

大学物理方法 学习导论

胡在铭

东南大学出版社

大学物理方法 学习导论

胡在铭

东南大学出版社

内 容 提 要

这是一本论述物理方法的教学参考书。全书力图阐明科学思维方法在探索物质运动规律特别是后人在学习掌握这些规律的过程中所起的重要作用。内容结合大学物理教材,将分散而又容易忽视的思维方法素材综合起来,针对学生实际水平展开讨论。对正在学习大学物理的学生,本书具有很好的适用性和可接受性。

全书分两部分。第一部分十个专题分别论述理想模型、理想过程、变式思维、类比、近似、数学等常用物理方法的特点及它们在认知过程起到的作用;第二部分精选了从力学到近代物理近四十个典型问题,通过释疑解难方式将物理思想方法贯穿其中,使学生明白学习知识固然重要,但通过知识的学习培养正确的思维方法更为重要。只有真正领悟科学思维方法并努力运用,才能加深对知识的理解,才会增强获取新知识的能力,才可以使自身素质提高一个层次。

本书使用对象为高等工科院校学生,也适合各类成人高校(电大、函授等)学生和自学者阅读,亦可供师范院校物理专业学生和大、中学物理教师参考。

大学物理方法学习导论

胡在铭

*

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼2号 邮编 210018)

南京邮电学院印刷厂印刷

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 9.25 字数 248 千

1995年9月第1版 1995年9月第1次印刷

印数:1—3700册

ISBN 7-81050-061-9/O·6

定价:9.30元

责任编辑 雷家煜

(凡因质量问题,可直接向承印厂调换)

前 言

一年级大学生处在从中学到大学专业课学习的转折阶段,无论是学习方法、学习能力乃至思维习惯,都要求有一个较大的转变和提高。但是,不少同学并不清楚这一点,不自觉地沿用中学的思维方式和学习习惯对待大学课程。主观上期望能在大学里学习更多的知识,最好是专业知识,可是并不懂得知识从何而来,也不清楚如何主动获取知识。一碰到似是而非的问题,即使是早已熟悉的知识内容,也会困惑不解。譬如,物理学中自由落体运动、上抛运动、点电荷的电场等内容,公式熟知,习题做过大量,就知识而言可谓“牢固”掌握,但稍加推论,即会暴露“问题”:

- 按自由落体速度公式 $v = gt$, 可知物体速度随时间增加而不断增大。可是,当 $t \rightarrow \infty, v \rightarrow \infty$ 又是不可思议的,错在什么地方?
- 上抛物体可达到的高度为 $h = \frac{v_0^2}{2g}$, 显然从公式中可以看出 h 和初速 v_0 的平方成正比。若要使物体脱离地球即令 $h \rightarrow \infty$, 岂不要求 $v_0 \rightarrow \infty$! 事实并非如此,该如何解释?
- 点电荷的场强公式 $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$, 表明场强与距离平方成反比。 r 愈小, E 愈大, 那么能否说 $r \rightarrow 0$ 时 $E \rightarrow \infty$ 呢? 为什么又错了?

类似的问题很容易难倒学生。他们的困惑在于公式没有错,推论也是允许的,为什么推出的结果却是错的?! 学生的疑虑并不奇怪,正反映了大学与中学教学要求上的差异,大学课程不仅仅是知识量的增加,更重要的特点是开始追究理论知识是如何形成的。物

理学的发展为自然科学和工程技术学科提供了至今人们公认的科学研究方法:深入地观察现象,从现象的复杂因素中选择重要的单个因素进行实验,对实验结果进行分析,综合,作出必要的近似和假设,建立适当的模型,然后运用数学工具归纳成理论,理论结果又受到实践的检验和修正,每门学科都是循着这条思路不断得到丰富和完善。科学的思维方法在科学技术的发展中一直起着重要作用,后人在学习已有理论知识时,也必须熟悉和掌握科学的思维方法。忽视这一点,只注意增加知识量;只用心记住公式、背出定律;只顾多做习题,却经不住“侧面”或“反面”推敲,很难说“掌握”了知识,更不能说在学习知识的同时学会了获取知识的能力。

为了改变学生学习的被动局面,刻意培训学生的科学素质,达到能力与知识同步增长的目的,编者有意汇集“大学物理”课程中常用的物理思维方法要点,结合学生的实际水平,编写了这本以论述物理方法为中心的教学参考书。本书力图突出科学的思维方法在认识客观世界、寻求物质运动规律和学习掌握这些规律的过程中所起的重要作用,结合教学实际,针对学生中常见多发的疑难问题展开论述,使较为抽象的素质培养具体化。

本书编写过程中得到南京邮电学院领导和物理教研室许多老师的关心和支持。东南大学马文蔚教授,北京科技大学朱荣华教授分别审阅了本书,均给予热情的鼓励和肯定。在百忙中,马教授认真仔细地审稿,提出许多宝贵意见和有益建议,编者在此一并表示衷心的感谢。

以物理方法论为主要内容的教学参考书,目前还不多见,本书是一个尝试。从内容选取到形式安排,都有待完善。限于水平,书中难免有不当或疏漏之处,恳请使用本书的读者批评、指正。

编者

1995.4

目 录



物理方法导论

1.1	要树立模型意识	1
1.1.1	为什么要建立模型	1
1.1.2	如何对待模型	2
1.1.3	要树立模型意识	4
1.2	为什么要研究理想过程	7
1.2.1	理想过程使问题简化	7
1.2.2	理想过程使研究深入本质	8
1.2.3	理想过程并不脱离实际	10
1.3	必须重视物理条件	14
1.3.1	条件的由来	14
1.3.2	条件分析是关键	16
1.3.3	加强条件意识	19
1.4	从不同角度分析问题	21
1.4.1	为什么要更换角度	21
1.4.2	从能量角度分析	25
1.4.3	加强变式思维训练	27
1.5	学会类比方法	29
1.5.1	类比是科学探索手段	29
1.5.2	用类比思维指导学习	30
1.5.3	正确对待类比	37
1.6	定性思考至关重要	39

1.6.1	为什么强调定性思考	39
1.6.2	定性思考要借助直观形象	41
1.6.3	充分注意对称性分析	47
1.7	物理离不开数学	48
1.7.1	数学在物理学中的作用	48
1.7.2	数学运用要受物理概念制约	54
1.7.3	熟练运用,提高能力	57
1.8	关于物理近似	60
1.8.1	近似是一种科学方法	60
1.8.2	近似要有条件	62
1.8.3	学会近似方法	65
1.9	要认真掌握物理概念	68
1.9.1	概念涉及面广泛	68
1.9.2	基本概念是基础	70
1.9.3	概念要深化、强化和简化	71
1.10	谈物理量和物理量变化率	80
1.10.1	几类常见的物理量	80
1.10.2	物理量形成的数学方法	82
1.10.3	物理量的变化率	85



物理问题专题讨论

2.1	位移和路程如何计算	88
2.2	在 $F(t)$ 作用后物体获得多大速度	93
2.3	落体的收尾速度多大	97
2.4	对斜面的正压力是 $mg\cos\theta$ 吗	101
2.5	磁场中带电小球沿斜杆运动的 $v_m = ?$	106
2.6	小球滑到底部受到多大弹力	110

2.7	抛体上升高度与“逃逸速度”	115
2.8	$h \rightarrow \infty$ 处势能 $E_P = ?$	119
2.9	运动的弹簧最大伸长几何	122
2.10	为什么要分阶段处理	126
2.11	m 下落, 能使 M 上升多高	131
2.12	物体下落速度如何变化	136
2.13	质点和杆碰撞 P 为何不守恒	141
2.14	体积膨胀过程一定吸热吗	146
2.15	热二律和过程的不可逆性	151
2.16	什么是点电荷	155
2.17	电势零点选择的困惑	161
2.18	均匀带电球面内外的 $U = ?$	165
2.19	半球壳的圆平面上 E 和 U	170
2.20	从场分布逆求电荷分布	175
2.21	导体表面附近 $E_P = ?$	178
2.22	接地导体上的 $q' = ?$	183
2.23	如何提高电容器的耐压	188
2.24	极化电荷 Q' 的影响何在	192
2.25	两边场强是否相等	197
2.26	为什么螺线管外 $B = 0$	203
2.27	转动细棒中的电动势 $\mathcal{E} = ?$	208
2.28	怎求导体棒在磁场中运动规律	214
2.29	为什么 $L \neq L_1 + L_2$	221
2.30	单摆是一个理想模型	228
2.31	振动相位和参考圆	234
2.32	从相位考虑	240
2.33	如何建立波动方程	247
2.34	$\tan \theta \doteq \sin \theta$ 不能盲目应用	254

2.35	从干涉条纹移动能知道什么·····	261
2.36	光栅缺级是怎么回事·····	267
2.27	怎样求微观粒子的 P 和 E_k ·····	273
2.38	如何理解微观粒子的二象性·····	279



1.1 要树立模型意识

物理学研究物质的各种基本运动规律,研究的方法是把实际研究对象(客体)抽象为某种理想模型,然后研究理想模型的运动变化规律。为什么不把实际的客体直接作为研究对象?物理模型具有那些特点?如何运用模型?这些问题当弄明白。

1.1.1 为什么要建立模型

研究任何物理现象,都会发现有些因素起决定性或根本性作用,另一些因素则只起次要的非决定性作用,还有一些因素不起什么实质的作用。例如,带电体之间的相互作用力,与带电体的电荷、带电体的形状大小、电荷的分布、带电体之间的相对位置,以及周围的介质等多种因素有关,情况是复杂的。如果不分轻重地考虑一切因素,并不能因此得出精确的结果,相反地,往往会对复杂现象的研究感到束手无策。通过不断探索,物理学家在对发生复杂现象的客体系统进行认真分析的基础上,突出对所研究问题起主要作用的因素,略去次要的、不起作用的因素,构设出一个合理的“理想模型”,从而使问题较容易地解决。实验发现,在真空中,带电体相互间的作用力,随着相互距离的增大,带电体的形状、大小的影响逐渐减小,当距离增大到一定程度,起决定作用的就是带电体的总电量和它们之间的距离,而带电体的形状、大小则是无关紧要

的,都可以忽略不计,于是建立了“点电荷”模型。库仑定律就是关于两个点电荷之间的相互作用规律。实际问题中,带电体能否当作点电荷处理,必须根据具体情况及对处理问题所要求的精确程度而定。当带电体显然不能视为点电荷时,就把带电体看作是无数点电荷(电荷元)的集合体,借助叠加原理,根据库仑定律原则上可以求出任意带电体之间的相互作用力。这个例子说明物理学的一般研究方法是:先突出客体的某些主要因素,排除次要因素,抽象出一个理想模型,使复杂的情况得以简化,从而找出特定的规律;然后再考虑那些被排除的因素,把规律扩展到一般情况。没有这番科学抽象的过程,任何物理理论都无法总结出来。

可以这样说,离开物理模型,就没有物理学研究,也就谈不上物理学理论。

1.1.2 如何对待模型

学习物理必然要和模型打交道,因此对模型要有一个正确认识。从错综复杂的情况中抽象出一个简明的理想模型并非易事,需要对客观实际进行全面的科学分析。随着认识的深化,模型会不断地修正、充实和发展、甚至被推翻而另立模型。理想模型是否反映客观实际,需要经受科学实验的检验。在大学物理各个部分遇到的理想模型主要有:

力学中有质点、质点组、刚体、弹簧振子、单摆、柔绳等。

热学中有理想气体,范氏气体(真实气体)。

电磁学中有点电荷、偶极子、线电荷、面电荷、体电荷、线电流、面电流、无限大平板电容器、直长密绕螺线管、理想导体、绝缘体等。

光学中有点光源、线光源、薄透镜、狭缝、光栅、薄膜等。

近代物理中有绝对黑体、无限深势阱、势垒等。

从根本上说,学习物理就是研究上述各种模型的特性和它们的运动规律。和物理模型打交道,先要了解模型的一些特点:

(1) 一物可以有多种模型

每个物体有许多特性,如形状、大小、质量、温度、弹性、导电性等等,在物理学中,把这些特点分别归到力、热、电等各个分支进行研究。从不同角度看,起主要作用的因素会不一样,同一个物体自然就被抽象成不同模型。譬如地球,当研究它的轨道运动时可以把它视为一个质点;研究静电问题时,地球常被当作一个球状导体,而到磁学中研究地磁场时就要用到磁偶极子模型。同一个物体放在电场中被称为电介质,放到磁场中又叫磁介质也不奇怪。

即使在同一分支范围,由于研究的问题侧重点不同,同一物体所采用的模型也各不相同,在力学里,如研究地球自转规律就必须考虑它的形状,而且认为在运动过程其形状可保持不变,这时不能把它当作质点,而应作为一个刚体来处理,可是当研究地震波的传播规律时,还要把地球看成一个弹性体。

我们面对的物质世界,千姿百态,变化多端,从不同侧面研究不同的物理现象,对客体采用不同模型,物质世界不存在什么统一的模型。

(2) 模型是有条件的

模型是在一定条件下建立的。如果条件变化,模型也要相应更换,不问条件,认定一个模型处理问题,常常会导致佯谬。这方面的例子很多,譬如在电磁学中有:

- 点电荷电场 $E = \frac{q}{4\pi\epsilon r^2}$, 有人问当 $r \rightarrow 0, E \rightarrow \infty$, 应当如何解释? [2·16] 专题讨论作了回答。
- 无限长线电荷电场中, 某点电势似乎不能选取无限远为电势参考零点, 因为 $U = \int_r^\infty E \cdot dl = \int_r^\infty \frac{\lambda}{2\pi\epsilon r} dr \rightarrow \infty$, 理由

充分吗？专题〔2.17〕要讨论这个问题。

实际上，上述问题症结在于对模型的认识片面，忽视了模型的限定条件。在满足限定条件时，模型能使问题的分析大大简化。如果无视限定条件，把运用某种模型导出的结果乱加推广，势必引出一些错误的结论。

(3) 模型需要修正与完善

一个模型必定忽略了客体的某些次要因素，它与实际物体存在或多或少的差异，因此运用模型建立起来的理论是近似理论，只能在一定范围内和一定程度上反映物体运动规律。

为了进一步更准确地反映自然界客观规律，就必须对模型进行修正，考虑曾被忽略的次要因素建立新的模型。例如，要研究物体转动规律，质点模型无能为力，就得考虑它的形状大小，建立刚体模型；而研究波在物质中运动规律，形变则是一个不可忽视的重要因素，因此弹性体模型又被抽象出来。

1.1.3 要树立模型意识

研究物理离不开模型，学习物理也是如此，尽管目前接触的模型大多是比较成熟的，但是正确理解并熟练运用物理模型仍是学习中一个重要任务。只有加强模型意识，领会物理学研究问题的思维方法，才能学有所获。单纯地记住几条物理定律，会解若干习题算不上懂得物理。

(1) 弄清模型的内涵

碰到一个模型首先要弄明白，它是针对什么现象提出来的？突出客体哪些主要因素，又忽略了哪些因素，力求把握模型的隐含条件。下面列举数例：

- “点电荷”忽略带电体的形状，突出它所带的总电量和它的空间位置。提到“点电荷”就意味不追究电荷是如何分布的。

细节。

- “面电荷”则忽略带电体的厚度，突出带电量 and 带电面积。谈到面电荷就意味着不过问电荷在体内的分布，只关心电荷如何按面积分布。
- “刚体”突出物体的形状，忽略它的形变。分析刚体问题时，要考虑它的质量分布，但是任何两个质点间距离始终不变。从牛顿定律导出刚体转动定律，就要用到这一重要特点。刚体定轴转动，所以具有不可压缩性。
- “弹簧振子”突出振动系统的两个主要因素即惯性与弹性，把系统惯性集中在一个振子上，而系统的弹性集中在不计质量的轻弹簧上，简化了振动规律的寻求。

(2) 公式要和模型挂钩

物理学定律或者定理都是针对某一特定模型，因此，都有特定的适用对象。例如，牛顿定律概括了质点模型作机械运动的基本规律，只适用于质点，如果客体非质点，就不能直接用牛顿定律处理；库仑定律只适用于点电荷；毕沙拉定律只适用于线电流元，楞次定律只适用于纯电阻电路等。在应用定律时，必须明确应用对象是否符合定律所要求的模型条件。忽视这一点，盲目应用，往往出错，有时会错得令人“费解”。(公式要与模型挂钩)

(3) 自觉选用模型

有人觉得平常讨论一个问题或是计算一道习题好象没有提到模型，这是一种误解。其实是使用了模型，只不过有的人自觉应用，有的人则不自觉应用。两种不同意识，对解决一个简单的习题或

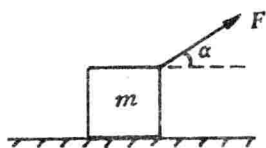


图 1.1.1

许没有差别，但对培养分析问题，解决问题的能力却不一样。

实际上，如果不明确选取什么模型，常常就连简单的问题都难

以解决。举例来说，地面上有一静止木块，现用一根绳子去拉它（如图所示），问木块将如何运动？

问题看起来好象很简单，实际上影响木块运动的因素很多，比如木块的质量、形状、大小；绳子的质量、形变；拉力的大小、作用点；还有被动力（摩擦力、支持力）的大小和作用点等等，有些因素对木块运动的影响程度和把木块抽象成什么模型密切相关，不明确选取什么模型，这个问题很难回答。

选取何种模型，要看研究问题的需要。上述问题，如果只想了解木块平动规律，把它抽象成质点是最简化的分析方法，但和实际情况差别可能较大，或许在没有发生平动之前木块已倾倒。为了研究这种可能性，就需要选用刚体模型来分析了。再如两个小球作完全弹性碰撞，如果只关心碰撞前后速度变化规律，把小球看作质点或者刚体，应用动量守恒和机械能守恒定律，便能解决问题。但要追问碰撞过程动能是否守恒？那就要改用弹性体模型去讨论才能回答。电磁学中的问题也是如此，研究带电薄板激发电场的规律，如果只关心带电板以外的场点，可以选用简单的面电荷模型，如果还要关心带电板内各点电场分布情况，那就必须改用体电荷模型，并考虑电荷在板中如何分布等细节情况。

培养模型意识，自觉运用模型，针对模型分析问题，必要时要考虑次要因素，修正模型，使它不断接近实际，这是把理论应用到工程技术的重要研究方法。

1.2 为什么要研究理想过程

在客观事物的运动过程中,状态变化要受到众多因素的影响,其中有客体自身的许多不同特性,也有外界的多种不同作用,情况相当复杂,要想直接研究变化过程的规律是困难的。物理学采用理想化方法,一是将复杂的客体抽象为理想模型,二是将客体所处的外部条件理想化,即忽略影响状态变化的次要因素,突出主要因素,使外界作用简单化、单纯化、这就是理想过程,研究理想过程是否脱离实际?我们讨论研究理想过程的必要性和科学性。

1.2.1 理想过程使问题简化

举一个熟悉的例子。地球附近的落体运动,要受到地球引力、空气浮力、还有阻力、风力等多种作用,甚至地磁场和电场对落体也会有影响。若把这些因素都考虑在内,将无从入手去研究落体运动的基本规律。通过大量现象观察和实验分析,可以认定地球引力作用是主要的,其它因素与之相比都可以暂时忽略,于是落体问题就简化为:受到地球引力的质点如何运动?进一步考虑到落体运动范围都在地球表面附近,在这有限范围内,非均匀的引力场可以近似为均匀的重力场,落体问题就进一步简化为质点受到恒力作用,因此作匀加速运动过程。熟知的自由落体就是这样抽象出来的理想过程。

再如准静态过程是热力学中一个重要的理想过程。实际过程不会是无限制缓慢的,在过程中的每一时刻气体都处在非平衡态,不能用参量(如 P 、 T)表征系统宏观性质,为了能够进行量化分析,

我们设想一个理想的无限缓慢进行的过程,在过程中每一时刻系统都处在平衡态,每一个平衡态都有相应的宏观状态参量,这便是理想化的准静态过程。对于准静态过程,系统对外作功可以表示成

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

不同的准静态过程, P 对 V 的依赖关系不同,找出具体过程方程 $P=P(V)$,就可求出功这一过程量。实际过程的近似处理是必要的,否则功的计算就无法进行,热力学定律也就不能具体应用,对气体系统的任何一个热力学过程的变化规律,那怕是最主要的规律也难了解。

1.2.2 理想过程使研究深入本质

过程的理想化不仅仅使问题计算简便,更重要的意义还在于可以使运动性质纯化。这样便可以把某种形式的运动从复杂的综合运动现象中分离出来,进行单独研究,达到寻求物体进行某种单一运动形式的规律性的目的,物体的惯性运动与惯性的认识就是一个典型例子。希腊古代哲学家亚里斯多德认为物体只有在一个不断作用的外力推动下,才能保持运动,实际上就是认为力是维持物体速度的原因。这一观点曾在一段很长时间内占统治地位。从现象看似乎如此,球在水平桌面上运动,最终总是要停下来。但是粗浅的生活经验不能代替科学分析。伽里略用推理思维方法,通过“惯性运动”这一理想过程,第一个向亚里斯多德观点提出挑战,揭露了物体的机械运动属性。他设想球在水平桌面运动过程中,桌面阻力一再减小,球的运动就可以远些再远些,如果完全理想化,桌面没有任何摩擦力,球将一直保持原有的运动状态,进行所谓惯性运动,从而认识物体具有保持固有机械运动状态的重要属性——惯性。假如没有运动过程理想化的设想,物体具有惯性这一重要性