101	1.12	8.8	0.0	9.9
10	女	90	92	1.02	6.2	0.0	6.3
11	男	90	84	0.93	6.2	0.0	5.8
12	女	60	70	1.17	4.6	0.0	5.4
13	女	65	72	1.11	6.0	0.0	6.7
14	女	90	103	1.14	7.9	0.0	9.0
15	女	90	81	0.90	5.5	0.0	5.0
16	女	65	57	0.88	3.9	0.0	3.4
17	女	78	63	0.81	4.1	0.0	3.3
18	男	85	95	1.12	7.6	0.0	8.5
19	女	90	87	0.97	6.6	0.0	6.4
20	女	90	76	0.84	6.0	0.0	5.1
21	男	95	96	1.01	7.6	0.0	7.7
22	男	90	89	0.99	6.4	0.0	6.3
23	男	85	71	0.84	4.6	0.0	3.9
24	男	70	69	0.99	4.4	0.0	4.3
25	女	65	72	1.11	5.3	0.0	5.9
26	女	60	56	0.93	3.8	0.0	3.5
27	男	60	68	1.13	5.0	0.0	5.7
28	女	70	69	0.99	4.1	0.0	4.1
29	男	67	89	1.33	6.9	0.0	9.2
30	男	100	91	0.91	7.2	0.0	6.6
31	女	70	67	0.96	3.9	0.0	3.7

续表

考号	性别	答卷时 问 t (分)	能力施 用次数 N (次)	答卷速 度 V (次/分)	答卷质 量 M	计分起 点 $n_0$	能力等 级 AL
32	男	90	87	0.97	6.0	0.0	5.8
33	女	110	121	1.10	10.7	0.0	11.8
34	男	90	97	1.08	7.1	0.0	7.7
35	男	90	96	1.07	7.6	0.0	8.1
36	男	75	78	1.04	5.2	0.0	5.4

### 1. 关于测量结果的分布

对表 8 - 2 所列的能力等级采用 0.5 级间隔分段 , 可得出本次测量的能力等级的频数分布如表 8 - 3 , 以及相应的频数分布图 8 - 1 与分布曲线图 8 - 2。

表 8 - 3 物理归纳能力测 AL 值频数分布

人 数 分类 AL 值	男生		女生		合计	
	人数	占男生%	人数	占女生%	人数	占全体%
2.5—2.9	0	0	1	5.5	1	2.8
3.0—3.4	2	11.1	1	5.5	3	8.3
3.5—3.9	1	5.5	2	11.1	3	8.3
4.0—4.4	0	0	2	11.1	2	5.6
4.5—4.9	1	5.5	2	11.1	3	8.3
5.0—5.4	1	5.5	3	16.7	4	11.1
5.5—5.9	4	22.2	1	5.5	5	13.9
6.0—6.4	1	5.5	2	11.1	3	8.3
6.5—6.9	1	5.5	1	5.5	2	5.6
7.0—7.4	1	5.5	0	0	1	2.8
7.5—7.9	2	11.1	0	0	2	5.6
8.0—8.4	1	5.5	1	5.5	2	5.6
8.5—8.9	1	5.5	0	0	1	2.8
9.0—9.4	1	5.5	1	5.5	2	5.6
9.5—9.9	1	5.5	0	0	1	2.8
10.0—11.4	0	0	0	0	0	0
11.5—11.9	0	0	1	5.5	1	2.8
合计	18	100	18	100	36	100

从图 8 - 2 看出 , 本次物理归纳能力的 AL 等级频数曲线已不能近似为

偏态分布，在主峰的两侧出现了较多的跳跃。如果细致地观察一下表 8 - 1 中的各题得分，会发现每题内的得分也存在较大的差异。几乎没有一道题的得分存在单一稳定的偏向，如考生的得分都较低或都较高。与前两章中的 A 卷各题得分相比，会发现在物理观察能力和物理实验能力的 A 卷测试中，这一特点都不明显。本书偏向于认为，本次 A 卷各题得分的这一特点，正是图 8 - 2 曲线出现较多跳跃的直接原因。粗略地说，它们都反映了同一个问题——在物理归纳能力的不同层次，绝大多数考生的水平不平衡。

## 2. 测量的评价

本次测量仍属于常模参照性测试。

内容效度。

依照前两章相应部分的思路，下面给出本次测量的 A 卷命题双向细目表（表 8 - 4）。P 表示问答题；角码 1 为开底型，2 为定解型；e, m, d 分别表示题目难度为易、中、难。[] 内为本次 A 卷题号。

表 8 - 4 物理归纳能力测 A 卷命题双向细目表

题型 与难度 取样范围	行为目标	萌生	运用	施用	评价
对生活经验与日常观察的不完全归纳		$P_1(e)$ , [一]	$P_1(d)$ , [一]		$P_1(m)$ , [一]
对生活经验与物理实验的简单枚举归纳		$P_1(m)$ , [二]		$P_1(m)$ , [二]	$P_1(e)$ , [二]
在物理学习中使用归纳推理		$P_1(e)$ [四、] $P_1(m)$ , [三]	$P_1(m)$ , [四、] $P_1(d)$ , [四]		
对物理实验现象与结论进行完全归纳			$P_1(d)$ , [五]		$P_1(e)$ , [五]
对物理事实进行科学归纳		$P_1(e)$ , [六]	$P_1(d)$ , [六]		
对实验结论进行归纳表述				$P_2(m)$ , [七]	
对实验数据与结论进行归纳表述			$P_2(d)$ , [八]	$P_2(m)$ , [八]	

信度。

将本次 A 卷题目按自然编号分成 X、Y 两组，从表 8 - 1 中取出各题总分（表 8 - 5），进而算出有关信度的各种数据，列入表 8 - 6。

表 8 - 5 物理归纳能力测量 A 卷各题总分一览

X 组	题号	—	—	三	四	四	五	七
	总分	27.9	2.5	22.4	3.1	7.6	8.0	39.8
Y 组	题号	—	二	四	四	四	六	八
	总分	13.0	7.0	8.7	1.8	3.4	38.9	31.6

表 8—6 计算物理归纳能力测量 A 卷 XY 组相关系数的数据

项目	$X_i$	$(X_i)^2$	$X_i^2$	$Y_i$	$(Y_i)^2$	$Y_i^2$	$X_i Y_i$
数据	111.3	12388	3002	104.4	10899	2820	2175

据表 8 - 6 可知，本次 A 卷相关系数

$$r_{xy} = \frac{N \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{\sqrt{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \cdot \sqrt{N \sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2}}$$

$$= \frac{36 \times 2175 - 111.3 \times 104.4}{\sqrt{36 \times 3002 - 12388} \cdot \sqrt{36 \times 2820 - 10899}}$$

$$\approx 0.72$$

则本次测量的 A 卷信度

$$r = \frac{2r_{xy}}{1 + r_{xy}} \approx 0.84$$

此信度值说明，本次物理归纳能力的测量结果是基本可信的标准 AL 值。

据表 8 - 2 计算本次测试的标准 AL 值。AL 的平均值为

$$\overline{AL} = \frac{\sum AL_i}{N}$$

$$= \frac{214.8}{36} \approx 5.97$$

则标准差为：

$$S_{AL} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{36} (AL_i - \overline{AL})^2}}{N}$$

$$= \frac{\sqrt{158.5}}{36} \approx 2.10$$

由  $S_{AL}$  据下式计算出各考生的标准 AL 值  $Z_{AL}$ ，列入表 8 - 7。

$$Z_{AL} = \frac{AL_i - \overline{AL}}{S_{AL}}$$

为读者使用  $Z_{AL}$  分析问题的方便，将表 8 - 2 中相同的 AL 值多精确一位，然后再列入表 8 - 7。

表 8 - 7 物理归纳能力测量 A 卷  $Z_{AL}$  值及  $S_{AL}$  的计算数据一览

考号	性别	AL	$\overline{AL}$	$AL_i - \overline{AL}$	$(AL_i - \overline{AL})^2$	$S_{AL}$	$Z_{AL}$
01	女	8.3	5.97	2.33	5.43	2.10	1.11
02	女	4.9	5.97	-1.07	1.14	2.10	-0.51
03	男	3.0	5.97	-2.97	8.82	2.10	-1.41
04	女	2.6	5.97	-3.37	11.36	2.10	-1.60
05	男	4.56	5.97	-1.41	1.99	2.10	-0.67
06	男	5.1	5.97	-0.87	0.76	2.10	-0.41
07	男	7.3	5.97	1.33	1.77	2.10	0.63
08	女	4.57	5.97	-1.40	1.96	2.10	-0.66
09	男	9.9	5.97	3.93	15.44	2.10	1.87
10	女	6.33	5.97	0.36	0.13	2.10	0.17
11	男	5.76	5.97	-0.21	0.04	2.10	-0.10
12	女	5.38	5.97	-0.59	0.35	2.10	-0.28
13	女	6.66	5.97	0.69	0.48	2.10	0.33
14	女	9.0	5.97	3.03	9.18	2.10	1.44
15	女	5.0	5.97	-0.97	0.94	2.10	-0.46
16	女	3.4	5.97	-2.57	6.60	2.10	-1.22
17	女	3.3	5.97	-2.67	7.13	2.10	-1.27
18	男	8.5	5.97	2.53	6.40	2.10	1.20

续表



考号	性别	AL	$\bar{AL}$	$AL_i - \bar{AL}$	$(AL_i - \bar{AL})^2$	$s_{ALa}$	$Z_{AL}$
19	女	6.4	5.97	0.43	0.18	2.10	0.20
20	女	5.1	5.97	-0.87	0.76	2.10	-0.41
21	男	7.7	5.97	1.73	2.99	2.10	0.82
22	男	6.32	5.97	0.35	0.12	2.10	0.17
23	男	3.9	5.97	-2.07	4.28	2.10	-0.99
24	男	4.3	5.97	-1.67	2.79	2.10	-0.80
25	女	5.9	5.97	-0.07	0.005	2.10	-0.03
26	女	3.5	5.97	-2.47	6.10	2.10	-1.18
27	男	5.7	5.97	-0.27	0.07	2.10	-0.13
28	女	4.1	5.97	-1.87	3.50	2.10	-0.89
29	男	9.2	5.97	3.23	10.43	2.10	1.54
30	男	6.55	5.97	0.58	0.34	2.10	0.28
31	女	3.7	5.97	-2.27	5.15	2.10	-1.08
32	男	5.82	5.97	-0.15	0.02	2.10	-0.07
33	女	11.8	5.97	5.83	33.99	2.10	2.78
34	男	7.7	5.97	1.73	2.99	2.10	0.82
35	男	8.1	5.97	2.13	4.54	2.10	1.01
36	男	5.41	5.97	-0.56	0.31	2.10	-0.27

## 第九章 物理能力培养的基本规律

发展学生的物理能力，教师必须使自己的主观能动性符合学生能力培养的客观规律。本章将根据能力概念的基本的特征，根据我国广大物理教育工作者在教学中培养学生能力的实践，试对这些客观规律做出一些初步的探索。

## 第一节 物理能力发展与学生生理发展的适应律

物理能力的发展以学生的生理（特别是大脑）为基础，随学生生理的发展（特别是大脑功能的完善）而发展，称为物理能力发展与学生生理发展的适应律。简称生理适应律。

对这个规律的讨论重点，是这种“适应”是否意味着存在一个物理能力发展与训练的关键时期。在生理适应规律的讨论中强调这一问题，是基于下述三方面原因。

第一方面，教学实践表明某些能力在学生的某一年龄段培养感到很困难，而在另一年龄段则是可行的或容易的。

第二方面，技能训练的经验表明，单项技能的发展存在一个最佳的开发期，体育、音乐、杂技等领域在实践中已经十分注重最佳开发期的训练。

第三方面，能力发展与生理、年龄的关系，亦一直是教育理论，特别是“幼儿教育”与“智能论”研究的重要内容。目前，不同观点，不同实践的争论很多。必须指出，这些问题和物理教育中能力培养的关系，是极其密切的。例如，生理学和实验心理学的进一步研究，很可能使现在的物理教育时间大为提前，方法大为改观。

现任美国哈佛大学教育研究院泽罗研究所负责人，颇有影响的实验心理学家 H·加登纳教授于 1985 年提出：“一种智能便应当有一种可加以区别的发展史”，“诚然，该智能不会孤立地发展”，“在发展的历史中，完全可能会有独特的关键时期和可区分的里程碑存在，这要么就与训练有关，要么就与生物体的成熟有关。对智能发展史进行识别，对修正与训练的敏感性进行分析，这对于教育实践来说，是极其重要的”。关于存在“独特的关键时期”的观点，在教育理论中，目前已是基本一致的看法。

因此，生理适应律所提出的一个基本的问题是：物理能力究竟从什么时候开始最适合儿童或少年的生理发展？显然，目前这还是一个很缺乏研究的问题。不过由于物理是和相关学科互相交叉，互相影响着发展的，因此，可以暂时借助下述有一定价值的参考材料，做一些初步分析。

材料之一是北京师范大学在 80 年代进行的关于我国中学生思维能力的调查。该调查，采用按不同类别思维能力命题的测验答卷方式，用涉及各学科内容的知识，从归纳推理水平，演绎推理水平，逻辑法则水平，推理运用水平与逻辑法则运用水平等五个方面进行了考察。回收答卷近 6000 份，分布在全国 23 个省、市、自治区。调查范围的广泛，使调查结论能够说明一定的问题，并具有一定的普遍性。

表 9 - 1 给出了被测试三个年级的推理水平与逻辑法则水平的平均得

---

[美] H·加登纳著，兰金仁译：智能的结构，光明日报出版社 1990 年 9 月版，第 73 页。

阎金铎、段金梅、续佩君、霍立林：物理教学论，江苏教育出版社 1991 年版，第 85—89 页，据表 3 - 1

分率，表 9 - 2 给出所有测试项目的平均得分变化率。表中：

平均得分率：指被测试人的平均得分对应试题满分的百分比；

平均分增长率：指不同年级被测试人的平均得分之差对应试题满分的百分比；

综合估价：指综合各项水平测试状况，对某年级学生做出的粗略考察，用对应栏内的总平均值表示。

表 9—1 各项推理与逻辑法则水平的平均得分率一览（%）

	初一	初三	高二	平均得分率	
归纳推理	60.83	71.96	79.49	70.76	
演绎推理	直言	70.5	74	81.5	75.73
	假言	46.5	56.5	61.5	54.83
	选言	43	51.5	62.5	52.33
	复合	43.5	51	62.5	52.33
	连锁	19.5	27	48	31.5
逻辑法则	68.26	72.78	76.80	72.61	
综合估价	51.44	57.82	67.47		

表 9 - 2 不同年级间推理与逻辑能力变化状况（%）

---

至表 3 - 7 的有关数据编制。

阎金铎、段金梅、续佩君、霍立林：物理教学论，江苏教育出版社，1991 年版第 85—89 页，据表 3 - 1 至表 3 - 7 的有关数据编制。

		初一至 初三	初三至 高二	初一至 高二	年级平均	
推 理 水 平	归纳推理	11.13	7.53	18.6	3.73	
	演 绎 推 理	直言	3.5	7.5	11	2.2
		假言	10	5	15	3
		选言	8.5	11	19.5	3.9
		复合	7.5	11.5	19	3.8
		连锁	7.5	21.0	28.5	5.7
		总水平	7.5	11.2	18.6	3.72
推 理 运 用	改正错误	11.51	9.54	21.05	4.21	
	排除干扰	2.92	2.60	5.52	1.10	
	解决问题	9.95	8.56	18.51	3.70	
	总水平	8.13	6.90	15.03	3.0	
逻辑法则		4.52	4.02	8.5	1.7	
逻 辑 运 用	正误判断	2.88	6.62	9.50	1.90	
	多重选择	2.77	3.17	5.94	1.19	
	回答问题	9.12	8.25	17.37	3.45	
	总水平	3.84	5.64	9.48	1.90	
综合估价		7.06	8.18	14.70		

材料之二是湖南师大附中常智学生超常班的情况。1985年，该校从初一新生中，将年龄未满11.5岁的学生集中编班，试办二、二分四年高中毕业的超常班。由于招生条件只考虑年龄，不考虑入学成绩以及智商，故这一材料对考察一般学生（常智学生）的能力发展与生理、年龄间的相关性，具有一定的参考价值。表9-3给出该班四年中获奖和升学的基本情况。

表9-3 湖南师大附中常智学生超常教育班的成果概况

项目	未满四年 即升入大 学少年班	保送 重点大学	考入 重点大学	考入 一般大学 本科	考入 地区大专	考入中 专或工作	未上线	获省以上 科技竞赛 奖(人次)
人数	5	4	10	7	3	8	2	10
百分比	12.9	10	25.6	17.9	7.7	20.5	5.1	/

由上述材料可得出以下一些结论：

从表9-1中的综合估价可知，仅就学生的推理水平与逻辑法则水平

而言，初中增长 6.38%，高中增长 9.65%。即，随年龄增长，高中比初中思维能力提高更快。在考虑推理与逻辑法则的运用水平以后，从表 9 - 2 的综合估价，初中增长为 7.06%，高中为 8.18%，高中仍比初中有所提高。这一情况表明，能力的发展对年龄和生理成熟呈正相关。

从表 9 - 2 可知，学生的归纳推理水平（其增长率初中为 11.13%，高中为 7.53%），是初中各种推理水平中增长的次高项；而连锁演绎推理水平（其增长率初中为 7.5%，高中为 21%），是高中推理水平增长最快的。表明同一结论的另一现象是，归纳推理水平与演绎推理水平的平均分增长率发生了有趣的倒置现象：从初一到高二，两者增长率几乎都是 18.6%。但归纳推理，初中增长 11.13%，高中增长 7.53%；而演绎推理总水平恰恰相反，初中增长 7.5%，高中增长 11.2%（表 9 - 2）。这表明，不同类的推理能力和年龄、课程内容设置相关甚大。

表 9 - 1 反映出，不同推理水平得分率的相差幅度，可大致分为三种情况。第一种，年级平均得分率大于 70%；第二种，年级平均得分率略大于 50%；第三种，年级平均得分率略大于 30%。分析得分率相差幅度大的原因，涉及生理成熟与训练（课程设置、教学要求、教学方法等等）两大方面，但是，由于调查范围较大，能在一定程度上减小训练方法的影响。故上述三类之间大幅度的差别，应主要考虑年龄的影响。

若假设训练是得法的，那么，得分率较高的项目（如归纳推理、直言演绎和逻辑法则），有可能意味着训练时间已迟于该类别思维的开发时期；得分率较低的项目（如连锁演绎推理），有可能意味着训练符合于或尚早于该类别思维的开发期。这是因为，在大脑进入某一开发期之初，通常表现为能够接受，但并不是很容易地接受某种能力的训练（或使某种能力迅速提高）。

表 9 - 3 的材料，则偏向于提示这样的情况：表 9 - 2 所示的各种具体思维能力，大脑与其相对应的开发期均在初中年龄。因为该校超常班的学生既是常智范畴，又是 11.5 岁入学，则其高中毕业年龄仅 15.5 岁，恰值正常的初中毕业年龄。

特别需要说明的是，该超常实验班的训练方法完全不同于目前中学常规的教学方法。例如物理教学，初中两年始终实行“实验探索引导法”，高中则在继续发挥物理实验综合功能的基础上，以发展思维素质为中心，抓住物理情境开展教学。因此，联系上面所说“若假设训练是得法”的条件，表 9 - 3 似乎预示着，现行学生思维能力培养与学生生理发展的对应模式，极有进一步研究的必要。例如，上面曾分析初一到初三的归纳能力提高很快，显然和初二开设物理有重要关系。而按照开发期的特点，如此高的平均得分比率（初中仅低于推理运用中的改正错误，见表 9 - 2），说明初二开始物理教育，可能已落后于大脑归纳思维的开发期。

当然，上述各种分析的正确性，还须做大量的进一步研究。但可以设

想，如果学生的物理能力确实存在一个类似的最佳开发期，从这一关键时期入手，设置物理课程，组织教材内容，探索具体培养方法，那么就可以有效地提高物理能力的培养效率。

## 第二节 物理能力培养对物理知识 教学的全面寓合律

物理能力的培养在内容、方式、时间上都需经常地寓于物理知识教学的过程之中，称为物理能力培养对物理知识教学的全面寓合律，简称全面寓合律。

物理能力，一般在宏观上表现为处理各种物理问题的方法、思路、程序、规范性的步骤等等。物理能力的测量，也依赖于这些方法、思路、程序、步骤在解决物理问题中的运用。因此，毫无疑问，这一切对物理能力来说无疑是极重要的。然而，物理教学实践表明，不以物理知识为载体，只讲培养各种能力的方法，往往只能知名词，却不通晓其真正内涵；明方法，却不通晓其如何运用，从而不能收到发展能力的效果。究其原因，根本的一点是物理能力的培养总要以物理知识作载体，离开物理知识，物理能力的培养就相当于无林取木，无源取水。

首先，从本源上看，能力作为心理现象，也来源于大脑对客观事物的反映。因为只有依赖对物质世界的物理研究，才能产生物理学习中的感知，形成记忆和联想；只有在感知、思维、记忆、联想的无数次展开中，才能培养能力。

其次，从概念上看，能力是一种特定的心理特征——人顺利完成某种任务的心理特征。心理特征，不是一般心理现象，而是抓住了本质的、能频繁表现从而可能趋于定型的、突出个性化的心理现象。因此，心理现象并不一定形成心理特征。只有那些能频繁出现的、趋于定型的、突出的心理现象，才可能最终形成某种心理特征。而能力又不是一般的心理特征，它乃是专指顺利完成某种活动的心理特征。实际上，正是由于这两个方面的结合才决定了某种能力必然宏观外显为与某类活动相应的思路、方法、技能等等。因此，能力的形成，除了对客观事物本身存在的依赖外，还依赖客观事物复现的频繁程度，以及在复现过程中，学生个体对这些事物本质的认识，是否能最终形成稳定的、个性化的心理特征。

再者，从物理知识本身的功能说，它天然地具有培养学生物理能力的作用。例如，由于物理概念本身的多重抽象性，学生被“强迫”进行抽象的思考。又如，物理知识的客观性与自洽性，要求分别形成的不同物理概念，再沿着特定的逻辑思维链，构成互不矛盾的系统，像章或单元等等。它们以观察、实验、语言与数学的论证和推演，以例题、练习、小结等方式，“强迫”学生沿着它的逻辑思维链思考，获得物理的科学概念、规律，并加以记忆、应用和巩固。正是这种不断重复着的“强迫”过程，引导每

---

杨清主编：简明心理学辞典，吉林人民出版社 1985 年版，第 18 页。

乔际平、续佩君：物理教育学，江西教育出版社 1992 年版，第 124—126 页、130—132 页。



个接触物理知识的学生个体，逐步形成特定的心理，受到能力的训练，从而体现出物理知识的能力价值。

一般地说，物理教材中的知识编排，应该最集中概括物理学的发展成果。为使学生高效率地获取物理学发展成果，教材将有选择、有计划地描述物质世界中的物理研究对象，并引导学生有目的、有计划地去感知、思维、记忆。因而教材是引导学生集中通过物理知识去感知和思考客观世界中的物理研究对象，培养学生能力的基本依据。

综合以上的讨论，教师要在实际教学中培养学生能力，应该紧密地、有机地和知识教学过程相结合，使物理能力的内容借助物理知识这一载体展现，将物理能力的培养寓于知识的领会、理解、运用、掌握之中。

全面寓合律在物理教学实践中运用的难点，是如何做到能力和知识切实“合为一体”，而不仅是表面地“寓于其中”。而这一点，又是学生是否能真正地或准确地领悟方法、思路等物理能力外显的一个关键之处，或者说是影响能力培养质量的关键所在，解决这一难点的有效措施，是在课堂上处理好下面两个问题。

第一，坚持从物理知识本身自然地引出，随物理知识教学过程自然地展开具体的思路、方法、步骤、程序等物理能力的外显。这里，如果不是“自然地”引出和展开，而是指令性要求学生强行、硬使，如果引出的不是很贴切、具体，而是较高、较泛、较空，都会在相当程度上妨碍学生感知、领会、理解、顿悟这些能力的宏观表现。特别是在培养某种能力的最初阶段，这一点尤为重要。

例如，据现行初中教材的内容与要求，使初二学生学会观察物理仪器、物理挂图与模型的具体方法，是培养初二学生物理观察能力的重要内容。然而，对米尺、天平、弹簧秤、量筒、水压机工作原理挂图，水泵模型等诸多内容之中任何一个的观察，都并不能囊括对物理仪器、挂图、模型的各种观察方法。因此，需要在具体分析的基础上，有针对性地让学生感受到由整体到局部，由静止到运转，由操作到读数……各种方法中的某一种或某几种（一般是一次，不宜太多）。

第二，注意在课堂上安排学生亲身体会和学习思路、方法等具体的物理能力外显，也就是，要将能力培养和具体知识结合在一起，落实为具体的教学环节。

例如在初二“力”的一节教学中，随着对生活中力现象的分析，随着对直接作用和间接作用的实验演示的分析，让学生自己思考讨论：如何用语言概括人、马、压路机（以及相应的箱子、车、地面）……等各种事物？如何用语言概括推、拉、压……各种物理现象？如何概括人推箱、马拉车、压路机压路……各种力现象在作用方式上的相同点？如何概括磁铁吸铁钉，摩擦过的汽球使另一个汽球旋转等各种力现象在作用方式上的相同点？于是寻找不同物理现象之间的共同点，并用物理语言加以概括表述这

样一种方法，就被密切结合力的概念教学，并且作为学生参与的一种具体教学环节而体现出来了。

第三，注意在教学中复现用某种方法（或思路、步骤等）解决问题的过程。在某种能力培养的初始阶段，还不宜频繁变更对某种能力外显（如方法）本身内涵的描述，包括讲述中所使用的语言或词汇。如同知识的掌握需要足够量的练习一样，某种能力的外显也必须有足够的复现次数，否则学生对某种思路、方法、步骤的感受只能停留在一般心理现象的水平，不能形成稳定的心理特征。因此，运用全寓合律培养能力时，不宜一节一个目的，一堂一个侧面，一次一个讲法。频繁改变能力内容或表述方式，在学生对所培养能力的内涵尚未真正确切理解的情况下，只能起干扰作用。因此，在可能情况下，在相当一段时间内，教师应用相同或类似的语言表述，使学生重复感受、体会某种能力的具体外显。

### 第三节 物理能力脱离物理知识的独立形成律

物理能力的形成，最终脱离于对任何具体物理知识的依赖，并超越知识本身的层次，称为物理能力脱离物理知识的独立形成律。

从能力的概念看，能力本身作为一种抽象的、内在的、有特定涵义的特征心理，其层次必然要高于知识在人脑中的层次。物理能力的外显，即各种不同的物理方法、思路等等，要比知识更具普遍适用性和能动性。

从教学实践上看，这样一种层次的内容，单纯靠物理知识的能力价值自然发挥作用，单纯靠知识教学中的暗示，或靠学生在学习和掌握知识的过程中，潜移默化地接受能力训练，盲目被动地自醒自悟，不但悟出的水平难于保证，而且悟出的内容也会因不同学生而差异甚大。其根本原因，是由于物理知识本身，并不等于物理能力，以至在知识学习中，基础不同的学生虽然可能获得同样的好成绩，例如都获得知识考试的 100 分，但彼此的能力可能实际上相差甚远。也就是说，知识的学习虽然可培养能力，但并不意味着学生的能力由此就能得到同一的发展，或者说获得较高的培养效率。

由于上述两个方面的原因，教师应该在物理教学中选择适当的时机，协助学生将能力较系统、较规范地统一在同一水平上。即教师应协助学生，完成能力最终从知识中脱离出来形成的抽象过程。

具体说，物理教育中的能力培养，不但要以物理知识为载体，还要选择适当的时机，脱离具体知识，给学生明示出方法、思路、步骤的具体表述，并指导学生有意识地运用这些内容，自己有意识地培养自己的能力。这乃是从能力与知识之间的本质区别，来提高能力培养效率。

在实践中运用独立形成律培养学生的物理能力，在课堂教学中要处理好以下几个问题：

第一，有目的、有意识、有计划地安排几种活动，频繁表现某些彼此相似的、同一层次的、同一种的物理能力外显，并注意要求、指导、帮助学生逐一完成这些精心安排的活动。频繁地出现，将引导学生对它们的感知与领会趋于心理定型，逐步形成规范的程序；活动的完成，将促使学生产生领悟，并诱发学生主动应用这些思路、方法、技能去克服所遇到的困难，最终获得成功。于是，这一切就有助于学生最终形成关于如何完成这几种活动的心理特征。物理教学中的“这几种活动”，就目前的教学要求，包括观察、实验、思维（主要指分析、综合、比较、抽象、概括、归纳、演绎、类比、联想）与运用物理知识解决某些实际问题等几种类型。

第二，在上述有目的、有意识、有计划地频繁出现并予以完成的活动中，应该选择一个恰当的时间，用简洁、明晰、条理、实用的语言和模式，给学生明示出与某种活动相应的思路、方法、技能。这样做的必要性是：

帮助虽经过类似活动，但尚未有所领悟的学生完成顿悟；

统一、规范、提高所有学生经过教师精心安排活动后的顿悟水平；在完成后续的同类活动中，提高学生自我培养能力的效率。

所谓“恰当的时间”，指经过相当数量的活动，学生已有较充足的感知之时。过早的明示，学生得到的只是空泛的教条，并不能理解，故亦无以引发顿悟；过晚的明示，学生按自己顿悟的水平，已形成自己的特征心理，它们一般不够全面，层次水平不高，甚至还可能有一定错误。但由于已趋形成，纠正起来会较困难。

第三，在明示出思路、方法、技能等内容以后，还应要求学生，通过教师精心安排的后续活动，有意识地运用这些思路、方法、技能，并在使用中进一步加深理解。教师也须注意随时加以指导和订正。

下面以质疑为例，简述培养这一思想方法的基本过程。第一步，通过在教学中安排相当数量的实例（观察的和逻辑的），引导学生感受质疑的基本过程。例如在课堂演示实验中先让学生独立观察，再让学生自己提出与观察目的有关的问题，然后教师对这些从不同角度，用不同语言提出的问题，分析其具有不同的效果，进而找出最价值的问题。又如学习阿基米德定律时，在使学生掌握浮力与物质浸没液体深度  $h$  无关以后，可引导学生从逻辑上质疑：浮力是由液体内部压强差  $p$  造成的，而  $h$  又是决定  $p$  的物理量，那么浮力却为什么与  $h$  无关呢？

第二步，在上一步趋于成熟的时候，用少量时间给学生归纳明示出质疑的规范程式：

提出与研究对象有关的所有不能解释的问题；

对已解释的问题，审视其中的逻辑，找出解释不科学、不严谨的问题；

设想所有问题已被解决，比较它们对研究目的的贡献；对被确定为贡献最大和较大的那几个问题，分别就被确定的原因提出为什么的问题。

将似乎已不存在问题的结论，思考能否从不同角度（如从另一种理论、从新的实验、从生活中的经验等）对它作出相悖的结论。

第三步，引导并要求学生在以后的物理学习中主动运用质疑的规范程式，养成质疑习惯。例如在学习抛射角为  $45^\circ$  时射程最大以后，引导学生观察园艺工人用胶皮管浇草地与铅球运动员推球时的抛射角，从而对实际中射程最大时的抛射角为什么不是  $45^\circ$  提出质疑。又如在演示光电效应的实验后，突出已学过的波动理论的逻辑结果与实验现象的矛盾，引导学生自己提出对波动理论的质疑。

需要强调，脱离物理知识而形成，不仅指“明示”一个环节。从教师最初为培养能力而精心结合知识安排各种活动开始，包括学生自己的感知、顿悟、到经教师明示后去有意识地运用，实际上都只不过是借助物理知识的具体内容，积累起脱离物理知识具体内容的心理特征。因此，物理教育中的能力脱离物理知识而形成的规律，正反映了能力与知识之间的不同

本质。忽视这一规律，只注意到能力与知识间的联系，将能力培养淹没在知识教学之中，是能力培养效率低下的主要原因之一。

最后还应该明确，物理能力培养的独立形成律和全面寓合律是相辅相成的，而不是矛盾的。本节在讨论独立形成律的运用中，提出要处理好的三个问题，即领会（含感知）、明示和运用，其实都必须以物理知识为载体，都应随物理知识教学而展开。实际上，以上我们是分别从能力对知识的依赖与能力与知识的区别这两个不同的方面，来讨论物理能力的培养规律的。在实际教学中，如果不尊重物理能力对物理知识教学全面寓合的规律，学生就没有感知的基础，从而难于理解某种能力的内涵；如果不尊重物理能力脱离物理知识而独立形成的规律，作为能力的宏观外显的思路、方法等内容，就像溶解在水里的糖，看不见摸不着，难于凝聚定形，从而物理能力亦难于最终形成。

## 附录

### 物理抽象能力测量试卷（能力卷）

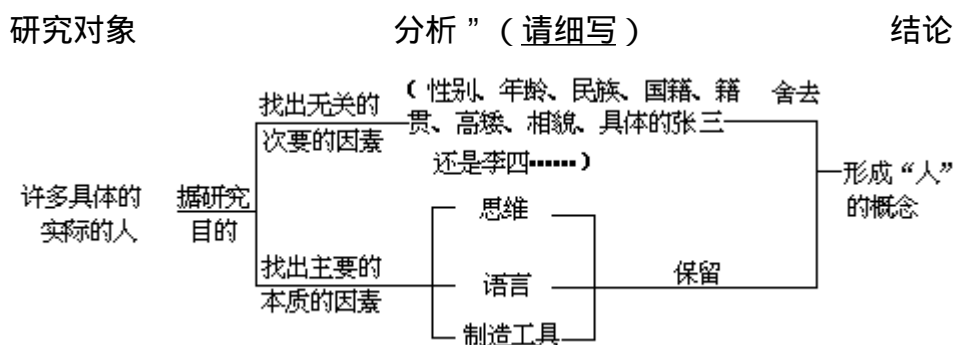
学校\_\_班级\_\_姓名\_\_

性别\_\_答卷所用时间\_\_（分）

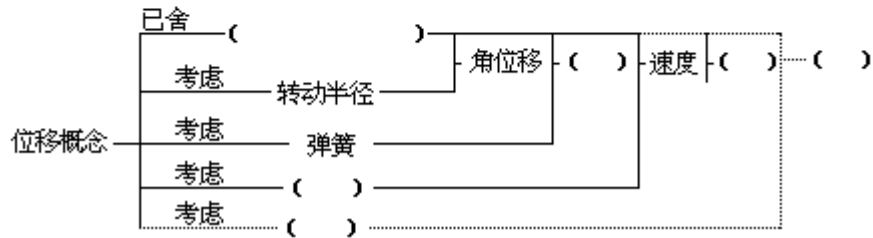
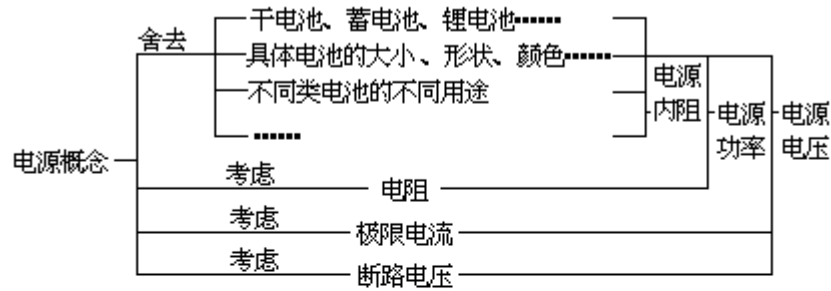
答卷注意事项：

1. 尽量使你的答案体现出你现有的科学抽象能力。
2. 用钢笔或圆珠笔在附纸上作答，标清题号，不抄题。
3. 仔细审题，理解后再行作答。
4. 答卷语言要简练，但表述要清楚。实验中注意安全。
5. 全卷做完后注意填写答卷所用时间。

一、从力学、热学、电学、光学中各选一个概念，模仿下面的例子说明每个概念是如何从实际事物中抽象出来的。请尽量详细地写出中间的分析部分的内容。



二、模仿从电源概念抽象出内阻、电源功率、电源电压等概念的过程，在答题纸上抄下并完成从位移概念抽象出其他概念的线条图，并接虚线继续写出你自己想到的所有其他概念。



三、在将具体物体抽象为单摆时，都忽略了物体的哪些因素？将它们尽量写出来，再举出三种不同类型的不能抽象为单摆的实际例子，并分别说明其原因。

四、对一束光，尽可能多地写出下面几个问题的答案：

研究光的哪些类问题可将其抽象为光线？此时，已舍去了这束光的哪些因素？

在研究被这束光照亮的面积时，由于要考虑哪些因素而不能将其抽象为光线？

在研究光的干涉、衍射时，由于要考虑哪些因素而不能将其抽象为光线？

五、通过科学抽象建立下列理想模型时，都忽略了什么有关因素（与相应的实际事物相比）？把想到的都写出来。

光滑平面 质点 点电荷

六、一个小球的运动可以分为四个阶段。从不同的角度，每个阶段可抽象成几个不同的物理过程。试对每一阶段，从括号中挑选出你认为可抽象成的所有过程，若你认为还需补充提出某种过程，请写清过程的特点，并接原有的序号进行编排。

第一阶段：小球从冰坡上滑下（无滚动） 第二阶段：在沙地上滚动

第三阶段：与一个湿的软面团在山崖边正碰 第四阶段：面团在空中翻滚着落到崖下，而小球落入带降落伞的小盒中，慢慢飘落崖下。[（1）质点的匀变速直线运动过程；（2）自由落体过程；（3）圆周运动过程；（4）平动过程；（5）机械能损耗过程；（6）可忽略摩擦的运动过程；（7）机械能守恒过程；（8）能量守恒过程；（9）动能向弹性势能转化的过程；（10）重力做功的过程；（11）内力做功的过程；（12）摩擦力做功的过程；（13）作完全弹性碰撞的过程；（14）完全非弹性碰撞的过程；（15）





动能守恒      非完全弹性碰撞   有形变可恢复  
能量守恒      完全非弹性碰撞   有形变不可恢复

4. 颜色      光      强度  
    能量      机械   亮度  
电磁波              光洁度

### 三、填空

1. 分针转动半径为  $R$ ，当它走过 10 分钟时，分针的角位移是\_\_，分针顶点 A 的位移是\_\_。

2. 弹性系数为  $K$  的弹簧从自然状态被拉伸，其上的某点 A 有位移  $x$ ，则该弹簧此时的弹力为\_\_，势能为\_\_。

3. 机械能包括\_\_与\_\_；能量包括\_\_等，它们

守恒时，其属下的不同能量形式之间可\_\_，但\_\_不变。4. 气体在等温、等容、等压的变化过程中，不发生变化的状态参量分别是\_\_，此外也还有不发生变化的其他物理量，如\_\_。

### 四、选择填空

1. 同一物体分别从同一高度做自由落体和抛体运动时，\_\_\_\_，是一样的，而\_\_，\_\_\_\_，则是不同的。（  竖直方向的位移，  初速度，  加速度，  所受外力，  末速度，  射程，  运动时间，  初势能，  初动能）

2. 杠杆的运动是\_\_，握在其一端的手若发生了沿杆的滑动，则手的运动是\_\_；拐弯中自行车车把的运动是\_\_，而扶把的手的运动则是\_\_。（  圆周运动，  平动，  定点转动，  定轴转动）

3. 在答案所列出的概念中，理想模型包括\_\_，理想过程包括\_\_。（  点光源，  匀强磁场，  匀速运动，  空气，  原子，  简谐振动，  无规则运动，  光滑斜面，  等温变化，  点电荷，（11）光线，（11）光束）

4. 匀变速直线运动的轨迹是\_\_，运动中\_\_都是不变的，而\_\_\_\_都是随时间改变的。（  折线，  直线，  所受外力，  加速度，  速度，  位移，  动能）

5. 物体发生形变时，它的\_\_发生改变。（  动能，  弹性势能，  重力势能，  内能，  电磁能）

6. 陨石落进大气层后，将有下列过程发生\_\_（  摩擦  
力做正功，  重力做正功，  空气阻力做负功，  热量变化，  重力势能增加，  动能增加，  重力势能减少，  克服摩擦力做功）

## 附录

### 物理演绎能力测量试卷（能力卷）

学校\_\_班级\_\_姓名\_\_

性别\_\_答卷所用时间\_\_（分）

#### 答卷注意事项

1. 尽量使你的答案体现出你现有的物理实验能力。
2. 用钢笔或圆珠笔在附纸上作答，标清题号，不抄题。
3. 仔细审题，理解后再行作答。
4. 答卷语言要简练，但表述要清楚。实验中注意安全。
5. 全卷做完后注意填写答卷所用时间。

一、下面是从物理课本中选出的几个演绎推理，它们的特点是省略了某些物理条件（有的相当于演绎推理中大前提条件，有的相当于小前提，即具体条件）。请指出各题所省略物理条件的具体内容是什么？它相当于大前提条件还是相当于具体条件？

“任何导体中有电流的时候，导体都要发热，这种现象叫做电流的热效应。电炉、电烙铁都是利用电流的热效应工作的。”

“由于曲线上各点的切线方向不同，所以曲线运动的速度方向是时刻改变的。”

“根据牛顿第三定律，木桩也受到重锤很大的反作用力，才被打入地下。”

“由于越到高空空气越稀薄，空气的密度越小，所以气球在上升的过程中受到的空气的浮力越来越小。”

二、下面是对某一物理现象的解释。试在保持正确和清楚的前提下，省去可以省去的句子，简化解释的表述。请提出你想到的所有方案。（答题时可用原句序号表示，允许改变其中的连接词；若不用原题语句，请将自己的表述全部写出）

现象：用铲子向锅炉炉膛内加煤时，铲子骤停在炉门前（而不进入炉膛内）就可将煤送入炉内。

解释：一切物体都有惯性，即物体要保持自己原来的运动状态，因为煤是一种物体，它也有惯性，所以，当铲子在膛前骤停时，煤就继续向前运动，从而进入炉内。

三、根据质点所受合外力  $F$  ( $F \neq 0$ ) 与其初速度  $v_0$  ( $v_0 \neq 0$ ) 的夹角  $\theta$ ，可判断质点作什么形式的机械运动。以此为依据，你能对质点的几种运动进行分析？分析时请分别说明决定某种运动的具体角度（或角的范围），并举出你想到的该种运动的实例。

例： $\theta = 0^\circ$ ：匀加速直线运动，像竖直下抛，沿直线加速行驶的汽车……

四、试由动量定理  $F \cdot t = \Delta p$  出发，在匀变速直线运动的条件下，推出动

能定理  $F_s = E_k$ ，并说明为什么平抛物体的动能与动量之比为末速度的一半。

五、由欧姆定律可知：当  $U$  一定时， $I$  与  $R+r$  成反比；当  $R+r$  一定时， $I$  与  $U$  成正比；当  $U$  与  $R+r$  同时都变时，每一时刻都有  $I$  等于  $\frac{U}{R+r}$ 。

现将 5 号电池接在一截电阻丝两端，发现最初电阻丝不热，后来逐渐变热并稳定了一段时间，后又逐渐变冷。试用欧姆定律解释该过程中的这些现象（依据、条件、结论的表述要清楚）。

六、一束频率为  $\nu$  的光入射进某一空间（如图），试自己选择某一物理概念规律做依据（即做推理中的大前提条件），结合已知的或自己补充的具体条件推出某一结论。将你想到的推理尽量都写出来。

例：据光的反射定律，正对入射光放置一平面镜，则光将沿原路返回。

七、如图，绳子被突然剪断，请你对小球以后的运动做出尽可能多的推理。（定量、定性都可以，请写清每一步的依据）

八、如图，两平行金属板相距  $d_0$ ，相对面积  $S_0$ ，一个液滴恰静止在中央。在  $S$  闭合的条件下，迅速将下板上移  $d_0/2$ 。请从此条件出发做出尽可能多的演绎推理，写清每一步的依据、条件和定性及定量的结论（建议用箭头图表示）。

九、试用牛顿运动定律和自由落体规律，尽量细致地讨论或估计下述各组物体从等高处同时下落后，落地的时间是否相同？写清每一步分析的依据、条件和结论。

等大不等质的两铁球（比萨斜塔实验）；

等大的铁球与空心塑料球；

等大等质的两充沙塑料球，其中一球漏沙；

请你提出一种或几种可能的其他情况，然后进行分析。

十、下述演绎推理的结论都是错的，说明错因属于下面哪一种：

A. 推理错误，由于具体情况并不满足所选依据的要求（即具体条件并不满足大前提的条件）；

B. 推理错误，推理中改变了概念的定义范围；

C. 推理正确，但由于所选的总依据没能包括一切可能而导致结论错误；

D. 推理正确，但因所选依据的物理结论中含义有误而导致结论错误。

一切物质都能被加速，电磁场是一种物质，所以电磁场也能被加速。

物体在常力作用下将作匀变速运动。匀速圆周运动的向心力大小不变，因此匀速圆周运动是一种匀变速运动。

用力推一辆抛锚的汽车，汽车要么不动，要么缓慢向前移动。现在

汽车已离开抛锚地点，因此它的运动可近似视作质点的匀速直线运动。

水在 4 时反常膨胀，冰实质也是水，因此 4 的冰体积将最大。

据  $P = \frac{U^2}{R}$ ，铭牌上标为 100W 的电风扇，其电动机线圈的电阻值应为 484

。水到 100 就要沸腾。所以，漂在沸水锅内的半小盒水（如图），由于最终要与锅中的水达到热平衡，也就一定会沸腾。

（说明：本卷原为高二年级命题）

### 物理演绎能力测量（知识卷）

学校\_\_班级\_\_姓名\_\_

#### 一、解释名词：

1. 汽化热——
2. 牛顿第三定律——
3. 干涉——
4. 电场强度——
5. 浮沉条件——
6. 二力平衡——

#### 二、填空：

1. 做匀减速直线运动的物体，其速度和加速度的方向\_\_，合外力与加速度的方向\_\_，而做曲线运动的物体在某一时刻的速度方向是轨迹上相应位置的\_\_方向。

2. 某物浸没在水和汽油中所受的浮力之比为\_\_之比，漂在水和汽油表面时所受浮力\_\_，当它由浸没位置向水面上浮的过程中，阻力方向与浮力\_\_，若阻力大小不变，它是一\_\_速运动的过程。

3. 据加速度定义， $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ；据  $v_t = v_0 + at$  与  $s = v_0t + \frac{at^2}{2}$ ，消去  $t$

可得公式\_\_。

4. 光通过小孔可以成\_\_，其性质是\_\_像；水中的树影实际是\_\_像。当孔小至一定程度，将发生光的\_\_现象。

5. 匀速圆周运动是一种\_\_速运动，其向心力与速度方向总\_\_。

#### 三、选择填空：

1. 电容  $C = \frac{Q}{U}$  或  $C = \frac{\epsilon S}{4\pi kd}$ ；当\_\_等物理量改变时， $C$  值一定改变；当\_\_改变时， $C$  值并\_\_；匀强电场  $E = \frac{U}{d}$ ，当\_\_改变时， $E$  值\_\_；在如图电路中，若  $S$  闭合时， $C$  两极的\_\_总不变；若  $S$  断开后改变  $d$  值，则  $C$  两极的\_\_总不变， $C$  间的  $E$  则\_\_。（ $U$ ， $d$ ， $S$ ， $Q$ ，变，不变）

2. 物体的浮沉还可用物体的密度和液体的密度判断，当\_\_时，物体上浮，当\_\_时，物体可悬浮在液体中任一点。这一方法适用于\_\_物体\_\_浸入液体的条件下。（ $\rho_{物} > \rho_{液}$ ， $\rho_{物} < \rho_{液}$ ， $\rho_{物} = \rho_{液}$ ，空心，

实心， 部分， 全部)

3. 公式 $P = \frac{U^2}{R}$ 不适用于\_\_的电路。( 只含电阻， 含有电容， 含

有电感 R、C、L 都有)

4. 光可以在平面镜表面发生\_\_，在凸面镜表面发生\_\_，在凹面镜表面发生\_\_，在玻璃表面发生\_\_，在直角三棱镜中发生\_\_。( 反射， 透射， 折射， 全反射， 干涉， 偏振， 衍射， 发散， 会聚) 5. 电阻率随温度增加而\_\_，并使电阻\_\_，电源内阻随电能消耗\_\_，而电压\_\_。( 变大， 减小， 不变)

6. 平抛一物体时，出手速度与重力要成\_\_。斜上抛一物体时， $v_0$ 与重力要成\_\_。平抛运动可分解成\_\_，在\_\_运动中\_\_不变\_\_。(  $0^\circ$ 角，  $90^\circ$ 角， 锐角， 钝角， 匀速直线运动， 自由落体运动， 竖直上抛运动， 速度， 动能， 动量)

#### 四、用直线段将相关词汇联接

	竖直下抛	
运动状态不变	自由落体	同向
平角	斜下抛	反向
锐角	惯性	$U_0=0$
直角	电磁场	$a=0$
动能减少	流体阻力	0
	曲线运动	

#### 五、在图上填出必要线段

1. 全反射 2. 液滴平衡 3. 凹透镜成像

4. 凸透镜成虚像与实像

六、若空气阻力 $f$ 不可忽略，证明自 $H$ 处下落的物体落地时间为 $t = \left(\frac{2H}{mg-f}\right)^{\frac{1}{2}}$

