

PHYSICS

邓人忠 著

物理学

基本概念探讨



内 容 简 介

有人说:如果你想难倒一位物理学家,就问他:时间到底是什么?它是一条从过去流向未来的“河”吗?如果是,那是一条什么河呢?是什么驱使它流动呢?它的流速又是依据什么来确定的呢?如果时间是一条河,可以游到河的上游并穿过这条河吗?我们能完全阻止这条河的流动吗?……

实际上现今的物理学,不仅让你在时间概念上找不到答案,而且许多物理学基础概念,如能量、惯性、力、熵、电……都找不到让人满意的答案!本书就是专门讨论这些无最后答案的物理学基本概念专著。它从这些基本概念的历史及其演化入手,侧重对现有概念的描述,并在此基础上对不同定义进行分析、讨论,进而采百家之长,提出对此概念、定义的新思考。

图书在版编目(CIP)数据

物理学基本概念探讨/邓人忠著. —北京:气象出版社,2010.6

ISBN 978-7-5029-4982-2

I. ①物… II. ①邓… III. ①物理学-研究 IV. ①04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 085072 号

物理学基本概念探讨

Wulixue Jiben Gainian Tanta

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮政编码:100081

总 编 室:010-68407112

发 行 部:010-68409198

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

E-mail: qxcbs@263.net

责任编辑:胡育峰

终 审:黄润恒

封面设计:燕 彤

责任技编:吴庭芳

印 刷:北京京科印刷有限公司

开 本:880 mm×1230 mm 1/32

印 张:8.5

字 数:237 千字

版 次:2010 年 6 月第 1 版

印 次:2010 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~2000 册

定 价:28.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

前言

物理学是自然科学的基础学科,而构建物理学大厦的支柱,则是它的基本概念。人们常说:“概念不牢,基础动摇”。的确,物理学的基本概念是物理学科理论的基础,是学科赖以生存、成长的核心,是人类对运动着的客观世界,进行高度抽象、概括和认知而获得的理性成果。

物理学的基本概念,是一个动态的概念:由于科学技术的不断发展,以及人们在科学实践活动中千百次地使用、翻腾、凝炼这些基本概念,从而带来的对其认识的深化,促使这些基本概念不断演化、发展、进步。它的每一次变革,都意味着给科学、技术的进步带来一次巨大的推动,几乎可以说是一部人类的科学技术发展史,是人类对物理学基本概念认识的深化史!

当今物理学已发展得枝繁叶茂,万紫千红,臻于完善。但人们往往只陶醉于对欣欣向荣的花、枝、叶的欣赏之中,而不会去关心那支撑这“万紫千红”的“树干”!实际上这些基本支撑概念在发展中还存在着许多矛盾和困扰,许多概念还存在着很大争议。这是物理学界不应忽略的,但又确是一个真实的客观存在。

有人说:科学的最高成果是概念!实际上学科的最大生命力也来源于概念。时间、空间、能量、惯性、熵……这些都是物理学中最基础的概念,都是让人不说很清楚,一说就糊涂的“简单”概念。我们回想一下关于“时间”的讨论:从牛顿的“均匀流逝”到克劳修斯的“时间之矢”;从洛伦兹的“尺缩钟长”到爱因斯坦的“时空合一”;从普利高津的“内部时间”到霍金的“虚时间”……这些天才们都无一不在这些最简单概念上下足工夫,寻找突破。难怪有人说:考虑着物理学中最简单问题的人,是非凡的天才!

物理学的基本概念,是人们在长期的科学实践活动中建立起来的。在这块被人们千百遍地精耕细作过的土地上,要想有突破,其困

难程度是可想而知的。正因如此,想在这块结实的厚木板上打孔的人就很少,这也是至今未见有人对物理学基本概念进行系统研究的原因之一。在本书中,笔者对质量、能量、动量、惯性、势能、力等二十余个物理学基本概念的定義、性质及数学表达式进行了系统的归纳、分析和研究,并在此基础上提出了自己的看法或建议。鉴于本人的学识和掌握的资料,错讹之处肯定不少,盼望各位不吝赐教。本人希望通过出版此书,能达到“抛砖引玉”之作用,以期有更多的同仁、专家投入到对物理学基本概念的系统研究中来。更希望能为物理学学习者提供一本以人类科学发展史为背景掌握物理学基本概念的参考书。

在本书的写作和出版过程中,首先要感谢衢州学院的诸位领导给我提供了一个可以潜心研究的环境,以及衢州学院科研处及衢州学院出版资金的资助。其次要感谢衢州学院江爱民、吴锡标、王工一、张昆诸位教授,及林定远、李燕、郑文珍、李林、吴新全诸位副教授给予的关心、指导及进行的修改、校阅工作。还要感谢中山大学李景德、陈敏教授,宜春学院唐定昱、陈寿如、余济海、周伟华教授及上饶师范学院吴波教授的指导和帮助。感谢江苏教育学院学报编辑部的刘筱莉女士及宜春学院学报编辑部丁建平先生数年来的理解、指点和帮助。正是由于有了这许多的理解、关爱和帮助,物理学基本概念的研究工作才长出了这一片新绿,才充满了希望。

邓人忠

2010年3月

目 录

第一编 物质与时空

第 1 章 质量	(3)
1.1 质量的定义	(3)
1.2 质量的特性	(7)
1.3 关于负质量	(12)
第 2 章 物理时间	(15)
2.1 时间之谜	(16)
2.2 物理时间	(17)
2.3 时间的测度	(25)
第 3 章 物理空间	(28)
3.1 物理空间	(29)
3.2 空间的维度	(34)
3.3 空间的测度	(38)
3.4 空间与真空	(41)
3.5 视觉与空间	(43)

第二编 力学

第 4 章 机械运动	(53)
4.1 运动的概念	(53)
4.2 机械运动的定义	(54)
4.3 机械运动的量度	(55)
4.4 直读多边形法则	(57)
4.5 定点跟踪法	(62)
第 5 章 能量	(71)

5.1	能量的定义	(71)
5.2	能量的特性	(77)
5.3	能量观研究	(83)
第 6 章	动能	(88)
6.1	关于动能的定义	(88)
6.2	动能的系统性	(90)
6.3	动能表式的理论思考	(91)
第 7 章	势能	(95)
7.1	关于势能的定义	(95)
7.2	势能的讨论	(101)
第 8 章	动量	(102)
8.1	动量的定义	(102)
8.2	动量的系统性	(103)
8.3	动量与惯性	(104)
8.4	动量守恒定律	(105)
第 9 章	惯性	(111)
9.1	惯性的定义	(111)
9.2	惯性的起源	(113)
9.3	惯性的物理特性	(114)
第 10 章	力	(117)
10.1	力的定义	(117)
10.2	力的起源	(120)
10.3	引力之谜	(121)
10.4	重量概念	(122)
第 11 章	功	(131)
11.1	“功”的定义	(131)
11.2	功的特性	(137)
11.3	功概念的推广	(138)
第 12 章	牛顿三定律	(140)
12.1	牛顿第一定律	(140)

12. 2	牛顿第二定律	(141)
12. 3	牛顿第三定律	(143)
12. 4	牛顿三定律间的数学关系	(146)

第三编 热学

第 13 章	温度	(149)
13. 1	温度的定义	(149)
13. 2	温度的特性	(157)
13. 3	温标	(159)
第 14 章	热量	(168)
14. 1	热量的定义	(168)
14. 2	热量的特性	(172)
14. 3	热量的单位	(174)
第 15 章	内能	(176)
15. 1	内能的定义	(176)
15. 2	内能的特性	(180)
第 16 章	熵	(192)
16. 1	关于熵的定义	(193)
16. 2	熵与热寂说	(198)
16. 3	熵的特性	(201)
16. 4	熵概念的推广	(205)
第 17 章	热力学四定律	(207)
17. 1	热力学第零定律	(209)
17. 2	热力学第一定律	(211)
17. 3	热力学第二定律	(212)
17. 4	热力学第三定律	(215)
17. 5	热力学四定律间的关系	(218)

第四编 电磁学

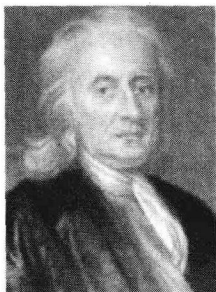
第 18 章 电与磁	(221)
18.1 “电”的概念	(221)
18.2 空间电荷	(223)
18.3 “磁”的概念	(232)
18.4 “电磁”的概念	(235)
第 19 章 电磁场	(236)
19.1 电磁场概念的产生	(236)
19.2 电磁场概念的深化	(237)
19.3 统一场论	(240)
19.4 终极理论	(242)
第 20 章 麦克斯韦方程组	(248)
20.1 麦克斯韦方程组	(248)
20.2 A 、 φ 的物理意义	(250)
20.3 $\mathcal{V}$ 规范	(253)
20.4 $\mathcal{V}$ 的源与流	(256)
参考文献	(258)
后记	(263)

第 1 章

质量

1.1 质量的定义

质量是物理学中一个非常重要的概念,自从 1687 年牛顿在其《自然哲学之数学原理》一书中定义“物质的量是被确定为正比于它的密度和体积的物质本身的量度”以来,至今已有三百余年了。在这以后的



牛顿(1643—1727)

三百年中,质量概念伴随着人类科学技术的进步不断发展、完善。时至今日,在物理学教材中我们发现,对质量概念的定义大致有如下五种:

- ①质量是惯性的量度。
- ②质量是力和力给予某一物体加速度的比值,或称质量为其比例系数。
- ③质量是能量的量度。
- ④质量是实物,场物质的量。
- ⑤质量是实物,场物质质量的量度。

由于质量定义的不同,在目前的教材中便派出诸如“惯性质量”,“引力质量”,“静止质量”,“横向质量”,“纵向质量”,“关于实物量的抽象”,“依赖于物体本身的量”,“作为

惯性的量度的量”，“在物体作任何移动时都保持不变的量”等五花八门的质量概念。为了消除以上质量概念的混乱和矛盾，我们来讨论以上质量概念的五种定义：

(1) 质量是惯性的量度

要了解这一概念，首先必须搞清楚什么是惯性。目前的物理学教材中，通常把惯性定义为：物体在任何其他物体没有使它改变运动状态以前，将保持静止或匀速直线运动状态的特性。当然，这个定义是不完善的，它没有概括在自然界很广泛的另一种运动形式——物体的转动，因为转动的物体同样具有转动惯性。当然这个由于惯性定义不完善，而引起的质量是惯性的量度的定义，及其在转动问题中的不和谐，是可以通过重新定义惯性来消除的。如果我们定义惯性为：物体在任何其他物体没有使它改变运动状态以前，将保持静止、匀速直线运动或匀角速转动的状态。这样似乎就消除了质量定义不能整合转动惯性的矛盾。但此时质量的定义仍存在如下问题。

其一，是我们很难想象用克或千克来表述物体保持静止、匀速直线运动或匀速转动的特性。克和千克是反映物质量方面的特性，而静止、匀速直线运动或匀角速转动则是反映物质质方面的特性，要在这两种不同种类特性之间建立直接的物理概念联系是非常困难，甚至是不可能的。

其二，如果考虑到物体的平动惯性用 m 来表示，而转动惯性要用 mr^2 来表示，我们马上就会明白，仅用 m 来表示惯性是不可能的，因为 mr^2 的内涵显然要比 m 大，即用 m 不能表示所有物体的惯性。

其三，以上还只是在机械运动中表述质量是惯性的量度，我们并没有信心把此概念引入电磁学之中，因为我们还不知道与电磁质量相对应的电磁惯性应作何正确的描述。

(2) 质量是力和加速度之比值

把质量说成是力和力给予某一物体加速度的比值，或是二者之比例系数，这是一种在 20 世纪 50 年代就被人们认为不妥的质量定

义。但此定义至今在不少书籍中仍若隐若现。该定义最大的缺点就在于去掉了物理学所研究的具体的物理物体。列宁^[1]对此曾写道：“显然，如果以某一物体为单位，那么其他一切物体的运动（力学的）都能用加速度的简单比例表达出来。但是‘物体’（即物质）还决不因此就消灭，就不再离开我们的意识而独立存在”。的确，谁都不能接受只剩下数学方程式，即仅具有纯数学内容的质量定义。

该定义的第二个错误是力和加速度是派生量，而质量是物理学的基本量。恩格斯说：“不知道质量和速度的概念，是不可以列出论证力的概念的，因为前者（质量、空间和时间）是所有其他物理概念物理量以之为基础的决定性的量。”在这里恩格斯说得很清楚，力是由质量和速度来定义的。而我们又定义质量为力和力给予某一物体加速度的比值，这无疑犯了循环论证的逻辑错误。

(3) 质量是能量的量度

“质量是能量的量度”的定义，是人们在讨论爱因斯坦 $E=mc^2$ 公式时提出来的，它与我们刚讨论过的定义质量是力和加速度的比值一样，犯了同样的错误：质量是基本量，而能量是派生量。例如我们用 mv^2 的一半来定义运动物体之动能。现在我们又定义质量为能量的量度，把能量当成了基本量，质量反而成了派生量。也就是说我们本来用质量和速度来定义动能，现在又反过来用动能来定义质量，把质量看成是能量的量度，这无疑陷入了循环定义的逻辑错误之中。

把质量定义为能量量度的另一个问题是，如果我们用参量来定义质量，这样就把两个根本不同的物理量混淆起来了，它会导致人们认为质量等值于能量，能量代替了质量及质量转化为能量的错误认识，它甚至还可能使人们产生质量消失了，质量概念被能量概念代替了的错误的唯能主义认识。我们说 $E=mc^2$ 表述的不是物质变成了能量，而是证明了任何形式的能量都对应于一定量的实物或场物质。

(4)质量是实物或场物质的量,质量是实物或场物质的量度

“质量是实物或场物质的量”与“质量是实物或场物质的量度”这两个定义只有一字之差,但二者定义是不同的。在质量是实物或场物质的量中,强调的是质量是物质的量。而在质量是实物或场物质的量度中,强调质量是一种量度。前者把质量及物质量与物质混同起来了;后者又只涉及了质量是一种量度,而没有告诉人们这种物质质量的计算方法,因为更多的物理学家们认为物理量的定义,应该和它的计量方法有关。

也许会说:在本节的开头,已经引用过牛顿的话:物质的量是被确定正比于它的密度和体积本身的量度。这里他不但讲了质量是一种量度,而且告知了其计算方法。其实牛顿在此表述中也犯了循环论证的逻辑错误,他用密度与体积来表示质量这种量,但当人们问及密度由何而来时他又不得不要用到质量,故而牛顿还是没有给出与质量计量有关的方法。

我们说定义质量是实物、场物质的量度是较为正确的。其理由有四:

其一,我们在对任何概念下定义时,首先注意到的并不是该定义是否与计量方法有关,而是如何使此概念包含在另外一个更广泛的定义之中。列宁^[1]说:“下定义是什么意思呢?首先就是把某一概念放在另外一个更广泛的概念里。例如当我下定义说驴子是动物的时候,我是把驴放在更广泛的概念里。”由此我们在给质量下定义时,也就无须过多地去顾及与下定义无关的物理量的计算方法。

其二,由此定义可确定自然界存在着的一切实物、场物质在量方面的共有特性。如物体和物质量的多少,这是实物、场在量方面的共性。我们定义质量是实物、场物质量的量度,就正是表征了此共性。

其三,此定义可表示不同类物体物质之间量的关系。如在地面天平上一块糖与一块铁相平衡,即二者物质之量相同。将天平放至空中,仍旧平衡,保持不变的还是在地面上表示出来二者物质之量,而不是二者所受之重力。

其四,在此定义中,我们用实物表示物体以及物质微粒等物质不连续的存在形式,用场物质来表示物质存在的连续形式,因而该定义就包括了迄今为止我们所认识的全部物质的质量。

1.2 质量的特性

质量是物理学中一个最基本的概念。对质量有的定义为惯性,有的定义为力与加速度之比值,有的说是能量的量度,有的说是物质的量,也有的说是物质量的量度。我们定义质量是物质量的量度,在此基础上,我们来讨论质量的基本特性。

(1) 质量的相对性

我们知道电子运动的速度愈大,它的质量也愈大。爱因斯坦给出的所有物体的质量,都按照一定规律以同样程度增加:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad (1.1)$$

式中 m_0 为物体静止质量, v 为物体运动之速度, c 为光速。从公式中我们可以看出质量与速度的关系:在其速度远小于光速时,质量几乎不变,它等于静止质量。而其速度接近光速时质量趋于无穷。我们在加速器中已经把一些基本粒子质量,增加到静止质量的几百倍。

把(1.1)式利用级数展开,写成:

$$m = m_0 \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{v}{c} \right)^2 + \frac{3}{8} \left(\frac{v}{c} \right)^4 + \cdots \right]$$

$$\Delta m = \left[\frac{1}{2} \left(\frac{v}{c} \right)^2 + \frac{3}{8} \left(\frac{v}{c} \right)^4 + \cdots \right] m_0$$

当 $v \rightarrow c$ 时,此级数发散。在 $v \ll c$ 时,上式可近似写成

$$\Delta m = \frac{1}{2} \left(\frac{v}{c} \right)^2 m_0$$

即在物体运动速度可以与光速相比较时,质量的改变与运动速度的

平方成正比。

我们知道,速度是相对的,它与所选择的参照物有关,也就是说它与物体所属的系统有关。对不同的参照物,或者它们所属的系统不同,质量的大小也就不同。显然,质量由于是物质的一种量度,它的大小不仅是由物体本身来决定,同时还由物体所属的全部物体系统来决定,这就是质量的相对性。

(2)质量的守恒性

由于质量的相对性,即质量的大小与物体所属的物体系统有关,这是否说明系统质量会随参照系的选择而无缘无故地产生和消失呢?回答是否定的。由于物体质量决定于它所属的系统,我们来考察物体所处系统的全部质量 m_0 。

$$m_0 = m_0^1 + \sum \frac{m_{0k}}{\sqrt{1 - \frac{v_k^2}{c^2}}} \quad (1.2)$$

式中 m_0^1 表示参考物的质量, v_k 为物体 k 相对于参考物的运动速度, m_{0k} 表示第 k 个物体静止时的质量。显然 m_0 是系统静止质量,即不依赖于参考系选择的不变量。实际上,整个物体系统是由这个不变量——静止质量来描述的,但这个质量等于相对于系统重心的质量之总和。

假如物体运动速度与光速之比很小,并且发生的过程与物质的根本改变(实物转化为光及相反过程)无关,那么这些系统的静止质量就简单地等于各组物体静止质量之和。

$$m_0 = m_0^1 + \sum m_{0k}$$

这个式子即古典力学的基础,即把系统简单地看成以一定力相互作用着的各个组成物体的总和。正是这个基础,让我们把质量看成某一物体的客观固有,而不去考虑参考物及其与系统内其他物体的关联。这样也的确简化了质量的计算,但同时使我们对质量本质的理解变得不可能。

假如所发生的过程与基本粒子及其与光的转化过程有关时，(1.2)式的正确性便受到了质疑，因为这些粒子可能“无中生有”地产生，又“有中生无”地湮灭。如我们仍需使(1.2)式成立，就需在方程右边加入被人们称为“背景”或“真空”有关的项。布洛欣采夫在《批判物理学中所谓哥本哈根学派的哲学观点》一文中写道：“……粒子不过是‘真空’激发，这个‘真空’在没有粒子时仍旧是存在的……”由于粒子处于不断运动且产生粒子的真空中，于是对隐藏在量子力学中使粒子孤立之不可能性的理解成为可能。我们在(1.2)式右方加入与真空有关的项 V ，有

$$m_0 = m_0^1 + \sum \frac{m_{0k}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} + V \quad (1.3)$$

于是我们使(1.2)式拖上了一条“真空”形态的尾巴。

实验表明：核反应时，例如铀分裂蜕变时，蜕变前实物的质量等于反应后形成实物的质量加上反应时放出辐射的质量。包括实物转化为光和光转化为实物在内的大量的其他变化都证实质量的守恒。当然，今天我们对“真空”与场和粒子联系的理解还是初步的，“真空”的加入也会引起理论的特殊困难，即质量无穷大的出现。“真空”的出现，让我们进一步认识了质量，但它并没有结束我们对质量的认识，而是开辟了一条要认识质量必须先认识“真空”的道路。

(3) 质能对应特性

物质与运动是不可分割地联系着的，迄今为止，我们认识的所有物体中，都存在着大量各式各样的运动：分子的热运动，分子中原子的振动，电子在分子和构成分子的原子内的运动，原子核内的运动，构成原子的“基本”粒子关联着的运动……对此，物理学确定了它的“固有能”直接与质量成正比。

$$E_0 = m_0 c^2 \quad (1.4)$$

如果我们考虑运动着的物体，则有

$$E = mc^2 \quad (1.5)$$

这一关系确定了质能对应的关系特性,它说的是以质量表征的一定量的物质,相应于以能量为表征的一定量的运动。我们不能理解那些没有运动的物质和没有物质的运动。说得更通俗一些就是有运动之处必有物质存在,有物质之处必有运动产生。

如果进一步考虑质量的变化与能量的关系^[2]有

$$T = mc^2 - m_0 c^2 \quad (1.6)$$

式中 T 为动能,等式右方二项其意义如上述(1.4)、(1.5)式。

用 m_1, m_2 表示某物体在不同动能时的质量,由(1.6)式有

$$T_1 = m_1 c^2 - m_0 c^2 \quad (1.7)$$

$$T_2 = m_2 c^2 - m_0 c^2 \quad (1.8)$$

(1.8) - (1.7), 有

$$T_2 - T_1 = (m_2 - m_1) c^2$$

即

$$\Delta m = \frac{1}{c^2} \Delta T \quad (1.9)$$

表明质量增量与动能增量成正比,或者说物体运动趋于激烈,其质量必增加,运动趋于平缓,其质量必减小。

(4) 质量的统一性

我们知道相互吸引是至今为止一切被研究过的物质形态所固有的,其产生的原因是每个物体都被引力场所包围。对引力场,有爱因斯坦引力场方程:

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = -\frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

方程右边的 $T_{\mu\nu}$ 是依赖于物质分布及其运动的能量-动量密度张量。方程左边为爱因斯坦张量,其中 $R_{\mu\nu}$ 是描述时空弯曲程度的曲率张量,依赖于引力张量(时空度规) $g_{\mu\nu}$ 及其微商,而 R 是它与 $g_{\mu\nu}$ 的线性组合, G 为万有引力常数。

如果我们考虑一个对称质量分布 M 的引力场,以对称中心为坐标原点,建立球坐标系 (r, θ, φ) ,则其引力张量(施瓦西度规)可写成:

$$(g_{\mu\nu})_m = \begin{bmatrix} \frac{1}{1 - 2GM/c^2 r} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r^2 \sin^2 \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 - \frac{2Gm}{c^2 r} \end{bmatrix}$$

显然,此引力张量决定于时间、空间和物体的质量,且通过爱因斯坦引力场方程,它还联系着 $T_{\mu\nu}$ 和 $R_{\mu\nu}$,即联系着物体运动和几何形状。

从引力的统一性,经过讨论,我们得出了质量的统一性,即质量作为物质质量的量度在一切物质形态中都是存在的。恩格斯说:“世界的统一性在于它的物质性。”这正是质量统一性的绝好总结。

(5)质量与惯性

许多课本把质量定义为惯性的量度其实是非常不确切的。首先,质量只有在平动时,才可能成为惯性的量度,在其他运动例如转动时,惯性的量度就不能只用质量来表示,而要用转动惯性 mr^2 来表示。

质量与惯性不和谐的第二个方面是静止质量是守恒量,它是组成物体实物量的量度,并且速度增加时,实物量量度不变,而惯性则不同。一个明显的例子是我们在制动一个高速运动的电子时,产生的电子—正电子对是无中生有的创造,在这里不变的是电子的静止质量,而惯性将成为一个电子的三倍。

质量与惯性的第三个差别是惯性的局限性。恩格斯说:力学它的出发点是惯性,而惯性是运动不灭的反面表现。又说:物理学——分子运动的相互转化^[3]。在这里,他显然把惯性概念局限于力学之中。的确,在力学现象之外就无法再讲惯性。因为实质上没有一个物体(加速的)和另一个物体(被加速)的对立。在量子力学领域内,