

成果公报

课题名称：培养高中学生建构和应用物理模型能力的实践研究

课题批准号：DBB14066

课题类别：北京教育科学规划“十二五”一般课题

研究领域：基础教育

课题负责人：何春生 中学高级教师 北京市骨干教师 北京市第八十中学

主要成员：翟小铭、韩叙虹、姜连国、刘永红、赵艳红、张聪、柳文慧、马佳宏、
王朝祥、王巨生、刘友洪

正文：

一、 内容与方法

1.1 研究的问题

物理模型在物理学发展中有非常重要作用，建模教学是创新意识和创新能力培养的需要。结合目前部分高中学生学习高中物理的现状，部分高中物理课程的教学现状。我们的课题着重研究两个的问题。

- (1) 高中学生对物理模型和物理模型作用的认识
- (2) 提高高中学生建构和应用物理模型能力的培养策略的实践研究

1.2 研究的方法

本课题主要采用文献研究法、教育调查法、教育行为研究法。

- (1) 通过文献研究，界定本次研究的核心概念，同时更清晰地认识目前在相关领域理论和实践研究的思路和进展、值得思考的问题，从而明确本次研究的着力点。
- (2) 设置量表在学生中开展模型的本质及其功能的调查，了解学生对模型及物理模型的认识。
- (3) 在课题组及校内开展教育调查，了解目前课堂中概念性知识教学的真实情况，教师们的困惑与思考，为教学策略的提出打下基础。
- (4) 教学策略提出后，采用教育行为研究法，在不同班级进行课堂教学实践，在收集教学效果的基础上进一步优化策略。

二、 结论与对策

2.1 建模教学的教学原则

2.1.1 注重过程性

(1) 注重建模能力培养的过程性

建模能力的培养是一个长期过程，需要在不断的建模实践中积累。当建模经验积累到一定程度时就会发生质的改变，最终使个体的建模能力发生真正的“基因型”的变化，内化为学生自身的素质。

(2) 注重具体物理模型建构的过程性

每一个模型的建构都不是一蹴而就的，每一个模型的建构都需要经历一定的研究过程。建模教学开始前，应该调查学生的认知状态，确定模型建构的起点，注重学生已有的知识经验和思维习惯，遇到复杂的物理模型可以将学生要建构的模型根据学生的知识基础和思维习惯划分成几个层级，让学生逐步逐层建构。教师准备足够多的与要建构模型相关的事实经验，为学生检验和修正模型储备足够多的学习和教学素材。

2.1.2 注重主体性

要创造民主的课堂氛围，让学生充分展示自己的建构的模型和体验建模过程，注重学生自主探究，自主建模。老师主要起主导作用，建模的主体是学生。

2.1.3 注重交互性

(1) 注重学生与实际情境的交互作用

创造或模拟真实的物理情境，让学生与情境间发生交互作用。

(2) 注重学生群体间的交互作用

创造民主、平等、合作的课堂教学环境和氛围，让在思维和观点的碰撞中逐步完善，逐步完成对模型的意义建构。

2.1.4 注重探究性

从物理情境到物理模型，有一定的创新型。开展探究型的建模教学有利于学生综合素养的提高。

2.1.5 注重整合

(1) 建模教学需要整合各种教学资源

模型的建构，不是单一物理概念和物理能力所能支撑的。在建模教学中需要整合各种教学资源。

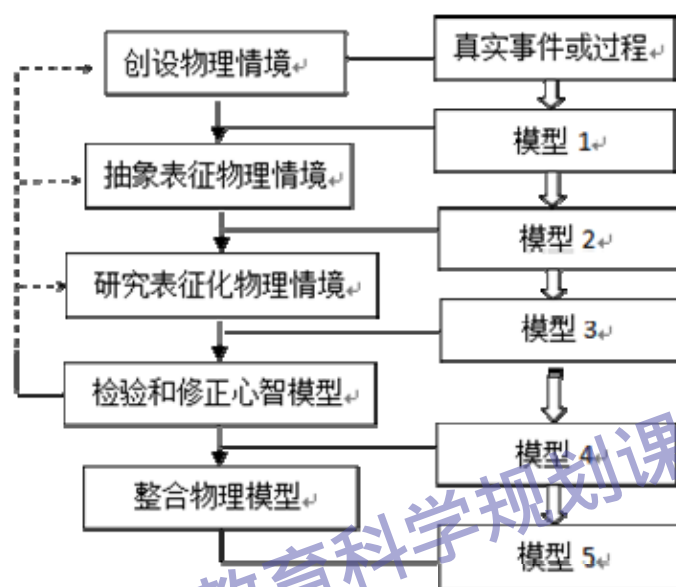
(2) 建模教学需要将学生建构的物理模型整合到学生已有的知识体系之中，学生才能够达到新的认知平衡。

2.2 从实际情境建模的建模教学的一般教学模式

关于建模教学，不同的专家和学者提出了不同的教学模式，如：Hestenes

认为建模教学可以分成：模型建构、模型分析、模型验证和模型应用等四个环节，Hallou 认为，在问题解决过程中模型建构可以分为五个阶段，即：模型选择、模型建构、模型分析、模型验证和模型应用。北京师范大学的翟小铭博士提出模型的建构应该包含如下六个要素：暴露心智模型、表征模型、验证模型、评估模型、修正模型、应用模型。

课题组根据我们对模型、学习进阶和建模教学的理解，通过研究自己和他人的教学实践。对基于学习进阶的建模教学提出了这样的架构。



通过创设物理情境或模拟物理情境，让学生体验真实的一个或一组物理事件或物理过程。通过抽象、概括等方法用图形、图表、符号或其他表征方式将这些物理事件或物理过程表征出来，再调用学生已有相关知识对表征化的物理情境进行分析、解构、重组、并运用概念、判断、推理等逻辑思维和其他形式思维对表征化的物理情境进行加工，通过学生与目标系统的相互作用，逐步形成一系列不断提高的改进的模型。再从不同的角度，不同的维度或用新的物理事实、物理实验等各种途径来检验学生的建构的模型，使学生的建构的模型在检验中不断得到发展，不断得到修正，不断得到完善。如果学生建构的模型在检验过程中被否定，学生还需重复上述过程，重新建构新的建构的模型。直到建构出能够正确描述、解释和预测对应物理事件或物理过程的非常接近于概念模型的模型为止。然后创造条件让学生和目标系统发生相互作用，将已经建构的心智模型通过同化、顺应等心理过程，融入学生已有的知识体系。形成新的容纳了已有知识体系和新建构的心智模型的范围更大或程度更深的新的心智模型。

三、 成果与影响

3.1 结合建模和学习进阶理论，积极组织公开课，研究课

我们课题组组织了多节公开课研究课和专题讲座，一节全国课，3 节市级研究课，2 节区级研究课，1 节获第十二届全国中学物理青年教师教学大赛一等奖，1 节获“北京市中学物理教学比赛”一等奖，1 节获“朝阳区高中基本功优质课”一等奖，2 节在朝阳有线名师课堂播出。详见成果细目。

3.2 总结提高撰写论文，多篇论文发表于各类全国期刊，多篇论文获奖

在进行课题研究的同时老师们认真反思总结，结合自己在研究和学习过程中的心得积极撰写论文。4 篇论文分别发表于《中学物理教学参考》、《物理教师》、《物理通报》、《物理教学探讨》。一篇获市一等奖，一篇获市三等奖。详见成果细目。

3.3 交流推广和展示活动

在课题研究的过程中，我们得到了很多专家和学者的帮助，参与了一些活动，发表了三篇篇论文，做了一些区级市级研究课和展示课，展示和推广了我们的研究成果

(1) 2015 年 10 月在北师大召开的东亚科学教育年会分会场上做了中学物理建模教学的课堂实践的汇报，向参会的来自全国各地的和部分外国学者展示了得到了与会专家与学者的充分肯定与指导，并东亚科学教育学会主席北京师范大学博士生导师王磊教授与汇报者做了面对面的交流与探讨。

(2) 2015 年 9 月和 2016 年 2 月分别在北师大主持的全国重点课题《学科能力教学改进项目》的活动中做汇报展示。

(3) 2015 年 6 月北京市级骨干教师培训班中做建模教学的汇报与展示。

(4) 2015 年 4 月在朝阳区导师带教活动中做展示。

(5) 2016 年 5 月随北京师范大学和首都师范大学的专家学者去广州华南师范大学附属中学参加北京与广州的教育交流活动，做了一节《功》的展示课。

3.3 本研究提出的建模教学模式的应用代表论文

《万有引力定律的应用——中学物理建模教学的课堂实践》，本文发表于《中学物理教学参考》2016 年第 1—2 期合刊（因字数限制有删减）

1、模型和建模教学

模型是理论和实验的中介，是发展物理概念、推理和问题解决的基础^[1]。在科学领域，

模型被视为是对真实世界的一种表征，建模是建构或修改模型的动态过程，即从复杂的现象中，抽取出能描绘该现象的元素或参数，并找出这些元素或参数之间的正确关系，建构足以正确描述、解释该现象的模型的过程^[2]。

建模教学理论的核心观点是认为物理学家是基于模型开展推理的，通过应用例如图形、图表、数学方程等来表征具体的物理情境，从而开始模型建构过程^[1]。建模教学在美国已经有了近 40 年的历史，已经形成了一定的建模理论和建模教学模式。关于建模教学的环节，不同的学者提出了不同的观点。如 Hestenes 认为可以分成：模型建构、模型分析、模型验证和模型应用等四个环节，Hallou 认为，在问题解决过程中模型建构可以分为五个阶段，即：模型选择、模型建构、模型分析、模型应用。北京师范大学的翟小铭博士提出模型的建构应该包含如下六个要素：暴露心智模型、表征模型、验证模型、评估模型、修正模型、应用模型^[3]。笔者认为不同的课型，不同的模型建构过程会经历不尽相同环节，使用不同的要素。

3、教学实践过程

3.1 建构地球表面物体万有引力、重力、向心力关系模型

3.1.1 创设（模拟）物理情境

人们生活在地球表面，习惯于以地面为参考系。对地球表面物体随地球自转做圆周运动缺乏直观的感知。中学生的思维特点是正从直观形象型向逻辑抽象型过渡，思维过程中仍需具体形象的材料支持。所以建构模型时，创设（模拟）物理情景非常重要。把地球仪固定在圆周运动演示仪的转轴上，在地球仪的赤道、极点和一般纬度处分别贴三个不干胶片，旋转地球仪，如图 1 左图所示，让同学们观察不干胶片随地球仪转动时的运动情况。

3.1.2 表征物理情境

要求同学们描述地球仪上不同地点的不干胶片随地球仪转动时的运动，要求同学们画出地球赤道、任意纬度、极点处的物体随地球自转运动的示意图，并标出轨迹圆心的位置。同学针对具体的模拟物理情境，根据所要研究的问题抓住主要因素，忽略次要因素，进行一系列的抽象、简化等加工，可以得到一个描述地球上不同地点的物体随地球自转做圆周运动的图示，如图 1 中图所示，再取出其中的一个物体，比如赤道上的物体，同学就可以得到一个非常熟悉的圆周运动的示意图了（图 1 右图）。这样，线速度、周期、向心加速度、向心力等描述圆周运动的物理量，这可以和这个图示建立关联。

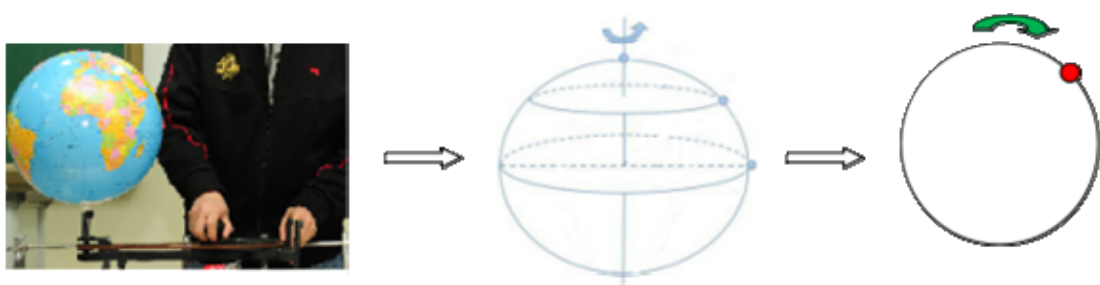


图1-模拟、表征物理情景

3.1.3 研究表征化物理情境

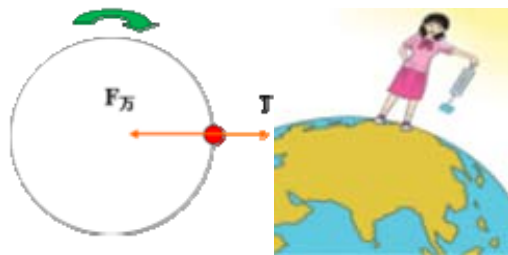


图3

图2

假设一人站在地球的赤道上，手里拿着一个弹簧秤，弹簧秤下悬挂一个物体，如图2所示。对物理进行受力分析，如图3，分别用 $F_{万}$ 表示物体所受的万有引力， $F_{重}$ 表示物体所受的重力， $F_{向}$ 表示物体随地球自转所需要的向心力， T 表示弹簧秤对物体的拉力。根据圆周运动相关知识，有 $F_{向} = F_{万} - T$ 。又因为物体相对地面静止，弹簧秤对物体的拉力大小等于物体所受的重力，即 $F_{重} = T$ 。两式联立可得 $F_{万} = F_{重} + F_{向}$ 。可见对赤道上的物体万有引力提供了重力和物体随地球自转需要的向心力。



图4

在极点处，模型修正为 $F_{万} = F_{重}$ 。在任意纬度处，向心力和万有引力不在同一条直线上，万有引力、重力、向心力之间的关系适用平行四边形定则运算，如图4，且重力的方向不在指向地球的球心。

3.1.4 检验和修正心智模型

(1) 模型的修正

在赤道上建立的万有引力、重力向心力关系模型，是否也适用于地球的其他地点呢？处于极点处的物体不需要向心力，

在极点处，模型修正为 $F_{万} = F_{重}$ 。在任意纬度处，向心力和万有引力不在同一条直线上，万有引力、重力、向心力之间的关系适用平行四边形定则运算，如图4，且重力的方向不在指向地球的球心。

在任意纬度处，向心力和万有引力不在同一条直线上，万有引力、重力、向心力之间的关系适用平行四边形定则运算，如图4，且重力的方向不在指向地球的球心。

(2) 模型的检验

刚刚建构起来的万有引力、重力、向心力关系模型是否正确呢？可以用地球表面重力加速度的实测数据进行初步检验。实际测得赤道附近的重力加速度约为 9.780 m/s^2 ，纬度 45° 的海平面的重力加速度约为 9.806 m/s^2 ，北极地区约为 9.832 m/s^2 ，可见，从赤道到极点，实测的重力加速度是逐渐增加的，与模型预测的结果基本一致。

(3) 模型的再修正

计算可知，赤道上物体随地球自转的向心加速度 $a_{向} = 0.034 \text{ m/s}^2$ ，远小于赤道地区的实

测重力加速度，其他纬度地区就更是如此，可见物体随地球自转所需要的向心力相对万有引力是非常小的，通常可以忽略。重力的方向偏离地心也是非常微弱的。国际上将在纬度 45° 的海平面精确测得物体的重力加速度 $g=9.80665 \text{ m/s}^2$ 作为重力加速度的标准值。在一般计算中，可以取 $g=9.80 \text{ m/s}^2$ 。

这样通过模型的检验和修正，就基本帮助学生建构起了万有引力、重力、向心力关系模型。

3.1.5 整合和应用物理模型

圆周运动、万有引力、重力、向心力、地球的自转、纬度等知识能够很好的被整合到这个模型中来，而这些知识也能很好的促进同学们对这个模型的认识和使用。这也是力和运动关系在地球自转中的应用。

应用：如果地球自转不断加速，将会产生什么后果？

由这个模型可以看出，如果地球自转的角速度变大，物体随地球自转的向心力也将逐渐增加，物体所受的重力将会逐渐减小，最终将变为零，物体将会脱离地球。

实验模拟：在地球仪的赤道上粘一块橡皮泥，不断增加转速，最终橡皮泥会脱离地球。

3.2 建构地球圆轨道卫星模型。

3.2.1 创设（模拟）物理情境，表征物理情境

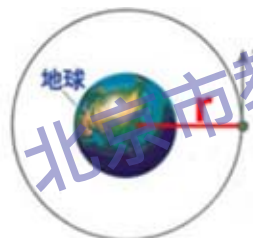


图 5

卫星是一些自然的或人工的在太空中绕行星运动的物体。地球卫星的轨道是不是都是圆形的呢？神州五号，变轨前近地点 200 千米、远地点 350 千米。地球的半径约为 6400 千米，对神州五号的轨道来说这 150 千米的差距相对于它们的轨道半径来说是可以忽略的，所以类似于这样的轨道，我们都可以近似将其看成圆轨道。人造地球卫星运行轨道大多是椭圆，但有些卫星，象神州五号一样运行轨道的近地点和远地点距离差距不大，可以将这样的卫星轨道简化成圆。要求同学们画出地球圆轨道卫星的示意图，如图 5。对圆轨道卫星运行轨道的这种表征方式，很容易让同学们把这个图示与圆周运动知识建立关联。

3.2.2.研究表征化物理情境

(1) 已知地球的质量为 M ，万有引力常量为 G ，组织同学小组合作，探究轨道半径为 r 的地球圆轨道卫星的向心加速度、线速度、角速度和周期。

同学们根据万有引力和圆周运动知识，由 $F_D = F_G$ ，可以求出：

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}} \quad \omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}} \quad v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad a = \frac{GM}{r^2}$$

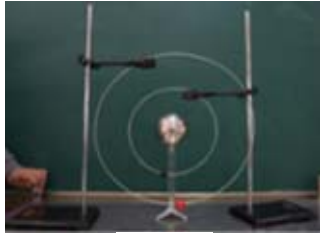


图 6

(2) 用铁丝做成两个半径不等的圆环如图 6，模拟地球圆轨道卫星的轨道，组织同学小组合作，比较轨道半径不同的两颗人造地球卫星的向心加速度、线速度、角速度和周期

将(1)中表达式看做自变量为 r 的函数，同学们容易得出，圆轨道卫星的半径越大，向心加速度、线速度、角速度越小，周期越大。

3.2.3 检验和修正心智模型

(1) 刚才建构的圆轨道卫星模型是否正确可以通过已知数据来检验

近地卫星的轨道半径约为 6400 千米，周期约为 90 分钟，月球绕地球做圆周运动的半径约为 300000 千米，周期约为 27 天。可以发现这两组数据能很好的满足上述模型中卫星周期与轨道半径的数学关系。

(2) 由于刚才研究圆轨道卫星用的一直是平面化的示意图，同学们头脑中建构的物理模型也有可能是平面化的，因此需要对同学们的心智模型进行检验和修正。

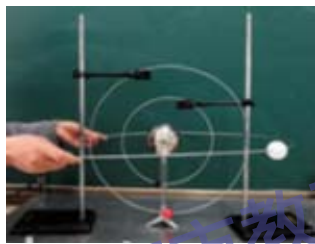


图 7

组织同学讨论，正常运行的地球圆轨道卫星在空中是否会相撞。不少同学认为轨道半径相同的卫星线速度相等，撞不上，轨道半径不同的圆轨道卫星轨道没有交点，也不会相撞。

出示第三个用铁丝制成的圆环，这个圆环可以和模拟的地球成任意角度，如图 7 所示，圆轨道卫星可以以不同的角度绕地球运行，是有可能相撞的。同学们建构的圆轨道卫星模型由二维平面的逐渐修正为三维立体的。

(3) 卫星绕地球做圆周运动，对卫星的轨道平面有没有约束呢？同学们的心智模型还需要进一步检验和修正。

组织同学讨论，有没有可能发射一颗始终在北京正上方运行的卫星。

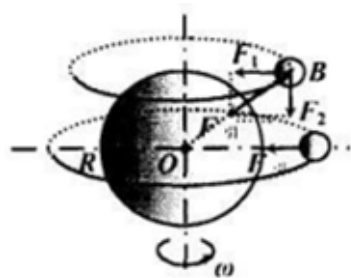


图 9

并不过地球的球心，如图 8 所



图 8

不少同学认为可以，在北京正上方画一圆，只要这个圆的半径大小合适，让卫星始终在这个圆上运行，这颗卫星就有可能始终在北京的正上方。

用圆环模拟始终在北京正上方的卫星轨道。可以看出始终在北京正上方的圆形轨道平面示。由图 9 可知，这种卫星不可

能稳定运行，因此它是不存在的。

组织同学探讨什么样的卫星轨道才是存在的。因为万有引力提供向心力，所以卫星的轨道平面必须经过地球的球心，而且轨道圆的圆心应该和地球的球心重合。这样同学们建构的模型有一次被修正和完善。

3.2.4.整合和应用物理模型

这个模型能够很好的整合万有引力、圆周运动、向心力等物理知识。它是力和运动关系的一部分，是牛顿定律在天体运动中的具体体现。

应用：组织学生探究地球同步卫星的可能轨道。

4、感悟与反思

虽然不同的学者对建模教学的环节有不同的见解，但是他们都是基于相同的理论基础，概括起来包括：模型是科学的本质之一，科学家通过建构模型认识世界和规律；模型有解释和预测能力；模型是不完整的表征，因此它可以修订和改进；物理研究过程即不断建构并修订模型，提高其解释能力的过程^[3]。教学实践过程中，结合不同具体的课题，针对不同的学生，建模教学可能会经历不同环节和途径。但建模教学对提高课堂效率，提高学生学科素养都是非常有效的。

参考文献

- [1] 张静, 郭玉英. 物理建模教学的理论和实践简介[J]. 大学物理.2013.2
- [2] 张静, 郭玉英, 姚建欣. 论模型与建模在高中物理课程中的重要价值[J]. 物理教师. 2014.6
- [3] 翟小铭, 郭玉英. 物理建模教学例析 [J]. 物理教师.2015.7

四、改进与完善

建模教学是非常复杂的系统工程，不同的种类的模型对应不同种类的教学方式，我们实践的教学模式虽然对部分模型的建构是非常有效的，但也有它的局限性，不同的模型建构，不同的建模教学因遵循相同或相近的教学原则，很难也不可能找到统一的教学模型，不同的研究者可以有不同的侧重点探究不同的建模教学模式。

教育测量是是很多中学老师的短板，正是由于这个短板，中学老师有时很难对自己的教育措施做出有力的判断和评价。另一方面中学老师有丰富的教育经验，对教学一线的问题有很深的感触，有很强的教育研究愿望。本课题采取的依托大学团队的进行理论指导和教育的量化测量，依靠中学教师自己积极实践和探索的教育研究模式，应该是很有意义的。

本课题研究由于本人认识和能力有限，研究还非常浅薄，下一步，我们也准备结合先进的教育理论，将高中物理建模能力做进一步的解构，进行相对长期的

实践研究，进一步探索高中物理建模教学，希望通过自己和团队的进一步努力，为中学物理教育做出贡献。希望能有更多的老师参与我们的研究，也希望更多更全面的得到专家的指导和帮助。

五、成果细目

1. 论文《万有引力定律的应用——中学物理建模教学的课堂实践》(何春生、翟小铭)发表于《中学物理教学参考》2016 第 1-2 期，并获 2015-2016 学年度北京市基础教育科学研究优秀论文三等奖。
2. 论文《基于学习进阶的课堂教学设计与实践——以“功”为例》(何春生、郭玉英)发表于《物理教师》2016 年第 10 期
3. 论文《浅谈一种启发法的应用》(何春生)发表于《物理教学探讨》2015 年第 7 期
4. 论文《巧用物理模型提升思维能力》(何春生)发表于《物理通报》2014 年第 5 期
5. 论文《基于建模的学习进阶指导及教学策略》(姜连国、郭玉英)发表于《物理教师》2016 年第 8 期
6. 论文《基于建模的学习进阶指导教学设计-以带点粒子在电场中运动为例》(姜连国、郭玉英)发表于《中学物理教学参考》2015 年第 9 期
7. 论文《一种证明引力大小与质量乘积成正比的数学方法》(何春生)发表于《物理通报》2016 年第 7 期
8. 论文《基于学习进阶的课堂教学设计——以“加速度”为例》(何春生、王巨生)获北京市“师成长杯”论文评选二等奖
9. 《培养高中学生建构和应用物理模型能力的实践研究》研究报告
10. 课例《弹力》(柳文慧)在 2016 年 10 月“第十二届全国中学物理青年教师教学大赛”中，获高中组一等奖
11. 课例《电势能》(何春生)在 2016 年 9 月“在北京市中学物理教学比赛中，获高中组一等奖
12. 课例《电势能、电势》(何春生)在 2015 年 12 月“朝阳区高中基本功优质课”评比活动中，获一等奖
13. 课例《万有引力定律的应用》(何春生)2015 年 3 月区级研究课，2015 年 12 月老师的课例被北京师范大学精品资源共享课——中学物理学科教学设计的课程资源，2016 年 3 月在北京教育学院骨干教师培训班上以

《万有引力定律的应用》为课例，谈研究探讨了建模教学与学习进阶的课堂实践。

14. 课例《加速度》（王巨生），2015年10月市级研究课
15. 课例《牛顿第三定律》（刘友洪），2015年11月市级研究课
16. 课例《天体三模型》（何春生），2015年5月朝阳有线名师讲堂录制播出
17. 课例《这些都是碰撞模型吗？》（何春生），2015年11月朝阳有线名师讲堂录制播出，
18. 课例《万有引力定律的应用》（马佳宏），2015年区级研究课，2016年2月被全国中小学教师继续教育网录用为继教素材
19. 专题讲座《万有引力与航天》（何春生），2016年2月全国中小学教师继续教育网

北京市教育科学规划课题成果公报