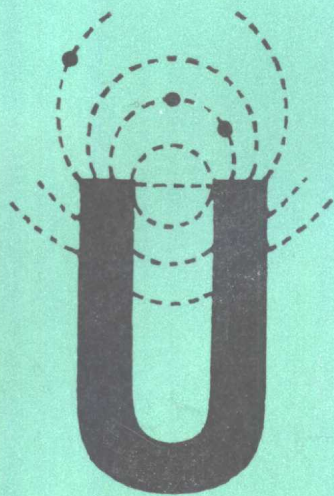


继续教育参考教材

中学物理专题

叶禹卿 杨雄生 主编

(第一辑)



光明日报出版社

继续教育参考教材

中学物理专题

第一辑

叶禹卿 杨雄生

主编

光明日报出版社

中学物理专题

光明日报出版社出版发行

(北京永安路 106 号)

新华书店北京发行所经销 人民卫生出版社胶印厂印刷

787×1092 32开本 8.125印张 178千字

1991年6月第1版 1991年6月第一次印刷

1 - 60001册 定价:4.70元

ISBN 7-80091-111-X /G • 439

前 言

科学技术的飞速发展、中学物理教学的深入改革，对广大物理教师的教育教学能力提出了更高的要求。为帮助教师深刻理解物理学的基础理论，高屋建瓴地掌握和驾驭教材，教育学院系统的物理教师，共同编写了《中学物理专题》。

该书以中学物理教学中的重点问题或疑难问题为课题，进行深入的研究和讨论，明确应当如何理解和进行讲授。

本书为《中学物理专题》第一辑，由北京教育学院叶禹卿、叶九成、卢铁峰；教育学院东城分院巴幼泉；教育学院西城分院关堰、田春阁；教育学院崇文分院王钢；朝阳教师进修学校杨雄生、宣树德；海淀教师进修学校洪安生、宁克健等从事师资培训工作的教师，在授课讲义的基础上，经过多次讨论，在各位修改而成。书中每个专题，都密切联系中学教学实际，深入浅出地分析具体问题。编写时注意到了思想性、实用性、科学性、先进性及可接受性。本书可作为中学物理教师继续教育参考教材，也可作为中学物理教学参考资料。

在本书中，我们提出了一些新的观点，希望能与同行切磋。由于时间和作者水平所限，书中会有许多缺陷，欢迎批评、指正。

编 者

1991、4、23

目 录

1. 牛顿的绝对时空观·····	1
2. 经典力学对惯性的认识·····	7
3. 相对论力学对惯性的认识·····	13
4. 牛顿第一定律的基础性和独立性·····	19
5. 谈谈牛顿第三定律·····	24
6. 从整体结构上加深对牛顿定律的认识·····	29
7. 机械功的定义·····	35
8. 成对相互作用力做功的特点·····	41
9. 静摩擦力和滑动摩擦力的功·····	47
10. 滚动摩擦·····	53
11. 不同惯性系中的功和能·····	60
12. 动量定理和动量守恒定律中的几个问题·····	66
13. 动量和动能的区别与联系·····	72
14. 液体内部的压强·····	77
15. 液面下平面物体的平均压强和总压力的作用点·····	82
16. 浮心和浮力势能·····	88
17. 应用功能关系研究液体的压强和浮力·····	95
18. 简谐波中各质元的能量·····	103
19. 振动图象和波动图象的区别与联系·····	110
20. 浅介人造地球卫星轨道·····	116
21. 温度概念·····	121
22. 温标·····	127
23. 热量的定义·····	133
24. 水的三相点·····	138

25. 气体的微观统计理论与宏观实验定律·····	144
26. 应用分子运动论研究大气压强·····	152
27. 经典的金属自由电子理论·····	160
28. 静电屏蔽问题的解释·····	166
29. 大气中的电·····	170
30. 直流输电中的整流与逆变·····	177
31. 超导电性和高温超导材料简介·····	187
32. 等效电源·····	192
33. 怎样认识中学课本中的磁极概念·····	199
34. 安培力与洛仑兹力的关系·····	206
35. 水中物象的讨论·····	212
36. 光导纤维的传光原理和制作·····	220
37. 光的散射现象·····	226
38. 对光的衍射的认识·····	232
39. 对光的波粒二象性的认识·····	240
40. 中学物理中的数学·····	246

一 牛顿的绝对时空观

对物理规律的研究离不开对时间和空间的认识。对于时间和空间，在物理学发展史上存在着两种截然不同的看法。十九世纪末以前形成的经典物理学理论，都以牛顿的绝对时空观念为基础的，在二十世纪以后建立的近代物理学理论，都以爱因斯坦创立的相对论时空观为其框架的。

从相对论确立以后，有些人认为牛顿提出的绝对时空观念是他的一项失误，甚至认为这是一种错误观念应该抛弃。其实这种看法是一种误解，现分析如下。

（一）牛顿对绝对时空的表述

1687年牛顿发表了《自然哲学的数学原理》一书。这部巨著共有两大部分，第一部分仿照欧几里德的方法，首先提出了若干“定义和注释”，以及动力学定律，这部分是他的力学体系的前提，第二部分是这些基本原理的应用。

在注释中，牛顿对时间和空间性质提出了他的论述。他写道：

“绝对的、真正的和数学的时间自身在流逝着，而且由于其本性而在均匀地、与任何其它外界无关地流逝着”。

“绝对的空间，就其本性而言，是与外界任何事物无关而永远是相同的和不动的”。

概括起来，牛顿绝对时空的重要特征是：两者均与物质运动无关，并且彼此也没有关系，空间是物体运动的场所，它是不变的，也是不动的，时间是独立的、均匀的在流逝着。

（二）对绝对空间观念的分析

牛顿引入绝对空间的目的不仅仅是把它当作物体运动的

场所，更主要的是给他的第一定律选择一个理想的参照系，并使第二定律也在其中成立。

后人在研究牛顿的运动定律时，发现在他的理论中有一个明显的弱点，就是在他的定律中谈到的“静止”、“匀速直线运动”和“运动的改变”时，并没有指明是对什么参照系而言的。在牛顿力学中，力是物体间的相互作用，与选取什么参照系无关，然而“运动的改变”或加速度的量值却与参照系有关。这样，力学定律就有一种不确定性，这就有可能使同一个力在不同参照系中产生不同的加速度。因此，牛顿运动定律不是在所有参照系中都能成立的。

人们把牛顿运动定律可以适用的参照系叫惯性系，而把不能适用的叫非惯性系。判断一个参照系是不是惯性系，只能依靠观察和实验，而任何观察与实验都只有一定的精确度，所以，所得的结论也只是在相应的精度内成立。例如，精确的实验表明，只有研究在较短的时间内进行的力学过程时，才可以把地球看成近似程度相当好的惯性系。但如果考察的力学过程时间较长，或者空间范围较大，就不能把地球视为较好的惯性系，甚至根本就不能视为惯性系了。实际经验证明，以太阳或其它恒星为参照系，是比地球好得多的惯性系。此外，依据伽里略相对性原理，如果按照某种精确程度的要求，选定了一个相对准确的惯性系，那么一切相对于这个惯性系做匀速直线运动或静止的参照系就都是惯性系。

以上提出的依靠观察和实验确定惯性系的方法，是使牛顿定律得以成立的一种实际解决办法，但这是在一定精度内存在的，只适应于某种特定运动的参照系。这种做法，在理论上并没有解决牛顿定律中存在的问题。牛顿自己深知这一薄弱环节，他的解决办法就是引入绝对空间，并指出这种空

间“与外界任何事物无关而永远是相同的和不动的”。显然这是一种理想的、适用于任何机械运动的并使牛顿第一定律得以成立的参照系。

那么，这个“绝对空间”在什么地方呢？牛顿曾猜想，“在恒星所在的遥远的地方，或者也许在它们之外更遥远的地方，可能有某种绝对静止的物体存在”。但是，根据伽里略相对性原理，不可能通过任何力学实验来区分绝对静止和匀速直线运动，即使牛顿的猜想属实也无法检验。为此牛顿还是为绝对空间的存在提出了一个间接的然而是有力的判据，那就是物体作加速运动时所受的力，他认为这可以用来区分“真正的”（即相对于绝对空间的）运动和仅仅是表观的相对运动，因为“只有当力作用于运动物体之上时，真正的运动才能发生或者有所改变，但是相对运动则不需要有力作用于这物体上也能发生或者有所改变”。他还进一步指出“把绝对运动和相对运动区别开来的一些效应，是圆周运动中出现的那些离开转轴的力”，为了证明上述论断，牛顿提出了有名的水桶实验：使一个盛水的桶由静止开始旋转，最初虽然桶壁已在旋转，但桶内的水仍然静止，这时虽然桶壁与水之间存在相对转动，但水面仍然保持水平状态，后来水逐渐被桶壁带动起来，开始了“真正的”圆周运动，由于受到离心力的作用，水面就由平面变成了凹面。因此，根据实验中是否存在离心力，可以判别水发生的是“真正的”圆周运动不是表观的相对转动。

从以上的叙述可以看出，牛顿为了使“绝对空间”得到承认，确实进行了很多思索，这是因为牛顿的《原理》不是对某种具体运动的研究成果，而是一个完整的理论体系，因此它必须具有不矛盾性，即在相同的条件下不容许推出相互

矛盾的答案，如相同的力得到不同的加速度之类。因此引入绝对空间在当时的历史条件下就是完全必要的，不可缺少的。

从历史上看，牛顿关于绝对空间的论点和论据，在长达二百年的时间内确实得到了科学家的普遍承认，直到十九世纪末，物理学家一般都不怀疑绝对空间的存在，并且不断补充新的模型，如波动光学中的“弹性以太”和法拉第、麦克斯韦的“电磁以太”都是继承了牛顿的这一思想。

第一个向绝对时空观念发起挑战的是奥地利哲学家和物理学家马赫，1883年出版了他写的《力学史评》一书，马赫认为绝对时间与绝对空间无法与经验观测相联系，因此“它既无实践价值，也无科学价值”，他还指出“牛顿旋转水桶的实验只是告诉我们，水对桶壁的相对转动并不引起显著的离心力，而这离心力是由水对地球的质量和和其他天体的相对转动所产生的。如果桶壁愈来愈厚，愈来愈重，最后达到几英里厚时，那时就没有人能说这实验会得出什么样的结果”。这段话的意思是，牛顿的水桶实验并没有真正起到判据的作用，因为实验中的两种情形并不完全等价，在第一种情况下，只有桶壁相对于水转动，宇宙中一切其他质量相对于水都是静止的，而在第二种情况下，水却相对于宇宙其他质量发生转动，要做到完全等价，就要使得在第一种情况下宇宙其他质量也都绕水转动而不仅是桶壁绕水转动。当然这种实验无法实现，对此马赫就设想桶壁达几英里厚，这时有巨大的质量绕水转动，实验的结果将与牛顿所说的不同，水面将不再是平的，而和第二种情况相似是凹的。关于这个问题，本世纪二十年代有人用广义相对论计算了一个旋转的物质球壳（这类似于牛顿的水桶壁）内的引力场，发现球壳内的静止物体与旋转参照系中的物体一样会受到离心力和柯里奥利力，这

和马赫的预料是一致的，它说明了水桶实验不能用来证明绝对运动的存在。

我们认为，马赫对旋转水桶实验的否定是正确的，但是他对牛顿的绝对空间的论断，认为它毫无价值是过份的。在这个问题上最有发言权的应首推爱因斯坦，因为他的狭义相对论建立了一种崭新的时空观念，而广义相对论彻底否定了绝对运动的存在，使得牛顿的绝对空间概念失去了一度是非常有力的自然科学依据，最终被否定了。但是，爱因斯坦对牛顿的绝对空间概念没有持彻底的否定态度，相反地在他的文集、专著和谈话中曾经多次提到“牛顿本人以及他同时代的有识之士都感到，把空间本身和空间的运动状态同样说成具有物理实在性是不很妥当的，但是为了使力学具有明确的意义，当时没有别的办法”，他还认为引入绝对空间是在牛顿那个时代“一位具有最高思维能力和创造力的人所能发现的唯一的道路”，在他逝世前两个星期，在同美国科学史家贝纳德·科恩的谈话中，回顾牛顿的全部思想时，他认为“牛顿最伟大的成就就是，他认识到特选〔参照〕系的作用”。

总之，我们认为牛顿的绝对空间概念，虽然最终被否定了，但是不应割断历史地去完全否定它的价值，牛顿提出绝对空间概念并不是一种失误，而是建立他的力学体系的需要，是他的理论体系中不可缺少的基本假设；也是科学史上第一个建立在自然科学基础上的空间概念。从历史的观点看，它曾对近代自然科学的建立和发展起过重要作用，也为现代科学中空间概念的孕育提供了丰富的养料，对于它的历史作用是不容忽视的。

（三）对绝对时间观念的分析

为了描述运动需要引入时间，这是问题的运动学方面，

那么从动力学方面看绝对时间又有什么意义呢？我们认为，它是使牛顿第三定律得以成立的前提。

对第三定律，牛顿自己的表述是“每一个作用总是有一个相等的反作用和他相对抗；或者说两物体之间的相互作用永远相等，并且各自指向对方”，现行高中物理课本指出“牛顿第三定律说明了，对每一个作用力，必有一个等值反向的反作用力，作用力和反作用力是成对出现的，它们同时存在，同时消失”。

那么，为什么作用和反作用除了等值反向的特点以外，还要满足同时性的要求呢？为此，我们对相互作用的两种方式作一下分析。一种是物体与物体直接接触而产生的相互作用，这种作用方式的相互作用力必然是同时发生的。另一种情况是，两物体有一定空间间隔而发生相互作用，这又有两种可能，一种是相互作用仍然同时发生，第二种是一先一后地发生，显然从牛顿对第三定律的表述来看或从对这定律的逻辑分析来看都不应是指第二种可能。那么定律的本意是即使是有—定间隔的相互作用也应是同时发生的，这就要求作用传递的速度为无穷大，即作用的传递是瞬时的，因而要求运动与时间无关。这种相互作用方式被物理学家称为“超距作用”。

但是牛顿本人无论是直接的还是间接的都没有提到过他的万有引力是超距作用，在提出第三定律时也没有提过这种注释、牛顿的绝对时间观念也是继承了亚里士多德的思想“时间之流逝处处皆同与万物无关”。牛顿既没有把绝对时间和第三定律联系起来，也没有指出他所说的相互作用是超距作用，也是很自然的。因为在他那个时代还没有建立场的观念，也不知道相对论效应，所以认为相互作用总是同时发生的是理所当然的。

(巴幼泉)

二 经典力学对惯性的认识

什么是物体的惯性？为什么物体有惯性？这些问题乍看很平凡、简单，似乎叙述一下定义，指明惯性是物体本身的性质，就简明地给出了答案。其实不然。惯性是全部力学的出发点。探究起来，渊源流长，时至今日亦尚未解决。有关惯性的问题是一个既古老、平凡而又年轻、深邃，令人神往的问题。随着人们对惯性以及相关问题的认识深化，力学的基本观念也发生了两次历史性的转变。伽利略开创性的提出了惯性运动定律和惯性的初步想法；牛顿以此为基础概括出运动基本三定律，奠定了近代力学大厦的基石。至此，才完成了对亚里士多德的古代运动观的变革。马赫分析批判了牛顿绝对时空观，提出了对惯性及惯性力起源的揣测，是相对论时空观诞生前的启蒙。爱因斯坦摒弃了习俗成见创造性的把经典力学进一步发展为现代的相对论力学。这一简略的回顾使我们看到了对惯性的认识推动着力学的发展。而它又不仅是个纯理论发展问题，同时还是跟科学技术发展密切相关的实际问题。当今探索开发核能的一种方式核聚变，实现受控核聚变中的一种途径是惯性约束聚变，在惯性约束聚变中，约束（相当于容器的作用）是靠聚变物质燃爆时的惯性来提供的。在航天技术中的惯性制导，其基本根据是靠飞行器中的惯性力的作用，测出飞行器的加速度，通过计算机算出物体的速度和位置以及姿态，来实现制导的。惯性技术日益被广泛应用于自动控制。

从上述可见，研究对惯性的认识不仅在理论上是重要的，而且对了解科技应用也很必要。我们将从经典力学和相对论力学两

个发展阶段分别讨论。在这个专题里只就经典力学范围内的认识讨论。

(一) 惯性运动是唯一的自然运动, 惯性是对自然运动动因的表述。惯性是动力学问题, 惯性运动是运动学问题, 对动力学的探究是对运动学从必然向自由的追求。

从科学史看对物体惯性的认识, 开始于对运动的认识, 尤其是同对自然(天然)运动(靠自身驱使的运动, 而不是靠外部原因)的形态的认识发展相联系着。古代的亚里士多德把地上物体的运动分为自然运动和强制运动。自然运动是重物在自身重量驱使下, 自然地落向宇宙中心的运动。那时时代宇宙中心是地球。除此之外均属非天然运动或称强制运动(包括匀速直线运动), 都是在外力强迫下才能进行的运动。外力决定速度的观点, 就不可能产生对惯性的认识。这是片断的日常经验得来的认识。牛顿力学则不仅以直接经验事实为根据, 并且用理想实验给以论证, 从而发现了惯性运动, 提出了惯性运动定律。伽利略反驳了亚里士多德对运动的两种分法, 把惯性运动看作是一种自然运动, 开始建立了新的自然运动观, 但并不彻底。考虑到落体是只受物体重量而不受其它力作用的结果, 因而伽利略把重物落向地心的运动也看作是自然运动。正是基于这种认识, 他把抛体运动看作是自由落体运动和惯性运动的合成, 认为二者具有对等的意义。到了牛顿由于将天上星体与地面物体运动的统一, 认识到只有惯性运动才是唯一的自然运动。这才完成了对古代自然运动观的变革。

既然只有惯性运动才是自然运动, 那么, 从动力学探求是什么维持着这一自然运动的永恒性呢? 这就要从物体的本身去寻求, 这就是惯性概念应予反映的物质属性。所以经典

力学把惯性表述为物体保持静止和匀速直线运动状态不变的性质。由于物体的运动状态是以速度为标志的，所以又可表述为物体保持原有运动状态不变的特性。但这只是对现象的描述，或者说只是表象的定义。

人们自然会问保持住了状态不变反映了惯性，没有保持住而状态发生了变化，惯性还有没有？所以还要深入一步指出惯性的存在与运动状态的关系。

（二）惯性是物体固有的基本属性，反映了物体反抗加速的能力，它的存在跟物体的运动状态无关。

牛顿力学认为，物体能够保持速度恒定的性质，是物体自身固有的特性，这是一个客观的存在。如果物体不存在惯性，那世界会是一幅什么图象呢？原来的静者，可能会自行动起来；而原来是动者，也可能要自动静下来。而这样一来，运动便从无中生有，从有中消灭，岂不成了运动自生自灭。但是物质的运动是不灭的，因之物体亦必具有惯性。只是它所显示的形式，因外加条件不同而有别。当物体所受外力为零或所受外力的合力为零时，惯性显示为“保持”状态不变的特性；而当物体受有外力作用时，则显示为反抗加速的能力（特性）。后一这种情形下惯性的表现，也是前者条件被打破时的必然表现。状态不变时是“保持”；状态变了，特性并未消失，保持性与外力对抗，转化为“反抗”的形式呈现出来。这时以“反抗”形式显示的“保持”，是与外力一起并存于物体加速运动过程的始终，或者说外力施于物体的作用与惯性反抗的作用是主宰物体运动过程的一对矛盾。外力撤消之时，“反抗”随即转化，“保持”即之显示。此时所保持的状态是以此刻的瞬时速度矢量为标志的，其值可大可小，视此刻条件而定，所以惯性的存在与物体的速度无关，这也

正是物体自身属性的表现结果。

学生在学习这部分知识时常常出现许多误解，例如认为一个物体的惯性大小是因运动状态而可变的，惯性的存在是有条件的。教师为了解决这一难点，往往采取罗列种种状态变化情形（诸如：物体从静到动怎样？从快到慢怎样？曲线上各处怎样？）以图通过对各种情形的辨别，训练学生形成对惯性的确切认识。但是这样做学生仍不得要领。如果在教学上能够有前述的理解，教学中又注意抓住对“保持”二字的分析，并且从分析一对矛盾入手认识运动过程，这样做既可以减轻教学上的赘述，又可以使学生能有一个深入的理解。

（三）惯性的大小是以惯性质量来量度的，是不变量。

既然运动状态的变化是外力和物体惯性共同作用的结果，就可以利用一个确定的力，先后对两物体施加作用时所获得加速度比值量提出它们惯性大小的反比。通过对物体的加速度行为所量度的就称惯性质量，它定量的反映出物体自身对状态改变的难易程度，即物体惯性的大小。

高中教材中说质量是对惯性的量度，这样定义的质量是惯性质量。而在初中教材里，质量是指物质的量的量度。两个质量概念不是等同的。作为对物质的量的量度的质量是物质的一种普遍属性，是一个一般性的定义。但它有不同的表现，对任何改变其运动状态的外来作用的“反抗性”讲，表现为惯性质量；而对万有引力的产生和接受作用的强弱讲则表现为引力质量。使用时要区分场合。质量，在牛顿力学里是以“原子论”学说为基础的。物质是由不变的、具有惯性的原子组成的，质量就是物体所含的原子数量，原子集体在物体运动中是不变的实体，所以质量在物体运动中是不变量，因而惯性的大小也是不变量。

以上所说的惯性，是指质点或物体作平动而言的，因而惯性质量使用是有局限的。对转动物体来说也存在惯性，转动惯性是用转动惯量来量度的，以 $I = \sum_i m_i r_i^2$ 来计算。转动惯量不仅和物体质量有关，之外还同质量对转轴的分布状况有关。同一物体因所绕转轴不同，转动惯量有别；而惯性质量却与物体形状无关。所以转动惯量并不能象惯性质量那样反映物体的内在属性。因此，在我们谈到物体（如飞轮）作转动运动的惯性时，不应和质点的惯性混同。对于物体作转动运动时的各整体状态量来讲，如：转动的角速度、角加速度已不是第一定律中所表述的状态量，转动的惯性仅只是一种类比性称呼。但如果将转动物体看成是诸多质量元组成的体系，对每个质量元按质点运动讨论，那才能从本质上将二者一致起来。

（四）惯性在非惯性系里表现为“惯性力”。

牛顿定律是以惯性系作为参照物的，在惯性系里我们把物体保持速度恒定的属性称为惯性，那么在非惯性系里，物体的这一本性，还能称为惯性吗？例如，对急刹车里的人发生前倾运动这一现象的解释，从地面观察者看这是人的惯性所致。起初人随车一同相对地面运动，在车急剧减速时，人将保持原有状态，因而前倾。车里的人该怎样看呢？如果也讲是惯性，那就会发生矛盾。因为从车上观察，人对于车原本是处于静止状态的，当急刹车时惯性仍应“维持”其静止，怎么能发生人对车的运动呢！所以不能归因于惯性。车上观察者是在非惯性系里，在他看来是由于人受到了惯性力作用的结果。

在非惯性系里使用牛顿运动定律，除了考虑物体间所发