

閩南師範大學

教育学硕士学位论文

科学本质视野下两岸高中物理
力学部分教材比较与实践研究

李杏莲

閩南師範大學

二〇二一年五月

学校代码：10402

学 号：2019091004

分 类 号：

密 级：

閩南師範大學

教育学硕士学位论文

科学本质视野下两岸高中物理
力学部分教材比较与实践研究

学位申请人：李杏莲

指导教师：姚珩教授

学位类别：教育学硕士

学科专业：学科教学（物理）

授予单位：闽南师范大学

答辩日期：二〇二一年五月

CODE: 10402

NO.: 2019091004

U.D.C.:

Classified Index:

**A Dissertation for the Degree of M.
Literature**

**Comparative and practical research on
the textbooks of mechanics for senior
high school on both sides of the Taiwan
Strait from the perspective of the nature
of science**

Candidate : Li Xinglian

Supervisor : Prof. Yao Heng

**Specialty : Physical Education Subject
Teaching**

Academic Degree Applied for: Master of Education

University : Minnan Normal University

闽南师范大学

学位论文原创性声明

本人郑重声明：所呈交的论文是本人在导师的指导下独立进行研究所取得的研究成果。除了文中特别加以标注引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写的成果作品。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本人完全意识到本声明的法律后果由本人承担。

作者签名：_____ 日期：____年____月____日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解学校有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅。本人授权闽南师范大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

本学位论文属于

1、保密☐，在_____年解密后适用本授权书。

2、不保密☐。 ☒

（请在以上相应方框内打“√”）

作者签名：_____ 日期：____年____月____日

导师签名：_____ 日期：____年____月____日

摘 要

在新一轮的基础教育改革中，科学教育的一个重要目标就是提高全体学生的科学素养。科学本质作为科学素养的一个重要组成，如何通过科学教育来促进学生对科学本质的理解成为目前研究的热点。

教材是学生在学校学习中接触到的最直接的资源，也是理解科学本质的重要载体。本研究以中国大陆新修订的人教版、司南版和台湾翰林版、龙腾版高中物理教材力学部分内容为研究对象，从科学本质的视角展开教材的分析研究，并基于理论研究成果开展教学实践。具体的研究内容及成果包括以下 3 点：

（1）采用内容分析法，梳理当前科学本质理论的研究成果，确立本研究框架下科学本质的内涵及维度要素。在此基础上比较两岸课程标准（纲要）对培养学生科学本质观的要求；以科学史内容为分析单位，利用本研究建立的基于科学本质的科学史内容分析类目表，定量比较两岸教材科学本质的体现情况。

研究表明，两岸的课程标准（纲要）都对科学本质提出显性要求，但是两者在实践指导层面上各有优势和不足之处；人教版教材科学史数量最多，但人教版和司南版科学本质体现频次大致相同，各版教材都出现了科学史及其体现的科学本质分布不均的情况，且多数科学史内容都以旁批、注释的形式出现，不利于培养学生的科学本质观。

（2）选择高中物理力学专题下的 4 个重要知识点，挖掘宝贵的科学史及科学本质教育资料，并在相关的发展史背景下定性分析四版教材的编写差异。最后，综合整理教材分析结果和相关物理学史资料，提出教学建议。

（3）结合理论分析成果，以“自由落体运动”一课为例，开展教学实践研究。结果表明，基于科学本质理解的自由落体运动教学取得良好的课堂教学效果，有利于培养学生的物理学科核心素养和科学本质观，且没有妨碍学生掌握知识。

关键词：科学本质；科学史；高中物理教材；教学实践

Abstract

In the new round of basic education reform, an important goal of science education is to improve the scientific literacy of all students. The nature of science is an important component of scientific literacy. How to promote students' understanding of the nature of science through science education has become a hot topic in current research.

Textbooks are the most direct resources that students come into contact with in school learning, and they are also the important carriers for understanding the nature of science. This research takes the newly revised People's Education Edition, Sinan Edition, Taiwan Hanlin Edition, and Longteng Edition high school physics textbook in mechanics as the research objects. The textbook analysis and research are carried out from the perspective of the essence of science, and the teaching practice is carried out based on the theoretical research results. The specific research content and results include the following three points:

(1) Use content analysis to sort out the current research results of the theory of the essence of science, and establish the connotation and dimensional elements of the essence of science under this research framework. On this basis, compare the requirements of the curriculum standards (syllabus) between the two sides of the Taiwan Strait for cultivating students' views on the nature of science; take the content of the history of science as the unit of analysis, and use the content analysis category list of the history of science based on the nature of science established by this research to quantitatively compare the textbooks of science across the strait about the essence of the situation.

Studies have shown that the curriculum standards of both sides put forward explicit requirements for the nature of science, but both have their own strengths and weaknesses at the level of practical guidance. The People's Education Edition has the largest number of textbooks on the history of science, but the People's Education Edition and Sinan on the frequency of the nature of science in the editions are roughly the same. Each edition of the textbooks shows the uneven distribution of the history of science and the nature of science embodied in it, and most

of the content of the history of science appears in the form of side comments and annotations, which is not conducive to cultivating the scientific nature of students view.

(2) Select 4 important knowledge points under the topic of high school mechanics, dig out valuable scientific history and science essence education materials, and qualitatively analyze the differences in the compilation of the four editions of textbooks. Finally, comprehensively sort out the analysis results of the textbook and related physics history materials, and put forward teaching suggestions.

(3) Combining the results of theoretical analysis, we take the "free fall motion" class as an example to carry out teaching practice research. The results show that the free fall teaching based on the understanding of the nature of science has achieved good classroom teaching effects, which is conducive to cultivating the core competence of students in physics, helping to cultivate students' view of the nature of science, and does not hinder students from mastering knowledge.

Key words: nature of science; The history of science; High school physics textbooks; Teaching practice

目录

第 1 章 绪论.....	VI
1.1 选题的背景.....	1
1.1.1 提高学生科学素养的诉求.....	1
1.1.2 对我国科学教育现状的思考.....	1
1.1.3 科学史是科学本质教学的重要资源.....	2
1.2 国内外研究现状分析.....	2
1.2.1 国外研究现状.....	2
1.2.2 国内研究现状.....	5
1.3 研究目的与意义.....	7
1.3.1 研究的目的.....	7
1.3.2 研究的意义.....	7
1.4 研究内容与思路.....	8
1.4.1 研究内容.....	8
1.4.2 研究思路.....	9
1.5 研究对象与方法.....	9
1.5.1 研究对象.....	9
1.5.2 研究方法.....	11
第 2 章 核心概念与理论基础.....	13
2.1 概念界定.....	13
2.1.1 教材.....	13
2.1.2 科学史.....	13
2.2 理论基础.....	13
2.2.1 科学本质内涵.....	13
2.2.2 科学哲学领域的科学本质观.....	14
2.2.3 科学教育领域的科学本质观.....	15
第 3 章 两岸教材力学部分科学本质内容的比较分析.....	18
3.1 两岸课程标准（纲要）对科学本质要求比较.....	18
3.1.1 《普通高中物理课程标准（2017 版）》对科学本质的要求分析.....	18
3.1.2 《十二年国民基本教育课程纲要》对科学本质的要求分析.....	19
3.1.3 海峡两岸课程标准（纲要）比较分析.....	20
3.2 两岸四版力学部分科学本质内容的定量比较.....	21
3.2.1 教材比较研究设计.....	21
3.2.2 教材科学史内容统计结果.....	25
3.2.3 教材科学本质内容比较分析.....	28
3.3 小结.....	31
第 4 章 科学本质视野下力学重要知识点的比较分析.....	34
4.1 伽利略的自由落体运动.....	34
4.1.1 “自由落体运动”科学史及其科学本质价值分析.....	34
4.1.2 两岸四版教材内容编写特点比较分析.....	39

4.1.3 基于培养学生科学本质观的教学建议	46
4.2 牛顿第二运动定律	48
4.2.1 “牛顿第二运动定律”科学史及其科学本质价值分析	48
4.2.2 两岸四版教材内容编写特点比较分析	54
4.2.3 基于培养学生科学本质观的教学建议	58
4.3 万有引力定律	59
4.3.1 “万有引力定律”科学史及其科学本质价值	60
4.3.2 两岸四版教材内容编写特点比较分析	69
4.3.3 基于培养学生科学本质观的教学建议	74
4.4 机械能守恒定律	76
4.4.3 “机械能守恒定律”科学史及其科学本质价值	76
4.4.2 两岸四版教材的内容与呈现情况比较分析	84
4.4.3 基于培养学生科学本质观的教学建议	89
第5章 基于培养学生科学本质观的教学实践研究	92
5.1 教学实践研究的目的与计划	92
5.1.1 研究目的	92
5.1.2 研究思路	92
5.1.3 测量工具设计	92
5.1.4 样本选择	93
5.2 基于科学本质的“自由落体运动”教学设计	95
5.2.1 教学模式的选择	95
5.2.2 教学片断案例	96
5.3 实践研究过程及结果分析	104
5.3.1 研究实施过程	105
5.3.2 研究结果与讨论	105
5.3.3 研究结论	110
第6章 总结与展望	112
6.1 研究总结	112
6.2 不足和展望	113
参考文献	116
附录1: 教材科学史内容统计示例	119
附录2: 教材科学史内容体现的科学本质分析示例	121
附录3: 教材科学史内容对科学本质的体现情形统计结果	123
附录4: 高中生科学本质观调查问卷	125
附录5: 自由落体运动知识测试卷	129
附录6: 教学效果评估问卷	131
附录7: 教学设计	133
致谢	145
攻读学位期间承担的科研任务与主要成果	146

第1章 绪论

1.1 选题的背景

1.1.1 提高学生科学素养的诉求

随着科学的不断发展及科技应用的更新换代,人们的生产生活方式和思维方式发生着翻天覆地的变化。与此同时,国际间竞争日趋激烈,大国竞争的背后是科技竞争,而科技竞争有赖于具备科学素养的人才。基于此,提高全民的科学素养,成为了世界各国科学教育界乃至社会各界的共同诉求,各国在教育改革中也凸显了对科学素养培养的重视。如美国,在20世纪80年代时制定的2061计划就提出培养科学素养人才的教育目标;在2013年,在其颁布的《新一代科学教育标准》(NGSS)明确提出“科学教育的最终目的是提升学生的科学素养”^[1]。

科学素养体现在对科学本质的理解。对“科学是什么”这一问题的理解程度是衡量公民科学素养水平的关键,其核心在于其是否具备科学思维方法、科学探究精神和科学世界观等^[2]。因此,“如何通过科学教育使学生认识科学本质,最终具备科学素养”这一命题引起世界各国科学教育界的高度重视。美国在1989年出版的《面向全体美国人的科学》、1993年的《科学素养基准》以及1996年的《美国国家科学教育标准》都明确指出加深学生对科学本质的理解是提升其科学素养的关键,并针对不同学龄阶段的学生认知、心理特点提出对应的科学本质教育要求^[3]。英国在2013年出版的《最新科学课程标准》也说明了科学本质教育的重要性,并提出相应的实施建议^[4]。除此之外,法国、德国、日本等国家都在其出版的课程标准中强化了科学本质教育的地位。

1.1.2 对我国科学教育现状的思考

我国中小学阶段科学教育的发展要慢于国外,在发展过程中出现过诸多问题,如教师在实际教学中注重的往往只是学科知识的传授,而非科学方法与科学精神,更没有借助科学史进行科学本质教育。这导致了学生的科学本质观水平普遍较低,具体表现为持有“科学定律就是绝对正确,不容置疑的,科学结论必须通过实验获得”等这类错误的科学观。

面临新时代对人才提出的新要求,我国在新一轮的基础教育课程改革中重新确立了

科学素养教育和科学本质教育在教育体系中的重要地位。2001 年, 中国教育部颁布《科学(7-9 年级)课程标准》, 提出要通过科学教育使学生逐步领会科学的本质^[5]; 在 2006 年颁布的《全民科学素质行动计划纲要》对科学素养教育的细则给出更加明确的阐述^[7]; 作为科学课程的重要组成部分, 物理教育在科学教育中扮演着极其重要的角色。在 2003 年颁布的《普通物理高中课程标准(实验)》也提出了“提高全体学生科学素养”的课程目标^[6]; 2011 年颁布的《义务教育物理课程标准(2011 年版)》再次表明物理教育在义务教育阶段的目标就是提高全体学生的科学素养, 而其途径就是引导学生逐步认识科学的本质^[8]; 新修订的《普通高中物理课程标准(2017 年版)》也首次在高中物理课程标准中明确提出“正确认识科学的本质”这一课程目标^[9]。但我国的科学本质教育至今还是存在着许多不足之处, 如缺少对科学本质内涵的清晰界定, 无科学本质水平评价体系等。

1.1.3 科学史是科学本质教学的重要资源

在教学中融入科学史, 可以让学生在建构知识的过程中了解到科学知识的形成过程、科学的发展进程及其与时代背景的关系, 科学思想方法的选择和运用等。在这个过程中, 学生不仅能更深刻的掌握知识, 并且能理解科学的本质, 进而提升科学素养。

科学史对于促进学生理解科学的教育价值已经在科学教育改革进程中受到充分认可。1988 年, 英国颁布的《英国科学课程》首次提出要“学生要通过学习科学家的生平经历和科学的发展历程, 来真正地认识科学”。1993 年, 美国颁布的《科学素养的基准》也说明了科学史对科学素养教育的价值。我国基础科学教育改革的新理念与课程标准也注重将科学史融入到科学课程中去。教材编写是课程改革在实践层面的关键环节, 是课改理念和课程标准的具体化, 也是教师课堂教学的主要参考与指导。教材对知识的处理是否符合其在科学史上真正的发展脉络、教材中科学史的呈现情况等都会直接影响到科学本质教育的成效。因此, 从这一角度对教材的科学本质内容进行研究具有重要意义。

1.2 国内外研究现状分析

1.2.1 国外研究现状

1.2.1.1 科学本质视野下的教材研究

Veli-Matti Vesterinen 构建了一套科学本质比较模型, 对芬兰和瑞典的高中化学教材

进行对比分析,该模型将科学本质分为7个维度,结果表明瑞典教材比芬兰教材在科学本质的“暂定性”维度呈现得较好,两国教材在“整体性”维度体现得到比较充分^[11]。

Mansoor Niaz, Arelys Maza 运用他们建立的科学本质分析模型对75册化学教材的科学本质体现情况展开对比,该模型则把科学本质分为9个维度,对比结果表明大部分教材都能较好地呈现“暂定性”维度^[12]。

Khalicky 曾建立了一套评价指标来分析教材内容的科学本质呈现情况,它后来被众多研究者广泛应用于科学本质的质性分析中。该评价指标共设7个等级:最高等级对应3分,表明教材内容能正确、明显地描述相应的科学本质特征;最低等级对应-3分,说明教材内容对科学本质特征的呈现结果不明确^[13]。

综上所述,国外在对教材的科学本质呈现情况进行分析、对比时,均十分重视构建相应的评价框架,并且在某一研究中所构建的评价工具还可能被其他研究所采用,具备较强的实用性。但是,笔者在搜集资料过程中也发现,相较于其他类型的教材对比,国外基于科学本质这一类的教材研究相对较少。

1.2.1.2 科学本质视野下的教学实践研究

科学本质本身比较抽象,学生不易理解,只有通过教师创造真实的情境,学生在建构与学习新知识的过程中才能主动加深对其理解。因此,实施基于科学本质的教学实践就显得十分有必要。国外对科学本质教学研究的起步较早,能认识到科学史对于科学本质教学的重要作用,也积极地开拓其他可行的教学模式。

科学史内容一直都被视为科学本质教学的重要资源。由欧盟成立的科学史、科学哲学的教学研究(HIPST)项目小组,历经数年,开发了大量能鲜明地体现出科学本质特征的科学史故事。这些科学史被教师应用到实际的课堂教学中,成为基于科学本质的教学的重要素材。实践表明,学生在科学的历史情境中,不仅学习科学知识,还从中理解了这些科学知识是如何发现的,从而能更好地理解科学的本质^[14]。Irwin 也将融合到实际的教学工作中。实践研究显示,科学史对于激发学生对科学的热情和兴趣,帮助学生构建科学本质观有着十分重要的作用^[15]。

能为学生提供较为真实的科学探究情境的实验教学也受到关注。Yoon 等人邀请了韩国当地中小学的500名学生参与实验研究,在研究中为他们提供了一个能够自主设计、

建模、实施以及讨论和反思的实验情境。实验结果表明实验室教学有助于学生理解科学本质^[16]。

Leaderman 等人则选择包括转基因食品研究和干细胞研究等在内的社会性议题作为教学案例，进行科学本质教学设计研究和教育实践，为广大一线教师提供参考^[17]。

1.2.1.3 教师与学生科学本质观水平调查研究

教师只有对科学本质具有足够清晰的认识，才有可能在科学教学的过程中融入相应的理念，顺利完成科学本质教学任务。当学生对科学本质足够理解时，他们就提起对自然科学学习的兴趣，学习的效果就更好，科学素养就更高。因此，不管是对于教师还是学生来说，正确认识科学本质都具有相当重要的意义。那么，当前大部分教师和学生的科学本质观水平能到达哪种程度？国内外很多研究者都对此展开了师生科学本质观水平的测量。

在学生的科学本质观水平方面，众多学者设计了调查工具进行测查。Wilson 构建了科学本质观的调查量表，对学生开展调查，结果表明：大部分学生认为：科学是永恒不变的、静止的、绝对正确的，科学家的职责就是确定和公开科学理论^[18]。Leaderman 采用纸笔测验的形式对从幼儿园到 12 年级的学生理解的概念进行测查，调查结果显示这些学生对科学本质的理解情况也并不理想^[13]⁶。Oktay Bektasa 从科学本质的 7 个方面设计了调查问卷，对 162 名高中学生的科学本质的水平进行了调查研究。调查结果表明，10 年级和 11 级的高中生对科学本质的理解较为肤浅，存在许多错误认识^[19]。总体上来看，学生对科学本质的理解程度普遍偏低。

在教师科学本质观的调查上，Gulcan 编制了科学本质调查问卷，了解科学教师对科学本质在教学中地位的看法，评估科学教师对科学本质的理解程度。调查表明，大多数教师对科学本质没有深入的理解，无法很好地区分理论与定律，对其看法较为幼稚，但能认识到科学本质在科学本身和科学教学中的重要作用^[20]。Leaderman 教授用 NSKS 量表调查分析了可能会导致学生科学本质观变化的课堂因素，研究结果显示，教师的科学本质观对于学生科学本质观的构建设没有直接影响^[21]。可见，教师的科学本质观水平也不高，对此有必要进一步采取相关措施。

1.2.2 国内研究现状

1.2.2.1 科学本质视野下的教材研究

目前,国内从科学本质角度对教材进行分析对比的研究不少,包括高中和初中阶段的物理、生物、化学,初中科学等学科的教材。其中,对高中化学和生物教材的对比研究最多,对物理教材研究较少,本文仅讨论针对高中物理教材的研究现状。

贺琳根据刘健智对中学生科学本质观的定义,对人教版高中物理教科书与美国《物理原理与问题》展开对比,发现人教版教材更注重呈现已被证实了的知识,而美国教材则更多地呈现已有知识的可改变性和知识的创造性使用^[22]。

栗素姣结合当前 HPS 教育和科学本质教育研究成果,建立了相应的分析框架,对人教版高中物理教材和美国《物理原理与问题》的科学史所体现的科学本质展开深入分析,得出两版教材在科学史数量、呈现方式和科学本质各个层面、维度上呈现的差异,并给出了改进高中物理课程标准和教材编写的相关建议^{[2]69}。

丁建楠在梳理相关文献的基础上,建立起科学史编排情况分析量表和科学本质角度的科学史内容分析量表,对人教版和沪科版选修 3 系列高中物理教材的科学本质的呈现情况展开定性与定量分析^[23]。

杜娅婷以高中物理必修模块为例,分析我国普通高中物理课程标准对科学本质教育的要求和 HPS 内容的阐述,研究了人教版高中物理教科书中的 HPS 内容及其体现的科学本质的内容,并选择部分内容展开教学案例研究^[24]。

张昭健以刘健智的科学本质观点为基础,运用其构建的科学本质呈现评价框架对 2004 年版和 2019 年版的人教版高中物理教科书的科学本质的呈现情况进行了定量对比分析,并对相关的文本内容进行细致的定性分析,最后根据比较结果,提出了几点对于 2019 版教材的完善和使用建议^[25]。

综上所述,我国基于科学本质的教材研究,大部分都能够制定出与其研究相适应的科学本质分析量表,定量统计教材内容对科学本质的各个层面和维度的呈现情况,从而全面反映教材特色,这能给教材编写提供有价值的参考。但是,很少研究能从定量分析的基础上,对某一具体的教学内容展开深入的质性分析,并且大部分仅停留在教材的理论讨论层面,未能落实到教学实践中检验结论和建议的可行性,对教师的参考价值不大。

因此,笔在对教材的科学本质呈现情况进行定量统计的基础上,选择部分核心内容进行深入剖析对比和教学案例研究,并结合教材对比结论来实施教学实践,检验其成效。

1.2.2.2 科学本质视野的教学实践研究

为在课堂教学中促进学生对科学本质的理解,近年来我国许多研究者也进行了各种教学模式的尝试。

大部分研究者将科学史融入科学课堂,在教学过程中揭示科学本质。如张霄在“原电池”为这一节课中,采取相应的教学模式,将电池的发展历史向学生娓娓道来,设计了与科学本质有关的问题并在课堂上提问,引发学生的头脑风暴,从而加深他们对科学本质的理解^[26]。杜娅婷在其研究中选择“库仑定律”这一节课,开展融入 HPS 内容培养学生科学本质观的教学实践,并对教学效果进行测量评价^{[24]58}。魏壮伟选择“原子的构成”这一节课,运用科学史呈现与反思讨论的方式进行教学设计并展开教学实践^[27]。

也有部分研究者尝试通过探究实验的方式进行科学本质教学。如汪晓对“磁场”这一节课设计了“参与、探究、解释、迁移、评价”这 5 个实验探究环节,亦称“SE”教学模式。学生在这一教学模式下亲历科学探究过程,构建科学概念,理解科学本质^[28]。邢丽娟等人从化学史知识、实验探究、实验评价、实验改进四个方面进行了基于科学本质的教学研究,寻找适宜的科学本质教育的可行途径^[29]。

除此之外,还有许多研究者对科学本质教学做了其他实践层面的探索 and 理论性的研究,在此不一一陈述。综合各项研究成果,可发现如下两个问题:(1)目前从科学本质视角开展的教学实践,以化学这一学科的研究居多,物理学科的研究很少;(2)该类研究多以教学策略的总结、教学模式的探索和教学设计为主,通过定量调查来比较学生在教学前后对科学本质理解的变化案例较少。

1.2.2.3 教师与学生科学本质观水平调查研究

近年来我国教育界对教师的科学本质的发展水平较为关注,许多学者对此展开了针对中小学教师科学本质观的调查研究。张红霞用自制问卷对全国 1737 位科学教师的科学本质观水平进行了研究。调查发现:这些教师对科学知识和科学方法的认识上存在问题,以至于在课堂教学中有时会采取一些伪科学的做法^[30]。蔡铁权对浙江省的 197 名小学科学教师进行了问卷调查。调查结果显示,这些教师的科学素养水平普遍较低,仍然持有传统的科学本质观^[31]。高潇怡、胡巧也对 124 名小学科学教师进行问卷调查,以

了解小学科学教师对科学本质理解的整体水平。研究表明,这些教师都缺乏现代的科学本质观,并且对科学的观念具有不稳定性^[32]。田春风与郭玉英对来自14个省市151名高中物理教师进行了问卷调查研究,结果表明大部分物理教师教育策略比较传统,无法充分认识科学本质教育,同时揭示了相关教学资源的匮乏也是科学本质教育难以开展的原因^[33]。

目前我国对学生科学本质观水平的调查也有较多研究。1998年,魏冰率先开展对学生科学本质观的调查。他用NSKS量表对广州市的180名高中生进行问卷调查,结果表明,我国高中生对科学本质的理解普遍达不到期望水平^[34]。梁永平用Leaderman研发的科学本质观调查表,对临汾市的304名学生进行问卷调查,结果显示他们对于科学知识本质的认识比较片面和绝对化,对科学假设和理论甚至采取轻信或盲从的态度^[35]。

在当前教育背景下,不论是在职教师、职前教师、还是各个阶段的学生,他们的科学本质观水平都普遍不高,对科学的认识不到位。当下,科技创新在我国民族伟大复兴中发挥着支撑引领作用,在我国现代化建设全局中处于核心地位。百年大计,教育为本。这迫切要求我们的教师和学生能成功实现从传统科学本质观向当代科学本质观的转型。因此,探索有利于培养学生科学本质观的教材资源、手段、模式就具有十分重要的意义。

1.3 研究目的与意义

1.3.1 研究的目的

从科学本质视角对大陆新修订人教版、司南版与台湾翰林版、龙腾版高中物理力学部分教材展开定量对比和定性分析,整合各个版本教科书优质的文本教学资源,补充物理学史及科学本质教育资料,并结合理论研究成果开展教学实践研究,为一线教师在实际课堂中利用教材进行科学本质教学提供借鉴,为以后的教材编写提供有价值的参考,为我国基础科学教育改革探索方向。

1.3.2 研究的意义

1.3.2.1 理论意义

基于科学本质,从定量和定性两个方面探究两岸教材编写的异同点,深入剖析、比

较力学专题下四个重要知识点，挖掘宝贵的物理学史及科学本质教育资料，借鉴各版教科书在科学本质呈现上的编写优势，完善了我国物理课程的科学本质教学素材，拓展了我国科学本质的理论研究方向。

1.3.2.2 实践意义

根据教材分析结果，结合相关的物理学史和科学本质教学资料，采取相应的教学模式，进行基于培养学生科学本质观的案例教学设计，并开展课堂教学实践研究，为广大一线教师和研究者开展科学本质教学提供了资源参考与实践借鉴。

1.4 研究内容与思路

1.4.1 研究内容

(1) 查阅并梳理国内外的相关研究文献，结合自身思考，明确本研究框架下的科学本质观内涵及维度要素。

(2) 对大陆《普通高中物理课程标准(2017年)》与台湾《十二年国民教育基本课程纲要》中对科学本质的要求和阐述进行对比研究。

(3) 以科学史内容为分析单位，先统计出大陆“人教版”、“司南版”和台湾“翰林版”、“龙腾版”四版高中物理教材力学部分的科学史处数，再利用本研究建立的教材分析工具--科学本质分析类目表，定量统计、比较四版教材科学史内容对科学本质各个层面及维度的体现情况。

(4) 选择四版教材力学部分“自由落体运动”、“牛顿第二运动定律”、“万有引力定律”、“机械能守恒定律”这四个重要知识点，展开深入的定性分析。首先，收集相关的物理学史资料，探讨其所体现的科学本质内涵，发掘其中的教育价值；然后，在各知识点发展史的背景下，比较分析四版教材的编写特点及其科学本质呈现情况。最后，根据教材比较分析结果，并结合物理学史及科学本质教育资料，给出有利于培养学生科学本质观的教学建议。

(5) 以“自由落体运动”一节课为例，选取两个学业水平相近的班级进行教学实践研究，并设计相关问卷对实验班和对照班学生进行调查，根据调查结果对教学实践效果进行分析与总结。

1.4.2 研究思路

本研究思路的流程见图1-1。

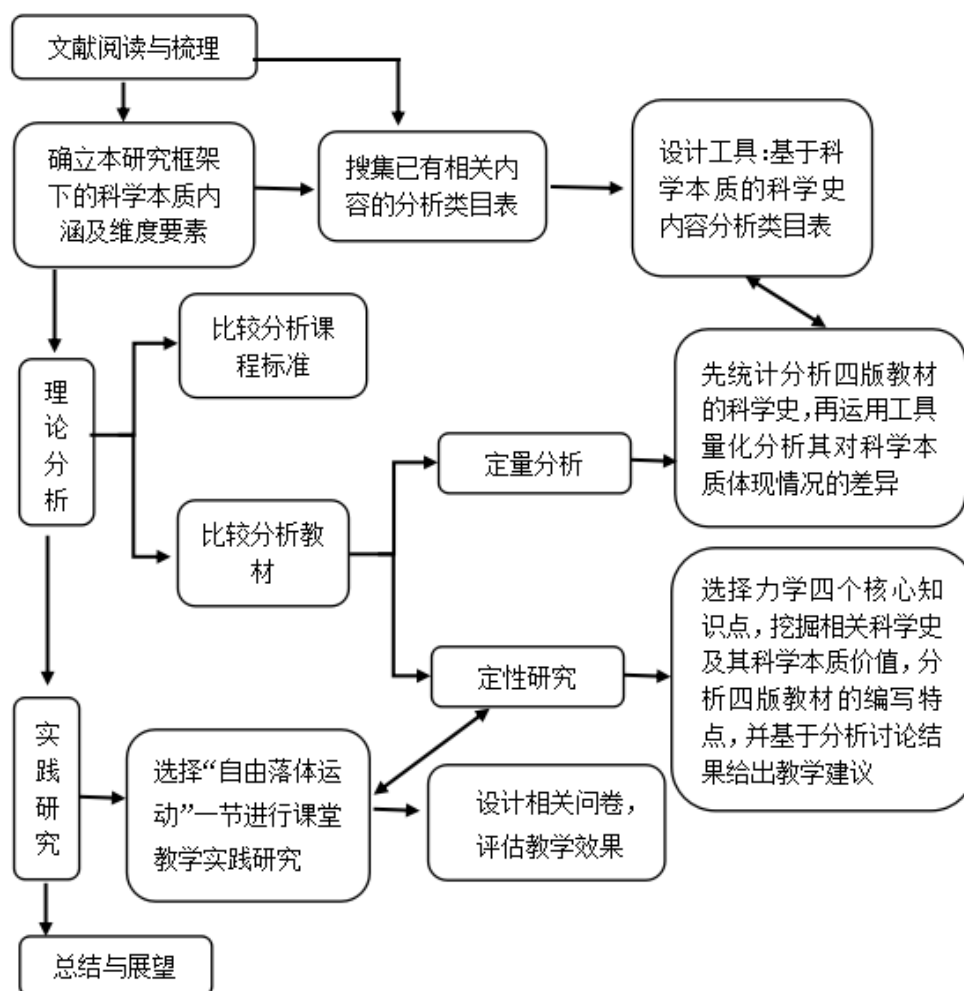


图 1-1 研究思路

1.5 研究对象与方法

1.5.1 研究对象

本次研究的教材取样为海峡两岸的主流高中物理教材,是出于如下考虑:中国台湾与大陆同根同源,有着极为相似的文化底蕴。从本质上讲,两者追求的教学理念以及教材编制的思想有很大的一致性。但由于历史原因,相比于大陆,台湾要更早接触到西方世界新进的教育思想和理念,导致两者在教学实施手段和呈现方式上差异较大^[10]。所以,

大陆与台湾的教育既有共性又有差异，这就使得两者的教材对比更有明确的借鉴意义。

为充实本次研究的内容，笔者分别在我国大陆和台湾各选取 2 版共 4 个版本作为教材对比对象进行研究。在中国大陆，笔者选择人民教育出版社 2019 年修订的普通高中课程标准实验物理教科书（以下简称人教版）和山东科学技术出版社 2019 年新修订的普通高中物理教科书（以下简称司南版）进行研究，其缘由为：人教版是以前在我国大陆各地沿用的教材，根基最为深厚。第 8 次基础教育改革后，大陆从“一纲一本”变为“一标多本”，提供教材供各地选用的出版社虽由 1 家变为 5 家，但人教版的使用率仍较高，具有代表性。而福建省与中国台湾隔海相望，有着与台湾更为相似的文化底蕴，且近年来两地之间有着密切的学术交流，如福建省特有的引进台湾师资的计划。故比较福建省沿用的司南版教科书和台湾的教科书，有更多的参考意义。

在中国台湾，笔者选择翰林书局 2020 年出版的普通高级中学基础物理教科书（以下简称翰林版）和龙腾书局 2014 年出版的普通高级中学基础物理教科书（以下简称龙腾版）进行研究。这两版教材在台湾的发行量近几年一直位居前 2 名，具有代表性；且龙腾版的主编也是教学大纲的主编，具有较高的参考价值。

力学是整个物理学中的基础，它在物理教学内容中占有最大篇幅，始终是两岸高中物理教科书中最核心的内容。我国大陆新修订的《普通高中物理课程标准（2017 年）》规定：我国高中物理课程结构分为必修课程、选择性必修课程和选修课程。其中，我国物理高考所涉及到的力学知识主要集中于必修 1 和必修 2 模块。而台湾地区普通型高级中等学校自然科学领域也有必修模块与选修模块之分：必修总学分为 12 学分，对应课程为高 1 年段学生共同必修的自然科学基础知识；选修总学分为 32 学分，包含选修物理 10 学分，对应课程内容为高 2 年段学生分科后在必修基础上的加深加广知识，力学内容主要集中于加深加广选修物理模块中。考虑到研究时间的限制，以及两岸教材在章节编排上的差异，本次研究仅比较大陆教材必修系列和台湾教材加深加广选修系列中所涉及的力学主题，具体内容见表 1.1.

教材	模块	章节主题
人教版	必修 1	运动的描述；匀变速直线运动的研究；
		相互作用——力；运动和力的关系

司南版	必修 2	抛体运动；圆周运动； 万有引力与宇宙航行；机械能守恒定律
	必修 1	运动的描述；匀变速直线运动；相互作用； 力与平衡；牛顿运动定律
	必修 2	功和机械能；抛体运动；圆周运动； 万有引力定律航天；科学进步无止境
	选修物理 1	运动学——直线运动；运动学——平面运动； 牛顿运动定律；万有引力定律
翰林版	选修物理 2	牛顿运动定律的应用；功与动能；位能与力学能守恒定律
	基础物理（二）B 上	直线运动；平面运动；静力学； 牛顿运动定律；牛顿运动定律的运用；
	基础物理（二）B 下	功与能量；万有引力

表 1.1 两岸四版教材的具体研究内容统计

翰林版的选修物理 1、选修物理 2 和龙腾版的基础物理（二）B 上、基础物理（二）B 下均普通高级中学 2 年级学生的加深加广选修课程用书。由于两岸课程标准（纲要）的差异及其它因素的影响，不同版本教材模块主题的编写顺序会有所不同，且各章节主题的名称也略有差异，但模块主题下的内容是基本一致的。

1.5.2 研究方法

1.5.2.1 文献研究法

笔者使用文献分析法主要是为了解国内外对科学本质教育的研究成果以及高中物理教材的比较研究现状，搜集相关的物理学史资料，以此确定研究方向，丰富理论成果。

1.5.2.2 内容分析法

笔者基于文献研究成果建立分析框架，对海峡两岸高中物理课程标准和教科书力学部分的物理学史和科学本质相关内容进行文本分析，生动的展现了两地物理教科书的编写特点。

1.5.2.3 比较研究法

比较研究法是本论文采用的重点研究方法。在用内容分析法得到海峡两岸教材的量化数据后，对分析结果进行对比。并选取典型案例对比两版教材中科学史的选取、对科学本质体现特点的差异，提供可借鉴之处。

1.5.2.4 实验研究法

选择力学专题下的核心规律课进行课堂教学实践研究，并开展教学效果评测，对实验班和对照班前测和后测，检验教学成果。

1.5.2.5 问卷调查法

通过问卷调查了解学生科学本质观在教学前后的变化，以便评估基于教材分析结果所开展的教学实践对培养学生科学本质观的实际效果。

第2章 核心概念与理论基础

2.1 概念界定

2.1.1 教材

教材有广义和狭义两种定义。广义的教材是指以课程标准为指导，教师和学生课堂上或者课外使用的教学工具，包括教科书、课件以及各种网络资源、媒体等教学参考材料；狭义的教材一般是指依据课程标准编写出的系统化的教学用书，即专指教科书或课本，它是课程标准的具体化，是教师教学和学生学习的工具^[36]。在本研究中，教材所指的都是狭义的概念，即教科书。

2.1.2 科学史

对于科学史(history of science)，不同学者的表述略有不同。《科学技术词典》提出：科学史原称为“内部史”，指人类对自然认识的发展历史，着重阐述自然科学理论的发展历程，后来则称为“外部史”，主要研究科学知识产生与发展及相关社会背景^[37]。在教育领域，科学史则主要研究科学理论形成和发展过程中的事件、人物、思维方式和研究方法、内部逻辑与外部动力以及科学和社会的关系等。

本研究中的科学史是指科学(主要是物理学)发现 and 发展的历史。它具体包括以下几个方面：①科学概念、科学定律和科学理论的产生与发展；②历史上科学家的生平、成就、逸闻趣事；③历史上的科学思维方式和研究方法；④科学发展过程中科学家的不同观点的争论与融合；⑤历史上科学发展的内部逻辑与外部动力，科学与社会、科技、经济、政治、宗教、伦理道德的相互影响^{[2]20}。

2.2 理论基础

2.2.1 科学本质内涵

科学本质(the Nature of Science, 简称 NOS)，是对科学的元思考，主要回答“科学是什么”这一问题，着重阐明科学所具有的基本特征^{[24]11}。对科学本质的研究最早可追溯到20世纪初美国的科学与数学教师中央学会(Central Association of Science and Math

Teachers)。这一机构提出,在注重科学知识教育的同时,也不可忽视科学方法及历程的教育。

关于“科学是什么”这一问题,科学史、科学哲学和科学教育领域都有所研究。但由于科学本质概念本身的抽象性,到目前为止也无统一认同的定论。下面,主要从科学哲学和科学教育两个领域对科学本质内涵展开阐述。

2.2.2 科学哲学领域的科学本质观

“科学的本质”这一问题一直都是哲学家研究的重点,而人们对科学本质的认识又与哲学的发展有着密不可分的关系。因此,在哲学视野下探讨科学的本质是十分有必要的。笔者通过对大量文献资料的整理,将哲学领域的科学本质观大致分为两大类,即传统科学本质观和现代科学本质观^[28]。具体内容见表 2.1。

科学本质观	观点的主要内容 ^[38]	代表人物
传统科学本质观	经验主义	培根(Bacon)
	在感官经验基础之上的,经验是科学的源泉;强调科学的客观性,否认个人想法在进行科学研究时的作用。	洛克(Locke)
		休谟(Hume)
	理性主义	康德(Kant)
	将理性思维置于首要地位。科学知识不能单纯靠经验获得,而是需理性,真理性的知识需要进行逻辑推理才得到。	笛卡尔(Descartes)
现代科学本质观	逻辑实证主义	卡尔纳普(Carnap)
	科学可被证实;科学知识是绝对客观的真理;科学知识具有累积性;演绎法在推测中扮演重要角色	石里克(Schlick)
	否定主义	波普尔(Popper)
	理论要先于观察,反对归纳法;科学对问题进行合理的猜测,提出自己的假说或者理论;理论的正确与否需要经过检验;科学理论可能随着时代的发展被推翻修正。否定主义实际上是逻辑主义向历史主义的过渡	
	否定主义	库恩(Kuhn)
科学本质观	建构主义	科莱特(Collette)
	科学知识是科学家在原有的基础上不断建构的结果,它具有暂时性与局限性,是不断发展向前的	

恰帕塔
(Chiappetta)

表 2.1 科学哲学领域科学本质观的不同观点

可见,在哲学领域中人们对科学本质的认识逐渐由“科学是通过观察、实验和理性思维得出的绝对客观的、静态的、不容置疑的真理性知识”转向“科学知识是在动态建构中形成的,允许出错的,在发展中要被不断修正的,个人经验和创造性在科学发展中起着重要影响,探究才是科学的主要特性”。这一转变,无疑对科学教育领域的科学本质也有着重要的影响。

2.2.3 科学教育领域的科学本质观

虽然哲学领域的科学本质观会影响到科学教育,但以目前科学教育现状来看,中学生还很难站在哲学的角度去理解科学本质。因此,本研究侧重分析中学生可理解的科学教育领域的科学本质观。

人们对科学教育领域科学本质的研究已经长达近半个世纪。根据对已有文献的梳理,可以看到不同研究者对科学本质内涵的主张略有差异,见表 2.2。

表 2.2 科学教育领域科学本质观的不同观点

研究者	科学本质的观点内容
鲁巴 (Rubba) (1978)	(1) 非道德性 (2) 创造性 (3) 暂时性 (4) 简约性 (5) 整体性 (6) 可验证性 ^[39]
AAAS (1989)	(1) 科学世界观: 世界可被认知、科学知识具有持久性、科学不能为所有问题提供答案; (2) 科学探索: 科学需要证据、科学融合想象和逻辑、科学有解释和预见功能、科学家需努力鉴别, 科学不仰仗权威; (3) 科学事业: 复杂社会活动、学科内容组成、由不同机构研究、有普遍接受的道德规范、科学家参与公共事务时有科学家和公民双重身份 ^[40]
Lederman(1992)	科学知识始于对自然界的观察, 而用于对现象的解释, 其形成受社会环境的影响; 科学知识具有主观性、暂时性、创造性的特点。

McComas (1998)	(1) 科学知识具有可变性、依赖于观察、没有固定的研究方法且需要多次验证,理论与定律有所区别,科学的目的是解释自然现象,新知识需公开发表才能被承认; (2) 科学具有创造性,科学是同所有文化共同进步的; (3) 科学与技术互相影响,科学被社会历史所影响,科学是社会文化传统一部分,科学史在科学中有重要作用^[41]
Moss(2001)	(1) 科学知识:实证性、局限性、动态发展的; (2) 科学探究:人类认识自然的一种方式,必须建立在严密逻辑、创造力、对新事物好奇的基础上,有一套不可缺少的研究方法,但会因社会而发生改变^[42]
Osborne(2003)	(1) 科学方法与批判性测试 (2) 创造性 (3) 历史性 (4) 质疑性 (5) 思考方式多样性 (6) 揭示研究数据 (7) 确定性 (8) 可预测性 (9) 合作性^[43]
丘明富, 高慧莲 (2004)	(1) 科学知识:累积性、暂时性、可复制性、创造性、公开性; (2) 科学探究:实证性、非单一性、理论蕴含性、非固定性、非绝对客观; (3) 科学事业:伦理与道德、科学与技术、科学与社会、科学社群、科学家身份^[44]
项红砖 (2006)	(1) 科学知识:真理性、系统性、发展性、交叉性、统一性; (2) 科学探究:可验证性、批判性; (3) 科学事业:非功利性、民主性、双重性^[45]
苏明州 (2006)	(1) 科学知识:累积性、暂时性、可重复性、创造性、公开性、可预测性; (2) 科学探究:质疑性、经验性、实证性、科学方法的多元化、逻辑推论性、科学的限制; (3) 科学事业:伦理与道德原则、科学家身份、科学共同体的重要性、STS^[46]
刘健智 (2006)	(1) 科学知识:认识性、相对性、公开性、累积性、重复性、局限性; (2) 科学探索:实证性、归纳性、创造性、预见性、基本一致性、非固定性、非权威性、非绝对客观性; (3) 科学事业:科学与道德、科学与技术、科学与社会、科学家身份、科学共同体^[47]
袁维新 (2010)	(1) 科学知识:可认识性、相对性、累积性、重复性、公开性、局限性; (2) 科学探究:实证性、创造性、预见性、基本一致性、非固定、非权威;

(3) 科学事业：科学与道德、科学与技术、科学与社会、科学家身份、科学共同体^[48]

综上，虽然不同研究者对科学本质内涵的观点不尽相同，但从本质上来说，大致都可以划分为三个层面，即科学知识、科学探究和科学事业。因此，本研究以这三个层面为基础建立科学本质观分析框架。具体的内容将在第 3 章第 2 节加以详细说明。

第3章 两岸教材力学部分科学本质呈现情况比较

3.1 两岸课程标准（纲要）对科学本质要求比较

3.1.1 《普通高中物理课程标准（2017版）》对科学本质的要求分析

中国大陆教育部制定的《普通高中物理课程标准（2017版）》（以下简称课程标准）主要包括“课程性质与基本理念”、“学科核心素养与课程目标”、“课程结构”、“课程内容”、“学业质量”、“实施建议”、“附录”等内容，下面对各部分内容所含的科学本质要求进行简要分析。

在课程性质上，课程标准第一次提出“高中物理课程要引领学生认识科学的本质……^{[9]1}”；在基本理念上，第一条理念即强调“注意体现物理学科本质，培养学生物理学科核心素养”，第四条理念的细节中再次说明要“通过多样化的教学方式，引导学生理解物理学的本质^{[9]2}”；在学科核心素养上，新课标将“认识科学本质”归类为“科学态度与责任”这一素养下的一个要素，并与“科学态度”、“社会责任”等要素融合^{[9]4}；在实施层面的教学建议上，提出要“通过物理学习认识科学的本质……”，最终实现科学与态度责任感的培养目标，在评价建议上，则建议“评价学生在认识科学本质的发展水平……”，还列举了具体的评价内容，如“能否认识到物理研究是一种对自然现象进行抽象的创造性工作”^{[9]50}；在考试内容要求上，指明“考试内容要反映物理学科本质……^{[9]60}”

此外，课程标准对一些模块下的课程内容进行了与科学本质要求有关的说明，将必修系列下力学部分中与科学本质有关内容要求整理如表3.1所示。

表3.1 课程标准对必修系列力学部分体现科学本质的课程内容要求

必修 课程	内容要求	举例
	了解近代实验科学产生的背景，认识实验对物理学发展的推动作用 ^{[9]10}	了解伽利略的实验研究工作，认识伽利略有关实验的科学思想方法
必修	结合物理学史的相关内容，认识物理实验与	例7 查阅资料，了解伽利略研究自
1		

	科学推理在物理学研究中的作用 ^{[9]10}	由落体运动的实验和推理方法
必修 2	通过史实，了解万有引力定律的发现过程。 知道万有引力定律。认识发现万有引力定律的重要意义。认识科学定律对人类探索未知世界的作用^{[9]12} 知道牛顿力学的局限性，体会人类对自然界的探索是不断深入的^{[9]13}	例3 通过发现海王星等事实，说明科学定律的作用 例4 以万有引力定律为例，了解统一性观念在科学认识中的重要意义

简言之，2017年新修订的课程标准在课程性质和基本理念、课程目标、学科核心素养以及实施建议等方面都对科学本质有显性的阐述和要求，并且在课程内容上也针对具体模块提出了科学本质中某一维度的内容要求。相比于以前课程标准对科学本质培养的隐形要求，这些变化说明新课改以来科学教育愈加重视对学生科学本质观的培养。但是，新课标将“科学本质”简单归为物理学科核心素养中的“科学态度与责任感”中的一个要素，隐含表达“认识科学本质”是一种伴随着物理学习而产生的情感结果而无需刻意培养，并且也没有关于科学本质的具体内容要求以及培养学生科学本质的具体实施建议或教学案例，故要真正从实践上全面培养学生的科学本质并非易事。

3.1.2 《十二年国民基本教育课程纲要》对科学本质的要求分析

中国台湾教育部制定的《十二年国民基本教育课程纲要》（以下简称课程纲要）涵盖国民小学、国民中学和普通型高级中等学校共十二年的基本教育阶段，强调跨领域、科目的整合，以综合理解、运用自然科学领域的七项跨科概念（物质与能量、构造与功能、系统与尺度、改变与稳定、交互作用、科学与生活、资源与永续性）^①。普通型高级中等学校自然科学领域包括物理、生物、化学和地球科学四门学科。其中，基础物理课程明确提出要以“物理学家发现过程的故事为主、基础物理通才知识为辅”，希望全体学生接受的是物理发展的精神与传承，而非只是比较片段、不连贯的科学知识。纲要主

① 台湾十二年国民基本教育课程纲要国民中小学暨普通型高级中等学校自然科学领域（2018年11月）

要包括“基本理念”、“课程目标”、“时间分配与科目组合”“核心素养”、“学习重点”、“实施要点”等几个方面，下面对各部分内容所含的科学本质要求进行简要分析。

第一，课程纲要在课程理念上明确提出“要培养有科学素养的公民……能初步了解科学本质”，并且要“透过对科学本质的了解，学习欣赏大自然之美，善用并珍惜自然资源，以符合共好的理念”。

第二，课程纲要强调要培养以人为本的“终身学习者”，制定了自然科学领域的核心素养，包括“自主行动”、“沟通互动”和“社会参与”三个方面。为落实这一核心素养，纲要明确了三个学习重点，其中第二条为“协助学生了解科学知识产生方式，养成应用科学思考与探究习惯的科学态度与本质”，意味可通过科学史教育，使学生了解科学的发展过程及其蕴含的思维方式，加深学生对科学本质的理解^[49]。

第三，为使学习重点在实践中落到实处，课程纲要将其分为“学习内容”和“学习表现”两个部分，且两者关系密切，互为表里。“学习表现”包括“科学认知”、“探究能力”和“科学的态度与本质”三个方面，其中第三个方面“科学的态度与本质”的第三条细则即明确要求要“认识科学本质”。此外，课程纲要在十二年国民基本教育的四个阶段都对学习表现的各个子项目具体内容作出了说明，现将“认识科学本质”在普通型高中物理加深加广课程中的具体表现梳理见表 3.2。

表 3.2 “认识科学本质”在普通型高中物理加深加广课程中的具体表现

项目	子项目	学习表现
科学 态度 与本 质	认识	(1) 了解从事科学工作者具有的一些共同的特质，例如：逻辑思考、精确性、理智开放、客观性、保持怀疑、研究结果的可重复性、诚实并符合
	科学	伦理的发表研究成果等
	本质	(2) 察觉到相同的自然现象，可用多个理论解释
		(3) 当现有的证据都支持着这些理论，人们倾向采用较简约的理论
		(4) 了解科学知识发展的历史始于社会、文化、政治、经济紧密相关的

3.1.3 海峡两岸课程标准（纲要）比较分析

通过以上分析，可以发现海峡两岸课程标准（纲要）都对“认识科学本质”提出显

性的要求，大陆《标准》将其归为“科学态度与责任感”这一学科核心素养下的一个要素，台湾《纲要》则将其视作落实自然科学核心素养目标的一个应达到的学习表现，两者都能体现对科学本质教育的重视。此外，两者还存在以下的几点不同之处：

（1）统合与分科。台湾课程纲要在自然科学领域统合了生物、物理、化学和地球科学等学科，注重跨学科融合培养学生科学素养，而大陆课程标准将各学科是分开讨论。多个科学学科之间相互融合、形成整体，有利于体现科学的整体性，以更好地培养学生的科学本质观。

（2）从实践指导层面上来讲，两套标准各有优势和不足之处。第一，大陆课程标准有对不同教学模块下的具体课程内容进行科学本质要求的阐述，具备一定的指导意义；第二，台湾课程纲要对学生在每一学习阶段中，关于“认识科学本质”的学习表现都作了具体内容要求，阐述明确且丰富；第三，台湾课程明确提出可通过科学史教育这一途径，来实现培养学生科学本质观的教育目标，而大陆课程标准对此表述得较为隐性；最后，海峡两岸的课程标准（纲要）都存在着一些不足之处，如没有制定用于评价学生科学本质理解程度的标准，没有关于如何运用科学史料来组织科学本质教育的相关教学案例等。

3.2 四版教材力学部分科学本质呈现情况定量比较

3.2.1 教材比较研究设计

3.2.1.1 确定分析单位

本研究对科学史内容所体现的科学本质进行定量统计，故以科学史主题为分析单位，科学史主题就是教材中的一个科学史话题。对两岸四版教材中科学史内容的处数进行定量统计，每出现一处科学史内容就统计一次，并从科学史内容的总量及子类目分布、章节分布和呈现方式三个方面对教材中科学史的编排情况进行分析。

其中，本研究将科学史细分为①科学概念、科学思想、科学定律和科学理论的产生与发展；②历史上科学家的生平、成就、逸闻趣事；③历史上的科学研究方法；④科学发展过程中科学家的不同观点的争论与融合；⑤历史上科学发展的内部逻辑与外部动力，

科学与社会的经济、科技发展、政治、宗教、伦理道德等的相互影响等这 5 个子类目；将科学史的呈现方式分为有引言、正文、栏目、问题、注释及旁批。

为尽可能减少统计过程中主观因素的干扰，本研究对科学史内容统计做如下说明：

(1) 科学人物名言和简洁的生平注释同时出现时，记为一处科学史。

(2) 当插图与文字描述的是同一科学史内容时，则只计为一处科学史。

(3) 若某一科学史内容在同一章节多次出现，但主题且所体现的科学本质完全相同，这种情况只记为一处科学史。

(4) 同一科学史内容在教材不同的位置所体现的科学本质不同时，统计时将科学史的处数进行累加统计。

3.2.1.2 建立研究工具

本研究以我国学者刘健智及袁维新的科学本质观为依据，将科学本质分为科学知识、科学探究和科学事业这三个层面，并结合其他学者的研究、与教师交流的心得和自我反思，对三个层面下的具体特征进行适当调整与删减，设计了基于科学本质的科学史分析框架，以此作为本研究中分析大陆与台湾的高中物理教材力学内容的研究工具。

表 3.5 基于科学本质的科学史内容分析类目表

层面	维度	说明	可操作定义
科学 知识	认识性	世界是可以被认识的，科学是对客观世界的说明	教材中科学史表达出科学可解释自然的含义，出现如“解释”、“认识”等词语
	相对性	科学知识具有暂时性与持久性，不是绝对的真理	教材中科学史表达出新旧科学理论更替的含义，出现“推翻”、“修改”等词语
	累积性	科学知识需要长时间的累积才能得到	教材中科学史表达出科学知识的不断累积的含义，出现“随着时间”、“长期”等词语
	重复性	获得科学知识的研究过程是其他研究者能够再次重现	教材中科学史表达出科学知识的实验是可以被重复进行的内容
	公开性	科学知识成果应与其他研究人员交流共享，并公开发表	教材中科学史出现科学家公布成果，或与其他学者分享，出现“出版”“发表”等词语
	局限性	科学知识并不能完美解释所有现象，具有局限性	教材中科学史出现科学知识应用存在局限性内容，出现“待解决”、“待探索”等词语

科学探究	实证性	科学结论必须有充足证据，要经过实验、观察的证实。	教材中科学史出现通过实验验证科学理论内容，出现“证明”、“证实”等词语。
	非权威性	科学研究要不畏权威、实事求是，要有质疑精神、大胆探索	教材中科学史出现科学家敢于提出质疑、挑战权威的内容。出现“不畏”、“质疑”、“勇于”等词语
	创造性	科学是人类创造思维的产物。	教材中科学史出现科学研究中理论或工具与研究方式的创新的内容。出现“首次”、“发明”、“创立”等词语。
	多样性	科学家进行研究时可能会采用不同的研究方法解决问题	教材中科学史出现在研究过程中使用多种方法的内容
	非绝对客观性	不同科学家受自身经验和知识背景的影响，即使用相同方法观察同一现象，也可能得到不同的结论。	教材中科学史出现科学家自身原因对科学研究结果出现不同理解的内容。出现“某某觉得”、“以为”等词语
	预见性	科学家往往会在实验开始前先预测可能的实验结果。	教材中科学史出现科学知识对科学理论、自然现象的预测，出现“预测”、“预见”、“推测”等词语。
科学事业	科学与道德	科学研究必须受到道德约束	教材中科学史出现关于科学与道德或科学与伦理话题的内容
	科学与技术	科学与技术互为独立且相互影响	教材中科学史出现技术进步和科学发展相互作用的科学史内容
	科学与社会	科学与社会的政治、经济及宗教间的相互影响	教材中科学史出现科学与政治、经济、宗教发展相互影响（促进或阻碍）的内容
	科学家的身份	科学家既是专家也是公民，有其独特的经历	教材中科学史出现对科学家生平介绍的内容
	科学共同体	科学事业需要多人的合作，科学家、科学研究团体之间相互影响。	教材中科学史出现科学家之间相互合作或集体研究的内容

3.2.1.3 信效度分析

由于科学本质的概念本身比较抽象，在对四版教材的科学史内容进行分析时，容易受到个人主观因素的影响。因此需要通过内容分析的信度检验方法，对此分析工具的信度进行检验，也间接验证本研究结果是否可靠。此信度检验的程序是选择两名及以上的研究者，分别运用科学本质分析类目表，对科学史内容进行分类统计。最后计算分析结果的一致性程度，当信度值高于 0.8 时，说明可信度达标，否则需要重新建构分析目录表。具体的检验情况如下：

首先，笔者担任评分员 A，并邀请了两名同专业同学作为评分员 B、C 一同进行测评。在检验前，先对评分员 B 和评分员 C 进行培训，帮助他们理清评判的标准，理解科学本质各层面及各维度的内涵。

然后，在四版教科书中的力学部分随机抽取两章进行信度分析，所选的章节为“牛顿运动定律”和“万有引力定律”。笔者和两位评判员同时独立运用分析量表对其中的科学史内容进行分析。

最后，用信度分析的相关计算公式对统计结果进行信度检验。

(1)

$$\text{相互同意度} = \frac{2M}{N_1 + N_2} \quad (1.1)$$

其中 M 为两个评分员一致同意的总维度数， N_1 为一个评判员分析的维度数， N_2 为另一个评判员分析的维度数。将三位评分员的统计结果运用上述公式进行计算，可得各个评分员之间的相互同意度如表 3.6 所示。

表 3.6 三位评分员之间的相互同意度

评分员	A	B
C	0.81	0.81
B	0.79	

(2)

$$\text{平均相互同意度} = \frac{\text{评分员之间的相互同意度之和}}{n} \quad (1.2)$$

其中，n 为参与人数。由公式可算得平均相互同意度为 0.803。

(3)

$$Z = \frac{n \times (\text{平均相互同意度})}{1 + [(n-1) \times \text{平均相互同意度}]} \quad (1.3)$$

由上述的信度计算公式，代入数据可得该分析类目表的信度值 $Z = 0.924 > 0.8$ ，因此本研究和分析类目表达到标准，研究结果可信。

3.2.1.4 数据分析与处理

根据本研究中建立的科学本质分析类目表，定量统计出四版教材的科学史内容对科学本质各个层面及维度体现情况的数据。当某一处科学史内容涉及到科学本质某一层面下的某一维度时，譬如科学知识层面下的“可认识性”维度，就对“可认识性”统计一次。最后再结合统计数据，分析、评价四版教材力学部分的科学史内容对科学本质的体现情况。需要注意的是，一处科学史内容可能会涉及多个科学本质维度，要在所体现的维度下分别统计一次。

3.2.2 教材科学史内容统计结果

对四版教材力学部分的科学史内容进行定量分类统计，统计结果以 A 代表科学史的第一个子类目“科学概念、科学思想、科学定律和科学理论的产生与发展”，B、C、D、E 则以此类推，可得到科学史内容的分类统计表如表 3.3 所示。

表 3.3 四版教材力学部分科学史内容分类量化统计数据

	A	B	C	D	E	总计
人教版	15	17	16	9	13	70
司南版	19	3	7	11	15	55
翰林版	15	16	2	6	9	48
龙腾版	9	3	1	4	3	20

3.2.2.1 四版教材科学史的总量

从上表可以看出，在必修系列的力学部分，大陆人教版教材的科学史数量最多，共计 70 处，接着是大陆的司南版，共有物理学史 55 处，台湾翰林版共计 48 处物理学史内容，台湾龙腾版的科学史内容最少，仅有 20 处。因此，在科学史内容的丰富度上，其排序从高到低为：人教版、司南版、翰林版、龙腾版。

在分析表还可以进一步发现，人教版的科学史内容各个子类目的分布最为均衡，其中占比最多的为“历史上科学家的生平、成就、逸闻趣事”，共有 17 处。该类目最多的原因与人教版教材在每章伊始都以相关科学家的名言作为导入有关。占比最少的为：“科学发展过程中科学家的不同观点的争论与融合”，但也有 9 处，分布差异不是很明显。司南版科学史内容占比最多有 19 处，最少的为 3 处，为“历史上科学家的生平、成就、逸闻趣事”；翰林版最多的有 16 处，最少的仅有 2 处，为“历史上的科学研究方法”；龙腾版最多为 9 处，最少的子类目是“历史上的科学研究方法”，仅有 1 处。可见，除人教版外，其他教材的科学史内容在子类目分布上差异都较为显著。

3.2.2.2 四版教材科学史的章节分布情形

从图 3.1 可以看出，四版教材科学史内容在各章节的呈现频率差异都很大。其中，人教版和司南版在“万有引力与航天”这一章的科学史呈现频率最高，各出现 22 处和 24 处，明显高于其他章节；其次在“运动和力的关系”这一章节，科学史内容出现的频率也较高，统计时可发现，大部分科学史集中在“牛顿第一运动定律”这一节；而科学史内容最少的是“抛体运动”这一章，人教版仅有 1 处，司南版没有出现任何科学史内容。“万有引力与航天”和“运动和力的关系”这两大主题本身包含非常丰富的物理学史内容，将其高频呈现在教材中，充分发挥该部分学史资料的教育功能，符合新课标的要求。但其它章节科学史内容较为匮乏，还有待开发与充实。

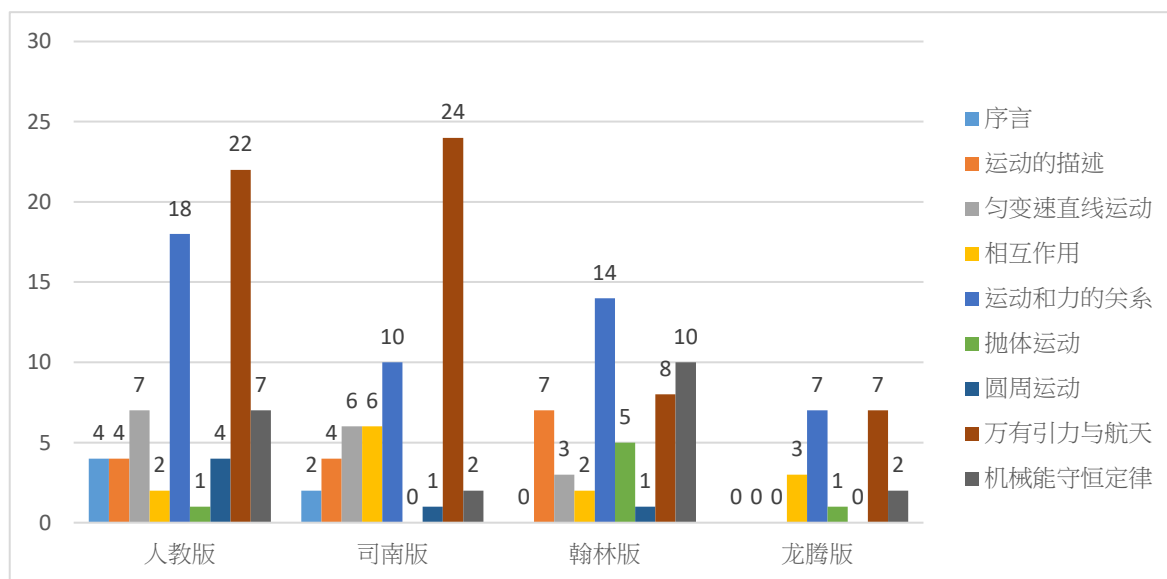


图 3.1 四版教材力学部分科学史内容章节分布情况

分析台湾教科书，可以看到翰林版教材在“运动和力的关系”、“机械能守恒定律”

和“万有引力与航天”这三章的科学史内容较为丰富，分别有 14、10 和 8 处，“圆周运动”、“相互作用”、和“机械能守恒定律”这三个主题下的科学史内容最少，各仅有 1、2 和 3 处。力学部分科学史总量最少的龙腾版教材，同样是在“万有引力与航天”和“运动和力的关系”这两个主题下科学史的呈现频次最高，均为 7 次；而其他几个章节的科学史呈现情况都不理想，特别是在“运动的描述”、“匀变速直线运动”和“圆周运动”这几大主题下都没有科学史内容。

3.2.2.3 四版教材科学史的呈现方式

表 3.4 四版教材力学部分科学史内容呈现形式统计数据

	序言	正文	栏目	旁批、注释	问题
人教版	2	27	13	19	7
司南版	3	24	9	10	4
翰林版	5	11	9	10	1
龙腾版	2	10	7	1	1

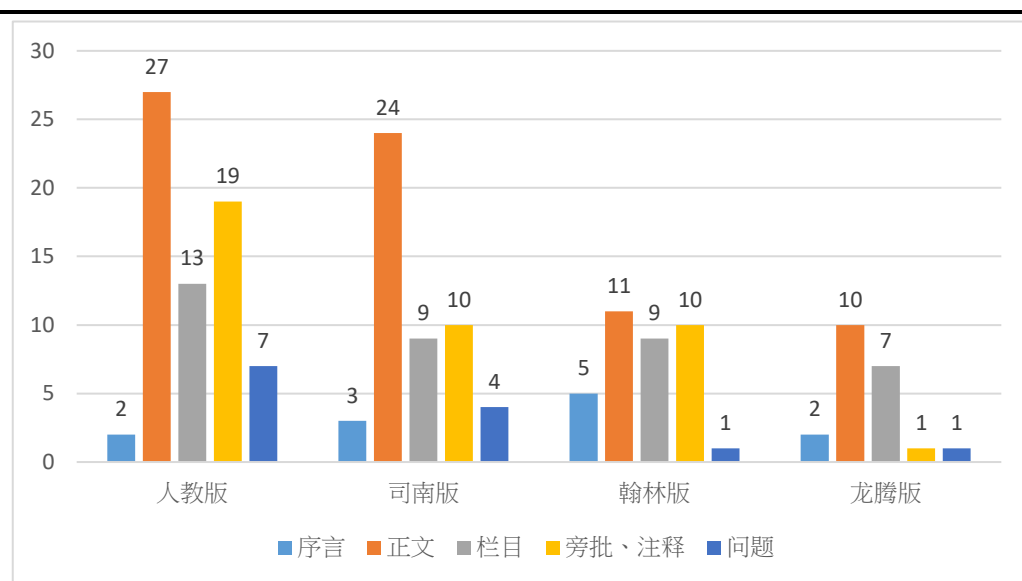


图 3.2 四版教材力学部分科学史内容呈现形式对比

将表 3.4 中科学史内容的呈现形式信息绘制成柱状图，可直观看出科学史内容在教科书中的呈现形式差异。其中，在人教版教材中，科学史内容最常见的呈现形式是在正文中呈现，共有 27 处；其次是在旁批和注释、栏目和问题中呈现，分别为 19、13、7 处，

最少的呈现形式是在序言中呈现，仅有 2 处。将科学史内容侧重在正文中呈现，能够起到引起学生关注的作用。

同样的，司南版和龙腾版也以正文为主要载体呈现科学史，分别有 24 处和 10 处。其中，司南版的栏目和旁批、注释起着辅助呈现的作用，共有 9 处和 10 处，以序言和问题形式呈现的科学史共有 3 处和 4 处；龙腾版共有 7 处科学史在栏目呈现，在序言、旁批和注释、问题中则呈现得较少，分为仅有 2 处、1 处和 1 处。

翰林版在科学史的呈现形式分布上较为均衡，在正文部分呈现的科学史有 11 处，在旁批和注释、栏目部分呈现的科学史也有 10 处和 9 处，在序言部分呈现的科学史有 5 处，在问题部分呈现的科学史仅有 1 处。

综上，各版教材在呈现科学史内容上都能以正文为主要呈现形式，栏目、旁批和注释等为辅助呈现形式，主次分明，突出科学史内容地位。

3.2.3 教材科学本质呈现情况比较分析

利用科学本质观分析类目表，定量统计出四版教材的科学史内容对科学本质各层面及维度的体现情况，具体结果见附录 3。下面从各个角度对四版教材的科学本质呈现情况进行简要分析。

3.2.3.1 科学本质三个层面呈现比较分析

对海峡两岸四版物理教材力学部分中的科学史内容对科学本质体现次数进行统计，作出科学本质三个层面的整体比例分布图，见图 3.3。

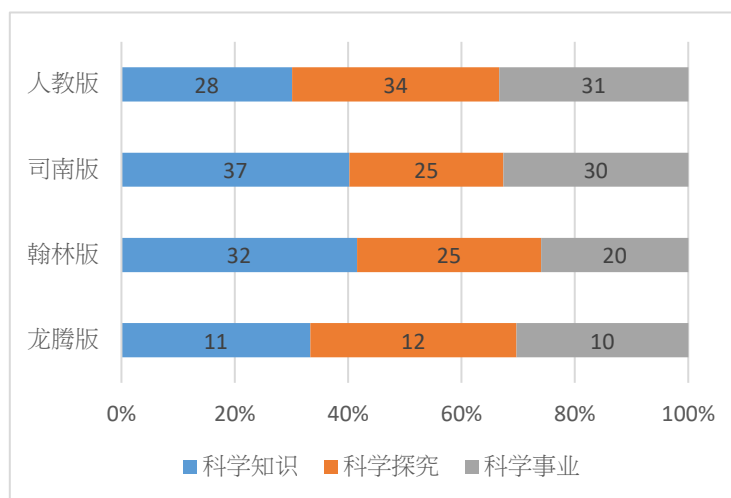


图 3.3 版教材力学部分科学史内容对科学本质三个层面的体现次数统计图

由图 3.3 可知,在科学知识层面下,司南版教材的科学史体现次数最多,共有 37 次;其次是翰林版、人教版,体现次数最少的是龙腾版,仅 11 次。在科学探究和科学事业层面下,都是人教版教材的科学史体现次数最多,司南版和翰林版次之,龙腾版均最少,且明显低于其他各版教材。

从各版教材对三个层面的体现比例来看,人教版中的科学史对科学探究的体现比例最大,其体现比例占到了总数的 36.55%。司南版和翰林版对科学知识层面的体现比例最大,其中科学知识层面在司南版中的体现比例高达 40.21%,翰林版中更是达到 41.55%。龙腾版则在各个层面的体现得比较均衡,比例基本相同。总体而言,人教版对科学本质三个层面体现的排序从多到少为:科学探究、科学事业、科学知识;司南版从多到少的顺序则为:科学知识、科学事业、科学探究;翰林版的排序:科学知识、科学探究、科学事业;龙腾版排序为:科学探究、科学知识、科学事业。

3.2.3.2 科学本质各个维度呈现比较分析

对海峡两岸四版物理教材力学部分科学本质的 17 个维度的体现情况进行统计,作出维度次数统计图,如下所示。

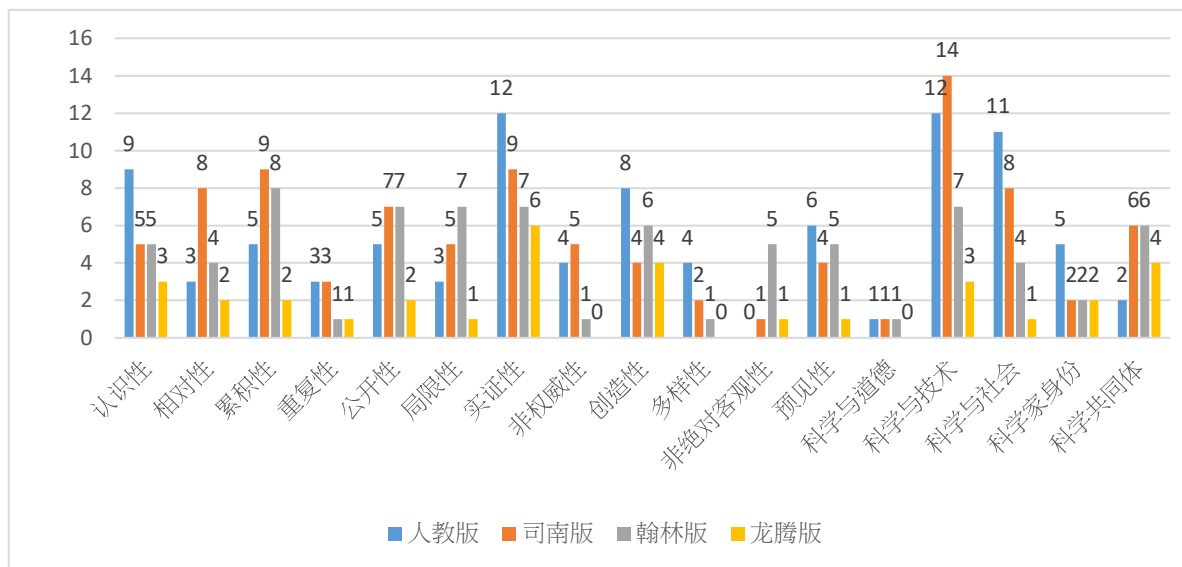


图 3.4 版教材力学部分科学史内容对科学本质的 17 个维度的体现次数统计图

从图 3.4 可以看出,人教版、司南版对“科学与技术”、“科学与社会”这两个维度体现得较好,这与大陆教材融入了大量的科技应用、科学和社会发展的内容有关。此外,由于大陆课程标准一直强调实验在物理学习中的重要性,大陆两版教材也都对“实

证性”这一维度体现得较好。人教版体现较好的维度依次还有：“认识性”、“创造性”和“预见性”；司南版体现较好的维度还有：“积累性”、“相对性”“公开性”；翰林版对“累积性”、“科学与技术”、“公开性”和“局限性”体现得较好；龙腾版则对“实证性”、“科学家共同体”和“创造性”等体现得较好。总体而言，各版教材对各个维度的体现都不均衡，对“科学与道德”、“重复性”等维度体现的非常少，这不利于学生全面理解科学本质。

3.2.3.3 科学本质内容章节分布比较分析

对海峡两岸四版物理教材力学部分中各章节科学史内容对科学本质的体现总次进行统计，作出各章节体现科学本质的次数统计图，如下所示。

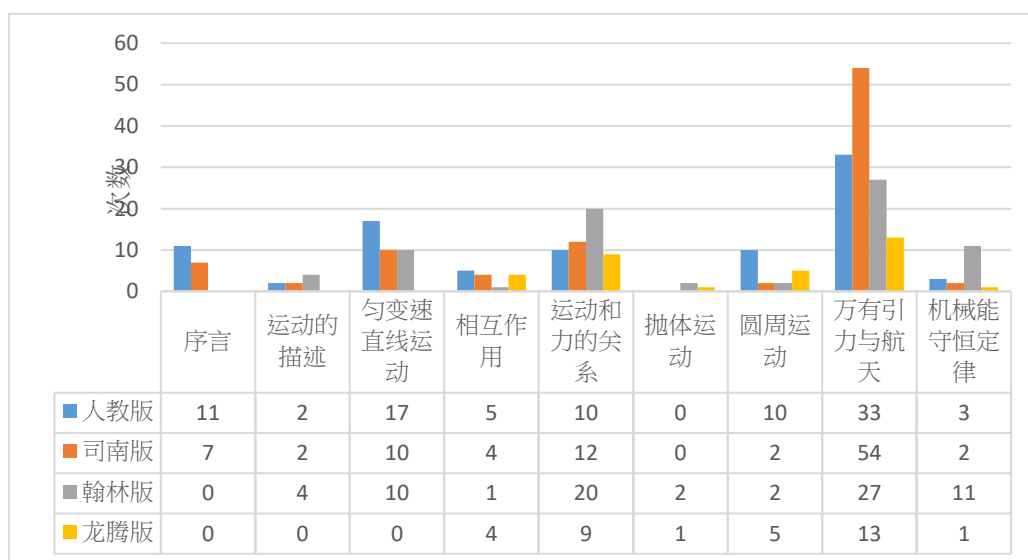


图 3.5 四版教材力学部分各章节科学史内容对科学本质的体现次数统计图

由图可知，从各章节来看，各版教材均为“万有引力与航天”、“运动和力的关系”这两章的科学史对科学本质的体现次数最多，“运动的描述”、“抛体运动”这两章的科学史对科学本质的体现次数最少，除龙腾版外的其他三版教材在“匀变速直线运动”这一章体现科学本质的次数也较多。出现这一情况的原因可能是各版教材在某些章节中编排的科学史内容较多，在某些章节中编排的科学史内容较少。此外，区分于其他教材，翰林版教材在“相互作用”这一章科学本质的体现次数明显较少，而在“机械能守恒定律”这一章中的科学本质体现次数明显高于其他版本教材。

3.3 小结

本章全面地对海峡两岸课程标准（纲要）、高中物理教科书力学部分的科学史及其体现的科学本质内容进行了量化统计与分析。

在课程标准方面，两套标准都对科学本质提出显性的要求，但是台湾课程纲要强调跨学科的整合，而大陆课程标准则实施分科，科学学科之间相互融合体现科学的整体性，有利于更好地培养学生的科学本质观。在实践指导层面上两套标准也各有优势和不足之处。大陆课程标准对不同教学模块下的具体课程内容进行科学本质要求的阐述，台湾课程纲要对学生在每一学习阶段中“认识科学本质”的学习表现都作了具体内容要求，且明确提出：‘可通过科学史教育这一途径，来实现培养学生科学本质观的教育目标’，而大陆课程标准对此表述得较为隐性；但是，海峡两岸的课程标准（纲要）都没有制定用于评价学生科学本质理解程度的标准，没有关于如何运用科学史料来组织科学本质教育的相关教学案例等。因此，我国高中物理课程标准在科学本质教学的实践指导层面上还可进一步完善，如提出科学本质教学实施建议，展示相关教学案例，提供相关的可以评价学生科学本质理解程度的建议等。

在教科书方面，人教版高中物理教科书力学部分的科学史数量最多，司南版次之，龙腾版最少，但从科学史体现的科学本质次数上来看，人教版和司南版的数量相当。此外，一方面由于科学史内容子类目和科学本质的维度较多，另一方面受教学内容和时间的限制，各版教材都出现了科学史内容及其体现的科学本质层面和维度分布不均的情况。这种不均衡，第一类是体现在不同章节科学史及其体现的科学本质的数量相差很大，譬如在“万有引力与航天”这一章科学史内容及其体现的科学本质维度非常丰富，而“抛体运动”这一章基本没有科学史及与科学本质有关的相关内容；第二类是体现在科学史各类目和科学本质各层面、各维度在数量上的比例失衡，个别要素没有体现等，譬如“科学与道德”在各版教材中几乎都没有体现。并且，很多科学史内容都以旁批、注释的形式出现，或者以简单的一句话呈现，这都不利于培养学生的科学本质观。

教材中科学史内容的数量、类目、分布、呈现方式等都会影响科学本质的体现，不仅要保证完整、详细的呈现，并且要兼顾好各个子类目及其分布规律，这样学生才能真正地全面理解科学本质。因此，教科书编写时应充分挖掘物理教材中每一模块知识对应

的科学史，适当均衡地融入，尽量做到各模块下的科学史及其体现科学本质维度要素的全面和均衡；教师在教学实践中也应认真研读课程标准与教科书中科学本质的相关内容和要求，善于搜集相关的科学史和科学本质教学资源，借鉴其它版本教科书的可取之处，不断地丰富教学素材，将培养学生的科学本质观落到实处。

第 4 章 科学本质视野下力学重要知识点比较分析

4.1 伽利略的自由落体运动

4.1.1 “自由落体运动” 科学史及其科学本质价值分析

4.1.1.1 科学史内容

1. 最初的含糊困惑

公元前 300 多年，古希腊哲学家亚里士多德（Aristotle，公元前 384 - 前 322）把物体位置的变化称为运动。他将运动分为两种，一种是朝向其目的的运动，如重物会往下掉，是要朝向其目的地，即世界之中心—地心，这种运动叫“自然运动”；而另一种运动就是与自然运动相反的运动，即“受迫运动”或“非自然运动”，例如要将重物往上抛，则必须借助向上的推力才能实现。在这一动力学观点的指导下，亚里士多德认为物体下落的速度取决于物重和介质密度。他提出：“重物比轻物落得快；介质密度越大，阻力越大、下落速度越慢”。这一观点在之后的两千多年都被奉为经典。

亚里士多德的动力学理论尽管很完善，但在后来的发展中也出现了一些与日常生活经验不符合的主张，而受到了质疑。十四世纪的布里丹（Jean Buridan，1295-1358）和奥雷姆（Oresme，1320-1382）又提出了冲力理论。冲力作用不再是一种接触力，而是一种形式力，类似于今日所说的动量。它颠覆了长久以来关于物体固有性质的作用观点，而将作用与冲力形式连接起来，不再将重心关注在物体性质上^[50]。

笛卡尔（Rene Descartes，1596-1650）继承了冲力理论，提出：“物体做自然运动，是来自物体内部的冲力，而非物体的性质与重量”。在这一理论的指导下，他提出对落体运动的观点：“下落的物体由于在空间中每处都受到冲力的作用，因此物体在空中停留的时间越多所积累的冲力也就越大”。笛卡尔认为在冲力的作用下物体的速度会越来越快，并尝试利用几何的方法解释落体运动，推导出花费 12 个时间单位通过的距离是花费 9 个时间单位通过的距离的 2 倍。这一结果已经很接近今天落体运动的距离与时间的平方成正比规律，但仍存在偏差^[51]。

伽利略（Galileo Galilei，1564—1642）早期也尝试用冲力来解释落体运动。他基本

接受亚里士多德的“重物比轻物下落得快”观点，并尝试结合冲力与阿基米德静力学理论，来提升亚里士多德动力学的研究过程，提出：“下落速度取决于物体与介质的密度差”。

伽利略认为地球表面的重物，都具有向下坠落的性质，称为重性或重力（Gravity，但非现在所说的重力）。特定的物体（密度）对应特定的重力与速度，即速度是恒定不变的。他提出，物体一开始由于受到手的支撑力或储存于内部的冲力，可以和重力（或重性）相抵消而静止在空中。当释放重物后，物体内部储存的冲力会逐渐耗散，那么重物就会从静止开始做加速运动。当释放的高度足够高，下落时间足够长，物体内部的冲力被耗尽，只受特定的重性作用，那么物体就会以对应的某一速度做匀速下落运动。也亦即，伽利略认为物体下落实质上是匀速运动，人们之所以看到下落的物体速度会越来越快，是因为下落的时间不够长，冲力还没有用完。当然，此种设想最终经证实是错误的。

可以看到，不论是笛卡尔还是伽利略，当他们试图以含糊的冲力概念来解释落体运动时，最终都会走向失败与困惑，而无法得到落体现象背后清晰的结构。

2. 清晰化过程

在借助“冲力”概念研究落体运动无法得到清晰的结果后，伽利略彻底改变了对运动的观念，不再追求运动是如何依靠作用发生，也不再追寻物体下落的原因。他放弃了形式的冲力概念，并提出地球上所有的空间都是简单的数学空间，而非不均匀的、不可清晰描述的物理空间。他坚信，大自然现象背后都有一个简单的数学结构，只要找到这个结构，就可以用它来描述复杂的运动。这是伽利略对落体运动研究的成功之处，也是他伟大的创见。

在这一坚定信仰的支撑下，伽利略在观察落体运动时，指出下落物体速度的增加以一种简单的方式发生。最简单的速度增加就是均匀加速，即在相等的时间间隔里速度的增量相同。那么，这种运动必然能满足一个最简单的数学关系。由此他提出了一个重要假设，即做自由落体运动的物体，下落的速度与其下落的时间成正比，即： $v \propto t$ ^[51]。

假设的正确与否需要借助实验来证实。但是，在当时并没有可以测量速度的工具或方法。于是，伽利略在 $v \propto t$ 的假设下，利用几何关系推导得到了位移与物体下落所用时

间的二次方成正比的结论，即 $S \propto t^2$ ，故可巧妙通过测量位移来检验。

在进行实验时，伽利略遇到的较大的问题是物体下落的速度过快，若用当时的仪器设备来进行检验难免会产生很大误差。于是乎，伽利略先让铜球沿阻力很小的斜面滚下的方法来测量。经过上百次的实验，最终证实了小球沿斜面滚下的运动的确是匀加速直线运动，从而验证了速度与时间成正比的猜想。在此基础上，伽利略将实验结果合理外推，提出当斜面倾角不断增大，直到其为 90° 时，物体的运动即为自由落体运动，此时仍会保持匀加速运动的性质，最终证实了它的数学设想，得出自由落体运动的规律。

4.1.1.2 科学史体现的科学本质内涵

伽利略对落体运动的探究史蕴含丰富的科学本质内涵，对科学思维和科学探究的培养具有重要价值。

1. 物理学的数学化之科学本质内涵

有些人认为加速度的概念是伽利略所提出来的，但事实并非完全如此。早于伽利略三百多年的1351年，英国物理学家奥里斯默就提出加速度的观念了，其几何图形说明如图4.1所示。

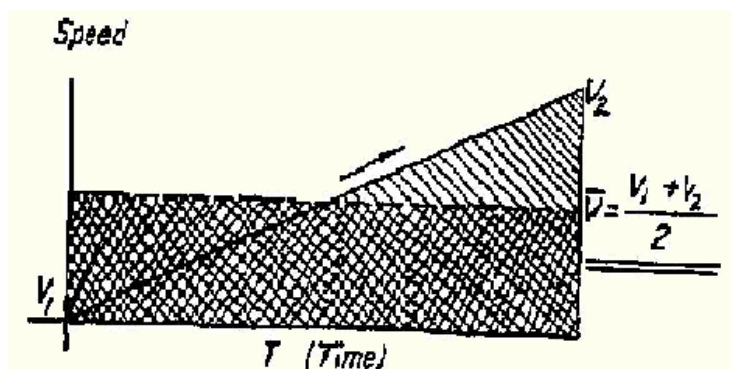


图 4.1 英国物理学家奥里斯默所作几何图形

只是，在当时没有人会想到用它来描述自然现象。在中世纪时期唯名论观点的影响下，人们普遍认为数学归数学、宗教归宗教、物理归物理，各个学派各不影响，百花齐放。那么，“自然科学是性质科学，要用性质去描述大自然”，亚里士多德的这个观点就一直流行了两千多年。故当时人们都认为数学是一个工具，数学逻辑的探讨永远不能触及到物理的真实，匀加速运动属于跟物理无关的数学问题，因此没有人用它来描述自由落体运动，描述自然现象。

哥白尼（Mikołaj Kopernik, 1473-1543）认为数学跟天文学、物理学有着密切的关

系，甚至认为数学是所有学科的基础，处于最高地位。伽利略是受哥白尼影响很深的科学家。在哥白尼思想的引领下，伽利略坚信所有的自然现象背后都有一个简单的数学结构，只要掌握住了这个简单的数学结构，也就把握住了问题的核心。于是，伽利略第一个把三百多年前就提出的匀加速概念用于描述落体现象上，经逻辑推导和实验证实得出了自由落体运动的规律。

自然写在宇宙这本大书上，这本书始终摊开给我们看，但若不先学会其中所使用的语言与字母，是读不懂这本书的，而这本书是用数学语言写成的^[52]。

哥白尼将数学带进天文学领域，而伽利略把数学关系用于描述地球表面物体的运动，实现了物理学的数学化，这种物理学家脑中自己的创见和转变，就是库恩所言的范式的转移。也正因此，爱因斯坦（Albert Einstein, 1879-1955）曾称伽利略为近代科学之父^[53]。

此处蕴含的科学本质内涵有：科学的创造性、预见性、认识性、相对性、累积性、非权威性以及科学与社会等。

2. 思想实验的魅力之科学本质内涵

伽利略开创了思想实验的先河，其中运用了大量归谬法等逻辑方法。比如，伽利略于1638年发表的《论两门新科学的对话》，就记载了他为反驳亚里士多德关于落体运动的“重物比轻物下落得快”的观点，所做的一个思想实验：

假设有一块大石头以8单位的速率运动，而另一块较小的石头以4单位的速率运动，当它们被连结在一起时，整个系统就将以一个小于8的速率运动；但两块石头被绑在一起后，将比原先的大石头更大，而这更重的物体是以比较轻的物体速率更小的速率运动的，这样子的情况是与您的假设相反的。因此你看，从你那“重物比轻物运动得较快”的假设下，我这样就推论出“重物是运动得较慢”的矛盾^[54]。

在定义匀加速运动时，起初他假设自由下落过程中物体的速度与下落距离成正比。后来，伽利略通过严谨的逻辑推理，做出一个思想实验（见图4.2），而明白他采用了错误的原理：

假设物体从a点静止下落至b点，距离为 l ，在b处速度为 v ，若它再下落 l 长度至

c 处,则速度应当为 $2v$ 。由于假设物体速度均匀增加,所以 a 到 b 处的平均速度为 $\frac{1}{2}(0+v) = \frac{v}{2}$, a 到 b 处的平均速度为 $\frac{1}{2}(0+2v) = v$, 所以 $t_{ab} = \frac{l}{(v/2)} = \frac{2l}{v}$, $t_{ac} = \frac{2l}{v}$, 两个值刚好相等, 这代表 $t_{bc}=0$, 即物体从 b 点到 c 点, 不需要花费任何时间, 这显然是荒谬的。所以, 物体下落的速度与距离成正比 $v \propto s$ 的假设无法成立^[55]。

思想实验以其科学思维的严密性、精确性补充了真实实验的不足, 在物理学研究中成了一种重要的科研、教学手段。

此处蕴含的科学本质内涵有: 科学研究方法的多样性、科学探究的创造性。

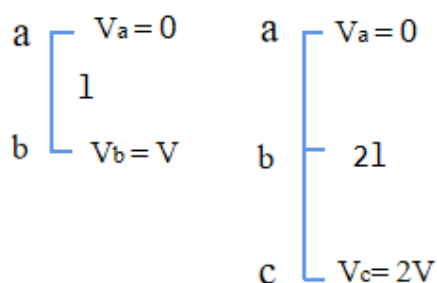


图 4.2 推翻 $v \propto s$ 的数学模型

3. 数学与实验的结合之科学本质内涵

以前人们总以为伽利略是通过斜面实验发现了定律, 其方法是实验方法。事实上, 伽利略本人并没有强调实验。对于他来说, 实验只是一个工具, 用来验证, 而不是发现。

借着发现某一事实的原因, 来获得其知识, 提供了去理解和确定其他现象的心灵思维, 而勿需诉诸于实验^[55]。

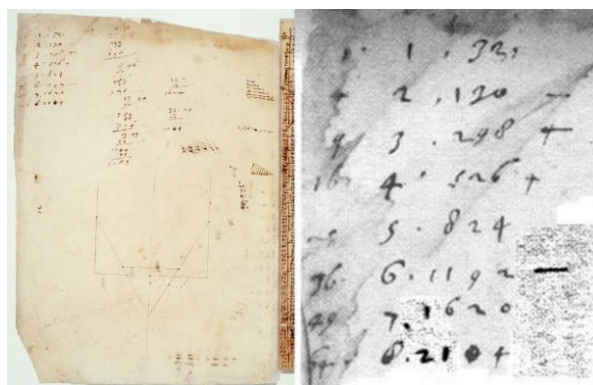


图 4.3 伽利略斜面实验的手稿

从伽利略进行斜面实验的手稿可以看到,里面的数据被多次进行修改,目的是使其结果尽可能接近 $s \propto t^2$ 。可见,他进行的实验不可能得到落体运动的规律,而是为了尽可能利用实验来验证 $v \propto t$ 是不是一个好的假设。所以我们有理由相信伽利略的落体定律是从严密的数学推导先开始的。

那么,伽利略又为何被称为“物理实验之父”?他对于实验的贡献又主要在什么地方呢?实际上,在伽利略之前实验方法在研究中就已扮演重要角色,最早是由亚里士多德开始的。亚里士多德是生物学家,他强调解剖实验和分类实验的重要性。但是,在伽利略之前,所有的实验包括物理实验都是定性实验,其结果并不精确。直到伽利略在做斜面实验时,运用滴水计时的方法,一点点地记录下小球运动到某一位置的时间,从而验证 $s \propto t^2$ 这一数学关系^[5]。伽利略是第一个用数据把实验结果记载下来,将实验测量的精确值和数学运算方法相结合,这是他对实验的突出贡献之处。从这一点上讲,伽利略是近代物理实验的奠基者。

在物理学中,严密的数学推导与精确的实验验证相结合,能够确定科学研究的精确性,数学已成为物理研究中不可或缺的部分。

此处蕴含的科学本质内涵有:科学研究方法的多样性、科学探究的实证性、预见性与创造性等。

4.1.2 两岸四版教材内容编写特点比较分析

4.1.2.1 章节编排结构分析

首先从教材的整体章节编排入手,以便从整体上把握不同教材的编写思路和意图。

表 4.1 四版教材“自由落体运动”的章节编排结构

人教版(第二章 匀变速直线运动的研究)	司南版(第二章 匀变速直线运动)	翰林版(第二章 运动学 --直线运动)	龙腾版(第一章 直线运动)
1.实验:探究小车速 度随时间变化的规律	导入:探究运动规律	1.位置、路径长与位移	1.位置与路径长
2.匀变速直线运动速 度与时间的关系	1. 速度变化规律 2. 位移变化规律 3. 实验中的误差和	2.速度与速率 3.加速度 4.等加速运动	2.速度与速率 3.加速度 4.相对运动

3.匀变速直线运动位移与时间的关系	有效数字	5.自由落体运动
4.自由落体运动	4. 科学测量：直线运动物体瞬时速度	6.相对运动
	5.自由落体运动	实验 1（A）物体在斜面上运动
		实验 1（B）自由落体

如表 4.1，人教版和司南版教材将本节课设置在必修一第二章“匀变速直线运动”。学生在掌握了“位移”、“速度”、“加速度”等概念和“匀变速直线运动”的相关规律后，再来学习“匀变速直线运动”典型特例--“自由落体运动”，符合认知特点，有利于在原有知识的基础上建构新知识。

台湾教材则不仅研究一维直线上的运动，还研究平面运动。翰林版和龙腾版教材都把本节课安排在“直线运动”相关章节。其中，龙腾版则将其设置为第一章第三节“加速度”的一小节。

综上，各版教材均把“自由落体运动”设置在相关的运动学概念和匀变速直线运动规律之后，将其作为匀变速直线运动的特例加以延伸和拓展。

4.1.2.2 知识建立过程分析

本节课所涉及到的重要的物理概念有“自由落体运动”、“自由落体加速度”。经过收集、整理、分析，汇总四个版本教材中知识的建立过程如表 4.2 所示。

表 4.2 四版教材“自由落体运动”的知识建立过程

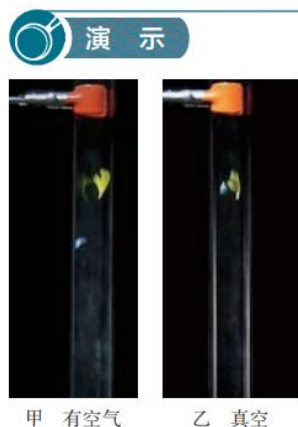
人教版	司南版	翰林版	龙腾版
从亚里士多德观点到过伽利略的思想实验，再由牛顿管演示实验，引入“自由落体运动”概念	从生活实际提炼问题，利用牛顿管探究物体下落快慢规律，引入“自由落体运动”概念	展示苹果和羽毛在真空中下落情形，给出“自由落体运动”概念，并根据初速度不同将其分类	展示棒球和羽毛在真空中下落情形，给出“自由落体运动”概念，并讨论其分类
利用打点计时器进行实验探究，测量重物下落加速度，引入“自由落体加速度”概念	利用频闪照相明确自由落体是匀加速直线运动，建立“自由落体加速度”概念	从伽利略对落体运动 $v \propto t$ 的数学假设出发，引入“重力加速度”概念	直接给出“重力加速度”概念
利用匀变速直线运动公式推导得出自由落体公式	利用匀变速直线运动公式推导得出自由落体公式	推导自由落体运动的公式，并说明静止释放	推导静止下落运动的公式，下落时间 T 与速度 v；

程	体运动的规律公式。	由落体运动的规律	放的自由落体运动满	铅直上抛运动的上升
3		公式	是 $v \propto t$ 以及 $S \propto t^2$	时间 T 和最大高度 h

由表 4.1 可知，在知识的建立上，大陆和台湾四版教材的处理都存在着些许差异，特别是大陆两版和台湾两版教材的差异更大。

（1）自由落体运动的建立过程

人教版从生活实际出发，引出符合人们常识的落体运动观点，唤起学生的错误前概念；再介绍伽利略的思想实验，让学生初次体验归谬法的魅力，也开始对“重物比轻物下落得快的观点”产生了质疑；经牛顿管的演示实验（如图 4.4），明确：“物体下落快慢仅与其所受阻力有关”；最后建立概念。这一部分建立过程结合物理学史与实验探究，既注重了科学思维的培养，又体现了科学探究的精神。



轻重不同的物体下落快慢的研究

如图 2.4-1 甲，一个两端封闭的玻璃管（也称牛顿管），其中一端有一个开关，玻璃管可以与外界相通。把质量不相同的铁片和羽毛放到玻璃管中，玻璃管竖直放置，让铁片和羽毛从玻璃管上方同时开始下落，观察物体下落的情况。

如图 2.4-1 乙，把玻璃管里的空气抽出去，再次观察物体下落的情况。

图 4.4 人教版教材“牛顿管”演示实验说明

司南版直接从生活现象的观察中提炼出科学问题--“不同物体的下落快慢与什么因素有关”，再借助牛顿管（如图 4.5）进行实验探究，最后建立概念。整个过程更加侧重实验探究，培养学生基于证据得出结论并作出解释的能力。



羽毛和硬币下落得一样快吗

如图 2-24 所示，将羽毛与硬币放入有空气的玻璃管，将玻璃管倒立过来，观察羽毛和硬币下落的快慢。观察结果是_____。

抽去玻璃管内的部分空气，再将玻璃管倒立过来，观察羽毛和硬币下落的快慢。观察结果是_____。

继续抽去玻璃管内的空气，使其逐渐接近真空，再观察羽毛和硬币下落的快慢。观察结果是_____。

根据这个实验，你得到的结论是_____。



图 2-24 观察羽毛和硬币下落的快慢

图 4.5 人教版教材“牛顿管”演示实验说明

翰林版和龙腾版的处理很相似。两版教材都是通过展示轻重不同的物体在真空中做自由落体运动的图片（如图 4.6、图 4.7），然后直接给出自由落体运动的概念，再对其进行分类讨论。这样处理能体现知识逻辑性，但对学生的认知要求较高。



▲ 图 2-18 重量不同的两物体（苹果与羽毛），在真空中的落下情形。

图 4.6 翰林版教材插图



图 4.7 龙腾版教材插图

值得一提的是，大陆教科书对自由落体运动（freely falling body motion）的概念定义为“物体只在重力作用下从静止开始下落的运动”，而台湾教科书的定义则是“物体在地球表面不考虑空气的阻力与浮力影响的运动”，再根据初速度的不同分为静止释放、垂直上抛和垂直下抛的自由落体运动。可见，大陆教材所言的“自由落体运动”对应的是台湾物理教材的“静止释放的自由落体运动”。

（2）自由落体加速度的建立过程

人教版借助打点计时器进行探究实验（如图 4.8）来建立重力加速度的概念。司南版则是在通过频闪照相（如图 4.9）拍下重物自由下落的照片，来建立概念。翰林版则结合物理学史，简单介绍了伽利略对自由落体运动性质的数学假设及推导，然后给出概念。学生能跟着伽利略的想法，利用数学推理及实验验证获得知识，有效促进科学推理与论证思维的发展。龙腾版教材直接给出概念，再详细讨论了两种运动。

总的来说，四版教材各有优势，培养的侧重点也略有不同。人教版在知识建立过程中结合学史和实验，既注重逻辑推理和分析论证思维的培养，也体现科学探究；司南版注重实验探究能力和证据意识的培养；翰林版注重渗透史实来培养科学思维；龙腾版则更注重知识体系的建立。

值得一提的是，台湾课程纲要规定，高中二、三年级共五册教科书须完成十五个指定实验，并且它们都设置在章节结束后的实验栏目，以培养学生的科学探究能力。因此，在本节的章末，翰林版和龙腾版教材都有测量自由落体运动的速度和加速度实验内容。



图 4.8 人教版“自由落体实验”装置

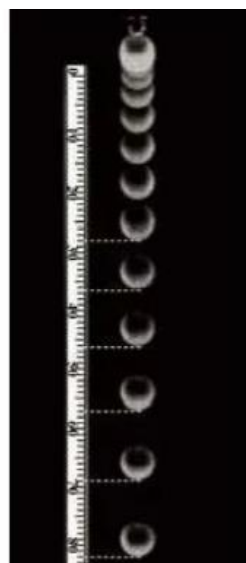


图 4.9 司南版“频闪照相”装置

4.1.2.3 教材科学史及科学本质内容分析

1. 科学史呈现及内容对比分析

表 4.3 四版教材科学史内容呈现情况

教材	人教版	司南版	翰林版	龙腾版
正文部分	亚里士多德关于落体运动的观点	自由落体运动规律的探索回眸	1.伽利略关于落体运动的数学假设： $v \propto t$	无
	伽利略的理想实验		2.比萨斜塔实验	
			3.斜面实验	
			4.伽利略的科学方法	
特色栏目部分	“科学漫步”栏目：伽利略对自由落体运动的研究	无	“物理花絮”：伽利略的创见-物理学的数学化	无
	“STSE” 栏目：从伽利略的一生看科学与社会			

如表 4.3 所示，人教版把亚里士多德对落体运动的观点以及伽利略的理想实验融入知识建构过程之中；在“科学漫步”栏目详细介绍了伽利略对落体运动的研究，包括用数学推导得出匀变速直线运动 $S \propto t^2$ 和斜面实验验证其假设；在“STSE”栏目，介绍了伽利略的科学生涯及从中所映射的科学与其所处社会背景的交互关系。

司南版在知识建构过程中没有涉及科学史，而是在正文第三部分“自由落体运动的探索回眸”，以一页的篇幅介绍了伽利略对落体运动的研究史，深入探讨了伽利略科学方法的伟大之处。

翰林版将科学史融入知识的建立过程中。从伽利略关于落体运动的数学假设 $v \propto t$ 出发，极致地渗透了伽利略的研究思想。正文最后还对两个著名的实验进行说明（如图 4.10 所示），以纠正人们长期以来的错误认识：第一，伽利略未曾做过比萨斜塔实验，第二，伽利略虽然做过斜面实验，但是他并不是想通过该实验得出规律，而是为了验证所有的落体现象可由简单的 $v \propto t$ 来描述。在特色栏目部分，还在“物理花絮”栏目以两页的篇幅介绍了伽利略的创见---物理学的数学化。

龙腾版教材则没有关于科学史内容。

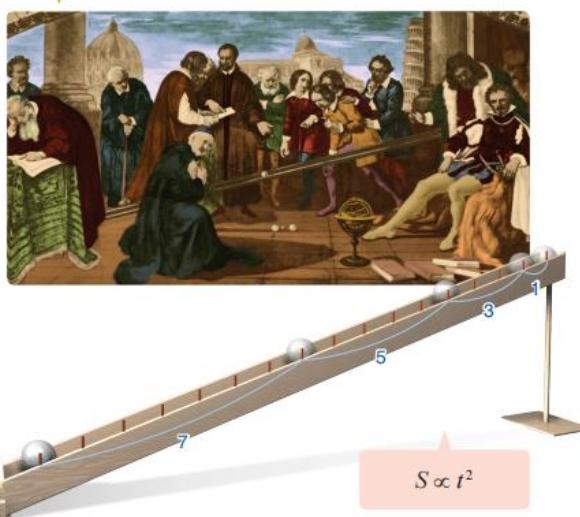
比薩斜塔

目前還沒有證據可證實伽利略做過比薩斜塔（圖 2-21）實驗，那只是一種傳說。



斜面實驗

伽利略曾仔細地做過斜面實驗（圖 2-22），他並不是要從此實驗歸納出公式來，而是要證實所有的落體現象可由簡單的 $v \propto t$ 來描述。



「實驗結果和我們所證實的性質互相符合，我們應該以最平常、最簡單及最容易的方法，來詮釋自然界中的許多運動過程。」——伽利略

▲ 圖 2-22 斜面實驗

图 4.10 翰林版教材对两个著名实验的说明

从内容上来说，人教版教材科学史内容最多，涉及的方面也最广；翰版中科学史内容次之，其内容以阐述伽利略方法为主，而对其所做的工作交代得较少；司南版科学史内容仅有伽利略的研究历程。

从呈现上来说，大陆和台湾教材对科学史和科学知识的处理表现为融合和剥离两种不同的方式。人教版把伽利略的研究置于“科学漫步”栏目作为课后补充内容，司南版也将整个历史发展作为完整一节，在知识建立后呈现出来。翰林版则是以科学发展的过程为线索展开知识教学，使得知识建立过程与历史科学发展脉络相符，同时也传递了科学家的思维方法和科学研究方法。采用剥离的方式能够使得知识点的传授更加精准，但是这种处理是否会导致科学史在实际教学中没能充分发挥它的教育价值，这点也值得商榷。而采用融合的方式对科学的发展，特别是科学知识的发展比文字的诉说更有信念感，更会产生更为有效的传达。

2. 科学本质层面分析

表 4.4 教材“自由落体运动”一节体现的科学本质内涵

科学本质内涵	对应教材及内容说明
科学知识的相对性	亚里士多德的运动观点是建立在其动力学理论基础，又与生活经验相符，所以两千多年都被奉为真理。直到伽利略对该观点进行质疑，经长期研究得出与先前完全不同的落体运动观点。人教版和司南版都对这一内容有所体现
科学方法的多样性和创造性	人教版中设置的伽利略的关于“重物轻物同时下落”的理想实验，以及伽利略对斜面实验结果的合理外推，都蕴含着浓厚的逻辑推理色彩，对培养学生的科学推理和抽象思维能力有着潜移默化的作用
科学研究方法的多样性	“伽利略对运动的研究.....方法的核心是把实验和逻辑推理（包括数学演算）和谐地结合起来，从而发展了人类的科学思维方式和科学研究方法。” 这是人教版教材对伽利略贡献的评价。这种实验与数学相结合的科学研究方法，体现了科学发现的实证性和数学工具性
累积性、相对性、科学与社会、科学与道德、科学家身份	人教版在“STSE”栏目，对伽利略的科学生涯进行了介绍。伽利略的科学生涯并不是一帆风顺的。任何一个重大的具有革命性的发现，需要受到某一时代及其特定社会因素的限制。这展示了科学发展过程中的艰辛性与曲折性。
科学发现的预见性与创造性	伽利略受哥白尼影响，深信所有的落体现象都会遵循最简单的数学规律。于是，他提出“物体落下的速度仅与所花的时间成正比”。 这是翰林版在建立重力加速度概念时所提及的伽利略的科学假说
科学的累积性、创造性与非权威性	翰林版在正文部分多次强调了数学对伽利略研究的重要性。此外，翰林版在物理花絮栏目，也专门介绍了伽利略在“物理学数学化”上的创见。这一创见取代了两千多年来，西方以性质描述自然的思考方式，从而开启了近代科学的大门。科学知识的发展离不开科学家的创见以及大胆质疑和敢于创新的勇气

4.1.3 基于培养学生科学本质观的教学建议

在物理教学中，帮助学生掌握概念或公式自然很重要，但更重要的是让学生了解知

识是如何发生的，其背后经历了什么样的发展过程，蕴含着何种科学思维及精神。只有这样，才能让学生真正地理解科学的本质，提升物理素养。如何更好的进行基于科学本质的教育，在本节课教材分析的基础上，有以下几点建议可供采纳。

4.1.3.1 整合各版本教材资源，充分挖掘科学本质层面内涵

纵观各版教材对于物理学史内容的选取及呈现方式，侧重点各不相同，且对科学本质的表述都比较隐晦。教师在进行备课时，应能打破原有教材编排的限制，合理选取内容，并敏锐地提取其中所蕴含的科学本质思想。通过科学史的介绍，引导学生从科学本质层面思考科学的发展过程。

如人教版开篇提到了亚里士多德的观点，但却仅以一句话带过。这种处理易让学生对亚里士多德的形象产生片面认识，认为其观点都是在建立在经验之上的错误观点。诚然，在如今来看，“重物比轻物下落得快”是错误的。但是这个与我们生活经验一致的观点，在亚里士多德的时代却被奉为真理并流传数千年。可以看到，科学的发展是有相对性的，以前为真的可能会被证伪，当下为真的也未必永远为真。这是教师在教学中要向学生渗透的哲学观点，以培养学生的质疑精神。

人教版中伽利略的思想实验，教师在课堂教学中也可以带学生共同体验，感受其中“归谬法”强烈的、神奇的逻辑力量。这对于帮助学生理解物理规律，培养他们的逻辑推理能力，可以起到事半功倍的效果。

翰林版教材的提及的比萨斜塔及斜面实验，对于纠正学生的错误认识都具有重要意义。对于实际在历史上发生过的事件，应当让学生适当了解，对于未曾证实发生过的事件，也应当澄清。

人教版和司南版中关于伽利略对落体运动的研究过程的内容，也有助于学生认识科学推理和实验在物理学研究中的作用。

4.1.3.2 适当扩展科学史，体现核心思想

教材由于有篇幅和页数的限制，在兼顾知识传授与学史渗透上必须有所取舍，这就导致了不同教材学史内容的分量不相同，也不能把真实的历史一五一十全部阐述。从这点上讲，这就要求教师站在更高的高度，在对整个学史内容有清晰了解的基础上，在教

学中适当扩展科学史内容，以充分发挥其教育价值，促进学生对科学本质的理解。

如伽利略的贡献实际上是实现了物理学的数学化，这是其最为核心的内容。人教版和司南版没有过多强调这部分内容。因此，教师在教学中可从当时的科学研究背景出发，引导学生了解伽利略在数学思想指导下如何一步步得出落体运动规律，其中实验又扮演着什么角色，最后再对伽利略的贡献和创见——物理学的数学化，进行高度总结和强调。

4.2 牛顿第二运动定律

4.2.1 “牛顿第二运动定律”科学史及其科学本质价值分析

4.2.1.1 科学史内容

1. 提出背景

牛顿之所以提出第二运动定律，是为了要解决当时重大的物理问题：

- (1) 为何重物轻物都会以相同的加速度下落？
- (2) 月亮的向心运动和苹果的落体运动是否来自于相同的原因？
- (3) 行星运动的轨道为什么是椭圆？

2. 出现及发展

牛顿第二定律的提出，离不开两个非常关键的概念——外力和速度变化。外力这一概念与以往的力概念含义不同，它是为了描述自然界的运动现象而引入的过渡概念，并不是推或拉等感官经验的模拟。笔者在下文将会详细陈述外力概念的发展历程。

平面运动的速度变化观念的提出也非常难能可贵。在牛顿(Isaac Newton, 1643-1727)以前，没有人明白平面运动的加速度为何意，更不知道曲线运动中的速度变化如何表示。如图 4.11，惠更斯(Christiaan Huygens, 1629-1695)以 DB 表示离心力。牛顿受胡克启示，提出应该用 BD 表示向心力，也就是物体所受到的外力。如图所示，物体从 A 点运动到 D 点，在 A 点的速度为 AB，如果经历的时间很短，在 D 点的速度可以用 AD 表示，那么速度变化就可以用 BD 表示。这样，牛顿运用几何作图法，推导得出图 4.11 中 BD 既可以表示速度变化，又可以表示向心力（外力），就将速度变化与外力联系了起来，提出“速度的变化与外力成正比，且速度的变化是沿着外力的直线方向上”。

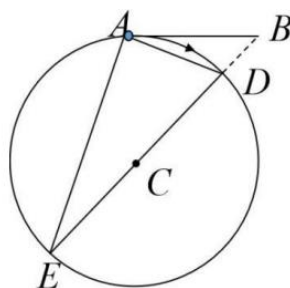


图 4.11 BD 表示从 A 点运动到 D 点的速度变化

再以外力和加速度的比值 F/a 来表示物体的某种特性，比值越大，物体越不容易改变其运动状态，于是将这一比值称为“不活动性”或“惰性质”，引入惯性质量，就形成了著名的牛顿第二运动定律，并首次在《自然哲学的数学原理》（以下简称《原理》）中写下：

定律 2 公理 2

运动量的变化与外力成正比，且运动量的变化是沿着外力的直线方向上^[57]。

其中，牛顿将“运动量”定义为“质量与速度的乘积”，也就是我们今天所说的动量。在牛顿第二运动定律中，出现了两个前所未有的概念——动量变化和外力，这是牛顿之前所有物理学家未曾想过或使用过的方法。

牛顿在 1689 年向哲学家洛克时描绘了一张图，说明了牛顿第二定律的内涵。如图 4.12，物体做曲线运动，从 A 运动到 b，则运动量的变化为 ab，其大小与作用在原来 A 处的外力成正比，且方向相同。此时，牛顿认为物体由 A 到 a 是初动量，而不是说受到惯性力的作用。也就是说，他已倾向于由动量变化，去寻找外力的形式。

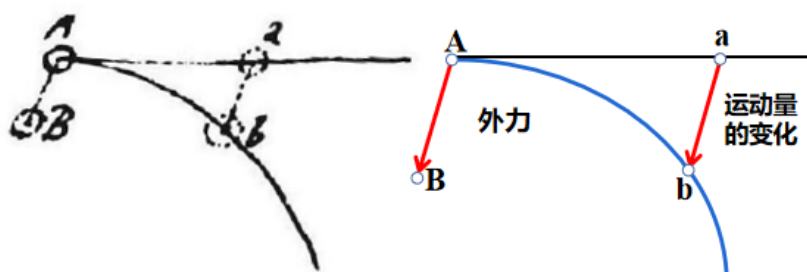


图 4.12 牛顿回答洛克时所描绘的原图与示意图

事实上，牛顿对第二运动定律进行了文字表述，并没有将其写成数学表达式。运动

量的变化实际上指的是运动量的变化率，如果要将其写成数学表达式，则较为接近的应

该是 $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ 。今天教科书所用的表达式 $\vec{F} = m\vec{a}$ 是瑞士数学家伯努利于牛顿第二运动定律问世 50 年后的 1735 年才正式提出来的^[58]。

3. 应用及贡献

第二运动定律的最大特色是在处理非直线的平面运动，如圆、抛物线或椭圆。因为在牛顿之前，没有人知道物体在做曲线运动时，所对应的速度变化或者动量是什么，更不知道要如何表示。牛顿用初速度的端点指向末速度的端点来表示平面运动的加速度，这是其心智上的创见，也是非常关键与困难的一步。

就贡献上说，牛顿借着第二运动定律，解释了许多自然现象，结合惠更斯的离心力公式得出向心力公式，并运用开普勒第三定律，推导出了万有引力定律。至此，成功的解释了前述的 3 个重大的物理问题，使其成就达到了前所未有的水平。

值得一提的是，对于牛顿来说，他完全不知道第二运动定律等号左边的力的形式，如重力 $G=mg$ 或万有引力 $F = \frac{GMm}{r^2}$ ，这些力的形式正是牛顿通过第二运动定律去挖掘出来的，这也是牛顿第二定律的可贵之处。

4.2.1.2 科学史体现的科学本质内涵

1. 力概念的发展之科学本质内涵

牛顿第二运动定律的提出，离不开一个十分重要的物理概念--“力”。力概念是物理学中最为基础的概念，我们对其存在习以为常，但若追问究竟力是怎样一种存在？我们难免陷入深思。历史上诸多科学家对力概念的探索也经历了一个非常漫长的过程。

在古希腊时期，力是一个哲学观念，但当时并不叫“力”，而叫“作用”。亚里士多德提出，“物体会做受迫运动，需要推动者给予力（vis），且推力越大，其位置变化越快，若撤去力，运动就会停止。”此即最早出现的力概念，但与我们今天所说的“力”意义并不同。

十四世纪的布里丹认为，物体能维持运动下去的动力是从推动者那里获取的，这种动力称为“冲力”或“原动力（impetus）”，且这种动力不会自动消失，运动物体速度之所以会减慢，是因为受到介质阻力的作用。至此，历史上有了第二个关于力的概念--冲力。

到了十七世纪初，笛卡尔以“运动物体的力”或“运动量”的说法来代表布里丹的冲力的观点（牛顿后来也将其称为惯性力），提出：

“每一物体，受其自身的力，将一直维持于相同的状态；一旦它运动后，将继续运功下去。^[59]”

笛卡尔认为惯性运动是直线的，做圆周运动的物体由于受直线运动趋势的影响，总要不断地脱离运动中心，并把这种物体逃离圆心的性质称为“离心趋势”或者“离心倾向”^[60]。

惠更斯受笛卡尔的影响，于1659年首次把物体做圆周运动时所具备的，脱离圆弧而沿着径向回到原来直线上的趋势，称为“离心力”（centrifugal force），还以此来解释地球上的物体为什么会下落。在《论离心力》一书中，惠更斯更是以精确的数学方法表示了离心力的大小。这是首次出现的力概念的数学表述，它对牛顿以及后来的物理学的发展影响很大。惠更斯还利用离心力的量化结果，给出了物体下落的距离与时间平方成正比的原因，验证了伽利略的自由落体定律，这在当时使得很多科学家都诚服于离心力的观点^[61]。

胡克（Robert Hooke, 1635—1703）则认为物体做圆周运动，是来自于中心物体的一种吸引属性，而非受到远离圆心的离心力作用。这是物理史上首次提出“吸引”的观点，这对牛顿来说是一个很大的启示。

牛顿前期在研究圆周运动时都是用惠更斯的离心力观点。直到与胡克通信后，牛顿受到启示，开始潜心研究向心力。在《论运动》一书中，牛顿首次给出向心力的定义^{[50]5}：

定义 1

一物体被推动或吸引，朝向中心点的力，称为向心力（centripetal）。

这对他研究圆周运动意义重大，使其成果几乎超越了前面所有的物理学家。

直到1687年，牛顿首次对力或外力有了直接的描述和定义：

定义 4

外力是施加在物体上，用来改变其处于静止或匀速直线运动状态的作用^{[57]46}。

“外力”这一定义，不同于以往关于力的描述，它给予力一种全新的意义。在牛顿心中，力不是对物体的推或拉，它是一种造成物体运动有所变化的效果、影响、强度或作用，是为了要探讨自然界而引入的动力学的创新概念。

至此，力概念也日益清晰的建立起来，其漫长的发展历程经整理后如图 4.13 所示。可以看到，科学知识是长时间演变和积累的结果。在这个过程中，旧的观点会被修正，也需要一些心智上的创见。在当时所有人都诚服于惠更斯离心力的观点时，胡克反其道而行，提出物体会做圆周运动是受到吸引而不是具有离心的趋势。须知在当时几乎所有科学家都坚信离心力观点时，能提出“吸引”这一观点有多么不易。而最后牛顿提出的外力概念，也不是被突然间无理由的定义下来，而是他总结了前面所有物理学家长期的研究成果，又融入了个人的创见的结果。

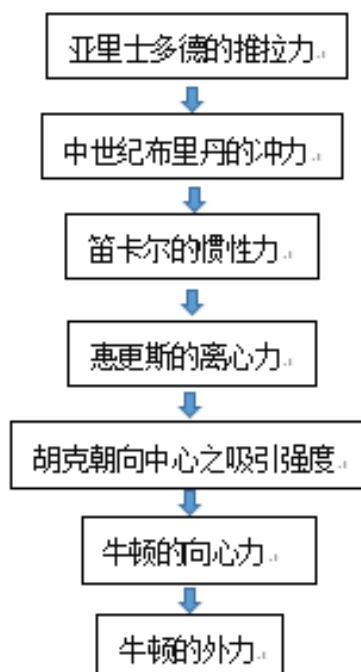


图 4.13 力概念的发展

此处蕴含的科学本质内涵包括：科学的认识性、相对性、累积性、重复性、公开性和局限性；科学探究的非权威性、创造性、非绝对客观性和预见性；科学家共同体等。

2. 速度变化概念的提出之科学本质内涵

牛顿第二运动定律的诞生，还离不开另一个重要的概念--速度变化。在牛顿之前，

几乎所有物理学家都用位置的变化来描述物体的运动，牛顿却认为分析物体运动关键在于分析其速度的变化。他提出，只有用速度变化（加速度）才可以真正表述物体的运动轨迹，并预测物体的运动情形。我们不难从现在的运动学方程式基本内涵中看到，物体运动的加速度确实才是探讨运动的重大关键，但在当时能提出这一观点却很不容易。

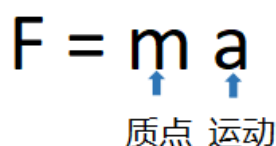
由于牛顿第二定律是为解决行星运动轨道等问题而出现，那么也就只有研究曲线上或平面上的速度变化才有意义。需知道，这是非常难的一步。对直线运动的速度变化或加速度一般人不难理解，因为加速度与速度及位移都在同一直线上，但平面运动的加速度的描述却不容易。牛顿在 39 周岁之前，仍使用惠更斯的主张，认为从末速度指向初速度可表示速度变化。后来，使用矢量减法法则，才开始用初速度的端点指向末速度的端点来表示曲线运动速度的变化。平面运动中速度变化或者说加速度的寻找是相当关键的思维转化，这是牛顿心智上的创见。假若没有这一步，便不会有日后的牛顿第二定律及万有引力。

此处蕴含的科学本质内涵包括：科学的认识性、相对性、累积性、局限性、创造性、非绝对客观性和预见性等。

3. 古典物理学的特征—机械论之科学本质内涵

笛卡尔与伽利略皆认为：一切自然现象要从不可怀疑的基础出发，而最不可怀疑的事物就是占有空间、具有外形的物体，或是非常小物体的质点；另一个不可怀疑的便是物体均有位置的变化—即运动（包括静止）。这种以质点和运动为基础来探讨自然现象的方法，称为机械论（mechanism）。

$$F = m a$$



 质点 运动

图 4.14 牛顿第二运动定律隐含的机械论观点

如图 4.14，牛顿第二运动定律 $F=ma$ ，等式右边之 m 为质点的质量， a 为运动中的加速度，就代表了机械论的两个主要观点。在物质和运动的基础上，通过一个力概念，牛顿使数学力学与机械论哲学彼此协调。牛顿第二运动定律也就是以此概念为基础，更使得机械论成为古典物理学中最重要的论证方法。

此处蕴含的科学本质内涵包括：科学的创造性、科学家共同体等。

4.2.2 两岸四版教材内容编写特点比较分析

4.2.2.1 章节编排结构分析

表 4.5 四版教材“牛顿第二运动定律”的章节编排结构

人教版（第四章 运动和力的关系）	司南版（第五章 牛顿运动定律）	翰林版（第四章 牛顿运动定律）	龙腾版（第四章 牛顿运动定律）
1. 牛顿第一定律	导入：跨越时空的对话	1. 力的向量性质	1. 牛顿第一运动定律
2. 实验探究：加速度与力、质量的关系	1. 牛顿第一运动定律 2. 科学探究：加速度与力、质量的关系	2. 牛顿第一运动定律 3. 牛顿第二运动定律	2. 牛顿第一运动定律 3. 牛顿第一运动定律
3. 牛顿第二定律	3. 牛顿第一运动定律	4. 牛顿第三运动定律	4. 摩擦力
4. 力学单位制	4. 牛顿第一运动定律	5. 等速圆周运动与向心力	
5. 牛顿运动定律的应用	5. 超重和失重	6. 简谐运动	
6. 超重和失重		实验 2 牛顿第二运动定律	

在章节编排上，人教版与司南版的结构较为相似，都将牛顿第二定律的内容安排成两节课，其中一节是实验探究课。在本节所在章节的前几章都安排了运动学知识和以受力分析为核心的基本力学知识。牛顿第二运动定律作为动力学内容的核心，被安排在运动学和力学内容后，起到了桥梁作用。

翰林版在选修物理 I 中，将本节内容编排于直线运动和平面运动的运动学知识之后。该版教材的呈现与大陆教材有着明显的两点不同：

第一，翰林版的力学知识是编排在牛顿第二定律的这一节内容中。学生在掌握了第二定律后，再从其表达式出发，寻找各种形式的力，如推力、拉力、重力和正向力等。

第二，翰林版把牛顿第二定律的实验作为必做实验，安排在牛顿运动定律的章节结束后，而在正文并没有实验内容。也就是说，翰林版不是通过实验探究来得出规律的。

龙腾版选修物理 I 对力学知识的编排也与其他几版教材略有不同。其中，重力被编排到第三章静力学部分，摩擦力内容则被编排在第四章“牛顿运动定律”的最后一节。

4.2.2.2 知识建立过程分析

表 4.6 四版教材“牛顿第二运动定律”的知识建立过程

人教版	司南版	翰林版	龙腾版
-----	-----	-----	-----

过程 1	实验探究加速度 与力、质量的关 系	实验探究加速度 与力、质量的关 系	沿物理学史发展， 明确 $\vec{a} \propto \vec{F}$ ，引入惯 性 m ，得出 $\vec{F} = m\vec{a}$	由实验得出 $\vec{a} = k \frac{\vec{F}}{m}$ ， 再定义力的单位， 得出 $\vec{F} = m\vec{a}$
过程 2	实验结果推广， 得出牛顿第二定 律，即 $F = kma$	实验结果推广， 得出牛顿第二定 律，即 $F = kma$	通过明确质量单位 定义力的单位，定 义重量概念及单位	给出重量的定义及 单位，明确质量是 物体本性
过程 3	定义力的单位， 得出 $F = ma$	定义力的单位， 得出 $F = ma$ ，讨论 力与加速度关系	讨论推力、拉力、 重力、正向力等各 种形式的力	讨论质量测定的两 种方式
过程 4	运用牛顿第二运 动定律，解决两 类动力学问题	运用牛顿第二运 动定律，解决两 类动力学问题	引入质点概念，归 纳运用定律处理运 动问题的方法	以虎克定律为例， 找寻力的规律

从表 4.6 可知，人教版和司南版的处理很相似。两版教材都专门设立一节实验探究课（如图 4.15，图 4.16 所示），得到力、加速度和质量之间的定量关系。然后，将上节的实验结果推广，得出牛顿第二运动定律及其等式 $F = kma$ ，引入力的单位--牛顿（N），得出牛顿第二定律的简化公式 $F = ma$ ；最后是规律的应用。整个过程严谨而逻辑性强，实验与思维并重。

如前面所说，翰林版在处理本课时，并不是从实验探究得出规律，而更多的是从物理学史的发展过程出发，或者说是以牛顿的口吻来建构知识的。在牛顿第二定律得出后，结合规律来寻找推力、拉力、重力、正向力等各种形式的力。最后，为方便描述实际物体的运动，引入质点概念，并用交互作用力来表示环境的影响，由此将物体受环境的影响简化成质点受力的情况，并举例进行说明（如图 4.17）。

龙腾版也是通过实验探究得出牛顿第二定律，但并没有用过多的篇幅介绍实验，而重点在于对实验结果的讨论和规律的得出。

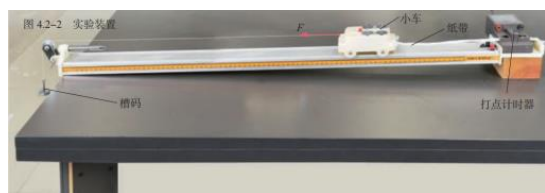


图 4.15 人教版教材实验装置插图

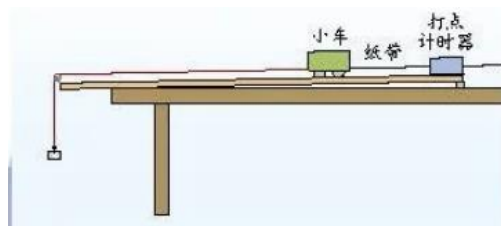


图 4.16 司南版教材实验装置插图

▼表 4-1 物體受環境的影響轉換成質點受力的作用：(A)桌上蘋果。(B)手推紙箱。(C)汽車煞車。(D)球壓縮彈簧。

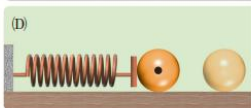
運動情形	質點	環境或施力物	作用力	受力情形
(A) 	蘋果	桌面 地球	正向力 重力	
(B) 	紙箱	光滑水平桌面 手 地球	正向力 推力 重力	
(C) 	汽車	路面 路面 地球	正向力 摩擦力 重力	
(D) 	球	光滑桌面 彈簧 地球	正向力 彈力 重力	

图 4.17 翰林版教材插图

综上所述，大陆教材通过实验、测量、论证，然后导出定律，既注重实验探究又体现思维的严谨性。翰林版注重从物理学史的发展脉络来构建知识，以加深学生对该内容本质的理解，培养科学思维；龙腾版从实验得出结论，易于学生接受。台湾教材都没有将牛顿第二定律的具体实验内容放在正文，而将其放置在章末。这并不代表其不重视对学生科学探究能力的培养，而是知识的构建的方法不同而已。

在本节课所涉及的知识容量上，台湾教材明显要多于大陆教材。翰林版除了牛顿第二定律的内容，还提出了外力、惯性质量、重力（重量）、正向力、质点等概念；在内容程度要求上，台湾教材的程度也较深。不仅要求一维直线运动计算，还要从向量运算的角度来理解和运用定律。知识容量之多、内容程度之深，对学生的认知能力都有较高的要求。

4.2.2.3 教材科学史及科学本质内容对比分析

1. 科学史内容及呈现对比分析

表 4.7 四版教材科学史呈现情况

教材	人教版	司南版	翰林版	龙腾版
----	-----	-----	-----	-----

正文部分	力的单位的得来	力的单位的得来	牛顿第二定律的建立过程	无
特色栏目部分	无	无	知识探索： $F=ma$ 来源及牛顿第一与第二运动定律的关系	无

从表 4.7 可知，除了翰林版，其余版本涉及的物理学史内容都很少。

大陆教材仅提及了牛顿（N）这一力的单位的得来的学史背景。但是，两版教材都曾在牛顿第一定律这一节中，以较多的篇幅陈述了相关的物理学史背景。

大陆教材强调通过实验探究的方法得出 $F=ma$ ，有利于提高科学探究能力。但这种处理也有其弊端。这或许会给学生一种错觉，认为著名的牛顿第二运动定律就是以这种实验的方式得到的。事实上， $F=ma$ 这一定律的得出是一种难得的心智上的创见，不可能通过简单的实验得到。挖掘物理学史的科学思维教育价值，还原知识的真正生成过程，或许会是值得借鉴的另一种选择。

2. 科学本质层面对比分析

表 4.8 教材“牛顿第二运动定律”一节体现的科学本质内涵

科学本质内涵	对应教材及内容说明
科学的创造性、科学家共同体等。	质点这一概念是由笛卡尔所提出的，但没有人知道要如何运用这一观点。直到外力概念及牛顿第二定律出现，质点这一概念才发挥作用。当把物质抽象为质点时，即认为物质的受力集中在一个点上，牛顿第二定律便能解决运动与受力问题。牛顿的杰出之处也在于他通过引入外力这一数学化的观念，将笛卡尔机械论的质点和运动观点统一起来。翰林版教材是在本节规律运用环节提出“质点”概念，遵从史实。在大陆教材中，“质点”也是一个很重要的物理概念，但是将其编排在必修一的第一章，作为学生在高中阶段第一个接触的理想模型，而在牛顿第二运动定律解决问题的过程中，没有过多的强调质点这一概念
	从力概念的发展可以看到，在外力概念及牛顿第二运动定律提出之前，仅有阻力、惯性力、离心力、向心力等概念。重力、摩擦力、支持力、阻力等概念都是借助牛顿第二定律得到的。譬如，在牛顿之前，人们只知道物体具有重量，质量为 1 公斤的物体所具有的重量是 1 公斤重（kgw）。在牛顿第二定

科学的认识性、累积性、创造性、预见性等。律之后，人们开始便寻找施加于地面附近物体上，并使其能以 $g=9.8\text{m/s}^2$ 的加速度下落的外力。由牛顿第二运动定律可知，此外力的大小为 $W=mg$ ，便把它称为重力。虽然重量就是指重力，但依据历史发展，这两个概念并非同时出现，重力概念是在后来为描述物体运动，通过牛顿运动定律推导得到的。

大陆的教材将重力、弹力、摩擦力等相互作用的内容编排在牛顿运动定律内容的前面，符合学生认知规律，但未能凸显历史上这一知识发展的真实脉络及其所蕴含的科学本质内涵。而翰林版教材，把推拉力、重力、正向力等知识点都编排在牛顿第二运动定律之后，阐明了这些具体的力都是由 $F=ma$ 之后得到，真实呈现了历史上此等观点是如何出现的。这种按照知识发展的逻辑顺序来建构知识的方式，可使学生加深对牛顿运动定律内涵和各种力的本质认识。

4.2.3 基于培养学生科学本质观的教学建议

4.2.3.1 还原知识发展逻辑顺序，实验与思维、推理并重

大陆的两版教材对实验的处理都是通过对牛顿第一运动定律内容的延申以及生活中相关事例的讨论，引导学生思考“加速度与力、质量的关系”，然后进行实验探究。这种通过观察和思考，提出问题并进行探究的做法符合学生的认知习惯。但是，课本并没有说明为什么是探究加速度和力、质量的关系，而不是力和加速度、质量的关系。

如物理学史上所叙述的，牛顿之所以提出牛顿第二运动定律，是为了知道物体运动的原因。他受第一定律的启发，明确力是影响物体运动状态变化的原因，进而提出与运动密切相关的“外力”概念。但是，如何表征外力的大小呢？牛顿通过运动状态变化的效果来表征物体的受力情况，寻找外力的表达式。用可以测量的运动状态的变化去衡量抽象的、不可测量的力，这也是牛顿思想的伟大之处。然后，再由外力与加速度比值的特点，得出表征物体运动状态变化难易程度的“惯性质量”概念，最终得到牛顿第二运动定律的表达式 $F=ma$ 。这才是牛顿第二运动定律发展的真实过程。牛顿第二定律并不是由实验探究得到，牛顿也不是一开始就知道用实验去探究加速度与力、质量的关系。可见，教材在注重实验探究的过程中，并未能体现牛顿的思维过程。

教师在备课时，可以适当依据牛顿第二定律在物理学史上的发展脉络，引导学生结合史实提出探究问题，设计实验方案，还原牛顿思考过程，经历严谨的理论推导过程，

培养学生的科学思维能力。

4.2.3.2 应用规律解决问题，体现科学知识的社会价值

四版教材在牛顿第二定律的应用都有较大的篇幅。教师在进行以上内容的教学时，应当注意做到以下几点：

(1) 强调牛顿第二定律是针对质点使用的。应当让学生知道质点概念与牛顿第二定律密不可分，关系式中的 F 应是质点所受合力。只有把物体抽象为质点时，对该点进行受力分析，再用牛顿第二运动定律来解决问题，它才能发挥效用。

(2) 在运用定律的过程中要遵循由简到繁、由浅入深的循序渐进原则。譬如，可先讨论物体只受一个力的情况，再讨论物体受多个力共同作用的情况；可先研究物体作一维直线运动的情况，再进一步了解物体作平面运动的问题；先研究单个物体的运动，再研究连接体的运动；先解决单一运动问题，再练习将运动学和牛顿三大定律结合起来的综合类问题。

4.2.3.3 借助科学史，纠正学生错误观念

为纠正学生头脑中的一些直观、感性的但错误的观点，形成正确的物理观念，教师可借助物理学史内容，对牛顿第二运动定律的一些问题作进一步说明。比如，由牛顿第二定律可以知道，当物体所受合外力为零时，它的加速度也为零，即运动状态不会发生变化，所以物体会保持静止或匀速运动状态。因此很多人会觉得牛顿第一定律是第一运动定律的特例，而显得多余。然而，从物理学史上看，第二运动定律并非轻而易举便可进入物理学家的思考范畴。若非笛卡尔提出“运动状态”的观念，牛顿再将人们对运动的描述由习以为常的“位置改变”转移到“运动状态的改变”，并集中注意于“速度的变化”或“加速度”在探讨运动物体上所扮演的关键角色，第二运动定律便不易被发现。且牛顿第二运动定律也只在惯性坐标系下，方能成立。因此，我们不可视牛顿第一运动定律为第二运动定律的特例，而忽略了第一运动定律的重要性。应当说，牛顿第一运动定律是牛顿第二运动定律的基础。

4.3 万有引力定律

4.3.1 “万有引力定律”科学史及其科学本质价值

4.3.1.1 科学史内容

1. 面积律与向心力的存在

牛顿受笛卡尔和惠更斯影响，早期在分析轨道运动时是用离心力。在 1666 年，胡克提出应当把行星运动视为“沿切线的直线运动和指向中心物体的吸引运动而合成”。胡克更大胆猜测：“行星指向太阳的力，是与彼此距离的平方成反比。”他还寻找受此力作用的物体的运动轨道，但由于缺乏足够的数学能力，无法证明其结构为椭圆。因此，他便以通信的方式求助于牛顿^[59]。这无疑给了牛顿一个很大的刺激，它是向心力提出的关键。

牛顿在受到胡克的提醒后，开始把从对“离心力”研究转变到“向心力”。他将开普勒的面积律重建，转变成更加简单清楚的形式：将开普勒面积定律所指的行星与太阳之连线所画出的面积，转变成一物体与数学原点或几何焦点之连线所画出的面积（彼此意义接近，但并非完全相同）。然后以自己的运动定律为基础，写下《原理》第一卷中的命题 1 和命题 2，建立了前所未有的面积律与向心力之间的等价关系。

命题 1 定理 1

做环绕运动的物体，其指向力的不动中心的半径所掠过的面积位于同一不动的平面上，而且正比于画出该面积所用的时间^[57]⁵⁷。

命题 2 定理 2

沿平面上任意曲线运动的物体，其半径指向静止的或做匀速直线运动的点，并且关于该点掠过的面积正比于时间，则该物体受到指向该点的向心力的作用。^[57]⁵⁹。

命题 2 就是命题 1 的反命题。面积律的转变，是向心力的充分必要条件。值得一提的是，开普勒的面积定律在牛顿之前未曾受到重视。牛顿第一个让面积定律发挥用处，并指出此定律背后所蕴含的物理意义：它暗示着向心力的存在。



图 4.18 面积律与向心力的关系

2. 圆周运动的平方反比定律

牛顿经数学推导在第一卷的命题4的定理4中写下绕圆心做圆周运动的物体其所受到的向心力所满足的几何关系。

命题4 定理4

一物体若受不同的向心力作用，而描绘出不同的圆，则向心力将指向圆的中心；且向心力之比，等于在相同的时间内所描绘出的各弧长的平方除以圆的半径之比^{[57]61}。

所谓某一时间内所描绘出的弧长，即为速率，也就是说命题4中的定理4就得出了我们所熟知的向心力所满足的数学关系： $F \propto \frac{v^2}{r}$ 。

这一命题在历史上首次描述出圆周运动向心力的数学表达式，它至关重要。

接着，牛顿思考，如果受向心力作用而做圆周运动的物体，同时也满足开普勒的周期定律那么 $T^2 = kr^3$ ，这一向心力又将满足何种数学关系？牛顿接着写道：

命题4 推论6

若周期与半径的 $3/2$ 次方成比例，则...向心力将与半径之平方成反比。反之亦然。

这一命题表明，在不同的半径上做匀速率圆周运动的物体，当其也符合周期律时，则圆周运动的周期率便等价于距离平方反比力^{[57]61}。



图 4.19 周期律与距离平方反比力的关系

3. 二体问题与简化质量

直到目前为止，《原理》1中的几大命题主要讨论的均是单一物体围绕几何力心的纯

粹的数学问题，而非两个物体的运动情形，完全不涉及自然现象。

但是，在讨论行星绕太阳运动时，若把力心放在太阳上，而将行星视为受到向心力而围绕力心运动的单一物体，则此时牛顿的单一质点的数学结构就不能用了。因为由牛顿第三运动定律可知，太阳也必定会受到行星对其等大的吸引力，此吸引力提供向心力，因此太阳也必将围绕着行星运动，它不可能是静止的，那又怎么能把它当做不动的数学力心来处理呢？

牛顿是这样处理的：假设两质点质量同为 m ，相距为 $2r$ ，绕着共同的质心点转动。为把此二体运动问题转化为单体运动问题，可将原点置于其中一天体视为不动点，而将另一天体视为单一物体，讨论其位置随时间的变化情况。在这种情形下，引入了简

化质量（Reduced mass）概念，指出应当以 $\mu = \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2}$ 这一简化质量来表示单一物体的质量，而置于原点的物体质量应当为零，如此才能保证把双体运动当作单体运动处理时，向心力的大小不变^[60]。

引入简化质量后，由于向心力大小不变，且 μ 所做的圆周运动其周期与半径的 $3/2$ 亦成比例，即也满足周期率，因此命题 4 系 4 也可推广到二体问题上：

若一物体受向心力的作用，绕着另一物体做圆周运动，且其周期与半径的 $3/2$ 成比例，则此向心力将与半径的平方成反比^{[60]200}。

牛顿在一开始处理天体问题时，并没有将其当做质点考虑。直到晚期，才开始考虑数学力中心和质点的单一质点系统，接着将数学力中心再转换成单一质点，建立两质点的二体系统，因此有了点与点之间引力的概念，最后再将多个质点结合成具有大小、占有体积的物理实体，才慢慢发展成物理世界的万有引力定律。

4. 月球的向心力与自由落体的重力

牛顿在建立月球绕行圆周轨道受到向心力作用的正确概念后，他设想，如果让受向心力作用而绕地球做圆周运动的月球逐渐下降，最后靠近某高山顶，则月球将和地面上的其他物体一样，会自由下落。这也说明使月亮做圆周运动的向心力，和使地面的物体产生向下的加速度的重力属于同一种力。

他计算了月球因为受到向心力的影响，所产生的下落距离 BD（如图 4.19），其中月球为 A，地球为 C^{[60]204}。

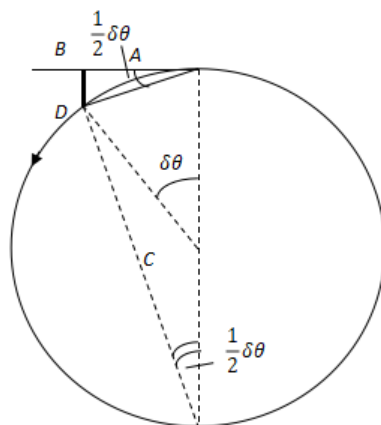


图 4.20 月地检验

5. 万有引力定律的成型

牛顿在《原理》中的第三卷写下了 6 个现象^{[57]352}，表明了木星与土星的卫星分别指向木星和土星，月亮指向地球，行星指向太阳；且它们绕各自中心天体运动的半径所掠过的面积，正比于其运行时间；除月球外，它们的周期与其到中心天体的距离的 $3/2$ 次方成比例。

这 6 个现象指明，木星和土星各自的卫星绕其自身以及行星绕太阳的运动符合周期律，牛顿指出它们亦满足卷 1 的命题 4 推论 6 之正圆周期律，因此便有下列卷 3 中有关距离平方反比力最重要的命题^{[57]357 - 365}：

命题 1 定理 1

使木星卫星连续偏离直线运动，停留在适当轨道上运动的力，指向木星的中心；且反比于从这些卫星的处所到木星中心距离的平方。

命题 2 定理 2

使行星连续偏离直线运动，停留在其适当轨道上运动的力，指向太阳；且反比于这些行星到太阳中心距离的平方。

需要特别强调的是，牛顿在此把行星绕日运动视为圆周运动而非椭圆运动，但若用

更为精准的椭圆律来计算，也可得到相同的结果。

牛顿虽未在现象里说明月球的周期与半径比的关系。但他由“月球距地球的最远点，在运动一周后，会偏移 $3^{\circ} 3'$ 的性质推导得出如下结果。

命题 3 定理 3

使月亮维持在其轨道上的力必指向地球；且于它至地球中心的距离平方成反比。

牛顿通过月地检验已证实月亮绕地球运动的力与地表下落的重力是属于同一种类型的力。而木星与土星与其各自卫星，行星与太阳，月亮与地球，它们之间的力也为一种平方反比力，是否说明这些力也当属于同一种力呢？牛顿在《原理》中第三卷中写下的规则表明，相同的自然界结果，必然尽可能地归之于相同的原因。因此他指明，如果说月亮运行的向心力与重力相同，则木星的卫星、土星的卫星和太阳的行星也都是受到重力而使它们能在各自的轨道上运行。

至此，牛顿已经证明，所有的行星彼此吸引，并且此等此引力与其所在之处到行星中心的距离的平方成反比。那么，由第一卷的命题 69 及其系就可以得到，行星所产生的重力与它的质量成正比。

命题 6 定理 6

所有物体皆朝向任一行星运动；且在离开行星中心等距离之处，此物体（以重力）朝向行星下落的重量与物体的质量成正比^{[57]360}。

那么，由天体中的物体，彼此吸引，使如何得世界上的任何物体都会彼此吸引的呢？简单而言：因任一行星可看成无数个有质量的质点组成，若各个质点均可以提供重力或引力，并且其大小与各质点的质量成正比，则整个行星也可产生重力，其效果会与整个行星的质量成正比。反之，如果一切行星都可以产生重力，且重力的大小与质量成正比，那么一切物体亦可产生重力，且与物体的质量成正比。

命题 7 定理 7

对于一切物体存在着一种引力，它正比于各物体所包含的物质的量^{[57]362}。

那么，若行星间的引力与它们两者之间的距离平方成反比，那么为何两个物体相互

吸引的力量也会与两物体的距离平方成反比呢？牛顿在卷1命题76中这样说道：

命题76 定理36

如果各球……(上) 每一点所产生的吸引力与至被吸引球(上任一点) 的距离平方成反比；我说，其中一球对另一球的全部吸引力将与二球心的距离的平方成反比^{[57]89}。

牛顿在这里是将两个相互作用的球都分成无数个同心球壳来证明的，具体用到的是体积分的方法。

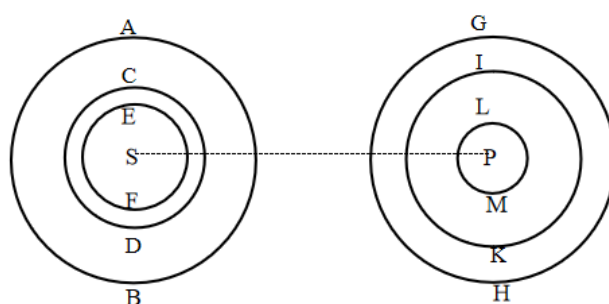


图 4.21 两个球体的相互作用力

反之，若一行星对另一行星的全部吸引力与此二者(或二球心)距离的平方成反比，则一行星内每一点对另一行星上任二点的距离平方成反比。亦即任意两物体相互的吸引力与二者的距离平方成反比。

命题76 定理36

推论2

指向任意物体的各个相同粒子的引力，反比于到这些粒子距离的平方；这可由第一卷命题74推论3证明。

所以，由一切行星所产生的重力与它所含的质量成正比，以及任二行星相互吸引的向心力(或重力)与二行星的距离的平方成反比，可得出：一切物体均可产生重力；并与此物体所含的质量成正比，且任两物体相互吸引的力量与此两物体距离的平方成反比。后半段所言的，即万有引力定律。即：

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \text{ 且 } G = 6.67259 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$$

值得一提的是，牛顿并未写下此种数学形式，亦未曾给出“万有引力定律”这一名称。这名词最早是来源于法国的科学家拉普拉斯（Pierre-Simon marquis de Laplace, 1749-1827）于 1796 年所发表的《宇宙体系论》中，里面曾多次提到“万有引力原理”一词^{[60]219}。

4.3.1.2 科学史体现的科学本质内涵

1. 向心力的提出之科学本质内涵

从上面科学史的追溯中，我们不难知道，万有引力定律的形成，离不开一个至关重要的概念——向心力。一开始，向心力并不是跟随圆周运动一齐出现的。

牛顿在 1666 年就开始考虑“月地试验”。根据“离心趋势与距离平方成反比”的理论，计算出地表重力加速度应当是月球离心趋势的 3600 倍，以当时的科学精确度而言，此值已经相当接近牛顿所计算的 4000 倍。况且，牛顿当时是以意大利制为数据单位，若以英国制为单位，则数值便会相当接近。但是，这项工作在当时并无实质上的贡献。问题不在于他所用的单位，而是其基本概念的错误：重力是向着地球的向心力，而月球所受到的力是远离地表之离心趋势，没有根据地将“离心趋势”与“向心的重力加速度”两个无关的概念进行比较，使得这项工作没有意义。

1679 年，牛顿与胡克开始通信后，便更深层地思考物体沿曲线轨道运动背后的动力学原因是“向心力”，而非“离心力”。因此，可以猜测牛顿很有可能是在 1679 年与胡克通信讨论行星运动轨道问题之后，才有了“物体沿圆周运动，是因受到中心吸引”的这种观点。

与胡克通信的四年后，牛顿在其著作《论运动》中的首次提出向心力的概念。之后，他再次把月球的向心力与地表的重力做比较，实现了地表与月球正确的连结：使月球运转的向心力，和地表上物体下落的重力实属同源。由于概念的正确性，以及实际值与理论值的一致性，牛顿才能说明其向心力理论的完整性，并从中窥见万有引力的端倪，继而提出万有引力理论。

诚然，牛顿是在受了胡克的提醒后，才将前期的作品中涉及到“离心力”的观念改成“向心力”，使得两个时期所用的观点与术语全然不同。但是，若没有牛顿早期建立起来的圆周运动的平方反比律，即便有胡克的出现与提醒，也依然无法促使引力平方反比律的生成；若没有牛顿的月-地检验，证明使月亮绕地球运转的向心力和使苹果落地

的重力，皆是同一种力量，单纯只有平方反比力的想法，也很难建立全面平方反比律思想。因此，胡克给予牛顿的仅是观点或术语的启发，但牛顿所独有的分析上的结构与思考细节仍是万有引力定律发现的关键。可以说胡克是位催生者，而牛顿是位创造者。

此处蕴含的科学本质内涵包括：科学的创造性、累积性、非权威性、公开性和科学家共同体等。

2. 观测与归纳的普遍性要求之科学本质内涵

牛顿在与胡克通信期间，也借由椭圆律得到了行星绕太阳运动时的力满足平方反比定律：

命题 11 问题 6

物体沿椭圆运动，指向椭圆焦点的向心力反比于其到椭圆焦点距离的平方^{[57]71}。

此命题证明很难，它要比正圆周期律更能精确地反映行星绕太阳运动所受到的力的数学形式。因此，在椭圆律与平方反比力关系提出之时，引起了当时众多一流科学家的注意。他们认为椭圆律在宇宙体系的探讨中必定会扮演着重大的关键角色，甚至后来许多学者也认为椭圆律与距离平方反比力的对应关系，是万有引力定律建立的重要基石。然而，牛顿在《原理》第3卷中推导万有引力的平方反比律的过程中，完全没有出现椭圆律，反而全部使用圆周运动的周期律。但是，行星运动很明显地是更接近于椭圆轨道，而非圆周，为何牛顿会选择圆周轨道，而舍弃精确的椭圆轨道？

牛顿在第3卷提出六个基本现象前，曾先写下四个哲学推理规则，作为讨论现象与原理之间的关系法则^{[57]350-351}：

规则 2

因此，对于相同的自然现象，必须尽可能地寻求相同的原因。

规则 3

物体的特性，若其程度既不能增加也不能减少，且在实验所及范围内为所有物体所共有，则应视为一切物体的普遍属性。

规则 4

在实验哲学中，我们必须将由现象所归纳出的命题，视为完全或基本正确的。在直到出现其他可排除这些命题、或可使之变得更加精确的现象之前，不须在意由想象所可能得到与之相反的种种假说。

规则 2,3 描述的是普遍性理论的特质，规则 4 则在强调实验归纳法。

在当时，行星系统中所观测到的土星、木星的卫星与月亮轨迹，无法确认为椭圆，反而较接近正圆，而行星绕日的椭圆定律也还未成为严格的定律。为了从真实的现象与观察中进行归纳，也为了寻求更有力的普遍性，牛顿将行星与其卫星、及太阳与其行星运动的自然现象，先以可被归纳出来近似的正圆轨道来代表，并引用圆周的周期律，以建立起平方反比力原理，然后再演绎出普遍结论。

这在当时受到了包括哈雷、胡克等科学家的质疑。牛顿解释道：“当初我把行星绕日运动当作正圆运动处理，主要是为了跟土星、木星的卫星以及月亮这几个天体运动整合在一起。但是如果要以椭圆运动处理，我也可以做到。只是科学应当分两个步骤，第一步是普遍性，我们以圆周运动为主，虽然我只做到接近行星运动的百分之九十五左右，但是却具有普遍性；第二步，虽然行星轨道有些接近椭圆，但是我也可以进行修正，用距离平方反比定律来得到更严谨的椭圆定律，以满足那百分之五的精确度。

故牛顿为了证明引力平方反比律，并对宇宙体系的现象作更精确的诠释，在卷 3 命题 13 进一步修正了行星轨道：

命题 13

若是行星受到反比于它们到太阳距离平方的引力作用，则行星将沿椭圆轨道运动，其公共焦点位于太阳中心，且伸自该中心的半径所掠过的面积正比于运行时间^{[57]369}。

即使平方反比力是由近似的圆周轨道归纳而得的，但由平方反比力的前提，也可逐

步严谨论证出行星作椭圆轨道运动的现象。先寻找普遍性规律，再进一步追求严谨性和面面俱到，这就是牛顿的研究方法。牛顿从不指望毕其全功于一役，或奢望普遍性与严谨性须在一个程序或步骤中就得全部展现完成。

此处蕴含的科学本质内涵包括：科学的局限性、重复性、认识性、非权威性以及科学研究方法的多样性等。

3. 实验观察与数学抽象的结合之科学本质内涵

如前所述，牛顿作为逻辑实证论学派的科学家，他非常强调实验归纳的重要性，这是牛顿科学方法论的基础。牛顿本人在实验上具有高度的严谨性和娴熟的技巧，在《原理》一书中写下了大量的实验。但是，他也在《原理》一书中向世人道出：观察所得的实验数据近是科学方法的起点之一，除此之外，更需要数学上的诠释或说明来补充。数学说明的作用要远超过观察结果的陈述。这种说明是借数学上的推导、演绎，将其中所蕴含的可能陈述或推导，明显地引导出来，然后再以观察、实验来检验这些陈述。此时，这个观察所要证实的，不是只在告知推论的可靠与否，更重要的是保证那个抽象数学说明的确是正确的。从这个理论，可观察的诸事实均可以由数学方法演绎出来。

观察与实验之所以能将现代科学建立起来，完全是依靠它们与数学的结合。仅凭借收集观察到的事实，或用培根所说的归纳法，将不可能发现万有引力定律。与观察相结合的数学演绎，才是真正使现代科学得以建立的法宝。它以数学假设的形式出发，构造出一个说明，使得许多被观察到的事实都可以从这个假设演绎出来，这种赋予现代科学预测力量的方法，就叫做“假设演绎法”。这种方法就是《原理》一书中所揭示、所开启的，而万有引力的提出，及其背后所蕴含的方法与精神，更是那个世纪中的最伟大成就。

此处蕴含的科学本质内涵包括：科学研究方法的多样性、科学探究的实证性、科学发现的预见性及科学家身份等。

4.3.2 两岸四版教材内容编写特点比较分析

4.3.2.1 章节编排结构分析

在章节编排上，人教版和司南版都将本节课所在章节安排“抛体运动”和“圆周运动”这两章之后，翰林版和龙腾版都把本节课设置在牛顿三大运动定律及匀速圆周运动和向心力的知识。本章作为圆周运动的一个应用实例，其内容建立在圆周运动和向心力的相关知识的基础上，是对基本概念和规律在理解和应用上的进一步加深，符合学生的认知习惯，也呼应了这一部分知识在物理学史上的发展脉络。

表 4.9 四版教材“万有引力定律”章节编排结构

人教版（第七章万有引力定律与航天）	司南版（第四章万有引力定律与航天）	翰林版（第五章万有引力定律）	龙腾版（第七章万有引力）
1.行星的运动	导入：从嫦娥奔月到“阿波罗”上天	1.万有引力定律	1.万有引力定律
2.万有引力定律		2.地球表面的重力与重力加速度	2.地球表面的重力与重力加速度
3.万有引力理论的成就	1.天地力的综合：万有引力定律	3.行星与人造卫星的运动	3.行星与人造卫星
4.宇宙航行	2.万有引力定律应用	4.开普勒定律与万有引力定律	
5.相对论时空观与牛顿力学的局限性	3.人类对太空的不懈探索		

从表 4.9 可以看出，在节内容设置上各版教材均有差异。人教版的开普勒行星运动定律和万有引力定律的内容共占有 11 页的篇幅，分别安排在第一、二节，对应于司南版的第一节，仅有 6 页，份量较少。相对来说，人教版这种编排能使万有引力定律发现历程的展现更为细致，给学生奠定充分的知识基础，有助于学生感受到万有引力定律的来之不易和重要性。翰林版和龙腾版均在第一节即呈现万有引力定律的发现过程及内容，后面几节为规律的应用。

总体而言，各版教材都讲述了万有引力定律的发现和内容及其应用，其中定律的发展过程和具体运用均为本章重点。各版教材虽在应用的呈现上侧重点各有不同，但均能体现万有引力定律的重大意义及成就。

4.3.2.2 知识建立过程分析

经过收集、整理、分析，汇总四个版本教材中知识的建立过程如表 4.14 所示。

表 4.10 四版教材“万有引力定律”知识建立过程

人教版	司南版	翰林版	龙腾版
-----	-----	-----	-----

过程 1	科学家对行星运动原因的各种猜想	开普勒行星三大运动定律	推导行星绕太阳运动向心力的距离平方反比定律	直接给出万有引力定律
过程 2	太阳与行星间的引力数学式的推导	直接给出万有引力定律的内容及表达式	推广至任意两个具有质量物体，得出万有引力定律	讨论引力定律的适用情况
过程 3	进行月--地检验	介绍卡文迪什测出引力常量 G	介绍卡文迪什测量引力常量 G ，以及现代测量方法	讨论牛顿的重要贡献
过程 4	结论大胆推广，得到万有引力定律			介绍卡文迪什扭称实验及冯乔利的天平实验
过程 5	卡文迪什测出引力常量 G			

如表 4.10 所示，人教版是按照牛顿发现万有引力定律的过程来建构知识，体现“提出假设”--“演绎推理”--“验证结论”的这一科学探究过程，能使学生对牛顿发现万有引力定律的过程有一个清晰了解。司南版在知识建构的过程中几乎没有结合物理学史内容。翰林版也是按照物理学史的发展顺序来编排本节课的内容，呈现了万有引力定律的最初发现过程，见图 4.22。但对比人教版，翰林版明显少了“月--地检验”这一部分内容。龙腾版则是按知识点的不同将本节课分成几个模块分开编排。

综上，人教版和翰林版都注重按照物理学史的发展顺序将内容逐一呈现，体现了逻辑性与结构性。而在学史部分，人教版要比翰林版内容更加充实，线索更加具体，但翰林版更接近这一定律的真实生成过程，能把牛顿研究万有引力定律过程中核心的方法和步骤体现在知识的建构中。司南版和龙腾版将物理学史内容安排在知识建构后，难免忽视了其知识生成过程，不易发挥这一节课丰富的学史内容的教育功能。

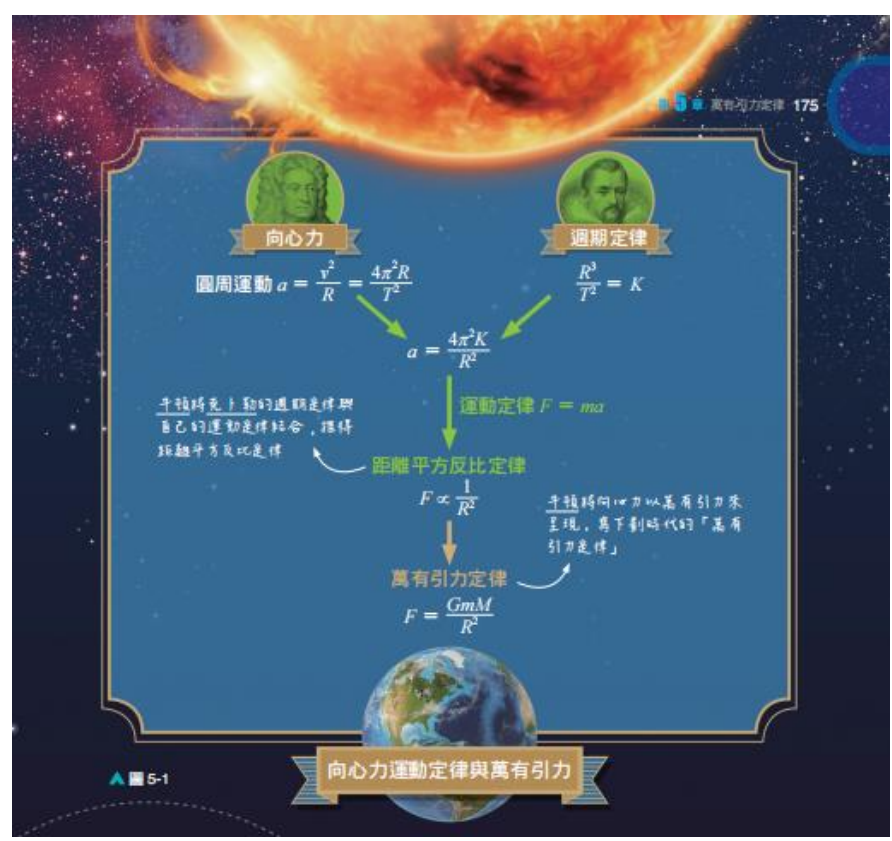


图 4. 22 翰林版教材插图

4. 3. 2. 3 教材科学史及科学本质内容分析

1. 科学史呈现及内容对比分析

表 4. 11 四版教材科学史内容的呈现情况

教材	人教版	司南版	翰林版	龙腾版
正文	伽利略、开普勒、笛卡尔、胡克、哈雷等科学家对行星绕太阳运动动力学原因的思考	从“地心说”到“日心说”	引力的距离平方反比特性的发现及万有引力定律的建立过程	将两个物体间的引力转换为可计算的两个质点间的引力
	太阳与行星间引力数学关系式的推导过程			牛顿的重要贡献
	月一地检验过程	卡文迪什通过扭称实验测得引力常量 G	卡文迪什通过扭称实验测得引力常量 G	卡文迪什的扭称实验装置
	卡文迪什通过扭称实验测得引力常量 G			冯乔利测量万有引力的天平实验装置
		科学书屋：八大行星		“你知道吗？”：

特色 栏目	“科学漫步”： 牛顿的科学生涯	绕太阳运动数据	无	卡文迪什扭称实验的最初目的
		拓展一步：万有引力定律公式的推导		
		拓展一步：牛顿的月--地检验		“你知道吗？”： 牛顿对月亮与地球间引力的思考与探索
		拓展一步：卡文迪什扭称实验的原理		

如表 4.11 所示,人教版在正文部分将知识穿插在物理学史的介绍中,且“科学漫步”栏目详细介绍了牛顿在科学事业上的成就和杰出的科学方法。司南版正文部分关于“地心说”与“日心说”的背景也是仅以一句话简单带过;但是在特色栏目部分,详细地给出了相关物理学史的介绍。龙腾版虽然不是按物理学史发展的脉络来编排知识,但也在各部分知识的建构过程中穿插相关的科学史内容及其思想。

3. 科学本质层面对比分析

表 4.12 教材“万有引力定律”一节体现的科学本质内涵

科学本质内涵	对应教材及内容说明
科学知识的 发展性和累积性	人教版按“行星与太阳间引力关系推导”--“月-地检验”--推广至任意两物体得出万有引力定律”--“引力常量的测得”等顺序编排内容。这能使学生在掌握规律的同时,深刻地体会到科学知识的发展性。正如人教版的旁批所言:“哥白尼、第谷、开普勒这些科学家不畏艰辛、几十年如一日刻苦钻研的精神是成功的基石。”任何科学成就的取得,都非一蹴而就 翰林版首先说明牛顿先明确做圆周运动的物体会受到向心力,而又基于行星是以接近匀速圆周运动环绕着太阳,而确定行星也是受到向心力;然后将开普勒周期定律与运动定律相结合,推导出行星绕太阳运动的向心力距离平方反比定律;再将向心力以引力方式呈现,并将其推广至任意两个具有质量的物体。整个推理过程逻辑清晰,还原了牛顿的真正思考过程
科学研究的实证性	牛顿作为逻辑实证主义者,非常重视经验的观察和归纳的重要性。人教版和司南版对本节课内容的设置都能映射出观察和实验在科学知识确立过程中的重要性。特别地,司南版在“科学书屋”栏目还专门列出了八大行星绕太阳运动的数据,意指明牛顿将行星绕太阳的轨道运动当作匀速圆周运动处理,

是基于行星运动的椭圆轨道偏心率很小，可近似认为是正圆这一事实

科学研究方法
的数学工具
性、科学家身
份

不论是行星与太阳间引力关系式的推导，亦或月地检验过程，都体现出数学假设与推导在科学发现中所扮演的角色。人教版和司南版虽然呈现方式不同，但都能把这两个过程完整地展示，让学生了解这一数学思维过程。此外，人教版的“科学漫步”栏目也对牛顿的科学方法进行了介绍。文中强调，事物之间的本质联系只有通过数学才能归纳为能测量的、应用和检验的公式和定律

科学发现的创
造性和预见
性、科学家身
份、科学与道
德

人教版交代了牛顿以“月--地检验”将天地力结合，然后将其大胆推广至宇宙间任意两个物体得出“万有引力定律”，体现了科学发现不仅需要严谨细致的观察与归纳，更需要大胆猜想、合理推测的勇气与毅力。司南版和龙腾版也能在特色栏目部分通过记载“月--地检验”的史实将这种精神体现出来。龙腾版在正文中还提及牛顿过人的超前的眼光在于认识到重力“万有”

4.3.3 基于培养学生科学本质观的教学建议

4.3.3.1 以物理学史发展为线索设计教学

在物理教学中，有意识地渗透物理学史的教育，让学生模拟体验科学知识的发现过程，对于帮助学生领会科学研究的思维方法，提升物理学科核心素养大有裨益。

人教版按照“万有引力定律”的发现历程，沿着牛顿的足迹分析推导出万有引力定律的，因此可以人教版的内容安排为主要参考依据。但是，在陈述相关史实时，教材或是考虑到学生的认知程度或学时限制，未能十分完整、真实地呈现史实。故针对其不完整之处，可结合其他版本教材及物理学史料进行补充。

譬如，教材中陈述牛顿是先知道太阳与行星间存在引力并且此引力提供向心力，然后再用运动定律和开普勒的周期律推导这一引力所满足的数学关系式。但从历史发展顺序这一角度来看，这实有误导之嫌。当万有引力尚未被发现之前，如何可知行星受太阳吸引？以及向心力如何即是行星受太阳的吸引力？事实上，牛顿是先有宇宙天体间向心力的概念，在随后对天体以外的物体研究中慢慢有了外力的概念，最后才发现了万有引力。亦即引力的概念是要远后于向心力出现的。若要真实地还原牛顿对行星运动受力情况的分析思路，可参考翰林版。

再如,把行星绕太阳的运动当做圆周运动而不是椭圆运动处理的原因,学生会认为是由于匀速圆周运动比较好处理,但历史上是因为牛顿考虑到归纳与观测的普遍性要求而所做的简化,这一点在教学上可通过展示司南版在科学书屋栏目的“八大行星绕日运动”数据的表格(如图4.23),要让学生至少清楚能进行这种归纳的前提是行星椭圆轨道非常接近正圆,而正圆运动更具有普遍性。

 科学书屋

表 4-1 八大行星绕太阳运动的有关数据

行星	天体质量 m/kg	周期 T/a	到太阳的 平均距离 $d/\times 10^6\text{ km}$	$\frac{d^3}{T^2}/\times 10^{24}$ $\text{km}^3\cdot\text{a}^{-2}$	椭圆轨道 的偏心率 e	偏心率 $e=0.3$ 时的椭圆
水星 (Mercury)	3.20×10^{23}	0.2	57.9	3.34	0.206	
金星 (Venus)	4.88×10^{24}	0.6	108.2	3.35	0.007	
地球 (Earth)	5.98×10^{24}	1.0	149.6	3.35	0.017	
火星 (Mars)	6.42×10^{23}	1.9	227.9	3.35	0.093	
木星 (Jupiter)	1.90×10^{27}	11.9	778.3	3.35	0.048	
土星 (Saturn)	5.68×10^{26}	29.5	1 427	3.34	0.056	
天王星 (Uranus)	8.68×10^{25}	84.0	2 869	3.35	0.047	
海王星 (Neptune)	1.03×10^{26}	164.8	4 486	3.34	0.009	

图 4.23 司南版八大行星绕太阳运动的数据

此外,还可以借助多媒体教学手段向学生展示当年卡文迪什的实验,体会“微小形变放大”的物理方法。在教学时间允许的情况下,也可让学生了解测量引力常量的其它方法,比如龙腾版所描述的冯乔利的天平实验,以开拓学生的思维和视野。

4.3.3.2 适当补充科学史料,挖掘科学本质内涵

从古至今物理学史上的众多发现,无不都经历了量变到质变的过程。但在如今不少学生会认为物理结果都是通过数学推导得到的,或是来自于某个物理学家的灵感创造。例如对于“万有引力定律”的发现,很多学生就认为由于牛顿被苹果砸中而引发的灵感,属于一种巧合与机遇。鉴于此,有必要在教学中让学生多了解诸多科学家在“万有引力定律”背后所做出的工作,以体会到物理先辈们的巨大付出。比如托勒密为支持“地心说”观点而所做的复杂但准确的本轮和均轮;哥白尼不顾教会压迫,誓死捍卫“日心说”;伽利略制作了人类历史上第一台天文望远镜,证实地球不是所有天体运动的中心;第谷

用了 20 多年时间观测和记录了行星的位置和运行情况，得到了大量精确的天文资料；开普勒为了完成第谷的临终嘱托，也为了构建理论宇宙学这一追求，整理第谷的观测数据，经过多年的尝试，发表了行星运动的三定律；除牛顿外，胡克、伦恩、哈雷等人在对引力的研究中都做出了重要贡献；引力定律发现的一百多年后卡文迪什测出的具有普适性的引力常量 G ，成为万有引力正确性的有力证据。

可见，万有引力定律的发现，实际上是牛顿囊括汇总了前人的成果，创立的天上与地下统一的严谨理论，是物理学史上的一次伟大综合。只有让学生更多地去了解背后的这些历史，才能帮助学生去澄清对物理学史发展的误解，认识到科学的创新都经历了众多科学家的巨大付出，是一个从量变到质变的过程，并了解到人类认识事物本质的曲折性，科学认识与探索的过程是无止境的。

具有科学本质教育价值的物理学史素材还有很多，如牛顿是如何把天体运动的真实二体问题转化为单一质点模型，从而使其《原理》卷一中的命题得到充分的应用，这部分内容可以让学生深刻体会模型建构的方法与意义；再比如牛顿在《原理》卷三写下的四个规则及六个现象，才真正说明了为什么要把行星绕日的椭圆运动当做圆周运动处理，这部分内容充分体现了牛顿的普遍性思想……

由于教材内容篇幅限制，以及课堂教学时间限制，不论是在教材编写时，亦或是组织课堂教学时，都很难能把万有引力定律背后的发展过程一五一十地完整呈现出来。若能在条件允许的情况下，通过多样化的形式如学术讲座、课后小组讨论、课后调研等方式适当补充物理学发展过程中具有里程碑意义或者重要转折性质的史料，不仅能帮助学生更深刻地、更系统地掌握物理知识，还能对整个物理学结构的建构过程都有一个基本的了解，达到拓展科学视野，提高物理素养的目的。

4.4 机械能守恒定律

4.4.1 “机械能守恒定律”科学史及其科学本质价值

4.4.1.1 科学史内容

1. 功与动能概念的最早出处—牛顿第二运动定律

牛顿在建立起力概念并提出三大运动定律后，在《原理》第 1 卷的第 7 章中提出一

个重要的命题。在这一命题中，首次出现了“功”和“动能”意涵的概念：

若给定任意形式的向心力以及(力-位置关系)曲线下(如图4.24)图形的面积，求沿一直线上升或下降的物体，在它所经过各个位置时的速度^{[57]165}。

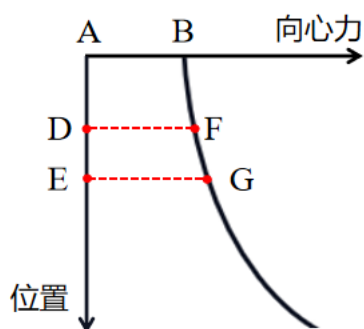


图 4.24 力-位置关系图

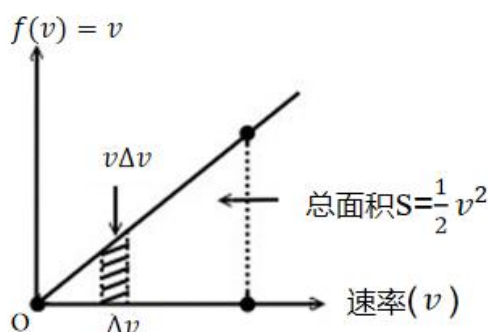
牛顿之所以提出这一命题，是为了要发现物体受向心力作用而沿直线下落时任意位置 x 和速度 v 的对应关系。首先，结合速度的定义式 $v = \Delta x / \Delta t$ 和牛顿第二运动定律 $F \propto \Delta v / \Delta t$ 可得到如下式子：

$$F \propto \Delta v \cdot v / \Delta x \text{ 或 } F \Delta x \propto v \Delta v \quad (4.1)$$

若将各个时刻的关系累积起来，即对公式(4.1)求和，可表示物体从起始点到任一终点的总效果，即：

$$\Sigma F \Delta x \propto \Sigma v \Delta v \quad (4.2)$$

此时等式左边的式子代表力-位置关系曲线下的面积 S_{ABGE} ，也就是功。右边之值累积起来为 $\Sigma v \Delta v$ ，其累积之关系图(如图4.25)为一通过原点的斜直线。若物体初速为零，这一累积值即为斜直线下之三角形面积，或为末速度平方之一半，乘上质量后，便是日后所指的物体“动能”。


 图 4.25 $\Sigma v \Delta v$ 的累积关系图

利用此命题，牛顿就可求得物体在各个位置时的速度，而他也仿佛无意间提出了功与动能的概念和动能定理。此命题可说是物理学史上功与动能概念最早的出处。

2. 功与动能概念的发展

牛顿在《原理》一书中所用的几何方法对于很多人来说并不易于被接受。为了让他的想法更容易被了解，1700 年伐立农(P.Varignon, 1654–1722)利用在极短的时间下，位移或时间的微分量 dx 或 dt 可近似于其差分 Δx 或 Δt ，由等量乘法公理或交叉相乘， $v = dx/dt \sim \Delta x/\Delta t$ 可得 $\Delta t = \Delta x/v$ 或 $dt = dx/v$ 。应用此关系，他将《原理》命题 39 改叙述为^①：

由速度 v 和加速度 y 的关系 $y = dv/dt$ 可得到 $dt = dx/v$ 且 $dt = dv/y$ ，因此 $dx/v = dv/y$ 或 $y dx = v dv$ ，最后可得：

$$\int y dx = \frac{1}{2} v^2 \quad (4.3)$$

若此式的左右两边同乘上质量 m 可得：

$$\int m y dx = \frac{1}{2} m v^2 \quad (4.4)$$

此式左边为作用力与位移 dx 乘积的积分，即为日后功的定义，右边为动能。整式也正是近代所说的动能定理。

但是，直到当时为止的所讨论的动能定理仍然有很大的局限性，因为它仅有在力与位移方向相同时才能成立。若作用力与位移方向不同时，该如何处理？牛顿在《原理》第 1 卷命题 40 中揭示了力仅有在沿着速度或位移方向上的值 $F_{//}$ ，才会改变速度大小。而与它垂直方向上的值 $F_{\perp}$ ，则只会改变速度方向。这是物理学史上首次出现“沿位移

① 姚珩，孙治平，李秉书.力学能守恒理论形成的历史探究及其在科学史融入教学上的意义

此处 $F \times C_p$ 即是力 F 与位移 P_p 在力方向的分量 C_p 的乘积，也就是指现在所说的“力 F 在物体运动位移为 P_p 时所作的功”。如此，伯努利便提出了更为普遍性的“功”概念，包含了“力与位移方向不同时”的情形，并且还建立了弹力作用下的动能定理。

3. 势能概念的出现

1743 年法国数学家克来若(A.Clairaut, 1713-1765)发现当重力在极小位移上所作的功 $Pdx + Qdy$ 满足 $dP/dy = dQ/dx$ 条件时，则重力在整个过程中所做的功 $\int Pdx + Qdy$ 与路径无关，而为位置函数 $u(x,y)$ 的全微分，即：

$$du = Pdx + Qdy$$

反之亦然。克来若认为物体只要是从位置 1 到位置 2，不管沿哪种路径，重力所做的功都一样，与路径无关^[62]，只由起点和终点之位置函数值 u_2 与 u_1 来决定。即：

$$\int_1^2 Pdx + Qdy = \int_1^2 du = u_2 - u_1 \quad (4.5)$$

但他始终没有写出这一位置函数 u 的确切形式，仅说明他是一个位置函数。

1773 年，拉格朗日(Lagrange, 1736-1813)在受到了克来若的启发。他算得，行星与太阳间的引力可用如下式子表示：

$$F = -\frac{M}{r^2} \quad (4.6)$$

其中 r 表示行星与太阳距离， M 为比例常数，负号表示方向指向原点。如克来若所述，若 $-du = Fdr$ 则有：

$$\int_1^2 Fdr = -\int_1^2 du = u_1 - u_2 \quad (4.7)$$

且由于 $-\frac{du}{dr} = \frac{d}{dr}\left(\frac{M}{r}\right) = -\frac{M}{r^2} = F$ ，他指出起终点的函数值可表示为位置函数 $u(r)$ ：

$$u = -\frac{M}{r} \quad (4.8)$$

这里的位置函数 $u(r)$ 便是日后所说的势能函数，且引力作用在物体上的功就等于初位能减末位能。拉格朗日是沿袭了克来若的想法，第一个指出以函数 $u(r)$ 的全微分 du ，来表示物体受力 F 所作功的微小量，并通过引力的表达式推导出该位置函数的确切表达式。

4. 机械能守恒定律的建立

接下来，拉格朗日利用动能定理推导了重力作用在物体 m 上的功 W ，写下^[63]：

$$W = \int F dr = m \cdot \frac{1}{2}(v^2 + v_0^2) = T - T_0 \quad (4.9)$$

其中 $T = \frac{1}{2}mv^2$ 为末动能， $T_0 = \frac{1}{2}mv_0^2$ 为初动能。另一方面，代入引力 $F = -\frac{M}{r^2}$ ，直接运算可得：

$$W = \frac{-M}{r} \int F dr = -M \int \frac{dr}{r^2} = -M \left(\frac{-1}{r} + \frac{1}{r_0} \right) = V_0 - V \quad (4.10)$$

其中 $V_0 = \frac{M}{r}$ 为初势能， $V = \frac{M}{r_0}$ 为末势能。合并上面两个式子，可得：

$$T + V = T_0 + V_0 \quad (4.11)$$

即当物体处于只受引力作用，而无任何其他外力干预的孤立系统里时，物体在初位置与末位置的动能与势能之和（合称为机械能）保持不变，拉格朗日把这一等式所反映的关系称为“活力守恒律”，也就是今后所说的机械能守恒定律。这一重要守恒律从牛顿开始，历经大约百年，汇聚了众多科学家的贡献，最终在拉格朗日手上完成。

5. 功、动能和势能等名词的确立

机械能守恒定律虽然已经建立起，但其中重要概念（功、动能和势能）的命名仍未一致。势能的名称实际上是在守恒律提出 30 年后的 1828 年，英国科学家格林(G. Green, 1793-1841)所提出的。在 1829 年，法国科学家科若利(G. Coriolis, 1792-1843)又提出了“功”的术语，他把物体受力 p 与在力方向的位移 ds 乘积的积分值 $W = \int P ds$ 称为“功”。至于动能名词的确立，物理学家兰金(Rankine, 1820~187)曾把运动物体所具有的能量称为“实际能量”(actual energy)，因它与物体可被觉察的运动有关。直到 1862 年克耳文与泰伊特在一篇名为《能量》的论文中，提议应该用“动能”(kinetic energy)来取代兰金的“实际能量”， $\frac{1}{2}mv^2$ 即被称为物体的动能。

克耳文在 1846 年的通俗演说中指出：“物理学的基石是动力学定律，物理学也是力的科学。...能量已经成为奠定物理学基石的最基本概念^[64]”。这反映出从那时起，能量观点已开启并统合了力学与物理学众多的自然现象，至今它也已遍布且应用在各种科学及工程领域里、甚至是生命科学上。

若以时间为线索，对机械能守恒理论形成的历史进行梳理，可得到如下表格。我们可追溯及体会出，今天种种能量观念的基本源头正是来自于牛顿的创见。

表 4.13 机械能守恒定律理论发展史

时间	人物	事件
1686 年	牛顿	提出力与位置关系曲线下的面积 $\Sigma F \Delta x$ （即功），可预测出物体任一位置的速度，且此值正比于 $\Sigma v \Delta v = v^2/2$ ，即首次出现动能定理的形式。 首次思考沿位移方向的分力与位移的乘积。
1700 年	伐立农	写下动能与功概念（或动能定理）的微积分形式： $\int mydx = \frac{1}{2}mv^2$ 。
1715 年	伯努利	提出力和沿力方向的位移分量的乘积，并称为“能”。
1743 年	克来若	提出力所作的功与路径无关，功仅为位置函数 u 的差值。
1773 年	拉格朗日	提出位置函数 u 导数的负值为外力，即 $F = -\frac{du}{dr}$ 。
1788 年	拉格朗日	提出函数 T （动能）与 V 之和为定值，即当下所言的“机械能守恒定律”。
1828 年	格林	把 u 为势能函数 V
1829 年	科若利	提出“功”的术语
1862 年	克耳文	提议把 $\frac{1}{2}mv^2$ 称为“动能”。

4.4.1.2 科学史体现的科学本质内涵

1. 运动问题是物理学探讨的主轴之科学本质内涵

机械能概念及其守恒律，不是为了达到工程上的实用目的而提出的，而是牛顿为精确地预测物体在受力运动时的速度而开创出来，但为何“运动”如此重要？物理学为什么总是要与运动现象相关？它又是如何开启物理学的研究方法？

科学家相信，事实有等级可寻，在它们之中可做出明智的选择.....我们应当如何选择：最有趣的就是可以多次运用、具有一再重复机会的事实.....哪些事实是很可能重复出现呢？它们首先应是简单的^[64]。

地表上的落体运动与行星的绕日运动便是可以重复出现的简单事实。亚里士多德在

其所著《物理学》一书中，便开始以质性方式对物体的运动做了很充分的讨论^[65]。伽利略也明确表示：

我的目的是要从一个非常古老的课题，开启一门崭新的科学；在自然界里，或许没有比运动更古老的议题^[55]155。

近代哲学之父笛卡儿主张：

物理学应奠基于不可怀疑的基础上，而最不可质疑的仅有：占据空间的物体、与位置变化的运动，所有的自然现象应该只由物体与运动来解释^[66]。

因此，长久以来运动便一直是物理学家最根本、与极具挑战性的课题。伽利略发现重物与轻物皆以相同的加速度落下，但不知道是何原因。约 50 年后牛顿提出旷世的运动定律，发表了划时代的万有引力定律。在解决这些天体与地表物体的运动，是来自于一致原因之同时，牛顿并进一步考虑：受向心力作用下，物体在任意处的速率是什么？而提出了功的意涵与动能定理，又开启了另一扇能量物理学探讨的大门。

虽然自然现象复杂多变，但科学家们自古希腊到近代，物理学的思考核心一直集中在运动课题上，这个具有普遍性问题的选择及探讨，在科学革命时期，奠定下古典物理学无法抹灭的成就。也呼应了(AAAS)1993 对科学本质必须知道的准则之一：“西方科学是以五百年前欧洲的传统思想为基础。”对于运动问题的选择与解决，不仅是促成物理起源的首要因素，也促使牛顿发明了重要的物理分析方法-微积分。

此处蕴含的科学本质内涵包括：科学的累积性、重复性与科学共同体等。

2. 严谨的物理学研究方法之科学本质内涵

在探索机械能理论的过程中，从牛顿开始的科学家们就都使用了数学语言，他们主要是沿袭了前人伽利略的研究方法。这种方法不断地出现在物理学中的其它领域中，譬如：电磁感应里，由磁力线的经验知识抽象化到磁通量的概念；黑体辐射中，由空腔内的辐射强度演化到壁上振子能量的量子化。

然而毕竟物理学与数学有所区别，数学中的算术与几何学，可以容易地从日常经验中形成演绎前的基础，如等量公理或三角形的全等定理，并在演绎之后，所得的推论依然显得清楚、纯粹及简单。但是，与自然现象联系在一起的物理学却要比数学复杂得多。

物理学处理的感官经验所提供的概念，是无限混乱和复杂的概念，发现与研究这些概念需要漫长而费力的分析。

此处蕴含的科学本质内涵包括：科学的累积性、重复性与科学研究方法的多样性等。

3. 从牛顿第二运动定律到机械能之科学本质内涵

机械能理论的基础—牛顿第二运动定律，是从十六世纪起，经过漫长而辛劳的过程中产生。有此定律后，历经不同物理学家清晰的数学推理，先产生了功、动能概念以及功能定理，并通过实验检验证实有效。之后在探讨地球形状的问题上，引入了新的概念—位能。这些理论体系的演化与转变是缓慢与渐进的，在其间可看到新概念与新原理，并非是突然而任意的创造^[67]。而在这些探索过程中，所出现的关键改变，则是许多物理学家重要的创造结晶。

此处蕴含的科学本质内涵包括：科学的累积性、创造性、科学与技术及科学家共同体等。

如果科学教学的目标是启发学生对于科学探讨过程的了解，则由机械能发展史中可展现出：物理学探讨过程有其主轴—以具有普遍性之运动问题为核心，通过富有成效的方法—经验知识与数学理论的统合及交流，达成其理想目标—以精致的概念原理描述多变的自然现象。由此也可呼应科学史如何是科学教学必备的一种要素。

此处蕴含的科学本质内涵包括：科学的累积性、重复性与科学研究方法的多样性等。

4.4.2 两岸四版教材的内容与呈现情况比较分析

4.4.2.1 章节编排结构分析

各版教材都基本把“机械能及其守恒律”这一部分知识设置在牛顿运动定律及其应用后面。本章可当做是牛顿运动定律的延伸和拓展，在牛顿运动定律的基础上引入功和能的概念，从另一个全新的角度—能量，去研究机械运动以及机械运动与相互作用关系问题。

如表 4.14，各版教材在节内容安排上都是先进行功、势能、动能等基本概念的建立，在此基础上引入几个基本功能关系（如动能定理），最后研究机械能守恒定律。学生在具备相关概念和规律的基础上，学习各种能量转换间的关系，符合认知规律。

表 4.14 四版教材“机械能守恒定律”章节编排结构

人教版（第八章 机械能守恒定律）	司南版（第一章功 和机械能）	翰林版（第四章位能与 力学能守恒定律）	龙腾版（第八章 万功与能量）
1.功与功率	导入：神奇之能	1.重力位能	1.功与动能
2.重力势能	1.机械功	2.重力位能的一般表 示式	2.位能
3.动能和动能定理	2.功率	3.弹性位能	3.力学能守恒
4.机械能守恒定律	3.动能和动能定理	4.力学能守恒定律	4.功率
5.实验：验证机械 能守恒定律	4.势能及其改变 5.科学探究：机械 能守恒定律	5.一维碰撞	

4.4.2.2 知识建立过程分析

经过收集、整理、分析，汇总四个版本教材中知识的建立过程如表 4.15 所示。（以下为讨论方便，均以“势能”、“机械能”来代替台湾教材“位能”、“力学能”的表述。）

表 4.15 四版教材“机械能守恒定律”知识建立过程

	人教版	司南版	翰林版	龙腾版
过程 1	科学家追寻守恒 量的重要事例	建立“机械能”概念	理论推导在只有保守 力作用时，机械能守恒	举例说明动能与势 能可相互转化
过程 2	实例说明动能与势 能可相互转化，建立 “机械能”概念	举例说明动能与势 能可相互转化	机械能守恒定律的应 用	理论推导机械能守 恒定律
过程 3	理论推导机械能守 恒定律	理论推导机械能守 恒定律	推理在有非保守力做 功时，机械能变化情况	建立保守力概念， 讨论保守力特性
过程 4	应用规律，解决问题	实验验证机械能守 恒定律	引入隔离系统，讨论机 械能守恒条件	机械能守恒定律的 应用
过程 5	实验验证机械能守 恒定律	应用规律，解决问题		

经分析可知，各版教材在知识建构过程中的差异可大致概括为以下几个方面：

(1) 在规律得出过程中，各版教材编写的逻辑顺序有所不同。大陆教材主要都是先定性分析“在重力或弹力做功时，动能与势能的转化情况”；再结合理论推理，得出各

种能量在转换过程中的定量关系，并推导机械能守恒定律；最后讨论该规律成立的条件。翰林版则是以保守力为线索，在只有保守力做功的情况下对物体运动进行分析得出机械能守恒定律，再对有非保守力做功的情况进行分析，引入“隔离系统”（如图 4.28），讨论规律成立的条件。而龙腾版则是先理论推导得出机械能守恒定律，再围绕“什么样的系统里机械能会守恒”这一问题，探讨“保守力”与“非保守力”的区别（如图 4.28）。

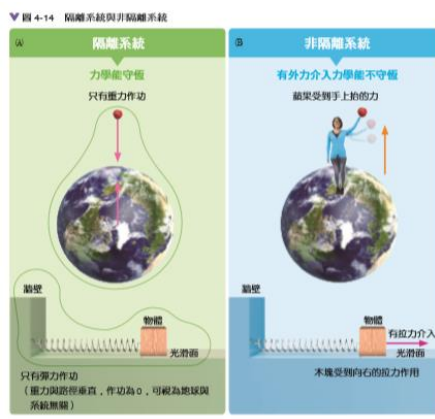


图 4.28 翰林版教材“隔离系统”说明插图

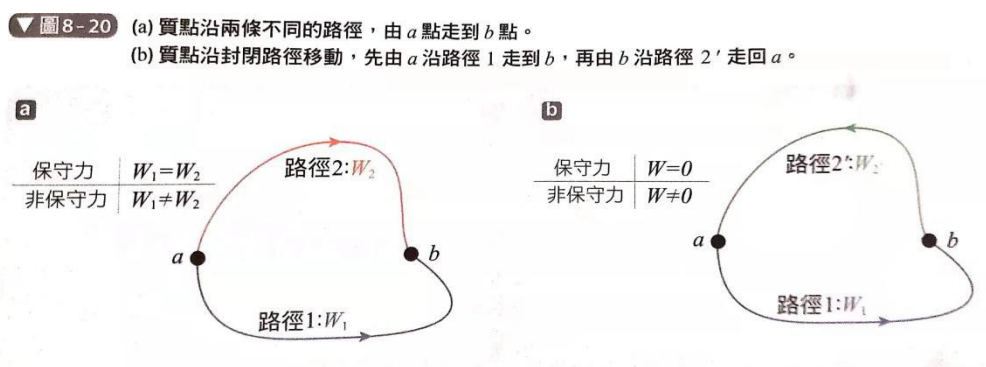


图 4.29 龙腾版教材“保守力与非保守力做功区别”说明插图

值得强调的是，从上述的历史追溯中，我们可以清晰地看到，机械能守恒定律在建立过程中最重要的精神是不引入任何“非保守力”，仅在单一“保守力”作用下，推导出必然存在的能量守恒，或者说“保守力”是这一能量关系的内核。

纵观四版教材，仅有翰林版在规律得出的过程中，紧紧围绕着“保守力”这一观点进行。人教版和司南版在推导机械能守恒定律时，都是从“只有重力做功的情况”进行研究，而对该定律内容的描述则为“只在重力或弹力做功的物体系统内，.....总的机械能保持不变。”诚然，重力和弹力都是属于保守力，但除此之外，引力、静电力等也是保守力。因此大陆教材的这种描述就显得不够全面。学生会以为只有在“重力或弹力做功”

这一情况下机械能守恒定律才会成立，且不明白为何在这两种力作用下系统机械能就会维持恒定不变。

龙腾版则在机械能守恒定律的推导过程中，如图 4.30，引入了外力来平衡重力，这一外力对下落的小球做功，使得小球的势能增加，因此可以用这一外力对小球所做的功来计算出其重力势能的增量。这一处理容易使学生误以为“只有外力对物体做功，其势能才会改变”。且通过引入“非保守力”推导得出机械能守恒定律，而定律的描述却是：“物体在只受重力和弹力作用时……”这种前后不一致的描述，易让学生混淆，导致观念的不清晰。简而言之，通过引入非保守力做功得出势能变化，不但在推导机械能守恒定律时完全不需要，而且它更不能清楚地强调与衬托出机械能守恒定律“仅在保守力作用下方能成立”的条件。

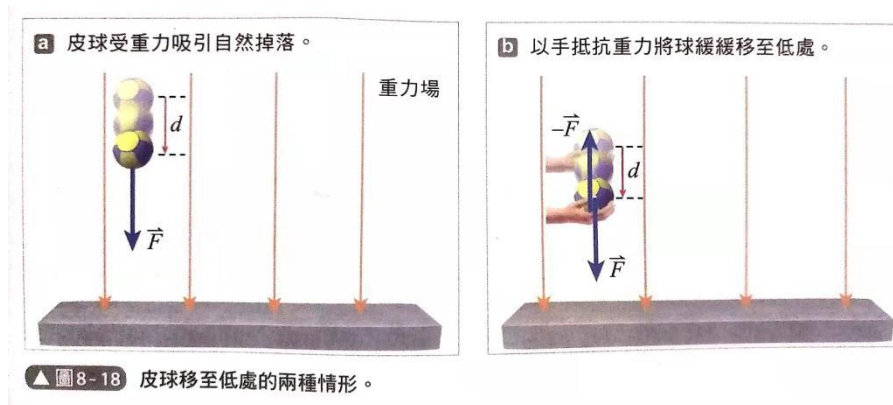


图 4.30 龙腾版教材“机械能守恒定律”推导过程

(2) 相比台湾教材，大陆教材除用理论推导得出机械能守恒定律外，还设置实验验证规律环节，如图 4.31、图 4.32。

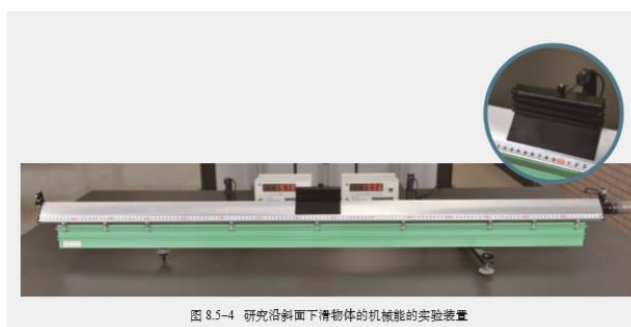
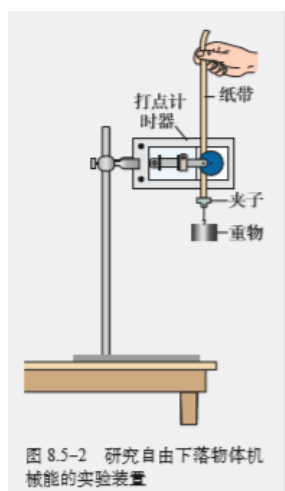


图 4.31 人教版教材实验装置

图 4.32 司南版教材实验装置

(3) 在规律的应用上,台湾教材讨论了机械能守恒定律在“轨道运动”、“抛体运动”、“单摆运动”、“简谐运动”等方面的应用(如图 4.33、图 4.34),并辅之以例题,内容丰富且深入。而大陆教材均以例题训练的方式呈现,且只涉及“单摆运动”。内容较单一且与生活联系较少,呈现方式也较为单调。

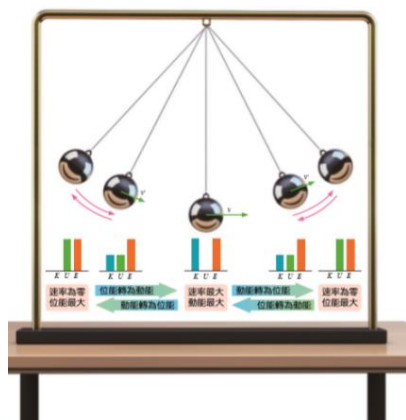


图 4.33 翰林版教材“单摆运动”插图

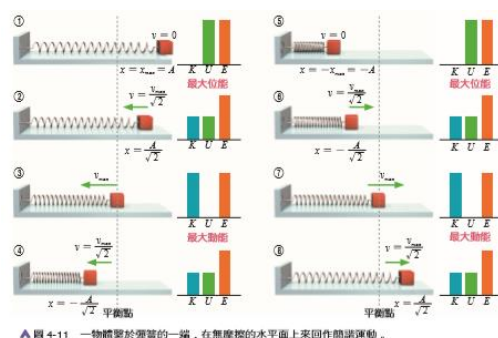


图 4.34 翰林版教材“弹簧振子”插图

4.4.4.3 教材科学史及科学本质内容分析

1. 科学史呈现及内容对比分析

经分析后可知,各版教材在本节课中都无法呈现相关的物理学史,仅人教版在开篇部分以“伽利略斜面实验”来引入“守恒量”这一观点,故接下来将着重讨论各版教材在知识建构过程中所透露出的科学本质意涵。

2. 科学本质层面对比分析

表 4.16 教材“机械能守恒定律”一节体现的科学本质内涵

科学本质内涵	对应教材及内容说明
科学研究方法的多样性	人教版、司南版都是结合生活经验来理解动能与势能间的定性关系,再通过数学推导得出机械能守恒定律,最后诉诸于实验来验证理论推导结果的正确性,体现了数学推导与经验、现象的结合在物理学发展中的重要性 人教版、司南版、翰林版、龙腾版在知识建构的过程中,探讨的都是与运动有

科学的累积 关的问题。譬如，为说明“在只有保守力做功时，机械能可从一种形式转化成性、重复性与 另一种形式”，列举的大量与运动有关的例子。再比如，在应用环节，所要讨论的也是如何用该规律更简便地处理与运动有关的问题。物理学的思考核心一直集中在运动课题上，此渊源流长的自然哲学传统思想成为近代西方科学的基础，这也是科学本质中欲呈现的一项特征

4.4.3 基于培养学生科学本质观的教学建议

4.4.3.1 突出“保守力做功”特性，全面、深入理解规律

在学习机械能守恒定律时，常被一些问题所困惑，如：为什么在重力或弹力做功的系统内机械能就会守恒？若系统中还有除这两个力之外的其他力做功，是否机械能就一定不守恒？若重力或弹力同时做功，系统内机械能是否还守恒？对守恒条件的判定和机械能守恒定律的理解，既不深刻、也不全面。

机械能守恒定律的核心是在“只受保守力作用的情况下”推导出来。在理论推导的过程中，教师可参考翰林教材，列举实例让学生明白何为“只有保守力做功的情况（包括系统仅受保守力作用和系统虽受除保守力外的其他力作用，但这些力所做的总功为零两种情形）”。然后，在这一基础上，强调保守力沿任意路径所做的功相同，故可由起点和终点的势能来表示功，故可以得到 $W=U_1-U_2$ ，又由动能定理可知，可以得到 $W=K_2-K_1$ 。最终，便可得到机械能守恒定律 $U_1+K_1=U_2+K_2$ 。

如此，学生便能理解为何在只有保守力做功的情况下，系统机械能会守恒了。教师还可带领学生共同推导当保守力分别为重力、弹力、万有引力时，机械能守恒定律的具体表示式。

为了加深学生对守恒条件的理解，教师可以用人教版中“思考与讨论”的例子（如图4.35）来引导他们有意识的分析：在真空中下落的过程中由于只有重力做功，机械能守恒。在黏性较大的液体中下落的过程中，除了重力之外还有阻力做功，使得两者虽然重力势能变化相等，但动能变化不相等，显然后者到达 h_2 时的动能要小于前者，故机械能变小。通过这一分析，使学生深刻理解机械能的增减是除了重力等保守力外的力做功的必然结果。

除了定性分析，也可从理论推导的角度解释为何保守力以外的力做功必然会导致势能的改变。通过公式的推导，学生就可以很清晰地了解到，非保守力做功会导致系统机械能的改变，更加深刻地理解规律。

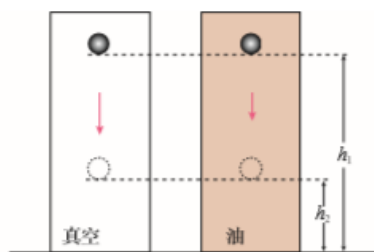


图 8.4-2 小球在真空和油中的下落

图 4.35 人教版中“思考与讨论”

4.4.3.2 联系实例，建构模型，解决机械运动问题

机械能守恒定律是将牛顿运动定律应用于保守力作用下的结果，它们主要的差别是牛顿运动定律为较复杂的矢量方程式，需要考虑力在二维或三维空间中的沿两个方向或三个方向的分力，并列三个代数或微分方程式。而机械能守恒定律则为较简单的标量方程式。无需考虑过程中的力如何变化，运动方式如何复杂，只需明确初末状态的相关能量值，便可极大地简化了求解过程。

在规律的应用环节，教师要多联系实例来创设情境。除了经典的单摆运动，还有弹簧连接体的简谐振动、卫星绕行星、行星绕太阳的轨道运动、忽略空气阻力的抛体运动等，都可用机械能守恒定律来求解相关问题。通过大量的实际问题，让学生明白这类与生活实际相关的运动问题，除了可以用相互作用的观点来解答，亦可用能量的观点来求解。

这样，学生在应用机械能守恒定律解决问题的过程中，不仅巩固了守恒条件的判断，了解用能量观点来解决复杂多变的运动问题的便利性，而且还能体会守恒观念对于描述物理世界的变化规律的重要意义，以形成正确的能量观。

4.4.3.3 引领学生完善知识体系，形成物理观念

功与动能的概念最早是牛顿通过他的第二运动定律推导得到的。功是力概念的引申，但又不是力，不可与力混淆。而物体所做的功一方面与动能相关，另一方面又可由与高度有关的势能差来表示，也就是说，功可定义出动能和势能。有了势能的概念后，机械

能守恒定律便可被轻松建立起来。以上是力-功-动能-势能-机械能等概念以及牛顿第二运动定律-功能关系-机械能守恒定律等规律在历史上发展的逻辑顺序。

在学习本节课时，教师应有意识地引导学生对相关知识进行梳理，启发他们围绕运动、相互作用与能量概念，来串联相关知识点，帮助他们生成完善的知识体系，这样的处理不仅可以让学生能更加深刻地理解规律，有助于后续对问题的处理，也有利于学生形成正确的物理观念，深化运动与相互作用观、能量观。

第5章 基于培养学生科学本质观的教学实践研究

5.1 教学实践研究的目的与计划

5.1.1 研究目的

从科学实证的角度,研究基于培养学生科学本质观而融入科学史内容的教学和常规教学相比,在促进学生掌握知识和理解科学本质等方面的效果是否具有一定的变化。

5.1.2 研究思路

本次实验选取两个平行班为研究样本,分为实验班和对照班。实验前,对两个班级进行问卷调查,以了解学生对科学本质的理解情况以及对相关知识的掌握程度,并以此调查结果和单元考试成绩共同作为学生的前测成绩。然后根据已有的理论基础和前测问卷的结果设计教学内容,在实验班实施基于培养学生科学本质观的教学,在对照班实施常规教学,在实验后进行后测问卷调查,检验两种不同的教学方式对于影响学生科学本质理解方面的差异。

本次实验的自变量是教学方式,自变量有两个水平,分别是基于培养学生科学本质观而融入科学史内容的教学方式和常规的教学方式,因变量是被试学生的后测问卷结果。实验班和对照班均由笔者任教。实验中应保证,除教学方式外,影响教学效果的其它因素如教学内容、作业、课时等均一致。

实验从2020年10月开始,于2020年11月结束。

5.1.3 测量工具设计

5.1.3.1 高中生科学本质观调查问卷

此次使用的高中生科学本质观调查问卷是在以本研究框架下科学本质的3个层面17个维度为观测指标的基础上,又通过查阅文献,对问卷中相关题目的陈述加以修改,并形成初稿。为了保证问卷的科学性和有效性,在初稿完成后,笔者先请本专业的几位专家导师和当地高中的几位物理教师进行审阅,对问卷中各个指标的合理性、在问题的表述中所选用词的恰当性等内容进行评估。然后,认真听取各位老师的修改意见,对各个

题目的内容和表达语句反复推敲,更改了一些学生比较生疏和意思模糊的词汇,最终形成本研究所使用的高中生科学本质观调查问卷。问卷分别在实验前后发放,为保证结果的稳定性,后测问卷调查在实施实验后的1个月后进行。

问卷设计的思路是将高中学生科学本质观划分为3个一级指标,3个一级指标再分别对应下属共17个二级指标,其中各个二级指标均包含两道测试题目,1道正向题目和1道负向题目,总计34道题目。每道题目的选项分别为:非常同意、同意、不同意、非常不同意。该问卷的量化计分标准为:正向叙述题目选择非常同意计4分,同意计3分,不同意计2分,非常不同意计1分;负向叙述题目选择非常同意计1分,同意计2分,不同意计3分,非常不同意计4分。(见附录4)

5.1.3.2 自由落体运动知识测试卷

为测查在实验后实验班和对照班学生对自由落体运动相关内容的理解情况,笔者编制了本节课知识内容相关选择题6道,均为单项选择题。

5.1.3.3 教学效果评估问卷

为了解学生对基于科学本质的自由落体运动教学的反馈,确定这类教学形式的课堂教学效果,笔者分别从“学生的态度反馈”、“课堂教学效果”、“培养学生物理学科核心素养的作用”三个维度编制了6个题目(具体分布如下表所示)。本问卷仅针对实验班使用。

表 5.2 教学效果评估问卷内容分布表

调查维度	题号
学生的态度反馈	1、2
课堂教学效果	3、4
培养学生物理学科核心素养的作用	5、6

5.1.4 样本选择

选取漳州市某所高中的高一年级两个平行班作为实验班和对照班,两个班的人数均为52人,且都由同一个物理老师任教。研究样本的分布情况如表5.3所示。

表 5.3 研究样本分布情况

组别	人数	男	女	总人数
实验班	52	28	24	104
对照班	52	29	23	

5.1.4.1 学习水平基础

在进行该实验的一个星期前，该校高一年级进行了单元考。笔者对搜集到的实验班和对照班的单元考成绩进行了统计分析和差异性检验，结果如下：

表 5.4 研究样本单元考成绩对比表

组别	样本容量 (n)	及格率	优秀率	最高分	最低分	平均分 ($\bar{X}$)	标准差 (σ)
实验班	52	60.62%	25.32%	85	22	49.21	13.04
对照班	52	61.23%	24.05%	83	19	48.95	12.01

对实验班和对照班的单元考成绩进行 Z 检验，以判断两个班级学习水平上的差异情况：

$$Z = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} = \frac{|49.21 - 48.95|}{\sqrt{\frac{13.04^2}{52} + \frac{12.01^2}{52}}} \approx 0.227 < Z_{0.05} = 1.96$$

上式的结果表明，在 5% 的显著性水平之下，实验班和对照班的成绩差异不显著，学习水平基本相同，因此可以作为实验班与对照班。

5.1.4.2 科学本质观基础

基于本次实验的目的，在实验教学开始之前，对两个班开展了关于科学本质观的问卷调查。此次前测问卷共发放 104 份，收回 103 份，有效率 99%。在调查结束后，以“科学知识层面得分”、“科学探究层面得分”、“科学事业层面得分”和“科学本质总得分”四个维度为因变量，“实验班”和“对照班”为自变量，用 SPSS24.0.0.0 对所搜集到的数据进行独立样本 T 检验，结果如下：

表 5.5 研究样本科学本质观水平的前测差异

维度	实验班		对照班		Sig. (双侧)
	均值	标准差	均值	标准差	
科学知识层面	34.01	3.72	34.62	3.98	.419
科学探究层面	36.95	3.67	36.47	3.42	.178
科学事业层面	23.36	3.34	23.78	3.02	.463
科学本质	94.23	7.23	94.87	6.72	.687

上述结果表明,实验前两个班级在“科学知识层面”、“科学探究层面”、“科学事业层面”以及“科学本质”的P值均大于0.05,不存在显著差异。这说明,两个班级的科学本质观水平差异不大,具备成为本次研究两个比对样本的条件。

5.2 基于科学本质的“自由落体运动”教学设计

5.2.1 教学模式的选择

教学模式是指在教学理论指导下建立起来的各种教学活动相对稳定的基本框架和方案。每种教学模式的应用都有它的适用条件,为达成促进学生科学本质理解这一目标,HPS教学模式是较好的选择。HPS教学模式是以HPS教育为指导思想,以理解科学本质为教学目标,以建构主义为理论基础,建立起来的一种比较成熟的教学活动框架体系。目前已有的HPS教学模式主要有:孟克和奥斯本^[68]的融入模式、互动历史小片段(IHVS)模式、对话教学模式、锚定历史(AIH)模式等。

其中,孟克与奥斯本的融入模式是目前比较成熟并且应用也较多的HPS教学模式,其他几类模式或多或少都是在融入模式基础上的衍生,因此,本次研究选择孟克与奥斯本的融入模式作为教学模式构建的基础。下面对该教学模式进行简要的介绍。

孟克与奥斯本的融入模式是一种以建构主义理论为基础,将HPS内容融入中小学科学课程,从而促进学生理解科学本质,提高学生科学素养的教学模式^[58]¹⁸。孟克和奥斯本认为“科学史融入课程教材需要关注学生已有概念与科学发现的历史和文化情景,科学史故事应以社会历史情景为主轴,介绍科学家的想法、面对的困难、促使新想法的原因等”^[69]。这一模式的提出为传统的讲述式的科学史教学打开了新的视角,它强调科学史的教学要与探究性实验相结合,通过学习历史上典型的科学研究案例,让学生自己

设计实验, 检验猜想和假说^[70]。这一教学模式包含六个操作阶段, 因此又称为“六段法”融入教学模式, 具体内容如下表所示:

表 5.6 孟克与奥斯本的融入模式的六个操作阶段

阶段	内容与目的
1. 展示 (Presentation)	引出历史上物理学家曾经研究过的问题或自然现象, 或借助演示实验, 吸引学生的注意, 产生待解决的问题
2. 引出 (Elicitation)	教师利用多种方法引导学生提出各自不同的观点, 甚至为观点提供证据、作出解释, 鼓励学生经历积极的思考过程。
3. 历史研究 (Historical Study)	教师通过口述、课本、多媒体等多种方式向学生介绍与该论题有观的物理学史料, 如不同科学家对该论题的不同观点、科学家对其观点的论证过程与方法、相关的社会科学背景等
4. 设计测试 (Devising Test)	基于学生和科学家的观点, 鼓励学生积极思考, 选择一种认为正确的观点, 并合作设计能够验证观点的实验, 进行展示。
5. 科学观点与实证性测试 (the Scientific Ideals and Empirical Tests)	教师介绍科学的观念, 帮助学生实现错误观念的转变, 并用正确的科学观念来解释自然现象、实验结果, 或基于科学观念进行实验, 获取更准确可靠的证据
6. 回顾与评价 (Review and Evaluation)	通过多种形式回顾冲突解决的成果, 进行思考并开展讨论, 主要是为提高对科学本质的理解, 作为课堂的升华

孟克与奥尔斯的融入模式把 HPS 内容集中体现在历史研究进程上, 整个过程注重学生的参与和实验探究, 目标明确, 针对性强。但是, 它并不是适用于所有教学内容, 其前提是课题内容所涉及的现象和问题是历史上的科学家所研究过的, 并且它还受实际教学环境、学生水平等因素的制约, 因此在实施教学前应当根据实际情况选择并进行相应的调整, 不可完全照搬硬套。因此, 本研究采用孟克与奥尔斯的融入式教学模式, 但也根据物理学科的特点、学生的认知水平及具体的教学内容等进行了适当的调整。

5.2.2 教学片断案例

前文已经从科学本质的角度比较分析了海峡两岸的四版教科书对“自由落体运动”

一课的编排差异，追溯与挖掘了相关的物理学史背景及蕴含的科学本质价值，并调查了解了学生的知识和科学本质观水平。在此基础上，本文对相关材料进行了整理、筛选，综合考虑了教学的客观因素与学生的主观因素，设定了最能体现科学本质的教学目标，选取了最有利于培养学生科学本质观的内容，以孟克与奥尔斯的融入模式开展教学设计（具体教学设计见附录1）。

下面展示其中几个片段：

（1）案例1：物体下落快慢与重力的关系

环节1、创设情境 提出问题

【多媒体展示】苹果掉落、水滴从屋檐低落、树叶飘落

师：下落运动是一种生活中非常常见的运动。

环节2、启发思考 引出观点

师：不同的物体下落快慢是否一样呢？物体下落的快慢由哪些量决定？请结合生活经验回答。

生1：不同物体下落快慢应该是不一样的，下落快慢应该是由质量决定。质量大的下落快，质量小的下落快慢。比如从树上掉落的苹果要比树叶快得多。

生2：质量大的物体也可能运动的比较慢，比如一张纸揉成的纸团也可以比两张纸下落得快。

生3：.....

环节3、学习历史 重演论证

【呈现史料】亚里士多德的哲学观点与伽利略的逻辑推理

师：说起落体运动，不得不提起古希腊伟大的科学家亚里士多德。他把物体位置的变化称为运动，然后再将其分为两类。一种是朝向其目的的运动，叫做“自然运动”，本性为重之物（水、土），其目的为地球之中心，故会往下落，比如粉笔、石头；另一种就是与“自然运动”相反的运动，叫做“非自然运动”或“受迫运动”，本性为轻的物体（火、气、灵魂），其目的为天体，故会往上飞。在这一观点的指导下，亚里士多德通过大量观察及事实经验归纳提出：物体的下落快慢取决于物重和介质密度，他认为重物会比轻物下落的快。

师：由于这一观点与人们的生活经验极为相符，因此在提出之后的两千多年都被奉为经典，直到谁的出现，它的地位才得到了动摇？

生：应该是伽利略。

师：没错，那就让我们来看一下伽利略在当时是如何有力地反驳这一观点的。

【呈现史料】伽利略的思想实验

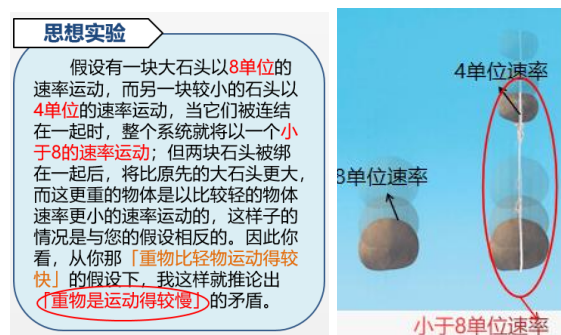


图 5.1 伽利略的思想实验

环节 4、设计实验 验证观点

师：伽利略的逻辑推理是不是很巧妙呢？那我们可以设计一个实验来更加直观、有力地支持伽利略的观点吗？

学生讨论交流、设计实验

【演示实验】把硬币粘到纸上，看成一个物体，从同一高度同时释放一张轻纸、一个硬币、硬币和轻纸的结合体。

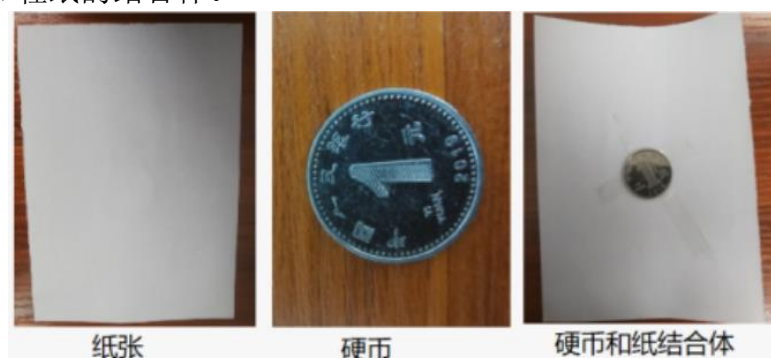


图 5.2 演示实验

【观察现象】硬币先落到地上，硬币与轻纸结合体第二个落到地上，轻纸最慢。

师：把硬币放到轻纸上，硬币被轻纸托起而速度减慢，轻纸被硬币压下而速度加快，所以整体速度小于单个硬币，大于单张轻纸的速度。

师：但是，将硬币与轻纸看成一体时总重力增加了，按照亚里士多德的观点，它下落的速度应该比单个硬币下落的速度快。我们的实验便是依据伽利略思想实验所设计，

他由该实验得出“重物运动较慢”的逻辑矛盾，反驳了亚里士多德观点。

环节5、得出结论 转变观点

师：总结以上两个实验，可得出什么结论？

生：物体下落的快慢与质量无必然联系！

环节六、回顾总结、客观评价

师：为什么亚里士多德会产生这种错误的认识呢？如何客观地评价亚里士多德的成就和局限性？

学生讨论、交流

师：亚里士多德的观点是直接通过观察归纳得到的，在当今看来我们自然很容易证实它是错误的，但在他所处的年代，这观点恰好顺应了当时的时代背景和宗教信仰的需求，且当时多数的思想家、哲学家也都靠纯粹的思考获得知识，所以亚里士多德的运动理论也有一定的意义，至少在当时来说，那是正确的，并且其观察归纳的方法也推动了科学的发展。我们不能全盘否定亚里士多德的工作，而是应当客观认识到科学是不停发展的，以前为真的观点可能会被证伪，当下证实的结果也未必永远为真。

师：从上述的讨论中，伽利略有什么精神是值得我们学习的？

生：伽利略敢于向权威挑战，勇于质疑的科学精神。

【设计意图】先呈现伽利略的思想，体现逻辑推理思维的精妙，再用生活中常见的纸张硬币做演示实验，取材方便、操作简单却现象明显，有力地观点提供支持。

（2）案例2：物体下落快慢与重力的关系

环节1、提出问题 猜想讨论

师：那实际生活中物体下落的快慢可能受什么因素影响呢？

学生思考、讨论

师：纸张与纸团质量相同，下落快慢却不同，是因为他们什么不同呢？

生：体积、形状。

师：体积在物体下落的过程中会影响到什么呢？

生1：体积越大，受到的空气阻力越大！

生2：所以影响物体下落快慢的可能就是空气阻力！

师：但是我们生活在充满空气的大气表面，完全没有空气的情况是不存在的，要如何验证这一观点呢？

环节 2、学习历史 了解方法

师：伽利略猜想在没有空气阻力时，质量不同的物体下落一样快。由于空气阻力不存在这一设想极度不符合人们生活常识，很难被大众普遍接受。当时没有牛顿管，同学们阅读材料，看看当时伽利略是怎么证明？

【呈现史料】伽利略的冲淡阻力实验

萨尔：我们已经看到不同比重的物体速度之差在那些阻力最大的介质中是十分显著的；例如，在水银介质中，黄金不仅比起铅沉底更快，而且它是仅有的下沉的物质；所有其他的金属和岩石都漂浮在表面。另一方面在空气中黄金、铅、铜、岩石以及其他较重材料的球之间速度的变化是如此的微小，从 100 库比特高(1 库比特约 0.5 米)下落的黄金球一定不会超前黄铜球四指宽。观察到这一点，我得出的结论是：在完全没有阻力的介质中所有的物体以相同的速度下落^{[55]78}.....

----伽利略《关于两门新科学的对话》

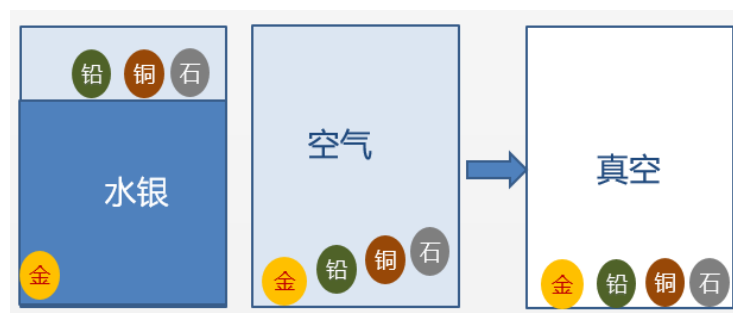


图 5.3 伽利略的冲淡阻力实验

环节 3、设计实验 直观观察

师：这是伽利略在其书中记载的，他本身并没有做这个实验，而是借助逻辑推理完成的。那么，我么能否按照这一思路，自己设计一个实验来证明呢？

学生思考、交流讨论。

【演示实验】让体积相同但质量不同的钢球和玻璃球分别在透明的洗衣液、水、空气中同时下落，观察它们的下落快慢。

【观察现象】钢球和玻璃球在洗衣液中的下落速度差距最大，水中次之，在空气中则几乎同时下落。

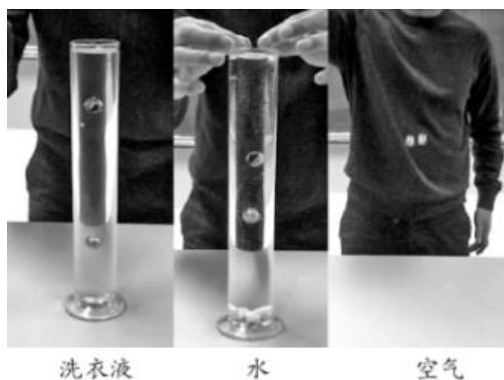


图 5.4 演示：还原伽利略的冲淡阻力实验

环节 4、得出结论 解释现象

师：所以我们可以推测在没有空气阻力时，钢球与玻璃球会怎么样？

生：同时下落。

师：由这个实验，伽利略验证了影响物体下落快慢的因素就是空气阻力。

师：所以在现实生活中人们之所以看到物体下落的快慢不同，是因为空气阻力的影响。如果没有空气阻力，所有物体下落的快慢都一样。

环节 5、回顾总结 提炼思想

师：伽利略在研究问题时采取了什么方法呢？

生：抓住主要因素，忽略次要因素。

师：没错，伽利略就曾说过在科学研究中，懂得忽略什么，有时与懂得重视什么同等重要。

【设计意图】还原“冲淡阻力”实验，让学生真切体会伽利略的探究思路和方法，增强落体运动“新观点”的说服力。

（3）案例 3：数学假设与斜面实验

环节 1、阐述历史 提出问题

师：伽利略是受哥白尼影响很深的科学家。受到哥白尼、开普勒以数学形式得到行星运动规律的启示，他坚信所有的自然现象背后都有一个最简单的数学结构，自由落体也应当是一种最简单的变速运动。

师：他设想，最简单的变速运动的速度应该是均匀变化的。但是，速度的变化怎样才算均匀呢？

生 1：速度随时间均匀变化的加速运动

生 2：下落距离随时间均匀变化的运动

生 3：下落速度随下落距离均匀变化的运动

环节 2、学习历史 推理思考

师：伽利略在这个问题上，曾经也走过弯路。他一开始是提出 $v \propto s$ ，后来自己经过数学推理推翻了这一假设，我们看看他是怎么说的。

【呈现史料】伽利略用反证法推翻 $v \propto s$ 的数学过程

师：若 $v \propto s$ ，这一假设成立，会推导得到物体从 A 到 B 和从 A 到 C 所花费的时间是一样的，这显然不合理，故伽利略放弃了这一假设。后来经过大量的观察和思考他才做出大胆的假设，即 $v \propto t$ ，这正确吗？

生：应该正确。

$$\begin{array}{cc}
 \begin{array}{l} a \\ b \end{array} \left[\begin{array}{l} v_a = 0 \\ 1 \\ v_b = v \end{array} \right. & \begin{array}{l} a \\ b \\ c \end{array} \left[\begin{array}{l} v_a = 0 \\ 2l \\ v_c = 2v \end{array} \right. & \begin{array}{l} t_{A \rightarrow C} = \frac{2l}{\frac{0+2v}{2}} = \frac{2l}{v} \\ t_{A \rightarrow B} = \frac{l}{\frac{0+v}{2}} = \frac{2l}{v} \end{array}
 \end{array}$$

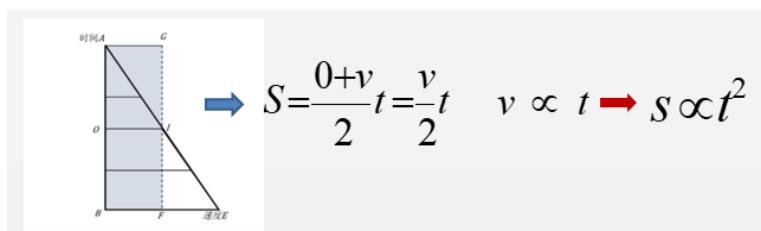
图 5.5 推翻 $v \propto s$ 的数学过程

师：要如何验证？在当时，既没有精准测量时间的秒表，更不可能有测量速度的仪器，伽利略是怎么解决这一问题的？

学生思考、交流

师：伽利略很聪明，既然速度难以测量，他就转向容易测量的距离（或者说长度），通过求得距离与时间的关系来间接证明速度与时间的正比关系。我们一起来看看，伽利略是怎么在两者之间建立起联系的？

【呈现史料】从 $v \propto t$ 推导出 $s \propto t^2$

图 5.6 从 $v \propto t$ 推导出 $s \propto t^2$

师：接下来，伽利略是通过什么实验来验证这一数学关系的呢？

生：斜面实验

【呈现史料】斜面实验



图 5.7 伽利略所记载的斜面实验

环节 3、重演实验 验证假设

师：伽利略是如何计时的？

生：由水量 V 多少衡量时间长短，可以通过 $s \propto V^2$ 来证明 $s \propto t^2$

师：伽利略研究的是自由落体运动，为什么要用斜面进行实验？

生：物体下落的速度过快，难以测量时间，利用斜面可冲淡重力。

【多媒体展示】播放伽利略的斜面实验视频



图 5.8 斜面实验过程

环节 4、合理外推 得出结论

师：伽利略证实了斜面运动满足 $s \propto t^2$ ，下落运动也会满足，依据是什么呢？

生：如果不同倾角的斜面，小球的运动都满足 $s \propto t^2$ ，那么就可以推断当倾角为 90° 时，小球也满足 $s \propto t^2$ 。

师：所以，伽利略通过斜面实验和逻辑推理，得出了什么结论？

生：自由落体运动确实是遵循 $v \propto t$ 。

师：其比例系数后来经科学家测得 $g = 9.8\text{m/s}^2$ ，由此我们可以得到自由落体运动满足什么公式？

生： $v=gt$ 、 $s=\frac{1}{2}gt^2$ 。

【设计意图】斜面实验是物理学史上第一个定量实验的典范。伽利略在实验中所运用的数学推导与逻辑推理方法，以及从中所映射的之一创新精神，是培养学生科学素养的好素材。

环节 5、拓展评价 素养提升

师：伽利略的自由落体运动的规律是通过实验得到的吗？

学生讨论、交流。

师：从伽利略做斜面实验的手稿可以看出，他的数据几经修改，他做这么多次实验的目的是想让自己的实验结果尽可能地满足 $s \propto t^2$ ，从而验证自己提出的数学假设。所以落体运动的规律并不是通过实验得到的，而是源于他相信万物都能用最简单的数学公式来描述。

师：所以，伽利略的核心观点是什么？

生：大自然的语言是数学，自然现象背后都有一个简单的数学结构。

师：他的科学思想又是什么？

生：数学推导与实验验证相结合。

师：爱因斯坦曾经这样评价过伽利略：“伽利略就是近代物理学之父--事实上是近代科学之父。”正是源于他实现物理学的数学化，并由此打开了近代物理的大门。

【设计意图】思想凝练，将本节课所蕴含的科学思想和精神进一步升华。

5.3 实践研究过程及结果分析

5.3.1 研究实施过程

5.3.1.1 前测

2020年10月中旬,该校高一年段学生进行了单元考试,笔者汇总了本次考试实验班和对照班的成绩。同时,在实验开始之前,对两个班学生的科学本质观水平和知识储备做一个问卷调查,共发放问卷104份,收回103份,有效率99%。最后,将调查的结果进行量化统计分析,同学生的单元考成绩一并作为学生前测成绩。

5.3.1.2 教学实施

2020年10月下旬,笔者选定司南版物理必修一《自由落体运动》这一节课,在对照班实施常规教学,在实验班实施基于培养学生科学本质观的“自由落体运动”教学。

5.3.1.2 后测

在授课结束当天,用教学效果评估问卷对实验班学生进行问卷调查,了解授课情况以及学生对这种授课形式的态度。问卷共发104份,收回104份,有效率为100%。

2020年11月,对实验班、对照班学生的科学本质观水平和知识掌握程度再次测量,测量时间为10分钟,共发104份,收回104份,有效率为100%。

5.3.2 研究结果与讨论

5.3.2.1 课堂教学效果分析

为了解基于科学本质教学的授课情况以及学生对这种授课形式的态度,笔者对教学效果评估问卷进行统计、整理,从三个维度的具体分析如下。

1. 学生对科学本质教学的态度反馈

第1问是了解实验班学生对基于科学本质的“自由落体运动”一课教学的态度反馈。如图5.9,有72%的学生表示喜欢这种教学形式,22%学生表示既不喜欢也不反对,仅有6%的学生表示不喜欢。第2问是了解学生在学完本节课后,是否还希望教师在以后的物理课堂中继续讲授物理学史内容。如图5.10,有68%的学生表示希望,26%的学生既不希望也不反对。

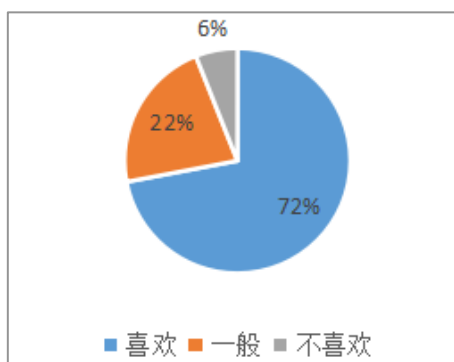


图 5.9 对本节课教学形式的喜欢程度

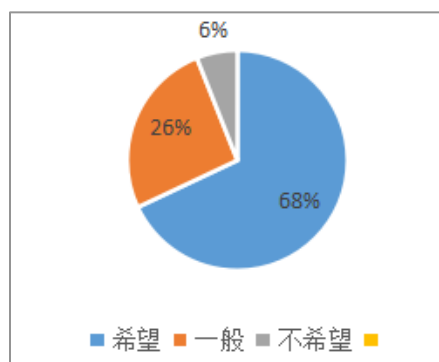


图 5.10 希望教师在以后教授物理学史

研究表明,学生总体上对基于科学本质而融入物理学史内容的教学持认可且感兴趣的态度。笔者在课下与学生交流后得知,部分学生持反对态度是因为高考对物理学史内容没有过多要求,担心用课堂时间来了解物理学史会加重负担,影响学业成绩,还有的是出于畏难心理。

2. 基于科学本质教学的课堂教学效果

第 3 问是了解实验班学生在本节课的学习效率与以前的常规教学相比是否有变化。如图 5.11,67%的学生都感觉跟以前相比差别不大,甚至有 22%的学生感觉跟以前比学习效率提高了。第 4 问是了解实验班学生学习伽利略对自由落体运动研究史,对掌握知识是否有帮助。如图 5.12,52%的学生认为有一定的帮助,36%的学生认为帮助很大。

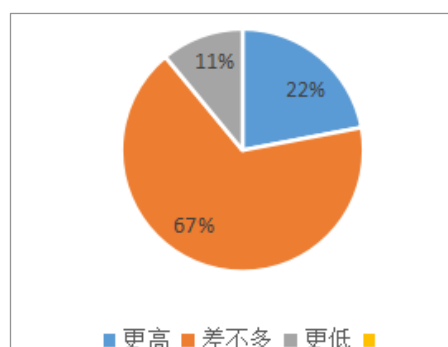


图 5.11 与之前相比学习效率的变化

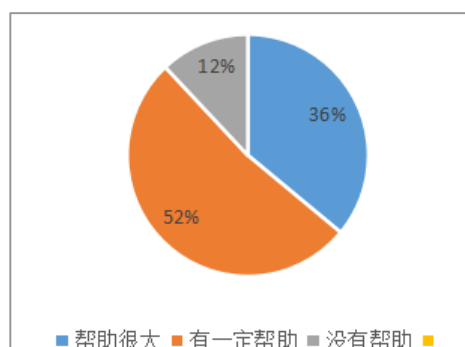


图 5.12 学史内容对掌握知识的帮助

结果表明,基于科学本质教学具备良好的教学效果,不仅没有影响学生的学习效果,还对学生理解、掌握知识有一定的帮助。

3. 培养学生物理学科核心素养的作用

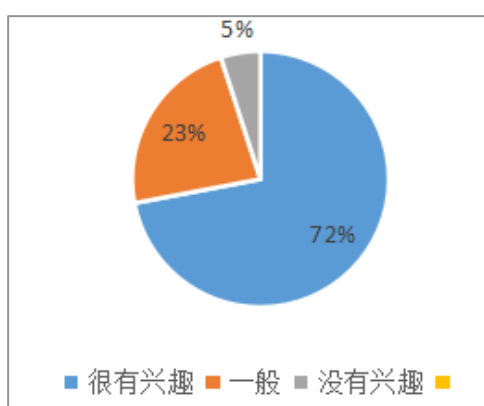


图 5.13 对学史和科学方法的兴趣

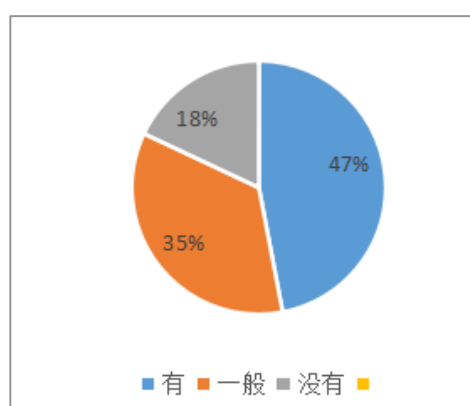


图 5.14 对科学探究精神是否有新认识

识

第5问是了解学生在学完本节后，对物理知识背后的学史知识和科学方法的感兴趣程度。如图5.13，72%的学生表示很有兴趣去了解，23%的学生表示兴趣一般，仅有5%的学生可能出于畏难心理表示没有兴趣。第6问是为了解学生在知道科学家对自由落体运动的历程后，对科学探究精神是否有新的认识。如图5.14，47%的学生表示有新认识，还有35%的学生表示有一定的新认识。综上，基于科学本质的教学对于锻炼学生的科学思维，提升学生的科学探究精神和能力有一定的帮助。

5.3.2.2 学生对科学本质观认识情况量化分析

1. 实验班教学前后对科学本质观的认识比较

为验证基于科学本质的教学方式，能否有效提高学生的科学本质观水平，在调查结束后，以实验班的“科学知识层面得分”、“科学探究层面得分”、“科学事业层面得分”和“科学本质总得分”四个维度为因变量，“实验前”和“实验后”为自变量，用SPSS24.0.0.0对所搜集到的数据进行配对样本T检验，结果如下：

表 5.7 实验班教学前后对科学本质观水平差异

层面	实验前		实验后		Sig. (双侧)
	均值	标准差	均值	标准差	
科学知识层面	34.01	3.72	36.94	3.05	.016
科学探究层面	36.95	3.67	38.95	2.64	.008
科学事业层面	23.36	3.34	25.27	2.32	.023

科学本质	94.23	7.23	101.12	5.75	.000
------	-------	------	--------	------	------

由表 5.7 可知：实验班学生的科学本质观总得分在实验前后存在显著性差异（ $P=0.000$ ），学生科学本质观总得分平均值较之实验前有明显提高。具体到各个层面上，实验班学生在科学知识层面、科学探究层面、科学事业层面检验 P 值分别为 $P=0.016$ 、 $P=0.008$ 和 $P=0.023$ ，均小于 0.05，存在显著差异，且三个层面的均值在实验后都有比较明显的提高。此外，无论是科学本质观总得分还是各个层面的得分，标准差均有明显降低。以上结果都说明基于科学本质的“自由落体运动”教学对于促进学生对科学本质的理解有明显作用。

2. 对照班教学前后对科学本质观的认识比较

理论上，对于实施常规教学的对照班，学生的科学本质观水平在实验前后应该不存在显著差异。根据实验设计，用 SPSS24.0.0.0 对所搜集到的数据进行配对样本 T 检验，结果如下：

表 5.8 对照班教学前后对科学本质观水平差异

层面	实验前		实验后		Sig.（双侧）
	均值	标准差	均值	标准差	
科学知识层面	34.62	3.98	34.94	3.38	.452
科学探究层面	36.47	3.42	37.71	2.55	.036
科学事业层面	23.78	3.02	23.49	2.47	.498
科学本质	94.87	6.72	96.05	5.87	.291

由表 5.8 可知：对照班学生的科学本质观总得分在实验前后不存在显著性差异（ $P=0.291$ ），均值也仅由 94.87 分提高到 96.05 分，变化不明显。具体到各个层面上，学生在科学知识层面和科学事业层面的 P 值分别为 0.662 和 0.574，都大于 0.05，故不存在显著差异；值得注意的是，在科学探究的层面的 P 值为 0.036，且实验后的得分均值略有提升，这说明对照班的学生在实施常规“自由落体运动”一节教学后在科学探究层面的理解有了提高。

3. 实验班和对照班教学后对科学本质观的认识比较

为进一步地了解，实验班和对照班在教学后对科学本质的理解水平的变化是否存在差异，在调查结束后，以两个班级的“科学知识层面得分”、“科学探究层面得分”、

“科学事业层面得分”和“科学本质总得分”四个维度为因变量，“实验班”和“对照班”为自变量，对所搜集到的数据进行独立样本 T 检验，结果如下：

表 5.9 实验班和对照班教学后科学本质观水平差异

层面	实验班		对照班		Sig. (双侧)
	均值	标准差	均值	标准差	
科学知识层面	36.94	3.05	34.94	3.38	.033
科学探究层面	38.95	2.64	37.71	2.55	.057
科学事业层面	25.27	2.32	23.49	2.47	.045
科学本质	101.12	5.75	96.05	5.87	.032

由表 5.9 可知，对照班与实验班的学生在教学前后科学本质观水平总得分的 P 值为 0.032，即存在显著差异，并且实验班学生的后测成绩平均值为 101.12，而对照班的学生后测成绩平均值仅为 96.05。

具体到各个层面上，对照班与实验班的学生在科学知识层面和科学事业层面的 P 值分别为 $P=0.033$ 和 $P=0.045$ ，均小于 0.05，存在显著差异。在科学探究层面维度检验 P 值为 $P=0.057$ ，不存在显著差异，但实验班学生的平均分为 39.91，对照班的分数为 38.58，还是可以看出实验班的学生对科学探究层面理解的提高比较明显。由此可见，本研究中所采取的教学策略，在帮助学生提高科学本质观方面具有显著效果。

5.3.2.3 学生对“自由落体运动”知识的理解情况分析

为了解基于科学本质的教学方式是否会影响学生理解、掌握知识，笔者对问卷中有关自由落体运动知识本身的题目进行数据统计与分析，得到两个班级相应题目正确率的统计分析图如下。

从上表可以看到，实验班和对照班在教学后对于相同题目的正确率相差不大，其中第 35 题的正确率最高，分别达到 92%和 90%，而第 38 题的正确率最低，只有 41%和 38%。由此说明，学生对自由落体运动知识点的掌握情况基本一致，基于科学本质的教学并没有让学生在知识的理解、掌握上落后。

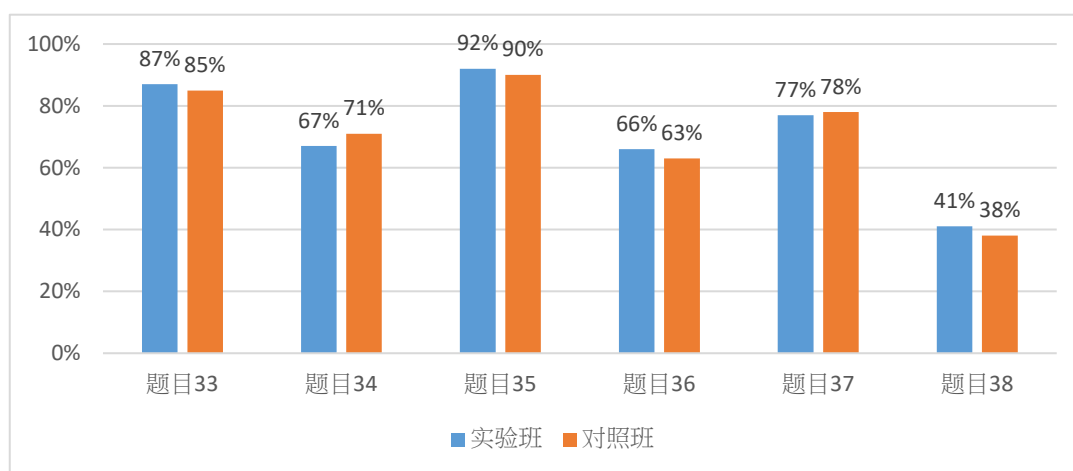


图 5.16 实验班与对照班题目正确率统计图

5.3.3 研究结论

5.3.3.1 基于科学本质的“自由落体运动”教学取得良好的课堂教学效果

研究表明,大多数学生认同基于科学本质的教学形式,且对知识背后的物理学史背景感兴趣;基于科学本质的“自由落体运动”教学不仅没有影响学生的学习效果,还对学生理解、掌握知识有一定的帮助;基于科学本质的“自由落体运动”教学能在一定程度上促进学生正确的物理观念形成,科学思维能力的提升,科学探究意识以及科学态度与责任的养成。

5.3.3.2 基于科学本质的“自由落体运动”教学有助于培养学生的科学本质观

研究表明,在实施基于科学本质教学的实验班,学生的科学本质观不论是在总体水平上还是在各个层面上均有明显的提高,其中科学知识本质层面的差异最显著,科学事业层面次之;而在实施常规教学的对照班,学生总体的科学本质观和在科学知识层面和科学事业层面的变化均不明显。总体上看,实验班和对照班在实践后的科学本质观的变化不论是在总体上还是科学知识和科学事业层面都存在显著差异。虽然两个班级在科学探究层面上不存在显著差异,但是对照班学生的后测平均分还是要略低于实验班学生的后测平均分。因此,基于科学本质的学习能够提高学生的科学本质理解。

在实验后,实验班与对照班学生在科学探究这一层面的得分不存在显著差异,笔者认为可能是受下面几个因素的影响:第一,自由落体运动的这节课的常规教学也涉及到许多探究实验,如:“牛顿管实验”、“打点计时器测量自由下落加速度”等,在这些

丰富的实验内容中对科学探究中的实证性、创造性和非固定性均有所体现，所以学生在常规教学后，这些方面也会有所提升；第二，本次实验只实施了“自由落体运动”这一节课的教学，而一节课很难做到把科学本质的各个要素都体现出来，因此实验班的学生也可能存在对于某些方面理解偏弱的情况；第三，由物理学本身特点及新课标对培养学生物理学科核心素养的需要，高中物理教学必然会注重对学生实验探究能力的培养。因此，这一结果的出现并不足以说明基于科学本质的教学方式对于提高学生的科学本质观无效。但是，这也从中映射出一个问题，教育是一个长期的过程，要想真正地培养学生科学本质观，是需要长期在教学中渗透并使之成为一种教学常态的，而非仅凭一节或两节针对性较强的课就可以解决。

5.3.3.3 基于科学本质的自由落体运动教学没有妨碍学生掌握知识

基于科学本质对自由落体运动一节课进行了教学实践，后测结束后了解到，实验班和对照班学生对于相同题目的正确率相差不大，说明两种教学方式对学生理解、掌握概念、规律的作用相差无几。因此，基于科学本质的教学不仅有利于提高学生的科学本质观，而且也对学生理解、掌握知识有所帮助，没有忽视学生的知识学习。

第6章 总结与展望

6.1 研究总结

本论文在科学本质视野下,对海峡两岸的高中物理教材的力学内容展开了分析研究,并根据研究所得理论结果开展教学研究,具体研究成果如下:

第一,在对国内外的相关研究文献梳理的基础上,并结合自身思考,以刘健智和袁维新的科学本质观点为主要依据,明确本研究框架下的科学本质观内涵及维度要素:科学本质可分为科学知识本质、科学探究本质和科学事业本质3个层面。其中,科学知识本质层面包含认识性、相对性、累积性、重复性、公开性和局限性6个维度;科学探究本质层面包含实证性、非权威性、创造性、多样性、非绝对客观性和预见性6个维度;科学事业层面包含科学与道德、科学与技术、科学与社会、科学家身份和科学共同体5个维度。

第二,系统比较研究了大陆《普通高中物理课程标准(2017年)》与台湾《十二年国民教育基本课程纲要》中对科学本质的要求和阐述。结果表明:两套标准都对科学本质提出显性的要求;但是台湾课程纲要强调跨学科的整合,而大陆课程标准则实施分科。此外,在实践指导层面上两套标准也各有优势和不足之处,如大陆课程标准有对不同教学模块下的具体课程内容进行科学本质要求的阐述,具备一定的指导意义;台湾课程纲要对学生在每一学习阶段中,关于“认识科学本质”这一学习表现都作了具体内容要求;但海峡两岸的标准(纲要)都没有制定学生科学本质理解程度的评价标准,没有呈现运用史料来组织科学本质教育的相关教学案例等。

第三,以科学史内容为分析单位,先统计出两岸四版教材力学部分的科学史处数,再利用本研究建立的科学本质分析类目表,定量统计、比较四版教材科学史内容对科学本质的体现情况,包括科学本质的体现总频次、科学本质3个层面及17个维度的分布差异及章节分布规律等。

结果显示:(1)人教版高中物理教科书力学部分的科学史数量最多,司南版次之,龙腾版最少,但从科学史体现的科学本质次数上来看,人教版和司南版的数量相当;(2)各版教材都出现了科学史内容及其体现的科学本质层面和维度分布不均的情况。这种不均衡,第一类是体现在不同章节科学史及其体现的科学本质的数量相差很大,譬如在“万

有引力与航天”这一章科学史内容及其体现的科学本质维度非常丰富，而“抛体运动”这一章基本没有科学史及与科学本质有关的相关内容；第二类是体现在科学史各类目和科学本质各层面、各维度在数量上的比例失衡，个别要素没有体现等，譬如“科学与道德”在各版教材中几乎都没有体现；（3）很多科学史内容都以旁批、注释的形式出现，或者以简单的一句话呈现，这都不利于培养学生的科学本质观。

第四，从科学本质的视角，选取“自由落体运动”、“牛顿第二运动定律”、“万有引力定律”、“机械能守恒定律”四节力学部分典型的规律课进行深入、定性的研究。首先搜集各个知识点的物理史资料，探讨其发展的来龙去脉及其背后所蕴含的思想方法和科学本质层面内涵，丰富物理学史和科学本质教育的资料；然后，在已有的相关知识发展史背景下比较、探讨两岸四版教材对这四个知识点在处理上的差异，包括“宏观章节编排”、“知识建立过程”和“科学史和科学本质内容呈现情况”等；最后，汲取不同版本教材中在培养学生科学本质方面的优势之处，并整合搜集到的物理学史资料，提出有利于培养学生科学本质观的教学建议。

第五，以“自由落体运动”一节为例，进行了基于培养学生科学本质观融入物理学史内容的课堂教学实践，并且开展了教学效果测量和评价分析。首先，制定教学实践研究计划，选取两个学业水平相近的平行班级为实验班和对照班，并设计高中生科学本质观调查问卷、自由落体运动知识测试卷和教学效果评估问卷；然后根据课程标准中对“自由落体运动”一节的内容要求，以司南版为“蓝本”，取其他各版教材之所长，并整合所挖掘到的科学史资料，采取孟克与奥斯本的融入模式这一教学模式，形成基于科学本质理解的教学设计；最后在实验班采取基于科学本质理解的课堂，对照班采取常规的课堂教学，并在实践后展开教学效果测量。

研究表明：基于科学本质的自由落体运动教学取得良好的课堂教学效果，获得学生的认同，有利于培养学生的物理学科核心素养，有助于培养学生的科学本质观，且没有妨碍学生掌握知识。

6.2 不足和展望

（1）在基于科学本质的教材定量对比上，本研究是先对比分析海峡两岸教材的科

学史内容，在此基础上再对科学史所体现的科学本质进行对比分析。但是，科学本质并非一定只在科学史内容体现，在教材中非科学史的内容也能有所呈现。因此，仅是针对科学史进行科学本质分析，无法全面反映出各版教材科学本质体现情况。在今后的研究中，可跨大研究范围，除科学史外，教材中的其他内容也可纳入对比范畴，更全面、真实地呈现教材对科学本质的体现情况。

（2）由于时间限制，本次研究只选取人教版、司南版必修系列的力学部分以及与其对应的翰林版、龙腾版的选修物理的力学部分作为研究对象，且由于两岸教材有所差异，为减小统计结果的误差，还删去了部分内容。因此，本次研究所选的范围较小，结论适用范围有限。今后，可对除力学部分外教材的其他内容也展开基于科学本质的对比。

（3）在教学实践方面，也存在着以下几点待改进之处：第一，样本不够大。本次教学实践研究只选取一所高中的两个班级分别作为对照班和实验班，得出实验结果不具备普遍性。第二，测量方式不够说服力。只通过问卷的形式很难客观、全面地评估学生对科学本质的理解情况和知识掌握情况。第三，干预时间太短。学生科学本质观的形成需要在长期的教学干预中潜移默化养成，一两节课的时间不可能从根本上提高学生对科学本质的理解。但由于时间的限制，笔者只选取了“自由落体运动”这一节开展教学实践研究，并且仅得到教学1个月后学生科学本质观的再测成绩，而无了解较长时间后学生的科学本质观水平，这使得本次实践研究结果不够客观。

参考文献

- [1] 郭玉英, 姚建欣, 彭征. 美国《新一代科学教育标准》述评[J]. 课程·教材·教法, 2013,33(08):118-127.
- [2] 栗素姣. 科学本质视野下中美高中物理教材中科学史内容分析[D]. 河南师范大学, 2013.
- [3] 项红专. 美国科学史教育特色——理解科学本质[J]. 外国中小学教育, 2006(08):38-41+45.
- [4] 陈彦芬, 高秀岭. 英国国家科学课程标准中的科学探究[J]. 上海教育科研, 2005(06):33-36.
- [5] 中华人民共和国教育部. 全日制义务教育 7-9 年级科学课程标准(实验稿)[s]. 北京:北京师范大学出版社, 2001:1-3.
- [6] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(实验)[s]. 2003.
- [7] 北京:人民教育出版社, 时政文献辑览, 2007(00):876-887.
- [8] 中华人民共和国教育部. 义务教育物理课程标准(2011 年版)[s]. 北京:北京师范大学出版社, 2011.
- [9] 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017 年版)[s]. 北京:人民教育出版社, 2017:1-2.
- [10] 耿书娟. 人教版与台湾龙腾版高中物理教材的比较研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2015.
- [11] Veli-Matti Vesterinen, Maija Aksela, Jari Lavonen. Quantitative Analysis of Representations of Science in Nordic Upper Secondary School Textbooks Using Framework of Analysis Based on Philosophy of Chemistry[J]. Sci&Education. 2011,10(18):1-14.
- [12] Mansoor Niaz, Arelys Maza Nature of Science in General Chemistry Textbooks[R]. Springer Briefs in Education. 2011:1.
- [13] Lederman, N.G, Abd-El-Khalick, F, Bell, R. Schwartz, R.S. Views of Nature of Science Questionnaire: Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science[J]. Journal of Research in Science Teaching. 2002,39(6):497-521.
- [14] Hottecke(2012). HIPST History and Philosophy in Science Teaching: A European Project. Science & Education, 21(9):1229-1232.
- [15] Irwin, A. Historical case studies: teaching the nature of science in context[J]. Science Education, 1998, (84): 5-26.
- [16] Yoon, S.Y., Sub, J.K. & Park, S. (2014). Korean students' perceptions of scientific practices and understanding of nature of science. International Journal of Science Education, 36(16):2666-2693.
- [17] Lederman, N.G, Antink, A. & Bartos, S. (2014). Nature of science, scientific inquiry and socio-scientific issues arising from genetics: a pathway to developing a scientifically literate citizenry. Science & Education, 23(2):285-302.
- [18] 王健, 刘恩山. “科学本质”的研究及其进展[J]. 生物学通报, 2007(06):38-40.
- [19] Oktay Bektas, c*, Omer Gebanb (2010). Turkish high school students' conceptions of the nature of science. Procedia Social and Behavioral Sciences, 2:1982-1986.
- [20] Gulcan Mihalidiza (2014). Science teachers' views about NOS and the place of NOS in science teaching. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 116:3476-3483.
- [21] Lederman, N.G. and Druger M. Classroom factors related to changes in students' conceptions of the nature of science [J]. Journal of Research in Science Teaching, 1985, 22(7):649-662.
- [22] 贺琳. 中美高中物理教材中科学本质呈现的比较研究[J]. 物理教师, 2018, 39(09):65-68.
- [23] 丁建楠. 科学本质视角下高中物理中科学史内容对比研究[D]. 陕西师范大学, 2017.
- [24] 杜娅婷. 高中物理必修模块 HPS 内容分析与教学研究[D]. 安徽师范大学, 2020.
- [25] 张昭健. 高中物理教材科学本质呈现情况比较研究[D]. 曲阜师范大学, 2020.
- [26] 张霄, 丁邦平, 吴晗清. HPS 模式在化学教学中的实践与探索——以“原电池”为例[J]. 化学教育(中英文), 2017, 38(19):9-13.

- [27]魏壮伟. 基于科学本质的“原子的构成”教学设计[J]. 科学教育, 2009(6):54-55.
- [28]汪晓. 基于“5E”教学模式促进科学本质理解的教学实践——以“磁场”教学为例[J]. 物理学, 2018,40(09):40-41.
- [29]邢丽娟, 王振芳. 基于科学本质观的化学课堂教学研究——以鲁科版《化学能转化为电能——电池》为例[J]. 福建教育学院学报, 2015,16(09):86-88.
- [30]张红霞, 郁波. 小学科学教师科学素养调查研究[J]. 教育研究, 2004(11).
- [31]蔡铁权, 姜旭英. 浙江省小学科学教师科学素养与科学本质观现状调查及认识[J]. 全球教育展望, 2007(8).
- [32]高潇怡, 胡巧. 小学科学教师科学本质观的现状调查与思考[J]. 教师教育研究, 2012,24(4):78-84.
- [33]田春风, 郭玉英. 高中物理教学中科学本质教育的现状与建议——基于对一线教师的调查研究[J]. 课程. 教材. 教法, 2010,30(03):45-49.
- [34]魏冰. 高中生对科学本质认识状况的调查报告[J]. 教学与管理(Z2):44-46.1998
- [35]梁永平. 理科教师科学本质教学话语的重建[J]. 教育理论与实践, 2005,(13):61-64.
- [36]张晓童. 高中历史导学案教学策略研究[D]. 江苏师范大学, 2018.
- [37]伊东俊太郎等编, 樊洪业等编译. 科学技术史词典[M]. 北京:光明日报出版社, 1986:400-401.
- [38]李焕云. 科学本质视域下中美初中科学教材中的科学史对比研究[D]. 华中师范大学, 2019.
- [39]丁邦平著. 国际科学教育导论[M]. 太原:山西教育出版社, 2002:3-8.
- [40]美国科学促进协会著, 中国科学技术协会译. 面向全体美国人的科学[M]. 北京:科学普及出版社, 2001:3-11
- [41]McComas W F. The nature of science in science education, rationales and strategies[M]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers,1998: 6-7.
- [42]Moss, D. M., Abrams, E. D.&Robb. J. Examining Student Conceptions of the Nature of Science[J].International Journal Science Education, 2001, 23(08):771-790.
- [43]Osborne, J., Colins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What "Ideas-about-Science" Should Be Taught in School Science A Delphi Study of the Expert Community[J]. Journal of Research in Science Teaching, 40(7):692-720.
- [44]邱明富, 高慧莲. 科学史融入教学以提升“国小”学童科学本质观之研究[J]. “国立”台北师范学院学报, 2004:183-214.
- [45]项红专. 论科学本质的教育[J]. 教育科学, 2005, (03):59-61.
- [46]苏明洲, 高慧莲. 国小科学本质教学与多元评量之探究[C]. 第二十二届中华民国科学教育学术研讨会论文汇编. 台北:国立台湾师范大学, 2006:24-46.
- [47]刘健智. 论中学生科学本质观的内涵[J]. 物理教学探讨, 2006(5):1-3.
- [48]袁维新. 科学本质理论:基本观点与范畴[J]. 科学学研究, 2010, 28(06):809-815.
- [49]刘增泽. 初中物理核心素养之内涵与实践路径初探[D]. 上海师范大学, 2019.
- [50]付丽萍, 姚珩. 力概念发展的历程及教学启示[J]. 物理教学, 审查中.
- [51]姚珩, 余建鑫. 伽利略强调的是实验方法或理论思维? [J]. 科学教育月刊, 2011(345):9-21.
- [52]刘建忠. 物理教学融入物理学史的实践研究[D]. 闽南师范大学, 2020.
- [53]杨艳玲. 基于物理学史的“牛顿运动定律”教学研究[D]. 闽南师范大学, 2019.
- [54][美]爱因斯坦, 英费尔德. 物理学的进化[M]. 上海:上海科学技术出版社, 1962.3,10.
- [55][意]伽利略. 武际可译. 关于两门新科学的对话[M]. 北京:北京大学出版社, 2006.6,106-130.
- [56]陈新辉. 伽利略科学的哲学意蕴[D]. 湘潭大学, 2003.

- [57] 牛顿 I. 自然哲学之数学原理[M]. 王克迪, 译. 武汉: 武汉出版社, 1992.
- [58] Bernoulli J. Recherches physiques et géométriques sur la question selon la fondation faite par feu M. Roullé de Meslay, ancien conseiller au Parlement. Par M. Bernoulli, docteur en droit [M]. 1736.
- [59] 韦斯特福尔. 近代科学的建构—机械论与力学[M]. 彭万华, 译. 上海: 复旦大学出版社, 2000.
- [60] 姚珩. 物理学的基础—力学[M]. 台北市: 中山文库, 1998.
- [61] Varignon, P. (1725). Corollaire général de la Théorie précédente. 174-223. l'Académie Royale des Sciences de France (ed.), Nouvelle mécanique ou statique, vol. 2. Paris: Claude Jombert.
- [62] Clairaut, A. C. (1743). Théorie de la figure de la terre: tirée des principes de l'hydrostatique. Paris: Durand.
- [63] Lagrange, J. L. (1997). Analytical Mechanics (A. Boissonnade, & V. N. Vagliente, Trans.). Netherlands: Kluwer Academic. (Original work published 1788).
- [64] Harman, P. M. (2001). 19 世纪物理学概念的发展—能量、力和物质 (龚少明译). 上海市: 复旦大学. (原著出版于 1982 年)
- [65] Poincaré, H. (2001). 科学与方法 (李醒民译). 沈阳市: 辽宁. (原著出版于 1918 年)
- [66] Waterfield, R., & Bostock, D. (1999). Aristotle Physics, New York: Oxford University Press.
- [67] Descartes, R. (1983). Principles of Philosophy (V. R. Miller, & R. P. Miller, Trans.). Netherlands: Kluwer Academic. (Original work published 1644).
- [68] 郭奕玲, 沈慧君. 物理学史[M]. 清华大学出版社, 2005: 5, 15, 16.
- [69] Monk M, Osborne J. Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for the development of pedagogy[J]. Science Education, 1997, 81(4): 405-402.
- [70] 康倩. 新课标理念下基于 HPS 的高中物理教学设计研究[D]. 山东师范大学, 2019.
- [71] 陈留定. 利用物理学史促进高中生理解科学本质的实践研究[D]. 河南师范大学, 2016.

附录 1: 教材科学史内容统计示例

教材科学史内容统计示例

人教版普通高中物理教科书必修 1					
章	节	页码	科学史内容	类别	呈现方式
序言	物理学： 物质及其 运动规律 的科学	P7	中国古代的天文学成就	5	注释
		P7-P10	物理学发展历程	1	正文
			物理学的研究特点	3	正文
		P11-P12	物理学的应用与未来	5	正文
第一章	第一节	P15	亚里士多德的名言和成就	2	旁批、注 释
		P17	宋代诗人陈与义对运动相对性的理解	5	问题
	第四节	P29	比值定义法	3	旁批
		P32	交通工具与社会发展	5	栏目
第二章	第一节	P44	普朗克的名言和成就	2	旁批、注 释
	第三节	P47	极限求和方法	3	栏目
	第四节	P49	亚里士多德对落体运动的观点	4	正文
		P49	伽利略的思想实验	3	正文
		P49	伽利略的推理与实验相结合的方法	3	旁批
		P52-53	伽利略对落体运动的研究	1	栏目
		P54	从伽利略的一生看科学与社会	5	栏目
第三章	第一节	P59	恩格斯对相互作用的观点	2	旁批
		P61	英国科学家实验发现胡克定律	2	正文
	第三节	P68	大量实例表明力的作用是相互的	3	正文
		P69	牛顿第三定律的应用	4	正文
第四章	第一节	P83	阿西莫夫对牛顿的评价	2	旁批
		P83	爱因斯坦把科学家探索自然比作破案	2	正文
		P83	亚里士多德对力与运动的观点	3	正文
		P83	众科学家对力概念的观点	3	旁批
		P84	伽利略设计的理想斜面实验及思想	1	正文旁批
		P85	牛顿建立第一运动定律	1	正文
		P85	牛顿在出版的《自然哲学的数学原理》提出三条运动定律	2	注释
		P86	伽利略在理想斜面实验中所提结论	4	问题
	第二节	P87、 P90	控制变量法	3	旁批、栏 目
	第三节	P93	牛顿第二运动定律的建立	1	正文
		P93	“牛顿”单位的由来	2	正文
		P96	用动力学方法测量质量	5	栏目
		P98	第 11 届国际计量大会制订国际单位	5	正文

	第四节	P100	基本单位的定义	1	栏目
		P107	超重与失重的应用	5	正文
	学生实验	P116	实验推动了物理学的发展	3	正文

附录 2：教材科学史内容体现的科学本质分析示例

以人教版普通高中物理教材必修 1 第二章第四节“自由落体运动”的“科学漫步”栏目“伽利略对自由落体运动的研究”为例，结合科学本质分析类目表对科学史内容进行分析。

层面	维度	内容说明	是否体现
科学知识	认识性	人们疑惑地问道：为什么日常生活中常会见到，较重的物体下落得比较快呢？伽利略把原因归之于空气阻力对不同物体的影响不同	是
	相对性	该科学史内容没有体现相对性的相关内容	否
	累积性	利用逻辑推理说明了重物与轻物下落得同样快后，伽利略并没有就此止步，而是进一步通过实验研究了自由落体运动的规律	是
	重复性	伽利略做了上百次实验，结果表明……	是
	公开性	该科学史内容没有体现公开性的相关内容	否
	局限性	他考虑了两种可能：一种是 v 与 t 成正比，另一种是 v 与 x 成正比，后来他发现，如果 v 与 x 成正比，将会推导出十分荒谬的结果	是
科学探究	实证性	伽利略想办法用实验来检验 v 与 t 成正比的猜想是否是真实的	是
	非权威性	该科学史内容没有体现非权威性的相关内容	否
	创造性	伽利略对运动的研究，不仅确立了许多用于描述运动的基本概念，而且创造了一套对近代科学的发展极为有益的科学方法	是
	多样性	落体下落得很快，而当时只能靠滴水计时，还是不能测量自由落体运动所用的时间。伽利略采用了一个巧妙的方法，用来“冲淡”重力	是
	非绝对客观性	该科学史内容没有体现非绝对客观性的相关内容	否

	预见性	他从这个信念出发，猜想落体一定是一种最简单的变速运动	是
科学事业	科学与道德	该科学史内容没有体现科学与道德的相关内容	否
	科学与技术	伽利略所处的时代技术不够发达，无法直接测定瞬时速度，所以也就不能直接得到速度的变化规律	是
	科学与社会	该科学史内容没有体现科学与社会的相关内容	否
	科学家的身份	该科学史内容没有体现科学家的身份相关内容	否
	科学共同体	该科学史内容没有体现科学共同体的相关内容	否

附录 3：教材科学史内容对科学本质的体现情形统计结果

四版教材力学部分的科学史内容对科学本质的体现情形统计表

科学本质	层面	维度	人教版	司南版	翰林版	龙腾版
	科学知识	认识性	9	5	5	3
		相对性	3	8	4	2
		累积性	5	9	8	2
		重复性	3	3	1	1
		公开性	5	7	7	2
		局限性	3	5	7	1
		总计	28	37	32	11
	科学探究	实证性	12	9	7	6
		非权威性	4	5	1	0
		创造性	8	4	6	4
		非固定性	4	2	1	0
		非绝对客观性	0	1	5	1
		预见性	6	4	5	1
		总计	34	25	25	12
	科学事业	科学与道德	1	1	1	0
		科学与技术	12	14	7	3
		科学与社会	11	8	4	1
		科学家的身份	5	2	2	2
		科学共同体	2	6	6	4
		总计	31	30	20	10
	三个层面总计 （次）		93	92	77	33

附录 4：高中生科学本质观调查问卷

高中生科学本质观调查问卷

一、科学知识

1. 世界是可以被认识的，科学是解释自然的一种有效尝试。
A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意
2. 可以用科学知识来预测生活中某些自然现象的发生。
A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意
3. 科学理论具有发展性，在当下为真的知识在未来仍可能被改变或推翻。
A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意
4. 科学知识是永恒不变的真理。
A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意
5. 科学知识的形成是需要经过长时间的积累。
A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意
6. 如果一个理论不能给予一些自然现象合理的解释，那么它就不能被称为是“科学的”。
A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意
7. 在相同的条件下，科学知识可以被重复的验证。
A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意
8. 科学实验只要有一个科学家做成功就可以算是科学知识，不一定要其他的科学家也做出相同的结果。
A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意
9. 对于观察到的现象，科学家可以只报告他认为有意义的、值得报告的部分。
A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意
10. 当科学家有了新的发现时，他们必须公开发表，让其他人知道。
A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意
11. 你认为课本上呈现的概念和规律一定准确无误的吗？
A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

12. 科学家在观察过程受到主观因素的影响，其所获得的科学知识会有局限性。

- A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

二、科学探究

13. 在科学研究过程中，当有新的想法产生时，可以利用实验的方法来试试看。

- A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

14. 科学理论的形成不一定非要经过试验验证的阶段。

- A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

15. 探究同一科学问题时，科学家都要遵照相同的准则来选择研究方法。

- A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

16. 当两个不同的理论可以解释相同的现象时，科学家通常更倾向于学术上更权威的学者。

- A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

17. 科学家对一些事情的解释，来自于他们的观察和想象。

- A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

18. 科学知识要以证据为基础，不能有科学家自己的想法。

- A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

19. 科学的方法是一个固定的一步一步的过程。

- A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

20. 探究科学问题时，不同的人可能会选择不同的研究方法，如有的人擅长逻辑推理，有的人喜欢实验的方法等。

- A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

21. 我觉得科学家在观察和选择研究方法的时候，会受到他的生活经验和知识结构的影响。

- A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

22. 两位科学家用同种方法各自观察同一实验现象，他们一定会做出相同的报告，得到相同的结果。

- A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

23. 可以用科学知识来预测生活中某些自然现象的发生。

- A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

24. 科学知识只适用于现在, 对于未来可能发生什么没有作用。

A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

三、科学事业

25. 我认为科学家本身的道德观念(如:环保、公德心…等)会影响他的科学研究方向。

A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

26. 我认为科学家在从事科学研究时, 不必考虑到人与人之间的关系。

A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

27. 科学与技术并没有什么区别。

A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

28. 科学可以转化为技术, 变成物质力量, 科学技术是第一生产力; 技术的进步可以影响科学的发展, 如科学工具与测量方法的精确性及可行性等。

A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

29. 科学属于社会和文化传统的一部分, 科学的发展受社会、文化与历史的影响。

A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

30. 科学属于社会和文化传统的一部分, 科学的发展受社会、文化与历史的影响。

A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

31. 我觉得在生活中, 科学家也会运用他所知道的的科学专业知识来解决所遇到的公众事务问题。

A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

32. 科学家只能从事科学有关的事, 不适合做其他领域如政治、文化等的事。

A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

33. 某个科学家的研究成果往往是在前面研究者工作的基础上完成的。

A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

34. 科学家可以单独完成科学研究, 不需要其他团体或个人的帮助。

A. 非常同意 B. 同意 C. 不同意 D. 非常不同意

附录 5: 自由落体运动知识测试卷

自由落体运动知识测试卷

1. 17 世纪意大利科学家伽利略在研究落体运动的规律时, 做了著名的斜面实验, 其中应用到的物理思想方法属于 ()
- A. 等效替代 B. 实验归纳 C. 理想实验 D. 控制变量
2. 物体从某一高度自由落下, 到达地面时的速度与在一半高度时的速度之比是 ()
- A. $\sqrt{2} : 2$ B. $\sqrt{2} : 1$ C. $2 : 1$ D. $4 : 1$
3. 下列说法正确的是 ()
- A. 物体竖直向下的运动是自由落体运动
- B. 自由落体运动是初速度为零, 加速度为 g 的竖直向下的匀加速直线运动
- C. 物体只在重力作用下的竖直向下的匀加速直线运动叫做自由落体运动
- D. 当空气阻力作用较小, 可以忽略不计时, 物体的下落可视为自由落体运动
4. 两个物体在不同高度上自由下落, 同时落地, 第一个物体下落时间为 t , 第二个物体下落时间为 $t/2$, 当第二个物体开始下落时, 两物体相距 ()
- A. gt^2 B. $3gt^2/8$ C. $3gt^2/4$ D. $gt^2/4$
5. 在忽略空气阻力的情况下, 让一重一轻的两块石头从同一高度同时下落, 则下列说法正确的是 ()
- A. 重的石块下落得快, 先着地
- B. 轻的石块落得快, 先着地
- C. 在着地前的任一时刻, 两石块具有相同的速度、位移、加速度
- D. 在着地前的任一时刻, 大石头的速度要大于小石头的速度
6. 篮球运动员原地垂直起跳扣篮, 离地后重心上升的最大高度为 H , 上升第一个 $\frac{H}{4}$ 所用的时间为 t_1 , 第四个 $\frac{H}{4}$ 所用的时间为 t_2 . 不计空气阻力, 则 $\frac{t_2}{t_1}$ 满足 ()
- A. $1 < \frac{t_2}{t_1} < 2$ B. $2 < \frac{t_2}{t_1} < 3$ C. $3 < \frac{t_2}{t_1} < 4$ D. $4 < \frac{t_2}{t_1} < 5$

附录 6：教学效果评估问卷

教学效果评估问卷

亲爱的同学，本次问卷主要了解你在这节课的学习感受。调查结果只用于本人 论文研究。本问卷采用不记名的方式，请你的真实情况作答。非常感谢你的支持和合作。

1. 你喜欢本节课的教学形式吗？（ ）
A. 喜欢 B. 一般 C. 不喜欢
2. 在以后的物理课堂上，你还希望教师讲授相关的科学史内容吗？（ ）
A. 希望 B. 一般 C. 不希望
3. 你认为本节课的学习效率与之前相比（ ）
A. 更高 B. 差不多 C. 更低
4. 学完伽利略对自由落体运动研究的学史内容，对你掌握知识有帮助吗？（ ）
A. 帮助很大 B. 有一定帮助 C. 没有帮助
5. 你对于物理知识背后的学史知识和科学方法有兴趣吗？（ ）
A. 兴趣很大 B. 有一定兴趣 C. 没有兴趣
6. 了解科学家对自由落体运动的历程，你对科学探究精神是否有新认识？（ ）
A. 有 B. 一般 C. 完全没有

感谢你参与此次调查，祝你学习进步！

附录 7：教学设计

《自由落体运动》教学设计

【课 题】《自由落体运动探索回眸》

【教学时间】45 分钟

【教学对象】高一学生

【教 材】司南版必修一第二章第五节

一、教材分析

1.普通高中物理课程标准要求 (2017 年版)

内容要求：结合物理学史的相关内容，认识物理实验与科学推理在物理学研究中的作用。

例 6：查阅资料，了解亚里士多德关于力与运动的主要观点和研究方法。

例 7：查阅资料，了解伽利略研究自由落体运动的实验和推理方法。

2.教材内容呈现方式

在前面学生已经学习了匀变速直线运动的规律以及自由落体运动的概念和相关规律，在这一小节，学生通过了解前面所学规律的发生背景和发展过程，不仅有利于加深对知识内涵的理解，形成正确的物理观念。并且，结合新课标的要求，重点呈现该部分学史内容，可让学生更进一步体会伽利略的探究方法和科学思想，体会科学探索和科学知识发展过程的艰辛漫长性，从而提升学生科学思维能力，帮助学生树立正确的科学本质观。

3.教材的地位和作用

本节课选自司南版必修一第二章第五节。教材把伽利略对自由落体运动的探索过程作为设置为单独的一节内容，从亚里士多德基于生活观察所提出的观点，到伽利略是思想实验的反驳，再到其数学假设及斜面实验，完整地呈现了科学家对自由落体运动的探究历程及其中所蕴含的科学思想和精神。

二、学情分析

在前面的学习中，学生已经基本掌握了自由落体运动的特点及其规律，但只是对

知识的常规理解与应用，对知识背后相关的物理学史内容了解得并不深入。更普遍的情况是，因为教学时数的限制，老师未曾向他们提及这部分学史内容，学生课后也没有去过多了解。学生的生活经验与科学知识之间往往存在很大差异，若不了解知识背后发展的来龙去脉，就很难对其有深刻印象和清晰的理解，因此这节课意在使学生通过学习自由落体规律的发现过程，了解伽利略的思想方法和精神，达到深入理解知识内涵，提升科学思维能力，提高学习物理知识积极性等

三、教学目标

1.物理观念

了解自由落体运动的探究历程，加深对自由落体运动及其规律的理解，树立正确的运动观念。

2.科学思维

- (1) 通过重演伽利略的思想实验，提高逻辑思维能力。
- (2) 通过“冲淡阻力”实验，领悟突出主要因素，忽略次要因素的思想。
- (3) 通过自由落体运动规律的探索历程，理解伽利略的思维方法。

3.科学探究

经历“冲淡阻力”实验和“斜面实验”，重演伽利略提出问题、猜想假设、进行实验、收集证据、解释交流等探究过程，提高科学探究能力，体会逻辑推理与实验手段在科学研究中的作用。

4.科学态度与责任

了解物理学史，认识到科学发展的曲折性与漫长性，学习物理学家锲而不舍的科研精神与毅力，折服于伽利略不迷信权威、勇于创新、敢于奉献的科学精神。

四、教学重难点

1.教学重点

伽利略的斜面实验及研究方法。

2.教学难点

伽利略的两个关于落体运动的数学假设；

伽利略的斜面实验所蕴含的科学思想

五、教学方法

启发引导法，辅之以实验探究法、讲授法、讨论法。

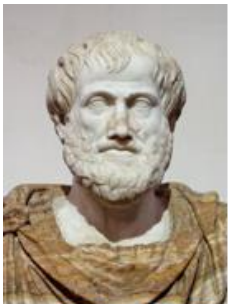
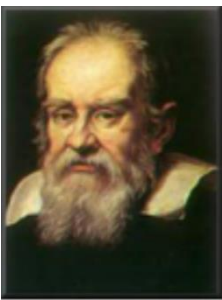
六、教学用具

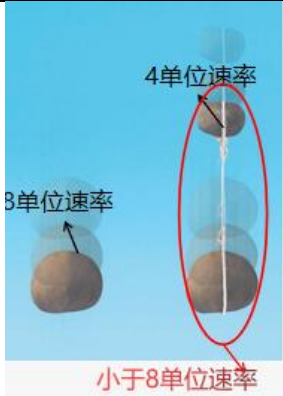
- (1) 一元硬币、纸张、一元硬币与纸张的结合体；
- (2) 分别盛有透明洗衣液和自来水的两个大烧杯、形状、大小相同的钢球和玻璃球；
- (3) 斜面、两个不同质量的铜球、米尺、秒表、节拍器；
- (4) 多媒体资源。

七、教学过程

教学环节和教学内容	教师活动	学生活动	设计意图
环节一：复习旧知 设疑激趣 引导学生回忆上节课所学的自由落体运动的性质、特点、规律等内容，再通过问题串的形式激发学生对伽利略对自由落体运动的物理学史内容的兴趣。	【复习提问】 上节课我们学习了自由落体运动，这是一种什么样的运动？ 【复习提问】 轻重不同的物体做自由落体，运动快慢有什么特点？ 【启发引导】 我们生活的环境充满空气，我们借助什么创造真空环境？ 【复习提问】 很好，那自由落体运动的速度和位移遵循什么规律呢？ 自由落体的加速度	期望回答： 物体只在重力作用下从静止开始下落的运动。 期望回答： 下落快慢相同。 思考回答： 将牛顿管中的空气抽出，此时羽毛和硬币不受空气阻力的作用，就可以研究它们的运动情况。 期望回答： $v = gt$ $s = \frac{1}{2}gt^2$ 可以借助打点	复习刚学过的知识，通过设置问题，引导学生思考知识的由来，激发学生的学习兴趣 and 求知欲。

	我们是如何得出的？ 【引入新课】 在伽利略那个年代，并没有牛顿管、打点计时器和频闪照相这些先进的器材，那他是怎么得出这些重要的结论的呢？	计时器或频闪照相得出 g。 认真听课	
--	--	--	--

环节二：呈现史料 了解背景 教师结合多媒体展示，简要从亚里士多德、伽利略等人生平事迹、历史影响以及物理观点，着重指出他们对自由落体运动的观点，归纳总结亚里士多德的研究方法，客观评价亚里士多德。  亚里士多德  伽利略	【叙述学史】 师：说起自由落体运动，不得不提起古希腊伟大科学家亚里士多德，他通过观察及经验归纳得出，物体下落的速度取决于物重和介质密度并提出：“重物比轻物落得快”。这是否与我们生活经验相吻合。 【提出问题】 这一观点在提出之后的两千多年都被奉为经典，直到谁的出现，它的地位才得到了动摇？ 【提出问题】 那伽利略是怎么巧妙地反驳这一根深蒂固于人们心中的观点的呢？	思考举例： 树上掉落的苹果要比树叶运动的快得多。 期待回答： 伽利略。 阅读材料、思考	对物理学史相关的人物及其贡献娓娓道来，并作客观、全面的评价。改变学生对物理学家的片面认识，加深对科学研究的艰辛和物理学成就的伟大的认识。
环节三：重演历史 亲历探究 情境一、重演伽利略的逻辑推理 先呈现伽利略的思想实验，再用硬币和纸张重演伽利略的思想实验，明确“物体下落快慢与质量无关”，学生体验逻辑推理的魅力。	【呈现史实】 伽利略通过思想实验得出“重物运动较慢”的逻辑矛盾，反驳了亚里士多德观点。 【启发引导】 那我们可以设计一个实验来更加直	阅读材料： 了解伽利略在《两门新科学的对话》中用于反驳“重物比轻物下落得快”的思想实验。	先呈现伽利略的思想，

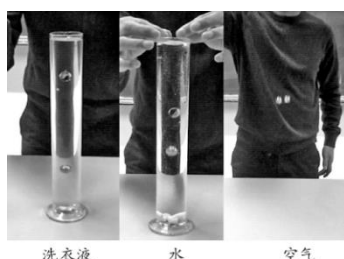
 思想实验  演示实验 情境二、落体运动新观念的树立： 从伽利略的著作《两门新科学的对话》中对阻力的讨论切入，引领学生了解在没有牛顿管的时代，伽利略是如何巧妙地验证“轻重不同的物体下落时间存在差别的原因是存在空气阻力”这	观、有力地支持伽利略的观点吗？ 【演示实验】 把硬币粘到纸上，看成一个物体，从同一高度同时释放硬币、轻纸、硬币和轻纸的结合体。 【分析原因】 把硬币放到轻纸上，硬币被轻纸托起而速度减慢，轻纸被硬币压下而速度加快，所以整体速度小于单个硬币，大于单张轻纸的速度。 【启发引导】 但是，将硬币与轻纸看成一體时总重力增加了，按照亚里士多德的观点，它下落的速度应该比单个硬币下落的速度快，由此我们便可反驳其观点。 【提出问题】 那影响物体下落快慢的因素是什么呢？	认真思考。 观察现象： 硬币先落到地上，硬币与轻纸结合体第二个落到地上。 理解、思考。 认真听讲。 期待回答： 空气阻力。	体现逻辑推理思维的精妙，再用生活中常见的纸张硬币做演示实验，取材方便、操作简单却现象明显，有力地为用户观点提供支持。 忽略空
---	---	---	--

一观点。



“冲淡阻力”实验原型

以书中记载的的实验为原型设计对照实验，进行课堂演示，学生通过观察到的明显现象，合理外推得到“在真空中，轻重不同的物体会同时下落”，进一步强化落体运动的新观点，同时体会物理学研究问题的方法。



课堂演示实验

【启发引导】

伽利略猜想在无空气阻力时，不同物体下落一样快。空气阻力不存在这一设想极度不符合人们生活常识，很难被接受。当时没有牛顿管，伽利略是怎么证明？

【演示实验】

让体积相同但质量不同的钢球和玻璃球分别在透明的洗衣液、水、空气中同时下落，观察它们的下落快慢。

【启发引导】

我们可以推测在没有空气阻力时，钢球与玻璃球会怎么样？

【得出结论】

由此，伽利略验证了影响物体下落快慢因素就是空气阻力。

【启发引导】

伽利略研究问题时采取了什么方法？

阅读材料：

“冲淡阻力”实验：

金、铅、铜、石等小球同时放入水银，结果只有金球下落；放在空气中，下落差距减小，故推测若在真空中会同时下落。

观察现象：

钢球和玻璃球在洗衣液中下落速度差距最大，水中次之，在空气中几乎同时下落。

思考回答：

同时下落。

思考回答：

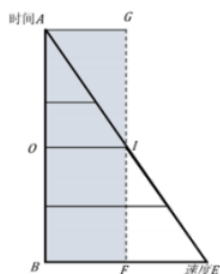
抓住主要因素，忽略次要因素。

气阻力是伽利略开展自由落体运动研究的前提，补充该部分史料内容，使得本节课更加完整、有逻辑性，也是能向学生进行物理研究方法教育。

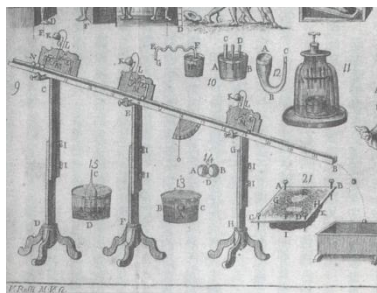
还原“冲淡阻力”实验，让学生真切体会伽利略的探究思路和方法，增强落体运动“新观点”的说服力。

情境三、数学假设与斜面实验:

依照历史发展顺序,从伽利略对落体运动规律的数学猜想的提出,到斜面实验的设计,再到实验结果的推广,领略伽利略的数学思想与实验方法。



$$v \propto t \text{ 推导出 } s \propto t^2$$



斜面实验

【呈现史实】

受到哥白尼的启示,他坚信所有的自然现象背后都有一个简单的数学结构,自由落体也是一种简单的变速运动。

【提出问题】

他设想,最简单的变速运动的速度应该是均匀变化的。但是,速度的变化怎样才算均匀呢?

【启发引导】

伽利略一开始是提出 $v \propto s$, 后经推理推翻这一假设,经过大量观察和思考才提出 $v \propto t$

【提出问题】

假设的正确与否需要实践来验证,当时并没有测量瞬时速度工具,伽利略如何处理这一问题?

认真阅读

思考回答:

速度与时间成正比。

认真听讲

期待回答:

物体下落的速度过快,难以测量

以观察为基础,通过数学方法将各抽象的概念进行量化,并推导出其规律,使学生从另一更高的层面认识自由落体运动,这种将数学与物理完美结合的科学的研究方法,有利于培养学生的科学思维。

斜面实验是物理学史上第一个定

合理外推 环节四：对话拓展 客观评价 小组展开问题讨论，教师归纳总结，提升科学素养。 澄清比萨斜塔实验的误解：	【呈现史料】 $v \propto t$推导出$s \propto t^2$ 【提出问题】 伽利略为什么要用斜面进行实验？ 【演示实验】 再现伽利略的斜面实验。 【提出问题】 小球沿斜面向下的运动并不是落体运动，在此基础上如何得到自由落体运动的规律？ 【得出结论】 自由落体运动确实是满足$v \propto t$。 【提出问题】 1. 伽利略的自由落体运动的规律是通过实验得到的吗？ 2. 伽利略的观念、思想方法、成就贡献是什么？	时间，利用斜面可冲淡重力。 思考： 伽利略用滴水计时的方法，开创了定量测量方法的典范。 理解： 如果不同倾角的斜面，小球的运动都满足s那么就可以推断当倾角为90°时，小球也满足$s \propto t^2$。 讨论、理解： 1. 自由落体运动的规律并不是通过实验得到的，而是源于他相信万物都能用最简单的数学公式来描述。	量实验的典范。伽利略在实验中所运用的数学推导与逻辑推理方法，以及从中所映射的之一创新精神，是培养学生科学素养的好素材。 分组讨论，思想凝练，将本节课所蕴含的科学思想和精神进一步升华。
--	--	--	---

比萨斜塔 课后思考： 对自由落体运动的研究，从亚里士多德到伽利略，延续了两千多年，期间观点不断被修正，可以看到科学发展具有什么特点？	3. 伽利略的精神和思想有哪些值得我们学习之处。 【呈现史料】 未曾有史料显示，伽利略曾在比萨斜塔上做过落体实验。	2. 他的方法是数学推理和实验验证相结合。其突出贡献在于他把数学带进了物理学，实现了物理学的数学化。 思考	帮助学生养成求实科学态度与责任，提升学科核心素养。 感受科学发展的曲折与艰难，加深对科学本质及科学家的钦佩与理解。
--	---	--	---

致谢

攻读学位期间承担的科研任务与主要成果