



力学

梁昆森编

教育出版社

52
716

力 学

梁 昆 森 编

高 等 教 育 出 版 社

本书是根据南京大学 1959 年以来物理系一年级试用的讲义编写而成的。该书以初等微积分和矢量代数为基础，试行解决过去“普通物理学力学部分”和“理论力学”两门课程中质点力学、质点组力学和部分刚体力学的重复问题。内容为绪论；质点运动学；质点动力学的基本定律；运动定律与非惯性参考系统；质点动力学的运动定理；质点组动力学的运动定理；刚体力学等六章。章末附有复习题及思考题，书末的附录汇集了各章的习题。

本书的特点是注意了通过图象、计算等数学运算，使学生掌握物理概念；通过理论分析与例题示范，训练学生思考方法与运算能力。对于不同数学程度的读者，作了某些相应的安排。

本书可作为综合大学、高等师范学院校物理各专业或其他院校相近专业参考。

力 学

梁 昆 森 编

北京市书刊出版业营业许可证出字第 119 号

高等教育出版社出版(北京景山东街)

上海市印刷五厂印装

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

统一书号 K13010·1212 开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 11 $\frac{9}{16}$

字数 335,000 印数 0001—4,800 定价(5) 1.10

1965 年 11 月第 1 版 1965 年 12 月上海第 1 次印刷

序 言

从 1959 年以来，我们尝试着将物理专业的“普通物理学（力学部分）”和“理论力学”两门课程的内容作了调整，希望在课程不变、总时数不变或稍减的条件下学生能学得深透一些。一年级的“力学”课程，我们以高等数学的微积分、矢量代数为基础，要求基本上解决质点、质点组与刚体力学问题；而“理论力学”课程则要求对一年级力学加以总结，并通过解决综合性问题加以提高，然后转入分析力学与连续介质力学。根据这个尝试编写了我校物理专业（以及天文专业）一年级用的力学讲义，本书就是在此讲义的基础上修订而成的。本书所用学时（包括振动与波）大约在 64 左右，份量显得多些。但和调整后的理论力学合起来算，还是节省了一部分时间。

我们设想，经过这样的调整，在一年级下学期力学课开始的时候，一方面采用图象分析进行论述，一方面运用初步的微积分、矢量代数作为对照，有利于学生掌握图象方法与运算方法之间的联系，学会透过数学表达式弄清内在的物理含义。在此以后，就可逐步减少图象的方法而代之以运算的方法。这样循序渐进，不仅能运用数学工具较深入地研究问题，而且也能更好地掌握力学概念的基础。

我们又设想，这样的调整特别有利于突破泛泛的理论陈述，使一年级力学针对学生思想方法的特点，切实帮助他们解除“直线式推理”的思想束缚，诱导他们学会通过具体分析，应用力学的一般原则来解决具体问题。只要依照毛主席关于“集中力量打歼灭战”的教导，运用生动的例题启发他们认识“直线式推理”对自己的束缚，并引导他们攻克 § 19（质点动力学问题）这个重要关键，基本上就可以达到这一要求，为整个课程的顺利进行铺平道路。

我们还设想,这样的调整有利于帮助学生及早地破除“不问条件总是用常量进行思维”的习惯,建立变量的观念.由于同学们从高中带来的匀速、匀加速、常力的观念很深,在第一章中需要着重解决这个问题.

这些思考方法上的训练,对学习其他物理课程也有很大好处.

几年来的实践初步证实了我们的设想.学生运用力学知识的能力和学习成绩确实比调整前有所提高,学习负担比调整前有所减轻.当然,从进一步贯彻教学改革的要求来看,还有许多工作要做.

本书还尝试作到生动有趣,以启发读者的学习兴趣.根据我们的体会,生动的例子往往能尖锐地揭露矛盾,从而使问题解决得较为透彻,留下的印象也比较深刻.

本书也尝试使章节的组织 and 衔接具有较强的系统性,以便于读者获得条理清晰的力学知识.

为醒目和可供选择起见,本书的例题全部用小号字.不过,这并不意味着例题是可以全部忽略的.基本概念、基本原理当然重要,但根据“普遍性存在于特殊性之中”的道理,只有学会在具体的典型的力学问题中运用力学原理,才容易真正领会力学原理.

为了照顾没有及时学到相应初步微积分运算的读者,在§7的附注中给出微积分运算的简单例子和简单的运算规则.凡是用到微积分运算的段落全用小号字排印.至于用到某些微积分运算或较难的例题则标以*号,读者如果略去这些部分,也不致影响对后面内容的理解.

用到矢量代数的段落也用小号字.其实本书总是先由图形的分析得出结论,然后将已得结论再用矢量式简洁地表达出来,或用矢量运算重新推导出来.

此外,小号字中还有一些略为深入的内容,读者可以根据自己的实际情况阅读.

在教学实践过程中,南京大学物理系领导上曾经多次组织力量对教与学的情况进行调查研究.周衍柏、程藩、蔡建华、刘长富等同志

曾分工审读本书初稿,特别是刘长富同志曾经多方面协助本书的编写,周鸿赉同志审读核算了附录中的习题及答案,嵇家本同志绘制了部分插图。特此表示谢意。

本书还存在很多缺点或错误。“振动与波”一章还待补入。例如怎样贯彻“少而精”等问题还有待进一步探索研究,深望同志们批评指正。

作 者

1964年5月于南京大学

目 录

序言	vi
绪论	1
§ 1. 物质与运动	1
§ 2. 物理学	3
§ 3. 量度, 单位制, 量纲	6
§ 4. 实际对象的简化, 理想化的模型	8
§ 5. 力学	10
第一章 质点运动学	13
§ 6. 空间与时间, 参考系统	13
§ 7. 直线运动	17
§ 8. 曲线运动, 位移	30
§ 9. 速度, 速率	33
§ 10. 加速度	35
§ 11. 坐标系的运用	39
§ 12. 直角坐标系	40
(1) 直角坐标系 (2) 矢量及其分量 (3) 质点的位置	
(4) 质点的速度与速率 (5) 质点的加速度	
§ 13. 极坐标系	48
(1) 极坐标系 (2) 矢量及其分量 (3) 质点的位置	
(4) 质点的速度与速率 (5) 质点的加速度	
§ 14. 自然“坐标系”	58
复习问题	60
第二章 质点动力学的基本定律	63
§ 15. 惯性定律, 惯性参考系统	63
§ 16. 力与加速度, 惯性质量	65
(1) 力的概念 (2) 力的量度 (3) 力与加速度的关系	
(4) 惯性质量 (5) 牛顿第二定律, 单位制 (6) 力是矢量	
§ 17. 力学中常遇到的力, 作用力与反作用力	74
(1) 万有引力 (2) 弹性力 (3) 摩擦力 (4) 力是一种接	
触作用 (5) 作用力与反作用力	
§ 18. 力的合成与分解算法举例	82
§ 19. 质点动力学问题	87

§ 20. 摩擦力	109
(1) 干摩擦 (2) 湿摩擦 (3) 干摩擦而带有湿摩擦的特点	
§ 21. 约束运动	127
复习问题	133
第三章 运动定律与非惯性参考系统	136
§ 22. 问题的提出, 解决途径	136
§ 23. 平动参考系统	138
§ 24. 转动参考系统(一)	146
§ 25. 转动参考系统(二)	155
(1) 柯里奥利加速度的概念 (2) 柯里奥利加速度的表达式	
(3) 柯里奥利惯性力 (4) 质点作一般的“相对”运动 (5)	
地球自转对地面上物体运动的影响	
复习问题	165
第四章 质点动力学的运动定理	167
§ 26. 动量定理	168
§ 27. 动量矩定理	170
(1) 力对于轴线的力矩 (2) 力对于轴线的动量矩(角动量)	
和动量矩定理 (3) 动量矩守恒原理 (4) 对于点的力矩、	
动量矩、动量矩定理、动量矩守恒原理	
§ 28. 功	179
§ 29. 势能(位能)	185
(1) 势能的概念 (2) 如何计算质点在已知的势力场中的势	
能 (3) 质点在势力场中的势能为已知, 如何计算相应的势力	
§ 30. 动能, 动能定理	189
(1) 动能 (2) 动能定理	
§ 31. 机械能守恒原理	192
§ 32. 功能原理	195
§ 33. 功率	196
§ 34. 有心力	198
(1) 有心力 (2) 研究有心力问题的基本方程式 (3) 有心	
力问题的详尽解决 (4) 轨道问题	
§ 35. 平方反比吸引力	202
(1) 刻卜勒行星运动定律 (2) 平方反比引力作用下的运动	
(3) 平方反比引力作用下的轨道	
§ 36. 平方反比斥力	206
复习问题	207
第五章 质点组动力学的运动定理	210
§ 37. 质点组动力学的困难所在, 两体问题	210

	(1) 质点组动力学的困难所在 (2) 两体问题 (3) 质心的运动 (4) 相对的运动	
§ 38.	质心运动定理——动量定理	215
§ 39.	碰撞	219
	(1) 对心碰撞(正碰) (2) 斜碰	
§ 40.	变质量质点动力学	225
§ 41.	动量矩定理	228
	(1) 对于轴线的动量矩定理 (2) 质点组的动量矩与质心的动量矩 (3) 参考系统的选择 (4) 动量矩守恒原理 (5) 对于点的动量矩定理	
§ 42.	动能定理	234
	(1) 动能定理 (2) 质点组的动能与质心的动能 (3) 机械能守恒原理与功能原理 (4) 参考系统的选择	
	复习问题	242
第六章	刚体力学	245
§ 43.	刚体——一种质点组	245
	(1) 刚体 (2) 刚体是一种质点组, 有六个自由度 (3) 刚体的质心 (4) 对于刚体, 内力所作功的和为零	
§ 44.	施于刚体的力系的简化	253
	(1) 滑移矢量 (2) 特例: 共点力系、平行力系 (3) 力系简化的困难及其克服 (4) 力系的简化 [附]关于力偶的若干运算规则	
§ 45.	刚体的平衡	261
	(1) 刚体的平衡问题 (2) 平衡的稳定性问题 (3) 桁架问题	
§ 46.	刚体的平动	271
§ 47.	刚体的定轴转动	275
	(1) 定轴转动的运动学 (2) 定轴转动的动力学基本方程式 (3) 转动惯量的计算 (4) 惯量张量, 惯量主轴 (5) 刚体定轴转动问题举例 (6) 动能定理的应用 (7) 约束反力问题与动平衡问题	
§ 48.	刚体的平面平行运动	295
	(1) 平面平行运动的运动学 (2) 平面平行运动的动力学 (3) 滚动摩擦	
§ 49.	刚体的定点运动	309
	(1) 没有外力矩的定点运动 (2) 旋转对称重刚体的定点运动 (3) 两个自由度回转刚体的定点运动 [附]回转仪进动的浅近说明	
	复习问题	323
附录(习题及答案)		326

绪 论

§ 1. 物质与运动

自然界的力量是极为伟大的。就拿自然界中极小的一个方面来说，全世界风力的总功率据估计竟达 60 亿马力。设想按人口“分配”，每人约可“分得”2 马力。单纯凭借体力，人的功率平均只有 0.1 马力。（人在持续工作中大约有 $\frac{1}{2}$ 马力，短时间使猛劲可以达到 7 马力，但人需要休息与睡眠，按一昼夜平均则只有 0.1 马力。）这就是说，每个人“分到”的风力约为自己体力的二十倍，每五人“分到”一部拖拉机的功率，每二十人“分到”一部汽车的功率，每一千人“分到”一辆机车（火车头）的功率。

单个的人比起自然来是太渺小了。个人远远不足与自然对抗，就连取得生存也是极为困难的。但是生产劳动、社会化提高了人，使人比自然更为伟大，成为高尔基所说的大写的人，在生产斗争中、在对自然的斗争中，取得巨大的成就，改变了整个自然界的面貌，使之打上人的意志的烙印。大家知道，阶级剥削、阶级压迫严重限制了生产的发展，严重限制了人对自然作斗争，使他不能充分发挥能力与智慧。解放了的胜利的人民，在党的领导下，作为集体，其力量是无穷无尽的。人，用自己的双手要消除阶级剥削、阶级压迫，在地球上建设起天堂。他掌握着巨大的动力装备，气势磅礴地改造自然。他要叫高山低头，叫河水让路。人，谁能充分预计你的成就将达到怎样的高度！

人改造自然的伟大力量是从哪里来的呢？这种伟大的力量不是什么神奇的东西。“自由是对于必然的认识，……自由是以对于自然必然性的认识为根据的、对于我们自己以及对于外部自然界的支配；

……”^①人的力量在于通过实践认识世界，发掘客观规律，并利用它们来征服自然。

说到认识世界，凡是沒有进疯人院、沒有被唯心主义哲学所毒害的人，都具有这样的素朴的信念：人们生活于其中的世界是客观存在着的。唯物主义则自觉地以这素朴的信念作为其认识论的基础。各种各样的事物，凡是客观的实在，称作**物质**。“物质是标志客观实在的哲学范畴，这种客观实在是人感觉到的，它不依赖于我们的感觉而存在，为我们的感觉所复写、摄影、反映。”^②

一切物质都在不停地变化——或者说，**运动**。“就最一般的意义来说，运动是物质的存在形式、物质的固有属性，它包括宇宙中所发生的一切变化和过程，从简单的位置变动起直到思维止。”^③有简单的运动，也有复杂的运动；有低级形式的运动，也有高级形式的运动。最简单的运动是位置的改变，即机械运动，其次有分子热运动、电磁过程等物理现象，再其次有化学变化、生物机体所固有的各种过程、还有属于社会现象的各种运动。各种科学的任务就是研究各种运动形式，研究该种运动形式的特殊规律性及其与其他运动形式的相互联系。

在高级的运动形式中，必定包含着较低级的运动形式。例如在化学变化中必然伴随着吸热或放热、膨胀或收缩、变色、放出气体、产生沉淀等等物理现象。又例如在生物机体的各种过程中必伴随有许多物理现象与化学变化；比方说，在呼吸过程中，气体从生物机体外部进入体内或从体内排出体外。这正说明基础学科的重要性。但是，**物质的每一种运动形式又各具有质的特殊性**，高级运动形式决不能归结为低级的运动形式。例如化学反应决不能归结为仅仅是吸热或放热等物理现象。又例如呼吸过程决不能归结为仅仅是气体的机械运动；将抽气机

① 恩格斯：反杜林论。人民出版社1956年新1版，117页。

② 列宁：唯物主义与经验批判主义。人民出版社1960年版，128页。

③ 恩格斯：自然辩证法。人民出版社1955年版，46页。

与打气机的联合动作称为呼吸显然是十分荒唐的。因此基础学科也不能代替其他学科。

§ 2. 物理学

(1) 物理学

作为基础学科之一的物理学，它的研究对象是比较低级形式的物质运动：机械运动、原子和分子的运动、电磁过程、原子与原子核内部的运动等等。由于较低级运动形式普遍存在于较高级的运动形式中，基础学科之一的物理学在各门自然科学之中占有十分重要的地位。

(2) 物理学与实践

毛主席在实践论中教导我们：**人的认识从实践发生**。物理学也是这样，它的发生与发展取决于人的社会实践，其最基本的即是生产活动。一方面这是因为生产活动给科学以生命力。手工业、航海等方面的需要促成了力学在古代产生；热机的使用、提高热机效率的要求促进了热学、热力学的蓬勃发展；近代火箭技术、原子能利用、通讯和自动控制等技术上的需要极为有力地推动了空气动力学、原子核物理学、无线电电子学、半导体物理学等物理学尖端部门的发展。另一方面，还因为任一门学科的发展水平有赖于其技术装备，而这也取决于生产技术发展的水平。

毛主席还教导我们，**认识又服务于实践**。物理学在生产与技术中起着非常重大的作用：(1) 它阐明了生产中广泛利用着的能量转变规律，指出生产中所需能量的各种来源。例如原子核物理学提供了原子能，并且还提供了在生产上利用热核能的现实可能性。(2) 它提供物质材料的物理性能，提供制备新材料的理论根据与方法。例如金属物理学已为火箭技术、原子能和平利用提供了耐高温、耐高压、耐核辐

射的新合金材料。又如固体强度目前实际上才达到理论极限值的1/1000,只要将实际强度提高十倍,一吨钢就可以当十吨钢使用,就等于使钢的产量变为十倍。(3)它是新技术、新方法的源泉,为其他学科提供新工具、新方法。例如在生物科学、农业与医学中广泛应用的示踪原子,又如半导体技术与固体电子学使无线电电子学得以固体元件化,使无线电电子学向超高频、超小型、超快速、低噪音方向发展。又如超声波、红外线在各方面的广泛应用、物理方法在地下资源探勘中的应用等等。这些真是不胜枚举。

(3) 物理学与馬克思列宁主义世界观

毛主席说:“人的社会实践,不限于生产活动一种形式,还有多种其他的形式,……其中尤以各种形式的阶级斗争,给予人的认识发展以深刻的影响。在阶级社会中,每一个人都在一定的阶级地位中生活,各种思想无不打上阶级的烙印。”^①虽然物理学本身没有阶级性,但物理学工作者是属于阶级的人。在物理学的发展史中贯穿着唯物主义与唯心主义的斗争。

代表反动统治阶级的“学者”总是歪曲事实,对物理学上的发现加以唯心主义的解释。

由于物理学的研究对象就是物质,一般的旧物理学家往往持有朴素的唯物主义——机械唯物主义。但是他们不懂得辩证法,不理解人对客观事物认识的辩证过程。“我们的知识向客观的、绝对的真理接近的界限是受历史条件制约的,……”^②旧物理学家往往将物理学的原理片面地绝对化起来。当科学的进一步发展揭发了这种片面性时,旧物

① 毛主席:实践论。

② 列宁:唯物主义与经验批判主义。人民出版社1960年版,135页。

理学家往往迷惑不解,成为唯心主义的俘虏。知识的相对性原理“在理论急剧崩溃的时期以特殊力量强使物理学家接受;在不懂得辩证法的情况下,这个原理必然导致唯心主义”。^①

例如在上世纪末与本世纪初,在物理学中有一系列革命的发现:从前认为不可分的原子,竟然具有复杂的结构;放射现象表明甚至原子核也是可分的;从前认为一成不变的质量竟然随着运动速度而改变,如是等等。这一切不过是再一次证实了辩证唯物主义。但旧物理学家不懂得辩证法,因而感到迷惑,认为物理学发生了“危机”。经验批判主义者(马赫主义者)则乘机发展“物理学的”唯心主义,猖狂叫嚣“物质消灭了”等等,并且俘虏了不少物理学家。列宁在“唯物主义与经验批判主义”一书中彻底粉碎了这种唯心主义。列宁指出:“‘物质正在消失’这句话的意思是说:迄今我们认识物质所达到的那个界限正在消失,我们的知识正在深化;那些从前以为是绝对的、不变的、原本的物质特性(不可入性、惯性、质量等等)正在消失,现在它们显现出是相对的、仅为物质的某些状态所特有的。……承认某些不变的要素、‘物的不变的实质’等等,并不是唯物主义,而是形而上学的即反辩证法的唯物主义。”^②旧物理学家却在否定物质特性的不变性时,竟否定了物质,即否定了物理世界的客观实在性。又例如本世纪二十年代建立起来的量子力学表明微观粒子并不遵守牛顿力学,旧物理学家竟由此否定了微观粒子运动的客观规律性。以哥本哈根学派为代表的物理学家宣称客体与观察者是不可分的,宣称微观粒子是不可知的。唯心主义者甚至叫嚣电子有自由意志。

由此可见,在物理学的研究与学习中,必须以马克思列宁主义世界观为指导。

① 列宁:唯物主义与经验批判主义。人民出版社1960年版,325页。

② 列宁:唯物主义与经验批判主义。人民出版社1960年版,275页。

§ 3. 量度. 单位制. 量纲

(1) 量 度

人认识事物的过程总是从感性到理性，在探索自然现象的未知领域时，总是首先诉之于观察与实验。在研究自然现象过程中所建立起来的理论又必须经得住实验与实践的考验。由此可见，实验对于自然科学具有多么巨大的意义。实验，那就意味着量度一些物理量并寻求物理量之间的联系。因此，必须对量度给以很大的注意。

要量度某个物理量，首先，需要选定该物理量的比较标准，即单位。单位应体现于具体的事物——原器或其复制品。其次，需要规定该物理量与单位的比较规则。原器与比较规则固然是由人们规定的，然而决不是任意规定的。这种规定应该从该物理量的本性出发，使得量度结果具有可重复性与唯一性。至于所作的规定是否能满足以上要求，应由实践加以考验。

(2) 任何一种量度都不是绝对精密的

我们不可能绝对精密地量出一个物理量的值，量度结果总会带有一些偶然因素。例如用米尺量度长度。米尺上最小刻度是毫米，若进行估计还可以量到 $1/10$ 毫米，至于百分之几、千分之几毫米的读数则不知道。改用螺旋测微器，可以量到 $1/1000$ 毫米，至于万分之几毫米的读数还是不知道。利用光学干涉仪，准确度可以大大提高，但毕竟也还是有限的。量度结果的精密程度取决于所拥有的设备以及从事量度的细心程度。一般地说，量度所可能达到的精密程度与当时的技术水平是相适应的。

量度所得结果既然只具有一定的精密程度，我们的量度记录也就应该尊重这个事实。凡是记下来的数字都必须是可以肯定的，不能肯定

的数字就不应写出来, 以免造成假象。例如说 15.4 克并不同于 15.40 克。15.4 克意味着在量度中未曾能够精密到百分之一克, 15.40 克则意味着已能量到百分之一克, 只是该位数字恰恰是零。在单纯进行记录时, 一般还容易做到这点。但在计算中, 往往有不少人喜欢算出很多位数字, 以为这样才表示精密; 其实这是不尊重客观事实的。例如求某物体的密度时, 已量得体积 12.5 厘米³ (准到 0.1 厘米³, 大约占所量体积的 1%), 质量 15.40 克 (准到大约 1‰)。则密度 = 15.40 克 / 12.5 厘米³ = 1.23 克 / 厘米³。假如写成密度 = 1.232 克 / 毫米³, 那就造成了假象, 好象密度居然可以准到大约 1‰。

既然量度不可能是绝对精密的, 从量度所得资料总结出来的物理学原理、理论也就不可能是绝对准确的。物理学的各个原理、理论只有在一定准确度内才是正确的; 更精密的量度可能揭示它们只是近似的。决不可以将原理和理论绝对化起来; 真理越过了它的适用范围就转化为它的对立面——谬误。

(3) 单 位 制

如果对于每一物理量都制定一个原器, 那是不胜其烦的。事实上也完全不必要。只要制定出一些基本物理量的原器, 所有其他物理量的单位就可以通过一些物理定律用这些基本单位来定出, 它们就称为**导出单位**。

在物理学中, 一般以长度、质量、时间的单位为基本单位, 其他单位由它们导出, 这种单位制称为**长度-质量-时间制(LMT制)**。长度的原器(一米长的尺)^①、质量的原器(一千克砝码)保存于巴黎度量衡检定局, 时间的原器则是平均太阳日^②。常用的长度-质量-时间制有**米-**

① 1960年10月14日第11届国际计量会议规定: 1米 = 氪⁸⁶在真空中所发射橙红色线波长的 1,650,763.73 倍。

② 按上一会议规定: 1秒 = 历书时 1900年1月零日 12时算起的回归年的 31,556,925.9747 分之一。参看物理通报 1962年第3期。

千克-秒制(MKS制)、厘米-克-秒制(CGS制)与米-吨-秒制(MTS制)三种。在工程技术中还常以长度、力、时间的单位为基本单位而构成长度-力-时间制(LFT制)。由于质量的原器比力的原器易于制备与保存,我们将以长度-质量-时间制为主。

(4) 量 纲

为着表明导出单位如何从基本单位组成,并且为着表明当某基本单位改变时导出单位如何换算,通常运用一种特定的方法——量纲。例如说,考虑某个物理量 A 。它的单位由长度单位的 p 次幂、质量单位的 q 次幂、时间单位的 r 次幂组成,那么当长度单位改为 l 倍时, A 的单位相应地改为 l^p 倍;当质量单位改为 m 倍时, A 的单位相应地改为 m^q 倍;当时间单位改为 t 倍时, A 的单位相应地改为 t^r 倍。以上换算关系可以简括地表为:“物理量 A 的量纲是 $L^p M^q T^r$ ”,记作

$$[A] = L^p M^q T^r.$$

当 A 的单位改为 $l^p m^q t^r$ 倍时,表示 A 的量度结果的数字就相应地改为 $1/l^p m^q t^r$ 倍。

物理定律代表的是一些物理量之间的联系,它的基本形式应当与单位的选取无关。这样,表达物理定律的等式两方应该具有相同的量纲。

§ 4. 实际对象的简化. 理想化的模型

研究任一物理现象,将会发现某些因素起决定性或根本性作用,另一些因素则只起次要作用,又一些因素只是偶然性的因素,再一些因素则完全不起什么实质的作用。例如在地球绕太阳运行问题中,起决定性作用的是太阳对地球的引力,而月亮或其他行星对地球的引力则是次要因素,至于地球上的火山海啸等等只是偶然因素,发射宇宙火箭时