高考蓝皮书
BLUE BOOK OF NCEE

高考试题分析

（2024）

ANALYSIS OF NATIONAL COLLEGE ENTRANCE EXAMINATION TEST QUESTIONS（2024）

中国高考报告学术委员会 / 编

中国高考报告学术委员会是高考蓝皮书《中国高考报告》的学术决策机构，《中国高考报告》是高考改革研究智库成果，由北京大学、中国人民大学、北京师范大学、中国教育科学研究院、北京教育科学研究院、国家教育行政学院、华中科技大学等国内九所大学（机构）的高考研究专家共同创作，系统研究高考政策、高考改革与国家人才培养战略转型，全面总结高考综合改革实践成效。

物 理

现代教育出版社
Modern Education Press

图书在版编目(CIP)数据

高考试题分析. 物理 / 中国高考报告学术委员会编
. —北京 ：现代教育出版社，2021.1(2023.10 重印)
ISBN 978-7-5106-8012-0

Ⅰ. ①高… Ⅱ. ①中… Ⅲ. ①中学物理课—高中—题解—升学参考资料 Ⅳ. ①G632.479

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 273036 号

书　　名　高考试题分析　物理

出 品 人　陈　琦
编　　者　中国高考报告学术委员会
责任编辑　王海平　殷建伟
封面设计　刘　彬
出版发行　现代教育出版社　邮编:100120
地　　址　北京市东城区鼓楼外大街 26 号荣宝大厦 3 层
电　　话　010-64252230(编辑部)
印　　刷　淄博润州印业有限公司
开　　本　890 mm×1240 mm　1/16
印　　张　19.5
字　　数　440 千字
版　　次　2021 年 1 月第 1 版
印　　次　2023 年 10 月第 4 次印刷
书　　号　ISBN 978-7-5106-8012-0
定　　价　59.00 元

版权所有　翻印必究

目录

CONTENTS

总体评析 …… 1

专题一　力和运动 …… 7

第 1 讲　力与物体的平衡 …… 7

命题规律 …… 19

第 2 讲　力与物体的直线运动 …… 21

命题规律 …… 31

第 3 讲　力与物体的曲线运动 …… 33

命题规律 …… 44

第 4 讲　万有引力与航天 …… 46

命题规律 …… 58

专题二　功和能 …… 60

第 1 讲　功　功率　动能定理 …… 60

第 2 讲　机械能守恒定律　功能关系和能量守恒 …… 71

命题规律 …… 81

专题三　动量　动量定理　动量守恒定律 …… 83

命题规律 …… 93

专题四　力学三大观点的综合应用 …… 94

命题规律 …… 112

专题五　机械振动与机械波 …… 113

命题规律 …… 123

专题六　电场和磁场 …… 125

第 1 讲　电场及粒子在电场中的运动 …… 125

命题规律 …… 139

第 2 讲　磁场及带电体在磁场中的运动 …… 141
命题规律 …… 153
第 3 讲　带电粒子在组合场、叠加场中的运动 …… 155
命题规律 …… 179

专题七　电路和电磁感应 …… 181
第 1 讲　恒定电流和交变电流 …… 181
命题规律 …… 190
第 2 讲　法拉第电磁感应定律及其应用 …… 192
命题规律 …… 210

专题八　实验探究 …… 212
第 1 讲　力学实验 …… 212
第 2 讲　电学实验及其他实验 …… 232
命题规律 …… 251

专题九　热学 …… 255
命题规律 …… 274

专题十　光学 …… 276
命题规律 …… 289

专题十一　原子物理 …… 291
命题规律 …… 299

附录Ⅰ　高考必备知识细目 …… 301
附录Ⅱ　试题索引 …… 306

总体评析

2023年高考物理命题认真贯彻了党的二十大会议精神，以立德树人为根本任务，依托高考评价体系，衔接高中课程标准，注重夯实基础，丰富问题情境，增强探究性，激发学生热爱科学、探索未知的兴趣，引导学生夯实知识基础、培养物理学科核心素养，服务拔尖创新人才选拔、新时代教育评价改革和教育强国建设。命题体现基础性、综合性、应用性、创新性，注重考查关键能力、学科核心素养，以及在联系实际中对所学知识的融会贯通和灵活运用，更好地实现高考的选拔育人功能，进一步加强考教衔接，对高中阶段物理教学发挥了良好的导向作用。试题注重增强灵活性和创新性，旨在减少机械刷题和套路解题的收益，培养学生的探究能力，鼓励学生运用创造性、发散性思维多角度分析解决问题，实现从“解题”到“解决问题”的转变，促进学生核心素养的发展。

一、坚持立德树人思想，引导学生全面发展

高考物理命题充分利用学科特点挖掘学科的育人资源，引导学生全面发展。以我国先进的科技成就为素材创设物理情境，增强学生的民族自豪感和科技强国的社会责任感；以真实的生产生活情境为素材创设生活实践问题情境，引导学生树立劳动观念，领悟劳动的意义价值；以学生喜爱的体育运动为素材创设学习探索问题情境，增强学生的体育健康意识。



1. 展现国家尖端科技成就，增强民族自豪感和社会责任感

2023年高考物理命题结合我国最新的科技前沿进展及在全球科创领域的领先表现，引导学生树立科技强国的社会责任感，充分发挥了高考的育人功能。如全国新课标卷第17题，以刚刚成功发射的天舟六号为背景考查天体运动问题，天舟六号是目前世界现役运输能力最大的货运飞船，激发了学生自立自强的信心，树立学生科技强国的远大理想。全国乙卷第16题，以2022年10月全球众多天文设施观测到迄今最亮的伽马射线暴为背景，介绍我国的“慧眼”卫星、“极目”空间望远镜等装置在该事件观测中作出重要贡献，凸显我国科技成就，开阔学生视野，引导学生了解科技前沿，激发学生崇尚科学、探索未知的兴趣。又如山东卷第1题的“梦天号”实验舱携带世界首套可相互比对的冷原子钟组发射升空；湖南卷第1题的中国“人造太阳”反应堆中科院环流器装置（EAST）创下新纪录，实现403秒稳态长脉冲高约束模等离子体运行，为可控核聚变的最终实现又向前迈出了重要的一步；浙江卷第4、5题的“玉兔二号”月球巡视器；北京卷第12题的我国综合性太阳探测卫星“夸父一号”成功发射等我国在各领域中所取得的辉煌成就，无疑会让学生受到很大的震撼，惊叹我国科学技术发展水平。利用这些事件为背景的试题既可以展示我国科技的进步，也可以激发学生的民族自信心和自豪感，引导学生树立高远的科学志向和科技强国的社会责任感，体现高考物理学科的育人价值。

2. 展现劳动实践场景，引导学生树立劳动观念，突出劳动教育的育人价值

2020年7月，教育部印发《大中小学劳动教育指导纲要（试行）》，明确“强化劳动观念，弘扬劳动精神”的要求，提出“将劳动观念和劳动精神教育贯穿人才培养全过程，贯穿家庭、学校、社会各方面。注重让学生在学习和掌握基本劳动知识技能的过程中，领悟劳动的意义和价值，形成勤俭、奋斗、创新、奉献的劳动精神”。《指导纲要》提出“将劳动素养纳入学生综合素质评价体系”的要求，强调在平时表现评价和学段综合评价中均要对劳动教育予以重视和体现。在课程评价中落实劳动教育评价，是落实全学科实现和改进劳动教育的体现。

高考物理试题加强与生产劳动的结合，引导学生关注生产劳动中的物理现象，运用物理知识解决生产劳动中的物理问题，树立劳动观念。如湖南卷第2题以手抛撒谷粒进行水稻播种为素材，要求学生建立抛体运动模型，应用运动的分解思维解决问题；山东卷第4题以《天工开物》中记载了古人借助水力使用高转筒车往稻田里引水的场景为素材，考查学生综合运用能量守恒定律等知识分析解决实际问题的能力；广东卷第4题以渔船常用回声探测器发射的声波探测水下鱼群与障碍物为情境，主要考查学生对波的干涉、衍射、多普勒效应的理解。这些试题积极展现劳动实践场景，引导学生注重劳动，全面发展。对落实立德树人根本任务具有重要意义。

3. 结合运动情境发展物理观念，引导学生增强体育健康意识

2023年高考物理试题命题时通过结合学生喜爱的运动创设问题情境，考查学生运用物理概念和规律解决体育运动中的相关问题，引导学生树立热爱体育运动、积极参加体育锻炼的意

识，促进学生德智体美劳全面发展。如全国甲卷第 14 题以一同学推铅球为背景，全国乙卷第 14 题以垫排球为情境，考查学生对抛体运动的理解；浙江卷第 2 题以足球入网为背景，辽宁卷第 1 题以某同学投篮为背景，考查学生受力分析的能力；湖南卷第 7 题以潜水爱好者潜水为背景，考查光的折射、全反射问题；江苏卷第 15 题以滑雪道为背景建立运动模型，考查能量守恒和斜抛运动。这些高考试题将物理与体育锻炼相结合，有利于提高学生对体育的兴趣，促进学生了解体育运动中蕴含的物理规律，引导学生增强体育健康意识，热爱体育运动，积极参加体育锻炼，提高身体素质。

二、注重考查关键能力，引导学生核心素养的培养

中国高考评价体系提出核心价值、学科素养、关键能力、必备知识四个方面的考查内容，其中关键能力是使学习者适应时代要求并支撑其终身发展的能力，是培育核心价值、发展学科素养所必须具备的能力基础。高中物理新课程标准将学科核心素养凝练为物理观念、科学思维、科学探究、科学态度与责任，是学生在解决真实、复杂问题过程中的综合表现，更加强调学生综合运用物理知识解决实际问题的能力。2023 年高考物理试题通过优化考查内容、丰富试题情境化设计、设置新颖的问题角度等途径，增强学以致用和灵活性的结合力度，突出对关键能力的考查，引导实现从“解题”到“解决问题”的转变。同时，今年的高考物理试题更加突出真实问题情境的设计，选取鲜活素材，贴近学生实际，引导学生从生活中发现问题、提出问题、解决问题，注重培养学生的物理学科核心素养。

1. 考查学生理解能力，夯实学生知识基础

2023 年高考物理试题进一步深化基础性考查，突出基础知识和基本规律，注重对基本概念、基本方法和基本技能的考查，要求学生深入思考学科本质，重视知识的内在联系。

如全国新课标卷选择题中对机械波的波长、波速，动能定理，光子的能量，质量的概念，电场力、洛伦兹力的方向等的考查；全国甲卷中第 14 题对平抛运动中机械能、速度、加速度的考查，第 15 题对核反应方程的考查；全国乙卷第 16 题对质能方程的考查，第 19 题对电场力做功与电势能的关系的考查；山东卷第 2 题对受力平衡的考查，第 6 题对匀变速直线运动规律的考查等，各地的试题都注重了对基本概念、基本规律的考查。全国甲卷第 18 题以一些电子显示设备中电子束通过适当的非匀强电场聚集为情境，考查学生运动与相互作用的基本物理观念。全国甲卷第 21 题和全国乙卷第 17 题，从电磁阻尼现象演示实验出发，从多个角度考查学生对电磁感应原理的深入理解。可以看出，2023 年高考题中出现了大量考查基础知识和基本规律的题目，引导学生注重基础知识的学习和理解，夯实知识基础，深刻理解物理概念和规律。

2. 解决生活实际问题，深化考查推理论证能力

推理论证能力是指能根据已知的物理事实、物理知识，通过分析、推理和论证，得出正确结论并作出正确解释的能力，提高学生的推理论证能力是提升学生思维品质、提高分析解决实际问题能力的关键。2023 年高考物理命题突出推理论证能力的考查，加强试题情境化设计，更加

注重考查思维过程，增强试题的开放程度和创新性，鼓励学生运用创造性、发散性思维多角度分析解决问题。

如全国新课标卷第14题以空气中和水下两个声波探测者为素材创设情境，考查学生对声波在介质中传播的理解；第15题以雨滴受空气阻力的作用竖直下落为情境，考查学生对做功这一基本物理概念的理解；第24题以打水漂为背景，引导学生运用简单物理模型解释常见的生活现象，体会通过科学指导生活实践的学习获得感，凸显物理学科的科学魅力。广东卷第9题的电子墨水、第10题的电动窗帘，北京卷第1题轮胎气压、第2题阳光下的肥皂膜等都体现了物理学科在生活中发现问题、解决问题的学科魅力。山东卷第15题以电磁炮灭火消防车采用电磁弹射技术投射灭火弹进入高层建筑快速灭火为素材，考查学生解决斜抛问题的能力，突出物理学科通过理论计算解决实际问题的学科特点，深化考查了学生的推理论证能力，引导实现从“解题”到“解决问题”的转变。

3. 突出对实验探究能力的考查，培养探索性、创新性思维品质

培养探索性、创新性思维品质是高考实验题的根本任务。实验是物理学的基础，是物理教学的重要内容，是培养学生物理学科核心素养的重要途径和方式。2023年高考物理试题创新设问角度，注重考查学生对基本实验原理的理解、基本实验仪器的使用、基本测量方法的掌握和实验数据的处理等。试题充分发挥对高中实验教学的积极导向作用，引导高中学校重视实验基础教学，引导学生真正动手做实验，灵活运用所学知识解决问题，提高学生的探究能力。

如全国新课标卷第22题考查电容器的充、放电现象，要求学生能够正确使用多用电表，分析电阻大小对电容器充电电流随时间变化曲线的影响及曲线下面积的物理意义；全国新课标卷第23题考查用单摆测量重力加速度大小的实验，要求学生能够正确使用螺旋测微器，掌握基本的数据处理方法。

2023年高考物理也有一些省份对实验考查进行了改变，通过增强考查角度的多样性，加强对学生实验能力的培养。如山东卷第13题没有按照以往的思路考查力学实验，而是考查了气体实验定律；广东卷第11题考查了测玻璃砖的折射率。对高中日常教学和高考备考起到了引导作用。

2023年高考物理试题创新设问角度。例如，全国甲卷第22题测绘小灯泡的伏安特性曲线，考查学生对电流表内接、外接两种基本测量电路原理的深刻理解，要求学生画出按照另外一种电路图进行实验的电流—电压关系曲线的示意图，具有一定探究性；全国乙卷第23题测量金属丝的电阻率实验，与教材中通常采用的同时使用电压表、电流表测量金属丝的电压、电流不同，通过“一表两用”的办法完成对电压和电流的测量，引导学生灵活运用所学知识解决实验遇到的问题，要求学生对具体问题做具体分析。

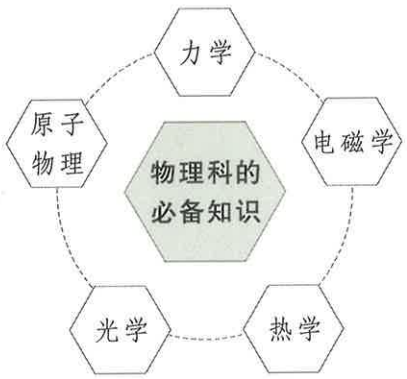
三、持续加强教考衔接，稳步推进高考内容改革

2023年高考物理试题遵循国家课程标准，强调对主干内容的深刻理解和运用，引导中学教

学遵循教育规律，回归课标、回归课堂，严格按照高中课程标准进行教学。强调在深刻理解基础上的融会贯通、灵活运用，不考死记硬背、不出偏题怪题，平和中有新意，灵活中见潜力，实践中出真知，引导中学把教学重点从总结解题技巧转到培养学生学科核心素养，提升课堂效果和作业效率。

1. 强化必备知识考查，引导教学回归课程标准和教材

基本概念、基本规律和基本方法及其相互联系构成了物理学科的必备知识，是学生形成和深化物理观念的重要途径。2023 年高考物理命题注重考查概念和规律的形成过程，引导学生知其然更要知其所以然，引导学生加强对基础内容的理解，促进学生学科观念的形成。淡化典型题套路和技巧的应用，促进学生将知识和方法内化为自身的解决问题的能力，进而形成科学的态度和正确的价值观。2023 年高考物理试题涵盖了力学、热学、电磁学、光学、原子物理等核心知识，体现了对物理主干知识考查的全面性。试题力图引导中学物理教学尊重教育内在规律、注重提高课堂教学效益，实现作业题、练习题减量提质，既能让学生更有成就感和获得感，又能为学生的未来发展打下坚实基础。试题突出基础性，加强对基本物理概念和基本规律的考查，夯实学生提升物理素养的根基。



2023 年高考物理很多试题素材源于教材，贴近学生实际，体现了高考试题回归教材，注重基础的特点。如全国新课标卷第 22 题研究电容器的充、放电现象以及用 $I-t$ 图像面积求解电荷量，素材来源于人教版教材必修第三册第 39 页“拓展学习”。辽宁卷第 8 题的位于远洋轮船船头水面下方的装置“球鼻艏”的图片素材在人教版教材必修第一册第 67 页科学漫步中。北京卷第 16 题平抛运动的实验素材源于人教版教材必修第二册第 11 页。大量试题的素材或者原型都源于课本，起到了引导教学回归教材的作用。

2. 稳中创新，倡导理性学习

2023 年高考物理命题科学设计试题设问，优化试题呈现方式，强调通用性物理方法的综合运用，避免将学生导向典型题套路和技巧的运用，引导教学减少“机械刷题”现象。引导教师改变以练代讲、以考代练的教学模式，用比较创新、灵活的题目，让真正理解学科内涵的学生能够脱颖而出，在保持难度相对平稳的基础之上，更好地发挥选拔功能。例如，全国新课标卷第 26 题让金属框沿导轨运动并进入磁场，导轨使金属框上下边框短路，电路极大简化，构思巧妙，引

导学生具体问题具体分析。山东卷第12题的导轨导体棒模型，应用法拉第电磁感应定律分析是基础性要求，考查的角度和解决问题的思路却是受力平衡，没有沿用以往考查此类问题的基本套路——能量守恒、动量定理等。2023年山东卷大大减少了图像类的题目，第9题气体与热力学定律关联考查的题目没有再以图像方式考查，第10题简谐运动也没有考查图像，以反套路、反刷题的方式，引导学生由浅入深、由表及里地分析和解决问题，培养科学的学习方法。

综上，2023年高考物理试题的命制坚持以立德树人为根本任务，引导学生全面发展；注重考查关键能力，引导学生核心素养的培养；持续加强教考衔接，稳步推进高考内容改革。本次高考试题精选试题素材，创新试题设计，发挥了物理学科的育人功能，激发学生崇尚科学、探索未知的兴趣。对学生夯实知识基础，提升解决问题能力，全面提升自己的物理学科核心素养起到了重要的引导作用。

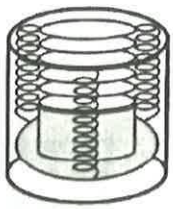
专题一　力和运动

第1讲　力与物体的平衡

题组一　共点力作用下的静态平衡

所谓平衡状态即物体处于静止状态或匀速直线运动状态，物体在共点力作用下处于平衡状态，则物体所受合外力为零，这就是共点力平衡的条件。

解决共点力平衡的问题常用的方法有合成法、正交分解法。



1.（2023 山东卷，2）餐厅暖盘车的储盘装置示意图如图所示，三根完全相同的弹簧等间距竖直悬挂在水平固定圆环上，下端连接托盘。托盘上叠放若干相同的盘子，取走一个盘子，稳定后余下的正好升高补平。已知单个盘子的质量为 300 g，相邻两盘间距为 1.0 cm，重力加速度大小取 10 m/s^2。弹簧始终在弹性限度内，每根弹簧的劲度系数为（　　）

A. 10 N/m　　B. 100 N/m　　C. 200 N/m　　D. 300 N/m

【试题立意】本题以暖盘车的储盘装置为素材，创设了弹簧弹力变化规律的生活实践问题情境。教材中也出现过同源情境，如鲁科版教材必修第一册第 81 页的例题，如图所示。主要考查了胡克定律、共点力的平衡等知识点。

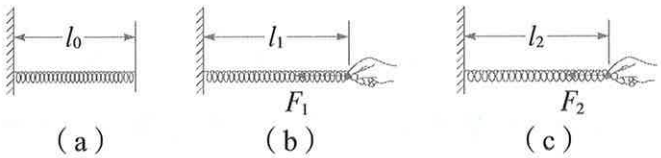


图 3-20　不同拉力作用下的弹簧

【关键能力】本题主要考查理解能力。

（1）对概念和规律的理解应用：胡克定律（$\Delta F=k\Delta x$）、共点力平衡的条件（$F_{合}=0$）。

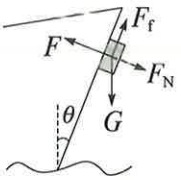
（2）对题干表述的理解

序号	关键表述	物理量及其关系
1	三根完全相同的弹簧等间距竖直悬挂	盘子受到除重力外的三个相同的弹簧弹力
2	取走一个盘子，稳定后余下的正好升高补平	一个盘子的重力等于弹簧压缩量减小 1.0 cm 时的弹力的变化量，由 $\Delta mg=3k\Delta x$ 得出弹簧的劲度系数为 100 N/m

【答案】B

【失分剖析】①没有注意到盘子受到三个弹力的作用；②不能熟练地把胡克定律 $F=kx$ 转化为 $\Delta F=k\Delta x$ 来进行分析。

2.(2023 广东卷,2)如图所示,可视为质点的机器人通过磁铁吸附在船舷外壁面检测船体。壁面可视为斜面,与竖直方向夹角为 θ。船和机器人保持静止时,机器人仅受重力 G、支持力 F_N、摩擦力 F_f 和磁力 F 的作用,磁力垂直壁面。下列关系式正确的是(　　)



A. $F_f=G$　　B. $F=F_N$

C. $F_f=G\cos\theta$　　D. $F=G\sin\theta$

【试题立意】本题以机器人为素材,创设了多力平衡的生活实践问题情境。教材中也出现过同源情境,如人教版教材必修第一册第 75 页第 6 题,如图所示。主要考查了力的合成和分解、共点力的平衡等知识点。

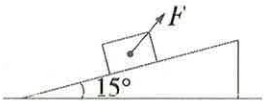


图 3.4-10

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

沿斜面方向 → $F_f=G\cos\theta$,C项正确

垂直于斜面方向 → $F=F_N+G\sin\theta$

【答案】C

【失分剖析】不会进行正交分解。

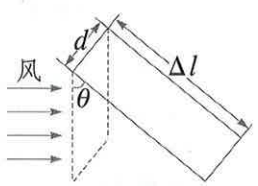
3.(2022 湖南卷,5)2022 年北京冬奥会跳台滑雪空中技巧比赛场地边,有一根系有飘带的风力指示杆,教练员根据飘带的形态提示运动员现场风力的情况。若飘带可视为粗细一致的匀质长绳,其所处范围内风速水平向右、大小恒定且不随高度改变。当飘带稳定时,飘带实际形态最接近的是(　　)



【试题立意】本题以跳台滑雪比赛场上的风力指示杆的飘带为素材,创设了判断飘带形态的生活实践问题情境。主要考查了力的合成和分解、共点力的平衡、牛顿第三定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查模型建构能力和推理论证能力。

(1)模型建构能力

关键信息	破题关键	建构模型
(1)飘带可视为粗细一致的匀质长绳 (2)风速水平向右、大小恒定且不随高度改变 (3)飘带稳定	(1)取其极小一段(微元)进行研究 (2)风对飘带的作用力可抽象为流体的冲击力模型,用动量定理求其大小 (3)微元飘带受其上下的飘带的拉力均沿微元飘带的倾斜方向,将此二力先求合力,方向沿微元飘带向上,微元飘带的受力由四个变为三个,成为三力平衡模型	微元模型 

(2)推理论证能力

①基于题干信息的推理

飘带整体的形态是飘带各部分形态的宏观表现

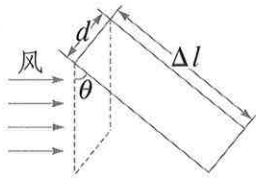
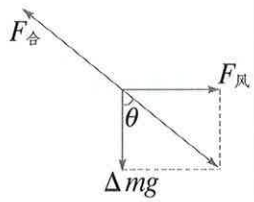
↓

取飘带的极小一段（微元）进行研究寻求其倾角大小的决定因素

↓

见微知著，从微元飘带的倾角规律窥视飘带整体的形态

②应用数学解决物理问题的能力

方法	内容	
微元法确定研究对象	设飘带的总长度为 L，质量为 m，取长度为 Δl 的极小一段（微元飘带），则其质量为 $\Delta m=\frac{\Delta l}{L}m$	
微元法求风对飘带的作用力		设微元飘带的宽度为 d，微元飘带与竖直方向的夹角为 θ，则微元飘带垂直于风速的有效面积 $S=d\Delta l\cos\theta$。设空气的密度为 ρ，风速为 v，假设空气撞击垂直面后速度减为零，则在极短的时间 Δt 内，撞击到等效垂直面的风的质量为 $\Delta m'=\rho Sv\Delta t$，根据动量定理，$F\Delta t=\Delta m'v$，联立解得，等效垂直面对空气的作用力为 $F=\rho d\Delta lv^2\cos\theta$，根据牛顿第三定律，风对等效垂直面（即微元飘带）的水平作用力为 $F_{风}=\rho d\Delta lv^2\cos\theta$
三角函数法确定微元飘带倾角大小的决定因素		$F_{合}$ 为微元飘带所受沿其倾斜方向的合力，根据三力平衡的条件和几何关系有 $\tan\theta=\frac{F_{风}}{\Delta mg}=\frac{\rho dLv^2\cos\theta}{mg}$ 整理得 $\frac{\sin\theta}{\cos^2\theta}=\frac{\rho dLv^2}{mg}$ 可见，微元飘带与竖直方向的夹角仅取决于空气的密度、风速及飘带整体的相关性质，与所取的微元飘带本身并无关系，也就是说，飘带的各部分与竖直方向的夹角都是相同的，因此飘带应成一倾斜的直线的形态。A 项正确

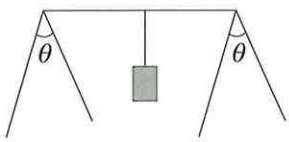
【答案】A

【失分剖析】①缺少以小见大、从局部看整体的思想，不会用微元法确定研究对象；②不会用微元法结合动量定理求解风力的大小；③基于上述原因，没能找到影响飘带倾角的因素，进而不能确定飘带的整体形态。

方法点拨

情境化命题是新高考的命题趋势，如何从情境中找出各物理量的关系，建立物理模型是解题的关键。建立物理模型主要是弄清楚研究对象、运动状态或运动过程，准确地进行受力分析（例如第 1 题盘子在重力和弹簧弹力作用下处于平衡状态；第 3 题利用微元法取一小段飘带为研究对象，在四个力作用下处于平衡状态），然后利用力的合成或正交分解解决问题。

4.（2022.6 浙江卷，10）如图所示，一轻质晒衣架静置于水平地面上，水平横杆与四根相同的斜杆垂直，两斜杆夹角 $\theta=60°$。一重力为 G 的物体悬挂在横杆中点，则每根斜杆受到地面的（　　）



A. 作用力为$\frac{\sqrt{3}}{3}G$　　B. 作用力为$\frac{\sqrt{3}}{6}G$　　C. 摩擦力为$\frac{\sqrt{3}}{4}G$　　D. 摩擦力为$\frac{\sqrt{3}}{8}G$

【试题立意】本题以晒衣架为素材，创设了求解各种作用力大小的生活实践问题情境。此情境曾在2022年海南卷第8题出现过。主要考查了弹力和静摩擦力、力的合成和分解、共点力的平衡、牛顿第三定律等知识点。

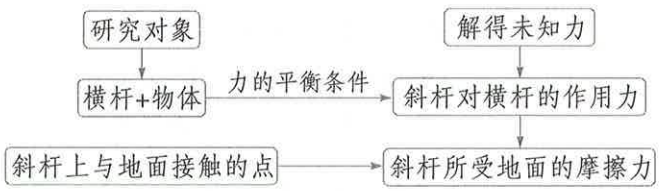
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

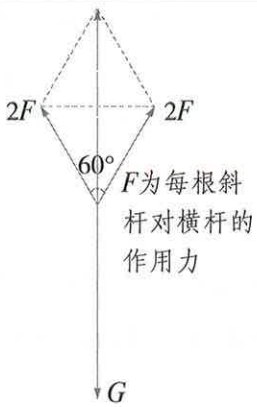
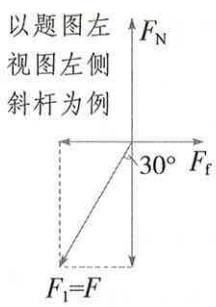
序号	关键表述	物理量及其关系
1	斜杆受到地面的作用力	地面对斜杆作用力的合力，即支持力和静摩擦力的合力
2	斜杆受到地面的摩擦力	静摩擦力是被动产生的，其大小和方向往往取决于物体的运动状态和其他受力情况，常用共点力平衡的条件和牛顿第二定律来求解静摩擦力

(2)推理论证能力

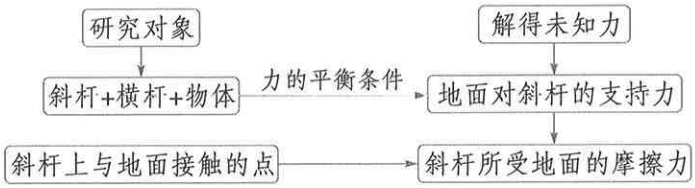
①思路一：以横杆和物体为研究对象



推理论证过程：

研究对象	受力分析图	计算过程
横杆和物体		根据几何关系有 $G=2\times 2F\cos 30^\circ$ 故斜杆对横杆的作用力 $F=\frac{\sqrt{3}}{6}G$
斜杆上与地面接触的点		根据牛顿第三定律，横杆和物体对斜杆的作用力F_1与斜杆对横杆和物体的作用力F等大反向 对力F_1进行正交分解，根据共点力平衡的条件 $F_f=F_1\sin 30^\circ=F\sin 30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{12}G$，C、D两项均错误 根据三力平衡的条件，地面对斜杆的作用力(即F_N和F_f的合力)与F_1大小相等、方向相反，因此斜杆受到地面的作用力大小为$F_1=\frac{\sqrt{3}}{6}G$，A项错误，B项正确

②思路二：以斜杆、横杆和物体为研究对象



推理论证过程：以斜杆、横杆和物体这个整体为研究对象，利用平衡条件易得，四根斜杆受到地面的支持力 $F_N=\frac{1}{4}G$。再以斜杆上与地面接触的点为研究对象，根据几何关系有 $F_f=F_N\tan 30°$，解得 $F_f=\frac{\sqrt{3}}{12}G$，同理可得斜杆受到地面的作用力大小为 $F_1=\frac{F_N}{\cos 30°}=\frac{\sqrt{3}}{6}G$。

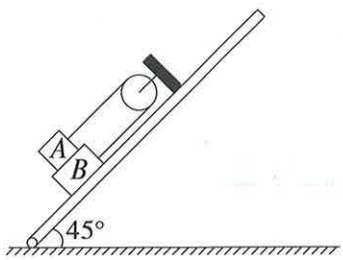
【答案】B

【失分剖析】①不能正确地理解“斜杆受到地面的作用力”的物理意义，错误地以为是地面的支持力；②不能选择恰当的研究对象并根据力的平衡条件由已知力求出未知力，即推理论证能力欠缺。

方法点拨

分析多个物体组成的系统的受力情况时，准确地选择研究对象能够使我们更简便快捷地解决问题，一般情况下分析外力时，优先选择整体作为研究对象，或者先隔离后整体；分析内力时，优先隔离某个物体作为研究对象，或者先整体后隔离。

5.（2020 山东卷，8）如图所示，一轻质光滑定滑轮固定在倾斜木板上，质量分别为 m 和 $2m$ 的物块 A、B，通过不可伸长的轻绳跨过滑轮连接，A、B 间的接触面和轻绳均与木板平行。A 与 B 间、B 与木板间的动摩擦因数均为 μ，设最大静摩擦力等于滑动摩擦力。当木板与水平面的夹角为 45°时，物块 A、B 刚好要滑动，则 μ 的值为（　　）



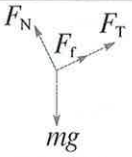
A. $\frac{1}{3}$　　B. $\frac{1}{4}$　　C. $\frac{1}{5}$　　D. $\frac{1}{6}$

【试题立意】本题以物块和木板为素材，创设了分析静摩擦力方向的学习探索问题情境。主要考查了静摩擦力、力的合成和分解、共点力的平衡、牛顿第三定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

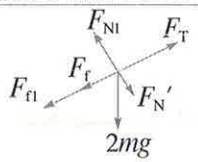
假设法：本题的难点在于刚要滑动时最大静摩擦力方向的判断，假设法是判断此类问题的基本方法。

假设刚好要滑动时A相对于B要向下运动，则A受到的最大静摩擦力沿斜面向上，受力分析如图所示



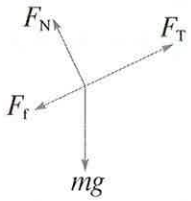
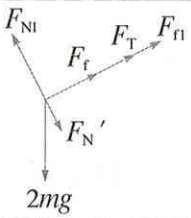
→ $F_f+F_T=mg\sin 45°$

B相对于斜面要向上运动，则B受到的最大静摩擦力沿斜面向下，受力分析如图所示



→ $F_T=2mg\sin 45°+F_f+F_{f1}$

→ $F_f<0$，故假设不成立。A相对于B要向上运动，A受到的最大静摩擦力沿斜面向下

研究对象	受力分析图	计算过程
物块 A		$F_T=mg\sin 45°+\mu mg\cos 45°$
物块 B		$F_T+\mu mg\cos 45°+\mu\cdot 3mg\cos 45°=2mg\sin 45°$ 联立两个方程可知 C 项正确

【答案】C

【失分剖析】不会判断物块 A、B 刚好要滑动时摩擦力的方向。

方法点拨

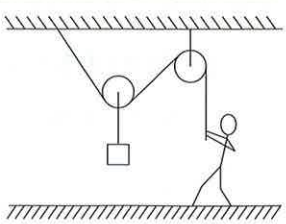
静摩擦力方向的判断是一个难点，假设法是判断此类问题最基本也是任何情况都适用的方法，在板块模型和传送带模型中应用较多。

题组二　共点力作用下的动态平衡

所谓的动态平衡指物体缓慢移动的过程可看成是物体在任意一个位置均处于平衡状态，即物体处于连续准静态平衡状态，处于动态平衡的物体所受合力始终为零。

根据物体的受力特点不同，可以选择图解法、相似三角形法、辅助圆法和正弦定理等方法分析动态平衡的问题。

6.（2023 海南卷，3）如图所示，工人利用滑轮组将重物缓慢提起，下列说法正确的是（　　）



A. 工人受到的重力和支持力是一对平衡力

B. 工人对绳的拉力和绳对工人的拉力是一对作用力与反作用力

C. 重物缓慢拉起过程，绳子拉力变小

D. 重物缓慢拉起过程，绳子拉力不变

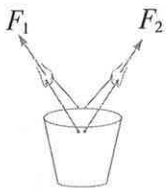


图 3-2

【试题立意】本题以利用滑轮组拉重物为素材创设共点力平衡的生活实践问题情境。教材中也出现过同源情境，如人教版教材必修第一册第 80 页第 4 题，如图所示。此情境也曾在 2017 年天津卷第 8 题出现过。主要考查弹力、力的合成和分解、共点力的平衡等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

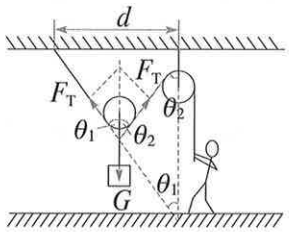
①对概念和规律的理解应用

序号	概念、规律	理解应用
1	平衡力	作用在同一物体上的两个力，如果大小相等、方向相反，并且在同一条直线上，这两个力就彼此平衡。工人受到的重力和支持力大小不相等，故 A 项错误
2	作用力和反作用力	两个物体之间的作用总是相互的，当一个物体对另一个物体施加了力，则另一个物体也会对该物体施加一个大小相等、方向相反的力。物体间相互作用的这一对力，通常叫作作用力和反作用力。故 B 项正确

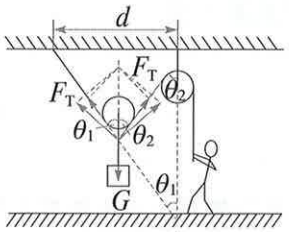
②对题干表述的理解

序号	关键表述	物理量及其关系
1	将重物缓慢提起	悬挂重物的滑轮在三个力的作用下动态平衡
2	滑轮组	一根绳绕过两个滑轮，绳子上的拉力处处相等

(2)推理论证能力



由题意可知，一根绳绕过滑轮组，绳上各点的力大小相等，通过对左侧滑轮与绳的接触点的受力分析可知，$\theta_1=\theta_2$



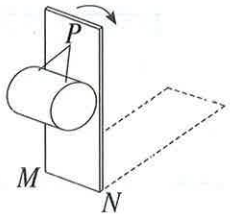
设动滑轮左侧绳长为l_1，右侧到定滑轮的绳长为l_2，将左半部分绳反向延长至滑轮正下方，如图所示，由几何关系得$\sin\theta_1=\frac{d}{l_1+l_2}$，缓慢拉动绳的过程中绳长$l_1+l_2$逐渐减小，则$\theta_1$逐渐增大

由题意可知两拉力的合力不变，根据受力分析图可知，θ_1逐渐增大时，两拉力也逐渐增大，故C、D项错误

【答案】B

【失分剖析】不会确定缓慢拉动绳的过程中夹角 θ_1 逐渐增大。

7.(2022 河北卷,7)如图所示,用两根等长的细绳将一匀质圆柱体悬挂在竖直木板的 P 点,将木板以底边 MN 为轴向后方缓慢转动直至水平,细绳与木板之间的夹角保持不变,忽略圆柱体与木板之间的摩擦,在转动过程中(　　)



A. 圆柱体对木板的压力逐渐增大

B. 圆柱体对木板的压力先增大后减小

C. 两根细绳上的拉力均先增大后减小

D. 两根细绳对圆柱体拉力的合力保持不变

【试题立意】本题以细绳悬挂圆柱体为素材,创设了探究作用力变化的学习探索问题情境。此情境曾在 2017 年全国Ⅰ卷第 21 题出现过,同源情境可参照人教版教材必修第一册第 79 页第 2 题图 3.5-6。主要考查了力的合成和分解、共点力的平衡、牛顿第三定律等知识点。



图 3.5-6

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

①对概念和规律的理解应用

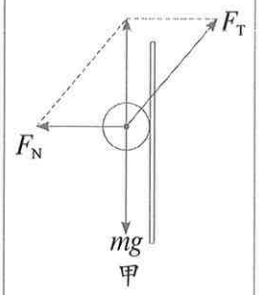
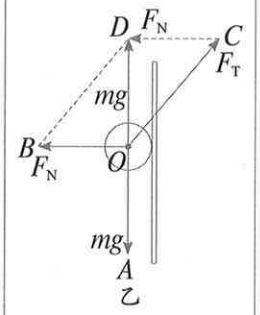
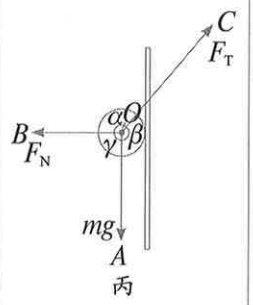
序号	概念、规律	理解应用
1	牛顿第三定律	圆柱体对木板的压力不方便直接进行研究,根据牛顿第三定律,圆柱体对木板的压力与木板对圆柱体的支持力大小相等,因此,可转换为研究木板对圆柱体的支持力
2	力的合成	两根细绳对圆柱体的拉力与其合力是等效替代关系,我们可以用其合力来代替它们,这样圆柱体的受力就由 4 个变为 3 个,能够更方便地对圆柱体的受力进行研究
3	共点力平衡的条件	圆柱体所受木板的支持力与细绳拉力的合力跟其所受重力大小相等、方向相反

②对题干表述的理解

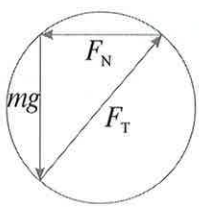
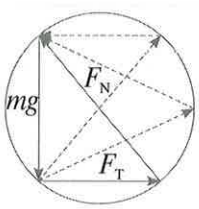
序号	关键表述	物理量及其关系
1	等长的细绳	两细绳在圆柱体上的悬点的连线与两细绳组成等腰三角形,两细绳的拉力大小相等,它们的合力沿两力所成角的角平分线方向,合力的大小与细绳拉力的大小成正比,合力大小变化的情况与细绳拉力大小的变化情况相同
2	缓慢转动直至水平,细绳与木板之间的夹角保持不变	圆柱体处于动态的受力平衡状态,木板对圆柱体的支持力和细绳对圆柱体拉力的合力的夹角不变,两个力最终均顺时针转过 90°角

(2)推理论证能力

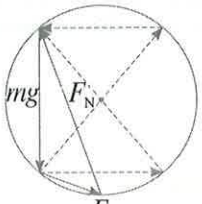
方法一:正弦定理法

序号	受力分析图	分析过程
1	甲	如图甲所示,沿 $N\rightarrow M$ 方向观察,对圆柱体进行受力分析,其中 F_T 为两细绳对圆柱体拉力的合力。根据三个力作用下共点力平衡的条件,画出平行四边形
2	乙	如图乙所示,将三个力放到同一个三角形中,记为△ODC,则根据正弦定理有 $\frac{mg}{\sin\angle OCD}=\frac{F_N}{\sin\angle COD}=\frac{F_T}{\sin\angle CDO}$ 又$\angle OCD+\angle BOC=180°$,$\angle COD+\angle AOC=180°$,$\angle CDO+\angle AOB=180°$ 故$\frac{mg}{\sin\angle BOC}=\frac{F_N}{\sin\angle AOC}=\frac{F_T}{\sin\angle AOB}$
3	丙	如图丙所示,令$\angle BOC=\alpha$、$\angle AOC=\beta$、$\angle AOB=\gamma$,则有 $\frac{mg}{\sin\alpha}=\frac{F_N}{\sin\beta}=\frac{F_T}{\sin\gamma}$ 由题意知,mg 和 α 都是保持不变的,因此 F_N 与 $\sin\beta$ 成正比,F_T 与 $\sin\gamma$ 成正比 在木板转动的过程中,β 由钝角变为锐角,γ 由直角变为平角 180°,$\sin\beta$ 先增大为 1 再减小,$\sin\gamma$ 一直减小。因此,F_N 先增大后减小,F_T 一直减小

方法二:图解法

序号	受力分析图	分析过程
1	甲	由题意可知,mg 与 mg 所对的角度保持不变,根据几何知识,不管 F_N 与 F_T 发生何种变化,三个力围成的三角形的外接圆都保持不变。当木板竖直时,F_N 与 mg 垂直,F_T 刚好为圆的直径,此时 F_T 最大,如图甲所示
2	乙	如图乙所示,随着木板顺时针转动,F_N 与 F_T 也顺时针转动,当 F_N 转到直径位置时,达到最大,而 F_T 一直减小

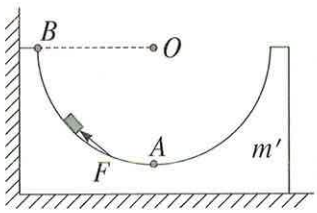
续表

序号	受力分析图	分析过程
3	 丙	如图丙所示，木板继续转动，F_N 开始减小，至木板水平时，$F_N=mg$；F_T 继续减小，至木板水平时，F_T 减小为零 因此，在整个过程中，F_N 先增大后减小，根据牛顿第三定律，可知 A 项错误，B 项正确；F_T 一直减小，即两细绳的拉力一直减小，C、D 两项均错误

【答案】B

【失分剖析】①没能根据三个力的变化特点想到用正弦定理法或图解法来解决问题；②在用正弦定理解决问题时，对于各力对应角度的变化判断出错。

8.（2021 湖南卷，5）质量为 m' 的凹槽静止在水平地面上，内壁为半圆柱面，截面如图所示，A 为半圆的最低点，B 为半圆水平直径的端点。凹槽恰好与竖直墙面接触，内有一质量为 m 的小滑块。用推力 F 推动小滑块由 A 点向 B 点缓慢移动，力 F 的方向始终沿圆弧的切线方向，在此过程中所有摩擦均可忽略，下列说法正确的是（　　）



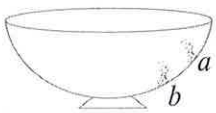
A. 推力 F 先增大后减小

B. 凹槽对小滑块的支持力先减小后增大

C. 墙面对凹槽的压力先增大后减小

D. 水平地面对凹槽的支持力先减小后增大

【试题立意】本题以凹槽和小滑块为素材，创设了分析多个力大小变化情况的学习探索问题情境。同源情境在多种版本的教材中都有出现，例如鲁科版教材必修第一册第 116 页第 1 题。主要考查了力的合成和分解、共点力的平衡等知识点。



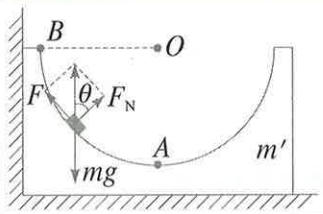
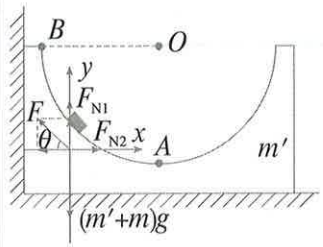
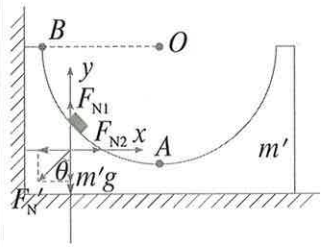
第 1 题

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	缓慢移动	小滑块始终处于受力平衡状态，但有些受力也在发生着变化，属于典型的动态受力平衡
2	内壁为半圆柱面	内壁的支持力始终指向圆心，小滑块移动过程中内壁的支持力方向在不断发生着变化
3	力 F 的方向始终沿圆弧的切线方向	F 方向不断变化且始终与内壁的支持力垂直，与小滑块运动方向相同

(2)推理论证能力

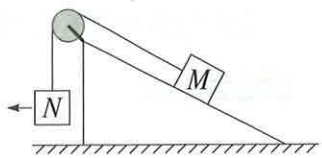
研究对象	受力分析图	计算过程
小滑块		根据三力平衡的条件，F 与 F_N 的合力与重力大小相等、方向相反。 根据几何关系有 $F=mg\sin\theta$，$F_N=mg\cos\theta$ 在小滑块由 A 点向 B 点运动的过程中，θ 角逐渐增大，因此，F 逐渐增大，F_N 逐渐减小。A、B 两项错误
凹槽和小滑块		x 轴方向：$F_{N2}=F\cos\theta=mg\sin\theta\cos\theta=\frac{1}{2}mg\sin(2\theta)$ 当 $\theta=45°$ 时，F_{N2} 有最大值，因此，随着 θ 角的增大，F_{N2} 先增大后减小。C 项正确 y 轴方向：$F_{N1}+F\sin\theta=(m'+m)g$ 即 $F_{N1}=(m'+m)g-mg\sin^2\theta=m'g+mg\cos^2\theta$ 因此，随着 θ 角的增大，F_{N1} 逐渐减小。D 项错误
凹槽		x 轴方向：$F_{N2}=F_N'\sin\theta=mg\cos\theta\sin\theta=\frac{1}{2}mg\sin(2\theta)$ y 轴方向：$F_{N1}=m'g+F_N'\cos\theta=m'g+mg\cos^2\theta$ 同理可得，C 项正确，D 项错误

说明：研究墙面和地面对凹槽的作用力，既能以凹槽为研究对象，也能以凹槽和小滑块组成的整体为研究对象。能不能选择恰当的研究对象常常成为能否更快捷地解决问题的关键。由上表可以看出，选择不同的研究对象得到的结果是一样的。

【答案】C

【失分剖析】①不能准确地写出小滑块所受推力和支持力随角度的变化关系，进而不能正确地判断出它们如何变化；②在判断凹槽所受作用力如何变化时，不能恰当地选择研究对象并对研究对象准确地作出受力分析；③三角函数知识不熟练，不会将 $\sin\theta\cos\theta$ 变换为 $\frac{1}{2}\sin 2\theta$，进而不能判断其单调性。

9.(多选)(2019 全国Ⅰ卷，19)如图所示，一粗糙斜面固定在地面上，斜面顶端装有一光滑定滑轮。一细绳跨过滑轮，其一端悬挂物块 N，另一端与斜面上的物块 M 相连，系统处于静止状态。现用水平向左的拉力缓慢拉动 N，直至悬挂 N 的细绳与竖直方向成 45°。已知 M 始终保持静止，则在此过程中(　　)



A. 水平拉力的大小可能保持不变

B. M 所受细绳的拉力大小一定一直增加

C. M 所受斜面的摩擦力大小一定一直增加

D. M 所受斜面的摩擦力大小可能先减小后增加

【试题立意】本题以物块与斜面为素材，创设了共点力动态平衡的学习探索问题情境。此情境曾在2016年全国甲卷第14题出现过。本题主要考查静摩擦力、力的合成和分解、共点力的平衡等知识点。

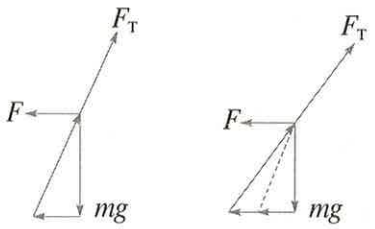
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力：对题干表述的理解

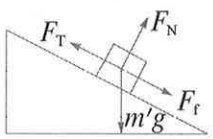
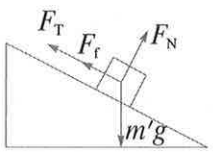
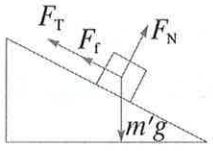
序号	关键表述	物理量及其关系
1	用水平向左的拉力缓慢拉动 N	物块 N 在三个力的作用下处于动态平衡状态
2	M 始终保持静止	M 始终处于静态平衡状态

(2)推理论证能力

设物块 N 的质量为 m，物块 M 的质量为 m'，对物块 N 分析：

受力分析图	分析过程
	①由题意可知，缓慢拉动物块 N 的过程中，重力的大小和方向不变，F 的方向不变，受力分析如图所示； ②随着物块 N 绕滑轮顺时针转动，F_T 也顺时针转动，连接物块 N 的轻绳从竖直转到与竖直方向夹角为45°的过程中，F 与 F_T 均逐渐增大，故B项正确

对物块 M 分析：

序号	受力分析图	分析过程
1		设斜面倾角为 θ，若 $m'g\sin\theta<mg$，则 F_f 方向沿斜面向下，如图所示，随着物块 N 顺时针转动，由 $F_T=m'g\sin\theta+F_f$ 可知，F_T 逐渐增大，则 F_f 也逐渐增大
2		若 $mg<m'g\sin\theta<\frac{mg}{\sin 45°}$，则 F_f 方向沿斜面向上，受力分析如图所示，F_T 逐渐增大至 $m'g\sin\theta$ 时，F_f 减小至0，F_T 由 $m'g\sin\theta$ 继续增大至 $\frac{mg}{\sin 45°}$ 的过程中，F_f 沿斜面向下增大
		若 $m'g\sin\theta>\frac{mg}{\sin 45°}$，则 F_f 方向沿斜面向上，受力分析如图所示，F_T 逐渐增大至 $\frac{mg}{\sin 45°}$ 的过程中，F_f 一直减小。故D项正确

【答案】BD

【失分剖析】不能将 M 受到的摩擦力准确完整地分成三类情况进行讨论。

方法点拨

当物体在三个力作用下处于动态平衡时，若其中一个力大小和方向不变，一个力方向不变，则适用图解法；若三个力中只有一个力大小和方向不变，则适用相似三角形法。

命题规律

1. 多维度细目表

高考试题（年份/卷别/题号）			2023			2022			2021	2020	2019
			山东,2	广东,2	海南,3	河北,7	湖南,5	浙江6月,10	湖南,5	山东,8	全国Ⅰ,19
考查内容	必备知识	重力 弹力 胡克定律	√		√			√			
		滑动摩擦力 动摩擦因数 静摩擦力						√		√	√
		矢量和标量 力的合成和分解		√	√	√	√	√	√	√	√
		共点力的平衡	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		牛顿第三定律				√	√	√		√	
	关键能力	理解能力	√		√	√		√	√		√
		推理论证能力		√	√	√	√	√	√	√	√
		模型建构能力					√				
		实验探究能力									
		创新能力									
	学科素养	物理观念	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学思维	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学探究									
		科学态度与责任									
考查要求		基础性	√	√	√	√	√		√	√	√
		综合性						√		√	√
		应用性	√		√	√		√			
		创新性									
情境载体		生活实践 问题情境	√	√	√		√	√			
		学习探索 问题情境				√			√	√	√

2. 命题趋势

考查项目	考查特点
命题类型	多以选择题形式出现，在计算题中出现一般是复杂过程中的某一状态或某一小段过程
必备知识	力的合成和分解与共点力的平衡是绝大多数考题考查的知识点，不同的考题可能会穿插考查胡克定律、摩擦力、牛顿第三定律等知识点
关键能力	绝大多数的考题考查的是理解能力、推理论证能力和模型建构能力，其中推理论证能力方面更注重考查应用数学解决物理问题的能力，模型建构能力方面主要考查建构三力平衡的受力模型
学科素养	与关键能力相对应，学科素养方面重在考查物理观念和科学思维
考查要求	注重基础性和应用性，综合性的考题相对较少
考查载体	问题情境以生活实践情境为主

“力与物体的平衡”是物理学的基础，是每年高考必考的考点。未来高考命题的方向应该是创设更接近日常生产生活实际的问题情境，重点考查力的合成和分解、共点力的平衡等知识点，可能会在数学方法上增加题目的难度，例如三角函数求最值、微元法等。

3. 备考策略

(1)重视最基本的力的观念的理解，如各种力的概念、力的运算法则、力的平衡条件等，要求学生能熟练地进行受力分析，这是解决力学问题的基础。

(2)重视多物体问题情境的研究，在这类问题中，注重灵活应用整体法和隔离法选取研究对象，更快捷地解决问题。

(3)重视动态平衡问题情境的研究，在这类问题中，通常会用到各种数学方法，如图解法、相似三角形法以及正弦定理法等。

(4)重视三个力作用下受力平衡模型的研究，这是共点力平衡的基础，也是最常见的受力平衡模型，应引导学生善于从具体的问题情境中抽象出三力平衡的模型，进而利用三力平衡的相关规律解决问题。

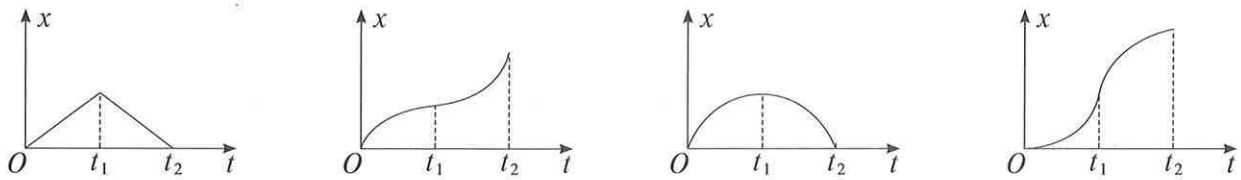
第 2 讲　力与物体的直线运动

题组一　匀变速直线运动的规律

所谓匀变速直线运动即沿一条直线且加速度不变的运动。

解决匀变速直线运动的规律问题主要结合已知量和待求量选择相应的公式分析。

1.(2023 全国甲卷,16)一小车沿直线运动,从 $t=0$ 开始由静止匀加速至 $t=t_1$ 时刻,此后做匀减速运动,到 $t=t_2$ 时刻速度降为零。在下列小车位移 x 与时间 t 的关系曲线中,可能正确的是(　　)



A　　B　　C　　D

【试题立意】本题以小车沿直线运动为素材,创设了考查对 $x-t$ 图像的理解的学习探索问题情境。此情境与人教版教材必修第一册第 34 页第 2 题图 1-3 创设的物理情境相似。主要考查了匀变速直线运动的图像问题。

【关键能力】本题主要考查理解能力。

$x-t$ 图像的斜率表示某时刻物体的速度,小车先做匀加速运动后做匀减速运动至速度为零,故斜率先变大后变小至零,故 D 项正确。

【答案】D

【失分剖析】不理解图像斜率的物理意义。

2.(2023 山东卷,6)如图所示,电动公交车做匀减速直线运动进站,连续经过 R、S、T 三点,已知 ST 间的距离是 RS 间的距离的两倍,RS 段的平均速度是 10 m/s,ST 段的平均速度是 5 m/s,则公交车经过 T 点时的瞬时速度为(　　)



A. 3 m/s　　B. 2 m/s　　C. 1 m/s　　D. 0.5 m/s

【试题立意】本题以电动公交车进站为素材,创设了求解某时刻的瞬时速度的生活实践问题情境。主要考查了平均速度、瞬时速度和匀变速直线运动公式的应用等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

方法一:设公交车匀减速的加速度大小为 a,通过 R、S、T 三点的速度分别为 v_R、v_S、v_T,则

RS段:$\frac{v_R+v_S}{2}=10$ m/s

ST段:$\frac{v_S+v_T}{2}=5$ m/s

ST间的距离是RS的两倍:$2\frac{v_R^2-v_S^2}{2a}=\frac{v_S^2-v_T^2}{2a}$

$\Rightarrow v_T=1$ m/s

方法二：由题意可求出全程的平均速度。

RS段：$\frac{v_R+v_S}{2}=10\ \text{m/s}$

ST段：$\frac{v_S+v_T}{2}=5\ \text{m/s}$ → $v_T=1\ \text{m/s}$

RT段：$\frac{v_R+v_T}{2}=6\ \text{m/s}$

RT段平均速度：$v_1=\frac{3s}{\frac{s}{10}+\frac{2s}{5}}=6\ \text{m/s}$

【答案】C

【失分剖析】题干中所给的已知量少，学生不会选择公式分析。

方法点拨

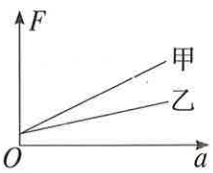
运动学题目中题干所给的已知量少时，应该充分挖掘题目中的隐含已知量，即前后运动阶段相等或相关联的物理量，例如本题中公交车一直做匀减速直线运动，因此 RS 段和 ST 段的加速度相同，故可设出加速度大小 a，前后两个阶段各列一个含 a 的运动学公式，最终联立方程组消去此未知量。

题组二　牛顿运动定律的应用

牛顿第二定律：$F=ma$

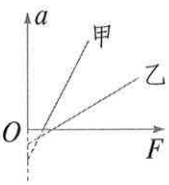
牛顿运动定律的应用主要包括动力学图像问题、瞬时性问题、连接体问题、临界极值问题、板块模型问题和多物体多过程问题等。

3.（多选）(2023 全国甲卷，19)用水平拉力使质量分别为 $m_{甲}$、$m_{乙}$ 的甲、乙两物体在水平桌面上由静止开始沿直线运动，两物体与桌面间的动摩擦因数分别为 $\mu_{甲}$ 和 $\mu_{乙}$。甲、乙两物体运动后，所受拉力 F 与其加速度 a 的关系图线如图所示。由图可知(　　)



A. $m_{甲}<m_{乙}$　　B. $m_{甲}>m_{乙}$　　C. $\mu_{甲}<\mu_{乙}$　　D. $\mu_{甲}>\mu_{乙}$

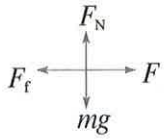
【试题立意】本题以物体做匀加速直线运动为素材，创设了分析图像问题的学习探索问题情境。本题与鲁科版教材必修第一册第 152 页第 6 题创设的物理情境相似，如图所示。主要考查了匀变速直线运动图像分析、牛顿运动定律及其应用等知识点。



【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

运动状态：物体做匀加速直线运动

对小车受力分析，如图所示



运动规律：$F-\mu mg=ma$

与图像结合，确定图像斜率、截距的物理意义；$F=ma+\mu mg$

- 斜率表示 m，故 $m_{甲}>m_{乙}$，B项正确
- 纵截距表示 μmg，故 $\mu_{甲}m_{甲}=\mu_{乙}m_{乙}$ → $\mu_{甲}<\mu_{乙}$，C项正确

【答案】BC

【失分剖析】不清楚图像的斜率和截距所代表的物理意义。

方法点拨

图像问题主要有两种考查方式，第一种已知图像，知道图像的斜率、截距或面积所代表的物理意义，利用图像分析物体的运动过程；第二种未知图像，不知道图像的斜率、截距或面积所代表的物理意义，利用函数思想分析图像，根据题目描述的运动过程，利用所满足的物理规律建立横、纵坐标所代表的物理量之间的函数关系，从而确定图像的斜率、截距或面积等所代表的物理意义，进而确定各物理量。

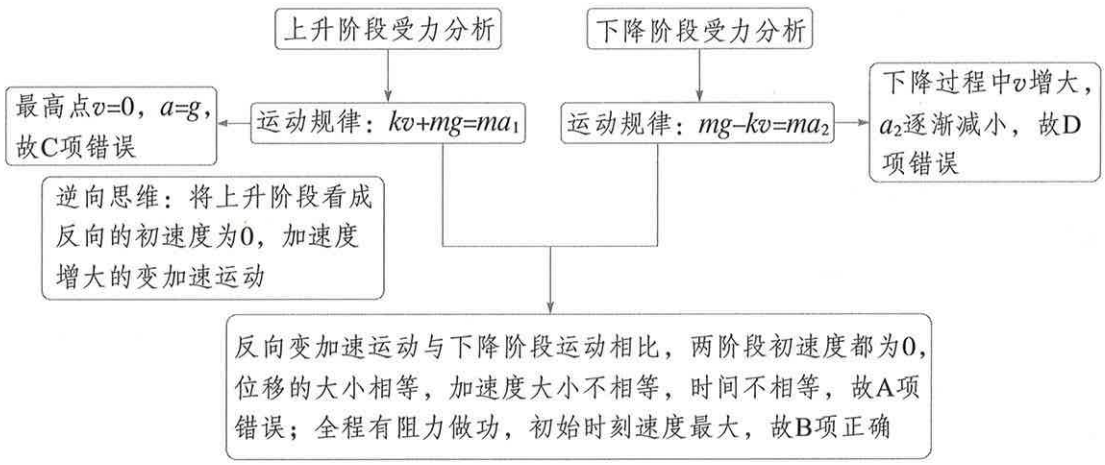
4.（2023 全国乙卷，14）一同学将排球自 O 点垫起，排球竖直向上运动，随后下落回到 O 点。设排球在运动过程中所受空气阻力大小和速度大小成正比，则该排球（　　）

A. 上升时间等于下落时间　　B. 被垫起后瞬间的速度最大

C. 达到最高点时加速度为零　　D. 下落过程中做匀加速运动

【试题立意】本题以排球的往返运动为素材，创设了定性分析变加速运动规律的生活实践问题情境。此情境与 2014 年重庆卷第 5 题类似。主要考查了牛顿运动定律、匀变速直线运动及其公式的应用等知识点。

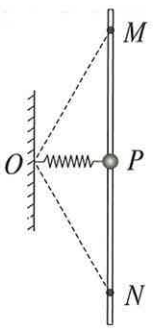
【关键能力】本题主要考查推理论证能力。



【答案】B

【失分剖析】不会将上升阶段的减速运动看成反向的加速运动来与下降阶段比较分析。上升阶段的减速运动可以利用逆向思维看成反向的加速运动，以此运动与下降阶段的运动比较更简便。

5.（多选）（2023 湖北卷，9）如图所示，原长为 l 的轻质弹簧，一端固定在 O 点，另一端与一质量为 m 的小球相连。小球套在竖直固定的粗糙杆上，与杆之间的动摩擦因数为 0.5。杆上 M、N 两点与 O 点的距离均为 l，P 点到 O 点的距离为 $\frac{1}{2}l$，OP 与杆垂直。当小球置于杆上 P 点时恰好能保持静止。设最大静摩擦力等于滑动摩擦力，重力加速度大小为 g。小球以某一初速度从 M 点向下运动到 N 点，在此过程中，弹簧始终在弹性限度内。下列说法正确的是（　　）

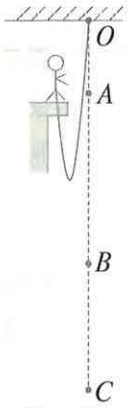


A. 弹簧的劲度系数为 $\frac{4mg}{l}$

B. 小球在 P 点下方 $\frac{1}{2}l$ 处的加速度大小为 $(3\sqrt{2}-4)g$

C. 从 M 点到 N 点的运动过程中，小球受到的摩擦力先变小再变大

D. 从 M 点到 P 点和从 P 点到 N 点的运动过程中，小球受到的摩擦力做功相同



第 5 题

【试题立意】本题以小球在弹簧作用下的竖直运动为素材，创设了分析弹簧弹力及加速度的变化规律的学习探索问题情境。本题与鲁科版教材必修第一册第 148 页第 5 题创设的物理情境相似。主要考查了胡克定律、摩擦力、牛顿运动定律等知识点。

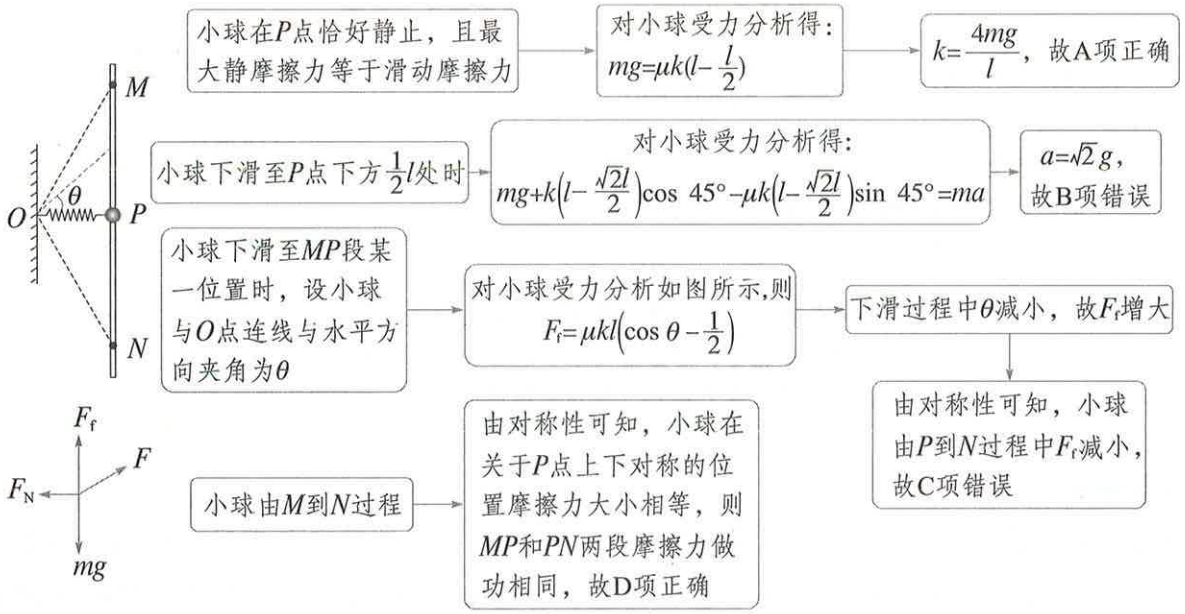
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

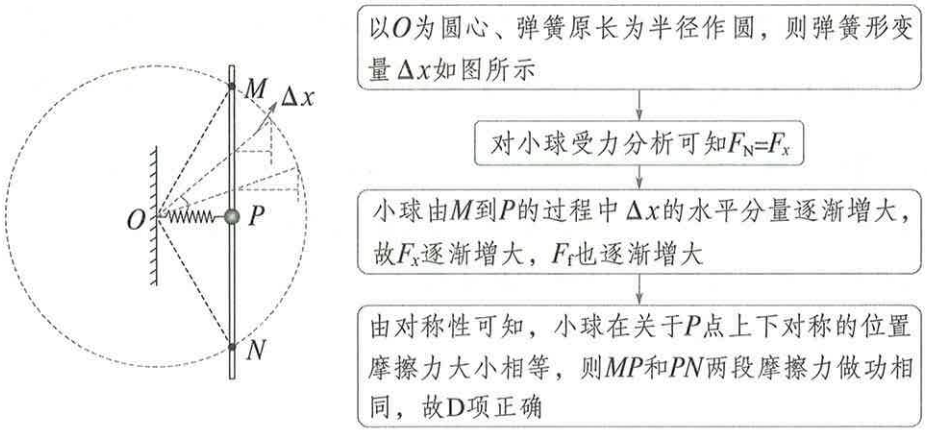
序号	关键表述	物理量及其关系
1	小球置于杆上 P 点时恰好能保持静止	$mg=F_{fm}$
2	最大静摩擦力等于滑动摩擦力	$F_{fm}=\mu F_N$

(2)推理论证能力

常规思路：



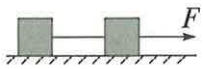
创新思路：由胡克定律可知弹簧弹力大小与形变量成正比，故可根据形变量的变化来判断弹力大小的变化，则对于摩擦力也可如下分析：



【答案】AD

【失分剖析】①不会分段分析小球的受力及运动情况；②不会定性判断弹簧弹力的变化情况。

6.（2023 北京卷，6）如图所示，在光滑水平地面上，两相同物块用细线相连，两物块质量均为 1 kg，细线能承受的最大拉力为 2 N。若在水平拉力 F 作用下，两物块一起向右做匀加速直线运动。则 F 的最大值为（　　）



A. 1 N　　B. 2 N　　C. 4 N　　D. 5 N

【试题立意】本题以细线连接的两物块的运动为素材，创设了求解连接体的临界极值问题的学习探索问题情境。此情境与 2019 年海南卷第 5 题类似，与人教版教材必修第一册第 115 页第 7 题图 4－9 创设的物理情境相似。主要考查了牛顿运动定律及其应用。



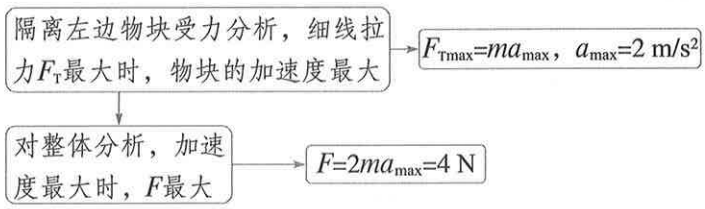
图 4－9

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

（1）理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	细线能承受的最大拉力为 2 N	细线拉力最大时物块的加速度最大
2	F 的最大值	物块的加速度最大时拉力 F 最大

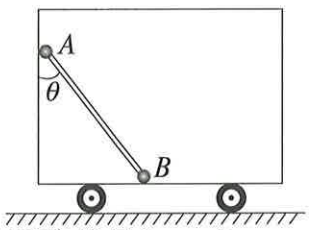
（2）推理论证能力



【答案】C

【失分剖析】不能熟练运用整体法与隔离法。

7.（多选）（2023 湖南卷，10）如图所示，光滑水平地面上有一质量为 $2m$ 的小车在水平推力 F 的作用下加速运动。车厢内有质量均为 m 的 A、B 两小球，两球用轻杆相连，A 球靠在光滑左壁上，B 球处在车厢水平底面上，且与底面的动摩擦因数为 μ，杆与竖直方向的夹角为 θ，杆与车厢始终保持相对静止。假设最大静摩擦力等于滑动摩擦力。下列说法正确的是（　　）



A. 若 B 球受到的摩擦力为零，则 $F=2mg\tan\theta$

B. 若推力 F 向左，且 $\tan\theta\leqslant\mu$，则 F 的最大值为 $2mg\tan\theta$

C. 若推力 F 向左，且 $\mu<\tan\theta\leqslant2\mu$，则 F 的最大值为 $4mg(2\mu-\tan\theta)$

D. 若推力 F 向右，且 $\tan\theta>2\mu$，则 F 的范围为 $4mg(\tan\theta-2\mu)\leqslant F\leqslant4mg(\tan\theta+2\mu)$

【试题立意】本题以车厢与小球的连接体模型为素材，创设了分析连接体的临界问题的学习探索问题情境。本题与人教版教材必修第一册第 108 页第 4 题图 4.5－8 创设的物理情境相似。主要考查了摩擦力、牛顿运动定律、连接体的临界条件的应用等知识点。

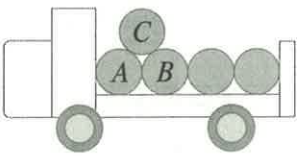


图 4.5－8

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	杆与车厢始终保持相对静止	小球与车厢加速度相等
2	最大静摩擦力等于滑动摩擦力	$F_{fm}=\mu F_N$

(2)推理论证能力

①若 B 球受到的摩擦力为 0,则:

对A受力分析可得:$F_T\cos\theta=mg$
对B受力分析可得:$F_T\sin\theta=ma$
→ $a=g\tan\theta$ → 对整体受力分析可得:$F=4ma=4mg\tan\theta$,故A项错误

②若推力 F 向左:

以整体为研究对象可知$F_m=4ma_m$,问题转化为求a_m
杆与车厢恰好保持相对静止时,可推出A、B两物体加速度的最大值
A恰好与车厢保持相对静止时,A与车厢间的弹力恰好为0,则对A受力分析可得:$mg\tan\theta=ma_A$,故$a_A=g\tan\theta$
B恰好与车厢保持相对静止时,B所受摩擦力向左达到最大静摩擦力,则受力分析可得:$\mu\cdot 2mg-mg\tan\theta=ma_B$,故$a_B=2\mu g-g\tan\theta$
若$\tan\theta\leqslant\mu$,则$a_B\geqslant a_A$ → 故$a_m=a_A$,$F_m=4mg\tan\theta$,B项错误
若$\mu<\tan\theta\leqslant 2\mu$,则$a_B<a_A$ → 故$a_m=a_B$,$F_m=4mg(2\mu-\tan\theta)$,C项正确

③若推力 F 向右:

对A受力分析可知无论推力取值多少,A均能与车厢相对静止
若B恰好相对车厢向左滑,则摩擦力向右达到最大静摩擦力,此时加速度最大,则$mg\tan\theta+\mu\cdot 2mg=ma_1$
若B恰好相对车厢向右滑,则摩擦力向左达到最大静摩擦力,此时加速度最小,则$mg\tan\theta-\mu\cdot 2mg=ma_2$
→ $\tan\theta>2\mu$ → $g(\tan\theta-2\mu)\leqslant a_B\leqslant g(\tan\theta+2\mu)$,故D项正确

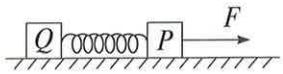
【答案】CD

【失分剖析】①分析具体问题时,不会选择研究对象;②不清楚小球 A、B 均与车厢保持相对静止所要满足的条件。

方法点拨

临界问题的关键在于如何确定临界状态以及临界状态下满足的临界条件，临界状态的确定可以利用极限法让变量从小到大逐渐增大，在此过程中临界状态就能显露出来，如本题中 F 增大到一定程度 A 球与车厢就会分离或 B 球与车厢发生相对运动。

8.（多选）(2022 全国甲卷，19) 如图所示，质量相等的两滑块 P、Q 置于水平桌面上，二者用一轻弹簧水平连接，两滑块与桌面间的动摩擦因数均为 μ。重力加速度大小为 g。用水平向右的拉力 F 拉动 P，使两滑块均做匀速运动；某时刻突然撤去该拉力，则从此刻开始到弹簧第一次恢复原长之前（　　）



A. P 的加速度大小的最大值为 $2\mu g$

B. Q 的加速度大小的最大值为 $2\mu g$

C. P 的位移大小一定大于 Q 的位移大小

D. P 的速度大小均不大于同一时刻 Q 的速度大小



图 4－5

【试题立意】本题以用弹簧相连的两滑块为素材，创设了研究变速直线运动的学习探索问题情境。此情境与 2020 年海南卷第 12 题类似，本题考查加速度大小的问题情境与人教版教材必修第一册第 114 页第 1 题图 4－5 所创设情境相似。主要考查了位移、速度、加速度、滑动摩擦力、胡克定律和牛顿第二定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1) 理解能力

规律	理解应用
牛顿第二定律	物体加速度的大小跟它受到的作用力成正比，跟它的质量成反比，加速度的方向跟作用力的方向相同。物体的加速度大小与所受力的大小具有瞬时对应关系，即 $a=\dfrac{F}{m}$

(2) 推理论证能力

说明：弹簧恢复原长时，P 有可能停下了，也有可能还在运动，不管 P 是在运动还是停止运动，对答案并没有影响，这里我们以 P 还在运动为例进行分析。

①加速度：设 P、Q 的质量均为 m，弹簧的弹力为 F_T。由胡克定律，从撤掉拉力 F 开始到弹簧恢复原长，弹簧的伸长量逐渐减小，因此，弹力 F_T 逐渐减小。（以向右运动为正方向）

在拉力 F 作用下，P、Q 做匀速运动时	撤掉拉力 F 后至弹簧恢复原长时		
	加速度表达式	撤掉拉力瞬间	弹簧恢复原长瞬间
对 Q 根据二力平衡的条件有 $F_T=\mu mg$	P：$-F_T-\mu mg=ma_P$，$a_P=-\dfrac{F_T}{m}-\mu g$	P 加速度大小为最大，此时 $a_P=-2\mu g$（A 项正确）	$a_P=-\mu g$
	Q：$F_T-\mu mg=ma_Q$，$a_Q=\dfrac{F_T}{m}-\mu g$	$a_Q=0$	Q 加速度大小为最大，此时 $a_Q=-\mu g$（B 项错误）

②位移：弹簧由伸长状态到原长状态，弹簧缩短了，即 P、Q 间距离减小了，因此 P 的位移

大小小于Q的位移大小，C项错误。

③速度：在从撤掉拉力F到弹簧恢复原长的过程中，由分析可知，P做加速度由$2\mu g$逐渐减小到μg的减速运动；Q做加速度由0开始逐渐增大到μg的减速运动。P和Q具有相同的初速度，它们都做减速运动，而且P的速度减小得更快，因此，在这个过程中，P的速度大小在任意时刻都不会大于Q的速度大小，D项正确。

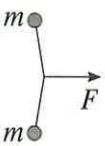
【答案】AD

【失分剖析】①不能准确地分析P、Q的受力及其变化情况；②不会在变加速直线运动中根据物体加速度的变化情况判断物体速度的变化情况。

方法点拨

弹簧问题是高考考查的重点模型，由于弹簧弹力的变化使得物体的加速度不断变化，物体的运动状态也随之改变，考查了对牛顿第二定律的理解。解决此类问题应分析物体的运动过程，选取某一运动阶段对物体受力分析，结合牛顿第二定律分析物体加速度和速度的变化。

9.（2022全国乙卷，15）如图所示，一不可伸长轻绳两端各连接一质量为m的小球，初始时整个系统静置于光滑水平桌面上，两球间的距离等于绳长L。一大小为F的水平恒力作用在轻绳的中点，方向与两球连线垂直。当两球运动至二者相距$\frac{3}{5}L$时，它们加速度的大小均为（　　）



A. $\frac{5F}{8m}$　　B. $\frac{2F}{5m}$　　C. $\frac{3F}{8m}$　　D. $\frac{3F}{10m}$

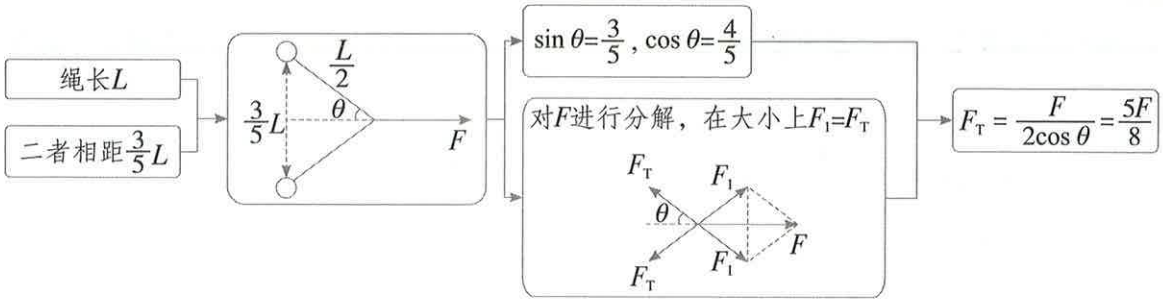
【试题立意】本题以光滑水平面上用轻绳相连的两个等质量小球为素材，创设了求解小球加速度大小的学习探索问题情境。主要考查了力的分解、牛顿第二定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

（1）理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	光滑水平桌面	小球在竖直方向上所受重力与支持力二力平衡，在水平方向上只受轻绳的水平拉力，因此轻绳的拉力即为小球所受合力
2	水平恒力	

（2）推理论证能力



根据牛顿第三定律、牛顿第二定律，两个小球的加速度大小均为$a=\frac{5F}{8m}$。

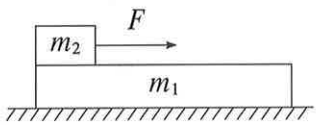
【答案】A

【失分剖析】①不知道将力 F 进行分解求出小球所受合外力；②不能正确地解出两个分力与力 F 的夹角，进而不能求出轻绳拉力与 F 的大小关系。

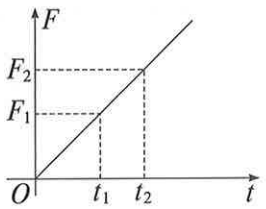
方法点拨

第 6 题和第 9 题均涉及连接体模型，此类问题的关键在于选择研究对象，即整体法和隔离法的应用。一般情况下，连接体内各物体的加速度不相同时，不能看成整体，此类问题往往分别隔离物体分析；连接体内各物体的加速度相同时，它们可以看成一个整体。当分析整体受到的外力时优先考虑整体法或先隔离后整体，分析连接体内物体间的相互作用力时优先考虑隔离法或先整体后隔离。

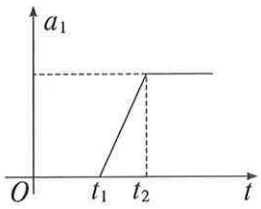
10.（多选）(2021 全国乙卷，21) 水平地面上有一质量为 m_1 的长木板，木板的左端上有一质量为 m_2 的物块，如图(a)所示。用水平向右的拉力 F 作用在物块上，F 随时间 t 的变化关系如图(b)所示，其中 F_1、F_2 分别为 t_1、t_2 时刻 F 的大小。木板的加速度 a_1 随时间 t 的变化关系如图(c)所示。已知木板与地面间的动摩擦因数为 μ_1，物块与木板间的动摩擦因数为 μ_2。假设最大静摩擦力均与相应的滑动摩擦力相等，重力加速度大小为 g。则（　　）



图(a)



图(b)



图(c)

A. $F_1=\mu_1 m_1 g$

B. $F_2=\dfrac{m_2(m_1+m_2)}{m_1}(\mu_2-\mu_1)g$

C. $\mu_2>\dfrac{m_1+m_2}{m_2}\mu_1$

D. 在 $0\sim t_2$ 时间段物块与木板加速度相等

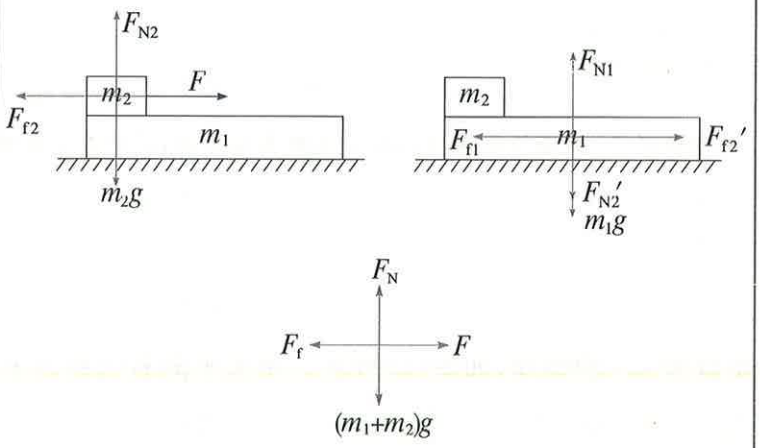
【试题立意】本题以板块运动模型为素材，创设了利用 $F-t$ 图像和 $a-t$ 图像探求临界作用力等问题的学习探索问题情境。此情境与 2014 年江苏卷第 8 题类似。主要考查了滑动摩擦力、动摩擦因数、共点力的平衡、牛顿运动定律及其应用等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、模型建构能力和推理论证能力。

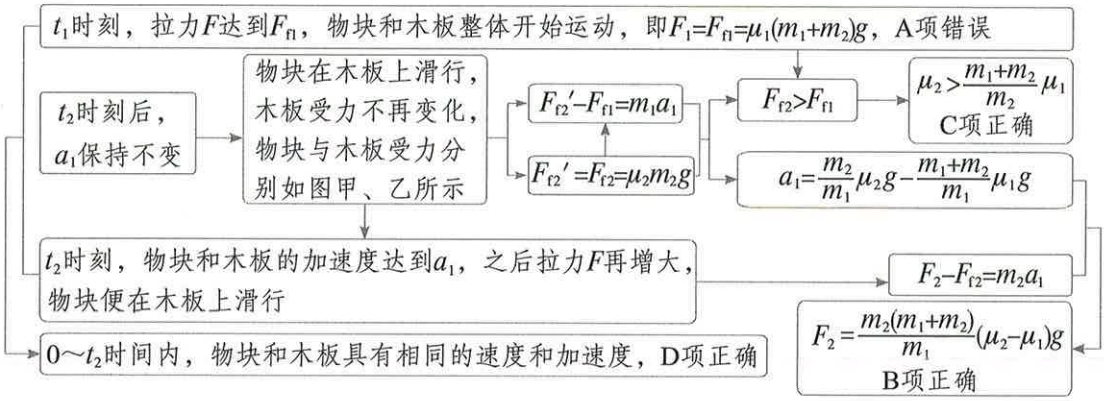
(1)理解能力

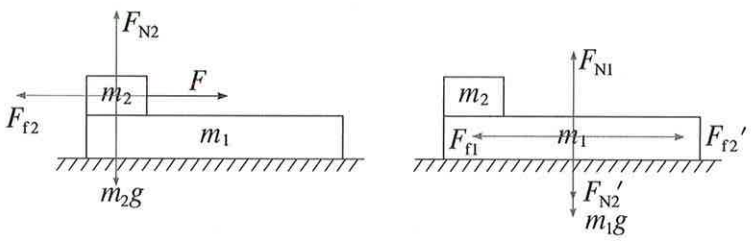
序号	关键表述/图像信息	物理量及其关系
1	最大静摩擦力均与相应的滑动摩擦力相等	木板与地面之间的最大静摩擦力 $F_{f1}=\mu_1(m_1+m_2)g$
		物块与木板之间的最大静摩擦力 $F_{f2}=\mu_2 m_2 g$
2	$F-t$ 图像	拉力 F 随时间 t 的变化关系，t_1、t_2 时刻对应 F_1、F_2
3	a_1-t 图像	木板的加速度 a_1 随时间 t 的变化关系，t_1 时刻之前，木板处于静止状态，$t_1\sim t_2$ 时间内，a_1 随时间均匀增大，t_2 时刻后，a_1 保持不变，木板做匀加速直线运动

(2)模型建构能力

关键信息	破题关键	建构模型
(1)t_2 时刻后，力 F 增大时木板加速度大小不变。 (2)t_1～t_2 时间内，木板加速度逐渐增大。 (3)0～t_1 时间内，木板加速度为 0	(1)t_2 时刻后木板的加速度保持不变，说明木板受到的摩擦力为滑动摩擦力，保持不变。 (2)物块与木板相对静止一起做加速度均匀增加的加速运动。 (3)物块与木板均受力平衡(静止模型)	

(3)推理论证能力





甲　　乙

【答案】BCD

【失分剖析】①不能通过 $F-t$ 图像和 $a-t$ 图像分析出三段时间内的运动模型；②不能准确地对物块和木板进行受力分析，并写出相应的牛顿第二定律方程。

命题规律

1. 多维度细目表

高考试题（年份/卷别/题号）			2023							2022		2021
			全国甲,16	全国甲,19	全国乙,14	山东,6	北京,6	湖北,9	湖南,10	全国甲,19	全国乙,15	全国乙,21
考查内容	必备知识	位移、速度、加速度				√				√		
		匀变速直线运动及其公式、图像	√	√	√	√						
		自由落体运动										
		力的合成和分解									√	
		牛顿运动定律及其应用		√	√		√	√	√	√	√	√
	关键能力	理解能力	√				√	√	√	√	√	√
		推理论证能力		√	√	√	√	√	√	√	√	√
		模型建构能力										√
		实验探究能力										
		创新能力										
	学科素养	物理观念	√		√	√	√			√	√	√
		科学思维		√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学探究										
		科学态度与责任										
考查要求		基础性	√		√						√	
		综合性		√		√	√	√	√	√		√
		应用性										
		创新性										
情境载体		生活实践问题情境			√	√						
		学习探索问题情境	√	√			√	√	√	√	√	√

2. 命题趋势

考查项目	考查特点
命题类型	多以选择题的形式出现，但有时也会以计算题的形式考查，甚至以压轴题出现。另外，如考查板块模型的综合性题目，直线运动部分应用牛顿运动定律解决问题是其中重要的环节

续表

考查项目	考查特点
必备知识	匀变速直线运动及其公式、图像和牛顿第二定律是核心考点，同时辅以力的合成和分解，考题的综合性往往较强
关键能力	绝大多数的考题考查的是理解能力、推理论证能力和模型建构能力，理解能力是大多数题目的必考能力，推理论证能力重在考查牛顿运动定律与匀变速直线运动规律的综合应用，即已知受力情况求解运动情况或已知运动情况求解受力情况，此类题目典型的模型就是以“板块”模型为代表的多物体运动模型
学科素养	学科素养方面重在考查物理观念和科学思维
考查要求	注重基础性和综合性，应用性、创新性的考题相对较少
考查载体	生活实践问题情境和学习探索问题情境兼而有之，生活实践问题情境应为大势所趋

力与物体的直线运动是高中物理的核心知识之一，也是高考的必考考点，考题可以单独考匀变速直线运动，也可以单独考牛顿运动定律，当然也会考综合性强甚至涉及多个物体运动的复杂问题，未来的命题趋势变化不会很大，可能会更注重联系生产生活实际，让考题更具应用性和创新性。

3. 备考策略

(1)重视对基本概念与基本规律的理解，匀变速直线运动的规律重在理解各物理量之间的关系，理解公式的来龙去脉方能对公式运用自如，对运动图像应理解其物理含义，尤其是截距、斜率和图线与横轴围成的图形的面积；牛顿第二定律重在理解其“瞬时性”和“同向性”，理解其在研究力和运动的关系中的桥梁作用。

(2)重视对多物体问题情境的研究，从近几年的考题可以看出，“力与物体的直线运动”是可以出综合性很强的压轴考题的，有时还会综合能量、动量的观念来命题，题目的综合性强、运算量大，是对学生多方面综合能力的考查，在备考中应设置专题进行复习，并应反复进行强化训练，真正提升学生的物理学科素养，否则学生对这类题应对起来还是会比较困难。

(3)应特别重视“板块”模型，“板块”模型已经成为若干年来最高频的高考考题情境。应通过专题训练，引导学生将复杂的运动过程分解为一个个简单的运动过程，利用运动草图、图像等手段明晰物体的运动过程，探寻物体间的运动关系。引导学生总结解决此类问题的一般方法，以做到以不变应万变，触类旁通、举一反三。

第3讲　力与物体的曲线运动

题组一　力与物体的抛体运动

所谓抛体运动即物体以一定的初速度向空中抛出，仅在重力作用下所做的运动。

解决抛体运动问题常用的方法主要是运动的合成与分解，化曲为直，化繁为简。

1.（2023全国乙卷，15）小车在水平地面上沿轨道从左向右运动，动能一直增加。如果用带箭头的线段表示小车在轨道上相应位置处所受合力，下列四幅图可能正确的是（　　）



A　　B　　C　　D

【试题立意】本题以小车做曲线运动为素材，创设了分析做曲线运动的条件的学习探索问题情境。本题考查做曲线运动的条件与人教版教材必修第二册第4页演示实验图5.1－3创设的情境相似。此情境与2023年辽宁卷第1题和全国甲卷第18题类似。主要考查了曲线运动的条件、物体做加速运动的条件等知识点。

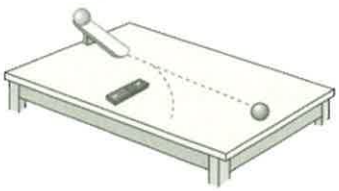


图5.1－3　钢球的运动轨迹

【关键能力】本题主要考查理解能力。

理解能力

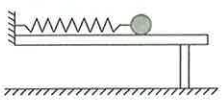
①物体做曲线运动时，合外力指向轨迹的凹侧，故A、B项错误。

②由题意可知小车速度一直在增大，故合外力方向与速度方向的夹角为锐角，故C项错误，D项正确。

【答案】D

【失分剖析】①不清楚物体做曲线运动时轨迹在合外力方向与速度方向的夹角内；②不知道速度增大时合外力方向与速度方向的夹角小于90°。此类题要明确物体做曲线运动的条件及加速或减速的条件。

2.（2023全国甲卷，24）如图所示，光滑水平桌面上有一轻质弹簧，其一端固定在墙上。用质量为m的小球压弹簧的另一端，使弹簧的弹性势能为E_p。释放后，小球在弹簧作用下从静止开始在桌面上运动，与弹簧分离后，从桌面水平飞出。小球与水平地面碰撞后瞬间，其平行于地面的速度分量与碰撞前瞬间相等；垂直于地面的速度分量大小变为碰撞前瞬间的$\frac{4}{5}$，小球与地面碰撞后，弹起的最大高度为h，重力加速度大小为g，忽略空气阻力。求：



（1）小球离开桌面时的速度大小；

（2）小球第一次落地点距桌面上其飞出点的水平距离。

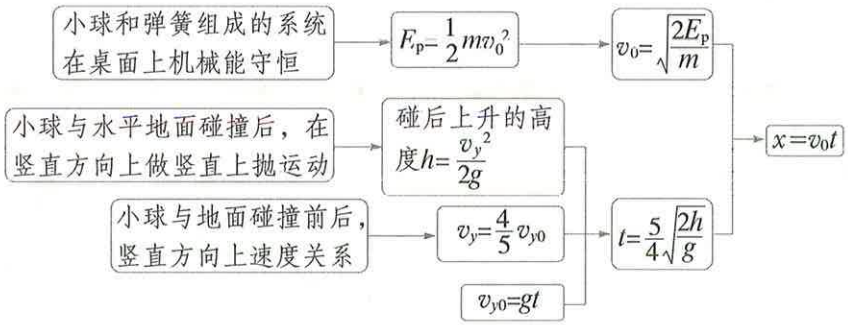
【试题立意】本题以弹簧和小球为素材，创设了小球做抛体运动的学习探索问题情境。主要考查了机械能守恒定律、运动的合成与分解、抛体运动等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	光滑水平桌面	小球从静止开始到从桌面水平飞出过程，小球与弹簧组成的系统机械能守恒
2	平行于地面的速度分量与碰撞前瞬间相等	碰撞后：$v_x=v_0$
3	垂直于地面的速度分量大小变为碰撞前瞬间的$\frac{4}{5}$	碰撞后：$v_y=\frac{4}{5}v_{y0}$

(2)推理论证能力



【解题过程】(1)对小球和弹簧组成的系统，根据机械能守恒定律有 $E_p=\frac{1}{2}mv_0^2$ ①

解得 $v_0=\sqrt{\frac{2E_p}{m}}$。 ②

(2)小球离开桌面后 $h=\frac{v_y^2}{2g}$ ③

设第一次与地面碰撞前速度的竖直分量为 v_{y0}，由题意可知 $v_y=\frac{4}{5}v_{y0}$

离开桌面后 $v_{y0}=gt$ ④，$x=v_0t$ ⑤

解得 $x=\frac{5}{2}\sqrt{\frac{E_ph}{mg}}$。 ⑥

评分参考：①～⑥各 2 分。

【答案】(1)$\sqrt{\frac{2E_p}{m}}$ (2)$\frac{5}{2}\sqrt{\frac{E_ph}{mg}}$

【失分剖析】①不会用运动的分解的方法去分析物体与地面碰撞后的运动；②不清楚小球飞出桌面后的平抛运动与碰撞后的斜抛运动分速度的关系。

3.(2023 全国新课标卷，24)将扁平的石子向水面快速抛出，石子可能会在水面上一跳一跳地飞向远方，俗称“打水漂”。要使石子从水面跳起产生“水漂”效果，石子接触水面时的速度方向与水面的夹角不能大于 θ。为了观察到“水漂”，一同学将一石子从距水面高度为 h 处水平抛出，抛出速度的最小值为多少？(不计石子在空中飞行时的空气阻力，重力加速度大小为 g)

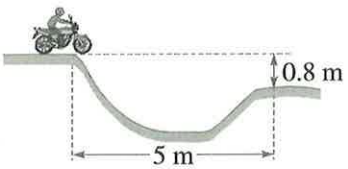


图 2-17　摩托车的速度多大才能越过壕沟

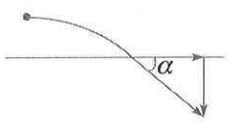
【试题立意】本题以打水漂为素材，创设了分析石子触水时速度满足一定角度要求的最值问题的生活实践问题情境。此情境曾在2020年全国Ⅱ卷第16题出现，与鲁科版教材必修第二册第47页图2-17所创设的情境相似。主要考查了运动的合成与分解、抛体运动等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、模型建构能力和推理论证能力。

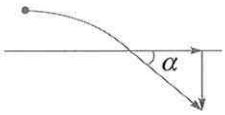
(1)理解能力

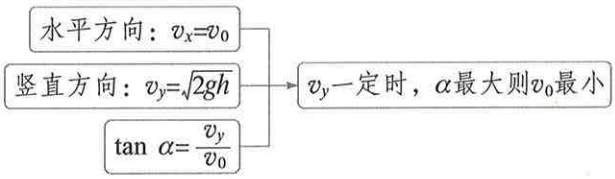
序号	关键表述	物理量及其关系
1	速度方向与水面的夹角不能大于 θ	$\frac{v_y}{v_0}=\tan\alpha\leqslant\tan\theta$
2	抛出速度的最小值	v_0 越小，α 越大

(2)模型建构能力

关键信息	破题关键	建构模型
一石子从距水面高度为 h 处水平抛出	①水平抛出； ②不计石子在空中飞行时的阻力； ③接触水面速度方向与水平面夹角为 α	

(3)推理论证能力





【解题过程】石子做平抛运动，竖直方向做自由落体运动，则有 $2gh=v_y^2$ ①

解得 $v_y=\sqrt{2gh}$ ②

由 $\frac{v_y}{v_0}\leqslant\tan\theta$ 可知，当速度与水平方向夹角最大为 θ 时，v_0 最小，则 ③

$\frac{v_y}{v_{0\min}}=\tan\theta$ ④

解得 $v_{0\min}=\frac{\sqrt{2gh}}{\tan\theta}$。 ⑤

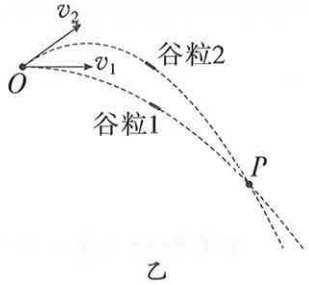
评分参考：①～⑤各2分。

【答案】$\frac{\sqrt{2gh}}{\tan\theta}$

【失分剖析】不清楚初速度大小与触水时速度方向与水平方向的夹角 α 的关系。

4.(2023 湖南卷,2)如图甲所示,我国某些农村地区人们用手抛撒谷粒进行水稻播种。某次抛出的谷粒中有两颗的运动轨迹如图乙所示,其轨迹在同一竖直平面内,抛出点均为 O,且轨迹交于 P 点,抛出时谷粒 1 和谷粒 2 的初速度分别为 v_1 和 v_2,其中 v_1 方向水平,v_2 方向斜向上。忽略空气阻力,关于两谷粒在空中的运动,下列说法正确的是(　　)


甲



乙

A. 谷粒 1 的加速度小于谷粒 2 的加速度

B. 谷粒 2 在最高点的速度小于 v_1

C. 两谷粒从 O 到 P 的运动时间相等

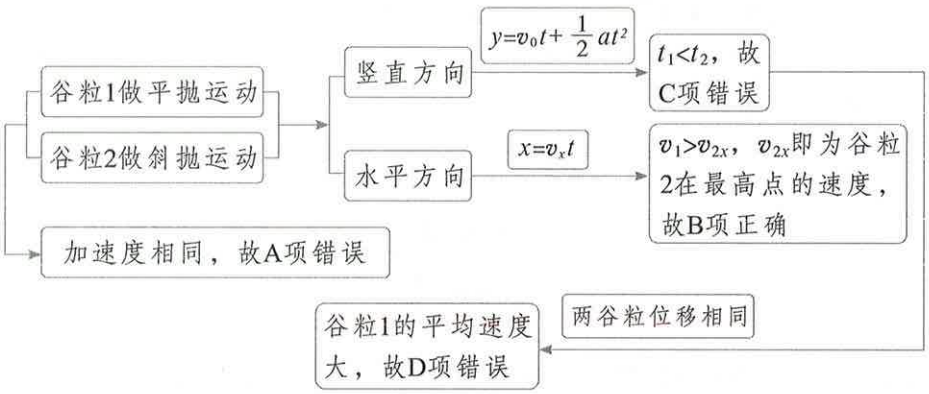
D. 两谷粒从 O 到 P 的平均速度相等

【试题立意】本题以抛撒谷粒进行水稻播种为素材,创设了比较两个抛体运动各物理量大小的生活实践问题情境。此情境曾在 2020 年江苏卷第 8 题出现,与鲁科版教材必修第二册第 56 页第 11 题图所创设的情境相似。主要考查了运动的合成与分解、抛体运动等知识点。



第 11 题

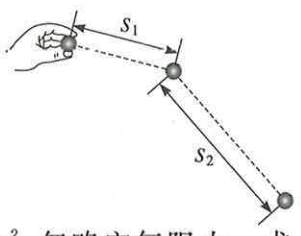
【关键能力】本题主要考查推理论证能力。



【答案】B

【失分剖析】不会用分解的思想比较谷粒 2 与谷粒 1 的运动。处理斜抛问题时,往往用分解的思想,将抛体运动转化为两个相互垂直的直线运动,化曲为直,化繁为简。

5.(2022 全国甲卷,24)将一小球水平抛出,使用频闪仪和照相机对运动的小球进行拍摄,频闪仪每隔 0.05 s 发出一次闪光。某次拍摄时,小球在抛出瞬间频闪仪恰好闪光,拍摄的照片编辑后如图所示。图中的第一个小球为抛出瞬间的影像,每相邻两个球之间被删去了 3 个影像,所标出的两个线段的长度 s_1 和 s_2 之比为 3∶7。重力加速度 g 取 10 m/s^2,忽略空气阻力。求在抛出瞬间小球速度的大小。



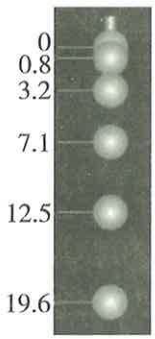


图 2.4－9


第 3 题

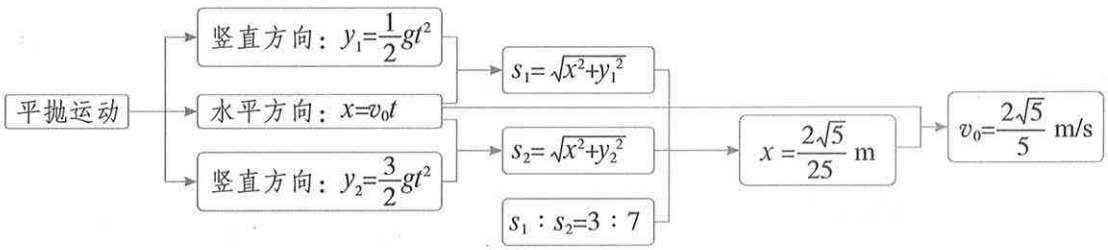
【试题立意】本题以频闪仪照相和平抛的小球为素材，创设了用频闪照相研究平抛运动的学习探索问题情境。用频闪照相的方法研究物体的运动在教材中多有出现，如人教版教材必修第一册第 53 页第 5 题图 2.4－9、鲁科版教材必修第一册第 56 页第 3 题图。主要考查了运动的合成与分解、抛体运动等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、推理论证能力和创新能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	频闪仪每隔 0.05 s 发出一次闪光	相邻两小球影像间时间间隔 $T=0.05$ s
2	每相邻两个球之间被删去了 3 个影像	编辑后相邻两小球影像间的时间间隔 $t=4T$
3	小球在抛出瞬间频闪仪恰好闪光	第一个小球影像为平抛运动的初始位置
4	s_1 和 s_2 之比为 3∶7	s_1 和 s_2 对应小球在每段时间内的合位移

(2)推理论证能力

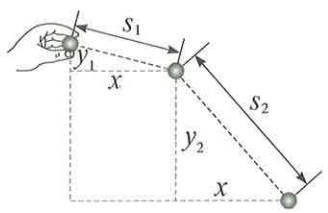


(3)创新能力

本题的创新点是利用频闪仪和照相机获得小球运动过程中连续间隔相同时间的影像，进而利用平抛运动的知识来解决问题。

【解题过程】由题意可知，相邻两小球影像间的时间间隔为

$t=4T=0.20$ s　①



在第一个 t 时间内，小球下落的高度 $y_1=\frac{1}{2}gt^2$　②

在第二个 t 时间内，小球下落的高度 $y_2=\frac{1}{2}g(2t)^2-y_1=\frac{3}{2}gt^2$　③

设在两个 t 时间内小球的水平位移均为 x，则由几何关系得

$s_1=\sqrt{y_1^2+x^2}$，$s_2=\sqrt{y_2^2+x^2}$　④

由题意知，$s_1:s_2=3:7$，解得 $x=\frac{2\sqrt{5}}{25}$ m

由 $x=v_0t$ 得　⑤

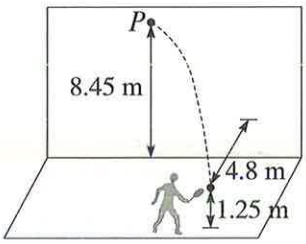
$v_0=\frac{2\sqrt{5}}{5}$ m/s。 ⑥

评分参考:①～⑥各 2 分。

【答案】$\frac{2\sqrt{5}}{5}$ m/s

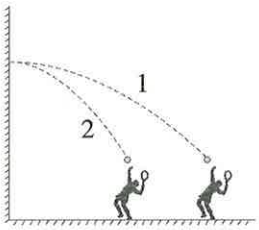
【失分剖析】①错误地理解了“删去了 3 个影像”,以为编辑后相邻的两个影像之间的时间间隔是 $3T$;②没能正确地找出 s_1、s_2 与竖直位移和水平位移之间的几何关系。

6.(多选)(2022 山东卷,11)如图所示,某同学将离地 1.25 m 的网球以 13 m/s 的速度斜向上击出,击球点到竖直墙壁的距离为 4.8 m。当网球竖直分速度为零时,击中墙壁上离地高度为 8.45 m 的 P 点。网球与墙壁碰撞后,垂直墙面速度分量大小变为碰前的 0.75 倍,平行墙面的速度分量不变。重力加速度 g 取 10 m/s^2,网球碰墙后的速度大小 v 和着地点到墙壁的距离 d 分别为(　　)



A. $v=5$ m/s　　B. $v=3\sqrt{2}$ m/s　　C. $d=3.6$ m　　D. $d=3.9$ m

【试题立意】本题以打网球为素材,创设了求解抛体运动的速度、位移的生活实践问题情境。这一情境与鲁科版教材必修第二册第 54 页第 4 题图情境相似,不同之处在于,本题更注重对学生三维空间想象力的考查。主要考查了运动的合成与分解、抛体运动等知识点。



第 4 题

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

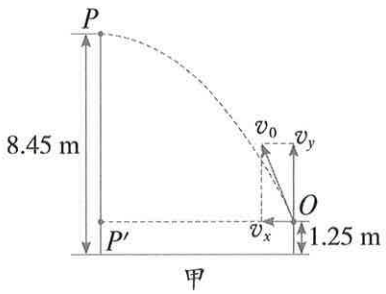
(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	离地 1.25 m;离地高度为 8.45 m 的 P 点	网球上升的高度为 $h=H-h_0=7.2$ m
2	网球竖直分速度为零时	此时网球的速度沿水平方向
3	网球碰墙后的速度大小 v	平行墙面的速度分量与垂直墙面的速度分量的矢量和

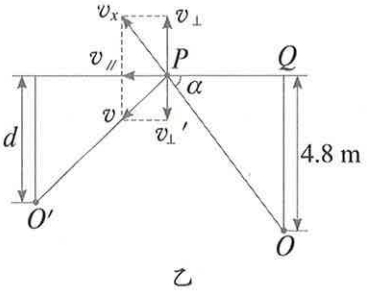
(2)推理论证能力

思路一:

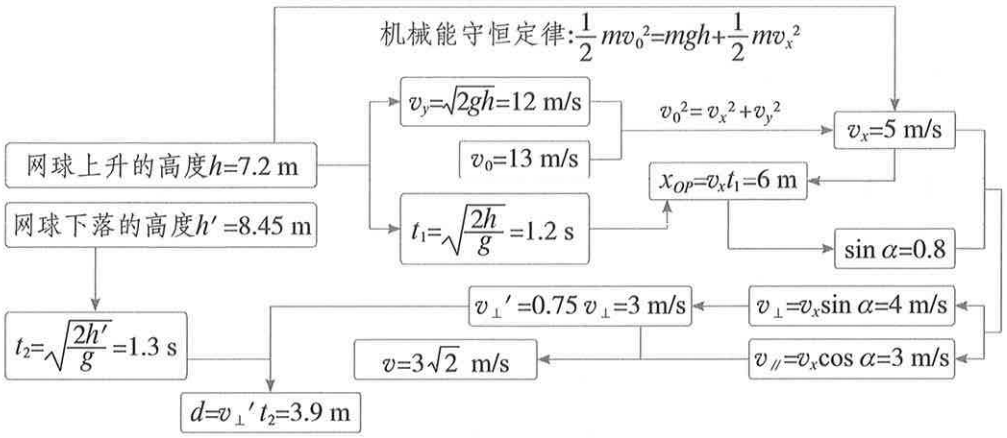
如图所示,图甲为网球向上运动过程中轨迹所在竖直平面,图乙为网球运动全过程的俯视图。



甲

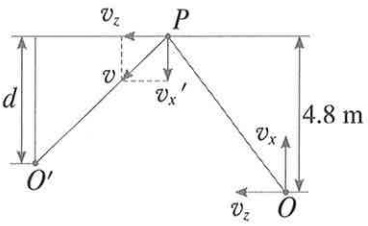


乙

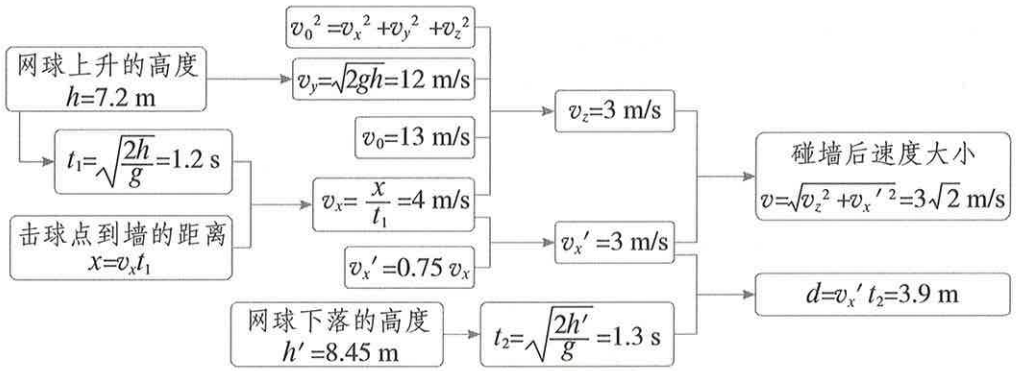


思路二：

图丙为网球运动全过程的俯视图。将网球在O点(击球点)的速度分解为竖直向上的速度v_y(图中未画出)、垂直于墙的速度v_x、平行于墙的速度v_z。由题意，至网球碰墙前瞬间，v_y减为0，v_x、v_z均不变；撞墙后，v_z没有发生变化，垂直于墙的速度大小$v_x'=0.75v_x$。



丙



【答案】BD

【失分剖析】①三维空间想象力较差，不能想象出网球运动过程中相关的几何关系；②不理解网球撞墙反弹时的速度变化，进而不能正确求出网球反弹后的速度v；③误将网球下落过程中的水平位移当作网球落地点到墙的距离。

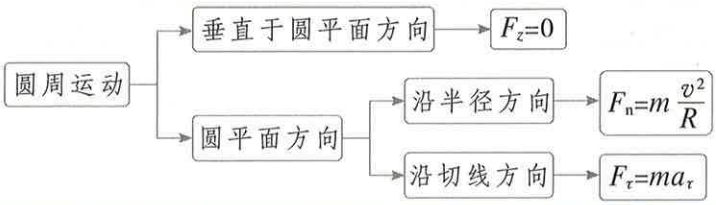
方法点拨

三维空间问题的考查是近几年高考的热点，动力学、电磁学和光学中都常有涉及。动力学中的三维空间问题的解决方法主要有两种：一是利用物体所受合外力及速度方向确定其运动平面；二是利用运动的合成与分解，将物体的运动分解成三个方向的分运动，利用分运动的等时性，分别研究三个方向的分运动的规律。

题组二　力与物体的圆周运动

匀速圆周运动，即做圆周运动的物体在任意相等的时间内通过的圆弧长相等。

解决圆周运动的问题的方法主要是根据物体做圆周运动所满足的规律进行分析，即



7.（2023 全国甲卷，17）质点做匀速圆周运动，若其所受合力的大小与轨道半径的 n 次方成正比，运动周期与轨道半径成反比，则 n 等于（　　）

A. 1　　B. 2　　C. 3　　D. 4

【试题立意】本题以质点做匀速圆周运动为素材创设分析圆周运动规律的学习探索问题情境。主要考查了匀速圆周运动的向心力等知识点。

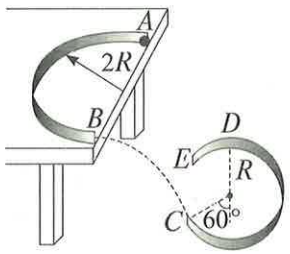
【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

$F_{合}=kr^n$，$T=\frac{k'}{r}$ → $F_{合}=mr\frac{4\pi^2}{T^2}$ → $kr^n=m\frac{4\pi^2r^3}{k'^2}$ → $n=3$

【答案】C

【失分剖析】正比例系数和反比例系数均未知，不会将向心力方程写成关于 r 的等式。

8.（2023 湖北卷，14）下图为某游戏装置原理示意图。水平桌面上固定一半圆形竖直挡板，其半径为 $2R$、内表面光滑，挡板的两端 A、B 在桌面边缘，B 与半径为 R 的固定光滑圆弧轨道 $\overset{\frown}{CDE}$ 在同一竖直平面内，过 C 点的轨道半径与竖直方向的夹角为 60°。小物块以某一水平初速度由 A 点切入挡板内侧，从 B 点飞出桌面后，在 C 点沿圆弧切线方向进入轨道 $\overset{\frown}{CDE}$ 内侧，并恰好能到达轨道的最高点 D。小物块与桌面之间的动摩擦因数为 $\frac{1}{2\pi}$，重力加速度大小为 g，忽略空气阻力，小物块可视为质点。



(1)求小物块到达 D 点的速度大小。

(2)求 B 和 D 两点的高度差。

(3)求小物块在 A 点的初速度大小。

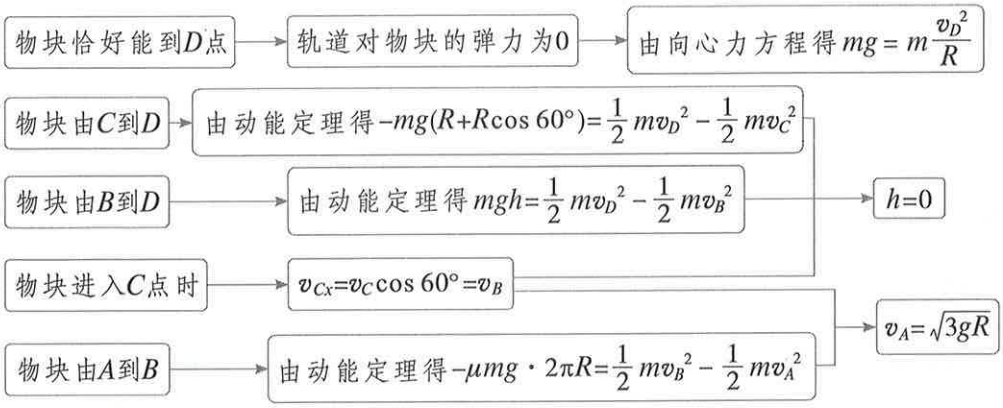
【试题立意】本题以游戏装置为素材创设了分析圆周运动临界条件及圆周运动与动能定理相结合的生活实践问题情境。本题与鲁科版教材必修第二册第 80 页第 5 题创设的翻滚过山车的物理情境相似。主要考查了匀速圆周运动的向心力、抛体运动、动能定理等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	在 C 点沿圆弧切线方向进入轨道	物块在 C 点的速度方向已知
2	恰好能到达轨道的最高点 D	物块在 D 点时与轨道间的压力为 0

(2)推理论证能力



【解题过程】(1)由题知,小物块恰好能到达轨道的最高点 D,则在 D 点有 $m\frac{v_D^2}{R}=mg$ ①

解得 $v_D=\sqrt{gR}$。 ②

(2)由题知,小物块从 C 点沿圆弧切线方向进入轨道 $\overset{\frown}{CDE}$ 内侧,则在 C 点有 $\cos 60°=\frac{v_B}{v_C}$ ③

小物块从 C 到 D 的过程中,根据动能定理有 $-mg(R+R\cos 60°)=\frac{1}{2}mv_D^2-\frac{1}{2}mv_C^2$ ④

小物块从 B 到 D 的过程中,根据动能定理有 $mgh=\frac{1}{2}mv_D^2-\frac{1}{2}mv_B^2$ ⑤

联立解得 $v_B=\sqrt{gR}$,$h=0$。 ⑥

(3)小物块从 A 到 B 的过程中,根据动能定理有 $-\mu mg\pi\cdot 2R=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_A^2$ ⑦

解得 $v_A=\sqrt{3gR}$。 ⑧

评分参考:③1 分,其余各 2 分。

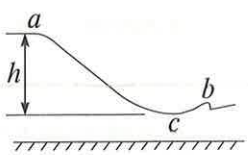
【答案】(1)$\sqrt{gR}$　(2)0　(3)$\sqrt{3gR}$

【失分剖析】①不知道恰好到达最高点的条件;②不会合理选择运动过程进行研究。

方法点拨

竖直面内的圆周运动重点考查临界问题,理解并能熟练应用单轨模型和双轨模型中恰好到达最高点的临界条件。

9.(2022 全国甲卷,14)北京 2022 年冬奥会首钢滑雪大跳台局部示意图如图所示。运动员从 a 处由静止自由滑下,到 b 处起跳,c 点为 a、b 之间的最低点,a、c 两处的高度差为 h。要求运动员经过 c 点时对滑雪板的压力不大于自身所受重力的 k 倍,运动过程中将运动员视为质点并忽略所有阻力,则 c 点处这一段圆弧雪道的半径不应小于(　　)



A. $\frac{h}{k+1}$　　B. $\frac{h}{k}$　　C. $\frac{2h}{k}$　　D. $\frac{2h}{k-1}$


第 8 题

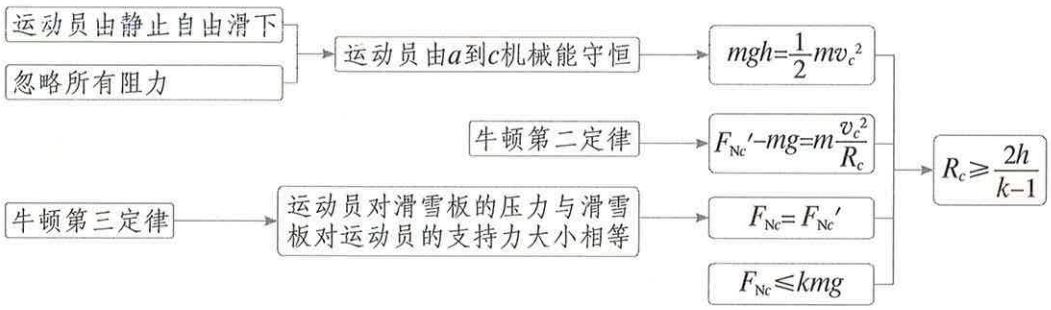
【试题立意】本题以北京冬奥会滑雪大跳台为素材，创设了求解圆弧雪道半径的生活实践问题情境。此情境曾在 2016 年天津卷第 10 题出现，且与鲁科版教材必修第二册第 83 页第 8 题创设的物理情境相似。主要考查了牛顿第三定律、匀速圆周运动的向心力、机械能守恒定律及其应用等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	由静止自由滑下	初速度为零；运动员对自己不做功
2	忽略所有阻力	运动员由 a 运动到 c 无摩擦力做功
3	运动员对滑雪板的压力	根据牛顿第三定律，大小等于滑雪板对运动员的支持力，因此可转换研究对象

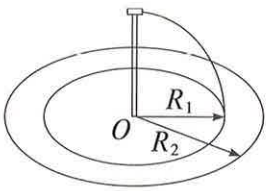
(2)推理论证能力



【答案】D

【失分剖析】①不能准确地分析出运动员在 c 点所受的力，进而判断不出是哪些力的合力充当运动员做圆周运动的向心力；②不理解牛顿第三定律，不能区分滑雪板对运动员的支持力和运动员对滑雪板的压力。

10.(多选)(2022 河北卷，10)如图所示，广场水平地面上同种盆栽紧密排列在以 O 为圆心、R_1 和 R_2 为半径的同心圆上，圆心处装有竖直细水管，其上端水平喷水嘴的高度、出水速度及转动的角速度均可调节，以保障喷出的水全部落入相应的花盆中。依次给内圈和外圈上的盆栽浇水时，喷水嘴的高度、出水速度及转动的角速度分别用 h_1、v_1、ω_1 和 h_2、v_2、ω_2 表示。花盆大小相同，半径远小于同心圆半径，出水口截面积保持不变，忽略喷水嘴水平长度和空气阻力。下列说法正确的是(　　)



A. 若 $h_1=h_2$，则 $v_1:v_2=R_2:R_1$

B. 若 $v_1=v_2$，则 $h_1:h_2=R_1^2:R_2^2$

C. 若 $\omega_1=\omega_2$，$v_1=v_2$，喷水嘴各转动一周，则落入每个花盆的水量相同

D. 若 $h_1=h_2$，喷水嘴各转动一周且落入每个花盆的水量相同，则 $\omega_1=\omega_2$

【试题立意】本题以为盆栽浇水为素材，创设了探究平抛运动各物理量之间关系的生活实践问题情境。这一情境与人教版教材必修第二册第 20 页第 2 题图 5－7 相似。主要考查了抛体运动，匀速圆周运动的角速度、周期等知识点。


图 5－7

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	概念、规律	理解应用
1	匀速圆周运动的周期	$T=\frac{2\pi}{\omega}$，喷水嘴转动一周所用的时间
2	平抛运动	水平方向：$x=v_0t$；竖直方向：$h=\frac{1}{2}gt^2$
3	流量	单位时间内流过某截面的液体的体积：$Q=Sv$，S 为流体截面的面积，v 为流体流动的速率

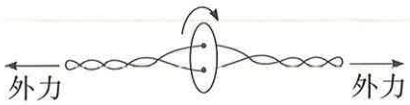
(2)推理论证能力

选项	推理论证过程
A	$h_1=h_2$，$h=\frac{1}{2}gt^2$ → $t_1=t_2$，$R=vt$ → $v_1:v_2=R_1:R_2$　A 项错误
B	$v_1=v_2$，$R=vt$ → $t_1:t_2=R_1:R_2$，$h=\frac{1}{2}gt^2$ → $h_1:h_2=R_1^2:R_2^2$　B 项正确
C	$\omega_1=\omega_2$，$T=\frac{2\pi}{\omega}$ → $T_1=T_2$；$v_1=v_2$，$Q=Sv$ → $Q_1=Q_2$；$V=QT$ → $V_1=V_2$；花盆数量不同 → 每盆花水量不同　C 项错误
D	设花盆的半径为 r，一周花盆的个数为 N，喷水嘴转一周每个花盆得到的水量为 ΔV，所有花盆得到的水量为 V $R=vt$，$h=\frac{1}{2}gt^2$ → $v=R\sqrt{\frac{g}{2h}}$；$Q=Sv$ → $Q=SR\sqrt{\frac{g}{2h}}$；$V=QT$；$T=\frac{2\pi}{\omega}$ → $V=\frac{\pi RS}{\omega}\sqrt{\frac{2g}{h}}$；$N=\frac{2\pi R}{2r}$ → $V=N\Delta V$ → $\omega=\frac{Sr}{\Delta V}\sqrt{\frac{2g}{h}}$；$h_1=h_2$，$\Delta V_1=\Delta V_2$ → $\omega_1=\omega_2$　D 项正确

【答案】BD

【失分剖析】①不会表示水的流量，C、D 两项难以作出正确的判断；②C 项未注意到“每个花盆”，以为总的水量相同就误选了 C 项；③不能找到喷水嘴高度、转一周落入每个花盆的水量与转动的角速度之间的关系。

11.(2021 全国甲卷，15)“旋转纽扣”是一种传统游戏。如图所示，先将纽扣绕几圈，使穿过纽扣的两股细绳拧在一起，然后用力反复拉绳的两端，纽扣正转和反转会交替出现。拉动多次后，纽扣绕其中心的转速可达 50 r/s，此时纽扣上距离中心 1 cm 处的点向心加速度大小约为(　　)



A. 10 m/s²　　B. 100 m/s²　　C. 1 000 m/s²　　D. 10 000 m/s²

【试题立意】本题以传统游戏“旋转纽扣”为素材，创设了求解向心加速度的生活实践问题情境。这一情境与人教版教材必修第二册第34页第3题图6.3-5的情境相似。主要考查了匀速圆周运动、角速度、向心加速度等知识点。



图6.3-5

【关键能力】本题主要考查理解能力。

向心加速度 $a=\frac{v^2}{r}=\omega^2 r$，其中 $\omega=2\pi n$，$n=50\ \mathrm{r/s}$，$r=1\ \mathrm{cm}=0.01\ \mathrm{m}$，可解得 $a\approx 1\ 000\ \mathrm{m/s^2}$。

【答案】C

【失分剖析】①记不住向心加速度的公式；②不知道角速度与转速之间的关系；③没有换算成国际单位或在估算时弄错了数量级。

命题规律

1. 多维度细目表

高考试题（年份/卷别/题号）			2023						2022				2021
			全国新课标，24	全国甲，17	全国甲，24	全国乙，15	湖南，2	湖北，14	全国甲，14	全国甲，24	山东，11	河北，10	全国甲，15
考查内容	必备知识	运动的合成与分解	√		√		√			√	√		
		抛体运动	√		√		√	√		√	√	√	
		匀速圆周运动、角速度、线速度、周期、向心加速度										√	√
		匀速圆周运动的向心力		√				√	√				
		离心现象											
	关键能力	理解能力	√		√	√		√	√	√	√	√	√
		推理论证能力	√	√	√		√	√	√	√	√	√	
		模型建构能力	√										
		实验探究能力											
		创新能力								√			
	学科素养	物理观念	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学思维	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
		科学探究											
		科学态度与责任											
考查要求		基础性	√	√	√	√	√	√	√	√			√
		综合性						√			√	√	
		应用性	√		√		√		√	√		√	
		创新性											
情境载体		生活实践问题情境	√				√	√	√		√	√	√
		学习探索问题情境		√	√	√				√			

2. 命题趋势

考查项目	考查特点
命题类型	以选择题居多，只考查曲线运动的计算题较少，但在带电粒子在电场和磁场中运动类的题目中都会不可避免地考查曲线运动的相关知识
必备知识	多数较简单的题目抛体运动和圆周运动都是分开来考查，运动的合成与分解往往是与抛体运动一起考查，而匀速圆周运动的相关概念则与向心力一起考查，匀速圆周运动的向心力多在带电粒子在磁场中运动的情境中考查
关键能力	主要考查理解能力和相对较简单的推理论证能力，有时会考查模型建构能力，如抛体运动，分解的方式灵活多样，建立怎样的分运动模型将直接影响到解决问题的简繁程度
学科素养	学科素养方面重在考查物理观念和科学思维
考查要求	单一的对曲线运动的考查注重基础性和应用性，综合性强的题目往往是与带电粒子在电磁场中的运动相结合
考查载体	考点多渗透在与生产生活实际相联系的问题情境中，纯理论的学习探索问题情境较少

在选择题中，曲线运动中的抛体运动和圆周运动仍会倾向单独命题，但也可能会与功能关系相结合，设置综合性较强的题目；与电磁场相结合研究带电粒子在电磁场中的曲线运动是必考题目，以选择题或计算题形式考查的概率都很高。另外，曲线运动的考查既涉及平面内的曲线运动，也注重三维空间内的曲线运动，而且对于抛体运动的分解也不再限于水平方向和竖直方向，而是更加灵活多变。

3. 备考策略

(1)注重掌握解决曲线运动问题的一般方法。抛体运动问题常采用运动的分解的方法，将曲线运动转化为直线运动，用直线运动的规律解决曲线运动的问题。而圆周运动问题多为描述圆周运动的物理量之间的关系，寻找物体做圆周运动的向心力，利用牛顿第二定律来解决。应重视此类基础题的训练。

(2)特别需要注意的是，抛体运动的考题正在变得越来越复杂，要重视三维空间中的抛体运动，要重视根据需要将抛体运动进行分解，而不是只机械地沿水平方向和竖直方向分解。在备考中应设置此类专题，破除学生思维定式，提升学生思维能力。

(3)带电粒子在磁场中做圆周运动的考题必会考查圆周运动的向心力，此类问题也由原有的平面运动变成了现在的三维运动，对学生空间想象力提出了很高的要求，这要引起每位老师的高度重视，在备考中应对此类问题进行强化训练，让学生形成新的认识，面对此类问题时学生才有可能从容应对。

第4讲　万有引力与航天

题组一　万有引力定律的理解与应用

万有引力定律是指自然界中任何两个物体都互相吸引，引力的方向在它们的连线上，引力的大小与物体的质量的乘积成正比，与距离的二次方成反比。

理解万有引力与重力的关系，即地球对物体的万有引力 F 表现为两个效果：一是重力 mg，二是提供物体随地球自转的向心力。

1.（2023 山东卷，3）牛顿认为物体落地是由于地球对物体的吸引，这种吸引力可能与天体间（如地球与月球）的引力具有相同的性质，且都满足 $F\propto\frac{Mm}{r^2}$。已知地月之间的距离 r 大约是地球半径的 60 倍，地球表面的重力加速度为 g，根据牛顿的猜想，月球绕地球公转的周期为（　　）

A. $30\pi\sqrt{\frac{r}{g}}$　　B. $30\pi\sqrt{\frac{g}{r}}$　　C. $120\pi\sqrt{\frac{r}{g}}$　　D. $120\pi\sqrt{\frac{g}{r}}$

【试题立意】本题以牛顿的猜想为素材，创设了推导月球绕地球公转周期的学习探索问题情境。这一情境与鲁科版教材必修第二册第 90 页“拓展一步”图 4－9 的情境相似。主要考查了万有引力定律及其应用、匀速圆周运动的周期等知识点。

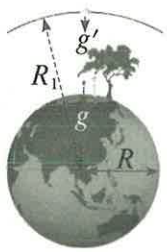


图 4－9　月—地检验示意图

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

（1）理解能力

序号	概念、规律	理解应用
1	“平方反比”规律	吸引力可能与天体（如地球与月球）间的引力具有相同的性质，且都满足 $F\propto\frac{Mm}{r^2}$
2	匀速圆周运动的周期	月球绕地球公转的周期

（2）推理论证能力

物体在地球表面的引力 $F_1=mg$

物体在月球轨道的引力 F_2

$\frac{F_1}{F_2}=\frac{mg}{F_2}=\frac{(60R)^2}{R^2}$

$F_2=mr\frac{4\pi^2}{T^2}$

$T=120\pi\sqrt{\frac{r}{g}}$，C项正确

【答案】C

【失分剖析】①不理解地球对物体与地球对月球的吸引力均满足 $F\propto\frac{Mm}{r^2}$ 的关系；②记不住匀速圆周运动的周期公式。

方法点拨

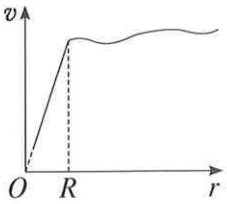
本题来源于教材中的地月检验，学生应了解地月检验的推导过程，即地球对物体的吸引力、地球对月球的吸引力和太阳对行星的吸引力是同一种性质力，均满足“平方反比”规律。

2.(2023 北京卷,20)螺旋星系中有大量的恒星和星际物质,主要分布在半径为 R 的球体内,球体外仅有极少的恒星。球体内物质总质量为 M,可认为均匀分布,球体内外的所有恒星都绕星系中心做匀速圆周运动,恒星到星系中心的距离为 r,引力常量为 G。

(1)求 $r>R$ 区域的恒星做匀速圆周运动的速度大小 v 与 r 的关系;

(2)根据电荷均匀分布的球壳内试探电荷所受库仑力的合力为零,利用库仑力与万有引力的表达式的相似性和相关力学知识,求 $r\leqslant R$ 区域的恒星做匀速圆周运动的速度大小 v 与 r 的关系;

(3)科学家根据实测数据,得到此螺旋星系中不同位置的恒星做匀速圆周运动的速度大小 v 随 r 的变化关系图像,如图所示,根据在 $r>R$ 范围内的恒星速度大小几乎不变,科学家预言螺旋星系周围($r>R$)存在一种特殊物质,称之为暗物质。暗物质与通常的物质有引力相互作用,并遵循万有引力定律,求 $r=nR$ 内暗物质的质量 M'。



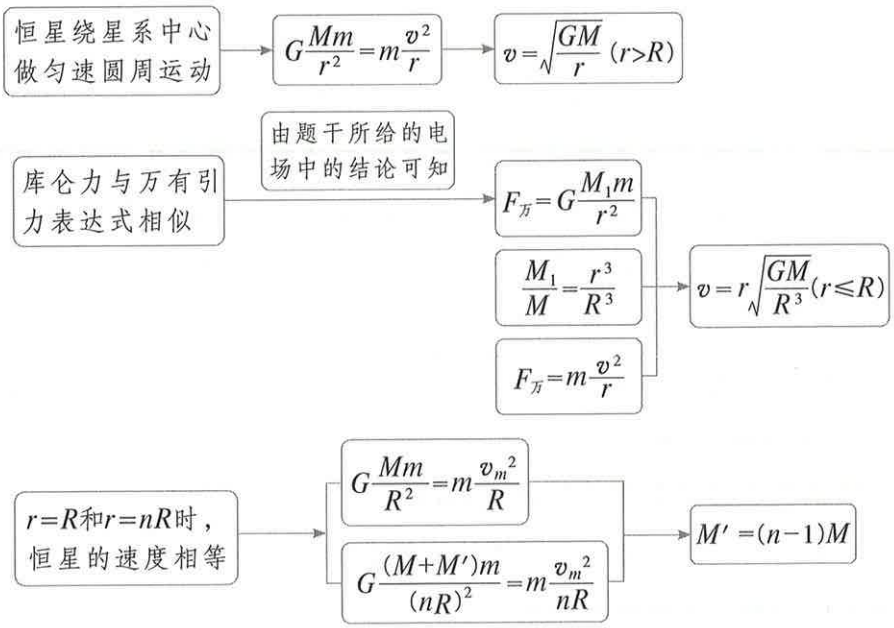
【试题立意】本题以螺旋星系为素材,创设了推导在不同区域的恒星做匀速圆周运动的线速度以及螺旋星系周围暗物质的质量的学习探索问题情境。主要考查了万有引力定律及其应用、匀速圆周运动的线速度等知识点。

【关键能力】本题主要考查模型建构能力、推理论证能力和创新能力。

(1)模型建构能力

关键信息	破题关键	建构模型
①球体内外的所有恒星都绕星系中心做匀速圆周运动 ②暗物质与通常的物质有引力相互作用,并遵循万有引力定律	所有恒星做匀速圆周运动均是由万有引力提供向心力	

(2)推理论证能力



(3)创新能力

本题的创新点在于学生根据已经学过的知识，即电荷均匀分布的球壳内试探电荷所受库仑力的合力为零，利用库仑力与万有引力的表达式的相似性和相关力学知识，通过类比和独立思考推导 $r\leqslant R$ 区域的恒星做匀速圆周运动的速度大小 v 与 r 的关系，体现了学生创造新方法、解决新问题的能力。

【解题过程】(1)由万有引力定律和向心力公式有 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$ ①

解得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}(r>R)$。 ②

(2)在 $r\leqslant R$ 内部，星体质量 $M_1=\frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}\cdot\frac{4}{3}\pi r^3=\frac{Mr^3}{R^3}$ ③

由万有引力定律和向心力公式有 $G\frac{M_1m}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$ ④

解得 $v=r\sqrt{\frac{GM}{R^3}}(r\leqslant R)$。 ⑤

(3)对处于 $r=R$ 处的恒星，由万有引力定律和向心力公式有 $G\frac{Mm}{R^2}=m\frac{v_m^{\ 2}}{R}$ ⑥

对处于 $r=nR$ 处的恒星，由万有引力定律和向心力公式有 $G\frac{(M+M')m}{(nR)^2}=m\frac{v_m^{\ 2}}{nR}$ ⑧

解得 $M'=(n-1)M$。 ⑨

评分参考：②④⑧式各 2 分，其余每式各 1 分。

【答案】(1)$v=\sqrt{\frac{GM}{r}}(r>R)$　(2)$v=r\sqrt{\frac{GM}{R^3}}(r\leqslant R)$　(3)$(n-1)M$

【失分剖析】①不会利用电荷均匀分布的球壳内试探电荷所受库仑力的合力为零这一条件推导在 $r\leqslant R$ 内部万有引力的大小；②不理解为什么存在暗物质时，在 $r>R$ 范围内的恒星速度大小几乎不变；③不会利用速度大小不变这个条件列式子。

3.(2023 湖南卷，4)根据宇宙大爆炸理论，密度较大区域的物质在万有引力作用下，不断聚集可能形成恒星。恒星最终的归宿与其质量有关，如果质量为太阳质量的 1～8 倍将坍缩成白矮星，质量为太阳质量的 10～20 倍将坍缩成中子星，质量更大的恒星将坍缩成黑洞。设恒星坍缩前后可看成质量均匀分布的球体，质量不变，体积缩小，自转变快。不考虑恒星与其他物体的相互作用。已知逃逸速度为第一宇宙速度的$\sqrt{2}$倍，中子星的密度大于白矮星的密度。根据万有引力理论，下列说法正确的是(　　)

A. 同一恒星表面任意位置的重力加速度相同

B. 恒星坍缩后表面两极处的重力加速度比坍缩前的大

C. 恒星坍缩前后的第一宇宙速度不变

D. 中子星的逃逸速度小于白矮星的逃逸速度

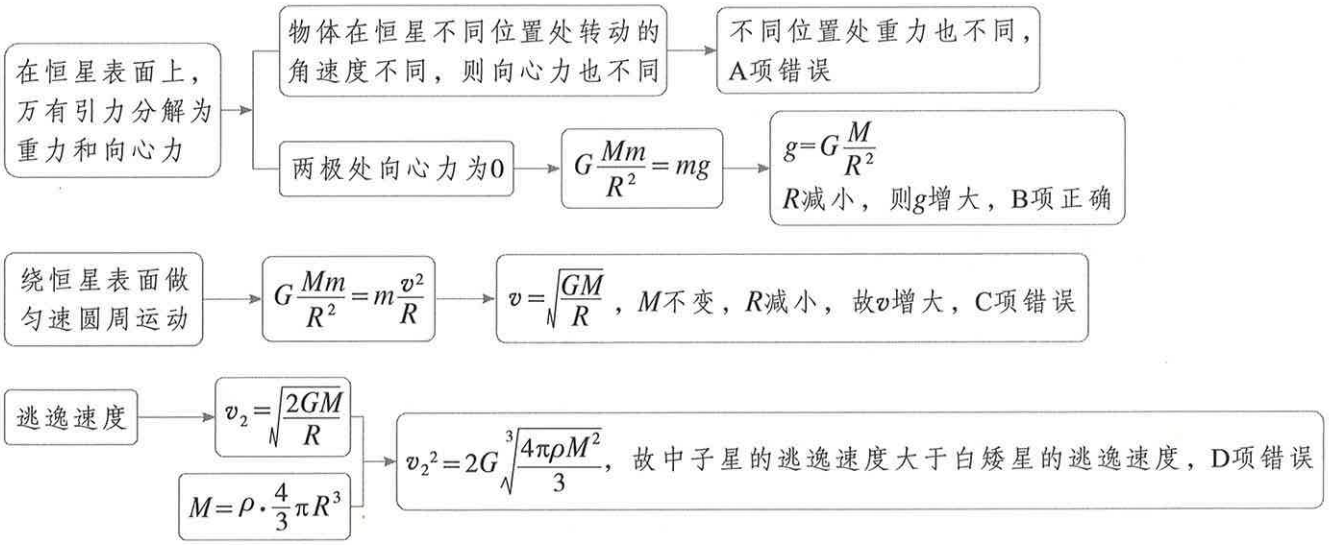
【试题立意】本题以宇宙大爆炸理论为素材，创设了分析万有引力和重力的关系以及对第一宇宙速度和逃逸速度的理解的学习探索问题情境。主要考查了万有引力定律及其应用、环绕速度、第二宇宙速度等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	概念、规律	理解应用
1	第一宇宙速度	又叫环绕速度，是人造卫星在地球表面附近环绕地球做匀速圆周运动时的速度，同时也是在地球上发射的物体绕地球飞行做圆周运动所需的最小初始速度。因此它既是最小发射速度，也是最大环绕速度
2	第二宇宙速度	又叫逃逸速度，是使物体挣脱地球引力束缚的最小发射速度

(2)推理论证能力



【答案】B

【失分剖析】①不理解万有引力和重力的关系；②不知道第一宇宙速度的定义；③想不到用密度和质量表示逃逸速度。

方法点拨

在地球表面上，物体所受万有引力与重力的关系要看是否考虑地球的自转，①若考虑自转，在赤道上有 $G\frac{Mm}{R^2}=mg_{赤}+mR\frac{4\pi^2}{T^2}$；在两极上有 $G\frac{Mm}{R^2}=mg_{极}$；②若不考虑自转，则有 $G\frac{Mm}{R^2}=mg$。

4.(2022 全国乙卷，14)2022 年 3 月，中国航天员翟志刚、王亚平、叶光富在离地球表面约 400 km 的“天宫二号”空间实验室上通过天地连线，为同学们上了一堂精彩的科学课。通过直播画面可以看到，在近地圆轨道上飞行的“天宫二号”中，航天员可以自由地漂浮，这表明他们(　　)

A. 所受地球引力的大小近似为零

B. 所受地球引力与飞船对其作用力两者的合力近似为零

C. 所受地球引力的大小与其随飞船运动所需向心力的大小近似相等

D. 在地球表面上所受引力的大小小于其随飞船运动所需向心力的大小

【试题立意】本题以航天员太空授课为素材，创设了比较万有引力等作用力大小的学习探索问题情境。主要考查了匀速圆周运动的向心力、万有引力定律及其应用等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力。

规律	理解应用
万有引力定律：$F_{万}=G\frac{m_{地}m}{r^2}$	相较于地球半径(约为 6 400 km)，航天员离地球并不是太远，所受地球引力小于在地球表面所受地球引力，但不至于近似为零。A 项错误
	航天员在太空中处于完全失重状态，航天员随飞船绕地球做匀速圆周运动，故所受合力不为零。B 项错误
	航天员随飞船一起做匀速圆周运动，向心力几乎是完全由地球引力来提供，航天员所受其他力均太小，近乎为零。C 项正确
	航天员在地球表面所受引力大于在“天宫二号”所受引力(即随飞船做圆周运动所需要的向心力)。D 项错误

【答案】C

【失分剖析】①不理解万有引力定律；②不清楚航天员随飞船一起运动的运动特点和受力特点。

题组二　天体的质量和密度

解决天体运动问题的关键在于建立模型，本题组中主要有两个模型：一是环绕模型，即环绕天体绕中心天体做匀速圆周运动，万有引力提供向心力；二是代换模型，即在天体表面上，不考虑天体自转时万有引力全部提供重力，考虑自转时，万有引力提供重力和向心力。

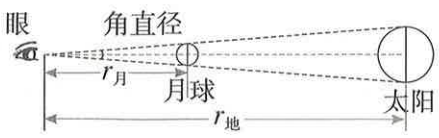
5. (2023 辽宁卷，7)在地球上观察，月球和太阳的角直径(直径对应的张角)近似相等，如图所示。若月球绕地球运动的周期为 T_1，地球绕太阳运动的周期为 T_2，地球半径是月球半径的 k 倍，则地球与太阳的平均密度之比约为(　　)

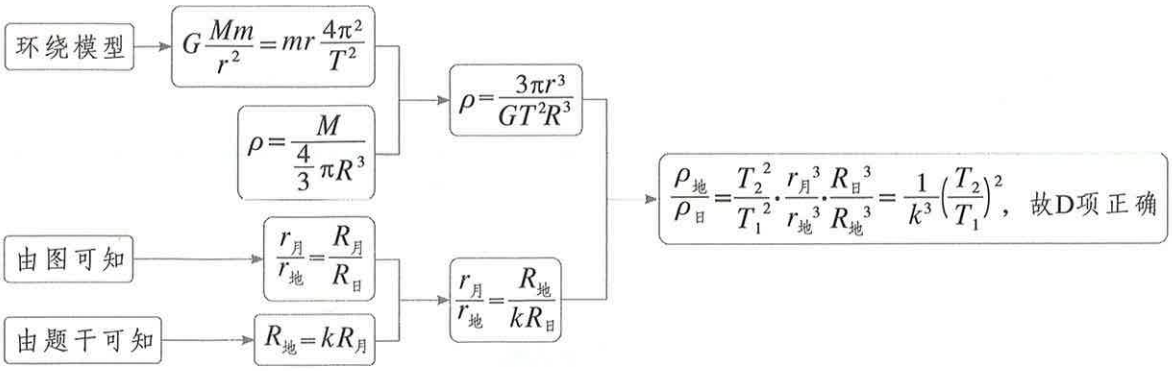


A. $k^3\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$　　B. $k^3\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2$　　C. $\frac{1}{k^3}\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$　　D. $\frac{1}{k^3}\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^2$

【试题立意】本题以月球绕地球、地球绕太阳两个环绕模型为素材，创设了求天体密度的学习探索问题情境。主要考查了万有引力定律及其应用等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。





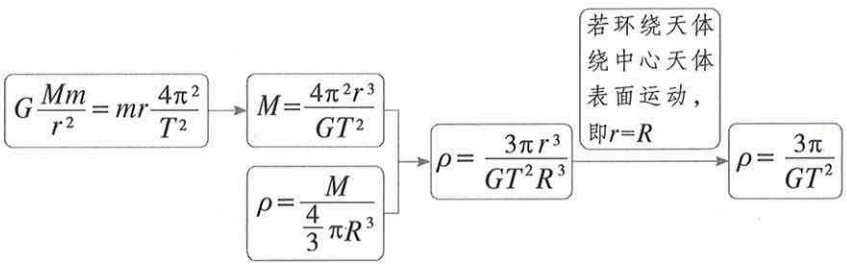
【答案】D

【失分剖析】①不会推导中心天体密度公式；②不会利用月球和太阳的角直径(直径对应的张角)近似相等这个条件推出 $r_月$ 与 $r_地$ 的关系以及 $R_地$ 和 $R_日$ 的关系。

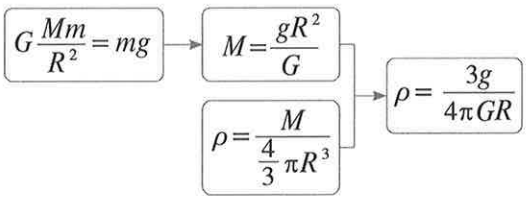
方法点拨

求天体的质量和密度主要基于两种模型：

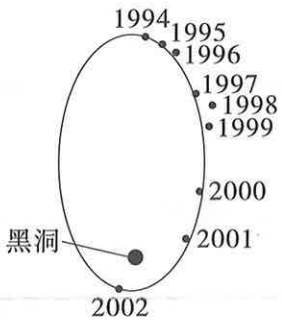
一是环绕模型，即



二是代换模型，即



6.(2021 全国乙卷，18)科学家对银河系中心附近的恒星 S2 进行了多年的持续观测，给出 1994 年到 2002 年间 S2 的位置如图所示。科学家认为 S2 的运动轨迹是半长轴约为 1 000 AU(太阳到地球的距离为 1 AU)的椭圆，银河系中心可能存在超大质量黑洞。这项研究工作获得了 2020 年诺贝尔物理学奖。若认为 S2 所受的作用力主要为该大质量黑洞的引力，设太阳的质量为 M，可以推测出该黑洞质量约为(　　)



A. 4×10^4M　　B. 4×10^6M　　C. 4×10^8M　　D. $4\times10^{10}M$

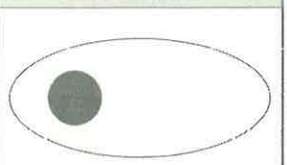
【试题立意】本题以银河系中心附近的恒星 S2 为素材，创设了推测黑洞质量的学习探索问题情境。主要考查了开普勒第三定律、万有引力定律及其应用等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、模型建构能力、推理论证能力和创新能力。

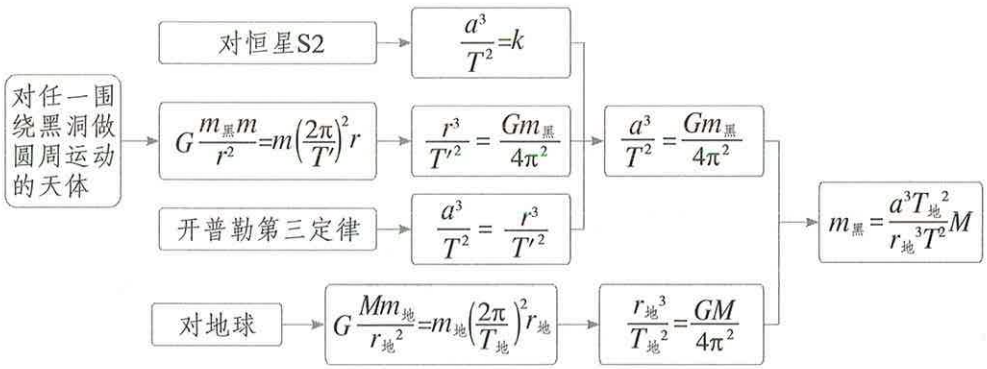
(1)理解能力

序号	图像信息、关键表述	物理量及其关系
1	半长轴约为 1 000 AU	$a=1\ 000$ AU，AU 为长度单位，太阳到地球的距离为 1 AU
2	题图	S2 的周期 $T=2\times(2002-1994)$年$=16$ 年

(2)模型建构能力

关键信息	破题关键	建构模型
S2 的运动轨迹是半长轴约为 1 000 AU 的椭圆，银河系中心可能存在超大质量黑洞	恒星 S2 的运动为椭圆运动模型，运动规律满足开普勒第三定律：$\frac{a^3}{T^2}=k$。其中 a 为椭圆轨道的半长轴或圆轨道的半径，T 为运动周期，k 为由中心天体质量决定的常数	

(3)推理论证能力



其中 $a=1\ 000$ AU，$T=16$ 年，$r_{地}=1$ AU，$T_{地}=1$ 年，代入表达式可解得 $m_{黑}\approx4\times10^6M$。

(4)创新能力

本题的创新点是根据图像获取恒星运动的周期，以及建立恒星与黑洞系统和日地系统的联系，从而用太阳的质量表示黑洞的质量。

【答案】B

【失分剖析】①不能利用圆周运动模型推导出$\frac{r^3}{T^2}=\frac{GM}{4\pi^2}$，进而根据开普勒第三定律推导出$\frac{a^3}{T^2}$的表达式；②没能建立起用地球的 r 和 T 表示太阳质量与用恒星 S2 的 a 和 T 表示黑洞质量之间的关系；③计算能力不过关，造成最终结果的数量级出错。

题组三　卫星运行参量的比较

卫星绕行参量与轨道半径的关系

$G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}\rightarrow v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$　　$G\frac{Mm}{r^2}=mr\omega^2\rightarrow\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$

$G\frac{Mm}{r^2}=mr\frac{4\pi^2}{T^2}\rightarrow T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$　　$G\frac{Mm}{r^2}=ma\rightarrow a=\frac{GM}{r^2}$

7.(2022 广东卷,2)“祝融号”火星车需要“休眠”以度过火星寒冷的冬季。假设火星和地球的冬季是各自公转周期的四分之一,且火星的冬季时长约为地球的 1.88 倍。火星和地球绕太阳的公转均可视为匀速圆周运动。下列关于火星、地球公转的说法正确的是(　　)

A. 火星公转的线速度比地球的大　　B. 火星公转的角速度比地球的大

C. 火星公转的半径比地球的小　　D. 火星公转的加速度比地球的小

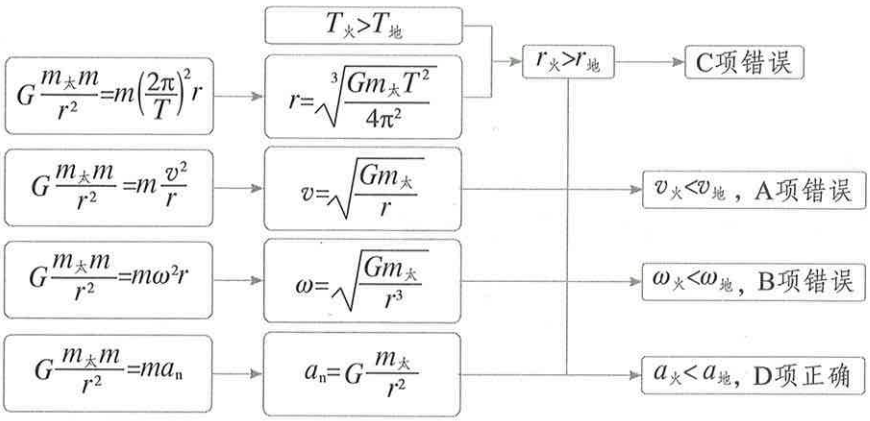
【试题立意】本题以“祝融号”火星车需要“休眠”为素材,创设了比较火星和地球公转物理量大小的学习探索问题情境。此情境曾在 2021 年海南卷第 4 题出现过,主要考查了万有引力定律及其应用等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	火星和地球的冬季是各自公转周期的四分之一,且火星的冬季时长约为地球的 1.88 倍	火星的公转周期大于地球的公转周期
2	火星和地球绕太阳的公转均可视为匀速圆周运动	做匀速圆周运动的向心力由万有引力提供,根据需要,向心力的表达式可以写为:$F_n=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2 r=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r=ma_n$

(2)推理论证能力



【答案】D

【失分剖析】①不知道火星和地球围绕太阳做圆周运动的向心力是由万有引力提供的;②不能根据需要写出向心力的公式;③不会判断火星和地球公转半径的关系。

8.(2022 河北卷,2)2008 年,我国天文学家利用国家天文台兴隆观测基地的 2.16 米望远镜,发现了一颗绕恒星 HD173416 运动的系外行星 HD173416b,2019 年,该恒星和行星被国际天文学联合会分别命名为“羲和”和“望舒”,天文观测得到恒星“羲和”的质量是太阳质量的 2 倍,若将“望舒”与地球的公转均视为匀速圆周运动,且公转的轨道半径相等。则“望舒”与地球公转速度大小的比值为(　　)

A. $2\sqrt{2}$　　B. 2　　C. $\sqrt{2}$　　D. $\frac{\sqrt{2}}{2}$

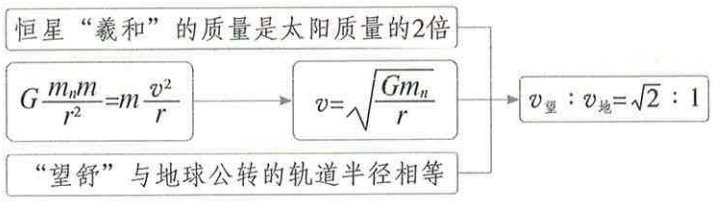
【试题立意】本题以恒星“羲和”和行星“望舒”为素材，创设了比较“望舒”和地球公转速度大小的学习探索问题情境。这一情境设计与鲁科版教材必修第二册第101页第6题相似。主要考查了万有引力定律及其应用等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

关键表述	物理量及其关系
将“望舒”与地球的公转均视为匀速圆周运动	它们做圆周运动的向心力分别由“羲和”恒星和太阳的万有引力提供，即 $G\frac{m_n m}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$

(2)推理论证能力



【答案】C

【失分剖析】①不能正确区分太阳与地球和“羲和”与“望舒”两个天体系统，造成物理量关系混乱；②不会用万有引力定律和圆周运动向心力公式写出公转线速度的表达式。

方法点拨

卫星运行参量的比较主要有两种考查方式，一是不同环绕天体绕同一中心天体做匀速圆周运动的各物理量的比较；另一个是不同环绕天体绕不同中心天体做匀速圆周运动的各物理量的比较。解决问题的关键在于利用万有引力提供向心力推导出各物理量的表达式。

题组四　万有引力定律应用的热点问题

天体运动的热点问题，即近地卫星、静止卫星和赤道上物体的运行问题、卫星变轨问题、双星或多星模型和天体的追及相遇问题。

9.(2023全国新课标卷，17)2023年5月，世界现役运输能力最大的货运飞船天舟六号，携带约5 800 kg的物资进入距离地面约400 km(小于地球同步卫星与地面的距离)的轨道，顺利对接中国空间站后近似做匀速圆周运动。对接后，这批物资(　　)

A. 质量比静止在地面上时小

B. 所受合力比静止在地面上时小

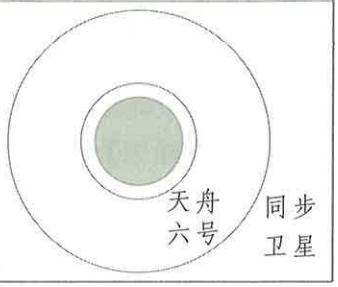
C. 所受地球引力比静止在地面上时大

D. 做圆周运动的角速度大小比地球自转角速度大

【试题立意】本题以天舟六号为素材，创设了天舟六号在太空轨道和静止在地面时的各物理量的比较的学习探索问题情境。此情境曾在2022年湖北卷第2题出现过，主要考查了万有引力定律及其应用、匀速圆周运动的角速度等知识点。

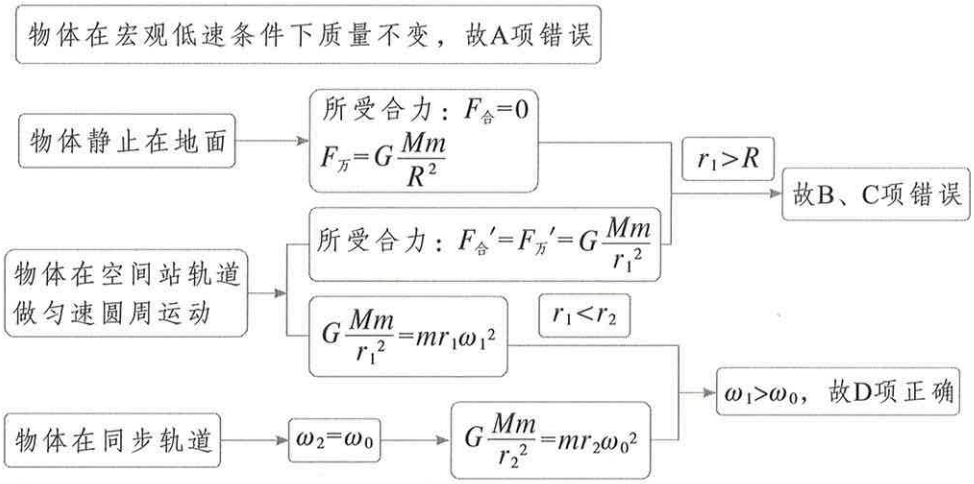
【关键能力】本题主要考查模型建构能力和推理论证能力。

(1)模型建构能力

关键信息	破题关键	建构模型
①进入距离地面约 400 km(小于地球同步卫星与地面的距离)的轨道 ②做圆周运动的角速度大小比地球自转角速度大	①天舟六号和同步卫星做匀速圆周运动的向心力来源均为万有引力 ②同步卫星绕地球转动的角速度与地球自转角速度相同	

(2)推理论证能力

比较天舟六号在太空轨道上做匀速圆周运动的角速度和地球自转的角速度时,需要借助同步卫星作为纽带。



【答案】D

【失分剖析】①记不住万有引力的公式;②不会借助同步卫星去比较天舟六号和地球自转的角速度。

方法点拨

比较绕地球做匀速圆周运动的卫星与赤道上的物体随地球自转的各物理量时,需要借助同步卫星作为纽带,环绕天体与同步卫星均是万有引力提供向心力,同步卫星与赤道上随地球自转的物体角速度相同。

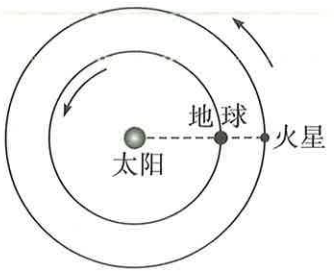
10. (2023 湖北卷,2)2022 年 12 月 8 日,地球恰好运行到火星与太阳之间,且三者几乎排成一条直线,此现象被称为“火星冲日”。火星与地球几乎在同一平面内沿同一方向绕太阳做圆周运动,火星与地球的公转轨道半径之比约为 3∶2,如图所示。根据以上信息可以得出(　　)

A. 火星与地球绕太阳运动的周期之比约为 27∶8

B. 当火星与地球相距最远时,两者的相对速度最大

C. 火星与地球表面的自由落体加速度大小之比约为 9∶4

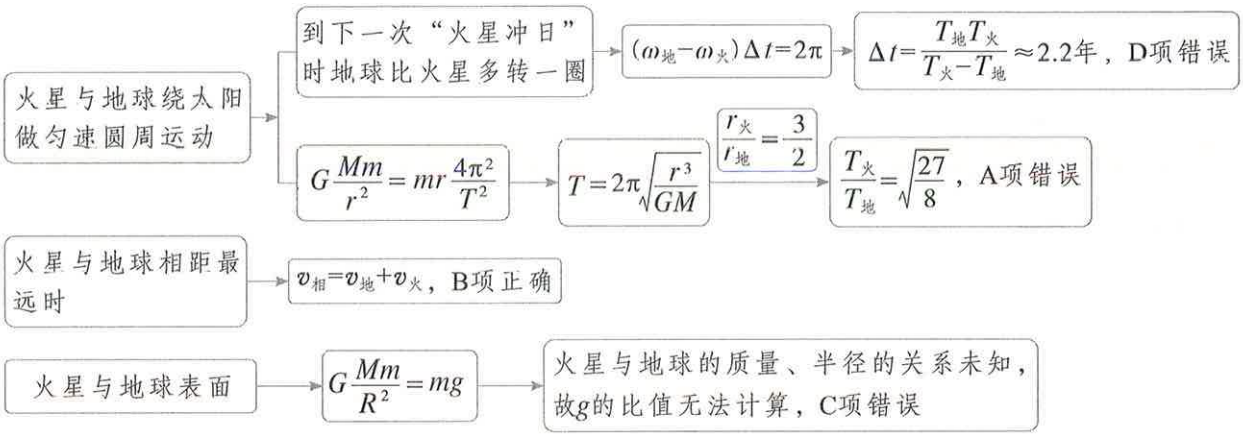
D. 下一次“火星冲日”将出现在 2023 年 12 月 8 日之前



【试题立意】本题以“火星冲日”为素材，创设了地球与火星的追及问题的学习探索问题情境。此情境与2023年1月浙江卷第10题相似，与人教版教材必修第二册第72页第6题“行星冲日”相似。主要考查了万有引力定律及其应用、匀速圆周运动的向心力等知识点。

	地球	火星	木星	土星	天王星	海王星
轨道半径 R/AU	1.0	1.5	5.2	9.5	19	30

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。



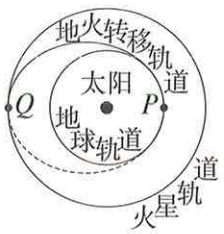
【答案】B

【失分剖析】①不理解万有引力和重力的关系；②不知道相邻两次“火星冲日”所满足的条件。

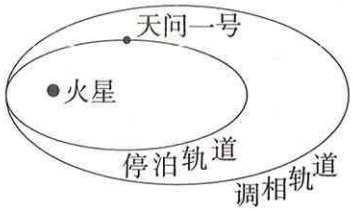
方法点拨

解决追及问题的关键在于明确相邻两次相距最近或最远的条件，即$(\omega_2-\omega_1)t=2\pi$或$(\omega_2-\omega_1)t=\pi$。

11.（2022.1浙江卷，8）“天问一号”从地球发射后，在如图甲所示的P点沿地火转移轨道到Q点，再依次进入如图乙所示的调相轨道和停泊轨道，则天问一号（　　）



甲



乙

A. 发射速度介于7.9 km/s与11.2 km/s之间

B. 从P点转移到Q点的时间小于6个月

C. 在环绕火星的停泊轨道上运行的周期比在调相轨道上小

D. 在地火转移轨道运动时的速度均大于地球绕太阳的速度

【试题立意】本题以发射“天问一号”为素材，创设了比较发射过程中各物理量大小的生活实践问题情境。此情境曾在2021年天津卷第5题出现过，人教版教材必修第二册第60页图7.4-1就清晰地展示了三个宇宙速度的含义。主要考查了第二宇宙速度和第三宇宙速度、开普勒第三定律、离心现象、万有引力定律等知识点。

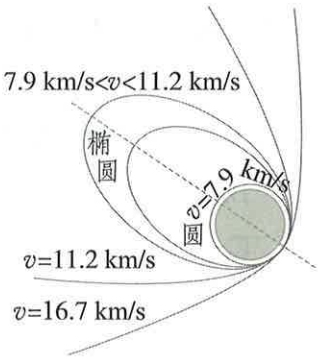


图7.4-1　三个宇宙速度

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	图像信息	物理量及其关系
1	题图甲	“天问一号”从 P 点到 Q 点做离心运动，从 Q 点到 P 点做近心运动；地火转移轨道的半长轴大于地球轨道的半径；火星轨道半径大于地球轨道半径
2	题图乙	停泊轨道的半长轴小于调相轨道的半长轴

(2)推理论证能力

选项	推理论证过程
A	当飞行器的速度大于或等于第二宇宙速度(11.2 km/s)，飞行器才会克服地球引力，永远离开地球；而如果飞行器的速度大于或等于第三宇宙速度(16.7 km/s)，飞行器就会挣脱太阳引力的束缚，飞到太阳系外。由题意可知，“天问一号”的发射速度应介于 11.2 km/s 与 16.7 km/s 之间。A 项错误
B	因地火转移轨道的半长轴大于地球轨道的半径，根据开普勒第三定律，地火转移轨道的周期大于地球公转周期(1 年)，从 P 点到 Q 点所用时间为地火转移轨道周期的一半，因此大于 6 个月。B 项错误
C	因停泊轨道的半长轴小于调相轨道的半长轴，根据开普勒第三定律，停泊轨道的周期小于调相轨道的周期。C 项正确
D	对火星用牛顿第二定律 → $G\frac{m_{太}m_{火}}{r_{火}^2}=m_{火}\frac{v_{火}^2}{r_{火}}$ 对地球用牛顿第二定律 → $G\frac{m_{太}m_{地}}{r_{地}^2}=m_{地}\frac{v_{地}^2}{r_{地}}$ $r_{地}<r_{火}$ → $v_{地}>v_{火}$ 飞行器在 Q 点点火加速进入火星轨道，故在地火转移轨道上 Q 点的速度小于火星绕太阳的速度，又因为火星绕太阳的速度小于地球绕太阳的速度，所以在地火转移轨道上 Q 点的速度小于地球绕太阳的速度，D 项错误

【答案】C

【失分剖析】①不理解三个宇宙速度的含义，或记不住三个宇宙速度的数值；②不会用开普勒第三定律比较不同轨道周期的大小；③不会分析飞行器变轨过程中速度大小的变化。

方法点拨

解决卫星变轨问题的关键在于理解变轨原理，明确变轨过程中线速度、周期、机械能及加速度等物理量的大小关系。

命题规律

1. 多维度细目表

高考试题（年份/卷别/题号）			2023						2022				2021
			全国新课标，17	山东，3	湖南，4	北京，20	辽宁，7	湖北，2	全国乙，14	广东，2	河北，2	浙江1月，8	全国乙，18
考查内容	必备知识	万有引力定律及其应用	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		环绕速度			√								
		第二宇宙速度和第三宇宙速度			√							√	
		经典时空观和相对论时空观											
	关键能力	理解能力		√	√		√		√	√	√	√	√
		推理论证能力	√	√	√	√	√	√		√	√	√	√
		模型建构能力	√			√							√
		实验探究能力											
		创新能力				√							√
	学科素养	物理观念	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学思维	√	√	√	√	√	√		√	√	√	√
		科学探究											
		科学态度与责任											√
考查要求		基础性	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		综合性			√	√						√	√
		应用性				√	√					√	√
		创新性				√							√
情境载体		生活实践问题情境										√	
		学习探索问题情境	√	√	√	√	√	√	√	√	√		√

2. 命题趋势

考查项目	考查特点
命题类型	全部为选择题，在计算题中偶有涉及宇宙航天背景素材，但对万有引力与航天的考查都是以选择题的形式出现的

续表

考查项目	考查特点
必备知识	所有的题目都考查万有引力定律及其应用，这一考点下包含了很丰富的内容，绝大多数题目会考查万有引力提供天体做圆周运动的向心力，偶有考查万有引力近似等于重力。环绕速度、第二宇宙速度和第三宇宙速度考查频率较低。经典时空观和相对论时空观未直接考查 另外，需要注意的是，有多个考题对行星运动定律尤其是开普勒第三定律进行了考查，而且要求进行定量的表达
关键能力	主要考查理解能力和推理论证能力，模型建构能力主要考查行星运动模型，尤其是运动轨迹为椭圆时的情况，利用开普勒第三定律可以将椭圆运动与圆周运动统一起来。创新能力的考查主要体现在建立多个天体系统之间的联系
学科素养	与关键能力相对应，学科素养方面重在考查物理观念和科学思维。科学态度与责任方面主要体现在对批判意识、质疑精神的考查
考查要求	试题都注重基础性的考查，部分试题兼具综合性，常与超失重、圆周运动的知识以及机械能守恒定律等知识一起考查
考查载体	贴近生活实际的万有引力与航天问题往往是比较复杂的，因此命题更倾向于学习探索，即多为学习探索问题情境

从近三年的命题情况来看，未来高考命题会更注重用物理知识解决实际问题，尤其要关注科技前沿知识的储备，万有引力定律及其应用作为核心考点不会改变，对三个宇宙速度的考查会有所增加，而如果考虑增加题目难度，不排除会继续在椭圆运动模型上命题。

3. 备考策略

(1)熟练掌握三大核心内容：①开普勒三大行星运动定律，尤其是开普勒第三定律；②地球对物体的万有引力近似等于物体所受重力，利用这一知识可以计算天体的质量，研究天体表面的重力加速度，以及必要时用 gR^2 代替 $Gm_{天}$；③万有引力提供天体做圆周运动的向心力，这几乎是必考的考点，应用范围很广，如计算中心天体的质量，根据轨道半径的大小比较线速度、角速度、周期、加速度等。

(2)注意加强综合训练。尤其是与超重和失重、离心运动、机械能守恒定律甚至是动量等知识相结合的综合性题目。

(3)要特别注意椭圆运动模型，利用开普勒第三定律，将椭圆运动和圆周运动统一到中心天体质量上来，这里是可以出难度较大的题目的。

(4)不要忽视了传统题型：双星(或多星)模型、卫星变轨模型等。

专题二　功和能

第1讲　功　功率　动能定理

题组一　功和功率

功是指作用于物体的恒力大小 F 与该物体沿力的方向运动的位移大小 x 的乘积。

功率是指力所做的功 W 与完成这些功所用的时间 t 之比。

解决做功的问题时首先要明确是恒力做功还是变力做功，求恒力做功利用功的定义式；求变力做功的方法主要有微元法、图像法、平均力法和转换研究对象法。

解决功率的问题时首先要明确是平均功率还是瞬时功率，求平均功率利用 $P=\dfrac{W}{t}$ 或 $P=F\bar{v}$；求瞬时功率利用 $P=Fv$。

1.（2023 山东卷，4）《天工开物》中记载了古人借助水力使用高转筒车往稻田里引水的场景。引水过程简化如下：两个半径均为 R 的水轮，以角速度 ω 匀速转动。水筒在筒车上均匀排布，单位长度上有 n 个，与水轮间无相对滑动。每个水筒离开水面时装有质量为 m 的水，其中的 60% 被输送到高出水面 H 处灌入稻田。当地的重力加速度为 g，则筒车对灌入稻田的水做功的功率为（　　）



A. $\dfrac{2nmg\omega^2RH}{5}$　　B. $\dfrac{3nmg\omega RH}{5}$　　C. $\dfrac{3nmg\omega^2RH}{5}$　　D. $nmg\omega RH$

【试题立意】本题以高转筒车为素材，创设了求筒车对灌入稻田的水做功的功率的生活实践问题情境。此情境曾在 2022 年浙江卷第 12 题出现过，主要考查了功、功率等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

（1）理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	水筒在筒车上均匀排布，单位长度上有 n 个，与水轮间无相对滑动。	任意一段时间内，筒车对灌入稻田的水做的功一样多
2	每个水筒离开水面时装有质量为 m 的水，其中的 60% 被输送到高出水面 H 处灌入稻田	①忽略水的动能变化； ②一段时间内灌入稻田的水的质量为 $m_{总}$，则筒车对这部分水所做的功 $W=0.6m_{总}gH$

(2)推理论证能力

由题意可知，水筒在筒车上均匀分布，故任取一段时间间隔t，求出灌入水田的水从水面提升到高度H处时筒车做的功(此题中应忽略水的动能变化)

$l=\omega Rt$ → $m_{总}=nlm$ → $W=0.6m_{总}gH$ → $P=\frac{W}{t}=\frac{3nmg\omega RH}{5}$，故B项正确

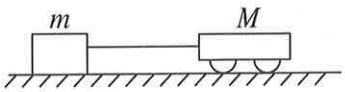
【答案】B

【失分剖析】①不会选取任意一段时间间隔作为研究过程进行分析；②没有想到忽略水的动能变化。

方法点拨

解决传送带连续传送物体的问题的关键就在于研究对象和运动过程的选取。

2.(2023 山东卷，8)质量为M的玩具动力小车在水平面上运动时，牵引力F和受到的阻力F_f均为恒力。如图所示，小车用一根不可伸长的轻绳拉着质量为m的物体由静止开始运动。当小车拖动物体行驶的位移为s_1时，小车达到额定功率，轻绳从物体上脱落。物体继续滑行一段时间后停下，其总位移为s_2。物体与地面间的动摩擦因数不变，不计空气阻力。小车的额定功率P_0为(　　)



A. $\sqrt{\frac{2F^2(F-F_f)(s_2-s_1)s_1}{(M+m)s_2-Ms_1}}$　　B. $\sqrt{\frac{2F^2(F-F_f)(s_2-s_1)s_1}{(M+m)s_2-ms_1}}$

C. $\sqrt{\frac{2F^2(F-F_f)(s_2-s_1)s_2}{(M+m)s_2-Ms_1}}$　　D. $\sqrt{\frac{2F^2(F-F_f)(s_2-s_1)s_2}{(M+m)s_2+ms_1}}$

【试题立意】本题以玩具动力小车为素材，创设了求小车的额定功率的学习探索问题情境。此情境曾在2021年湖南卷第3题出现过，主要考查了功率、动能定理等知识点。

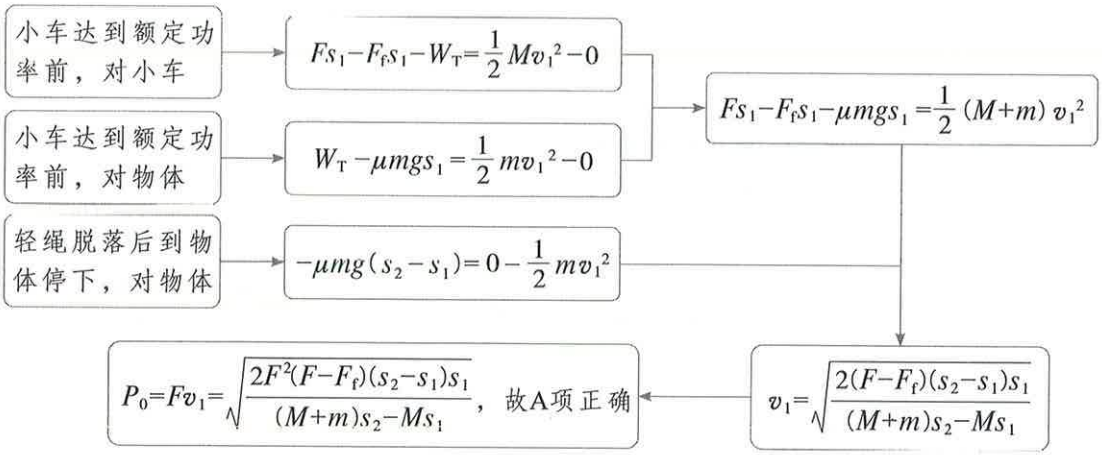
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	牵引力F和受到的阻力F_f均为恒力	小车以恒定加速度启动，做匀加速直线运动
2	物体继续滑行一段时间后停下，其总位移为s_2	物体只在摩擦力作用下运动的位移为s_2-s_1

(2)推理论证能力

将小车和物体的运动分成两个阶段分析：一是小车达到额定功率前；二是轻绳脱落后。



【答案】A

【失分剖析】①不会分阶段分析小车和物体的运动过程；②计算能力不足。

方法点拨

解决多物体多运动过程问题的关键在于分解运动过程，对每一个阶段单独分析。

3.（2021 全国乙卷，24）一篮球质量为 $m=0.60$ kg，一运动员使其从距地面高度为 $h_1=1.8$ m 处由静止自由落下，反弹高度为 $h_2=1.2$ m。若使篮球从距地面 $h_3=1.5$ m 的高度由静止下落，并在开始下落的同时向下拍球，球落地后反弹的高度也为 1.5 m。假设运动员拍球时对球的作用力为恒力，作用时间为 $t=0.20$ s；该篮球每次与地面碰撞前后的动能的比值不变。重力加速度大小 g 取 10 m/s^2，不计空气阻力。求：

(1)运动员拍球过程中对篮球所做的功；

(2)运动员拍球时对篮球的作用力的大小。

【试题立意】本题以篮球的运动为素材创设生活实践问题情境。主要考查了牛顿运动定律、动能和动能定理、功、匀变速直线运动及其公式等知识点。

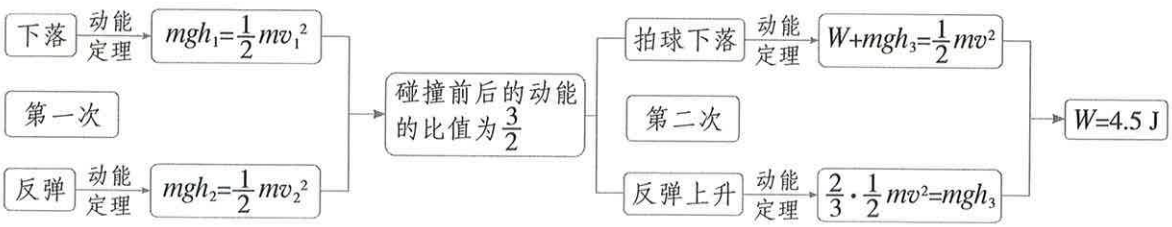
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

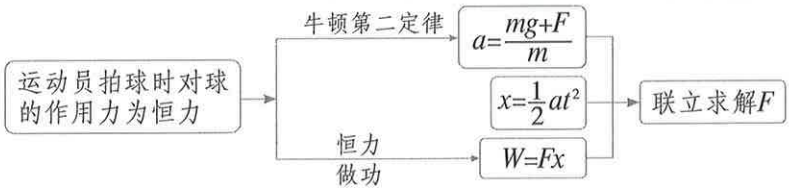
序号	关键表述	物理量及其关系
1	运动员拍球时对球的作用力为恒力，作用时间为 $t=0.20$ s	拍球过程中球做匀变速运动，有 $x=\frac{1}{2}at^2$ 恒力做功 $W=Fx$
2	篮球每次与地面碰撞前后的动能的比值不变	动能比值等于碰撞前后篮球下落和上升的高度比值

(2)推理论证能力

第(1)问：根据每次与地面碰撞前后的动能的比值不变，再结合功能关系，可得运动员对篮球做的功。



第(2)问:用牛顿第二定律可得运动员拍球时的加速度,结合位移公式 $x=\frac{1}{2}at^2$ 和恒力做功的方程 $W=Fx$,联立求解可得恒力 F。



【解题过程】(1)篮球第一次下落,根据动能定理得 $mgh_1=\frac{1}{2}mv_1^2$ ①

篮球反弹后根据动能定理得 $mgh_2=\frac{1}{2}mv_2^2$ ②

则篮球与地面碰撞前后的动能的比值为 $\frac{3}{2}$ ③

设运动员做的功为 W,第二次篮球下落,根据动能定理得 $W+mgh_3=\frac{1}{2}mv^2$ ④

第二次篮球落地时动能为 $\frac{1}{2}mv^2=\frac{3}{2}mgh_3$ ⑤

解得 $W=4.5$ J。 ⑥

(2)篮球受到力 F 作用的时间内,根据牛顿第二定律得 $a=\frac{mg+F}{m}$ ⑦

篮球下降的距离为 $x=\frac{1}{2}at^2$ ⑧

又有 $W=Fx=4.5$ J ⑨

联立解得 $F=9$ N。 ⑩

评分参考:④⑤各 2 分,其他各 1 分。

【答案】(1)4.5 J　(2)9 N

【失分剖析】①考生不能准确把握篮球每次与地面碰撞前后的动能的比值不变的含义;②考生不能根据篮球的受力情况列出拍球过程中的位移的表达式,并将拍球过程中的位移、恒力 F 与运动员对篮球做的功建立起联系。

题组二　动能定理的应用

动能定理是指合力对物体所做的功等于物体动能的变化量。

利用动能定理分析问题时,关键在于运动过程和研究对象的选取。

4.(2023 全国新课标卷,15)无风时,雨滴受空气阻力的作用在地面附近会以恒定的速率竖直下落。一质量为 m 的雨滴在地面附近以速率 v 下落高度 h 的过程中,克服空气阻力做的功为(重力加速度大小为 g)(　　)

A. 0　　B. mgh　　C. $\frac{1}{2}mv^2-mgh$　　D. $\frac{1}{2}mv^2+mgh$

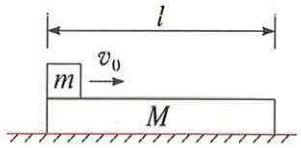
【试题立意】本题以雨滴的运动为素材，创设推导雨滴下落过程中克服空气阻力做功的生活实践问题情境。主要考查了功、动能定理等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

雨滴以速率v下落高度h的过程 → $mgh-W_f=0$ → $W_f=mgh$

【答案】B

5.（多选）(2023 全国乙卷，21)如图所示，一质量为 M、长为 l 的木板静止在光滑水平桌面上，另一质量为 m 的小物块(可视为质点)从木板上的左端以速度 v_0 开始运动。已知物块与木板间的滑动摩擦力大小为 F_f，当物块从木板右端离开时(　　)



A. 木板的动能一定等于 $F_f l$　　B. 木板的动能一定小于 $F_f l$

C. 物块的动能一定大于 $\frac{1}{2}mv_0^2-F_f l$　　D. 物块的动能一定小于 $\frac{1}{2}mv_0^2-F_f l$

【试题立意】本题以木板和物块为素材，创设了推导木板和物块的动能的学习探索问题情境。主要考查了动能定理、匀变速直线运动及其公式等知识点。

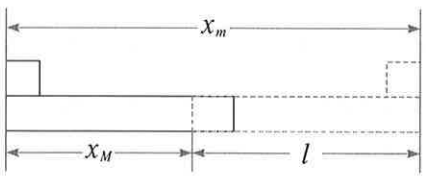
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

关键表述	物理量及其关系
物块从木板右端离开	①物块从木板右端离开时，物块的速度大于木板的速度，即 $v_1>v_2$ ②物块相对于木板的位移为 l

(2)推理论证能力

方法一：运动过程图



$x_m-x_M=l$

对物块 → $-F_f x_m=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_0^2$ → $\frac{1}{2}mv_1^2=\frac{1}{2}mv_0^2-F_f(l+x_M)<\frac{1}{2}mv_0^2-F_f l$，故D项正确

对木板 → $F_f x_M=\frac{1}{2}mv_2^2$

$x_m=\frac{v_0+v_1}{2}t$

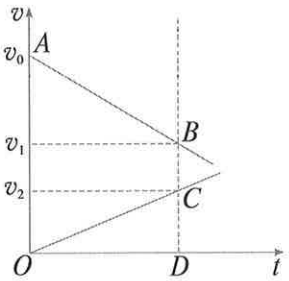
$x_M=\frac{v_2}{2}t$ → $x_m>2x_M$ → $x_m-x_M=l>x_M$

$v_0>v_1>v_2$

$\frac{1}{2}mv_2^2<F_f l$，故B项正确

方法二：图像法

分析物块离开木板时木板的动能，也可以利用 $v-t$ 图像分析



由$v-t$图像可知，物块从木板右端离开时，物块的位移$x_m=S_{梯形OABD}$

由$v-t$图像可知，物块从木板右端离开时，木板的位移$x_M=S_{\triangle OCD}$

由图形可知，$S_{梯形OABD}>2S_{\triangle OCD}$，故$l=x_m-x_M>x_M$

$F_fx_M=\frac{1}{2}mv_2^2$

$\frac{1}{2}mv_2^2<F_fl$

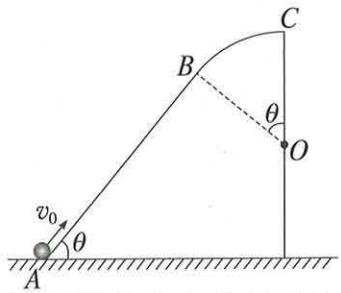
【答案】BD

【失分剖析】①列动能定理的表达式时错用了相对位移；②不会比较木板的位移和木板长度的大小关系。

方法点拨

板块模型的难点之一在于明确木板与物块的运动过程以及二者的对地位移和相对位移，可以借助运动过程图或者 $v-t$ 图像进行分析。

6.（多选）(2023 湖南卷，8)如图所示，固定在竖直面内的光滑轨道 ABC 由直线段 AB 和圆弧段 BC 组成，两段相切于 B 点，AB 段与水平面夹角为 θ，BC 段圆心为 O，最高点为 C，A 与 C 的高度差等于圆弧轨道的直径 $2R$。小球从 A 点以初速度 v_0 冲上轨道，能沿轨道运动恰好到达 C 点，下列说法正确的是(　　)



A. 小球从 B 到 C 的过程中，对轨道的压力逐渐增大

B. 小球从 A 到 C 的过程中，重力的功率始终保持不变

C. 小球的初速度 $v_0=\sqrt{2gR}$

D. 若小球初速度 v_0 增大，小球有可能从 B 点脱离轨道

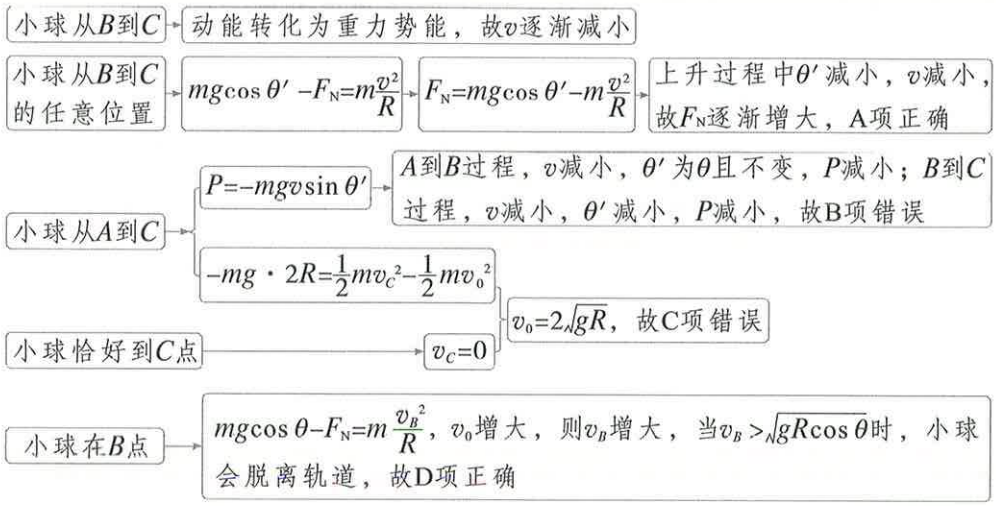
【试题立意】本题以小球的运动为素材，创设了分析小球在斜面及圆弧轨道上各物理量的变化的学习探索问题情境。主要考查了圆周运动的向心力、功率、动能定理等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	小球从 A 点以初速度 v_0 冲上轨道，能沿轨道运动恰好到达 C 点	小球到 C 点的速度为 0
2	从 B 点脱离轨道	小球在 B 点：$mg\cos\theta<m\frac{v_B^2}{R}$

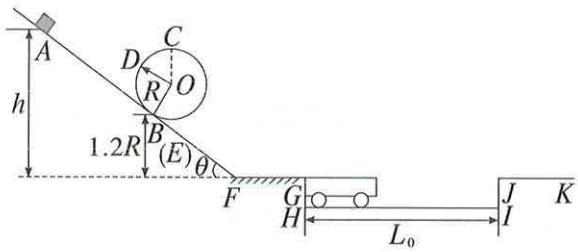
(2)推理论证能力



【答案】AD

【失分剖析】①不清楚小球恰好到达 C 点和恰好从 B 点脱离轨道所满足的临界条件；②不会分析竖直面内圆周运动除最高点和最低点外的其他位置处的向心力。

7.(2023.1 浙江卷,18)一游戏装置竖直截面如图所示,该装置由固定在水平地面上倾角 $\theta=37°$ 的直轨道 AB、螺旋圆形轨道 $BCDE$,倾角 $\theta=37°$ 的直轨道 EF、水平直轨道 FG 组成,除 FG 段外各段轨道均光滑,且各处平滑连接。螺旋圆形轨道与轨道 AB、EF 相切于 $B(E)$ 处。凹槽 $GHIJ$ 底面 HI 水平光滑,上面放有一无动力摆渡车,并紧靠在竖直侧壁 GH 处,摆渡车上表面与直轨道 FG、平台 JK 位于同一水平面。已知螺旋圆形轨道半径 $R=0.5$ m,B 点高度为 $1.2R$,FG 长度 $L_{FG}=2.5$ m,HI 长度 $L_0=9$ m,摆渡车长度 $L=3$ m、质量 $m=1$ kg。将一质量也为 m 的滑块从倾斜轨道 AB 上高度 $h=2.3$ m 处静止释放,滑块在 FG 段运动时的阻力为其重力的 $\frac{1}{5}$。(摆渡车碰到竖直侧壁 IJ 立即静止,滑块视为质点,不计空气阻力,$\sin 37°=0.6$,$\cos 37°=0.8$)



(1)求滑块过 C 点的速度大小 v_C 和轨道对滑块的作用力大小 F_C;

(2)摆渡车碰到 IJ 前,滑块恰好不脱离摆渡车,求滑块与摆渡车之间的动摩擦因数 μ;

(3)在(2)的条件下,求滑块从 G 到 J 所用的时间 t。

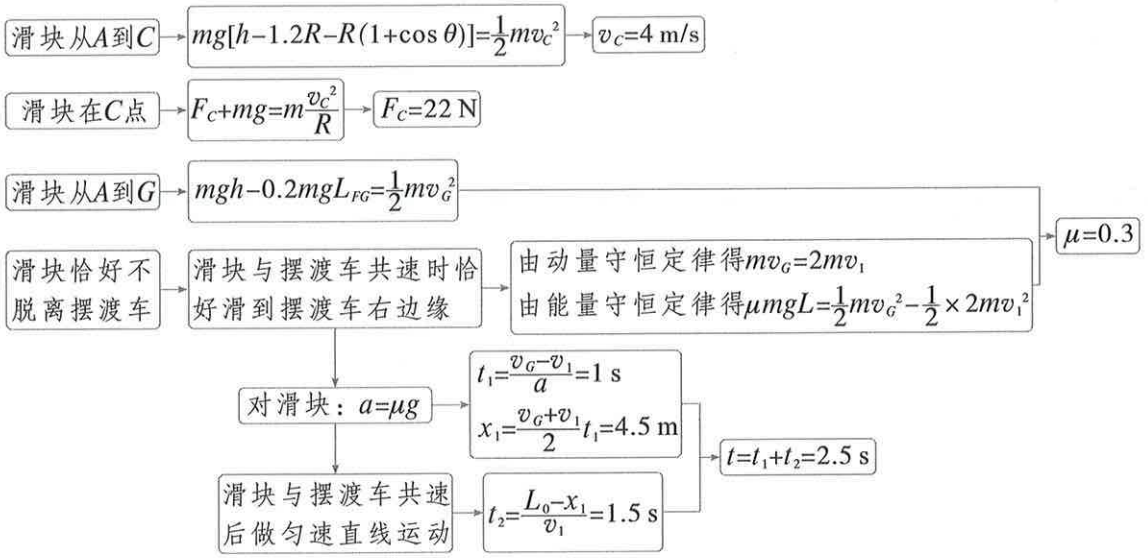
【试题立意】本题以滑块的运动为素材,创设了分析滑块在斜面及圆弧轨道上各物理量的变化的学习探索问题情境。此情境曾在 2022 年 6 月浙江卷第 20 题出现过,主要考查了圆周运动的向心力、功、动能定理、重力做功和重力势能、动量守恒定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	滑块恰好不脱离摆渡车	滑块与摆渡车共速时,恰好到达摆渡车的右边缘

(2)推理论证能力



【解题过程】(1)滑块从静止释放到 C 点过程,根据动能定理可得

$$mg(h-1.2R-R-R\cos\theta)=\frac{1}{2}mv_C^2 \quad ①$$

解得 $v_C=4$ m/s ②

滑块过 C 点时,根据牛顿第二定律可得 $F_C+mg=m\frac{v_C^2}{R}$ ③

解得 $F_C=22$ N。 ④

(2)设滑块刚滑上摆渡车时的速度大小为 v_G,从静止释放到 G 点的过程,根据动能定理可得

$$mgh-0.2mgL_{FG}=\frac{1}{2}mv_G^2 \quad ⑤$$

摆渡车碰到 IJ 前,滑块恰好不脱离摆渡车,说明滑块到达摆渡车右端时刚好与摆渡车共速,设共同速度为 v_1,以滑块和摆渡车为系统,根据系统动量守恒定律可得 $mv_G=2mv_1$ ⑥

根据能量守恒定律可得 $Q=\mu mgL=\frac{1}{2}mv_G^2-\frac{1}{2}\times 2mv_1^2$ ⑦

联立解得 $\mu=0.3$。 ⑧

(3)滑块从滑上摆渡车到与摆渡车共速的过程中,滑块的加速度大小为

$$a=\frac{\mu mg}{m}=3\ \text{m/s}^2 \quad ⑨$$

所用时间为 $t_1=\frac{v_G-v_1}{a}=1$ s ⑩

此过程滑块通过的位移为 $x_1=\frac{v_G+v_1}{2}t_1=4.5$ m ⑪

滑块与摆渡车共速后，滑块与摆渡车一起做匀速直线运动，该过程所用时间为

$$t_2=\frac{L_0-x_1}{v_1}=1.5\ \text{s} \quad ⑫$$

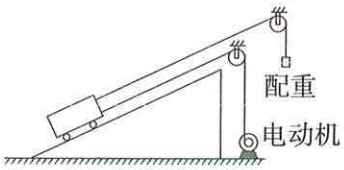
则滑块从 G 到 J 所用的时间为 $t=t_1+t_2=2.5\ \text{s}$。 ⑬

评分参考：⑨⑩⑪⑫各 0.5 分，其他各 1 分。

【答案】(1)4 m/s　22 N　(2)0.3　(3)2.5 s

【失分剖析】①不清楚滑块恰好不脱离摆渡车所满足的临界条件；②不会分阶段分析滑块与摆渡车的运动过程。

8.(2022 山东卷，16)某粮库使用额定电压 $U=380\ \text{V}$，内阻 $R=0.25\ \Omega$ 的电动机运粮。如图所示，配重和电动机连接小车的缆绳均平行于斜坡，装满粮食的小车以速度 $v=2\ \text{m/s}$ 沿斜坡匀速上行，此时电流 $I=40\ \text{A}$。关闭电动机后，小车又沿斜坡上行路程 L 到达卸粮点时，速度恰好为零。卸粮后，给小车一个向下的初速度，小车沿斜坡刚好匀速下行。已知小车质量 $m_1=100\ \text{kg}$，车上粮食质量 $m_2=1\ 200\ \text{kg}$，配重质量 $m_0=40\ \text{kg}$，重力加速度 g 取 $10\ \text{m/s}^2$，小车运动时受到的摩擦阻力与车及车上粮食总重力成正比，比例系数为 k，配重始终未接触地面，不计电动机自身机械摩擦损耗及缆绳质量。求：



(1)比例系数 k 值；

(2)上行路程 L 值。

【试题立意】本题以运粮食的小车的运动为素材创设生活实践问题情境。主要考查了电功率、功和功率、动能和动能定理、共点力的平衡等知识点。

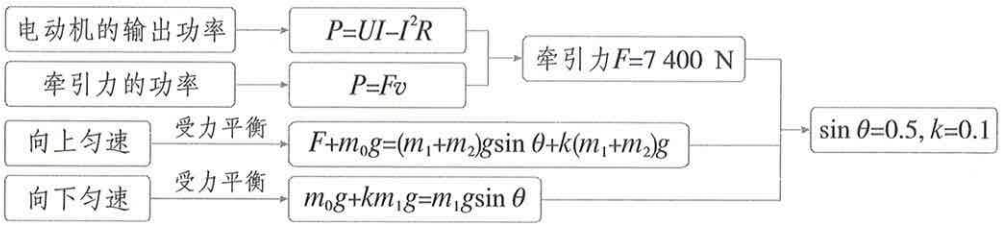
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

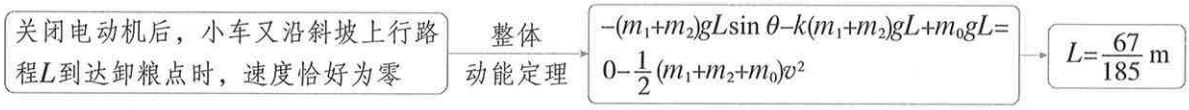
序号	关键表述	物理量及其关系
1	额定电压 $U=380\ \text{V}$，内阻 $R=0.25\ \Omega$ 的电动机运粮，此时电流 $I=40\ \text{A}$	电动机的输出功率即为牵引力的功率 $P_{出}=Fv$
2	装满粮食的小车以速度 $v=2\ \text{m/s}$ 沿斜坡匀速上行	牵引力和拉力等于摩擦阻力和重力沿斜面的分力之和
3	关闭电动机后	牵引力为零
4	关闭电动机后，小车又沿斜坡上行路程 L 到达卸粮点时，速度恰好为零	合力对系统做的功等于系统动能的变化
5	卸粮后，给小车一个向下的初速度，小车沿斜坡刚好匀速下行	重力沿斜面的分力等于拉力和摩擦阻力之和

(2)推理论证能力

第(1)问：利用两次受力平衡求解，上行时的牵引力用功率求解。



第(2)问：对连接体整体应用动能定理求解。(牛顿运动定律和匀变速运动规律也可以解决，但不如动能定理简便)



【解题过程】(1)电动机的输出功率为 $P=UI-I^2R=14\,800$ W　①

设电动机的牵引力为 F，由 $P=Fv$ 可得 $F=\dfrac{P}{v}=7\,400$ N　②

设斜面的倾角为 θ，向上匀速时根据平衡条件有

$F+m_0g=(m_1+m_2)g\sin\theta+k(m_1+m_2)g$　③

向下匀速时根据平衡条件有 $m_1g\sin\theta=m_0g+km_1g$　④

联立②③④式可得 $\sin\theta=0.5$，$k=0.1$。　⑤

(2)解法一：

关闭电动机后，小车又沿斜坡上行路程 L 到达卸粮点过程，对整体由动能定理可得

$-(m_1+m_2)gL\sin\theta-k(m_1+m_2)gL+m_0gL=0-\dfrac{1}{2}(m_1+m_2+m_0)v^2$　⑥

解得 $L=\dfrac{67}{185}$ m　⑦

解法二：

关闭发动机后小车和配重一起做匀减速直线运动，设加速度为 a，对系统由牛顿第二定律有

$(m_1+m_2)g\sin\theta+k(m_1+m_2)g-m_0g=(m_1+m_2+m_0)a$　⑧

可得 $a=\dfrac{370}{67}$ m/s^2

由运动学公式可知 $v^2=2aL$　⑨

解得 $L=\dfrac{67}{185}$ m。　⑩

评分参考：①⑥各 2 分，其他各 1 分。

【答案】(1)0.1　(2)$\dfrac{67}{185}$ m

【失分剖析】①电动机的输出功率计算方法错误；②未理解“小车运动时受到的摩擦阻力与

小车及车上粮食总重力成正比”，受力分析时将阻力写为与重力垂直、与斜面的分力成正比；③不能够选择合适的研究对象受力分析，对小车受力分析时漏掉缆绳的拉力。

方法点拨

小车与粮食的运动过程可以分为三个阶段：一是小车与粮食沿斜面向上匀速运动；二是关闭电动机后小车与粮食沿斜面向上做匀减速运动至速度减为0；三是小车沿斜面向下做匀速运动。

9.（2022.6 浙江卷，13）小明用额定功率为1 200 W、最大拉力为300 N的提升装置，把静置于地面的质量为20 kg的重物竖直提升到高为85.2 m的平台，先加速再匀速，最后做加速度大小不超过5 m/s^{2}的匀减速运动，到达平台的速度刚好为零，g取10 m/s^2，则提升重物的最短时间为（　　）

A. 13.2 s　　B. 14.2 s　　C. 15.5 s　　D. 17.0 s

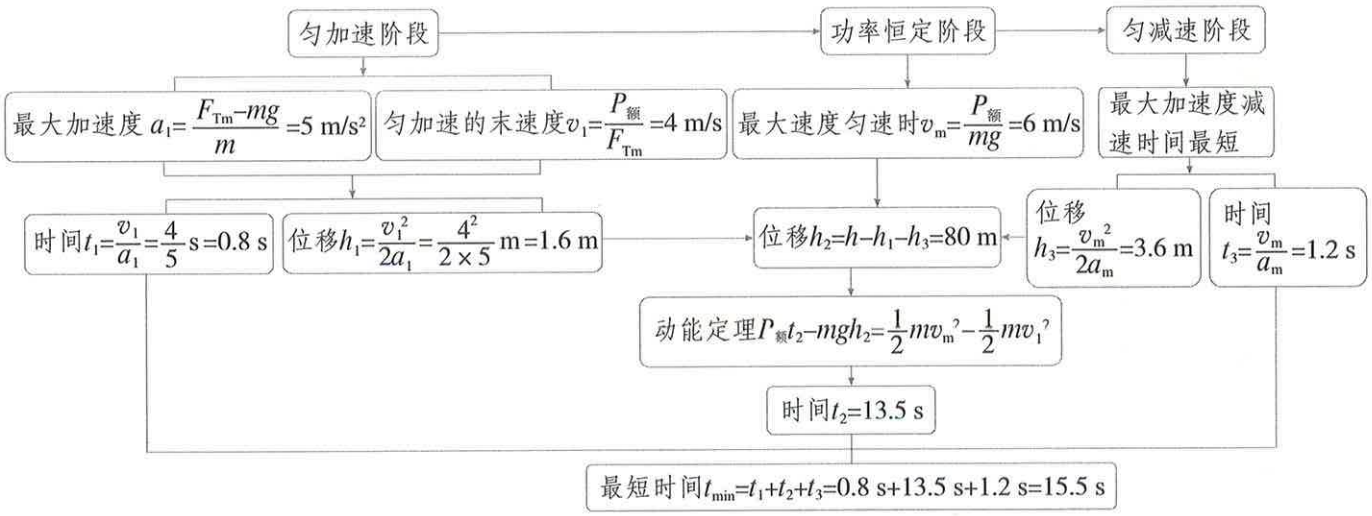
【试题立意】本题以使用提升装置竖直提升重物为素材创设学习探索问题情境，鲁科版教材必修第一册第65页章末练习第8题有类似素材。主要考查了功和功率、动能定理等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

（1）理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	用额定功率为1 200 W、最大拉力为300 N的提升装置，把静置于地面的质量为20 kg的重物竖直提升到高为85.2 m的平台	最大加速度为 $a_1=\dfrac{F_{Tm}-mg}{m}$ 最大速度为 $v_m=\dfrac{P_{额}}{F_{Tm}}$
2	最短时间	最大的加速度加速，最大的速度匀速，最大的加速度减速所用时间最短

（2）推理论证能力



【答案】C

【失分剖析】①没有判断出所用时间最短时的运动特点；②没有使用动能定理解出第二阶段的时间。

第2讲　机械能守恒定律　功能关系和能量守恒

机械能守恒定律是指在只有重力或弹簧弹力做功的物体系统内，动能和势能可以互相转化，而总的机械能保持不变。

机械能守恒定律的表达式有三种形式：$E_1=E_2$（选择零势能参考面）；$\Delta E_k=-\Delta E_p$；$\Delta E_A=-\Delta E_B$。

1.（2023全国甲卷，14）一同学将铅球水平推出，不计空气阻力和转动的影响，铅球在平抛运动过程中（　　）

A. 机械能一直增加　　B. 加速度保持不变

C. 速度大小保持不变　　D. 被推出后瞬间动能最大

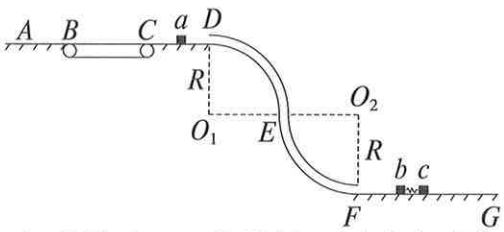
【试题立意】本题以铅球的运动为素材，创设了分析平抛运动中各物理量的变化的学习探索问题情境。此情境曾在2023年6月浙江卷第3题出现过，主要考查了抛体运动、动能定理、机械能守恒定律及其应用等知识点。

【关键能力】本题着重考查考生的理解能力。

铅球平抛运动过程中只受重力，则加速度不变，故B项正确；只有重力做正功，则铅球动能不断增大，机械能不变，故A、C、D项错误。

【答案】B

2.（2023.6浙江卷，18）为了探究物体间碰撞特性，设计了如图所示的实验装置。水平直轨道AB、CD和水平传送带平滑无缝连接，两半径均为$R=0.4$ m的四分之一圆周组成的竖直细圆弧管道DEF与轨道CD和足够长的水平直轨道FG平滑相切连接。质量为$3m$的滑块b与质量为$2m$的滑块c用劲度系数$k=100$ N/m的轻质弹簧连接，静置于轨道FG上。现有质量$m=0.12$ kg的滑块a以初速度$v_0=2\sqrt{21}$ m/s从D处进入，经DEF管道后，与FG上的滑块b碰撞（时间极短）。已知传送带长$L=0.8$ m，以$v=2$ m/s的速率顺时针转动，滑块a与传送带间的动摩擦因数$\mu=0.5$，其他摩擦和阻力均不计，各滑块均可视为质点，弹簧的弹性势能$E_p=\frac{1}{2}kx^2$（x为形变量）。



（1）求滑块a到达圆弧管道DEF最低点F时速度大小v_F和所受支持力大小F_N。

（2）若滑块a碰后返回到B点时速度$v_B=1$ m/s，求滑块a、b碰撞过程中损失的机械能ΔE。

（3）若滑块a碰到滑块b立即被粘住，求碰撞后弹簧最大长度与最小长度之差Δx。

【试题立意】本题以物块与弹簧为素材，创设了探究物体间碰撞特性的学习探索问题情境。此情境曾在2022年6月浙江卷第20题出现过，主要考查了动能定理、匀速圆周运动的向心力、动量守恒定律和能量守恒定律及其应用等知识点。

【关键能力】本题着重考查考生的理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	滑块 a 与 FG 上的滑块 b 碰撞(时间极短)	碰撞过程中满足动量守恒定律
2	碰撞后弹簧最大长度与最小长度	弹簧达到最大长度或最小长度时,a、b 与 c 共速

(2)推理论证能力

①第一问:

滑块a从D到F → $mg\cdot 2R=\frac{1}{2}mv_F^2-\frac{1}{2}mv_0^2$ → $v_F=10\ \text{m/s}$

滑块a在F点 → $F_N-mg=m\frac{v_F^2}{R}$ → $F_N=31.2\ \text{N}$

②第二问:碰撞过程中损失的机械能应为碰撞前 a、b 整体的动能与碰撞后 a、b 和 c 整体的动能之差

滑块从C点到B点，摩擦力恒定，滑块的对地位移为L，故$W_f=-\mu mgL$ → 设滑块a碰后速度为v_a，则从碰后到返回到B点的过程中，由动能定理得 → $-mg\cdot 2R-\mu mgL=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_a^2$ → $v_a=5\ \text{m/s}$

设b碰后速度为v_b，滑块a、b碰撞过程，取水平向右为正方向 → 由动量守恒定律得$mv_F=-mv_a+3mv_b$；由能量守恒定律得$\Delta E=\frac{1}{2}mv_F^2-\frac{1}{2}mv_a^2-\frac{1}{2}\times 3mv_b^2$ → $\Delta E=0$

③第三问:弹簧长度最长或最短时,a、b 与 c 共速,两种情况下弹簧的形变量相等

设滑块a、b碰撞后粘在一起的速度为v_1 → 由动量守恒定律得$mv_F=4mv_1$

滑块a、b碰撞后到弹簧长度最小；设弹簧长度最小时其压缩量为x_1，此时滑块a、b与c共速，共同速度为v_2 → 对a、b、c：由动量守恒定律得$4mv_1=6mv_2$；由能量守恒定律得$\frac{1}{2}\times 4mv_1^2=\frac{1}{2}\times 6mv_2^2+\frac{1}{2}kx_1^2$；弹簧长度最长时滑块$a$、$b$与$c$共速，速度也为$v_2$，此时其伸长量也为$x_1$ → $\Delta x=2x_1$

【解题过程】(1)滑块 a 从 D 到 F,由动能定理可得

$$mg\cdot 2R=\frac{1}{2}mv_F^2-\frac{1}{2}mv_0^2 \qquad ①$$

滑块 a 在 F 点时,有 $F_N-mg=m\frac{v_F^2}{R}$ ②

解得 $v_F=10\ \text{m/s}$,$F_N=31.2\ \text{N}$。 ③

(2)设滑块 a 碰后速度为 v_a,则从碰撞后到返回 B 点的过程中,由动能定理可得

$$-mg\cdot 2R-\mu mgL=\frac{1}{2}mv_B^2-\frac{1}{2}mv_a^2 \qquad ④$$

因滑块 a、b 碰撞动量守恒,设滑块 b 碰后速度为 v_b,则 $mv_F=-mv_a+3mv_b$ ⑤

解得碰后 b 的速度 $v_b=5\ \text{m/s}$

则碰撞损失的能量 $\Delta E=\frac{1}{2}mv_F^2-\frac{1}{2}mv_a^2-\frac{1}{2}\cdot 3mv_b^2=0$。 ⑥

(3)若滑块 a 碰到滑块 b 立即被粘住，则滑块 a、b 碰后的共同速度设为 v_1，由动量守恒定律得 $mv_F=4mv_1$ ⑦

解得 $v_1=2.5\ \mathrm{m/s}$

当弹簧被压缩到最短或者伸长到最长时有共同速度，对 a、b、c 组成的系统由动量守恒定律得

$4mv_1=6mv_2$ ⑧

解得 $v_2=\frac{5}{3}\ \mathrm{m/s}$

设弹簧被压缩到最短时其压缩量为 x_1，由能量守恒定律得

$\frac{1}{2}\cdot 4mv_1^{\ 2}=\frac{1}{2}\cdot 6mv_2^{\ 2}+\frac{1}{2}kx_1^{\ 2}$ ⑨

解得 $x_1=0.1\ \mathrm{m}$

同理，当弹簧被拉到最长时伸长量为 $x_2=x_1$ ⑩

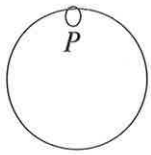
则弹簧最大长度与最小长度之差 $\Delta x=2x_1=0.2\ \mathrm{m}$。 ⑪

评分参考：①～⑪各 1 分。

【答案】(1)10 m/s　31.2 N　(2)0　(3)0.2 m

【失分剖析】①第二问若有的同学对滑块从 F 到 B 的过程列出能量守恒定律表达式，则要注意整个系统减少的能量，包括滑块的动能和由于传送滑块 a 使得传送带多消耗的能量，增加的能量是滑块的重力势能和摩擦产生的热量；②第三问易错点在于学生分析弹簧被压缩至最短时的弹性势能时，选择滑块 a 与 b 碰前到三者共速的过程列能量守恒式，忽略了滑块 a 与 b 碰撞过程中损失的能量。

3.(2022 全国乙卷，16)固定于竖直平面内的光滑大圆环上套有一个小环，小环从大圆环顶端 P 点由静止开始自由下滑，在下滑过程中，小环的速率正比于(　　)



A. 它滑过的弧长　　B. 它下降的高度

C. 它到 P 点的距离　　D. 它与 P 点的连线扫过的面积

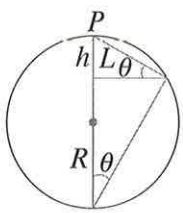
【试题立意】本题以小环在光滑的大圆环上下滑为素材创设学习探索问题情境。试题主要考查了机械能守恒定律、动能和动能定理等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力：光滑大圆环上，小环由静止开始自由下滑，表明小环机械能守恒，$mgh=\frac{1}{2}mv^2$。

(2)推理论证能力

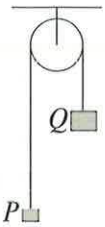
根据机械能守恒建立起 v 与 h 的关系，$v=\sqrt{2gh}$，从 h 入手进一步分析，如图所示，设小环某时刻到 P 点的距离为 L。由几何关系可得 $h-L\sin\theta$，$\sin\theta-\frac{L}{2R}$，联立可得 $h=\frac{L^2}{2R}$，则 $v=\sqrt{\frac{2gL^2}{2R}}=L\sqrt{\frac{g}{R}}$，小环的速率与它到 P 点的距离成正比。



【答案】C

【失分剖析】没有画出图形找出几何关系。

4.（多选）(2022 河北卷，9) 如图，轻质定滑轮固定在天花板上，物体 P 和 Q 用不可伸长的轻绳相连，悬挂在定滑轮上，质量 $m_Q>m_P$，$t=0$ 时刻将两物体由静止释放，物体 Q 的加速度大小为 $\frac{g}{3}$。T 时刻轻绳突然断开，物体 P 能够达到的最高点恰与物体 Q 释放位置处于同一高度，取 $t=0$ 时刻物体 P 所在水平面为零势能面，此时物体 Q 的机械能为 E。重力加速度大小为 g，不计摩擦和空气阻力，两物体均可视为质点。下列说法正确的是（　　）



A. 物体 P 和 Q 的质量之比为 1∶3　　B. $2T$ 时刻物体 Q 的机械能为 $\frac{E}{2}$

C. $2T$ 时刻物体 P 重力的功率为 $\frac{3E}{2T}$　　D. $2T$ 时刻物体 P 的速度大小为 $\frac{2gT}{3}$

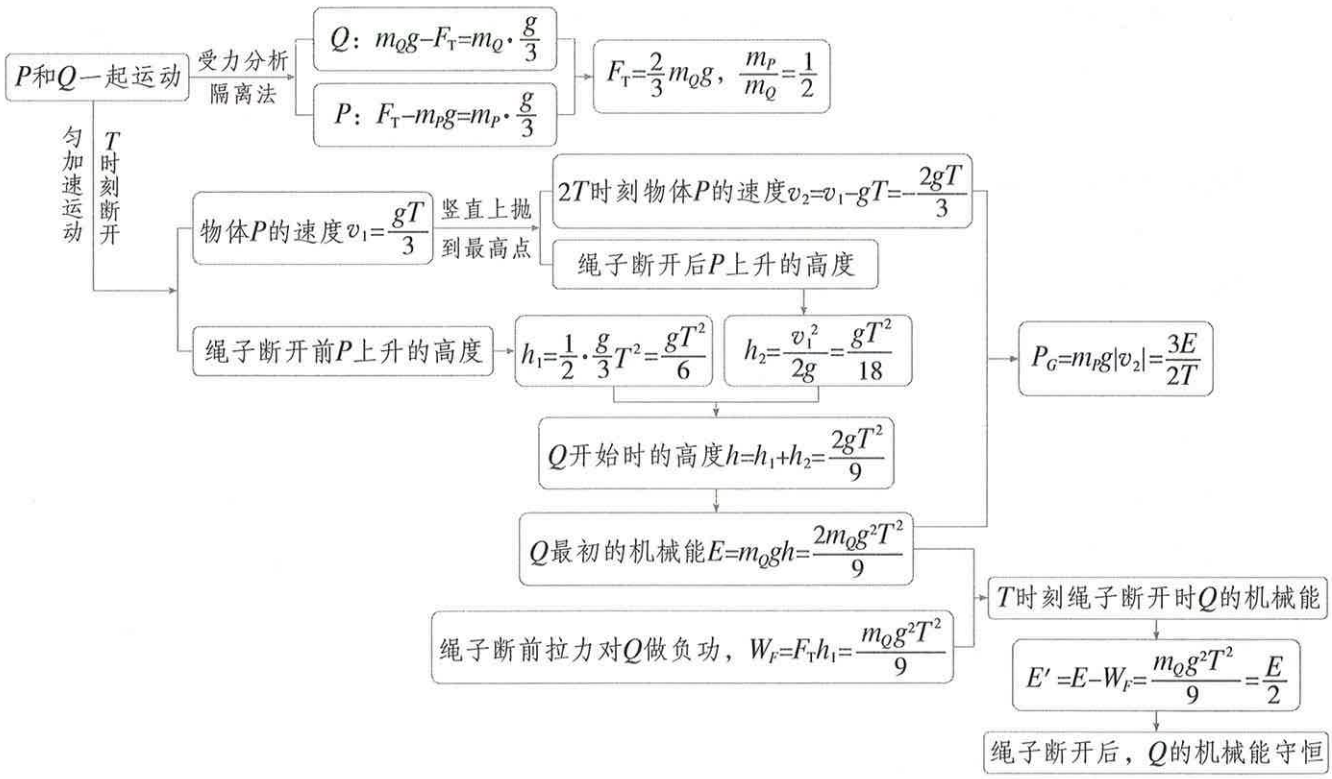
【试题立意】本题以连接体运动为素材创设了牛顿运动定律和机械能守恒定律应用的学习探索问题情境，人教版教材必修第二册第 94 页第 4 题有类似素材。主要考查了匀变速直线运动、牛顿运动定律、功和功率、功能关系、机械能守恒定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1) 理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	物体 P 和 Q 用不可伸长的轻绳相连，悬挂在定滑轮上	两物体沿绳子的分速度、分加速度大小相等，两物体的加速度均沿绳子方向，所以加速度大小相等
2	物体 P 能够达到的最高点恰与物体 Q 释放位置处于同一高度	P 全过程上升的高度即为 Q 原来的高度

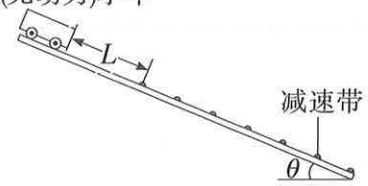
(2) 推理论证能力



【答案】BCD

【失分剖析】①误认为绳子拉力等于物体 P 的重力；②误认为物体 Q 机械能始终守恒。

5.（2021 全国甲卷，24）如图，一倾角为 θ 的光滑斜面上有 50 个减速带（图中未完全画出），相邻减速带间的距离均为 d，减速带的宽度远小于 d；一质量为 m 的无动力小车（可视为质点）从距第一个减速带 L 处由静止释放。已知小车通过减速带损失的机械能与到达减速带时的速度有关。观察发现，小车通过第 30 个减速带后，在相邻减速带间的平均速度均相同。小车通过第 50 个减速带后立刻进入与斜面光滑连接的水平地面，继续滑行距离 s 后停下。已知小车与地面间的动摩擦因数为 μ，重力加速度大小为 g。



（1）求小车通过第 30 个减速带后，经过每一个减速带时损失的机械能；

（2）求小车通过前 30 个减速带的过程中在每一个减速带上平均损失的机械能；

（3）若小车在前 30 个减速带上平均每一个损失的机械能大于之后每一个减速带上损失的机械能，则 L 应满足什么条件？

【试题立意】本题以无动力小车在光滑斜面上与减速带相互作用的过程为素材创设学习探索问题情境，属于综合性题目。主要考查了动能和动能定理、功能关系、牛顿运动定律、力的合成与分解等知识点。

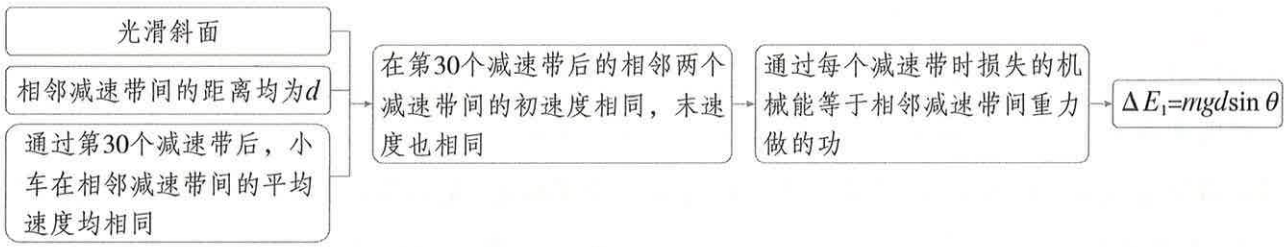
【关键能力】本题着重考查理解能力和推理论证能力。

（1）理解能力

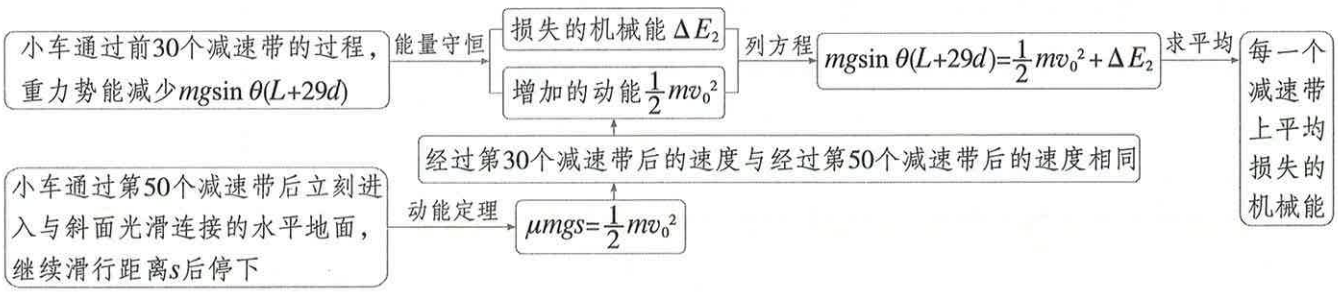
序号	关键表述	物理量及其关系
1	一倾角为 θ 的光滑斜面，无动力小车（可视为质点）	小车在减速带之间运动时做匀加速运动，且机械能守恒
2	小车通过第 30 个减速带后，在相邻减速带间的平均速度均相同	小车在相邻两个减速带间的初速度相同，末速度也相同
3	进入与斜面光滑连接的水平地面，继续滑行距离 s 后停下	摩擦力做负功，动能减少到零

（2）推理论证能力

第（1）问，小车在两减速带间匀加速运动，在通过减速带时损失机械能。



第(2)问



第(3)问，根据小车在前30个减速带上平均每一个损失的机械能大于之后每一个减速带上损失的机械能，列出不等式，即可求得L应满足的关系。

【解题过程】(1)通过第30个减速带后，两相邻减速带间平均速度相同，即经过每两个减速带的距离、初速度、末速度都相同，可推出在每相邻减速带间，重力做的功等于过每个减速带时损失的机械能，则通过第30个减速带后，经过每一个减速带时损失的机械能$\Delta E_1=mgd\sin\theta$ ①

(2)小车通过前30个减速带的过程中，根据能量守恒定律，重力势能的减少量等于动能的增加量与经过减速带时损失的机械能之和，$mg\sin\theta(L+29d)=\frac{1}{2}mv_0^2+\Delta E_2$ ②

小车通过第50个减速带后立刻进入与斜面光滑连接的水平地面，继续滑行距离s后停下，根据动能定理有$\mu mgs=\frac{1}{2}mv_0^2$ ③

通过前30个减速带的过程中在每一个减速带上平均损失的机械能

$\Delta E_2'=\frac{\Delta E_2}{30}=\frac{mg\sin\theta(L+29d)-\mu mgs}{30}$ ④

(3)小车在前30个减速带上平均每一个损失的机械能大于之后每一个减速带上损失的机械能，即$\Delta E_2'>\Delta E_1$ ⑤

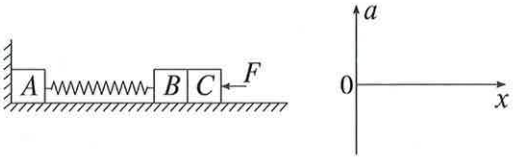
联立以上各式解得$L>\frac{\mu s}{\sin\theta}+d$ ⑥

评分参考：①4分，②③⑥各2分，④⑤各1分。

【答案】(1)$mgd\sin\theta$ (2)$\frac{mg\sin\theta(L+29d)-\mu mgs}{30}$ (3)$L>\frac{\mu s}{\sin\theta}+d$

【失分剖析】①没有分析出第30个减速带后小车在两减速带间的初、末速度相等；②将30段传送带的间隔用成了$30d$；③解不等式出错。

6.(2021山东卷，18)如图所示，三个质量均为m的小物块A、B、C，放置在水平地面上，A紧靠竖直墙壁，一劲度系数为k的轻弹簧将A、B连接，C紧靠B，开始



时弹簧处于原长，A、B、C均静止。现给C施加一水平向左、大小为F的恒力，使B、C一起向左运动，当速度为零时，立即撤去恒力，一段时间后A离开墙壁，最终三物块都停止运动。已知A、B、C与地面间的滑动摩擦力大小均为f，最大静摩擦力等于滑动摩擦力，弹簧始终在弹性限度

内。(弹簧的弹性势能可表示为 $E_p=\frac{1}{2}kx^2$，k 为弹簧的劲度系数，x 为弹簧的形变量)

(1)求 B、C 向左移动的最大距离 x_0 和 B、C 分离时 B 的动能 E_k；

(2)为保证 A 能离开墙壁，求恒力的最小值 F_{min}；

(3)若三物块都停止时 B、C 间的距离为 x_{BC}，从 B、C 分离到 B 停止运动的整个过程，B 克服弹簧弹力做的功为 W，通过推导比较 W 与 fx_{BC} 的大小；

(4)若 $F=5f$，请在所给坐标系中，画出 C 向右运动过程中加速度 a 随位移 x 变化的图像，并在坐标轴上标出开始运动和停止运动时的 a、x 值(用 f、k、m 表示)，不要求推导过程。以撤去 F 时 C 的位置为坐标原点，水平向右为正方向。

【试题立意】本题以弹簧连接的物块在水平面上的运动为素材创设学习探索问题情境，此情境曾在 2022 年江苏卷第 10 题出现过，主要考查了功能关系、能量守恒定律、动能和动能定理、牛顿第二定律等知识点。

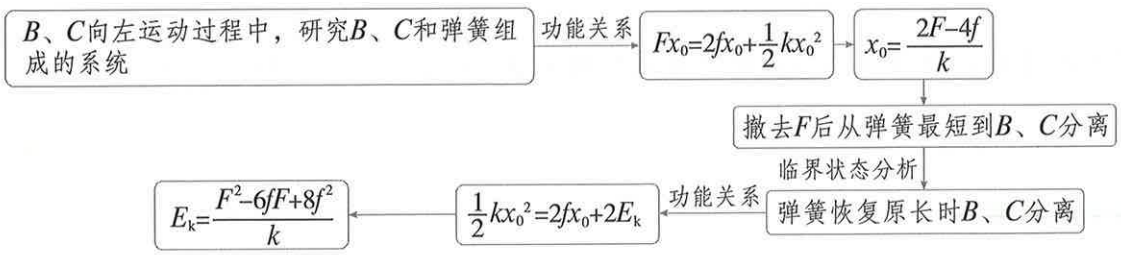
【关键能力】本题着重考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

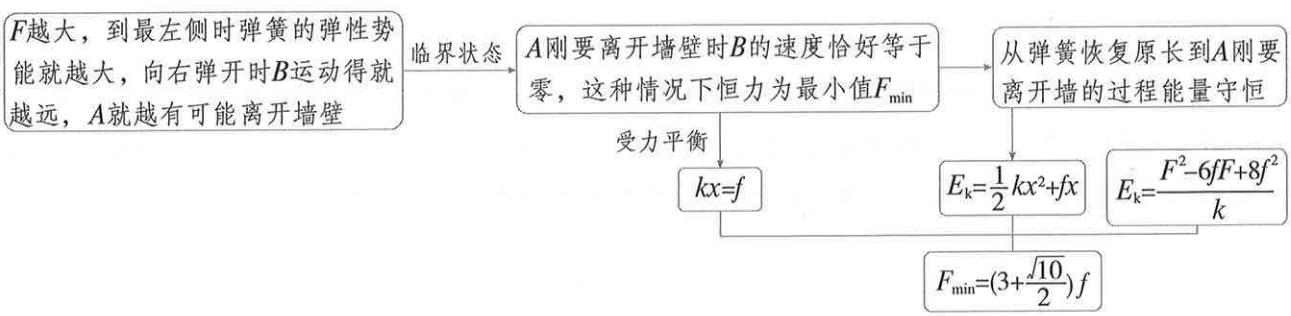
序号	关键表述	物理量及其关系
1	开始时弹簧处于原长	弹性势能为零
2	给 C 施加一水平向左、大小为 F 的恒力，使 B、C 一起向左运动，当速度为零时，立即撤去恒力	恒力做的功等于内能和弹性势能的增加量
3	A、B、C 与地面间的滑动摩擦力大小均为 f，最大静摩擦力等于滑动摩擦力	弹簧拉力达到 f 时，A 会离开墙壁

(2)推理论证能力

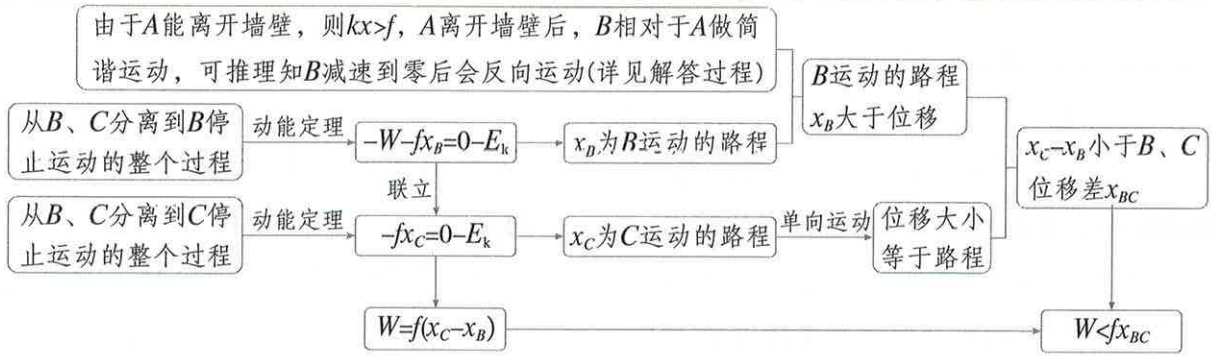
第(1)问，功是能量转化的量度，有力做功，就有相对应的能量发生变化。



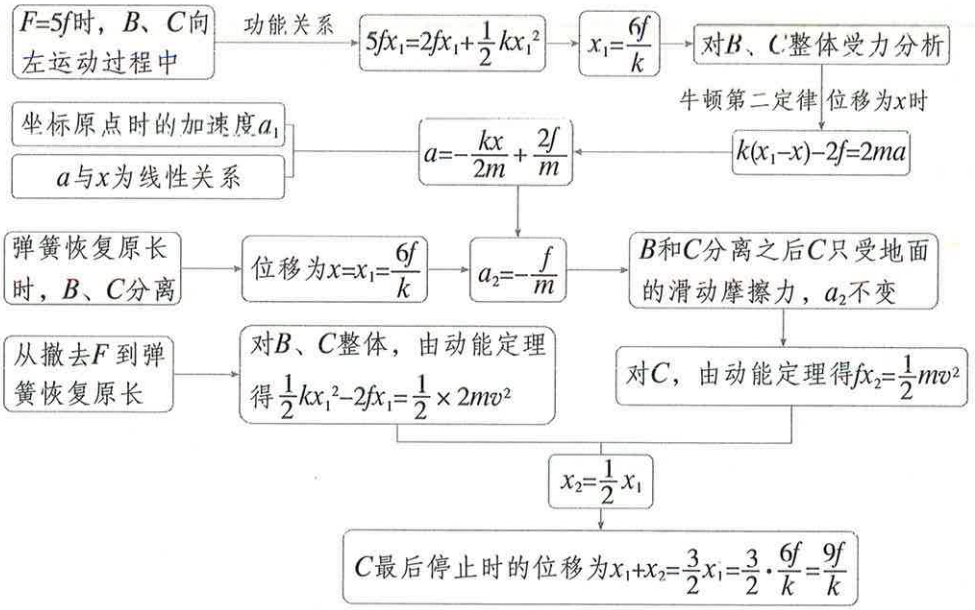
第(2)问，B、C 分离后，弹簧被拉长，弹簧伸长量 x 增大，弹力 kx 增大，当弹簧弹力增大到和 A 的摩擦力相等时，A 刚好要离开墙壁。



第(3)问：



第(4)问：



【解题过程】(1)从开始到 B、C 向左移动到最大距离的过程中，以 B、C 和弹簧为研究对象，由功能关系得 $Fx_0=2fx_0+\frac{1}{2}kx_0^2$ ①

弹簧恢复原长时 B、C 分离，从弹簧最短到 B、C 分离，以 B、C 和弹簧为研究对象，由能量守恒得 $\frac{1}{2}kx_0^2=2fx_0+2E_k$ ②

联立方程解得

$x_0=\frac{2F-4f}{k}$ ③

$E_k=\frac{F^2-6fF+8f^2}{k}$。 ④

(2)当 A 刚要离开墙壁时，设弹簧的伸长量为 x，以 A 为研究对象，由平衡条件得 $kx=f$ ⑤

若 A 刚要离开墙壁时 B 的速度恰好等于零，这种情况下恒力为最小值 F_{min}，从弹簧恢复原长到 A 刚要离开墙壁的过程中，以 B 和弹簧为研究对象，由能量守恒得

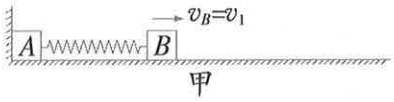
$E_k=\frac{1}{2}kx^2+fx$ ⑥

结合第(1)问结果可知 $F_{min}=(3\pm\frac{\sqrt{10}}{2})f$

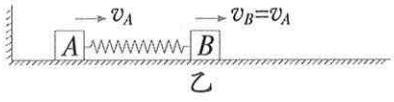
根据题意舍去 $F_{min}=(3-\frac{\sqrt{10}}{2})f$，所以恒力的最小值为 $F_{min}=(3+\frac{\sqrt{10}}{2})f$。　⑦

(3)从 A 离开墙壁到 B 减速到零的过程中，我们对 B 是否会反向的问题进行如下讨论

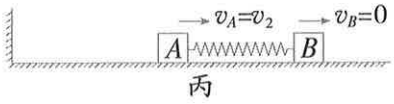
以地面为参考系：



甲



乙

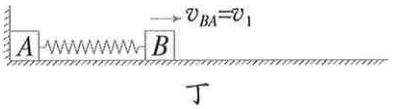


丙

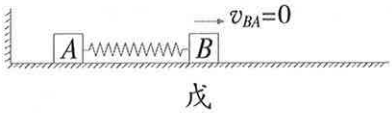
弹簧刚拉动 A 时，设 B 的速度为 $v_B=v_1$，弹簧长度为 L_1，如图甲所示。当 B 的速度减为零时，设 A 的速度为 $v_A=v_2$，弹簧长度为 L_2，如图丙所示。

对 A、B 组成的系统应用动量定理，则有 $-2ft=mv_2-mv_1$，因此 $v_2<v_1$。

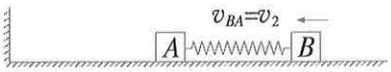
以 A 为参考系：



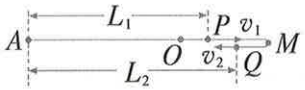
丁



戊



己



庚

在上述过程中，B 对 A 的初速度为 v_1，方向向右，如图丁所示；B 的末速度为 v_2，方向向左，如图己所示；A、B 共速时，B 对 A 的速度为 0，如图戊所示。将 B 的运动简化为如图庚所示的示意图，P 为 B 的初位置，Q 为 B 的末位置。

在上述过程中，A、B 对地的加速度分别为 $a_A=\frac{kx-f}{m}$ 和 $a_B=-\frac{kx+f}{m}$，则 B 相对于 A 的加速度 $a_{BA}=a_B-a_A=-\frac{2kx}{m}$，其中 x 为弹簧相对于原长的伸长量，图庚中 O 点为弹簧处于原长状态时 B 所在的位置，则 x 为 B 相对于 O 点的位移，可见，B 的加速度特征满足简谐运动的条件，也就是说，在上述过程中，B 相对于 A 做简谐运动，平衡位置在 P 点左侧的 O 点。

由前面的分析可知 $v_2<v_1$，根据简谐运动的规律，B 到达 Q 点时尚未回到 P 点，即弹簧的长度 $L_2>L_1$，根据胡克定律，此时弹簧的弹力大于刚拉动 A 时的弹力，在地面参考系中，此时 B 的速度为

零，因此一定会被弹簧拉动，向左运动。B 做往复运动，所以 B 运动的位移的大小小于路程。

从 B、C 分离到 B 停止运动，设 B 运动的路程为 x_B，C 运动的路程为 x_C，以 B 为研究对象，由动能定理得 $-W-fx_B=0-E_k$ ⑧

以 C 为研究对象，由动能定理得 $-fx_C=0-E_k$ ⑨

由 B、C 的运动关系得 $x_B>x_C-x_{BC}$ ⑩

联立可知 $W<fx_{BC}$。 ⑪

(4)B、C 向左运动过程中，由功能关系得 $5fx_1=2fx_1+\frac{1}{2}kx_1^2$

解得撤去恒力瞬间弹簧弹力为 $kx_1=6f$

则在坐标原点时 C 的加速度为 $a_1=\frac{kx_1-2f}{2m}=\frac{2f}{m}$

之后 C 开始向右运动(B、C 系统未脱离弹簧)，位移为 x 时，由牛顿第二定律得

$k(x_1-x)-2f=2ma$

解得加速度为 $a=-\frac{kx}{2m}+\frac{2f}{m}$

可知加速度随位移 x 的变化为线性关系，随着弹簧逐渐恢复原长，a 减小，弹簧恢复原长时，B 和 C 分离，之后 C 只受地面的滑动摩擦力，加速度为 $a_2=-\frac{f}{m}$，方向水平向左

从撤去恒力之后到弹簧恢复原长，以 B、C 为研究对象，由动能定理得

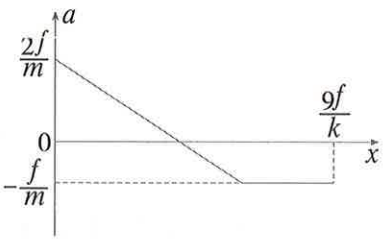
$\frac{1}{2}kx_1^2-2fx_1=\frac{1}{2}\times 2mv^2$

脱离弹簧的瞬间 C 速度为 v，之后 C 受到滑动摩擦力减速至 0

由能量守恒得 $fx_2=\frac{1}{2}mv^2$

解得脱离弹簧后，C 运动的距离为 $x_2=\frac{1}{2}x_1$

则 C 最后停止时的位移为 $x_1+x_2=\frac{3}{2}x_1=\frac{3}{2}\cdot\frac{6f}{k}=\frac{9f}{k}$

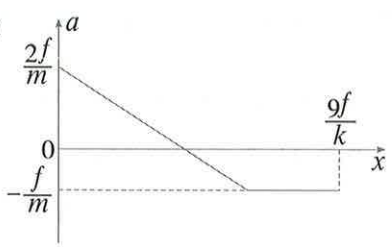


所以 C 向右运动的图像如图所示。

评分参考：①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑪各 1 分，⑩2 分，图像 4 分。

【答案】(1)$\frac{2F-4f}{k}$　$\frac{F^2-6fF+8f^2}{k}$　(2)$\left(3+\frac{\sqrt{10}}{2}\right)f$　(3)$W<fx_{BC}$

(4)



【失分剖析】①B 和 C 的运动过程较复杂，不能够准确分析每个小物块的运动过程，不能合理利用功能关系或者能量守恒解决问题；②在第(2)问中不能找到 A 能离开墙壁，恒力的最小值所对应的临界条件；③在第(3)问中不能根据 B 和 C 的运动分析得到两者路程之间的关系；④无法根据动能定理得到分离前后 C 的运动情况，无法将文字内容和数据转化为图像。

命题规律

1. 多维度细目表

高考试题（年份/卷别/题号）			2023								2022				2021		
			全国新课标,15	全国甲,14	全国乙,21	山东,4	山东,8	湖南,8	浙江1月,18	浙江6月,18	全国乙,16	山东,16	河北,9	浙江6月,13	全国甲,24	全国乙,24	山东,18
考查内容	必备知识	功、功率	√			√	√	√	√			√	√	√		√	
		动能和动能定理	√	√	√		√	√	√	√	√	√		√	√	√	√
		重力做功与重力势能							√								
		功能关系、机械能守恒定律及其应用		√						√	√		√		√		√
	关键能力	理解能力		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		推理论证能力	√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		模型建构能力															
		实验探究能力															
		创新能力															
	学科素养	物理观念	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学思维	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学探究															
		科学态度与责任															
考查要求		基础性	√	√	√	√	√		√	√							
		综合性						√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		应用性															
		创新性															
情境载体		生活实践问题情境	√			√						√				√	
		学习探索问题情境		√	√		√	√	√	√	√		√	√	√		√

2. 命题趋势

考查项目	考查特点
命题类型	多以选择题形式出现，计算题以中等难度题目为主
必备知识	功、功率、动能定理、功能关系是考查的重点，常结合其他动力学的重点知识，如牛顿运动定律、圆周运动、平抛运动、动量定理和动量守恒定律等进行综合考查
关键能力	绝大多数考题考查的都是理解能力和推理论证能力
学科素养	重点考查物理观念和科学思维
考查要求	注重考查基础性，综合性的考题也经常出现
考查载体	命题的选材背景主要以高中物理常见的理想化模型为主，也有少量题目联系生活生产，试题中也常出现弹簧、各类轨道、传送带等装置，要求考生能够用物理知识解决实际应用问题

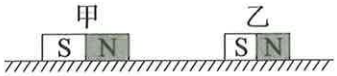
在命题上重视结合图像或者结合电学情境。大部分题目以单物体情境为主，但随着动量和能量结合的题目的出现，涉及多物体的情境也会是考查的重点。

3. 备考策略

新高考核心价值的考查主要通过必备知识、关键能力和学科素养的考查来体现。具体到这部分内容，我们需要在复习备考中做到夯实基础、强化能力、提升素养。夯实基础就是重视基本观念的复习，夯实功、功率、动能、重力势能、弹性势能、机械能等基本概念，以及动能定理、机械能守恒定律、功能关系等基本规律。强化能力就是通过对典型问题的分析，强化运动分析、受力分析以及能量转化分析的能力。提升素养需要重视在复习中渗透一些重要的思想方法，包括重要的数学方法，通过函数法、图像法、比较法、极限法来分析解决问题。

专题三　动量　动量定理　动量守恒定律

1.（多选）(2023 全国新课标卷，19)使甲、乙两条形磁铁隔开一段距离，静止于水平桌面上，甲的 N 极正对着乙的 S 极，甲的质量大于乙的质量，两者与桌面之间的动摩擦因数相等。现同时释放甲和乙，在它们相互接近过程中的任一时刻(　　)

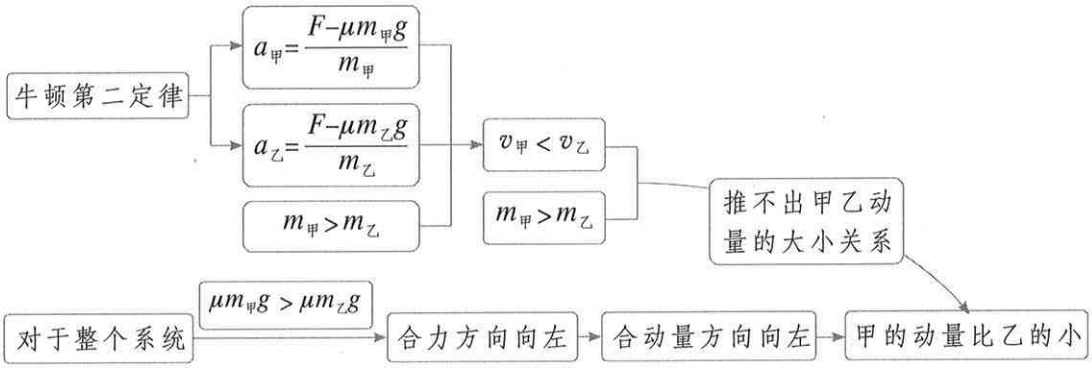


A. 甲的速度大小比乙的大　　B. 甲的动量大小比乙的小

C. 甲的动量大小与乙的相等　　D. 甲和乙的动量之和不为零

【试题立意】本题以甲、乙两条形磁铁为素材创设学习探索问题情境，主要考查了动量定理及牛顿第二定律等知识点。

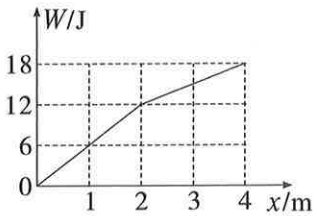
【关键能力】本题着重考查推理论证能力。



【答案】BD

【失分剖析】系统的动量定理运用不够熟练。

2.（多选）(2023 全国新课标卷，20)一质量为 1 kg 的物体在水平拉力的作用下，由静止开始在水平地面上沿 x 轴运动，出发点为 x 轴零点，拉力做的功 W 与物体坐标 x 的关系如图所示。物体与水平地面间的动摩擦因数为 0.4，重力加速度大小取 10 m/s^2。下列说法正确的是(　　)



A. 在 $x=1$ m 时，拉力的功率为 6 W

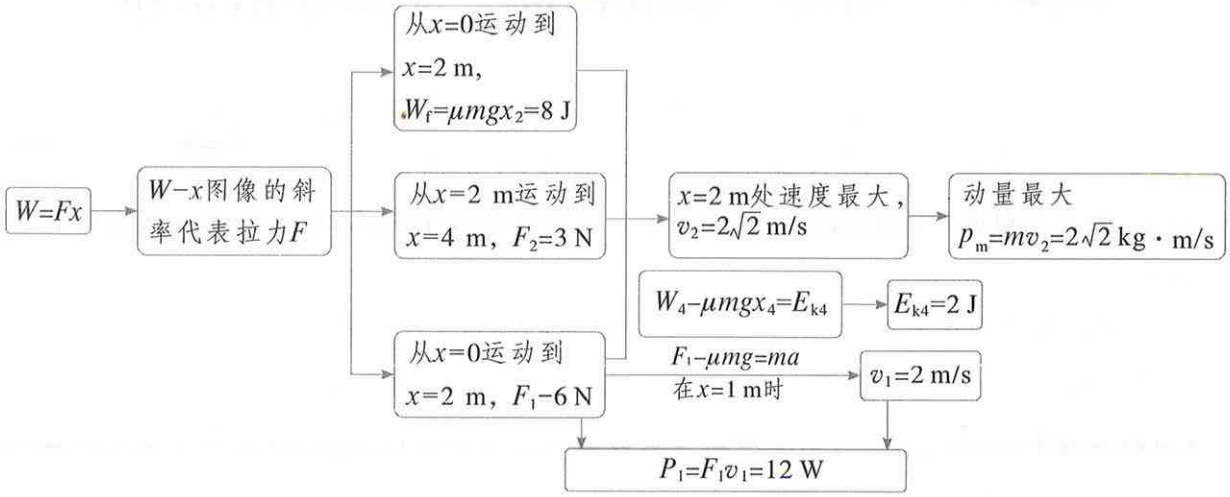
B. 在 $x=4$ m 时，物体的动能为 2 J

C. 从 $x=0$ 运动到 $x=2$ m，物体克服摩擦力做的功为 8 J

D. 从 $x=0$ 运动到 $x=4$ m 的过程中，物体的动量最大为 2 kg·m/s

【试题立意】本题以 $W-x$ 图像为素材创设学习探索问题情境，与之类似的高考题有 2022 年重庆卷第 10 题，主要考查了牛顿第二定律、动能定理及动量概念等知识点。

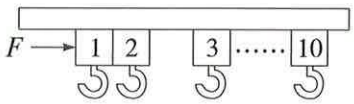
【关键能力】本题着重考查推理论证能力。



【答案】BC

【失分剖析】对不同图像斜率的物理含义不理解，不会找临界值与极值。

3.（多选）(2023 广东卷，10)某同学受电动窗帘的启发，设计了如图所示的简化模型。多个质量均为 1 kg 的滑块可在水平滑轨上滑动，忽略阻力。开窗帘过程中，电机对滑块 1 施加一个水平向右的恒力 F，推动滑块 1 以 0.40 m/s 的速度与静止的滑块 2 碰撞，碰撞时间为 0.04 s，碰撞结束后瞬间两滑块的共同速度为 0.22 m/s。关于两滑块的碰撞过程，下列说法正确的有(　　)



A. 该过程动量守恒

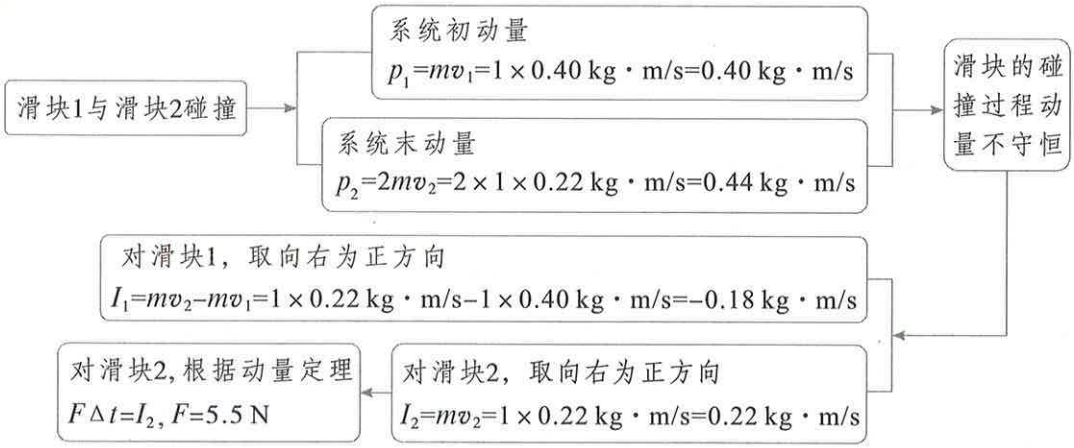
B. 滑块 1 受到合外力的冲量大小为 0.18 N·s

C. 滑块 2 受到合外力的冲量大小为 0.40 N·s

D. 滑块 2 受到滑块 1 的平均作用力大小为 5.5 N

【试题立意】本题以电动窗帘为素材创设生活实践问题情境，人教版选择性必修第一册第 16 页第 4 题有类似素材，主要考查了动量定理及动量守恒等知识点。

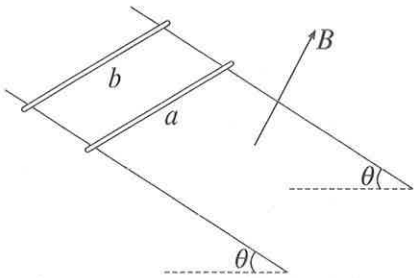
【关键能力】本题着重考查推理论证能力。



【答案】BD

【失分剖析】平常动量守恒训练的比较多导致对动量定理的忽略，从而动量定理运用不够灵活。

4.(2023 湖南卷,14)如图所示,两根足够长的光滑金属直导轨平行放置,导轨间距为 L,两导轨及其所构成的平面均与水平面成 θ 角,整个装置处于垂直于导轨平面斜向上的匀强磁场中,磁感应强度大小为 B。现将质量均为 m 的金属棒 a、b 垂直导轨放置,每根金属棒接入导轨之间的电阻均为 R。运动过程中金属棒与导轨始终垂直且接触良好,金属棒始终未滑出导轨,导轨电阻忽略不计,重力加速度为 g。



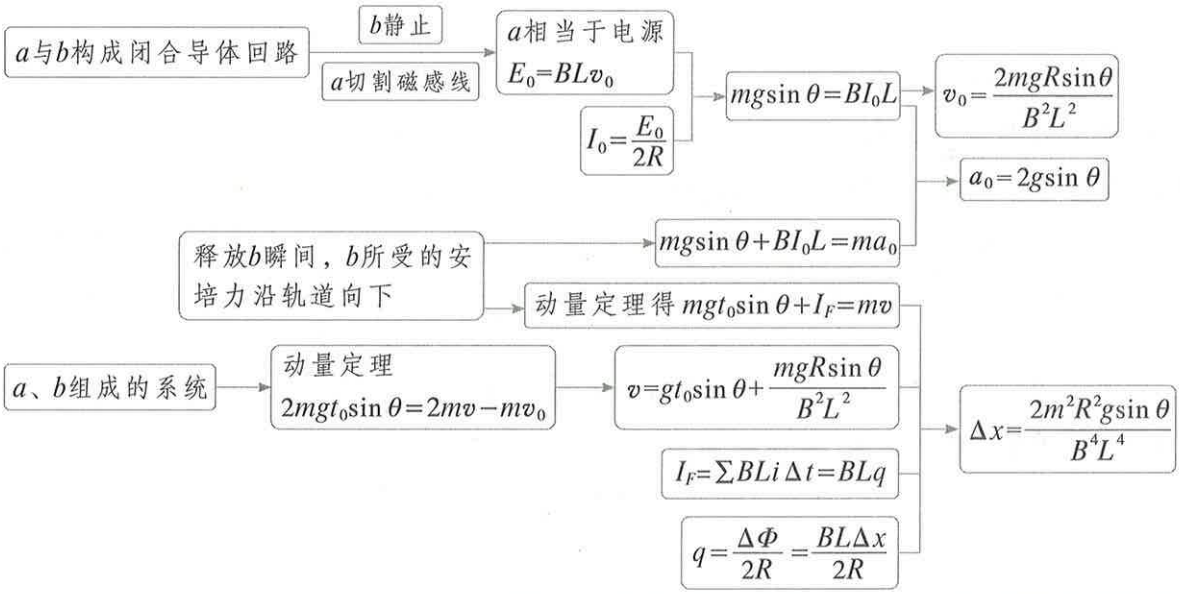
(1)先保持棒 b 静止,将棒 a 由静止释放,求棒 a 匀速运动时的速度大小 v_0;

(2)在(1)问中,当棒 a 匀速运动时,再将棒 b 由静止释放,求释放瞬间棒 b 的加速度大小 a_0;

(3)在(2)问中,从棒 b 释放瞬间开始计时,经过时间 t_0,两棒恰好达到相同的速度 v,求速度 v 的大小,以及时间 t_0 内棒 a 相对于棒 b 运动的距离 Δx。

【试题立意】本题以两金属棒在两根足够长的平行光滑金属轨道上运动为素材创设学习探索问题情境,与之类似的高考题有 2021 年天津卷第 11 题,主要考查了动量定理、动量守恒定律等知识点。

【关键能力】本题着重考查推理论证能力。



【解题过程】(1)a 与 b 构成的闭合导体回路中,a 切割磁感线,a 相当于电源

a 匀速运动时,对 a 有 $E_0=BLv_0$　　①

$I_0=\dfrac{E_0}{2R}$　　②

$mg\sin\theta=BI_0L$　　③

解得 $v_0=\dfrac{2mgR\sin\theta}{B^2L^2}$。　　④

(2)释放 b 瞬间,b 所受的安培力沿轨道向下,且大小为 $BI_0L=mg\sin\theta$　　⑤

对 b 受力分析得 $mg\sin\theta+BI_0L=ma_0$　　⑥

解得 $a_0=2g\sin\theta$。 ⑦

(3)b 释放之后，对 a、b 组成的系统，由动量定理得

$2mgt_0\sin\theta=2mv-mv_0$ ⑧

解得 $v=gt_0\sin\theta+\dfrac{mgR\sin\theta}{B^2L^2}$ ⑨

对 b 由动量定理得 $mgt_0\sin\theta+I_F=mv$ ⑩

$I_F=\sum BLi\Delta t=BLq$ ⑪

$q=\dfrac{\Delta\Phi}{2R}=\dfrac{BL\Delta x}{2R}$ ⑫

联立解得 $\Delta x=\dfrac{2m^2R^2g\sin\theta}{B^4L^4}$。 ⑬

评分参考：⑪2 分，其他各 1 分。

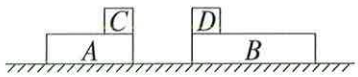
【答案】(1)$\dfrac{2mgR\sin\theta}{B^2L^2}$　(2)$2g\sin\theta$　(3)$gt_0\sin\theta+\dfrac{mgR\sin\theta}{B^2L^2}$　$\dfrac{2m^2R^2g\sin\theta}{B^4L^4}$

【失分剖析】考生对微元法的运用不够灵活。

方法点拨

数学上掌握的各种公式都可以迁移到物理上来灵活运用。

5.(2022 河北卷，13)如图所示，光滑水平面上有两个等高的滑板 A 和 B，质量分别为 1 kg 和 2 kg，A 右端和 B 左端分别放置物块 C、D，物块质量均为 1 kg，A 和 C 以相同速度 $v_0=10$ m/s 向右运动，B 和 D 以相同速度 kv_0 向左运动，在某时刻发生碰撞，作用时间极短，碰撞后 C 与 D 粘在一起形成一个新物块，A 与 B 粘在一起形成一个新滑板，物块与滑板之间的动摩擦因数均为 $\mu=0.1$。重力加速度大小 g 取 10 m/s^2。



(1)若 $0<k<0.5$，求碰撞后瞬间新物块和新滑板各自速度的大小和方向。

(2)若 $k=0.5$，从碰撞后到新物块与新滑板相对静止时，求两者相对位移的大小。

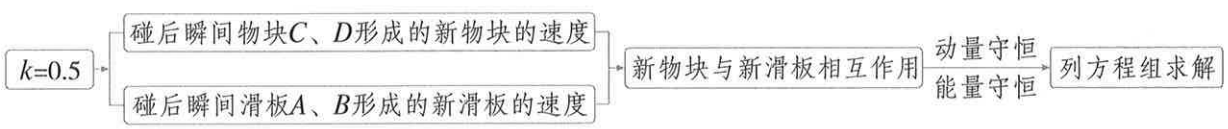
【试题立意】本题以滑板、物块碰撞为素材创设学习探索问题情境，与之类似的高考题有 2021 年山东卷第 18 题，主要考查了弹性碰撞和非弹性碰撞、动量守恒定律、动能定理、功能关系等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、推理论证能力。

(1)理解能力

关键表述	物理量及其关系
光滑水平面	A 与 B、C 与 D 均发生完全非弹性碰撞，碰撞过程动量守恒
在某时刻发生碰撞，作用时间极短	
碰撞后 C 与 D 粘在一起形成一个新物块，A 与 B 粘在一起形成一个新滑板	

(2)推理论证能力



【解题过程】(1)物块 C、D 碰撞过程中满足动量守恒,设碰撞后物块 C、D 形成的新物块的速度为 $v_{物}$,C、D 的质量均为 m,以向右方向为正方向,根据动量守恒定律有

$$mv_0-m\cdot kv_0=(m+m)v_{物} \quad ①$$

解得 $v_{物}=\frac{1-k}{2}v_0=5(1-k)\ \text{m/s}>0$ ②

则碰撞后物块 C、D 形成的新物块的速度大小为 $5(1-k)$ m/s,方向向右

滑板 A、B 碰撞过程中动量守恒,设碰撞后滑板 A、B 形成的新滑板的速度为 $v_{滑}$,滑板 A 的质量为 m_1,则滑板 B 的质量为 $2m_1$,根据动量守恒定律有

$$m_1v_0-2m_1\cdot kv_0=(m_1+2m_1)v_{滑} \quad ③$$

解得 $v_{滑}=\frac{1-2k}{3}v_0=\frac{10-20k}{3}\ \text{m/s}>0$ ④

则新滑板速度方向也向右。

(2)若 $k=0.5$,可知碰后瞬间物块 C、D 形成的新物块的速度为

$$v_{物}'=5(1-k)\ \text{m/s}=5\times(1-0.5)\ \text{m/s}=2.5\ \text{m/s} \quad ⑤$$

碰后瞬间滑板 A、B 形成的新滑板的速度为

$$v_{滑}'=\frac{10-20k}{3}\ \text{m/s}=0 \quad ⑥$$

则碰后新物块相对于新滑板向右运动,新物块向右做匀减速运动,新滑板向右做匀加速运动,设新物块的质量为 $m'=2$ kg,新滑板的质量为 $m_1'=3$ kg,相对静止时的共同速度为 $v_{共}$,根据动量守恒定律有 $m'v_{物}'=(m'+m_1')v_{共}$ ⑦

解得 $v_{共}=1$ m/s ⑧

根据能量守恒定律有 $\mu m'gx_{相}=\frac{1}{2}m'v_{物}'^2-\frac{1}{2}(m'+m_1')v_{共}^2$ ⑨

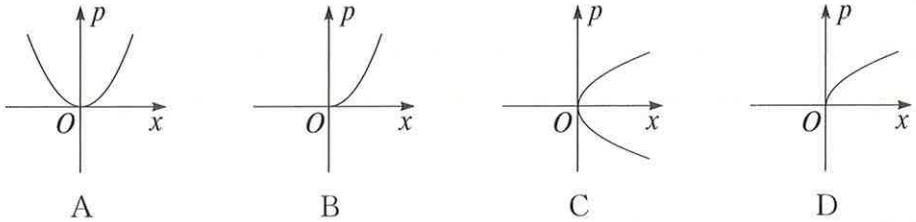
解得 $x_{相}=1.875$ m ⑩

评分参考:⑨2 分,其他各 1 分。

【答案】(1)$5(1-k)$ m/s　$\frac{10-20k}{3}$ m/s　方向均向右　(2)1.875 m

【失分剖析】①碰撞过程没有理清,碰撞的系统选择错误,没有分别对 A、B 和 C、D 应用动量守恒定律解题;②第(2)问使用牛顿第二定律和运动学公式解题,过程麻烦,计算相对位移出错。

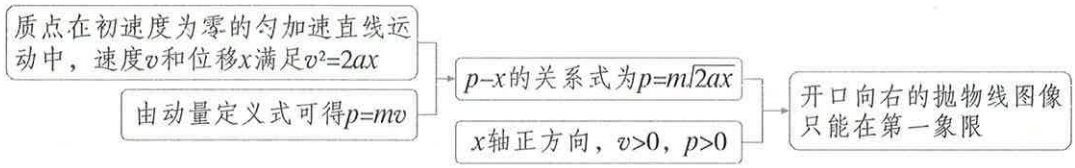
6.(2021 湖南卷,2)物体的运动状态可用位置 x 和动量 p 描述,称为相,对应 $p-x$ 图像中的一个点。物体运动状态的变化可用 $p-x$ 图像中的一条曲线来描述,称为相轨迹。假如一质点沿 x 轴正方向做初速度为零的匀加速直线运动,则对应的相轨迹可能是(　　)



A　B　C　D

【试题立意】本题以 p x 图像为素材创设学习探索问题情境，与之类似的高考题如 2021 年全国乙卷第 20 题，主要考查了匀变速直线运动及其公式、动量等知识点。

【关键能力】本题着重考查推理论证能力。



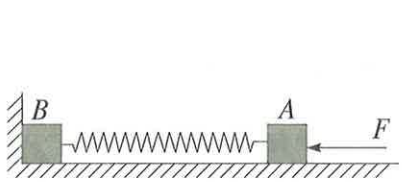
【答案】D

【失分剖析】①不能从匀变速直线运动的 $v-x$ 关系和 $p-v$ 关系入手分析得 $p-x$ 关系；②在得到 $p-x$ 关系式后，不能根据实际运动特点确定 p 和 x 都是正值，图像只能在第一象限，这也是考生容易错选 C 的原因。

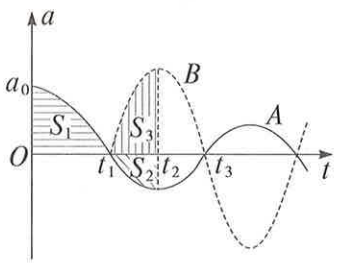
方法点拨

通过图像的方式让大家对动量公式进行变形从而更加深入地理解，其实通过公式变形加深对动量理解的方式有很多，比如在讨论光的波粒二象性时，也需要用不同的公式来表达动量：$p=\frac{h\nu}{c}=\frac{h}{\lambda}$。2023 年高考对这一公式的考查也很多，比如 2023 年 1 月浙江卷的第 15 题，2023 年 6 月浙江卷的第 15 题，2023 年江苏卷的第 14 题等，结合不同方法加深动量公式的理解是一个新的考向。

7.（多选）(2021 湖南卷，8) 如图甲所示，质量分别为 m_A、m_B 的 A、B 两物体用轻弹簧连接构成一个系统，外力 F 作用在 A 上，系统静止在光滑水平面上（B 靠墙面），此时弹簧形变量为 x。撤去外力并开始计时，A、B 两物体运动的 $a-t$ 图像如图乙所示，S_1 表示 0 到 t_1 时间内 A 的 $a-t$ 图线与坐标轴所围面积大小，S_2、S_3 分别表示 t_1 到 t_2 时间内 A、B 的 $a-t$ 图线与坐标轴所围面积大小。A 在 t_1 时刻的速度为 v_0。下列说法正确的是（　　）



甲



乙

A. 0 到 t_1 时间内，墙对 B 的冲量等于 m_Av_0　　B. $m_A>m_B$

C. B 运动后，弹簧的最大形变量等于 x　　D. $S_1-S_2=S_3$

【试题立意】本题以光滑水平面上轻弹簧连接两物体的运动为素材创设学习探索问题情境，与之类似的高考题如 2021 年山东卷第 18 题，主要考查运动图像、冲量、动量定理、牛顿运动定律和机械能守恒定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

①对题意的理解

关键表述	物理量及其关系
系统静止在光滑水平面上(B 靠墙面),此时弹簧形变量为 x	系统的机械能守恒 B 离开墙壁后系统动量守恒

②对图像的理解

序号	图像信息	物理量及其关系
1	t_1 时刻开始 B 有加速度	t_1 时刻 B 离开墙壁,t_1 时刻以后的运动过程中两物体和弹簧组成的系统动量守恒
2	$a-t$ 图线与坐标轴所围面积大小 S_1、S_2、S_3	面积表示速度的变化量 t_1 时刻 A 物体的速度 $v_0=S_1$ t_2 时刻 A 物体的速度 $v_A=v_0-S_2$,B 物体的速度 $v_B=S_3$
3	t_2 时刻 A、B 的加速度均达到最大,B 的加速度大于 A 的加速度	此时弹簧弹力达到最大,弹簧拉伸到最长,A、B 共速

(2)推理论证能力

序号	项目	内容
1	A 项	墙面对 B 的冲量和弹簧对 B 的冲量大小相等、方向相反 弹簧对 B 的冲量和弹簧对 A 的冲量的关系也是大小相等、方向相反 弹簧对 A 的冲量 I 等于 A 的动量变化量,即 $I=m_Av_0$
2	B、D 项	t_2 时刻 A、B 共速,$v_A=v_B$,$v_A=v_0-S_2=S_1-S_2$,$v_B=S_3$,所以 $S_1-S_2=S_3$ t_2 时刻 A、B 受到的弹力大小相同,但 B 的加速度大于 A 的加速度 根据 $F=ma$,可得 $m_A>m_B$
3	C 项	A、B 共速时弹簧有最大形变量,最开始的弹簧的弹性势能 E_p 转化为共速时 A、B 的动能和弹簧的弹性势能 E_p',所以 E_p' 小于 E_p,弹簧的形变量要小于 x

【答案】ABD

【失分剖析】①对于 $a-t$ 图像比较陌生,无法通过 $a-t$ 图像理清两物体的运动情况,错误应用动量定理和机械能守恒定律;②不知道 $a-t$ 图像中图线与坐标轴所围成的图形面积的含义,得不到各部分面积之间的关系。

方法点拨

有时候可以把图像的坐标乘以或除以一个常数变成一个新的物理量,这样就可以多维度地去理解、运用图像,比如本题,纵坐标乘以 m 就变成物体受的合力了,具体的也就变成弹簧弹力随时间变化了。角度多了,理解题的思路就广了。

8.(多选)(2020 全国Ⅱ卷,21)水平冰面上有一固定的竖直挡板。一滑冰运动员面对挡板静止在冰面上,他把一质量为 4.0 kg 的静止物块以大小为 5.0 m/s 的速度沿与挡板垂直的方向推向挡板,运动员获得退行速度;物块与挡板弹性碰撞,速度反向,追上运动员时,运动员又把物块推向挡板,使其再一次以大小为 5.0 m/s 的速度与挡板弹性碰撞。总共经过 8 次这样推物块后,运动员退行速度的大小大于 5.0 m/s,反弹的物块不能再追上运动员。不计冰面的摩擦力,该运动员的质量可能为(　　)

A. 48 kg　　B. 53 kg　　C. 58 kg　　D. 63 kg

【试题立意】本题以水平冰面上运动员推物块为素材创设生活实践问题情境,与之类似的高考题有 2020 年山东卷第 18 题,主要考查了弹性碰撞和非弹性碰撞、动量定理、动量守恒定律等知识点。

【关键能力】本题考查理解能力、推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	不计冰面的摩擦力	运动员与物块作用过程动量守恒
2	运动员又把物块推向挡板,使其再一次以大小为 5.0 m/s 的速度与挡板弹性碰撞	物块与挡板碰撞后反弹的速度大小为 5.0 m/s
3	经过 8 次这样推物块后,运动员退行速度的大小大于 5.0 m/s	$v_8>5.0$ m/s 第 8 次推物块之前,物块能追上运动员,运动员的速度需满足 $v_7<5.0$ m/s

(2)推理论证能力:主要应用数学中的归纳推理

方法一:应用动量守恒定律

由于运动员推物块过程中不计冰面的摩擦力,可知系统满足动量守恒定律的条件,设运动员的质量为 m_0,物块的质量为 m,每次推物块过程中,对运动员和物块这个系统应用动量守恒定律,作用前后物块的速度均为 v_0,运动员的速度为 v_n,以运动员的运动方向为正方向

第一次 $0=m_0v_1-mv_0$

第二次 $m_0v_1+mv_0=m_0v_2-mv_0$

……

第 n 次 $m_0v_{n-1}+mv_0=m_0v_n-mv_0$

解得 $v_n=\dfrac{(2n-1)mv_0}{m_0}$

方法二:应用动量定理

物块与运动员作用过程中,对物块应用动量定理,以第二次作用前物块运动的方向为正方向

第一次 $I_1=-mv_0-0$

第二次 $I_2=-mv_0-mv_0=-2mv_0$

……

第 n 次 $I_n=-mv_0-mv_0=-2mv_0$

n 次作用后，运动员对物块的总冲量为

$I=I_1+I_2+I_3+\cdots+I_n=-(2n-1)mv_0$

物块对运动员的冲量与运动员对物块的冲量等大反向

所以物块对运动员的冲量为 $I'=(2n-1)mv_0$

对运动员运用动量定理 $I'=m_0v_n$，解得 $v_n=\dfrac{(2n-1)mv_0}{m_0}$

根据题意，运动员的速度需满足 $v_7<5.0$ m/s 和 $v_8>5.0$ m/s

$v_7<5.0$ m/s 可得 $m_0>52$ kg，$v_8>5.0$ m/s 可得 $m_0<60$ kg

所以运动员的质量范围为 52 kg$<m_0<$60 kg。

【答案】BC

【失分剖析】考生只考虑到了 $v_8>5.0$ m/s，而没有分析出 $v_7<5.0$ m/s 的情况。

方法点拨

第 7 题跟第 8 题都考查了学生对于数学公式在物理上的灵活运用能力，这需要学生对各种数学公式都得掌握熟练，能随时迁移运用到物理上。另外，研究对象不一样时选取的定理或公式也会有所区别，一定要对应好。

9.（2016 北京卷，24）(1)动量定理可以表示为 $\Delta p=F\Delta t$，其中动量 p 和力 F 都是矢量。在运用动量定理处理二维问题时，可以在相互垂直的 x、y 两个方向上分别研究。例如，质量为 m 的小球斜射到木板上，入射的角度是 θ，碰撞后弹出的角度也是 θ，碰撞前后的速度大小都是 v，如图 1 所示。碰撞过程中忽略小球所受重力。

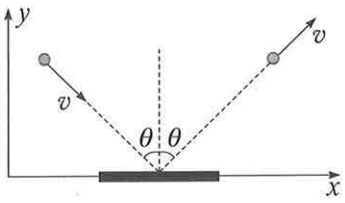


图 1

a. 分别求出碰撞前后 x、y 方向小球的动量变化 Δp_x、Δp_y；

b. 分析说明小球对木板的作用力的方向。

(2)激光束可以看作是粒子流，其中的粒子以相同的动量沿光传播方向运动。激光照射到物体上，在发生反射、折射和吸收现象的同时，也会对物体产生作用。光镊效应就是一个实例，激光束可以像镊子一样抓住细胞等微小颗粒。

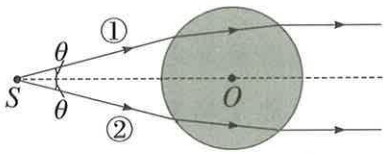


图 2

一束激光经 S 点后被分成若干细光束，若不考虑光的反射和吸收，其中光束①和②穿过介质小球的光路如图 2 所示。图中 O 点是介质小球的球心，入射时光束①和②与 SO 的夹角均为 θ，出射时光束均与 SO 平行。请在下面两种情况下，分析说明两光束因折射对小球产生的合力的方向。

a. 光束①和②强度相同；

b. 光束①比②的强度大。

【试题立意】本题以光镊效应为素材创设学习探索问题情境，主要考查了动量定理的矢量性。分方向动量定理的运用是一个新的考向。

【关键能力】本题考查理解能力。

序号	关键表述	物理量及其关系
1	运用动量定理处理二维问题	小球斜射到木板上，碰撞前后小球水平与竖直方向上动量的变化
2	光束因折射对小球产生的合力的方向	类比实物例子结合竖直方向与水平方向的数据特点分方向列动量定理

【解题过程】(1)a. x 方向动量变化为 $\Delta p_x = mv\sin\theta - mv\sin\theta = 0$ ①

y 方向动量变化为 $\Delta p_y = mv\cos\theta - (-mv\cos\theta) = 2mv\cos\theta$，方向沿 y 轴正方向。 ②

b. 根据动量定理可知，木板对小球作用力的方向沿 y 轴正方向；根据牛顿第三定律可知，小球对木板作用力的方向沿 y 轴负方向。 ③

(2)a. 仅考虑光的折射，设 Δt 时间内每束光穿过小球的粒子数为 n，每个粒子动量的大小为 p。

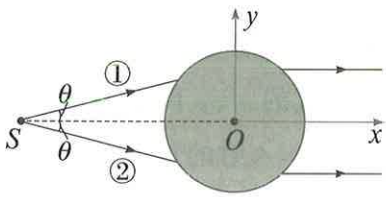
这些粒子进入小球前的总动量为 $p_1 = 2np\cos\theta$ ④

从小球出射时的总动量为 $p_2 = 2np$ ⑤

p_1、p_2 的方向均沿 SO 向右

根据动量定理 $F\Delta t = p_2 - p_1 = 2np(1-\cos\theta) > 0$，可知，小球对这些粒子的作用力 F 的方向沿 SO 向右；根据牛顿第三定律，两光束对小球的合力的方向沿 SO 向左。 ⑥

b. 建立如图所示的 Oxy 直角坐标系。



x 方向：

根据(2)a 同理可知，两光束对小球的作用力沿 x 轴负方向。 ⑦

y 方向：

设 Δt 时间内，光束①穿过小球的粒子数为 n_1，光束②穿过小球的粒子数为 n_2，$n_1 > n_2$。

这些粒子进入小球前的总动量为 $p_{1y} = (n_1 - n_2)p\sin\theta$ ⑧

从小球出射时的总动量为 $p_{2y} = 0$ ⑨

根据动量定理 $F_y\Delta t = p_{2y} - p_{1y} = -(n_1 - n_2)p\sin\theta$ 可知，小球对这些粒子的作用力 F_y 的方向沿 y 轴负方向，根据牛顿第三定律，两光束对小球的作用力沿 y 轴正方向。 ⑩

所以，两光束对小球的合力的方向指向左上方。

评分参考：①～⑩均 2 分。

答案 (1)a. $\Delta p_x = 0$　$\Delta p_y = 2mv\cos\theta$，方向沿 y 轴正方向　b. 沿 y 轴负方向

(2)a. 两光束对小球的合力的方向沿 SO 向左　b. 两光束对小球的合力的方向指向左上方

【失分剖析】考生不能把新情境与经典情境类比，从而理解不了题意影响做题。

方法点拨

本题运用了动量的合成与分解，这需要类比运动的合成与分解。因此要注重类比思维的培养，只有这样才能在高考时把平常的积累灵活运用于考题中。

命题规律

1. 多维度细目表

高考试题（年份/卷别/题号）			2023				2022	2021		2020	2016
			全国新课标，19	全国新课标，20	广东，10	湖南，14	河北，13	湖南，2	湖南，8	全国Ⅱ，21	北京，24
考查内容	必备知识	动量、动量定理、动量守恒定律及其应用	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		弹性碰撞和非弹性碰撞					√			√	
	关键能力	理解能力					√		√	√	√
		推理论证能力	√	√	√	√	√	√	√	√	
		模型建构能力									
		实验探究能力									
		创新能力									
	学科素养	物理观念	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学思维	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学探究									
		科学态度与责任									
考查要求		基础性	√	√	√						
		综合性				√	√	√	√		
		应用性				√				√	
		创新性			√						√
情境载体		生活实践问题情境			√					√	
		学习探索问题情境	√	√		√	√	√	√		√

2. 命题趋势

本节内容一种是对动量知识的单一考查，主要以选择题的形式出现，绝大多数考题考查的都是理解能力、推理论证能力，重点考查物理观念和科学思维。往往借助生活中的实际情境为素材创设问题情境，这些情境主要有物体间的碰撞、火箭反冲、流体问题等，难度也相对较小，近几年也经常结合光电效应等考查动量概念。另一种是以综合题的形式考查，这类题需要结合牛顿运动定律、功和能等物理观念解决问题，往往以计算题的形式出现，考查考生的综合应用能力，难度比较大，我们将在下一讲中进行展示和分析。

3. 备考策略

(1)重点理解动量定理和动量守恒定律的内涵。

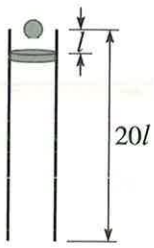
(2)对于单一考查动量定理或动量守恒定律的题目，注意研究对象的选取和定律的适用条件。比如流体中的动量问题，往往利用微分思想选取一小段流体为研究对象列出动量定理的表达式；而动量守恒定律的适用条件是系统所受的合力为零或内力远大于外力。

(3)注意动量和能量的结合，力学部分的综合题目一般都会结合这两种物理观念来解决问题。

(4)注意碰撞与运动图像的结合，训练从图像中获取运动信息的能力。

专题四　力学三大观点的综合应用

1.（2023 全国乙卷，25）如图所示，一竖直固定的长直圆管内有一质量为 m_0 的静止薄圆盘，圆盘与管的上端口距离为 l，圆管长度为 $20l$。一质量为 $m=\frac{1}{3}m_0$ 的小球从管的上端口由静止下落，并撞在圆盘中心，圆盘向下滑动，所受滑动摩擦力与其所受重力大小相等。小球在管内运动时与管壁不接触，圆盘始终水平，小球与圆盘发生的碰撞均为弹性碰撞且碰撞时间极短。不计空气阻力，重力加速度大小为 g。



（1）求第一次碰撞后瞬间小球和圆盘的速度大小。

（2）求在第一次碰撞到第二次碰撞之间，小球与圆盘间的最远距离。

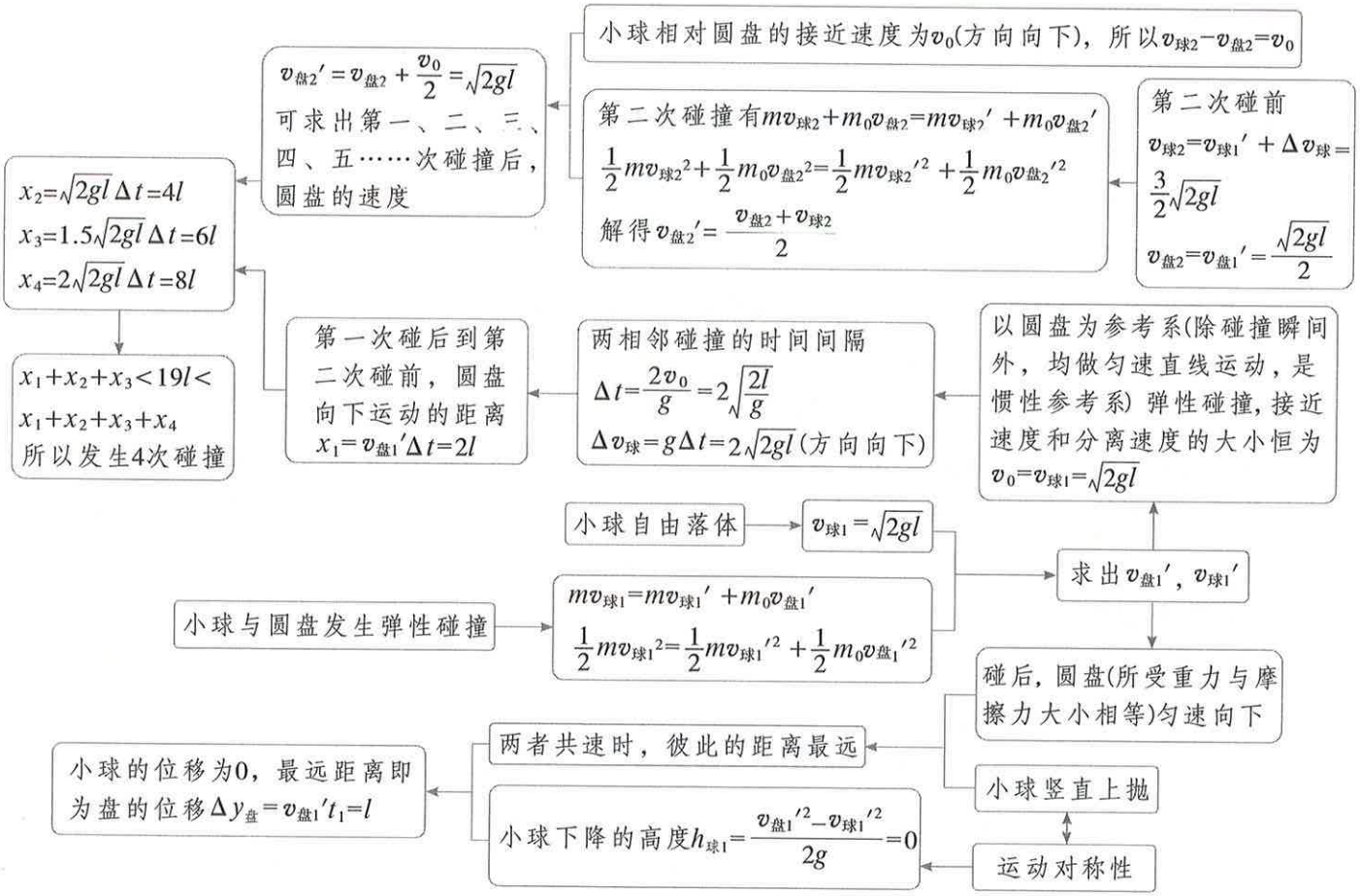
（3）求圆盘在管内运动过程中，小球与圆盘碰撞的次数。

【试题立意】本题以一竖直固定的长直圆管内的圆盘与小球的相互碰撞为素材创设学习探索问题情境，主要考查了匀变速直线运动、动量守恒和能量守恒等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、推理论证能力。

（1）理解能力：主要考查对弹性碰撞条件的理解，即动量守恒、机械能守恒。

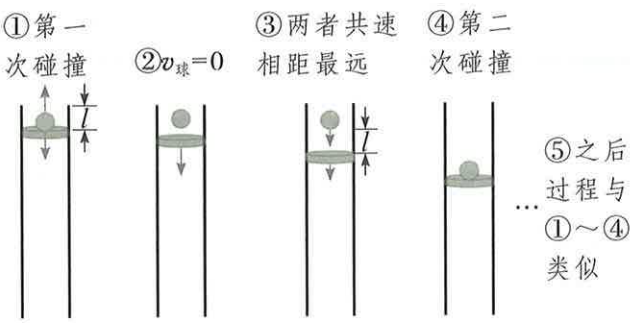
（2）推理论证能力



【解题过程】(1)小球先由静止下落，由运动学公式得 $v_{球1}{}^2=2gl$ ①

解得与圆盘碰前速度 $v_{球1}=\sqrt{2gl}$ ②

小球与圆盘第一次碰撞时，由于是弹性碰撞，由动量守恒定律得 $mv_{球1}=mv_{球1}{}'+m_0v_{盘1}{}'$（$v_{球1}{}'$与$v_{盘1}{}'$分别为两者第一次碰后速度） ③



由机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}mv_{球1}{}^2=\frac{1}{2}mv_{球1}{}'^2+\frac{1}{2}m_0v_{盘1}{}'^2$ ④

联立得 $v_{盘1}{}'=\frac{v_{球1}}{2}=\frac{\sqrt{2gl}}{2}$ ⑤

$v_{球1}{}'=-\frac{v_{球1}}{2}=-\frac{\sqrt{2gl}}{2}$（负号代表方向向上） ⑥

所以第一次碰撞后瞬间两者的速度大小均为$\frac{\sqrt{2gl}}{2}$。

(2)方法一：运动分段法

第一次碰后，因为圆盘所受重力与摩擦力大小相等，所以圆盘匀速向下，小球竖直上抛然后自由下落。当两者共速$\left(均为\frac{\sqrt{2gl}}{2}，且方向向下\right)$时，彼此的距离最远。 ⑦

对小球，$t_1=\frac{v_{盘1}{}'-v_{球1}{}'}{g}=\sqrt{\frac{2l}{g}}$ ⑧

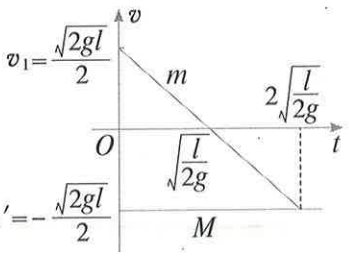
则其下降的高度 $h_{球1}=\frac{v_{盘1}{}'^2-v_{球1}{}'^2}{2g}=0$ ⑨

此时最远距离为 $\Delta y_{盘}=v_{盘1}{}'t_1=l$。 ⑩

注意：还可以运用运动过程的整体法。

方法二：$v-t$ 图像法

取第一次碰撞点为坐标原点、竖直向上为正方向，根据第(1)问的计算结果并结合两物体的运动情况作出如图所示的两物体的速度—时间图像，由图像知在小球运动速度向下且与圆盘速度相等时，即图中 $t_1=2\sqrt{\frac{l}{2g}}$ 时，两物体必相距为最远，由于此过程中小球 $v-t$ 图像跨于 t 轴的上下区域且两区域等大，故其离开抛出点的位移 $x_{m1}=0$；而圆盘此过程中的位移即为直线 M 与两轴围成矩形的面积，即 $x_{M1}=\frac{\sqrt{2gl}}{2}\times2\sqrt{\frac{l}{2g}}=l$，故在第一次碰撞到第二次碰撞间小球、圆盘间的最大距离为 $l_{max}=x_{M1}+x_{m1}=l$。



注意：还可以用 $x-t$ 图像，不过与 $v-t$ 图像相比略显繁琐。

方法三：相对运动法

以圆盘为参照物及坐标原点、以竖直向上为正方向，则小球相对于圆盘将以初速度 $v_0=v_1+|v_1'|=\sqrt{2gl}$、加速度 $a=-g$ 向上做匀减速直线运动，当小球相对于圆盘的速度减小到 0 时二者必相距最远，由速度位移公式 $v^2-{v_0}^2=2ax$ 即 $0-2gl=-2gl_{max}$，故第一次碰撞到第二次碰撞间小球、圆盘间的最大距离为 $l_{max}=l$。

(3)以圆盘为参考系(除碰撞瞬间外，均做匀速直线运动，是惯性参考系)，由弹性碰撞可知，接近速度和分离速度的大小恒为 $v_0=v_{球1}=\sqrt{2gl}$，所以两相邻碰撞的时间间隔

$$\Delta t=\frac{2v_0}{g}=2\sqrt{\frac{2l}{g}} \quad ⑪$$

$$\Delta v_{球}=g\Delta t=2\sqrt{2gl}\text{(方向向下)} \quad ⑫$$

Ⅰ. 以地面为参考系，第一次碰后到第二次碰前，圆盘向下运动的距离 $x_1=v_{盘1}'\Delta t=2l$ ⑬

第二次碰前，$v_{球2}=v_{球1}'+\Delta v_{球}=\frac{3}{2}\sqrt{2gl}$，$v_{盘2}=v_{盘1}'=\frac{\sqrt{2gl}}{2}$ ⑭

对第二次碰撞有 $mv_{球2}+m_0v_{盘2}=mv_{球2}'+m_0v_{盘2}'$ ⑮

$$\frac{1}{2}m{v_{球2}}^2+\frac{1}{2}m_0{v_{盘2}}^2=\frac{1}{2}m{v_{球2}'}^2+\frac{1}{2}m_0{v_{盘2}'}^2 \quad ⑯$$

解得 $v_{盘2}'=\frac{v_{盘2}+v_{球2}}{2}$ ⑰

因为小球相对圆盘的接近速度为 v_0(方向向下)，所以 $v_{球2}-v_{盘2}=v_0$ ⑱

联立得 $v_{盘2}'=v_{盘2}+\frac{v_0}{2}=\sqrt{2gl}$ ⑲

即第一、二、三、四、五……次碰撞后，圆盘的速度分别为 $0.5\sqrt{2gl}$，$\sqrt{2gl}$，$1.5\sqrt{2gl}$，$2\sqrt{2gl}$，$2.5\sqrt{2gl}$……

Ⅱ. 第二次碰后到第三次碰前，圆盘向下运动的距离 $x_2=\sqrt{2gl}\,\Delta t=4l$

Ⅲ. 第三次碰后到第四次碰前，圆盘向下运动的距离 $x_3=1.5\sqrt{2gl}\,\Delta t=6l$

Ⅳ. 第四次碰后到第五次碰前，圆盘向下运动的距离 $x_4=2\sqrt{2gl}\,\Delta t=8l$

$x_1+x_2+x_3<19l<x_1+x_2+x_3+x_4$ ⑳

所以发生 4 次碰撞。

评分参考：每式 1 分。

【答案】(1)都为 $\frac{\sqrt{2gl}}{2}$　(2)l　(3)4 次

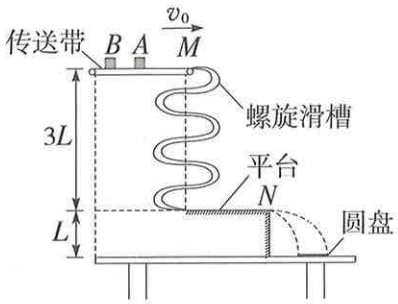
【失分剖析】考生容易混淆速度的正负方向，从而不能正确书写动量守恒表达式，多次碰撞过程繁琐，规律不太好找。

方法点拨

1. 把握最远距离出现的临界条件——共速(大小和方向均相同)。

2. 更换参考系可以在很大程度上降低难度。

2.(2023 广东卷,15)某药品自动传送系统的示意图如图所示。该系统由水平传送带、竖直螺旋滑槽和与滑槽平滑连接的平台组成,滑槽高为 $3L$,平台高为 L。药品盒 A、B 依次被轻放在以速度 v_0 匀速运动的传送带上,在与传送带达到共速后,从 M 点进入滑槽,A 刚好滑到平台最右端 N 点停下,随后滑下的 B 以 $2v_0$ 的速度与 A 发生正碰,碰撞时间极短,碰撞后 A、B 恰好落在桌面上圆盘内直径的两端。已知 A、B 的质量分别为 m 和 $2m$,碰撞过程中损失的能量为碰撞前瞬间总动能的 $\frac{1}{4}$。A 与传送带间的动摩擦因数为 μ,重力加速度为 g,A、B 在滑至 N 点之前不发生碰撞,忽略空气阻力和圆盘的高度,将药品盒视为质点。求:



(1)A 在传送带上由静止加速到与传送带共速所用的时间 t;

(2)B 从 M 点滑至 N 点的过程中克服阻力做的功 W;

(3)圆盘的圆心到平台右端 N 点的水平距离 s。

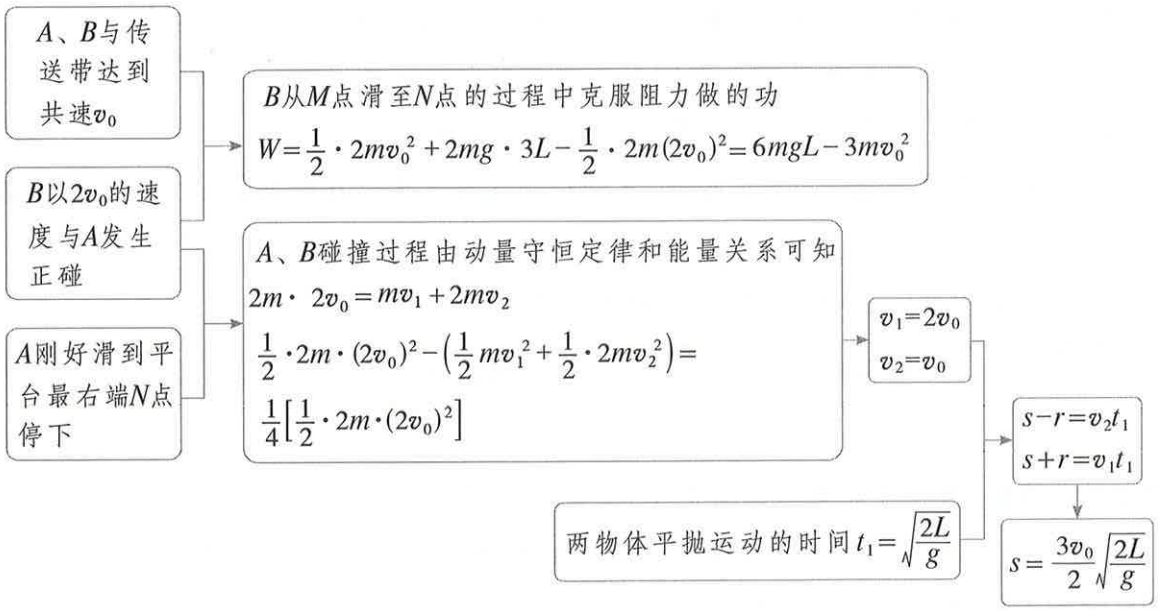
【试题立意】本题以药品自动传送系统为素材创设考查传送带模型、碰撞、平抛运动的生活实践问题情境,2023 年浙江 6 月高考第 18 题有类似情境,主要考查了匀变速直线运动及其公式、牛顿第二定律、功能关系、动量守恒、能量守恒等知识点。

【关键能力】本题主要考查模型建构能力和推理论证能力。

(1)模型建构能力

关键信息	破题关键	建构模型
A 在传送带上由静止加速到与传送带共速所用的时间 t	弄清 A 何时何地与传送带达到共速	传送带模型,根据牛顿第二定律求加速度,再用运动学公式运算出结果

(2)推理论证能力



【解题过程】(1)A 在传送带上运动时的加速度 $a=\mu g$　①

由静止加速到与传送带共速所用的时间 $t=\frac{v_0}{a}=\frac{v_0}{\mu g}$。 ②

(2)B 从 M 点滑至 N 点的过程中克服阻力做的功

$W=\frac{1}{2}\cdot 2mv_0^2+2mg\cdot 3L-\frac{1}{2}\cdot 2m(2v_0)^2=6mgL-3mv_0^2$。 ③

(3)A、B 碰撞过程由动量守恒定律和能量关系可知

$2m\cdot 2v_0=mv_1+2mv_2$ ④

$\frac{1}{2}\cdot 2m\cdot(2v_0)^2-\left(\frac{1}{2}mv_1^2+\frac{1}{2}\cdot 2mv_2^2\right)=\frac{1}{4}\left[\frac{1}{2}\cdot 2m\cdot(2v_0)^2\right]$ ⑤

解得 $v_1=2v_0$，$v_2=v_0$ ⑥

(另一组 $v_1=\frac{2}{3}v_0$，$v_2=\frac{5}{3}v_0$ 舍掉)

两物体平抛运动的时间 $t_1=\sqrt{\frac{2L}{g}}$ ⑦

则 $s+r=v_1t_1$，$s-r=v_2t_1$ ⑧

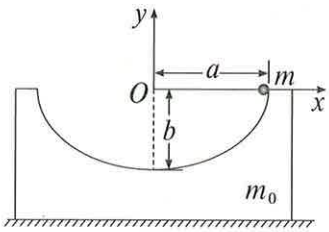
解得 $s=\frac{3v_0}{2}\sqrt{\frac{2L}{g}}$。 ⑨

评分参考:③④⑤⑥⑦⑧各 2 分，其余各 1 分。

【答案】(1)$\frac{v_0}{\mu g}$　(2)$6mgL-3mv_0^2$　(3)$\frac{3v_0}{2}\sqrt{\frac{2L}{g}}$

【失分剖析】功能关系、弹性碰撞运用不灵活。

3.(2023 湖南卷，15)如图所示，质量为 m_0 的匀质凹槽放在光滑水平地面上，凹槽内有一个半椭圆形的光滑轨道，椭圆的半长轴和半短轴分别为 a 和 b，长轴水平，短轴竖直。质量为 m 的小球，初始时刻从椭圆轨道长轴的右端点由静止开始下滑。以初始时刻椭圆中心的位置为坐标原点，在竖直平面内建立固定于地面的直角坐标系 xOy，椭圆长轴位于 x 轴上。整个过程凹槽不翻转，重力加速度为 g。



(1)小球第一次运动到轨道最低点时，求凹槽的速度大小以及凹槽相对于初始时刻运动的距离。

(2)在平面直角坐标系 xOy 中，求出小球运动的轨迹方程。

(3)若 $\frac{m_0}{m}=\frac{b}{a-b}$，求小球下降 $h=\frac{b}{2}$ 高度时，小球相对于地面的速度大小(结果用 a、b 及 g 表示)。

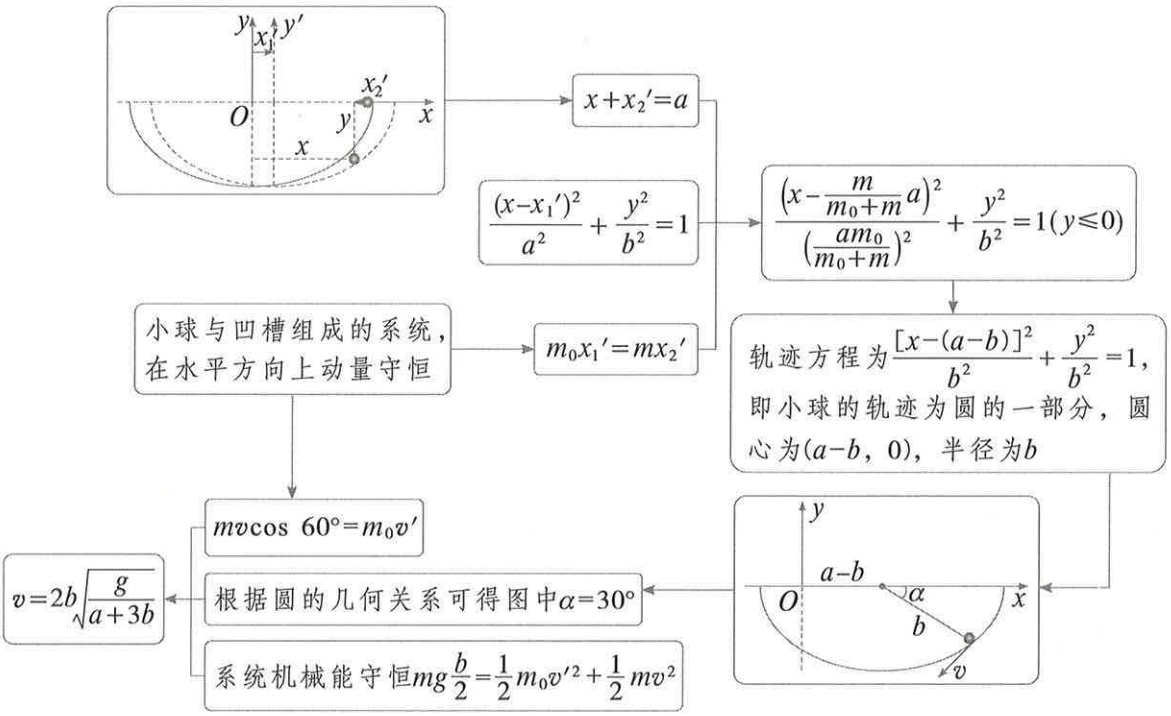
【试题立意】本题以在光滑水平地面上，小球沿凹槽内半椭圆形的光滑轨道下滑为素材创设学习探索问题情境，主要考查了动量守恒和能量守恒、椭圆运算等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、推理论证能力。

(1)理解能力

关键表述	物理量及其关系
小球第一次运动到轨道最低点时，求凹槽的速度大小以及凹槽相对于初始时刻运动的距离	系统机械能守恒，$mgb=\frac{1}{2}m_0v_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2$ 系统在水平方向上动量守恒，$m_0v_1=mv_2$，$m_0x_1=mx_2$ 根据位移及几何关系，$x_1+x_2=a$ 则 $x_1=\frac{ma}{m_0+m}$

(2)推理论证能力



【解题过程】(1)小球与凹槽组成的系统机械能守恒，则 $mgb=\frac{1}{2}m_0v_1^2+\frac{1}{2}mv_2^2$(凹槽相对地面向右的速度为 v_1，小球相对地面向左的速度为 v_2) ①

小球与凹槽组成的系统在水平方向上动量守恒，则 $m_0v_1=mv_2$ ②

联立①②得 $v_1=\sqrt{\frac{2m^2gb}{m_0(m_0+m)}}$ ③

由②式得 $m_0x_1=mx_2$(x_1、x_2 均为相对地面位移的大小) ④

$x_1+x_2=a$ ⑤

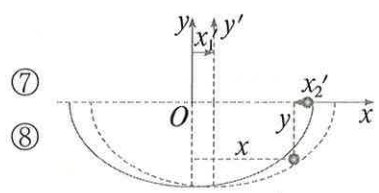
联立④⑤得 $x_1=\frac{ma}{m_0+m}$。 ⑥

(2)小球与凹槽组成的系统，在水平方向上动量守恒，则

⑦ $m_0x_1'=mx_2'$

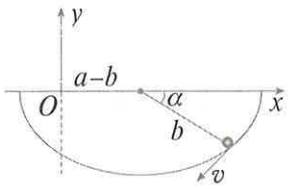
⑧ $x+x_2'=a$

且满足 $\frac{(x-x_1')^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=1$



联立以上各式得$\dfrac{\left(x-\dfrac{m}{m_0+m}a\right)^2}{\left(\dfrac{am_0}{m_0+m}\right)^2}+\dfrac{y^2}{b^2}=1(y\leqslant 0)$。 ⑨

(3)当$\dfrac{m_0}{m}=\dfrac{b}{a-b}$时，轨迹方程为$\dfrac{[x-(a-b)]^2}{b^2}+\dfrac{y^2}{b^2}=1$，即小球的轨迹为圆的一部分，圆心为$(a-b,0)$，半径为$b$



小球下降$h=\dfrac{b}{2}$高度时，根据几何关系可得图中$\alpha=30°$ ⑩

在水平方向上，根据动量守恒定律得$mv\cos 60°=m_0v'$ ⑪

根据机械能守恒定律得$mg\dfrac{b}{2}=\dfrac{1}{2}m_0v'^2+\dfrac{1}{2}mv^2$ ⑫

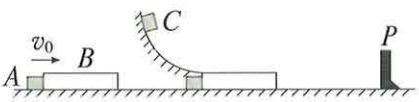
联立解得$v=2b\sqrt{\dfrac{g}{a+3b}}$。 ⑬

评分参考：②⑨⑪各2分，其余各1分。

【答案】(1)$\sqrt{\dfrac{2m^2gb}{m_0(m_0+m)}}$　$\dfrac{ma}{m_0+m}$　(2)$\dfrac{\left(x-\dfrac{m}{m_0+m}a\right)^2}{\left(\dfrac{am_0}{m_0+m}\right)^2}+\dfrac{y^2}{b^2}=1(y\leqslant 0)$　(3)$2b\sqrt{\dfrac{g}{a+3b}}$

【失分剖析】对椭圆公式与物理的结合运用不够灵活。

4.(2023山东卷，18)如图所示，物块A和木板B置于水平地面上，固定光滑弧形轨道末端与B的上表面所在平面相切，竖直挡板P固定在地面上。作用在A上的水平外力，使A与B以相同速度v_0向右做匀速直线运动。当B的左端经过轨道末端时，从弧形轨道某处无初速度下滑的滑块C恰好到达最低点，并以水平速度v滑上B的上表面，同时撤掉外力，此时B右端与P板的距离为s。已知$v_0=1\ \text{m/s}$，$v=4\ \text{m/s}$，$m_A=m_C=1\ \text{kg}$，$m_B=2\ \text{kg}$，A与地面间无摩擦，B与地面间动摩擦因数$\mu_1=0.1$，C与B间动摩擦因数$\mu_2=0.5$，B足够长，使得C不会从B上滑下。B与P、A的碰撞均为弹性碰撞，不计碰撞时间，重力加速度大小g取$10\ \text{m/s}^2$。



(1)求C下滑的高度H。

(2)与P碰撞前，若B与C能达到共速，且A、B未发生碰撞，求s的范围。

(3)若$s=0.48\ \text{m}$，求B与P碰撞前，摩擦力对C做的功W。

(4)若$s=0.48\ \text{m}$，自C滑上B开始至A、B、C三个物体都达到平衡状态，求这三个物体总动量的变化量Δp的大小。

【试题立意】本题以板块模型为素材创设学习探索问题情境，人教版教材选择性必修第一册第30页第7题曾经出现过同源情境，2012年山东卷第22题也曾出现过同源情境，主要考查了匀变速直线运动及其公式、牛顿第二定律、动能定理、动量守恒等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、模型建构能力和推理论证能力。

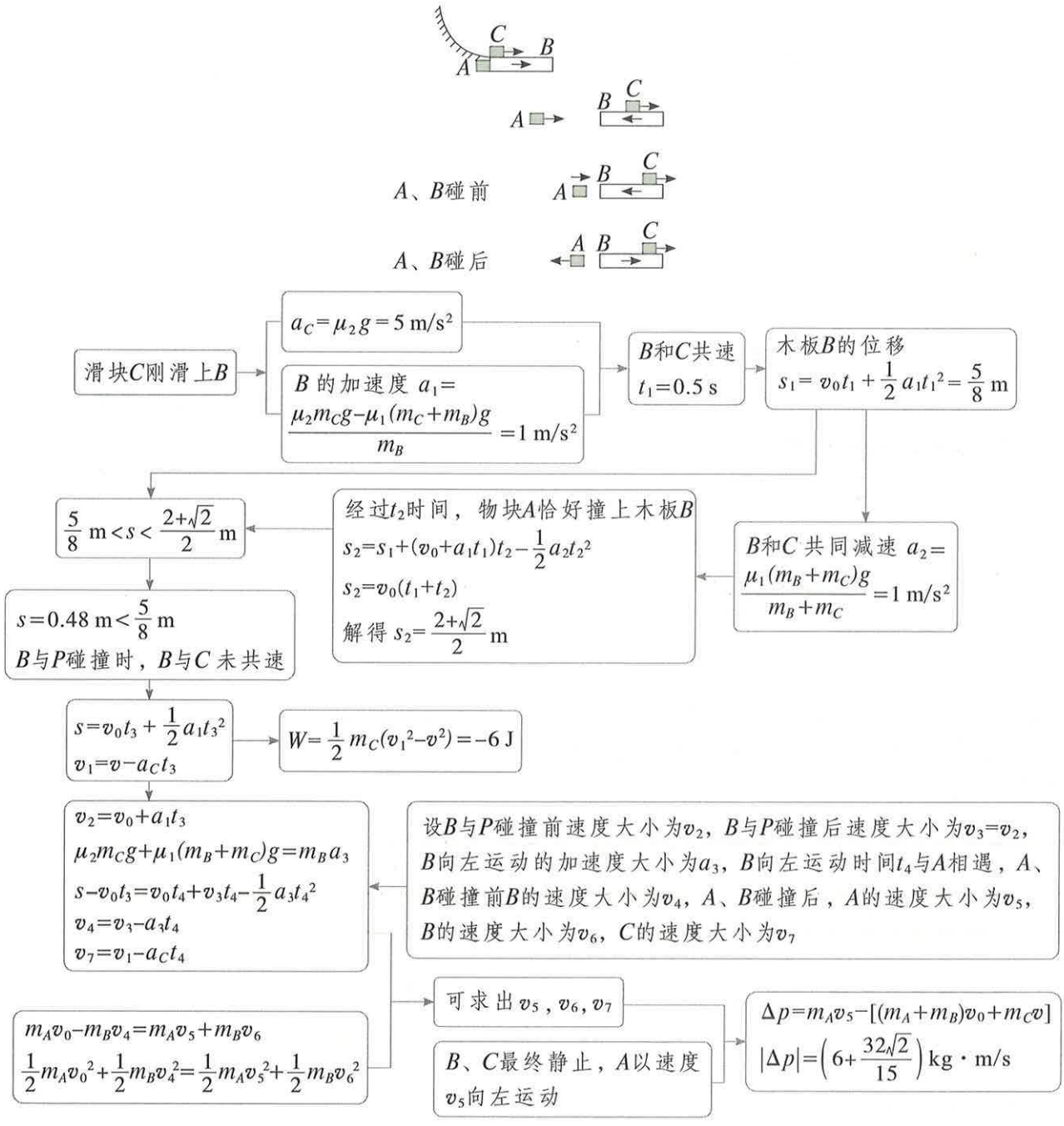
(1)理解能力

关键表述	物理量及其关系
当 B 的左端经过轨道末端时，从弧形轨道某处无初速度下滑的滑块 C 恰好到达最低点，并以速度 v 滑上 B 的上表面，同时撤掉外力	可根据相关的物理情境写出运动学公式，再根据临界关系求出目标量的范围。求解范围时要同时满足两个方面的条件，即 B、C 能达到共速，且 A、B 未发生碰撞

(2)模型建构能力

关键信息	破题关键	建构模型
与 P 碰撞前，若 B、C 能达到共速，且 A、B 未发生碰撞，求 s 的范围	弄清 B、C 共速前后的运动状态，弄清 A、B 的位移关系	板块模型，根据牛顿第二定律求加速度；B 与 P、A 的碰撞均为弹性碰撞模型，动量守恒、能量守恒

(3)推理论证能力



【解题过程】(1)由动能定理得 $m_C g H=\frac{1}{2}m_C v^2$ ①

解得 $H=0.8$ m。 ②

(2)设 C 的加速度大小为 a_C,B 的加速度大小为 a_1,经过 t_1 时间 B、C 共速,s 的最小值为 s_1,B、C 共同的加速度大小为 a_2,经过 t_2 时间 A 追上 B,s 的最大值为 s_2

由牛顿第二定律得 $\mu_2 m_C g=m_C a_C$ ③

$\mu_2 m_C g-\mu_1(m_C+m_B)g=m_B a_1$ ④

$v_0+a_1 t_1=v-a_C t_1$ ⑤

$s_1=v_0 t_1+\frac{1}{2}a_1 t_1^2$ ⑥

联立得 $s_1=\frac{5}{8}$ m ⑦

由牛顿第二定律得 $\mu_1(m_B+m_C)g=(m_B+m_C)a_2$ ⑧

由运动学公式得 $s_2=s_1+(v_0+a_1 t_1)t_2-\frac{1}{2}a_2 t_2^2$ ⑨

$s_2=v_0(t_1+t_2)$ ⑩

联立得 $s_2=\frac{2+\sqrt{2}}{2}$ m ⑪

$\frac{5}{8}$ m$<s<\frac{2+\sqrt{2}}{2}$ m。

(3)由题意知,$s<s_1$,B 与 P 碰撞时,B 与 C 未共速。设 C 在 B 板上滑动时间为 t_3,B 与 P 相碰,此时 C 的速度大小为 v_1

由运动学公式得 $s=v_0 t_3+\frac{1}{2}a_1 t_3^2$ ⑫

$v_1=v-a_C t_3$ ⑬

$W=\frac{1}{2}m_C(v_1^2-v^2)$ ⑭

联立得 $W=-6$ J。 ⑮

(4)设 B 与 P 碰撞前速度大小为 v_2,B 与 P 碰撞后速度大小为 $v_3=v_2$,B 向左运动的加速度大小为 a_3,B 向左运动时间 t_4 与 A 相遇。A、B 碰撞前 B 的速度大小为 v_A,A、B 碰撞后,A 的速度大小为 v_5,B 的速度大小为 v_6,C 的速度大小为 v_7

由运动学公式得 $v_2=v_0+a_1 t_3$ ⑯

牛顿第二定律得 $\mu_2 m_C g+\mu_1(m_B+m_C)g=m_B a_3$ ⑰

由运动学公式得 $s-v_0 t_3=v_0 t_4+v_3 t_4-\frac{1}{2}a_3 t_4^2$ ⑱

$v_4=v_3-a_3 t_4$ ⑲

$v_7=v_1-a_C t_4$ ⑳

由动量守恒定律得 $m_A v_0 - m_B v_4 = m_A v_5 + m_B v_6$ ㉑

由机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}m_A {v_0}^2 + \frac{1}{2}m_B {v_4}^2 = \frac{1}{2}m_A {v_5}^2 + \frac{1}{2}m_B {v_6}^2$ ㉒

联立得 $v_5 = \left(1 - \frac{32\sqrt{2}}{15}\right)$ m/s，$v_6 = \left(1 - \frac{8\sqrt{2}}{15}\right)$ m/s，$v_7 = (2\sqrt{2} - 1)$ m/s

经分析可得，B、C 最终静止，A 以速度 v_5 向左运动

$\Delta p = m_A v_5 - [(m_A + m_B)v_0 + m_C v]$ ㉓

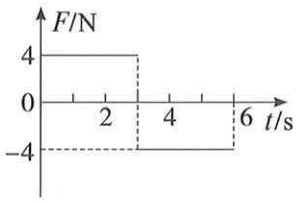
$|\Delta p| = \left(6 + \frac{32\sqrt{2}}{15}\right)$ kg·m/s。 ㉔

评分参考：①②⑤⑥⑦⑨⑩⑪⑭⑮㉑㉒㉓㉔式各 1 分，③或④式 1 分，⑫和⑬式共 1 分。

【答案】(1)0.8 m　(2)$\frac{5}{8}$ m$<s<\frac{2+\sqrt{2}}{2}$ m　(3)−6 J　(4)$\left(6 + \frac{32\sqrt{2}}{15}\right)$ kg·m/s

【失分剖析】在高度紧张的情况下考生无法正确分析每一个过程跟临界情况。

5.（多选）(2022 全国乙卷，20)质量为 1 kg 的物块在水平力 F 的作用下由静止开始在水平地面上做直线运动，F 与时间 t 的关系如图所示。已知物块与地面间的动摩擦因数为 0.2，重力加速度大小 g 取 10 m/s^2。则(　　)



A. 4 s 时物块的动能为零

B. 6 s 时物块回到初始位置

C. 3 s 时物块的动量为 12 kg·m/s

D. 0～6 s 时间内 F 对物块所做的功为 40 J

【试题立意】本题以水平面上物块在水平作用力下的运动为素材创设学习探索问题情境，主要考查了匀变速直线运动、牛顿运动定律、功、动能、动量和动量定理等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、推理论证能力。

(1)理解能力

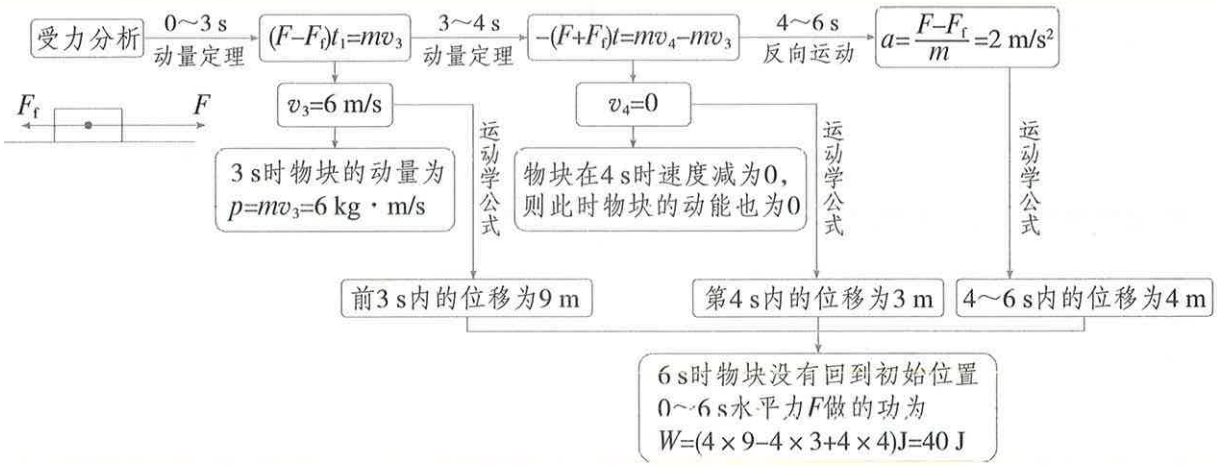
①对题意的理解

关键表述	物理量及其关系
物块与地面间的动摩擦因数为 0.2	物块是在水平力 F 和摩擦力 F_f 共同作用下运动的

②对图像的理解

图像信息	物理量及其关系
$F-t$ 图像	图线与时间轴所包围的面积表示 F 的冲量

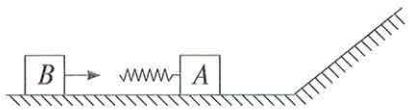
(2)推理论证能力



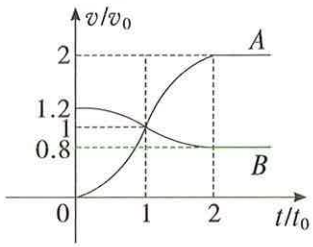
【答案】AD

【失分剖析】未能准确分析运动过程，进而导致计算错误。

6.(2022 全国乙卷，25)如图甲所示，一质量为 m 的物块 A 与轻质弹簧连接，静止在光滑水平面上；物块 B 向 A 运动，$t=0$ 时与弹簧接触，到 $t=2t_0$ 时与弹簧分离，第一次碰撞结束，A、B 的 $v-t$ 图像如图乙所示。已知从 $t=0$ 到 $t=t_0$ 时间内，物块 A 运动的距离为 $0.36v_0t_0$。A、B 分离后，A 滑上粗糙斜面，然后滑下，与一直在水平面上运动的 B 再次碰撞，之后 A 再次滑上斜面，达到的最高点与前一次相同。斜面倾角为 $\theta(\sin\theta=0.6)$，与水平面光滑连接。碰撞过程中弹簧始终处于弹性限度内。求：



甲



乙

(1)第一次碰撞过程中，弹簧弹性势能的最大值；

(2)第一次碰撞过程中，弹簧压缩量的最大值；

(3)物块 A 与斜面间的动摩擦因数。

【试题立意】本题以包含弹簧的两物块碰撞为素材创设学习探索问题情境，与之类似的情境在 2021 年湖南高考第 8 题中也曾考查过。主要考查了匀变速直线运动及其公式、牛顿运动定律、动能和动能定理、弹性势能、动量守恒定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、模型建构能力、推理论证能力。

(1)理解能力

①对题意的理解

序号	关键表述	物理量及其关系
1	光滑水平面	$0\sim2t_0$ 时间段内，A、B 和弹簧组成的系统动量守恒
2	A、B 分离后，A 滑上粗糙斜面，然后滑下	存在机械能损失，A 返回时速度变小

续表

序号	关键表述	物理量及其关系
3	与一直在水平面上运动的 B 再次碰撞，之后 A 再次滑上斜面，达到的最高点与前一次相同	第二次碰后，A 的速度与第一次碰后相同

②对图像的理解

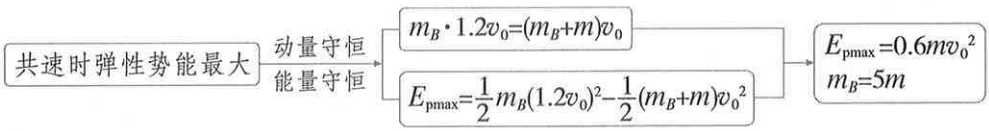
序号	图像信息	物理量及其关系
1	$t=0$ 时的速度	A、B 碰前的速度
2	$t=t_0$ 之前，$v_B>v_A$	相同时间内 B 向前运动的位移大于 A 向前运动的位移，B 与 A 之间的距离逐渐减小
3	$t=t_0$ 时，两图线相交	此时 A、B 共速，A、B 之间距离最近，弹簧压缩至最短，弹性势能最大
4	$2t_0$ 后的速度	A、B 碰后的速度

(2)模型建构能力

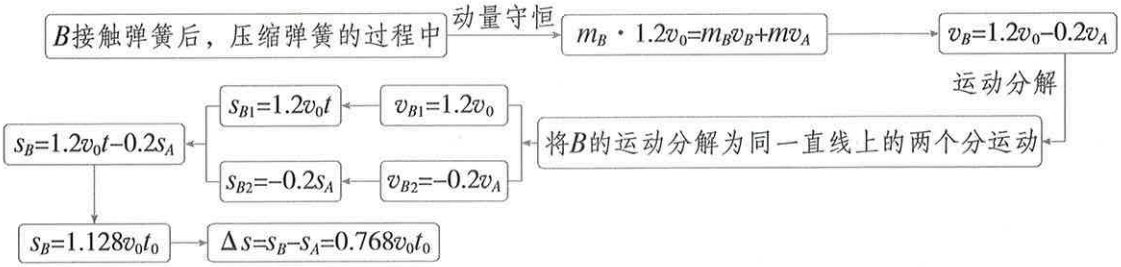
序号	物理过程	破题关键	物理模型
1	A、B 碰撞过程	分清物理过程及其特点	碰撞模型，动量守恒、能量守恒
2	A 滑上粗糙斜面，然后滑下	分清物理过程及其特点	物块在粗糙斜面上运动，匀变速直线运动

(3)推理论证能力

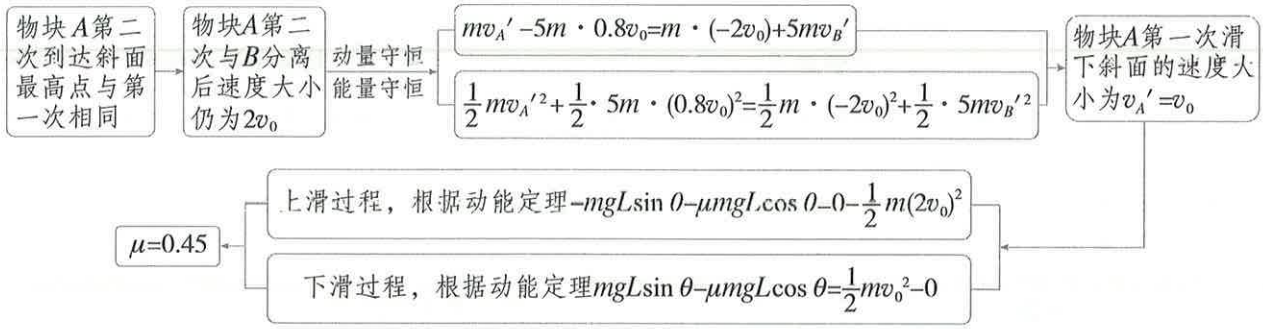
第(1)问，A、B 共速时弹性势能最大。从碰撞前到共速的过程，对 A、B 与轻质弹簧构成的系统应用动量守恒定律和能量守恒定律求解弹簧弹性势能的最大值以及 B 的质量。



第(2)问，系统动量守恒，根据动量守恒定律确定 A、B 速度满足定量关系，进而转化成 A、B 位移满足定量关系。以此求解弹簧压缩量的最大值。



第(3)问，A、B 第二次碰后 A 的速度仍为 $2v_0$，利用弹性碰撞求出碰撞前 A 的速度，碰撞前 A 的速度即为 A 第一次滑下斜面的速度，对 A 在斜面上上滑和下滑的过程分别利用动能定理求解动摩擦因数。



【解题过程】(1)当弹簧被压缩至最短时，弹簧弹性势能最大，此时 A、B 速度相等，即 $t=t_0$ 时刻，根据动量守恒定律有 $m_B\cdot 1.2v_0=(m_B+m)v_0$ ①

根据能量守恒定律有 $E_{pmax}=\frac{1}{2}m_B(1.2v_0)^2-\frac{1}{2}(m_B+m)v_0^2$ ②

联立解得 $m_B=5m$，$E_{pmax}=0.6mv_0^2$。 ③

(2)B 接触弹簧后，压缩弹簧的过程中，根据动量守恒定律有 $m_B\cdot 1.2v_0=m_Bv_B+mv_A$ ④

解得 $v_B=1.2v_0-0.2v_A$

将 B 的运动分解为同一直线上的两个运动，有 $v_{B1}=1.2v_0$，$v_{B2}=-0.2v_A$

则 $s_{B1}=1.2v_0t$，$s_{B2}=-0.2s_A$

$s_B=1.2v_0t-0.2s_A$ ⑤

将 $t=t_0$，$s_A=0.36v_0t_0$ 代入可得 $s_B=1.128v_0t_0$ ⑥

则第一次碰撞过程中，弹簧压缩量的最大值 $\Delta s=s_B-s_A=0.768v_0t_0$。 ⑦

(3)物块 A 第二次达到斜面的最高点与第一次相同，说明物块 A 第二次与 B 分离后速度大小仍为 $2v_0$，方向水平向右，设物块 A 第一次滑下斜面的速度大小为 v_A'，取向左为正方向，根据动量守恒定律有 $mv_A'-5m\cdot 0.8v_0=m\cdot(-2v_0)+5mv_B'$ ⑧

根据能量守恒定律有 $\frac{1}{2}mv_A'^2+\frac{1}{2}\cdot 5m\cdot(0.8v_0)^2=\frac{1}{2}m\cdot(-2v_0)^2+\frac{1}{2}\cdot 5mv_B'^2$ ⑨

联立解得 $v_A'=v_0$

方法一：设在斜面上滑行的长度为 L，上滑过程，根据动能定理有

$-mgL\sin\theta-\mu mgL\cos\theta=0-\frac{1}{2}m(2v_0)^2$ ⑩

下滑过程，根据动能定理有 $mgL\sin\theta-\mu mgL\cos\theta=\frac{1}{2}mv_A'^2-0$ ⑪

联立解得 $\mu=0.45$。 ⑫

方法二：根据牛顿第二定律有

$mg\sin\theta+\mu mg\cos\theta=ma_{上}$，$mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma_{下}$

上滑时末速度为 0，下滑时初速度为 0，由匀变速直线运动的位移—速度关系有

$2a_{上}x=(2v_0)^2-0$，$2a_{下}x=v_A'^2=v_0^2$

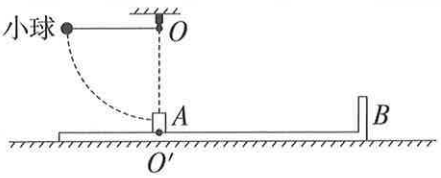
联立可解得 $\mu=0.45$。

评分参考：①②④⑤⑧⑨⑩⑪各 2 分，其他各 1 分。

【答案】(1)$0.6mv_0^2$　(2)$0.768v_0t_0$　(3)0.45

【失分剖析】①过程分析不准确，不能确定两物块共速时弹簧压缩量最大；②对非匀变速直线运动的过程，不会应用累积的思想由速度关系分析位移关系。

7.(2022 山东卷，18)如图所示，“L”型平板 B 静置在地面上，小物块 A 处于平板 B 上的 O' 点，O' 点左侧粗糙，右侧光滑。用不可伸长的轻绳将质量为 M 的小球悬挂在 O' 点正上方的 O 点，轻绳处于水平拉直状态。将小球由静止释放，下摆至最低点与小物块 A 发生碰撞，碰后小球速度方向与碰前方向相同，开始做简谐运动(要求摆角小于 5°)，A 以速度 v_0 沿平板滑动直至与 B 右侧挡板发生弹性碰撞。一段时间后，A 返回到 O 点的正下方时，相对于地面的速度减为零，此时小球恰好第一次上升到最高点。已知 A 的质量 $m_A=0.1$ kg，B 的质量 $m_B=0.3$ kg，A 与 B 的动摩擦因数 $\mu_1=0.4$，B 与地面间的动摩擦因数 $\mu_2=0.225$，$v_0=4$ m/s，重力加速度 g 取 10 m/s^2。整个过程中 A 始终在 B 上，所有碰撞时间忽略不计，不计空气阻力，求：



(1)A 与 B 的挡板碰撞后，二者的速度大小 v_A 与 v_B；

(2)B 光滑部分的长度 d；

(3)运动过程中 A 对 B 的摩擦力所做的功 W_f；

(4)实现上述运动过程，$\dfrac{M}{m_A}$ 的取值范围(结果用 cos 5°表示)。

【试题立意】本题以碰撞及滑块木板问题为素材创设学习探索问题情境，主要考查了动能定理、动量守恒定律、匀变速直线运动及其公式、牛顿运动定律、单摆周期公式等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、模型建构能力、推理论证能力。

序号	关键表述	物理量及其关系
1	将小球由静止释放，下摆至最低点与小物块 A 发生碰撞，碰后小球速度方向与碰前方向相同	小球与 A 碰撞过程动量守恒
2	碰后小球开始做简谐运动(要求摆角小于 5°)	小球从最低点到最高点机械能守恒 摆角为 5°时，最低点速度最大 单摆运动，周期公式 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$
3	A 以速度 v_0 沿平板滑动直至与 B 右侧挡板发生弹性碰撞	A 与 B 碰撞过程动量守恒，能量守恒
4	一段时间后，A 返回到 O 点的正下方时，相对于地面的速度减为零，此时小球恰好第一次上升到最高点	A 运动全过程的时间为单摆周期的 $\dfrac{1}{4}$

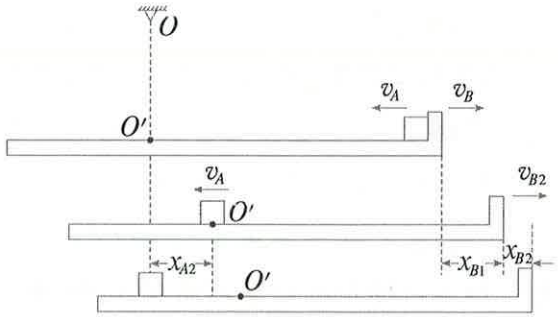
(2)模型建构能力

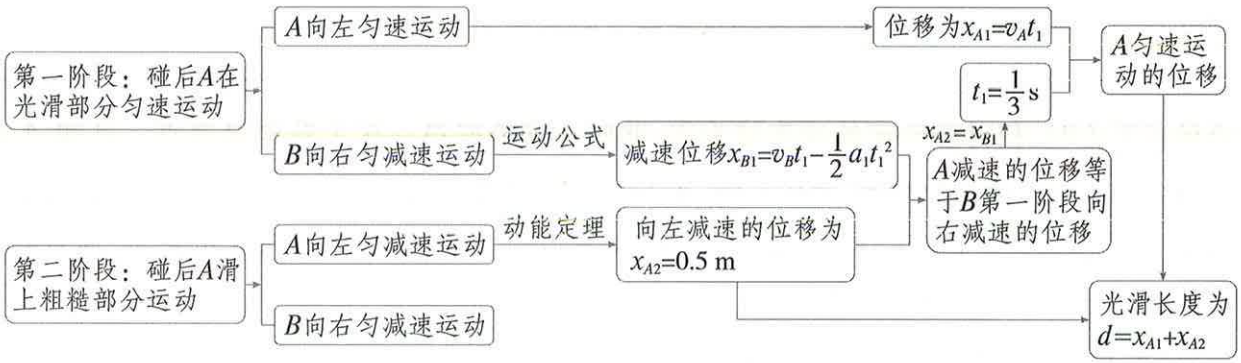
序号	关键信息	破题关键	建构模型
1	A、B 碰撞过程	分清过程的类型及其特点	碰撞模型，动量守恒、能量守恒
2	碰后小球开始做简谐运动	分清过程的类型及其特点	单摆模型

(3)推理论证能力

第(1)问，A、B 发生弹性碰撞，碰撞过程动量守恒、能量守恒，据此求解碰后两者的速度。

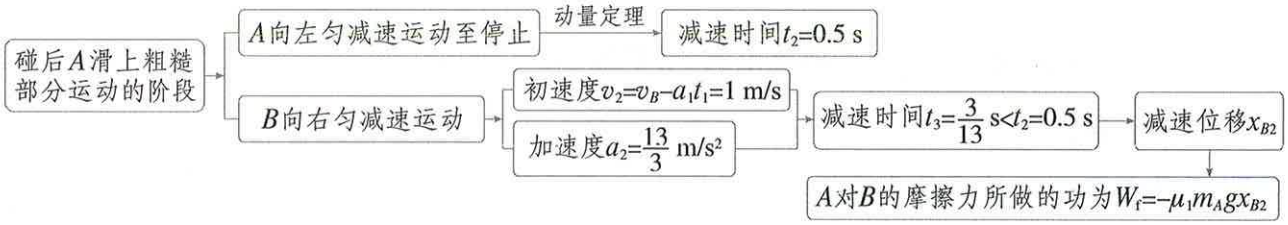
第(2)问，运动过程如图所示，光滑部分的长度 d 等于 A 碰后向左运动的总位移，即匀速阶段位移与减速阶段位移之和。解题的关键条件：A 减速的位移等于第一阶段 B 向右减速的位移。



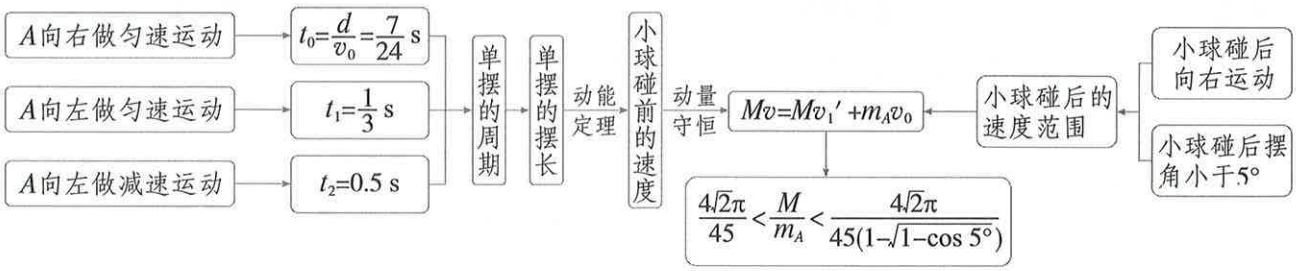


第(3)问，解题关键：求解 B 在 A 的摩擦力作用下运动的位移。

特别注意：需要通过计算 A、B 分别减速到零的时间来判断 B 的运动位移。



第(4)问



【解题过程】(1)设水平向右为正方向，因为 O' 点右侧光滑，A 与 B 发生弹性碰撞，故碰撞过程根据动量守恒定律和能量守恒定律有 $m_Av_0=m_Av_A+m_Bv_B$ ①

$$\frac{1}{2}m_Av_0^2=\frac{1}{2}m_Av_A^2+\frac{1}{2}m_Bv_B^2 \quad ②$$

代入数据联立解得 $v_A=-2$ m/s，方向水平向左；$v_B=2$ m/s，方向水平向右

即 A 和 B 速度的大小均为 2 m/s。 ③

(2)因为 A 返回到 O 点正下方时，相对地面速度为 0，A 减速过程根据动能定理有

$$-\mu_1m_Agx_{A2}=0-\frac{1}{2}m_Av_A^2 \quad ④$$

代入数据解得 $x_{A2}=0.5\ \mathrm{m}$

此过程中 A 减速的位移等于第一阶段 B 向右减速的位移，对于此过程 B 有

$\mu_2(m_A+m_B)g=m_Ba_1$ ⑤

$x_{B1}=x_{A2}=v_Bt_1-\frac{1}{2}a_1{t_1}^2$ ⑥

联立代入数据解得 $t_1=\frac{1}{3}\ \mathrm{s}$，$t_1'=1\ \mathrm{s}$(舍去)

根据几何关系有 $d=v_At_1+x_{A2}=\frac{7}{6}\ \mathrm{m}$。 ⑦

(3)对 A 减速的过程，根据动量定理有 $-\mu_1m_Agt_2=0-m_Av_A$ ⑧

代入数据解得 $t_2=0.5\ \mathrm{s}$

在 A 刚开始减速时，B 的速度为 $v_2=v_B-a_1t_1=1\ \mathrm{m/s}$ ⑨

在 A 减速过程中，对 B 根据牛顿运动定律有 $\mu_1m_Ag+\mu_2(m_A+m_B)g=m_Ba_2$ ⑩

解得 $a_2=\frac{13}{3}\ \mathrm{m/s^2}$

B 停下来的时间为 t_3，根据运动学公式有 $0=v_2-a_2t_3$，解得 $t_3=\frac{3}{13}\ \mathrm{s}<t_2=0.5\ \mathrm{s}$

可知在 A 减速过程中 B 先停下来了，此过程中 B 的位移为 $x_{B2}=\frac{{v_2}^2}{2a_2}=\frac{3}{26}\ \mathrm{m}$

所以 A 对 B 的摩擦力所做的功为 $W_f=-\mu_1m_Agx_{B2}=-\frac{3}{65}\ \mathrm{J}$。 ⑪

(4)小球和 A 碰撞后，A 做匀速直线运动再和 B 相碰，此过程所用时间为 $t_0=\frac{d}{v_0}=\frac{7}{24}\ \mathrm{s}$

由题意可知 A 返回到 O 点的正下方时，小球恰好第一次上升到最高点，设小球做简谐运动的周期为 T，摆长为 L，则有 $T=4(t_0+t_1+t_2)=\frac{9}{2}\ \mathrm{s}$ ⑫

由单摆周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$，解得小球到悬挂点 O 点的距离为 $L=\frac{405}{8\pi^2}\ \mathrm{m}$

小球下落过程根据动能定理有 $MgL=\frac{1}{2}Mv^2$ ⑬

当碰后小球摆角恰为 5°时，有 $MgL(1-\cos 5°)=\frac{1}{2}M{v_1}^2$ ⑭

解得 $v=\sqrt{2gL}=\frac{45\sqrt{2}}{2\pi}\ \mathrm{m/s}$，$v_1=\sqrt{2gL(1-\cos 5°)}=\frac{45\sqrt{2(1-\cos 5°)}}{2\pi}\ \mathrm{m/s}$

小球与 A 碰撞过程根据动量守恒定律有 $Mv=Mv_1'+m_Av_0$ ⑮

小球与 A 碰后小球速度方向与碰前方向相同，开始做简谐运动，则

$0<v_1'<v_1$

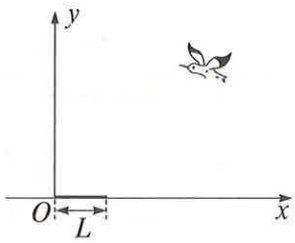
故要实现这个过程，$\frac{M}{m_A}$的取值范围为$\frac{4\sqrt{2}\pi}{45}<\frac{M}{m_A}<\frac{4\sqrt{2}\pi}{45(1-\sqrt{1-\cos 5^\circ})}$。 ⑯

评分参考：每式1分。

【答案】(1)2 m/s　2 m/s　(2)$\frac{7}{6}$ m　(3)$-\frac{3}{65}$ J　(4)$\frac{4\sqrt{2}\pi}{45}<\frac{M}{m_A}<\frac{4\sqrt{2}\pi}{45(1-\sqrt{1-\cos 5^\circ})}$

【失分剖析】①第(2)问未能根据运动过程图得出A减速的位移等于第一阶段B物体向右减速的位移这一关键关系；②第(3)问中在A向左减速到零的过程中，未对B的运动情况做出准确的判断；③单摆的周期计算错误导致求解单摆的摆长错误；④小球碰后的速度范围分析错误。

8.(2021 山东卷，16)海鸥捕到外壳坚硬的鸟蛤(贝类动物)后，有时会飞到空中将它丢下，利用地面的冲击打碎硬壳。一只海鸥叼着质量$m=0.1$ kg的鸟蛤，在$H=20$ m的高度、以$v_0=15$ m/s的水平速度飞行时，松开嘴巴让鸟蛤落到水平地面上。重力加速度g取10 m/s^2，忽略空气阻力。



(1)若鸟蛤与地面的碰撞时间$\Delta t=0.005$ s，弹起速度可忽略，求碰撞过程中鸟蛤受到的平均作用力F的大小。(碰撞过程中不计重力)

(2)在海鸥飞行方向正下方的地面上，有一与地面平齐、长度$L=6$ m的岩石，以岩石左端为坐标原点，建立如图所示坐标系。若海鸥水平飞行的高度仍为20 m，速度大小在15～17 m/s之间，为保证鸟蛤一定能落到岩石上，求释放鸟蛤位置的x坐标范围。

【试题立意】本题以海鸥释放鸟蛤为素材创设生活实践问题情境，与之类似的题有2021年北京高考第17题，属于综合性、应用性题目。主要考查了动量定理、抛体运动等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、模型建构能力和推理论证能力。

(1)理解能力

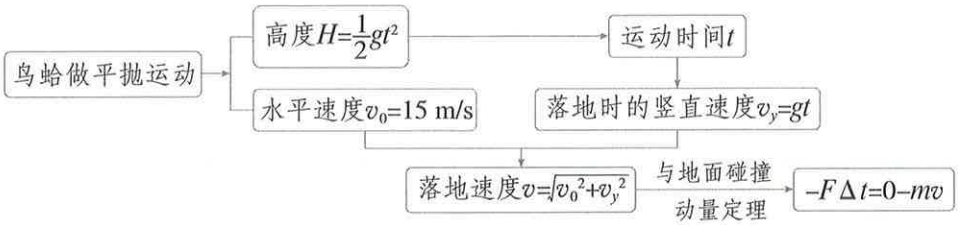
序号	关键表述	物理量及其关系
1	水平飞行时，松开嘴巴让鸟蛤落到水平地面上。重力加速度g取10 m/s^2，忽略空气阻力	只受重力，鸟蛤做平抛运动
2	鸟蛤与地面的碰撞时间$\Delta t=0.005$ s，弹起速度可忽略，碰撞过程中不计重力	动量定理 $-F\Delta t=0-mv$

(2)模型建构能力

关键信息	破题关键	建构模型
鸟蛤从被释放到落地的运动过程	分清物理过程的类型及此类型的特点及遵循的物理规律	平抛运动模型，将鸟蛤的运动分解为水平方向上的匀速直线运动和竖直方向上的自由落体运动

(3)推理论证能力

第(1)问中，利用平抛运动求落地前速度，利用动量定理求作用力。



第(2)问，临界情况的讨论。分别求出最小速度和最大速度飞行时落在石头上的释放区间，取交集。

序号	项目	内容
1	速度为 $v_1=15$ m/s 时的释放区间	飞行的高度仍为 20 m，所以鸟蛤运动时间依然为 $t=2$ s 水平方向的位移 $x_1=v_1t=30$ m 落到岩石最左端时，释放点的位置坐标为 x_1，落到最右端时，释放点的位置坐标为 x_1+L，释放点的坐标区间[30 m,36 m]
2	速度为 $v_2=17$ m/s 时的释放区间	与上同理可得 释放点的坐标区间[34 m,40 m]
3	释放鸟蛤位置的 x 坐标范围	取交集 [34 m,36 m]

【解题过程】(1)设平抛运动的时间为 t，鸟蛤落地前瞬间的速度大小为 v，竖直方向分速度大小为 v_y，根据运动学公式和运动的合成与分解得

$$H=\frac{1}{2}gt^2 \quad ①$$

$$v_y=gt \quad ②$$

$$v=\sqrt{v_0^2+v_y^2} \quad ③$$

在碰撞过程中，以鸟蛤为研究对象，取速度 v 的方向为正方向，由动量定理得

$$-F\Delta t=0-mv \quad ④$$

联立，代入数据得 $F=500$ N。 ⑤

(2)若释放鸟蛤的初速度为 $v_1=15$ m/s，设击中岩石左端时，释放点的 x 坐标为 x_1，击中右端时，释放点的 x 坐标为 x_2，得 $x_1=v_1t$，$x_2=x_1+L$ ⑥

联立，代入数据得 $x_1=30$ m，$x_2=36$ m ⑦

若释放鸟蛤时的初速度为 $v_2=17$ m/s，设击中岩石左端时，释放点的 x 坐标为 x_1'，击中右端时，释放点的 x 坐标为 x_2'，得 $x_1'=v_2t$，$x_2'=x_1'+L$

联立，代入数据得 $x_1'=34$ m，$x_2'=40$ m ⑧

综上得 x 坐标区间为[34 m,36 m] ⑨

评分参考：每式 1 分。

【答案】(1)500 N　(2)[34 m,36 m]

【失分剖析】①在利用动量定理解决碰撞过程中鸟蛤受到的平均作用力时，不能正确求出合速度，容易只考虑鸟蛤竖直方向的速度；②在确定释放点的位置坐标时，考生容易错误理解一定打到岩石上的条件，认为坐标是两个速度下释放坐标的并集。

命题规律

1. 多维度细目表

高考试题（年份/卷别/题号）			2023				2022			2021
			全国乙,25	山东,18	广东,15	湖南,15	全国乙,20	全国乙,25	山东,18	山东,16
考查内容	必备知识	牛顿运动定律、匀变速直线运动及其公式	√	√	√		√	√	√	√
		动能定理、功能关系、能量守恒定律	√	√	√	√	√	√	√	
		动量定理、动量守恒定律及其应用	√	√	√	√	√	√	√	√
	关键能力	理解能力	√	√		√	√	√	√	√
		推理论证能力	√	√	√	√	√	√	√	√
		模型建构能力		√	√			√	√	√
		实验探究能力								
		创新能力								
	学科素养	物理观念	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学思维	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学探究								
		科学态度与责任								
考查要求		基础性								
		综合性	√	√	√	√	√	√	√	√
		应用性								√
		创新性				√				
情境载体		生活实践问题情境								√
		学习探索问题情境	√	√	√	√	√	√	√	

2. 命题趋势

这部分知识的考查主要以计算题的形式出现，计算题以中等以上难度题目为主，绝大多数考题考查的都是理解能力、推理论证能力和模型建构能力，重点考查物理观念和科学思维，2024年高考大概率以综合性计算题的形式考查，需要结合牛顿运动定律、功和能、动量守恒定律等物理观念解决问题，考查考生的综合分析能力，难度会比较大。

3. 备考策略

(1)注意一题多解能力的培养训练，尤其是匀变速直线运动与动能定理结合的问题。

(2)注意动量和能量的结合，力学部分的综合题目一般都会结合这两种物理观念来解决问题。

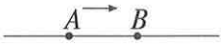
(3)多过程问题的考查是考试的热点，要注意提升结合运动草图条理分析运动过程的能力。

专题五　机械振动与机械波

题组一　简谐运动

本题组涉及简谐运动的基本概念和规律、简谐运动的位移时间关系式的应用、位移—时间图像等知识点。高考中单独考查简谐运动的题型较少出现。

1.（多选）(2023 山东卷，10)如图所示，沿水平方向做简谐振动的质点，依次通过相距 L 的 A、B 两点。已知质点在 A 点的位移大小为振幅的一半，B 点位移大小是 A 点的$\sqrt{3}$倍，质点经过 A 点时开始计时，t 时刻第二次经过 B 点，该振动的振幅和周期可能是(　　)



A. $\frac{2L}{\sqrt{3}-1}$，$3t$　　B. $\frac{2L}{\sqrt{3}-1}$，$4t$　　C. $\frac{2L}{\sqrt{3}+1}$，$\frac{12}{5}t$　　D. $\frac{2L}{\sqrt{3}+1}$，$\frac{12}{7}t$

【试题立意】本题以水平方向的简谐振动为素材创设研究质点振动规律的学习探索问题情境，此情境曾在 2021 年河北卷第 16 题出现过。主要考查简谐运动、简谐运动的公式等知识点。

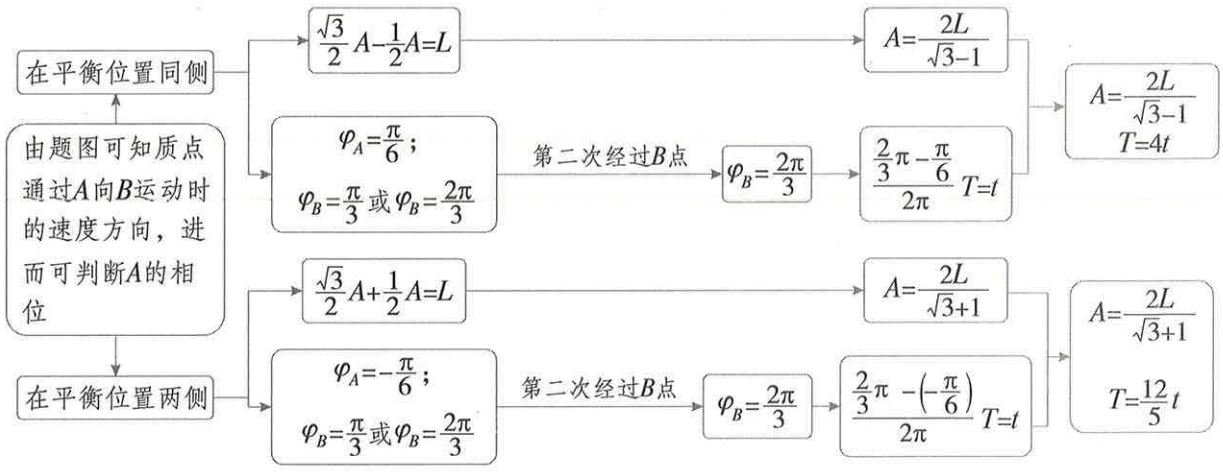
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

对题干表述的理解

序号	关键表述	物理量及其关系
1	相距 L 的 A、B 两点，质点在 A 点的位移大小为振幅的一半，B 点位移大小是 A 点的$\sqrt{3}$倍	当 A、B 两点在平衡位置的同侧时有$\frac{\sqrt{3}}{2}A-\frac{1}{2}A=L$ 当 A、B 两点在平衡位置两侧时有$\frac{\sqrt{3}}{2}A+\frac{1}{2}A=L$
2	质点经过 A 点时开始计时，t 时刻第二次经过 B 点	通过 A、B 的位移判断相位差 $\Delta\varphi$，$\Delta\varphi=\omega t=\frac{2\pi}{T}t$

(2)推理论证能力



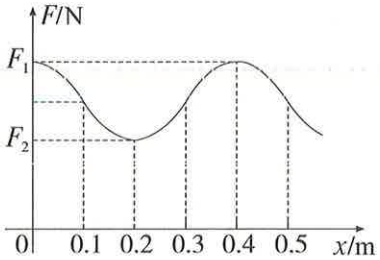
【答案】BC

【失分剖析】①没有将 A、B 相对于平衡位置的关系分情况求解；②没有注意题干中的箭头，导致质点从 A 点运动时的方向不清，分情况过多。

2. [2022 湖南卷，16(1)]下端附着重物的粗细均匀木棒，竖直浮在河面，在重力和浮力作用下，沿竖直方向做频率为 1 Hz 的简谐运动；与此同时，木棒在水平方向上随河水做匀速直线运动，如图甲所示。以木棒所受浮力 F 为纵轴，木棒水平位移 x 为横轴建立直角坐标系，浮力 F 随水平位移 x 的变化如图乙所示。已知河水密度为 ρ，木棒横截面积为 S，重力加速度大小为 g。下列说法正确的是_____。(填正确标号)



甲



乙

A. x 从 0.05 m 到 0.15 m 的过程中，木棒的动能先增大后减小

B. x 从 0.21 m 到 0.25 m 的过程中，木棒加速度方向竖直向下，大小逐渐变小

C. $x=0.35$ m 和 $x=0.45$ m 时，木棒的速度大小相等，方向相反

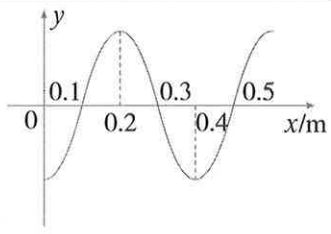
D. 木棒在竖直方向做简谐运动的振幅为 $\dfrac{F_1-F_2}{2\rho Sg}$

E. 木棒的运动为向 x 轴正方向传播的机械横波，波速为 0.4 m/s

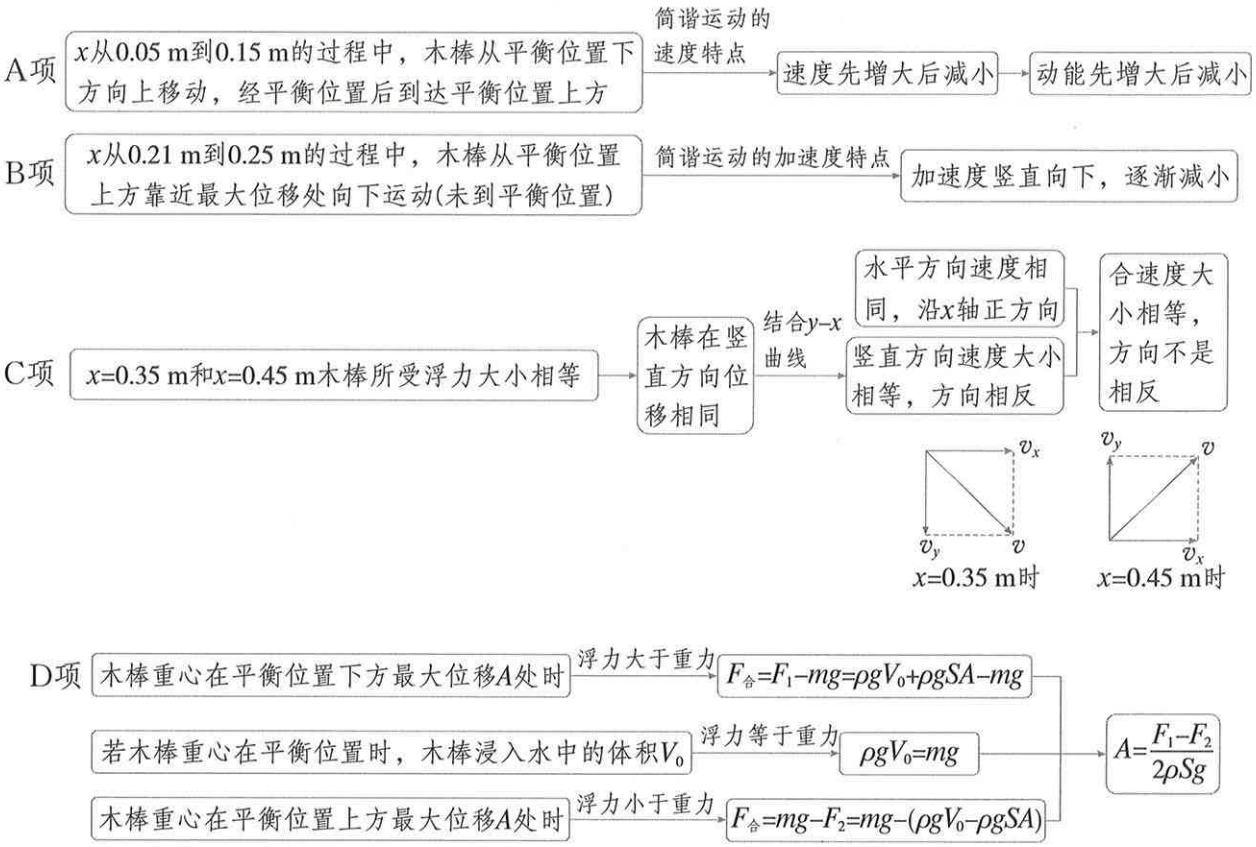
【试题立意】本题以木棒在水面上的简谐运动为素材创设研究简谐运动规律的学习探索问题情境，同源情境在教材中有体现，如人教版教材选择性必修第一册第 35 页第 1 题图 2.1-5，以及第 45 页第 2(1)题图 2.3-3。主要考查了简谐运动、运动的合成与分解等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	图像信息	物理量及其关系
1	在 0 和 0.4 m 时浮力最大	木棒运动到最低点，在向下的最大位移处
2	在 0.2 m 时浮力最小	木棒运动到最高点，在向上的最大位移处
3	木棒所受浮力的周期性变化	木棒在水平方向上随河水做匀速直线运动，结合简谐运动的对称性，确定 0.1 m、0.3 m、0.5 m 时木棒处于平衡位置
4	$F-x$ 曲线	转化为 $y-x$ 曲线，即振动位移随向前匀速移动距离的变化曲线 

(2)推理论证能力



E项：木棒上各质点的运动情况是相同的，木棒的运动并不是振动形式在不同质点间的传递，因此不能看成向x轴正方向传播的机械横波。

【答案】ABD

【失分剖析】①不能正确地将浮力随水平方向位移的变化关系转化为木棒重心在竖直方向上位移随水平方向位移的变化关系；②不能准确分析和表示回复力，进而不能正确求出振幅。

方法点拨

①熟练掌握简谐运动的各个物理量随位移变化而变化的规律，理解简谐运动的周期性和对称性；

②简谐运动的位移和时间与相位密切关联，求解任意时刻的位移以及对应的时刻时要转化成相位(三角函数的角度)进行求解。

题组二　波的传播与图像

本题组涉及波长、频率、波速等概念以及波的图像、波的干涉等知识点，其中波形图为主要考查形式，是高考的高频考点。

3.(2023全国新课标卷，14)船上的人和水下的潜水员都能听见轮船的鸣笛声。声波在空气中和在水中传播时的(　　)

A. 波速和波长均不同　　B. 频率和波速均不同

C. 波长和周期均不同　　D. 周期和频率均不同

【试题立意】本题以声波在不同介质中的传播为素材创设生活实践问题情境，此情境曾在2017年江苏卷第12题出现过。主要考查机械波的波速、波长、周期(频率)等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力。

对概念和规律的理解应用

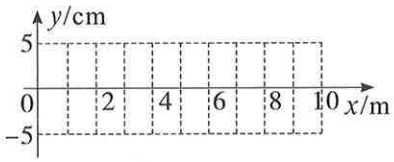
序号	概念、规律	理解应用
1	波的周期、频率	机械波的各个质点除波源外都做受迫振动，波的周期和频率由波源决定，与介质无关
2	波速	决定于介质
3	波长	$\lambda=vT$，波长决定于波速和周期

【答案】A

【失分剖析】没有记住描述波的各个物理量的决定因素。

4.[2023全国甲卷，34(2)]分别沿x轴正向和负向传播的两列简谐横波P、Q的振动方向相同，振幅均为5 cm，波长均为8 m，波速均为4 m/s。$t=0$时刻，P波刚好传播到坐标原点，该处的质点将自平衡位置向下振动；Q波刚好传到$x=10$ m处，该处的质点将自平衡位置向上振动。经过一段时间后，两列波相遇。

(ⅰ)在给出的坐标图上分别画出P、Q两列波在$t=2.5$ s时刻的波形图(P波用虚线，Q波用实线)；



(ⅱ)求出图示范围内的介质中，因两列波干涉而振动振幅最大和振幅最小的平衡位置。

【试题立意】本题以两列波相向传播并叠加为素材创设学习探索问题情境，此情境曾在2022年浙江卷第15题出现过。主要考查机械波的图像和干涉问题。

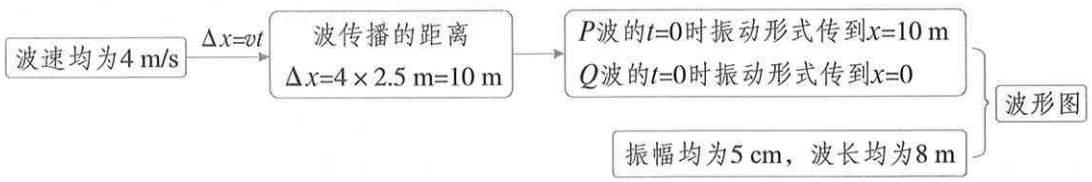
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	波速均为4 m/s	在$t=2.5$ s时刻波传播的距离$\Delta x=vt$
2	$t=0$时刻，P波刚好传播到坐标原点，该处的质点将自平衡位置向下振动；Q波刚好传到$x=10$ m处，该处的质点将自平衡位置向上振动	若分别以$x=0$、$x=10$ m为波源，则波源起振方向相反，则两波叠加时，振动加强点的条件为到两波源的距离差$\Delta x=\frac{(2n+1)\lambda}{2}(n=0,1,2,\cdots)$ 振动减弱点的条件为$\Delta x=n\lambda(n=0,1,2,\cdots)$

(2)推理论证能力

第(ⅰ)问

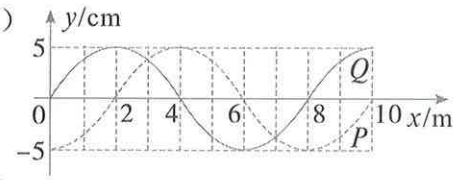


第(ⅱ)问

若分别以$x=0$、$x=10\ \text{m}$为波源，则波源振动方向相反

- 振动加强点的条件为到两波源的距离差 $\Delta x=\dfrac{(2n+1)\lambda}{2}(n=0,1,2,\cdots)$ → $\Delta x=\lvert(10-x)-x\rvert\ (0<x<10\ \text{m})$ → 振幅最大的平衡位置有 $x=3\ \text{m}$、$x=7\ \text{m}$
- 振动减弱点的条件为 $\Delta x=n\lambda(n=0,1,2,\cdots)$ → $\Delta x=\lvert(10-x)-x\rvert\ (0<x<10\ \text{m})$ → 振幅最小的平衡位置有 $x=1\ \text{m}$、$x=5\ \text{m}$、$x=9\ \text{m}$

【答案】(ⅰ)



(ⅱ)振幅最大的平衡位置有 $x=3\ \text{m}$、$x=7\ \text{m}$

振幅最小的平衡位置有 $x=1\ \text{m}$、$x=5\ \text{m}$、$x=9\ \text{m}$

【失分剖析】审题不清，没有注意到两波源的振动方向相反，导致加强点和减弱点求反。

5.(2023 广东卷，4)渔船常用回声探测器发射的声波探测水下鱼群与障碍物。声波在水中传播速度为 1 500 m/s，若探测器发出频率为 1.5×10^6 Hz 的声波，下列说法正确的是(　　)

A. 两列声波相遇时一定会发生干涉

B. 声波由水中传播到空气中，波长会改变

C. 该声波遇到尺寸约为 1 m 的被探测物时会发生明显衍射

D. 探测器接收到的回声频率与被探测物相对探测器运动的速度无关

【试题立意】本题以回声探测器发射的声波探测水下鱼群与障碍物为素材创设生活实践问题情境，主要考查机械波的波速、波长、周期(频率)、波的干涉、多普勒效应等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力。

对概念和规律的理解应用

序号	概念、规律	理解应用
1	波长、频率、波速	波的周期和频率决定于波源，波速决定于介质，$\lambda=vT$，波长决定于波速和周期，所以当声波由水中传播到空气中，周期不变，波速改变导致波长改变
2	干涉、衍射	两列波能发生干涉的必要条件：频率相同。而频率决定于波源，即发出声音的物体。 $\lambda=vT=10^{-3}\ \text{m}$，远小于 1 m，不能发生明显衍射
3	多普勒效应	当波源与被探测物在沿波的传播方向上有相对运动时，会发生多普勒效应，使回声频率发生改变

【答案】B

【失分剖析】没有全面理解关于波的各个概念和规律。

6.[2022 全国乙卷，34(1)]介质中平衡位置在同一水平面上的两个点波源 S_1 和 S_2，二者做简谐运动的振幅相等，周期均为 0.8 s。当 S_1 过平衡位置向上运动时，S_2 也过平衡位置向上运动。若波速为 5 m/s，则由 S_1 和 S_2 发出的简谐横波的波长均为_____ m。P 为波源

平衡位置所在水平面上的一点，与 S_1、S_2 平衡位置的距离均为 10 m，则两波在 P 点引起的振动总是相互_____（选填“加强”或“削弱”）的；当 S_1 恰好在平衡位置向上运动时，平衡位置在 P 处的质点_____（选填“向上”或“向下”）运动。



图 3.4-8

【试题立意】本题以波的干涉为素材创设研究波的干涉条件及干涉规律的学习探索问题情境，人教版教材选择性必修第一册第 78 页第 4 题图 3.4-8 有类似素材。主要考查了波速、波长与周期（或频率）的关系以及波的干涉等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力。

序号	关键表述	物理量及其关系
1	周期均为 0.8 s，波速为 5 m/s	波长 $\lambda=vT=5\times0.8\ \text{m}=4\ \text{m}$
2	S_1、S_2 同时经过平衡位置向上运动，P 为波源平衡位置所在水平面上的一点，与 S_1、S_2 平衡位置的距离相等	S_1、S_2 两点振动方向相同，且 $S_1P=S_2P$，故 P 点为振动加强点
3	$S_1P=10\ \text{m}$	$\frac{S_1P}{\lambda}=\frac{10}{4}=2.5$，$P$ 与 S_1 相差 2.5 个波长，两点振动方向相反，当 S_1 恰好在平衡位置向上运动时，平衡位置在 P 处的质点向下运动

【答案】4　加强　向下

7.[2021 全国甲卷，34(2)]均匀介质中质点 A、B 的平衡位置位于 x 轴上，坐标分别为 $x_A=0$ 和 $x_B=16$ cm。某简谐横波沿 x 轴正方向传播，波速为 $v=20$ cm/s，波长大于 20 cm，振幅为 $y_0=1$ cm，且传播时无衰减。$t=0$ 时刻 A、B 偏离平衡位置的位移大小相等、方向相同，运动方向相反，此后每隔 $\Delta t=0.6$ s 两者偏离平衡位置的位移大小相等、方向相同。已知在 t_1 时刻（$t_1>0$），质点 A 位于波峰。求：

（ⅰ）从 t_1 时刻开始，质点 B 最少要经过多长时间位于波峰；

（ⅱ）t_1 时刻质点 B 偏离平衡位置的位移。

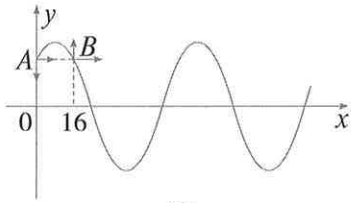
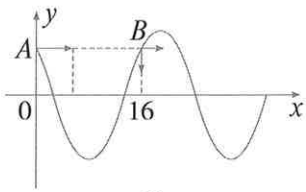
【试题立意】本题以机械波的传播为素材创设研究质点振动情况的学习探索问题情境，此情境在 2023 年湖北卷第 7 题出现过，主要考查机械波、横波的图像、简谐运动的公式以及波速、波长和频率（周期）的关系等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

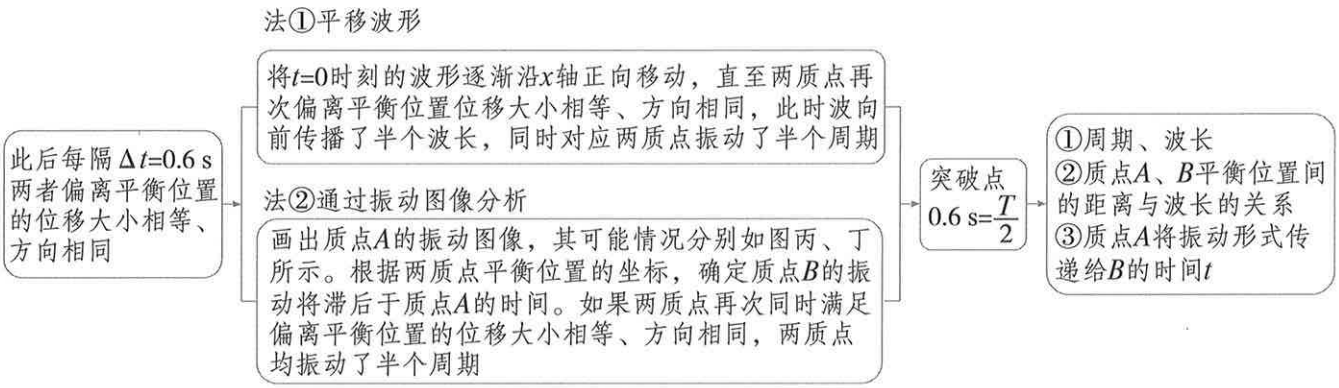
序号	关键表述	物理量及其关系
1	简谐横波沿 x 轴正方向传播，传播时无衰减	机械波振幅保持不变，恒为 $y_0=1$ cm
2	均匀介质中质点 A、B 的平衡位置位于 x 轴上，坐标分别为 $x_A=0$ 和 $x_B=16$ cm……波长大于 20 cm	A、B 两质点的平衡位置之间的距离为 16 cm，不足一个波长，波从 A 传播到 B 的时间不足一个周期

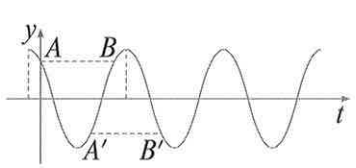
续表

序号	关键表述	物理量及其关系
3	$t=0$ 时刻，A、B 偏离平衡位置的位移大小相等、方向相同，运动方向相反	画出 $t=0$ 时刻的波形，若 A、B 两质点的位移为正方向，则对应位置及相关波形如图甲、乙所示  甲  乙

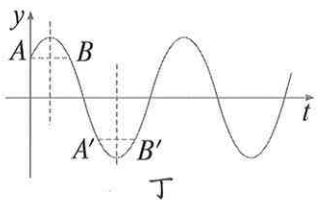
(2)推理论证能力

第(ⅰ)问



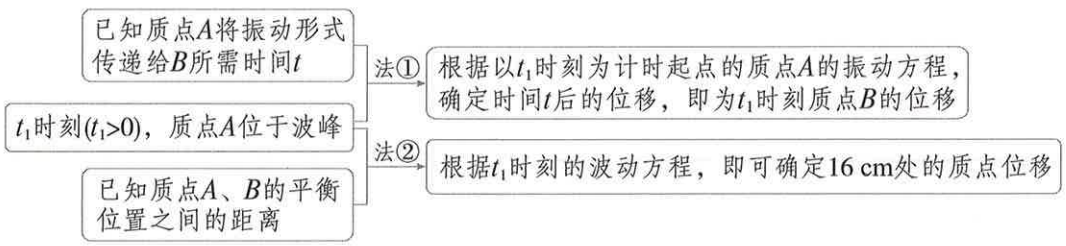


丙



丁

第(ⅱ)问



【解题过程】(ⅰ)分析可得 $0.6\ \text{s}=\dfrac{T}{2}$，$T=1.2\ \text{s}$　①

又因为 $v=20\ \text{cm/s}$，则 $\lambda=vT=20\times1.2\ \text{cm}=24\ \text{cm}$　②

A、B 两点平衡位置之间的距离 $x_{AB}=\dfrac{16}{24}\lambda=\dfrac{2}{3}\lambda$　③

t_1 时刻质点 A 处于正方向最大位移处，从 t_1 时刻开始，振动状态从 A 传到 B 需要 $t=\dfrac{2}{3}T=0.8\ \text{s}$。　④

(ⅱ)方法一:从 t_1 时刻开始,质点 A 的振动方程为 $y_A=y_0\cos\frac{2\pi}{T}t$ ⑤

质点 B 的振动落后质点 A 的时间 $t=\frac{2}{3}T=0.8\ \mathrm{s}$ ⑥

则 $y_B=y_0\cos\frac{2\pi}{1.2}\times 0.8\ \mathrm{cm}=\cos\frac{4\pi}{3}\ \mathrm{cm}=-\frac{1}{2}\ \mathrm{cm}$ ⑦

方法二:t_1 时刻的波动方程 $y=y_0\cos\frac{2\pi}{\lambda}x$ ⑧

则 $y_B=\cos\frac{2\pi}{24}\times 16\ \mathrm{cm}=\cos\frac{4\pi}{3}\ \mathrm{cm}=-\frac{1}{2}\ \mathrm{cm}$ ⑨

评分参考:若采取方法一,①④⑤各 2 分,其他各 1 分。若采取方法二,①④⑧⑨各 2 分,其他各 1 分。

【答案】(ⅰ)0.8 s (ⅱ)$-\frac{1}{2}$ cm

【失分剖析】不能应用逻辑推理确定 $\Delta t=0.6$ s 与周期的关系,从而不能打开解决这个问题的突破口。

方法点拨

①波的周期、频率决定于波源,波速决定于介质,波长可根据 $\lambda=vT$ 计算。

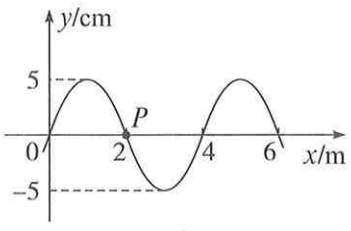
②机械波传播的距离即为波形图平移的距离,波每经过一个周期传播一个波长,传播的距离与时间相对应,要注意波的传播方向和波形图重合带来的多解问题。

③利用质点与两波源的距离差判断振动加强减弱情况。

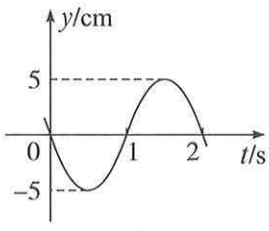
题组三 波的图像与振动图像的关联应用

本题组为振动和波的综合考查问题,题型以波的图像与振动图像的关联应用为主,考查学生的综合能力。山东高考对此类题型考查较为集中。

8.[2023 全国乙卷,34(1)]一列简谐横波沿 x 轴传播,图甲是 $t=0$ 时刻的波形图;P 是介质中位于 $x=2$ m 处的质点,其振动图像如图乙所示。下列说法正确的是_____。(填正确标号)



甲



乙

A. 波速为 2 m/s

B. 波向左传播

C. 波的振幅是 10 cm

D. $x=3$ m 处的质点在 $t=7$ s 时位于平衡位置

E. 质点 P 在 0~7 s 时间内运动的路程为 70 cm

【试题立意】本题以波形图和质点的振动图像为素材创设研究波的传播和质点振动规律的

学习探索问题情境，主要考查机械波，横波的图像，简谐运动的图像以及波速、波长和频率（周期）的关系等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力。

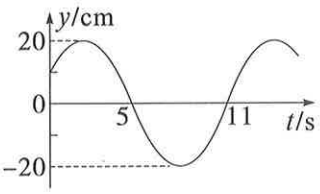
对图像的理解

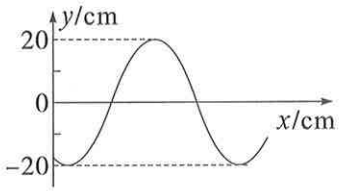
序号	图像信息	物理量及其关系
1	甲图可得波长为 4 m，乙图可得周期为 2 s	波速为 $v=\frac{\lambda}{T}=2$ m/s
2	乙图可得 $t=0$ 时刻 P 点向 y 轴负方向振动，结合甲图 P 点的位置	波向左传播
3	$t=0$ 时，$x=3$ m 处的质点位于波谷	7 s$=3T+\frac{T}{2}$，所以 7 s 时，该质点位于波峰
4	$t=0$ 时，质点 P 位于平衡位置	7 s 内质点 P 通过的路程 $s=14A=70$ cm

【答案】ABE

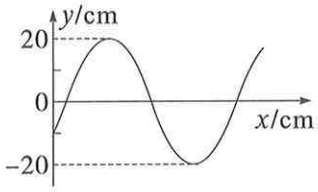
【失分剖析】与机械波相关的概念规律理解不到位导致出错。

9.（多选）(2022 山东卷，9)一列简谐横波沿 x 轴传播，平衡位置位于坐标原点的质点振动图像如图所示。当 $t=7$ s 时，下列简谐波的波形可能正确的是（　　）

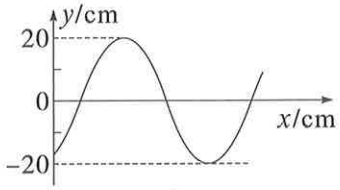




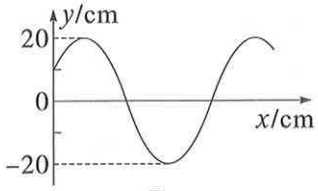
A



B



C



D

【试题立意】本题以质点的振动图像为素材创设确定某时刻波形的学习探索问题情境，此情境曾在 2020 年山东卷第 4 题出现过，主要考查了简谐运动的公式和图像、横波的图像等知识点。

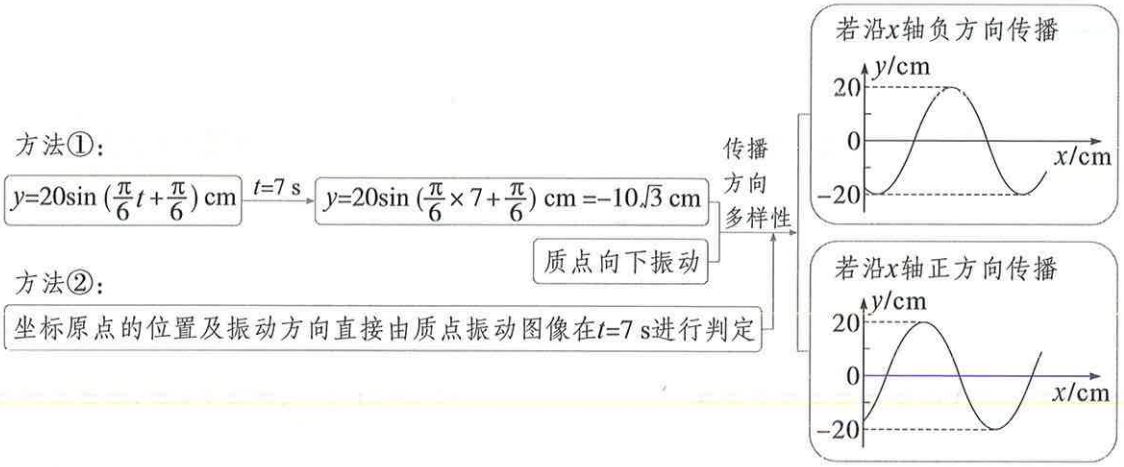
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	图像信息	物理量及其关系
1	根据平衡位置位于坐标原点的质点振动图像，获取信息：振幅 $A=20$ cm，周期 $T=2\times(11-5)$ s$=12$ s，$t=0$ 时的位移 $y=10$ cm	根据振动方程的一般表达式 $y=A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t+\varphi\right)$，确定平衡位置位于坐标原点的质点的振动方程 $y=20\sin\left(\frac{\pi}{6}t+\frac{\pi}{6}\right)$ cm
2	$t=7$ s 时质点位置	质点向下振动

(2)推理论证能力

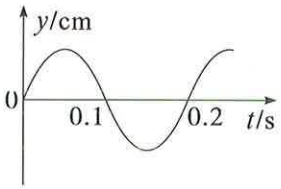
通过分析 $t=7$ s 时位于坐标原点的质点的位移及振动方向确定波形。



【答案】AC

【失分剖析】①不能灵活应用质点的振动方程分析质点在 7 s 时的位移;②不能熟练根据波形判断质点的振动情况。

10. [2022 河北卷,16(1)]一列简谐横波沿 x 轴正方向传播,波速为 10 m/s。在传播方向上有 P、Q 两质点,坐标分别为 $x_P=1$ m,$x_Q=6$ m。波传播到 P 点开始计时,该点的振动图像如图所示,则简谐波的波长为_____ m,经过_____ s,Q 点第一次到达正向最大位移处。



【试题立意】本题以波的传播为素材创设学习探索问题情境,主要考查简谐运动的图像,机械波以及波速、波长和周期的关系等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	图像信息	物理量及其关系
1	0 时刻,P 点从平衡位置向上振动	Q 点起振方向与 P 点相同,从平衡位置向上振动
2	振动周期 0.2 s	波长 $\lambda=vT=10\times0.2$ m$=2$ m

(2)推理论证能力

P、Q 两质点坐标分别为 $x_P=1$ m,$x_Q=6$ m,则两点相距 $s_{PQ}=5$ m$=2.5\lambda$。0 时刻,P 点从平衡位置向上振动,振动形式传递到 Q 点需要时间 $t_1=2.5T=0.5$ s,Q 点由平衡位置向上振动到第一次到达正向最大位移处需要时间 $t_2=0.25T=0.05$ s,所需总时间 $t=t_1+t_2=0.55$ s。

【答案】2　0.55

【失分剖析】不能从质点的振动图像中获取有效信息,不能将其应用于波的传播规律中。

命题规律

1. 多维度细目表

高考试题（年份/卷别/题号）			2023					2022				2021
			全国新课标，14	全国甲，34(2)	全国乙，34(1)	山东，10	广东，4	全国乙，34(1)	山东，9	河北，16(1)	湖南，16(1)	全国甲，34(2)
考查内容	必备知识	简谐运动、简谐运动的公式和图像			√	√			√	√	√	√
		单摆、周期公式										
		受迫振动和共振										
		机械波、横波和纵波	√	√	√		√	√	√	√		√
		横波的图像		√	√				√			√
		波速、波长和频率（周期）的关系	√		√		√	√		√		√
		波的干涉和衍射现象		√			√	√				
		多普勒效应					√					
		电磁波的产生，电磁波的发射、传播和接收，电磁波谱										
		狭义相对论的基本假设、质能关系										
	关键能力	理解能力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		推理论证能力		√		√			√	√	√	√
		模型建构能力										
		实验探究能力										
		创新能力										
	学科素养	物理观念	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学思维	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学探究										
		科学态度与责任										

续表

高考试题（年份/卷别/题号）		2023					2022				2021
		全国新课标，14	全国甲，34(2)	全国乙，34(1)	山东，10	广东，4	全国乙，34(1)	山东，9	河北，16(1)	湖南，16(1)	全国甲，34(2)
考查要求	基础性	√		√	√	√	√	√	√		
	综合性		√							√	√
	应用性										
	创新性										
情境载体	生活实践问题情境	√				√					
	学习探索问题情境		√	√	√		√	√	√	√	√

2. 命题趋势

考查项目	考查特点
命题类型	经常以选择题、填空题或计算题形式考查
必备知识	振动图像和波的图像，描述振动和波形的物理量及其关系，简谐运动的规律，波的产生和传播规律
关键能力	理解能力和推理论证能力
学科素养	物理观念和科学思维
考查要求	注重基础性和综合性
考查载体	多为源于教材的学习探索问题情境

针对本专题，2024 年高考大概率以图像为载体考查振动图像、波的图像、波的周期性和多解性。简谐运动的位移公式、波的形成和传播规律与波速公式的结合问题仍会是考查的重点，波的干涉、衍射、多普勒效应等机械波的特性问题也将是考查点。题型可能为选择题，也可能为计算题。

3. 备考策略

本专题备考中要牢记知识和规律，加强训练，特别注意以下两点：

(1)理解波的图像和振动图像的相互转化，根据振动图像判断振动方向，根据波的图像确定波的传播方向、传播时间等。

(2)关注结合简谐运动图像及波的图像考查波传播的多解问题，以及相干波的叠加问题等。

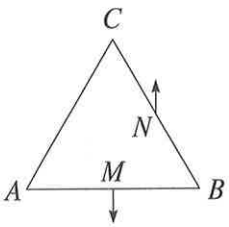
专题六　电场和磁场

第1讲　电场及粒子在电场中的运动

题组一　静电力的性质

静电力的性质主要考查库仑定律，会利用平衡条件或牛顿第二定律解答电荷平衡或运动问题，电场强度的叠加问题，电场线的理解与应用。

1.(2023 全国乙卷，24)如图所示，等边三角形 ABC 位于竖直平面内，AB 边水平，顶点 C 在 AB 边上方，3 个点电荷分别固定在三角形的三个顶点上。已知 AB 边中点 M 处的电场强度方向竖直向下，BC 边中点 N 处的电场强度方向竖直向上，A 点处点电荷的电荷量的绝对值为 q。



(1)求 B 点处点电荷的电荷量的绝对值并判断 3 个点电荷的正负。

(2)求 C 点处点电荷的电荷量。

【试题立意】本题以点电荷形成的电场为素材创设探究静电力的性质的学习探索问题情境，此情境在 2023 年湖南卷第 5 题也出现了，教材中也出现过同源情境，如人教版教材必修第三册第 14 页图 9.3－3，9.3－4。主要考查电场强度、点电荷的电场强度、电场强度的叠加等知识点。

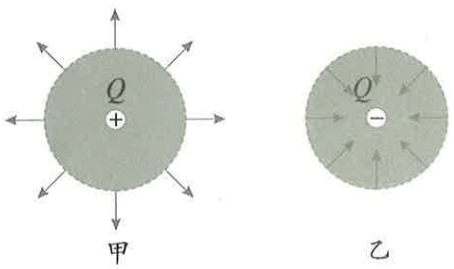


图 9.3－3　与点电荷相距 r 的球面上各点的电场强度

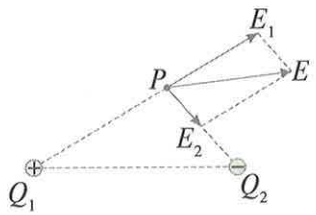


图 9.3－4　电场强度的叠加

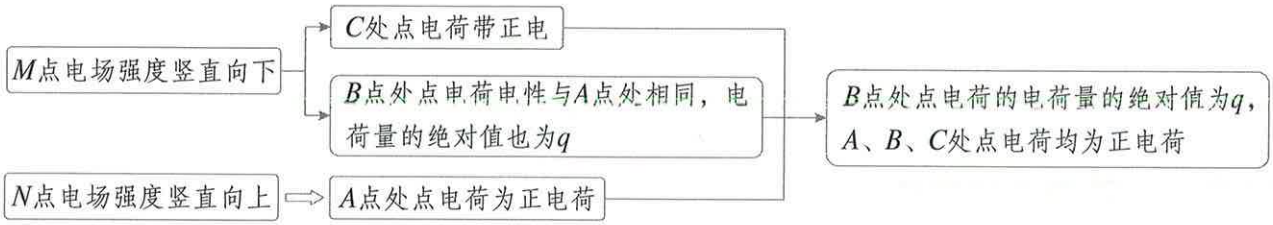
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

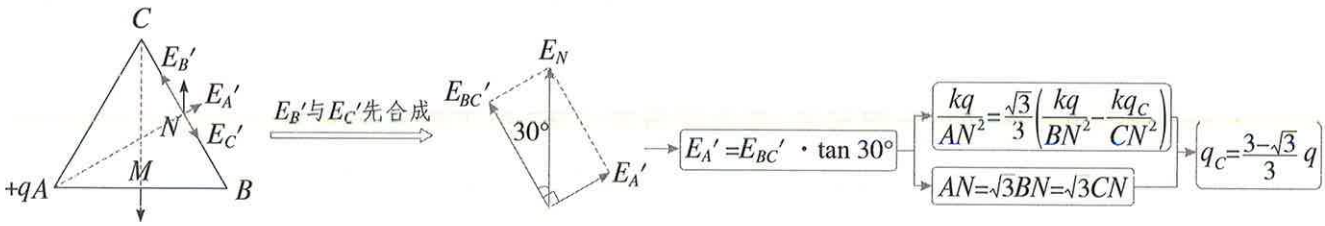
序号	关键表述	物理量及其关系
1	3 个点电荷分别固定在三角形的三个顶点上	M、N 两处的电场强度是由这 3 个点电荷单独在该点产生的电场强度的矢量和
2	点电荷	当点电荷带正电时，电场强度 E 的方向沿半径向外
		当点电荷带负电时，电场强度 E 的方向沿半径向内

(2)推理论证能力

第(1)问



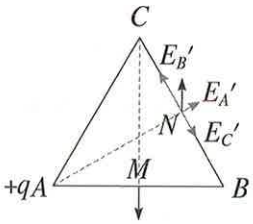
第(2)问



【解题过程】(1)因为 M 点电场强度竖直向下，则 C 点处点电荷为正电荷。 ①

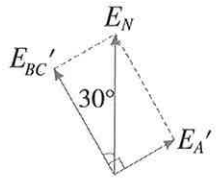
根据电场强度的叠加原理，可知 A、B 两点处的电荷在 M 点的电场强度大小相等、方向相反，则 B 点处点电荷的电荷量为 q，电性与 A 点处点电荷相同。 ②

又 N 点电场强度竖直向上，可得 A 处电荷在 N 点的电场强度垂直 BC 沿 AN 连线向右上，如图所示，可知 A 处电荷为正电荷，所以 A、B、C 处点电荷均为正电荷。 ③



(2)如图所示

由几何关系得 $E_A'=E_{BC}'\cdot\tan 30°$ ④



即 $\dfrac{kq}{AN^2}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}\left(\dfrac{kq}{BN^2}-\dfrac{kq_C}{CN^2}\right)$ ⑤

其中 $AN=\sqrt{3}BN=\sqrt{3}CN$ ⑥

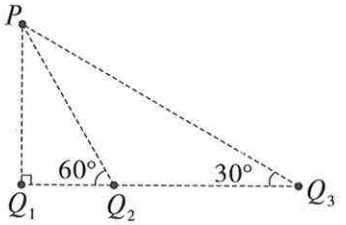
解得 $q_C=\dfrac{3-\sqrt{3}}{3}q$。 ⑦

评分参考：①③各 1 分，其他各 2 分。

【答案】(1)q　A、B、C 处均为正电荷　(2)$\dfrac{3-\sqrt{3}}{3}q$

【失分剖析】不能正确运用电场强度叠加原理来分析解决问题。

2.(2023 湖南卷，5)如图所示，真空中有三个点电荷固定在同一直线上，电荷量分别为 Q_1、Q_2 和 Q_3，P 点和三个点电荷的连线与点电荷所在直线的夹角分别为 90°、60°和 30°。若 P 点处的电场强度为零，$q>0$，则三个点电荷的电荷量可能为(　　)



A. $Q_1=q$，$Q_2=\sqrt{2}q$，$Q_3=q$

B. $Q_1=-q$，$Q_2=-\dfrac{4\sqrt{3}}{3}q$，$Q_3=-4q$

C. $Q_1=-q$，$Q_2=\sqrt{2}q$，$Q_3=-q$

D. $Q_1=q$，$Q_2=-\dfrac{4\sqrt{3}}{3}q$，$Q_3=4q$

【试题立意】本题以三个点电荷为素材创设求解电荷量的学习探索问题情境，此情境曾在2022年山东卷第3题出现过，主要考查电场强度、点电荷的电场强度等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

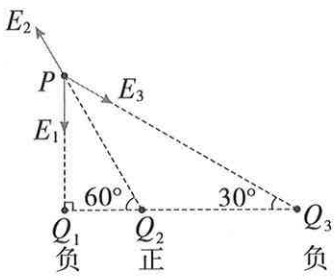
(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	真空中有三个点电荷固定在同一直线上	P点处的电场强度是由这三个点电荷单独在该点产生的电场强度的矢量和
2	点电荷	当点电荷带正电时，电场强度E的方向沿半径向外
		当点电荷带负电时，电场强度E的方向沿半径向内

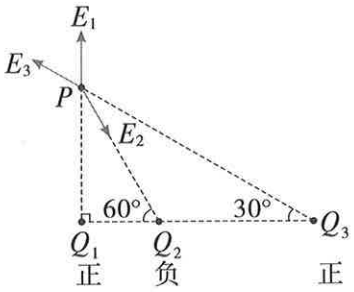
(2)推理论证能力

①关于三个点电荷电性的推理论证

根据讨论可知，电性只能满足下列两种情况之一，P点的电场强度才有可能为零，可以排除A、B两项。

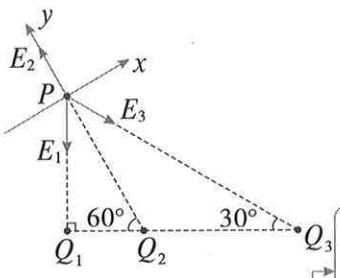


情况一



情况二

②关于三个点电荷电荷量的推理论证



以情况一为例，如图方向建立直角坐标系，设P点到Q_1的距离为r

沿x轴方向：$k\dfrac{|Q_1|}{r^2}\cdot\sin 30°=k\dfrac{|Q_3|}{(2r)^2}\cdot\sin 30°$

得$|Q_1|:|Q_3|=1:4$

沿y轴方向：$k\dfrac{|Q_2|}{\left(\frac{2}{\sqrt{3}}r\right)^2}=k\dfrac{|Q_1|}{r^2}\cdot\cos 30°+k\dfrac{|Q_3|}{(2r)^2}\cdot\cos 30°$

得$|Q_1|:|Q_2|:|Q_3|=1:\dfrac{4\sqrt{3}}{3}:4$

情况二的分析与情况一相同，故可以排除C项，可能正确的是D项

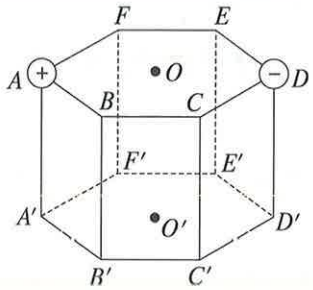
【答案】D

【失分剖析】①不会用排除法快速排除错误选项；②不会应用电场强度叠加原理求合电场强度。

题组二　电场能的性质

高考常对电场的能的性质进行考查，特别是电势差、电势能概念以及静电力做功与电势能的变化。此类问题的特点是概念抽象、知识点多、综合性强。

3.（多选）(2023 山东卷，11)如图所示，正六棱柱上下底面的中心为 O 和 O'，A、D 两点分别固定等量异种的点电荷，下列说法正确的是(　　)



A. F' 点与 C' 点的电场强度大小相等

B. B' 点与 E' 点的电场强度方向相同

C. A' 点与 F' 点的电势差小于 O' 点与 D' 点的电势差

D. 将试探电荷 $+q$ 由 F 点沿直线移动到 O 点，其电势能先增大后减小

【试题立意】本题以一对等量异种点电荷形成的电场为素材创设探究静电力的性质和能的性质的学习探索问题情境，此情境曾在 2022 年全国乙卷第 19 题出现过，教材中也出现过同源情境，如人教版必修第三册第 15 页的图 9.3－8。主要考查静电场、电场强度、点电荷的电场强度、电势能、电势等知识点。

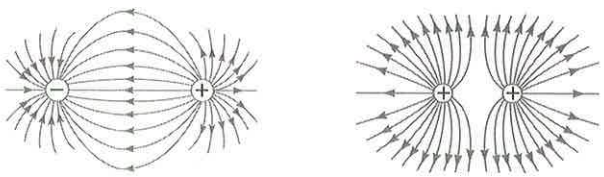


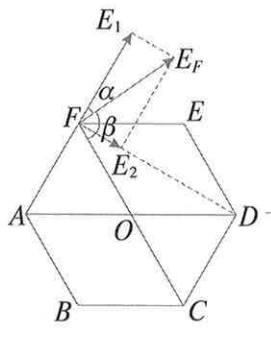
图 9.3－8　等量异种点电荷的电场线和等量同种点电荷的电场线

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

由等量异种电荷电场分布的对称性
- F' 点与 C' 点的电场强度大小相等，A项正确
- B' 点与 E' 点的电场强度方向不同，B项错误
- $\varphi_{A'}-\varphi_{F'}=\varphi_{C'}-\varphi_{D'}$
- $\varphi_{O'}>\varphi_{C'}$

$\varphi_{A'}-\varphi_{F'}<\varphi_{O'}-\varphi_{D'}$ → C项正确

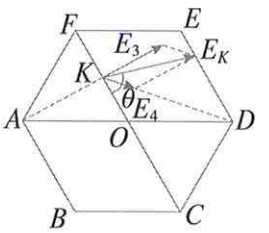
将六棱柱的上表面拿出来分析



先分析F点的电场强度方向，设正六边形的边长为l

$$\tan\alpha=\frac{k\frac{q}{(\sqrt{3}l)^2}}{k\frac{q}{l^2}}=\frac{1}{3}<\frac{\sqrt{3}}{3}$$

→ $\alpha<30°$，$\beta>90°$



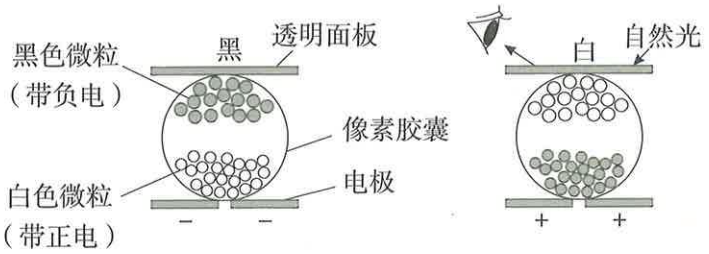
再分析OF中点K点电场强度方向，K点电场强度方向与OF夹角$\theta<90°$

→ 将试探电荷$+q$由F点沿直线移动到O点，静电力先做负功再做正功，电势能先增大后减小，D项正确

【答案】ACD

【失分剖析】不能正确分析等量异种电荷的电场在立体空间内的分布情况。

4.（多选）(2023 广东卷，9)电子墨水是一种无光源显示技术，它利用电场调控带电颜料微粒的分布，使之在自然光的照射下呈现出不同颜色。透明面板下有一层胶囊，其中每个胶囊都是一个像素。如图所示，胶囊中有带正电的白色微粒和带负电的黑色微粒。当胶囊下方的电极极性由负变正时，微粒在胶囊内迁移(每个微粒电量保持不变)，像素由黑色变成白色。下列说法正确的有(　　)



A. 像素呈黑色时，黑色微粒所在区域的电势高于白色微粒所在区域的电势

B. 像素呈白色时，黑色微粒所在区域的电势低于白色微粒所在区域的电势

C. 像素由黑变白的过程中，静电力对白色微粒做正功

D. 像素由白变黑的过程中，静电力对黑色微粒做负功

【试题立意】本题以无光源显示技术为素材创设探究电场能的性质的生活实践问题情境，此情境曾在 2021 年广东卷第 6 题出现过，主要考查静电场、电势、功等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

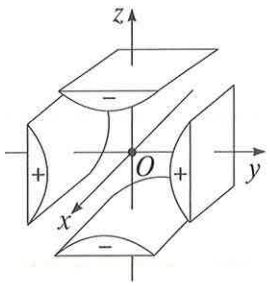
黑色微粒带负电 ⇒ 它静止时一定靠近带正电的极板 ⇒ 不论像素呈什么颜色，黑色微粒所在区域的电势一定高于白色微粒所在区域的电势。A项正确，B项错误

白色微粒、黑色微粒运动的方向都与各自所受静电力的方向相同 ⇒ 不论像素由黑变白、还是由白变黑的过程中，静电力对白色微粒、黑色微粒都做正功。C项正确，D项错误

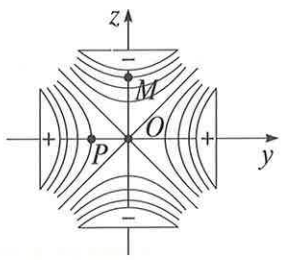
【答案】AC

【失分剖析】不能正确利用微粒迁移方向与所受静电力方向的关系判断做功的正负。

5.（多选）(2023 辽宁卷，9)图(a)为金属四极杆带电粒子质量分析器的局部结构示意图，图(b)为四极杆内垂直于 x 轴的任意截面内的等势面分布图，相邻两等势面间电势差相等，则(　　)



图(a)



图(b)

A. P 点电势比 M 点的低

B. P 点电场强度大小比 M 点的大

C. M 点电场强度方向沿 z 轴正方向

D. 沿 x 轴运动的带电粒子，电势能不变

【试题立意】本题以带电粒子质量分析器为素材创设探究静电力的性质和能的性质的学习探索问题情境，此情境曾在 2022 年重庆卷第 8 题出现过，主要考查静电场、电场强度、电势、电势能等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述/图像信息	物理量及其关系
1	P 点靠近带正电的极杆	P 点电势比 M 点的高,A 项错误
2	相邻两等势面间电势差相等,M 点的等势面密集	M 点电场强度比 P 点大,B 项错误
3	x 轴上各点电势相等	沿 x 轴运动的带电粒子,电势能不变,D 项正确

(2)推理论证能力

电场强度方向垂直于等势面
沿电场线方向电势逐渐降低
→ M点电场强度方向沿z轴正方向，C项正确

【答案】CD

【失分剖析】不会利用等差等势面的疏密情况判断电场强度的大小。

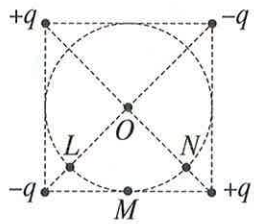
6.(多选)(2022 全国乙卷,19)如图所示,两对等量异种点电荷 $+q$、$-q$($q>0$)固定于正方形的 4 个顶点上,L、N 是该正方形两条对角线与其内切圆的交点,O 为内切圆的圆心,M 为切点。则(　　)

A. L 和 N 两点处的电场方向相互垂直

B. M 点的电场方向平行于该点处的切线,方向向左

C. 将一带正电的点电荷从 M 点移动到 O 点,静电力做正功

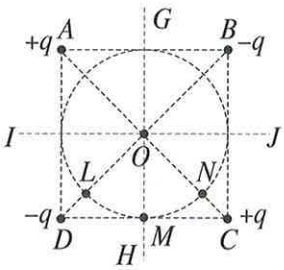
D. 将一带正电的点电荷从 L 点移动到 N 点,静电力做功为零



【试题立意】本题以两对等量异种点电荷形成的电场为素材创设探究电场的力的性质和能的性质的学习探索问题情境,此情境曾在 2021 年河北卷第 10 题出现过,人教版教材必修第三册第 15 页图 9.3-8 有类似素材。考查静电场、电场强度、点电荷的电场强度、电势能、电势等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

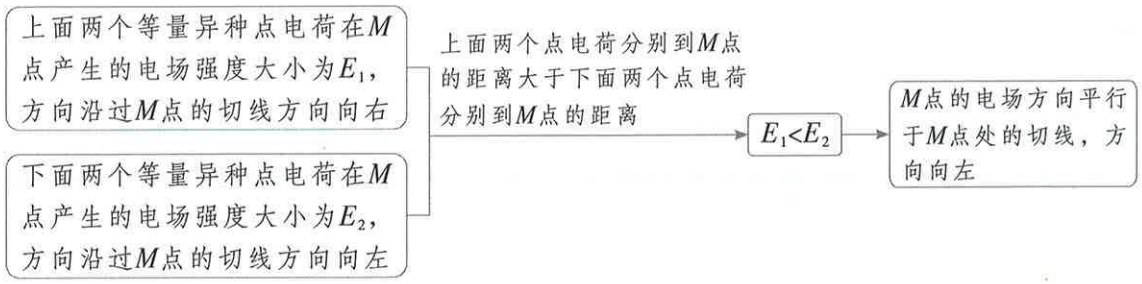
设正方形的四个顶点分别为 A、B、C、D,两平行边的中垂线分别为 GH 和 IJ。



A 项:在等量同种点电荷电场的基础上进行电场强度的叠加。

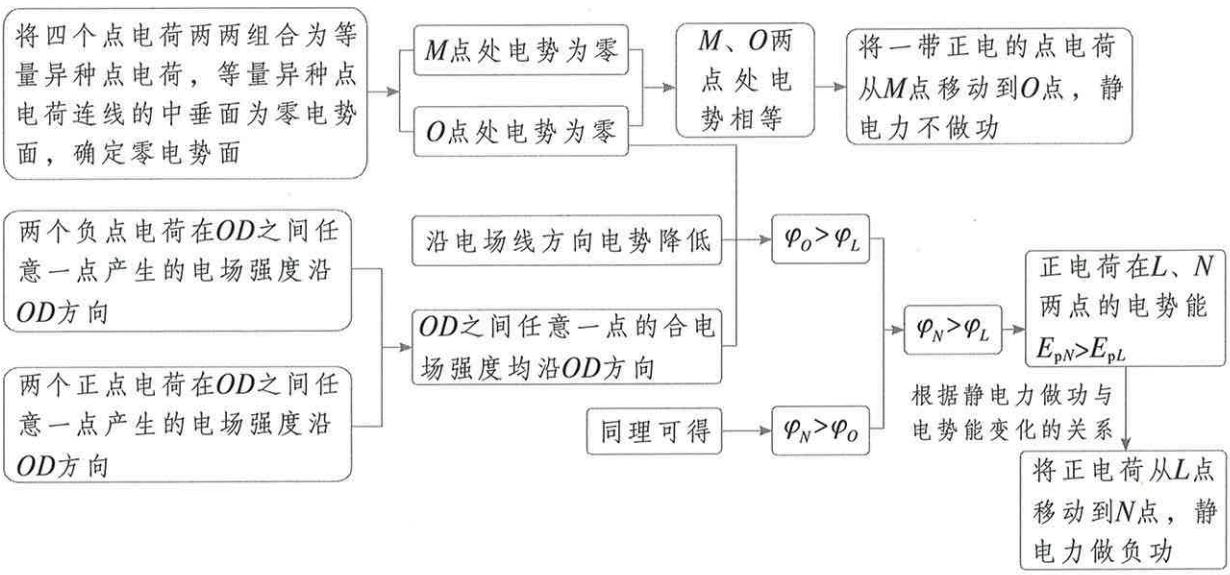
L点位于两个负点电荷的连线上 → 两个负点电荷在L点产生的电场强度沿OL方向
L点位于两个正点电荷连线的中垂线上 → 两个正点电荷在L点产生的电场强度沿OL方向
两个负点电荷在L点产生的电场强度沿OL方向、两个正点电荷在L点产生的电场强度沿OL方向 → 四个点电荷在L点产生的合电场强度沿OL方向
同理可得 → 四个点电荷在N点产生的合电场强度沿NO方向
四个点电荷在L点产生的合电场强度沿OL方向、四个点电荷在N点产生的合电场强度沿NO方向 → L、N两点处的电场强度方向相互垂直

B 项:M 点位于上下两对等量异种点电荷连线的中垂线上,在等量异种点电荷电场的基础上进行电场强度的叠加。

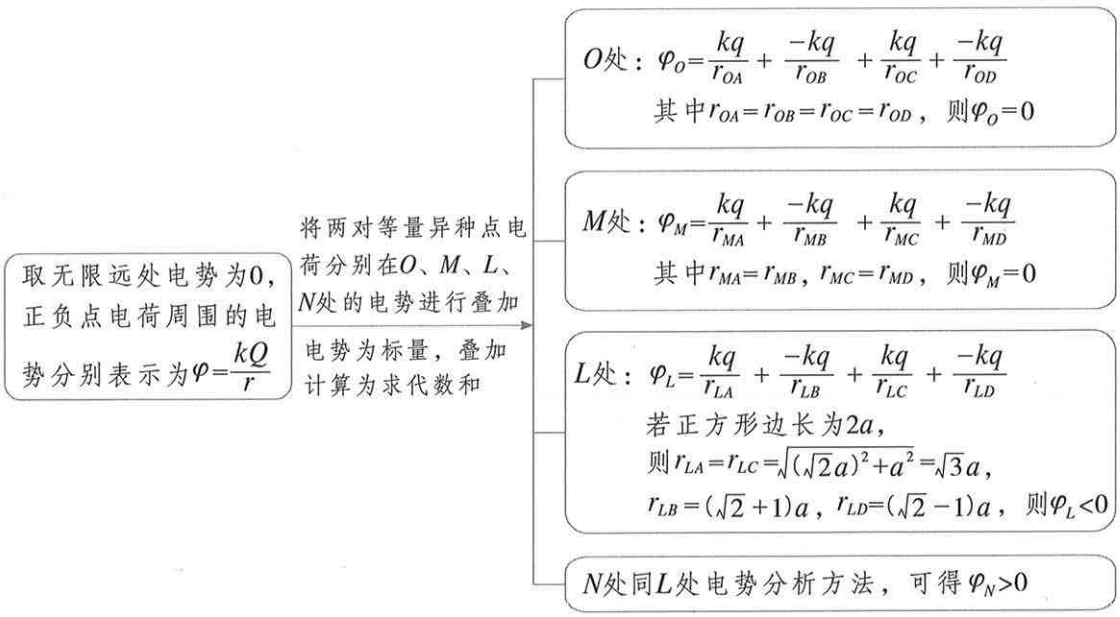


C、D 项：

方法①　从分析电场中的电势分布入手分析静电力做功，取无限远处电势为 0。



方法②　应用点电荷的电势叠加分析 O、M、L、N 处的电势。

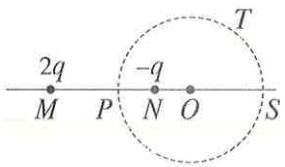


注：$\varphi=\frac{kQ}{r}$推导过程，取无限远处电势为 0，电场中距离点电荷为 l 的位置的电势的大小等于把单位正电荷从该位置移至无限远处（零电势面）时静电力做的功。单位正电荷受到的静电力大小 $F=\frac{kQ}{l^2}$，则 $\varphi=\int_r^{\infty}\frac{kQ}{l^2}\mathrm{d}l=\frac{kQ}{r}-\frac{kQ}{\infty}=\frac{kQ}{r}$。

【答案】AB

【失分剖析】①不能合理地在一对等量同种或异种点电荷进行电场叠加的基础上再叠加为两对点电荷的电场；②不能熟练应用电场方向判断电势高低进而分析静电力做功情况。

7.（2022 河北卷，6）如图，真空中电荷量为 $2q$ 和 $-q$（$q>0$）的两个点电荷分别位于 M 点与 N 点，形成一个以 MN 延长线上 O 点为球心，电势为零的等势面（取无限远处电势为零），P 为 MN 连线上的一点，S 为等势面与直线 MN 的交点，T 为等势面上的一点，下列说法正确的是（　　）



A. P 点电势低于 S 点电势

B. T 点电场强度方向指向 O 点

C. 除无限远处外，MN 直线上还存在两个电场强度为零的点

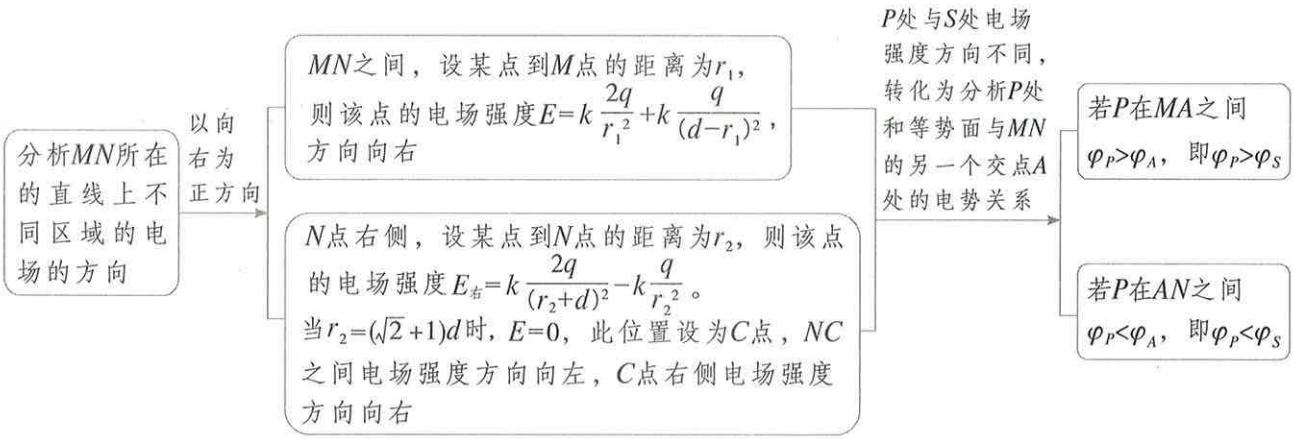
D. 将正试探电荷 q_0 从 T 点移到 P 点，静电力做正功

【试题立意】本题以不等量异种点电荷周围的电场为素材创设分析静电力的性质和能的性质的学习探索问题情境，此情境曾在 2020 年山东卷第 10 题出现过，考查电场强度、点电荷的电场强度、电势能、电势等知识点。

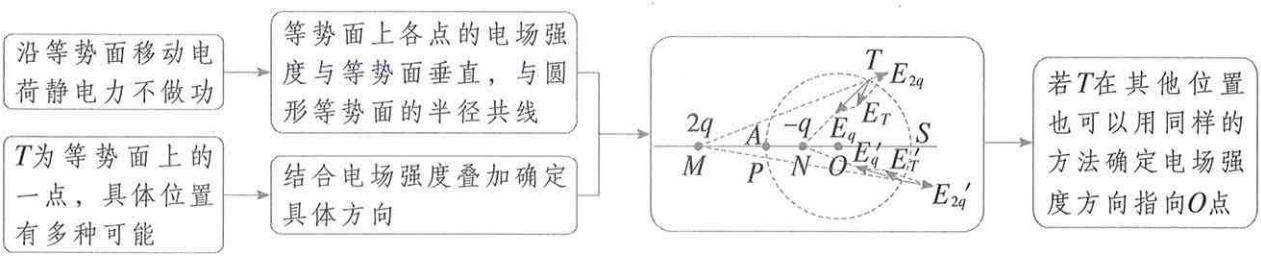
【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

设 M、N 两点间的距离为 d。

A 项：依据电场线的方向判断电势高低。



B 项：依据等势面上的电场强度与等势面垂直判断 T 处的电场强度方向。



C项：结合A项的分析，在MN之间不存在电场强度为零的点，在N点右侧有一处电场强度为零的点。分析M点左侧的电场强度，$E_{左}=-k\frac{2q}{r^2}+k\frac{q}{(d+r)^2}$，电场强度方向向左，不存在电场强度为零的点。

D项：据A项分析，可能$\varphi_P>\varphi_A$，即$\varphi_P>\varphi_T$，也可能$\varphi_P<\varphi_A$，即$\varphi_P<\varphi_T$，再根据$W=q_0U_{TP}=q_0(\varphi_T-\varphi_P)$，将正试探电荷$q_0$从$T$点移到$P$点，静电力可能做正功也可能做负功。

【答案】B

【失分剖析】①不能准确地根据点电荷周围的电场的叠加确定电场强度方向；②不能熟练应用等势面的特点分析问题。

方法点拨

判断电势能变化的两种方法

①根据静电力做功：静电力做正功，电势能减少；静电力做负功，电势能增加。

②根据$E_p=q\varphi$：正电荷在电势越高处电势能越大；负电荷在电势越高处电势能越小。

题组三　电容器　带电粒子(带电体)在电场中的运动

电容器是一种重要的电学元件，在实际生活中有着广泛的应用，主要考查电容概念的理解、平行板电容器电容的决定因素及电容器的动态分析三个方面。

带电粒子在电场中的运动问题本质上是一个综合了静电力、电势能的力学问题，研究方法与质点动力学一样，同样遵循运动的合成与分解、牛顿运动定律、功能关系等力学规律，高考中既有选择题，也有综合性较强的计算题。

8.(2023全国甲卷，18)在一些电子显示设备中，让阴极发射的电子束通过适当的非匀强电场，可以使发散的电子束聚集。下列4幅图中带箭头的实线表示电场线，如果用虚线表示电子可能的运动轨迹，其中正确的是(　　)



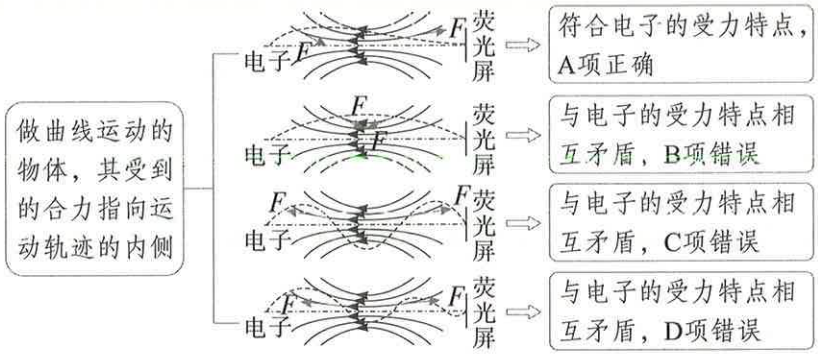
【试题立意】本题以非匀强电场为素材创设探究电子运动轨迹的学习探索问题情境，此情境曾在2018年天津卷第3题出现过。主要考查了电场线、电场强度等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	图中带箭头的实线表示电场线	电场线上每点的切线方向都表示该点的电场强度方向
2	阴极发射的电子	电子在电场中某点的受力方向与该点的电场强度方向相反

(2)推理论证能力



【答案】A

【失分剖析】①不会应用做曲线运动的物体受到的合力指向运动轨迹的内侧这一规律进行分析；②没有注意到电子在电场中某点的受力方向与该点的电场强度方向相反。

方法点拨

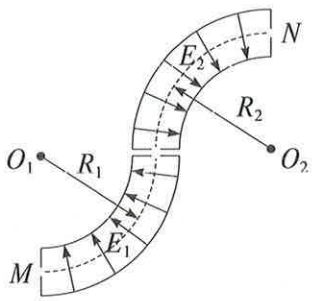
带电粒子运动轨迹类问题的解题技巧

①判断速度方向：带电粒子运动轨迹上某点的切线方向为该点处的速度方向。

②判断静电力(或电场强度)的方向：仅受静电力作用时，带电粒子所受静电力方向指向轨迹曲线的凹侧，再根据粒子的正负判断电场强度的方向。

③判断静电力做功的正负及电势能的增减：若静电力与速度方向成锐角，则静电力做正功，电势能减少；若静电力与速度方向成钝角，则静电力做负功，电势能增加。

9.(2023.6 浙江卷，8)某带电粒子转向器的横截面如图所示，转向器中有辐向电场。粒子从 M 点射入，沿着由半径分别为 R_1 和 R_2 的圆弧平滑连接成的虚线(等势线)运动，并从虚线上的 N 点射出，虚线处电场强度大小分别为 E_1 和 E_2，则 R_1、R_2 和 E_1、E_2 应满足(　　)



A. $\frac{E_1}{E_2}=\frac{R_2}{R_1}$　　B. $\frac{E_1}{E_2}=\frac{R_1^2}{R_2^2}$

C. $\frac{E_1}{E_2}=\frac{R_1}{R_2}$　　D. $\frac{E_1}{E_2}=\frac{R_2^2}{R_1^2}$

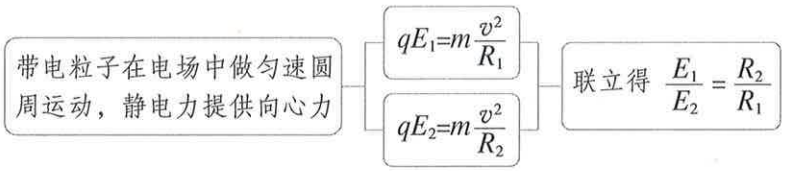
【试题立意】本题以带电粒子转向器为素材创设研究带电粒子在电场中运动问题的学习探索问题情境，此情境曾在2022年全国乙卷第21题出现过。主要考查了电场线、带电粒子在电场中的运动、匀速圆周运动的向心力等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

关键表述	物理量及其关系
粒子沿着虚线(等势线)运动	粒子的电势能不变，电场力不做功，粒子运动的速率不变

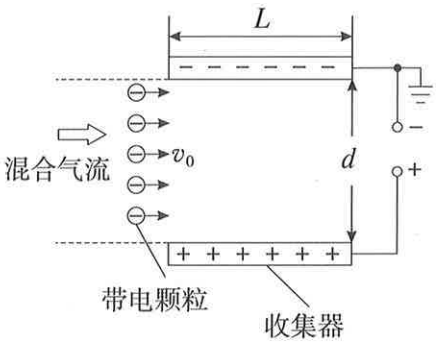
(2)推理论证能力



【答案】A

【失分剖析】不会根据具体的情境分析研究对象做匀速圆周运动向心力的来源。

10.(2023 北京卷,19)某种负离子空气净化原理如图所示。由空气和带负电的灰尘颗粒物(视为小球)组成的混合气流进入由一对平行金属板构成的收集器。在收集器中,空气和带电颗粒沿板方向的速度 v_0 保持不变。在匀强电场作用下,带电颗粒打到金属板上被收集,已知金属板长度为 L,间距为 d,不考虑重力影响和颗粒间相互作用。



(1)若不计空气阻力,质量为 m、电荷量为 $-q$ 的颗粒恰好全部被收集,求两金属板间的电压 U_1。

(2)若计空气阻力,颗粒所受阻力与其相对于空气的速度 v 方向相反,大小为 $f=krv$,其中 r 为颗粒的半径,k 为常量。假设颗粒在金属板间经极短时间加速达到最大速度。

a. 半径为 R、电荷量为 $-q$ 的颗粒恰好全部被收集,求两金属板间的电压 U_2;

b. 已知颗粒的电荷量与其半径的平方成正比,进入收集器的均匀混合气流包含了直径为 10 μm 和 2.5 μm 的两种颗粒,若 10 μm 的颗粒恰好 100%被收集,求 2.5 μm 的颗粒被收集的百分比。

【试题立意】本题以负离子空气净化原理图为素材创设求解金属板间电压以及分析带电颗粒运动规律的学习探索问题情境,主要考查共点力的平衡、运动的合成与分解、带电粒子在电场中的运动等知识点。

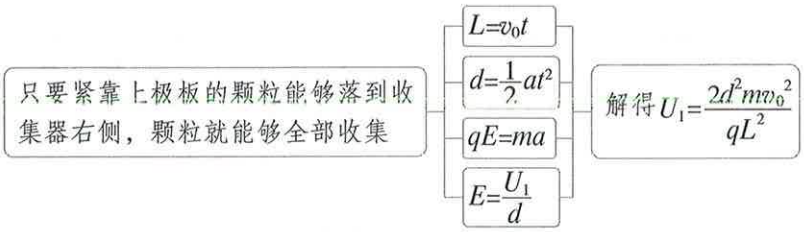
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

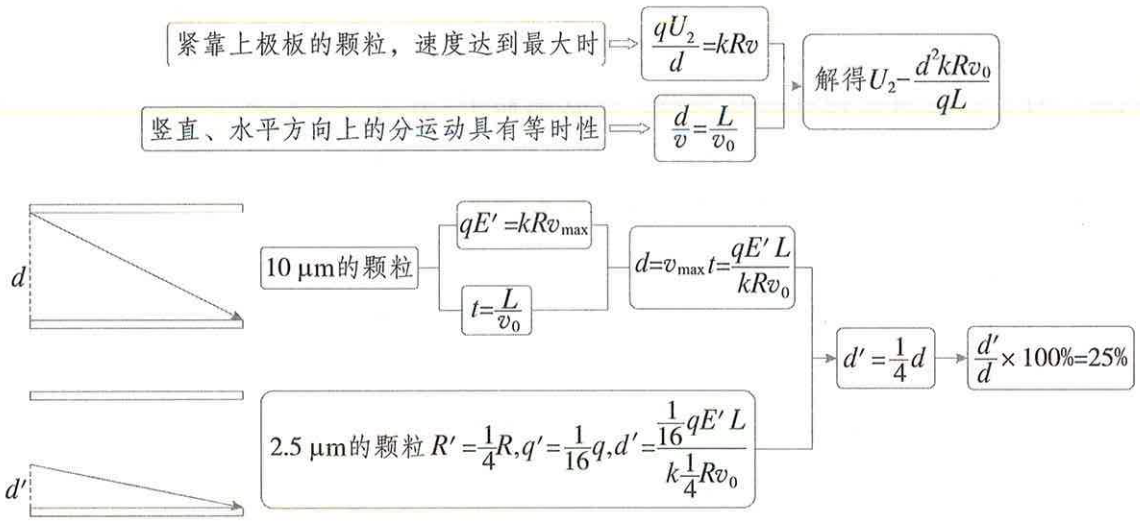
序号	关键表述	物理量及其关系
1	在收集器中,空气和带电颗粒沿板方向的速度 v_0 保持不变	水平方向不受空气阻力的作用
2	电荷量为 $-q$ 的颗粒恰好全部被收集	只要紧靠上极板的颗粒能够落到收集器右侧,颗粒就能够全部收集
3	颗粒在金属板间经极短时间加速达到最大速度	加速时间极短,加速距离可以忽略
		颗粒速度最大时,加速度为零,竖直方向静电力等于空气阻力

(2)推理论证能力

第(1)问



第(2)问



【解题过程】(1)只要紧靠上极板的颗粒能够落到收集器右侧，颗粒就能够全部收集，有

$L=v_0t$ ①

$d=\frac{1}{2}at^2$ ②

$qE=ma$ ③

$E=\frac{U_1}{d}$

解得 $U_1=\frac{2d^2mv_0^2}{qL^2}$。 ④

(2)a. 颗粒在金属板间经极短时间加速达到最大速度，有 $F_{电}=f$

即 $\frac{qU_2}{d}=kRv$ ⑤

且 $\frac{d}{v}=\frac{L}{v_0}$ ⑥

解得 $U_2=\frac{d^2kRv_0}{qL}$ ⑦

b. 10 μm 的电荷量为 q 的颗粒恰好 100%被收集，颗粒在金属板间经极短时间加速达到最大速度，所受阻力等于静电力，有 $f=kRv_{max}$，$f=qE'$

10 μm 的颗粒在竖直方向下落的最大距离为 $d=v_{max}t$ ⑧

2.5 μm 的颗粒带电荷量为 $q'=\frac{q}{16}$　⑨

颗粒在金属板间经极短时间加速达到最大速度，所受阻力等于静电力，有

$f'=\frac{1}{4}kRv_{max}'$，$f'=q'E'$

2.5 μm 的颗粒在竖直方向下落的最大距离为 $d'=v_{max}'t$

解得 $d'=\frac{d}{4}$

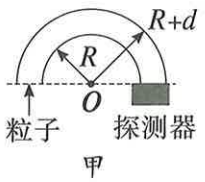
2.5 μm 的颗粒被收集的百分比 $\frac{d'}{d}\times100\%=25\%$　⑩

评分参考：每式各 1 分。

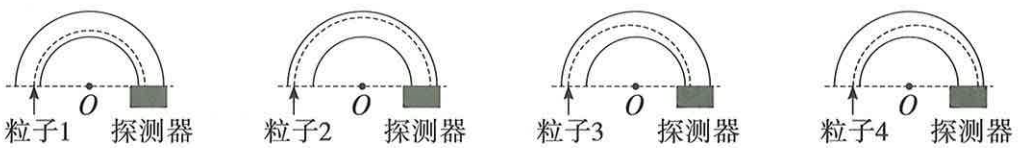
【答案】(1)$\frac{2d^2mv_0^2}{qL^2}$　(2)$\frac{d^2kRv_0}{qL}$　25%

【失分剖析】①不能正确判断颗粒的运动规律；②不会利用两个分运动之间的等时关系。

11.（多选）(2022 全国乙卷，21)一种可用于卫星上的带电粒子探测装置，由两个同轴的半圆柱形带电导体极板(半径分别为 R 和 $R+d$)和探测器组成，其横截面如图甲所示，点 O 为圆心。在截面内，极板间各点的电场强度大小与其到 O 点的距离成反比，方向指向 O 点。4 个带正电的同种粒子从极板间通过，到达探测器。不计粒子重力。粒子 1、2 做圆周运动，圆的圆心为 O、半径分别为 r_1、r_2($R<r_1<r_2<R+d$)；粒子 3 从距 O 点 r_2 的位置入射并从距 O 点 r_1 的位置出射；粒子 4 从距 O 点 r_1 的位置入射并从距 O 点 r_2 的位置出射，轨迹如图乙中虚线所示。则(　　)



甲



乙

A. 粒子 3 入射时的动能比它出射时的大

B. 粒子 4 入射时的动能比它出射时的大

C. 粒子 1 入射时的动能小于粒子 2 入射时的动能

D. 粒子 1 入射时的动能大于粒子 3 入射时的动能

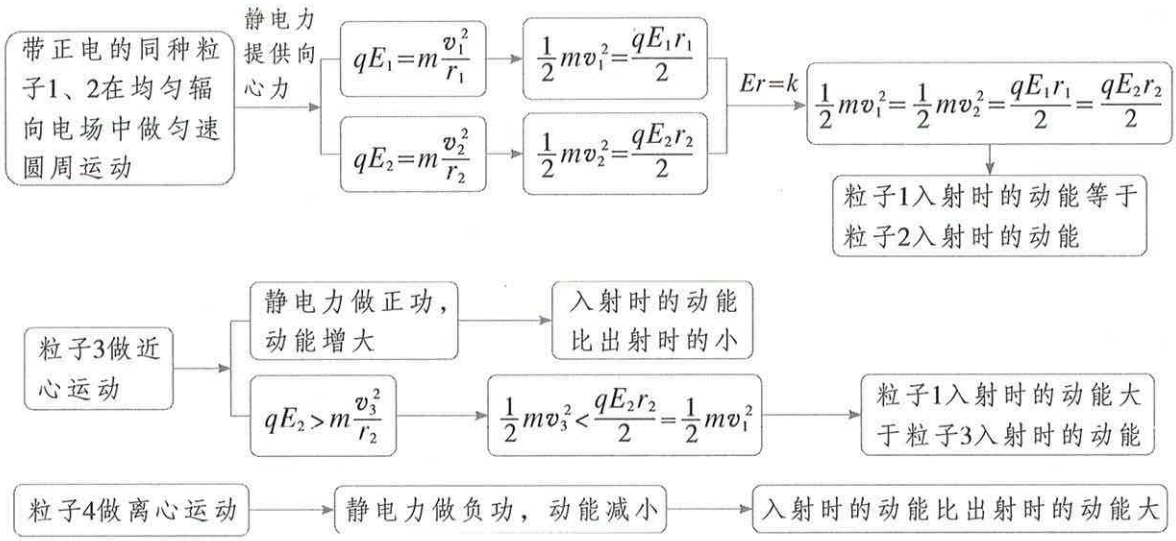
【试题立意】本题以带电粒子探测装置为素材创设研究带电粒子在电场中运动规律的学习探索问题情境，考查静电场、带电粒子在电场中的运动、匀速圆周运动的向心力、离心现象等知识。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	在截面内，极板间各点的电场强度大小与其到 O 点的距离成反比	极板间产生均匀辐向电场，各点的电场强度大小与其到 O 点的距离的关系可表示为 $Er=k$，距离越大电场强度越小
2	粒子 1、2 做圆周运动，圆的圆心为 O	静电力提供向心力，圆周运动轨迹经过处的电场强度大小相等，方向指向 O
3	粒子 3 从距 O 点 r_2 的位置入射并从距 O 点 r_1 的位置出射	粒子 3 做近心运动
4	粒子 4 从距 O 点 r_1 的位置入射并从距 O 点 r_2 的位置出射	粒子 4 做离心运动

(2)推理论证能力



【答案】BD

【失分剖析】①不能利用题目所给的新信息结合匀速圆周运动等知识判断粒子的动能大小；②不能熟练应用粒子做近心和离心运动的条件分析问题。

方法点拨

处理带电粒子在电场中的运动问题的两种思路

①动力学思路：重视带电粒子的受力分析和运动过程分析，然后运用牛顿第二定律并结合运动学规律求出位移、速度等物理量；

②功能思路：根据静电力及其他作用力对带电粒子做功引起的能量变化或根据全过程的功能关系，确定粒子的运动情况，使用中优先选择。

命题规律

1. 多维度细目表

高考试题（年份/卷别/题号）			2023							2022		
			全国甲，18	全国乙，24	山东，11	广东，9	辽宁，9	湖南，5	浙江6月，8	北京，19	全国乙，19	全国乙，21	河北，6
考查内容	必备知识	物质的电结构、电荷守恒、静电现象的解释											
		点电荷、库仑定律、静电场			√	√	√				√	√	
		电场强度、点电荷的电场强度、电场线	√	√	√		√	√	√		√		√
		电势能、电势、电势差、匀强电场中电势差和电场强度的关系			√	√	√				√		√
		带电粒子在匀强电场中的运动、示波管							√	√			
		常见电容器、电容器的电压、电荷量和电容的关系											
	关键能力	理解能力	√	√			√	√	√	√		√	
		推理论证能力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		模型建构能力											
		实验探究能力											
		创新能力											
	学科素养	物理观念	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学思维	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学探究											
		科学态度与责任											
考查要求		基础性	√			√			√				√
		综合性		√	√		√	√		√	√	√	
		应用性											
		创新性											

续表

高考试题（年份/卷别/题号）		2023								2022		
		全国甲，18	全国乙，24	山东，11	广东，9	辽宁，9	湖南，5	浙江6月，8	北京，19	全国乙，19	全国乙，21	河北，6
情境载体	生活实践问题情境				√							
	学习探索问题情境	√	√	√		√	√	√	√	√	√	√

2. 命题趋势

考查项目	考查特点
命题类型	选择题、计算题都有出现
必备知识	库仑定律、电场强度、点电荷的电场、电场线、静电力、等势面、静电力做功与电势能的关系、带电粒子在电场中的运动等
关键能力	理解能力、模型建构能力和推理论证能力
学科素养	物理观念和科学思维
考查要求	注重基础性、综合性
考查载体	多以学习探索问题情境为主

2024年高考仍会侧重对基本概念和规律的考查，并重视电场中的模型建构，以选择题为主，计算题也可能会出现，融合点电荷的电场、电场的力的性质和能的性质等知识点一起考查。在方法上仍会注重对称法、等效法等解题方法的应用。

3. 备考策略

本讲涉及的知识点多且抽象难懂，包含的思想方法多，综合性强，考查面广。在复习备考时需注意以下几点：

(1)建构知识体系，透析电场规律。以电场强度、电势、电势能、电势差、静电力做功等基本概念入手，夯实电场基础，掌握基本模型；

(2)前后联系，归纳方法。善于利用类比法把复杂、抽象的电场问题转化为较熟悉的力学问题，掌握对称法、等效法、微元法等解题方法，学会解决静电场综合问题；

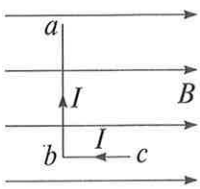
(3)关心科技，善于思考。关注本讲知识在科技、生产、生活实践中的体现，培养考生的综合应用能力。

第 2 讲　磁场及带电体在磁场中的运动

题组一　磁场及其对电流的作用

本题组主要涉及磁感应强度的概念，判断通电直导线和通电线圈周围的磁场方向，判断安培力的方向，计算安培力的大小，了解安培力在生产、生活中的应用等。

1.（2023 江苏卷，2）如图所示，匀强磁场的磁感应强度大小为 B。L 形导线通以恒定电流 I，放置在磁场中。已知 ab 边长为 $2l$，与磁场方向垂直，bc 边长为 l，与磁场方向平行。该导线受到的安培力为（　　）

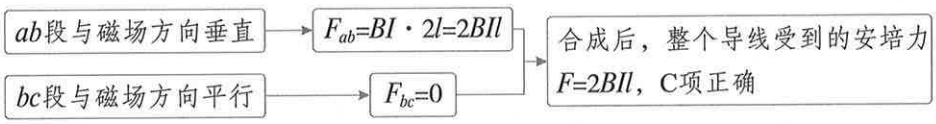


A. 0　　B. BIl

C. $2BIl$　　D. $\sqrt{5}BIl$

【试题立意】本题以 L 形通电导线在磁场中受力为素材创设求解安培力的学习探索问题情境，此情境曾在 2019 年全国Ⅰ卷第 17 题出现过，主要考查安培力、安培力的方向、匀强磁场中的安培力等知识点。

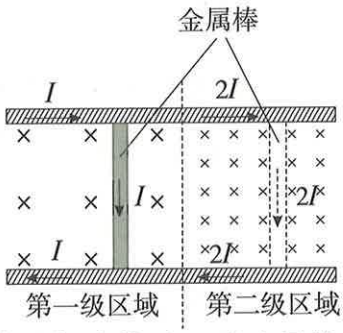
【关键能力】本题主要考查推理论证能力。



【答案】C

【失分剖析】不会单独分析 ab、cd 段的受力然后再合成。

2.（2023 北京卷，18）2022 年，我国阶段性建成并成功运行了“电磁撬”，创造了大质量电磁推进技术的世界最高速度纪录。一种两级导轨式电磁推进的原理如图所示。两平行长直金属导轨固定在水平面，导轨间垂直安放金属棒。金属棒可沿导轨无摩擦滑行，且始终与导轨接触良好，电流从一导轨流入，经过金属棒，再从另一导轨流回，图中电源未画出。导轨电流在两导轨间产生的磁场可视为匀强磁场，磁感应强度 B 与电流 i 的关系式为 $B=ki$（k 为常量）。金属棒被该磁场力推动。当金属棒由第一级区域进入第二级区域时，回路中的电流由 I 变为 $2I$。已知两导轨内侧间距为 L，每一级区域中金属棒被推进的距离均为 s，金属棒的质量为 m。求：



（1）金属棒经过第一级区域时受到安培力的大小 F；

（2）金属棒经过第一、二级区域的加速度大小之比 $a_1:a_2$；

（3）金属棒从静止开始经过两级区域推进后的速度大小 v。

【试题立意】本题以导轨式电磁推进为素材创设研究金属棒运动规律的学习探索问题情境，此情境在 2023 年海南卷第 17 题出现过，主要考查通电直导线和通电线圈周围磁场的方向、安培力、安培力的方向、匀强磁场中的安培力、牛顿运动定律及其应用、动能和动能定理等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

关键表述	物理量及其关系
磁感应强度 B 与电流 i 的关系式为 $B=ki$(k 为常量)	第一级区域中磁感应强度大小为 $B_1=kI$
	第二级区域中磁感应强度大小为 $B_2=2kI$

(2)推理论证能力

第(1)(2)问：

磁感应强度大小$B=ki$，安培力$F_i=BiL$ → $F_i=ki^2L$ → 金属棒加速度$a=\frac{F_i}{m}=\frac{ki^2L}{m}$ → 金属棒经过第一、二级区域的加速度大小之比$a_1:a_2=1:4$

金属棒经过第一、二级区域时回路中的电流分别为I、$2I$ → 金属棒经过第一、二级区域的加速度大小之比$a_1:a_2=1:4$

第(3)问：

根据动能定理可得$kI^2Ls+4kI^2Ls=\frac{1}{2}mv^2-0$ → 经过两级区域推进后的速度大小$v=\sqrt{\frac{10kI^2Ls}{m}}$

【解题过程】

(1)由题意可知第一级区域中磁感应强度大小为 $B_1=kI$ ①

金属棒经过第一级区域时受到安培力的大小为 $F=B_1IL=kI^2L$。 ②

(2)根据牛顿第二定律可知，金属棒经过第一级区域的加速度大小为

$$a_1=\frac{F}{m}=\frac{kI^2L}{m}$$ ③

第二级区域中磁感应强度大小为 $B_2=2kI$ ④

金属棒经过第二级区域时受到安培力的大小为 $F'=B_2\cdot 2IL=4kI^2L$ ⑤

金属棒经过第二级区域的加速度大小为 $a_2=\frac{F'}{m}=\frac{4kI^2L}{m}$ ⑥

则金属棒经过第一、二级区域的加速度大小之比为 $a_1:a_2=1:4$。 ⑦

(3)金属棒从静止开始经过两级区域推进后，根据动能定理可得

$$Fs+F's=\frac{1}{2}mv^2-0$$ ⑧

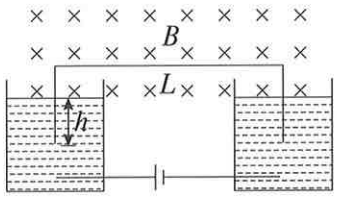
解得金属棒从静止开始经过两级区域推进后的速度大小为 $v=\sqrt{\frac{10kI^2Ls}{m}}$。 ⑨

评分参考：①～⑨各 1 分。

【答案】(1)kI^2L　(2)1∶4　(3)$\sqrt{\frac{10kI^2Ls}{m}}$

【失分剖析】没有注意到电流变化会导致磁场变化。

3.(2023 海南卷,17)如图所示,U 形金属杆上边长为 $L=15\ \text{cm}$,质量为 $m=1\times10^{-3}\ \text{kg}$,下端插入导电液体中,导电液体连接电源,金属杆所在空间有垂直于纸面向里、$B=8\times10^{-2}\ \text{T}$ 的匀强磁场。



(1)若插入导电液体部分深 $h=2.5\ \text{cm}$,闭合开关后,金属杆飞起,其下端离液面最大高度 $H=10\ \text{cm}$,设杆中电流不变,求金属杆离开液面时的速度大小和金属杆中的电流。

(2)若金属杆下端刚与导电液体接触,改变电动势的大小,通电后金属杆飞起的最大高度 $H'=5\ \text{cm}$,通电时间 $t'=0.002\ \text{s}$,求通过金属杆截面的电荷量。(g 取 $10\ \text{m/s}^2$)

【试题立意】本题以处在匀强磁场中的 U 形金属杆为素材创设求解金属杆速度、电流、电荷量的学习探索问题情境,此情境曾在 2018 年江苏卷第 13 题出现过,主要考查安培力、牛顿运动定律及其应用、动量定理等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

第(1)问:

金属杆竖直上抛过程,由运动学公式有 $v^2=2gH$ → 得 $v=\sqrt{2gH}=\sqrt{2}\ \text{m/s}$

金属杆上升的全过程,由动能定理有 $BILh-mg(H+h)=0$ → 得 $I=4.17\ \text{A}$

第(2)问:

金属杆竖直上抛过程,由运动学公式有 $v'^2=2gH'$ → 得 $v'=\sqrt{2gH'}=1\ \text{m/s}$

在极短的时间 Δt 内,对金属杆由动量定理有 $BI'L\Delta t-mg\Delta t=m\Delta v$,即 $BL\Delta q-mg\Delta t=m\Delta v$ → 两边求和得 $BL\Sigma\Delta q-mg\Sigma\Delta t=m\Sigma\Delta v$,即 $BLq-mgt'=mv'$

→ 得 $q=0.085\ \text{C}$

【解题过程】(1)对金属杆,其下端离开液面飞起的最大高度为 H,做竖直上抛运动,由运动学公式有

$v^2=2gH$ ①

解得 $v=\sqrt{2gH}=\sqrt{2}\ \text{m/s}$ ②

通电过程金属杆受到的安培力大小为 $F_A=BIL$ ③

由动能定理有 $F_Ah-mg(H+h)=0$ ④

解得 $I=4.17\ \text{A}$ ⑤

(2)对金属杆,飞起的最大高度为 H',做竖直上抛运动,由运动学公式有

$v'^2=2gH'$ ⑥

解得 $v'=\sqrt{2gH'}=1\ \text{m/s}$ ⑦

在极短的时间 Δt 内,对金属杆由动量定理有

$BI'L\Delta t-mg\Delta t=m\Delta v$，即 $BL\Delta q-mg\Delta t=m\Delta v$ ⑧

两边求和得

$BL\sum\Delta q-mg\sum\Delta t=m\sum\Delta v$，即 $BLq-mgt'=mv'$ ⑨

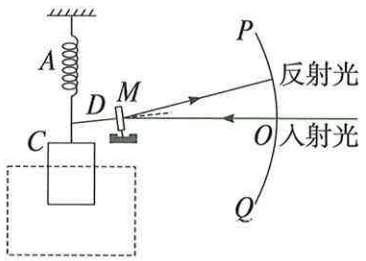
解得 $q=0.085$ C ⑩

评分参考：④⑧各 2 分，其他各 1 分。

【答案】(1)$\sqrt{2}$ m/s　4.17 A　(2)0.085 C

【失分剖析】当电流不恒定时，不会用先微元再求和的办法求电荷量。

4.(2022 全国甲卷，25)光点式检流计是一种可以测量微小电流的仪器，其简化的工作原理示意图如图所示。图中 A 为轻质绝缘弹簧，C 为位于纸面上的线圈，虚线框内有与纸面垂直的匀强磁场；M 为置于平台上的轻质小平面反射镜，轻质刚性细杆 D 的一端与 M 固连且与镜面垂直、另一端与弹簧下端相连，PQ 为圆弧形的、带有均匀刻度的透明读数条，PQ 的圆心位于 M 的中心。使用前需调零：使线圈内没有电流通过时，M 竖直且与纸面垂直；入射细光束沿水平方向经 PQ 上的 O 点射到 M 上后沿原路反射。线圈通入电流后弹簧长度改变，使 M 发生倾斜，入射光束在 M 上的入射点仍近似处于 PQ 的圆心，通过读取反射光射到 PQ 上的位置，可以测得电流的大小。已知弹簧的劲度系数为 k，磁场磁感应强度大小为 B，线圈 C 的匝数为 N、沿水平方向的长度为 l，细杆 D 的长度为 d，圆弧 PQ 的半径为 r，$r\gg d$，d 远大于弹簧长度改变量的绝对值。



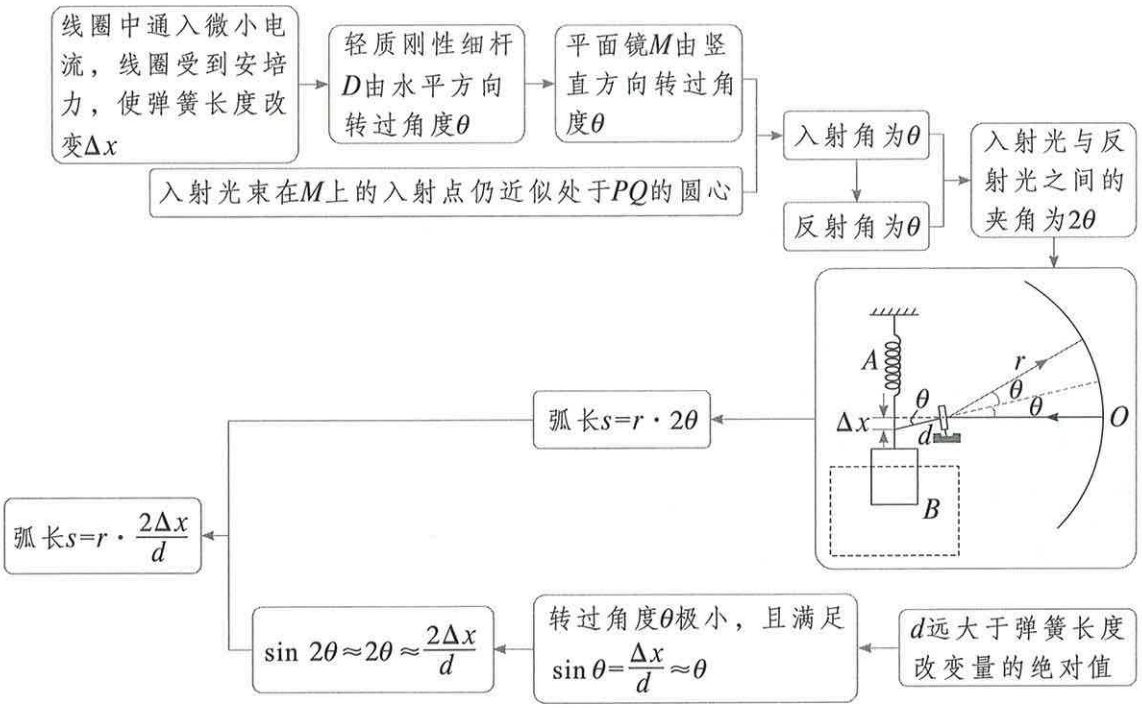
(1)若在线圈中通入的微小电流为 I，求平衡后弹簧长度改变量的绝对值 Δx 及 PQ 上反射光点与 O 点间的弧长 s。

(2)某同学用此装置测一微小电流，测量前未调零，将电流通入线圈后，PQ 上反射光点出现在 O 点上方，与 O 点间的弧长为 s_1；保持其他条件不变，只将该电流反向接入，则反射光点出现在 O 点下方，与 O 点间的弧长为 s_2。求待测电流的大小。

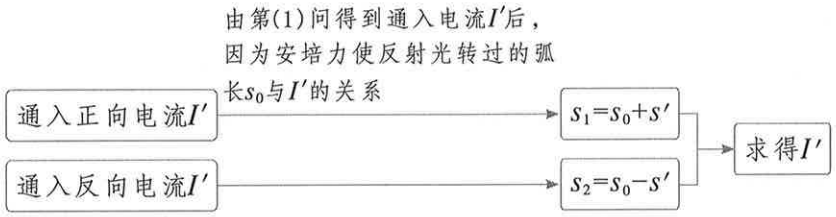
【试题立意】本题以光点式检流计的工作原理为素材创设与光的反射相结合研究反射光偏移的弧长与电流关系的学习探索问题情境，考查匀强磁场中的安培力、光的反射规律等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

第(1)问：



第(2)问：因测量前未调零，设没有通电流时反射光点在 O 点上方且相对 O 点偏移的弧长为 s'。



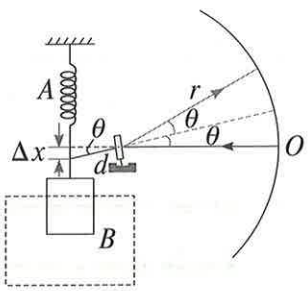
若没有通电流时反射光点在 O 点下方，则 $s_1=s_0-s'$，$s_2=s_0+s'$，分析得到同样的结果。

【解题过程】(1)由题意，当线圈中通入微小电流 I 时，线圈受到的安培力为 $F=NBIl$　①

根据胡克定律有 $F=k\Delta x$　②

联立可得 $\Delta x=\dfrac{NBIl}{k}$　③

如图所示，设此时细杆转过的弧度为 θ，则可知反射光线转过的弧度为 2θ，又因为 $d\gg\Delta x$，$r\gg d$



则 $\sin\theta\approx\theta$，$\sin 2\theta\approx 2\theta$　④

所以有 $\Delta x=d\cdot\theta$

$s=r\cdot 2\theta$　⑤

联立可得 $s=\dfrac{2NBIlr}{dk}$。　⑥

(2)因为测量前未调零，设没有通电流时偏移的弧长为 s'，当初始时反射光点在 O 点上方，通电流 I' 后根据前面的结论可知 $s_1=\dfrac{2NBI'lr}{dk}+s'$　⑦

当电流反向后有 $s_2=\frac{2NBI'lr}{dk}-s'$ ⑧

联立可得 $I'=\frac{dk(s_1+s_2)}{4NBlr}$ ⑨

同理可得初始时反射光点在 O 点下方结果也相同，故待测电流的大小为 $I'=\frac{dk(s_1+s_2)}{4NBlr}$。⑩

评分参考：①～⑩各 2 分。

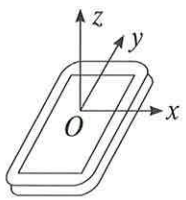
【答案】(1)$\frac{NBIl}{k}$　$\frac{2NBIlr}{dk}$　(2)$\frac{dk(s_1+s_2)}{4NBlr}$

【失分剖析】①不能通过几何关系建立起反射光线转过的弧长与安培力作用下弹簧长度变化之间的关系；②不会在角度很小的情况下通过近似处理得 $\sin\theta\approx\theta$。

方法点拨

安培力作用下导体的运动问题与力学中的运动问题一样，同样遵从力学基本规律，只是研究对象所受的力中多分析一个安培力而已。判定通电导体在安培力作用下的运动方向或运动趋势，首先必须弄清楚导体所在位置的磁感线分布情况，再弄清楚导体中电流的方向，然后利用左手定则准确判定导体的受力情况，进而确定导体的运动方向或运动趋势方向。

5.（多选）(2022 全国乙卷，18)安装适当的软件后，利用智能手机中的磁传感器可以测量磁感应强度 B。如图所示，在手机上建立直角坐标系，手机显示屏所在平面为 xOy 面。某同学在某地对地磁场进行了四次测量，每次测量时 y 轴指向不同方向而 z 轴正向保持竖直向上。根据表中测量结果可推知(　　)



测量序号	B_x/μT	B_y/μT	B_z/μT
1	0	21	−45
2	0	−20	−46
3	21	0	−45
4	−21	0	−45

A. 测量地点位于南半球

B. 当地的地磁场大小约为 50 μT

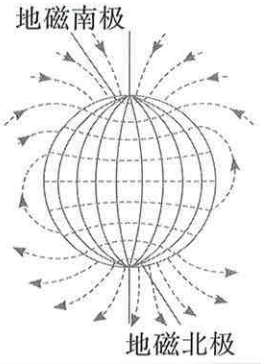
C. 第 2 次测量时 y 轴正向指向南方

D. 第 3 次测量时 y 轴正向指向东方

【试题立意】本题以利用智能手机中的磁传感器测量地磁场的磁感应强度为素材创设生活实践问题情境。考查磁场、磁感应强度、磁感线等知识点。

【关键能力】本题主要考查模型建构能力、理解能力和推理论证能力。

(1)模型建构能力

关键信息	破题关键	建构模型
地球周围磁场的分布	地球可视为一个磁体，地磁南极大致在地理北极，地磁北极大致在地理南极。地球周围的磁感线分布如图。可将地球周围的磁场分解为平行于地球表面和垂直于地球表面两个方向，其中垂直地表的分量在南半球向上，在北半球向下	地球周围的磁场 

(2)理解能力

序号	关键表述/图表信息	物理量及其关系
1	每次测量时 z 轴正向保持竖直向上，四次测量沿 z 轴的磁场的磁感应强度均为负值	垂直于地球表面的磁场方向为 z 轴负方向，竖直向下，因此测量地点位于北半球
2	第 1 次测量，$B_x=0$，$B_y>0$	第 1 次测量时，y 轴指向北方，x 轴指向东方
3	第 2 次测量，$B_x=0$，$B_y<0$	第 2 次测量时，y 轴指向南方，x 轴指向西方
4	第 3 次测量，$B_x>0$，$B_y=0$	第 3 次测量时，x 轴指向北方，y 轴指向西方
5	第 4 次测量，$B_x<0$，$B_y=0$	第 4 次测量时，x 轴指向南方，y 轴指向东方

(3)推理论证能力

对第 1 次测量，当磁场竖直向下的分量 $B_z=-45\ \mu T$ 时，$B_y=21\ \mu T$，矢量叠加可得 $B=\sqrt{B_y^2+B_z^2}\approx 50\ \mu T$，对其他几次测量同理分析得相同结论。

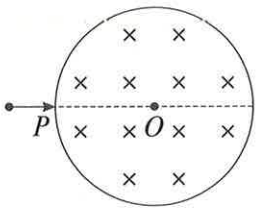
【答案】BC

【失分剖析】①不明确地磁场在南、北半球的分布情况；②不能从三维空间角度分析地磁场的分量。

题组二　磁场对运动电荷的作用

本题组主要涉及判断洛伦兹力的方向，计算洛伦兹力的大小，分析带电粒子在匀强磁场中的圆周运动和带电体在匀强磁场中的运动。

6.(多选)(2023 全国甲卷，20)光滑刚性绝缘圆筒内存在着平行于轴的匀强磁场，筒上 P 点处开有一个小孔，过 P 的横截面是以 O 为圆心的圆，如图所示。一带电粒子从 P 点沿 PO 射入，然后与筒壁发生碰撞。假设粒子在每次碰撞前、后瞬间，速度沿圆上碰撞点的切线方向的分量大小不变，沿法线方向的分量大小不变、方向相反，电荷量不变，不计重力，下列说法



正确的是(　　)

A. 粒子的运动轨迹可能通过圆心 O

B. 最少经 2 次碰撞,粒子就可能从小孔射出

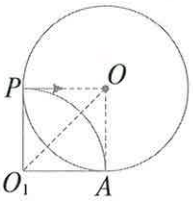
C. 射入小孔时粒子的速度越大,在圆内运动时间越短

D. 每次碰撞后瞬间,粒子速度方向一定平行于碰撞点与圆心 O 的连线

【试题立意】本题以光滑刚性绝缘圆筒为素材创设分析粒子运动轨迹、时间等问题的学习探索问题情境,此情境曾在 2021 年全国乙卷第 16 题出现过。主要考查洛伦兹力、洛伦兹力的方向、洛伦兹力公式、带电粒子在匀强磁场中的运动等知识点。

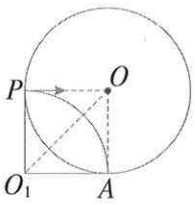
【关键能力】本题主要考查模型建构能力和推理论证能力。

(1)模型建构能力

关键信息	破题关键	建构模型
一带电粒子从 P 点沿 PO 射入	假设带电粒子带负电,从 P 点沿半径方向射入有界圆形匀强磁场后,受到洛伦兹力的作用,在磁场中做匀速圆周运动,偏转一定角度后一定沿半径方向射出磁场	 如上图 $\triangle O_1PO \cong \triangle O_1AO$,若 $\angle O_1PO$ 为直角,则 $\angle O_1AO$ 也为直角。建构粒子沿半径方向射入圆形匀强磁场,一定沿半径方向射出磁场的运动模型

(2)推理论证能力

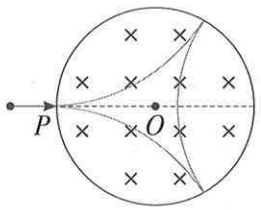
A、B、D 项:



粒子沿半径方向射入圆形匀强磁场,运动到A点时沿OA方向与筒壁发生碰撞

碰撞后瞬间,粒子速度方向一定沿碰撞点与圆心O的连线,D项正确

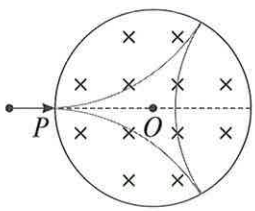
粒子的运动轨迹不可能通过圆心O,A项错误



如图所示,粒子每次碰撞的偏向角为120°时,最少经2次碰撞,粒子就可能从小孔射出,B项正确

C 项:

粒子在磁场中做圆周运动,有 $qvB=m\dfrac{v^2}{R}$,$T=\dfrac{2\pi R}{v}$,得 $T=\dfrac{2\pi m}{qB}$,因此 T 与 v 无关,设粒子在磁场中做圆周运动对应轨迹的圆心角为 θ,则运动时间与 θ 有关,可知粒子的轨迹越小,运动时间越短,当轨迹不交叉时,粒子



在圆内运动一周从 P 点射出，速度 v 越大，碰撞次数越少，在圆内运动一周时对应圆心角越小，总的圆心角越小，运动时间越短；粒子也可能在圆内运动多周才离开磁场，此时粒子速度大小与粒子在圆内运动时间存在多种可能，所以射入小孔时粒子的速度越大，在圆内运动时间不一定越短，C 项错误。

【答案】BD

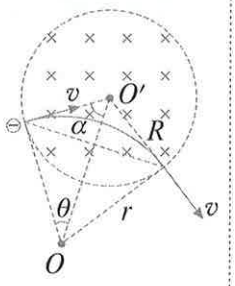
【失分剖析】不能准确分析出粒子与筒壁碰撞时速度方向的特点。

方法点拨

沿径向射入圆形匀强磁场的粒子必沿径向射出，运动具有对称性（如图所示）

粒子做圆周运动的半径 $r=\dfrac{R}{\tan\theta}$，

粒子在磁场中运动的时间 $t=\dfrac{\theta}{\pi}T=\dfrac{2\theta m}{qB}$，$\theta+\alpha=90°$。



7.（2023 广东卷，5）某小型医用回旋加速器，最大回旋半径为 0.5 m，磁感应强度大小为 1.12 T，质子加速后获得的最大动能为 1.5×10^{7} eV。根据给出的数据，可计算质子经该回旋加速器加速后的最大速率约为（忽略相对论效应，1 eV$=1.6\times10^{-19}$ J）（　　）

A. 3.6×10^{6} m/s

B. 1.2×10^{7} m/s

C. 5.4×10^{7} m/s

D. 2.4×10^{8} m/s

【试题立意】本题以医用回旋加速器为素材创设求解质子速率的学习探索问题情境，此情境曾在 2016 年全国Ⅰ卷第 15 题出现过，主要考查洛伦兹力公式、带电粒子在匀强磁场中的运动、回旋加速器等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

质子受到的洛伦兹力提供向心力，有 $qv_{m}B=m\dfrac{v_{m}^{2}}{R_{m}}$

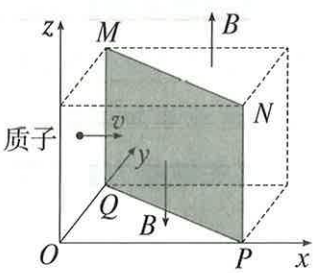
质子的最大动能 $E_{km}=\dfrac{1}{2}mv_{m}^{2}$

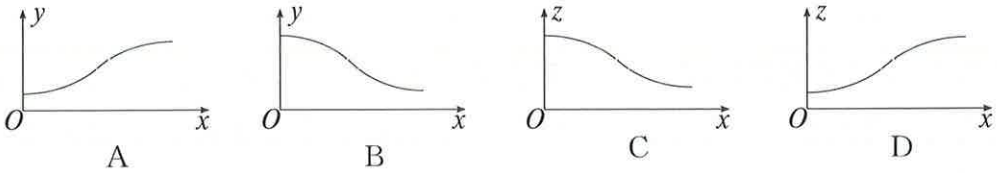
→ 质子的最大速率 $v_{m}=\dfrac{2E_{km}}{qBR_{m}}\approx5.4\times10^{7}$ m/s

【答案】C

【失分剖析】不能正确应用粒子动能最大时做圆周运动的半径也最大这一条件解题。

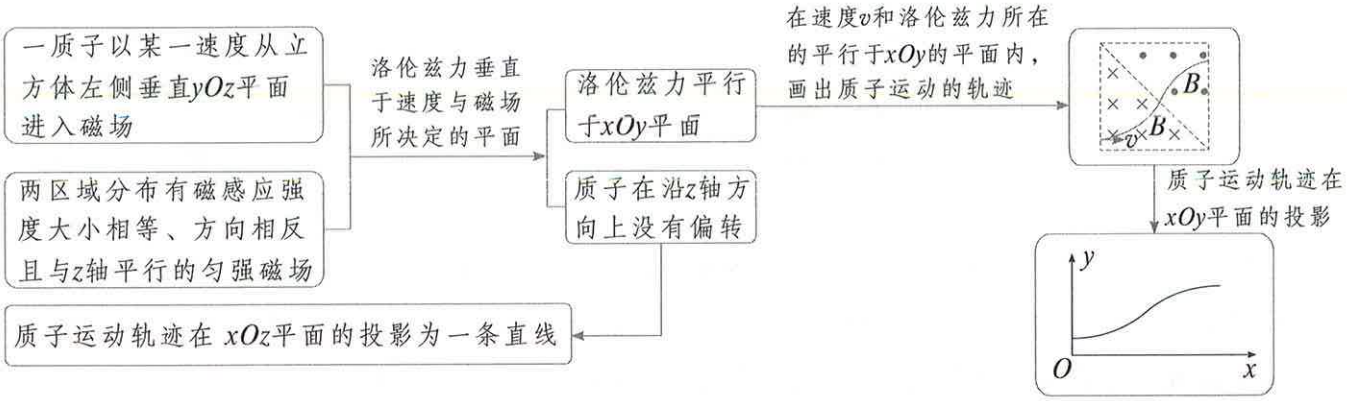
8.（2022 广东卷，7）如图所示，一个立方体空间被对角平面 $MNPQ$ 划分成两个区域，两区域分布有磁感应强度大小相等、方向相反且与 z 轴平行的匀强磁场。一质子以某一速度从立方体左侧垂直 yOz 平面进入磁场，并穿过两个磁场区域。下列关于质子运动轨迹在不同坐标平面的投影，可能正确的是（　　）





【试题立意】本题以磁场的空间分布为素材创设求解质子在匀强磁场中的运动轨迹的学习探索问题情境，考查洛伦兹力、洛伦兹力的方向、洛伦兹力公式、带电粒子在匀强磁场中的运动等知识。

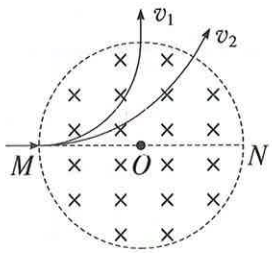
【关键能力】本题主要考查推理论证能力。



【答案】A

【失分剖析】欠缺空间图形转化为平面图形的能力，不能依据洛伦兹力的方向分析粒子在三维空间内的受力及运动情况。

9.(2021 全国乙卷，16)如图所示，圆形区域内有垂直于纸面向里的匀强磁场，质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$ 的带电粒子从圆周上的 M 点沿直径 MON 方向射入磁场。若粒子射入磁场时的速度大小为 v_1，离开磁场时的速度方向偏转 90°；若射入磁场时的速度大小为 v_2，离开磁场时的速度方向偏转 60°。不计重力。则 $\frac{v_1}{v_2}$ 为(　　)



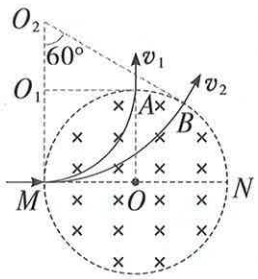
A. $\frac{1}{2}$　　B. $\frac{\sqrt{3}}{3}$

C. $\frac{\sqrt{3}}{2}$　　D. $\sqrt{3}$

【试题立意】本题以带电粒子在圆形有界匀强磁场中运动为素材创设计算入射速度比值的学习探索问题情境，主要考查洛伦兹力、洛伦兹力的方向、洛伦兹力公式、带电粒子在匀强磁场中的运动等知识点。

【关键能力】本题主要考查模型建构能力和推理论证能力。

(1)模型建构能力

关键信息	破题关键	建构模型
(1)若射入磁场时的速度大小为 v_1，离开磁场时的速度方向偏转 90° (2)若射入磁场时的速度大小为 v_2，离开磁场时的速度方向偏转 60°	(1)粒子在磁场中做匀速圆周运动 (2)粒子进出圆形磁场的圆弧轨迹对应的圆心角等于速度偏转角度	

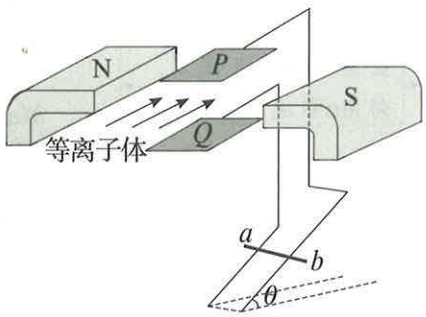
(2)推理论证能力

粒子进入匀强磁场后做匀速圆周运动，洛伦兹力提供向心力，有 $qvB=m\frac{v^2}{r}$，得 $v=\frac{qBr}{m}$，所以 v 与 r 成正比。粒子入射速度为 v_1 时，轨迹圆半径 $r_1=R$。根据几何关系，可求得粒子入射速度为 v_2 时对应的轨迹圆半径 $r_2=\sqrt{3}R$。所以两次运动速度之比 $\frac{v_1}{v_2}=\frac{r_1}{r_2}=\frac{\sqrt{3}}{3}$。

【答案】B

【失分剖析】不能准确利用速度偏转角和转过的圆心角之间的关系，不能用磁场圆的半径表示粒子的轨迹半径。

10.(2021 河北卷，5)如图所示，距离为 d 的两平行金属板 P、Q 之间有一匀强磁场，磁感应强度大小为 B_1，一束速度大小为 v 的等离子体垂直于磁场喷入板间。相距为 L 的两光滑平行金属导轨固定在与导轨平面垂直的匀强磁场中，磁感应强度大小为 B_2，导轨平面与水平面夹角为 θ，两导轨分别与 P、Q 相连。质量为 m、电阻为 R 的金属棒 ab 垂直导轨放置，恰好静止。重力加速度为 g，不计导轨电阻、板间电阻和等离子体中的粒子重力。下列说法正确的是(　　)

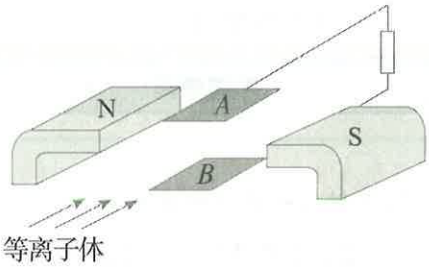


A. 导轨处磁场的方向垂直导轨平面向上，$v=\frac{mgR\sin\theta}{B_1B_2Ld}$

B. 导轨处磁场的方向垂直导轨平面向下，$v=\frac{mgR\sin\theta}{B_1B_2Ld}$

C. 导轨处磁场的方向垂直导轨平面向上，$v=\frac{mgR\tan\theta}{B_1B_2Ld}$

D. 导轨处磁场的方向垂直导轨平面向下，$v=\frac{mgR\tan\theta}{B_1B_2Ld}$



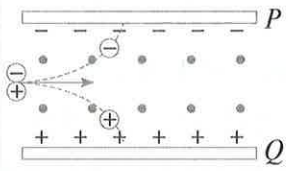
【试题立意】本题以磁流体发电机及安培力作用下的金属棒受力平衡为素材创设计算等离子体速度的学习探索问题情境，此情境曾在2018年11月浙江卷第10题出现过，教材中也出现过同源情境，如人教版教材选择性必修第二册第12页第4题图1.2－12(如图所示)。主要考查洛伦兹力的方向、洛伦兹力公式、带电粒子在匀强磁场中的运动、匀强磁场中的安培力、闭合电路欧姆定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、模型建构能力和推理论证能力。

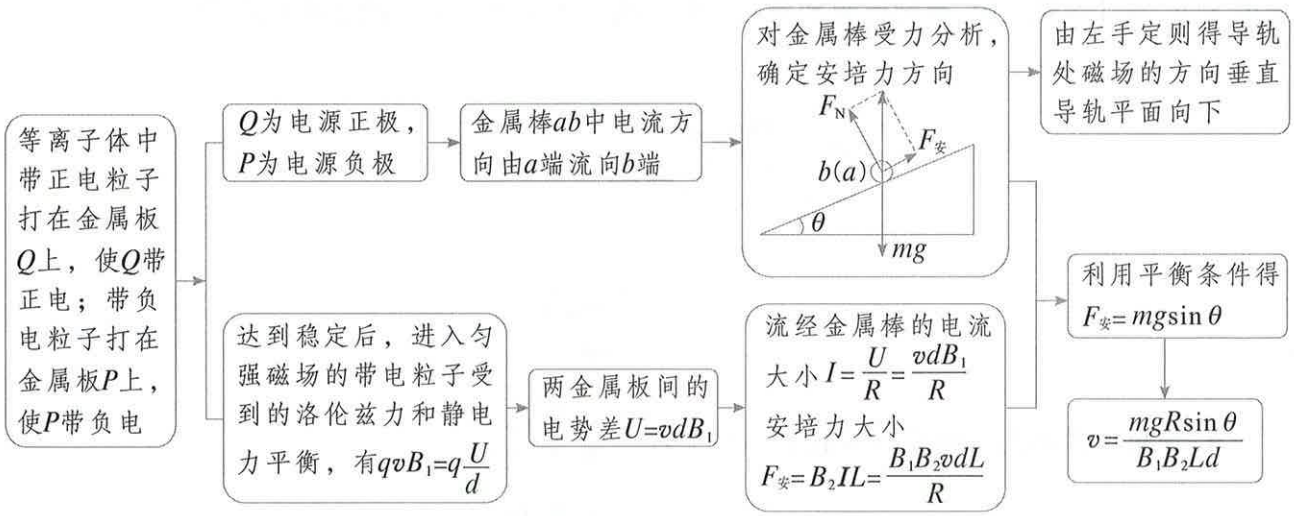
(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	两平行金属板P、Q之间有一匀强磁场，磁感应强度大小为B_1，一束速度大小为v的等离子体垂直于磁场喷入板间	粒子进入磁场后受洛伦兹力作用偏向两金属板，两金属板带电后板间形成电场，粒子又受到静电力
2	金属棒ab恰好静止	金属棒处于平衡状态，所受合力为零

(2)模型建构能力

关键信息	破题关键	建构模型
磁流体发电机	金属板P、Q间的匀强磁场方向由N指向S，根据左手定则可判断等离子体中带正电粒子受到向下的洛伦兹力，向下偏转，打到金属板Q上，使Q带正电；带负电粒子受到向上的洛伦兹力，向上偏转，打到金属板P上，使P带负电；Q、P相当于磁流体发电机给外电路供电的正、负极	磁流体发电机模型 

(3)推理论证能力



【答案】B

【失分剖析】①不理解磁流体发电机的原理，未判断出金属板P、Q所带电荷电性，导致通过金属棒的电流方向判断错误；②对金属棒所受安培力方向判断错误，受力分析不清；③未计算出金属板P、Q间电势差。

命题规律

1. 多维度细目表

高考试题（年份/卷别/题号）			2023					2022			2021	
			全国甲，20	广东，5	江苏，2	北京，18	海南，17	全国甲，25	全国乙，18	广东，7	全国乙，16	河北，5
考查内容	必备知识	磁场、磁感应强度、磁感线、通电直导线和通电线圈周围磁场的方向				√			√			
		安培力、安培力的方向、匀强磁场中的安培力			√	√	√	√				√
		洛伦兹力、洛伦兹力的方向、洛伦兹力公式	√	√						√	√	√
		带电粒子在匀强磁场中的运动、质谱仪和回旋加速器	√	√						√	√	√
	关键能力	理解能力				√			√			√
		推理论证能力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		模型建构能力	√						√		√	√
		实验探究能力										
		创新能力										
	学科素养	物理观念	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学思维	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学探究										
		科学态度与责任										
考查要求		基础性		√	√				√	√	√	
		综合性	√			√	√	√				√
		应用性						√	√			√
		创新性										

续表

高考试题（年份/卷别/题号）		2023					2022			2021	
		全国甲，20	广东，5	江苏，2	北京，18	海南，17	全国甲，25	全国乙，18	广东，7	全国乙，16	河北，5
情境载体	生活实践问题情境							√			
	学习探索问题情境	√	√	√	√	√	√		√	√	√

2. 命题趋势

考查项目	考查特点
命题类型	多以选择题或计算题形式考查
必备知识	电流的磁效应、磁感应强度、安培力、洛伦兹力、带电粒子在匀强磁场中的运动等知识点
关键能力	理解能力、模型建构能力和推理论证能力
学科素养	物理观念和科学思维
考查要求	注重基础性、综合性和应用性
考查载体	常与科技、生活相结合

2024年高考，这部分内容仍是高考命题的重点，尤其是安培力的计算、电流周围的磁场、洛伦兹力的计算、带电粒子在磁场中的运动以及临界、多解问题。

3. 备考策略

本讲涉及的知识点考查方法灵活，在复习备考时需注意以下几点：

(1)重视基础知识。加强对磁场性质、安培力、洛伦兹力、带电粒子在磁场中的运动等基本概念和规律的复习和训练。

(2)注意思维训练。磁场问题涉及的模型多以空间立体形式出现，应加强立体空间图形的转化能力训练，不仅要熟悉常见磁场的磁感线平面分布图，也要熟悉它们的立体分布情况，还要善于将有关安培力的三维立体空间问题转化为二维平面问题。

(3)勤练解题技能。作图是解决磁场问题的关键点之一，加强带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动的作图训练，培养数形结合能力，运用动态放缩圆、定点旋转圆、圆平移、圆对称等几何知识解决带电粒子在有界磁场中的运动及临界、多解问题。

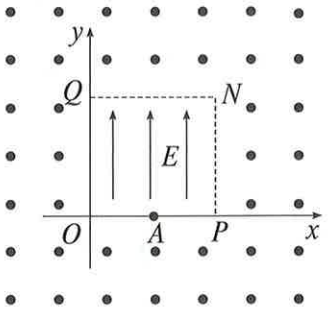
(4)关注科技前沿。了解本讲知识在科技、生产、生活中的应用，理论联系实际，提高考生应用所学知识解决综合问题的能力。

第3讲　带电粒子在组合场、叠加场中的运动

题组一　带电粒子在组合场中的运动

组合场：电场与磁场各位于一定的区域内，并不重叠，或在同一区域，电场、磁场交替出现。

1.（2023 山东卷，17）如图所示，在 $0\leqslant x\leqslant 2d$、$0\leqslant y\leqslant 2d$ 的区域中，存在沿 y 轴正方向、电场强度大小为 E 的匀强电场，电场的周围分布着垂直于纸面向外的恒定匀强磁场。一个质量为 m、电荷量为 q 的带正电粒子从 OP 中点 A 进入电场（不计粒子重力）。



（1）若粒子初速度为零，粒子从上边界垂直 QN 第二次离开电场后，垂直 NP 再次进入电场，求磁场的磁感应强度 B 的大小。

（2）若改变电场强度大小，粒子以一定的初速度从 A 点沿 y 轴正方向第一次进入电场，离开电场后从 P 点第二次进入电场，在电场的作用下从 Q 点离开。

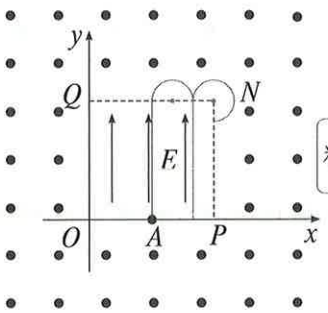
（ⅰ）求改变后电场强度 E' 的大小和粒子的初速度 v_0。

（ⅱ）通过计算判断粒子能否从 P 点第三次进入电场。

【试题立意】本题以带电粒子在电场与磁场的组合场中运动为素材创设探究磁感应强度、电场强度以及粒子运动规律的学习探索问题情境，此情境在 2023 年海南卷第 13 题出现过，主要考查动能和动能定理、带电粒子在电场中的运动、带电粒子在匀强磁场中的运动等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

第（1）问：



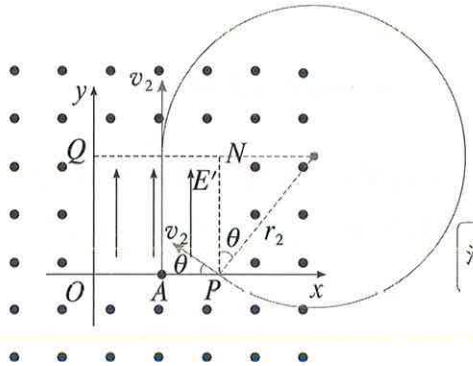
粒子在电场中加速，有 $qE\cdot 2d=\frac{1}{2}mv_1^2$

粒子在磁场中做匀速圆周运动，有 $qv_1B=m\frac{v_1^2}{r_1}$

根据几何关系得 $r_1=\frac{d}{3}$

联立得 $B=6\sqrt{\frac{mE}{qd}}$

第(2)(ⅰ)问：



粒子在磁场中做匀速圆周运动，有$qv_2B=m\frac{v_2^2}{r_2}$

由$r_2^2=(2d)^2+(r_2-d)^2$，得$r_2=\frac{5}{2}d$

$v_2=15\sqrt{\frac{qdE}{m}}$

$\cos\theta=\frac{2d}{r_2}=0.8$，$\sin\theta=0.6$

沿x轴方向上有$2d=v_2\cos\theta\cdot t$

沿y轴方向上有$2d=v_2\sin\theta\cdot t+\frac{1}{2}a't^2$

$E'=36E$

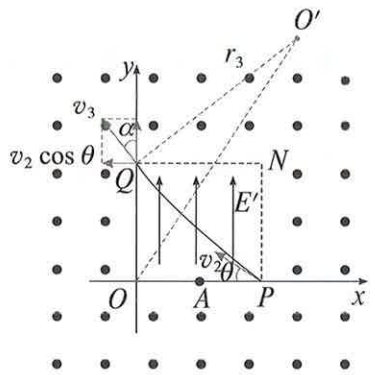
根据牛顿第二定律得$qE'=ma'$

联立得$v_0=9\sqrt{\frac{qdE}{m}}$

粒子在电场中加速，有$qE'\cdot 2d=\frac{1}{2}mv_2^2-\frac{1}{2}mv_0^2$

第(2)(ⅱ)问：

根据动能定理得$qE'\cdot 2d=\frac{1}{2}mv_3^2-\frac{1}{2}mv_2^2$ → $v_3=3\sqrt{\frac{41qdE}{m}}$ → $r_3=\frac{mv_3}{qB}=\frac{\sqrt{41}}{2}d$ → 设v_3与y轴正方向的夹角为α，$\sin\alpha=\frac{v_2\cos\theta}{v_3}=\frac{4}{\sqrt{41}}$，$\cos\alpha=\frac{5}{\sqrt{41}}$



⇓

圆心坐标：$x=r_3\cos\alpha=\frac{5}{2}d$，$y=2d+r_3\sin\alpha=4d$

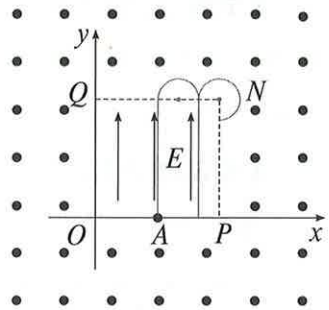
⇓

圆心与P点的距离：$l=\sqrt{\left(\frac{5}{2}d-2d\right)^2+(4d-0)^2}=\frac{\sqrt{65}}{2}d\neq r_3$

⇓

故粒子不会再从P点进入电场

【解题过程】(1)粒子从A点到垂直于NP进入电场过程中，粒子运动轨迹如图所示



根据几何关系可知，粒子轨迹半径$r_1=\frac{1}{3}AP=\frac{1}{3}d$ ①

设粒子第一次进入磁场时的速度大小为v_1，根据动能定理得

$qE\cdot 2d=\frac{1}{2}mv_1^2$ ②

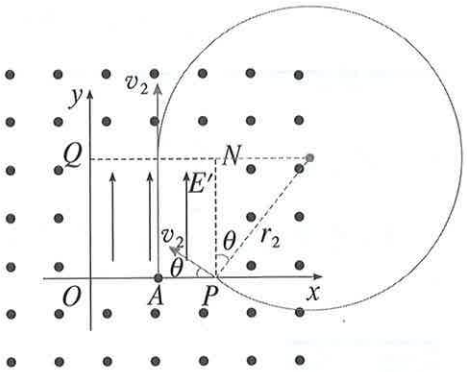
解得$v_1=2\sqrt{\frac{qdE}{m}}$

由于粒子第二次从QN边进入电场到再次从QN边进入磁场过程中，静电力做功为零，所以粒子第二次进入磁场时的速度大小不变，仍为v_1

根据洛伦兹力提供向心力得$qv_1B=m\frac{v_1^2}{r_1}$ ③

解得 $B=6\sqrt{\dfrac{mE}{qd}}$。　④

(2)(ⅰ)若改变电场强度大小，粒子以一定的初速度从 A 点沿 y 轴正方向第一次进入电场，离开电场后从 P 点第二次进入电场，在电场的作用下从 Q 点离开，粒子运动轨迹如图所示



根据几何关系得 $r_2{}^2=(2d)^2+(r_2-d)^2$　⑤

解得 $r_2=2.5d$

根据洛伦兹力提供向心力得 $qv_2B=m\dfrac{v_2{}^2}{r_2}$

解得 $v_2=15\sqrt{\dfrac{qdE}{m}}$　⑥

根据几何关系得 $\cos\theta=\dfrac{2d}{r_2}=\dfrac{2d}{2.5d}=0.8$，则 $\sin\theta=0.6$

粒子从 P 点进入电场后，从 Q 点离开电场，沿 x 轴方向有 $2d=v_2\cos\theta\cdot t$　⑦

沿 y 轴方向有 $2d=v_2\sin\theta\cdot t+\dfrac{1}{2}a't^2$　⑧

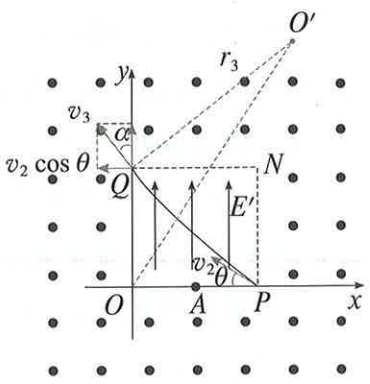
根据牛顿第二定律得 $qE'=ma'$

联立解得 $E'=36E$　⑨

粒子从 A 点到上边界运动的过程中，根据动能定理得 $qE'\cdot 2d=\dfrac{1}{2}mv_2{}^2-\dfrac{1}{2}mv_0{}^2$　⑩

解得 $v_0=9\sqrt{\dfrac{qdE}{m}}$。　⑪

(ⅱ)设粒子离开 Q 点速度大小为 v_3，与 y 轴夹角为 α，如图所示



根据动能定理得 $qE'\cdot 2d=\dfrac{1}{2}mv_3{}^2-\dfrac{1}{2}mv_2{}^2$

解得 $v_3=3\sqrt{\dfrac{41qdE}{m}}$

根据洛伦兹力提供向心力得 $qv_3B=m\dfrac{v_3{}^2}{r_3}$

解得 $r_3=\dfrac{\sqrt{41}}{2}d$　⑫

根据几何关系得 $\sin\alpha=\dfrac{v_2\cos\theta}{v_3}=\dfrac{4}{\sqrt{41}}$，则 $\cos\alpha=\dfrac{5}{\sqrt{41}}$

根据几何关系可知对应的圆心坐标为 $x=r_3\cos\alpha=\dfrac{5}{2}d$，$y=2d+r_3\sin\alpha=4d$　⑬

而圆心与 P 的距离为 $l=\sqrt{\left(\frac{5}{2}d-2d\right)^2+(4d-0)^2}=\frac{\sqrt{65}}{2}d\neq r_3$ ⑭

故粒子不能从 P 点第三次进入电场。

评分参考:①~⑭各 1 分。

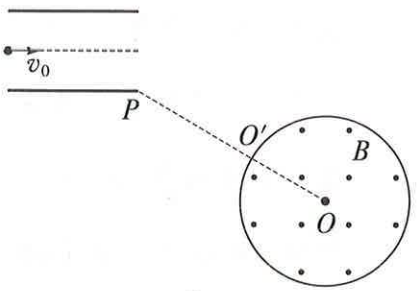
【答案】(1)$6\sqrt{\frac{mE}{qd}}$ (2)(ⅰ)$36E$ $9\sqrt{\frac{qdE}{m}}$ (ⅱ)不能

【失分剖析】①在运算过程中出错;②不能根据粒子的运动规律确定出匀速圆周运动的圆心。

方法点拨

对于带电粒子在磁场中的运动情况分析,一般是确定圆心位置,根据几何关系求半径,结合洛伦兹力提供向心力求解未知量;根据周期公式结合轨迹对应的圆心角求时间。对于带电粒子在电场中的运动情况分析,一般是按类平抛运动或匀变速直线运动的规律进行解答。

2.(2023 辽宁卷,14)如图所示,水平放置的两平行金属板间存在匀强电场,板长是板间距离的$\sqrt{3}$倍。金属板外有一圆心为 O 的圆形区域,其内部存在磁感应强度大小为 B、方向垂直于纸面向外的匀强磁场。质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$的粒子沿中线以速度 v_0 水平向右射入两板间,恰好从下板边缘 P 点飞出电场,并沿 PO 方向从图中 O' 点射入磁场。已知圆形磁场区域半径为 $\frac{2mv_0}{3qB}$,不计粒子重力。



(1)求金属板间电势差 U。

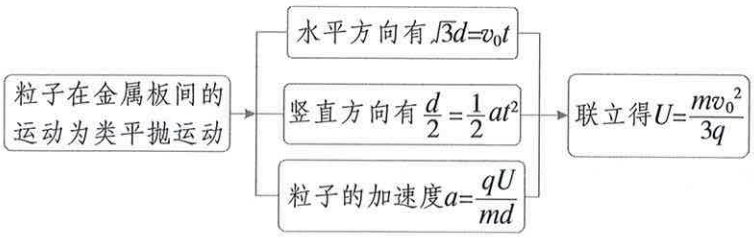
(2)求粒子射出磁场时与射入磁场时运动方向间的夹角 θ。

(3)仅改变圆形磁场区域的位置,使粒子仍从图中 O' 点射入磁场,且在磁场中的运动时间最长。定性画出粒子在磁场中的运动轨迹及相应的弦,标出改变后的圆形磁场区域的圆心 M。

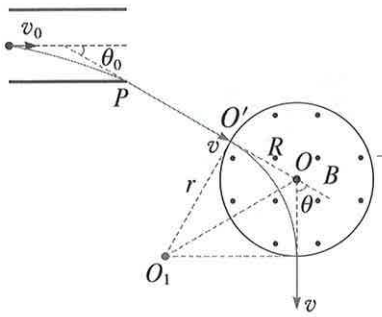
【试题立意】本题以带电粒子在电场与磁场的组合场中运动为素材创设求解电压、偏转角等物理量的学习探索问题情境,此情境曾在 2022 年天津卷第 11 题出现过,主要考查带电粒子在电场中的运动、带电粒子在匀强磁场中的运动等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

第(1)问:

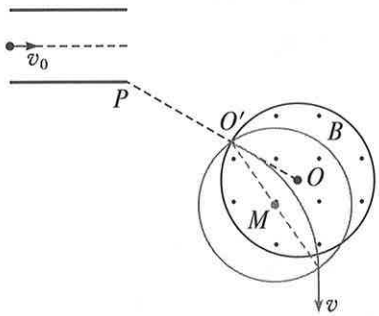


第(2)问：



$\tan\theta_0=\frac{at}{v_0}=\frac{\sqrt{3}}{3}$，即$\theta_0=30°$ → $v=\frac{v_0}{\cos 30°}=\frac{2\sqrt{3}}{3}v_0$ → $r=\frac{mv}{qB}=\frac{2\sqrt{3}mv_0}{3qB}=\sqrt{3}R$ → 由几何关系可得$\theta=60°$

第(3)问：



当磁场圆的直径为运动轨迹圆的弦时，粒子在磁场中的运动时间最长。粒子在磁场中的运动轨迹及相应的弦和改变后的圆形磁场区域的圆心M如左图所示

【解题过程】(1)粒子在金属板间的运动为类平抛运动，设粒子在金属板间的运动时间为t，板间距离为d，板长为$\sqrt{3}d$，则在水平方向有$\sqrt{3}d=v_0t$ ①

在竖直方向有$\frac{d}{2}=\frac{1}{2}at^2$ ②

由牛顿第二定律得$\frac{qU}{d}=ma$ ③

联立解得$U=\frac{mv_0^2}{3q}$。 ④

(2)如图甲所示，设粒子射出金属板时的速度方向与水平方向的夹角为θ_0。则

$\tan\theta_0=\frac{at}{v_0}=\frac{\sqrt{3}}{3}$，即$\theta_0=30°$ ⑤

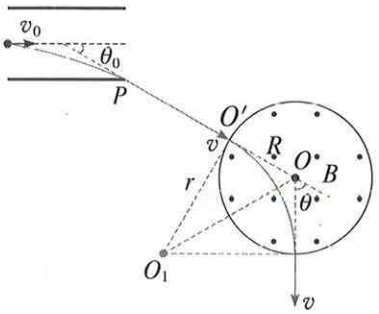
粒子射出金属板时的速度$v=\frac{v_0}{\cos 30°}=\frac{2\sqrt{3}}{3}v_0$ ⑥

粒子出电场后沿直线匀速运动，接着进入磁场，洛伦兹力提供粒子做匀速圆周运动所需的向心力得$qvB=m\frac{v^2}{r}$ ⑦

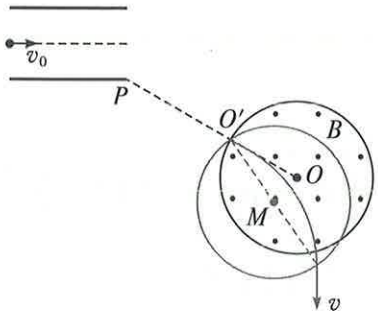
解得$r=\frac{mv}{qB}=\frac{2\sqrt{3}mv_0}{3qB}$ ⑧

已知圆形磁场区域半径为$R=\frac{2mv_0}{3qB}$，则$r=\sqrt{3}R$ ⑨

由几何关系得，粒子射出磁场时与射入磁场时运动方向间的夹角$\theta=60°$。 ⑩



甲



乙

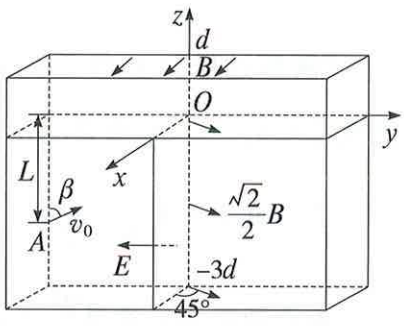
(3)当磁场圆的直径为运动轨迹圆的弦时，粒子在磁场中的运动时间最长。粒子在磁场中的运动轨迹及相应的弦和改变后的圆形磁场区域的圆心 M 如图乙所示。 ⑪

评分参考：⑪3 分，①~⑩各 1 分。

【答案】(1)$\frac{mv_0^2}{3q}$　(2)60°　(3)见解析

【失分剖析】不会通过比较圆弧的长短来确定粒子在磁场中运动时间的长短。

3.(2022 山东卷，17)中国“人造太阳”在核聚变实验方面取得新突破，该装置中用电磁场约束和加速高能离子，其部分电磁场简化模型如图所示。在三维坐标系 $Oxyz$ 中，$0<z\leqslant d$ 空间内充满匀强磁场Ⅰ，磁感应强度大小为 B，方向沿 x 轴正方向；$-3d\leqslant z<0$，$y\geqslant 0$ 的空间内充满匀强磁场Ⅱ，磁感应强度大小为 $\frac{\sqrt{2}}{2}B$，方向平行于 xOy 平面，与 x 轴正方向夹角为 45°；$z<0$，$y\leqslant 0$ 的空间内充满沿 y 轴负方向的匀强电场。质量为 m、电荷量为 $+q$ 的离子甲，从 yOz 平面第三象限内距 y 轴为 L 的点 A 以一定速度出射，速度方向与 z 轴正方向夹角为 β，在 yOz 平面内运动一段时间后，经坐标原点 O 沿 z 轴正方向进入磁场Ⅰ。不计离子重力。



(1)当离子甲从 A 点出射速度为 v_0 时，求电场强度的大小 E。

(2)若使离子甲进入磁场后始终在磁场中运动，求进入磁场时的最大速度 v_m。

(3)离子甲以 $\frac{qBd}{2m}$ 的速度从 O 点沿 z 轴正方向第一次穿过 xOy 面进入磁场Ⅰ，求第四次穿过 xOy 平面的位置坐标(用 d 表示)。

(4)当离子甲以 $\frac{qBd}{2m}$ 的速度从 O 点进入磁场Ⅰ时，质量为 $4m$、电荷量为 $+q$ 的离子乙，也从 O 点沿 z 轴正方向以相同的动能同时进入磁场Ⅰ，求两离子进入磁场后，到达它们运动轨迹第一个交点的时间差 Δt(忽略离子间相互作用)。

【试题立意】本题以“人造太阳”装置中的电磁场约束和加速高能离子为素材创设生活实践问题情境，考查抛体运动、运动的合成与分解、洛伦兹力的方向、洛伦兹力公式、带电粒子在电场中的运动、带电粒子在匀强磁场中的运动等知识点。

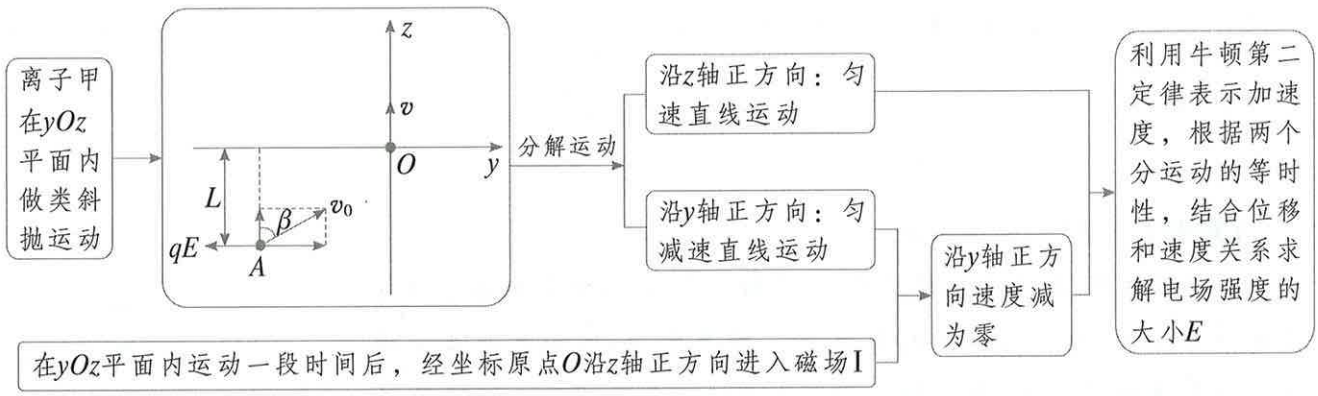
【关键能力】本题主要考查模型建构能力和推理论证能力。

(1)模型建构能力

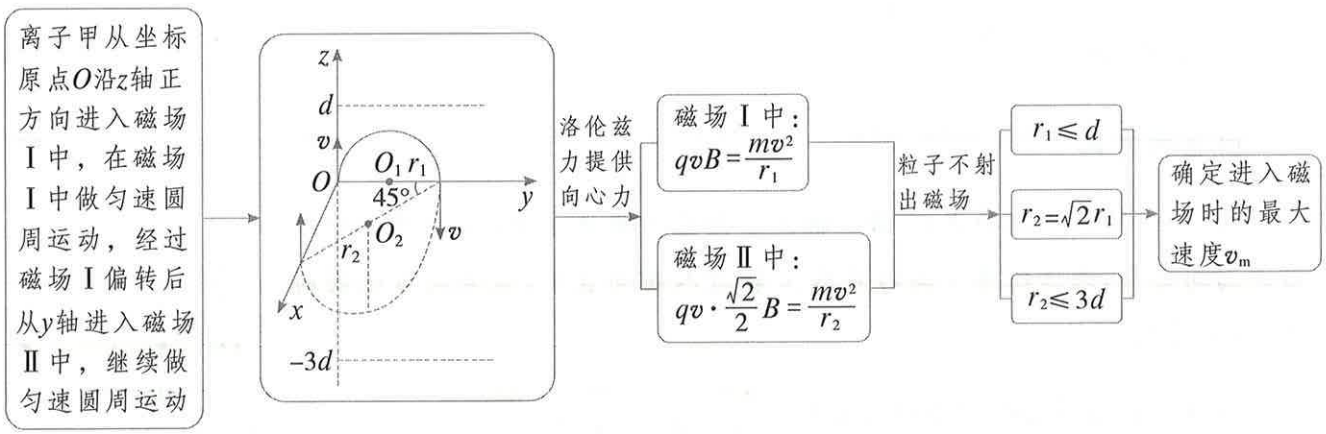
序号	关键信息	破题关键	建构模型
1	正离子甲在电场中受沿 y 轴负向的静电力，从 yOz 平面内的 A 点，以与 z 轴正方向夹角为 β 的速度射入电场	正离子甲在 yOz 平面内做类斜抛运动	类斜抛运动
2	正离子从 O 点以沿 z 轴正方向的速度射入匀强磁场Ⅰ，速度与匀强磁场Ⅰ方向垂直	正离子在 yOz 平面内做圆周运动，偏转半个周期进入匀强磁场Ⅱ	匀速圆周运动
3	正离子从 y 轴射入匀强磁场Ⅱ，速度方向与磁场边界垂直，也与匀强磁场Ⅱ方向垂直	正离子在过入射点且与匀强磁场Ⅱ方向垂直的平面内做圆周运动，偏转半个周期进入匀强磁场Ⅰ	匀速圆周运动

(2)推理论证能力

第(1)问：



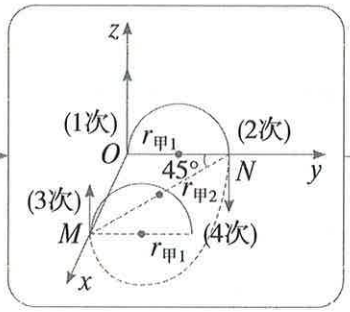
第(2)问：



说明：由 $r_2=\sqrt{2}r_1$ 可知，只要离子不从下边界穿出，那就会从 x 轴沿 z 轴正方向回到磁场Ⅰ。

第(3)问：

根据离子在两个磁场区域内的偏转，确定离子四次穿过xOy平面的位置



第1次：离子从O点沿z轴正方向穿过xOy平面，进入磁场Ⅰ

第2次：离子在磁场Ⅰ中偏转半个周期，从y轴上的N点沿z轴负方向进入磁场Ⅱ

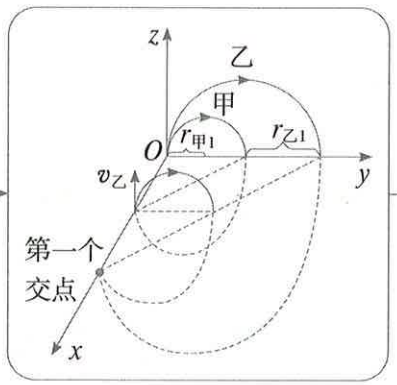
第3次：离子在过N点与磁场Ⅱ垂直的平面内做圆周运动，偏转半个周期，从x轴上M点射出磁场Ⅱ，再次进入磁场Ⅰ

第4次：离子进入磁场Ⅰ后，在过M点并与yOz平面平行的竖直面内继续偏转半个周期穿过xOy平面

结合离子在两个磁场区域的圆周运动半径即可确定位置坐标

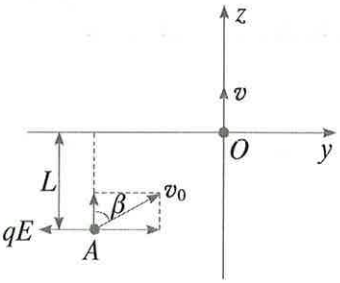
第(4)问：

甲、乙两离子的质量与动能关系 → 两离子的速度关系 → 在磁场中做圆周运动的半径关系



→ 根据周期公式计算时间差

【解题过程】(1)如图所示

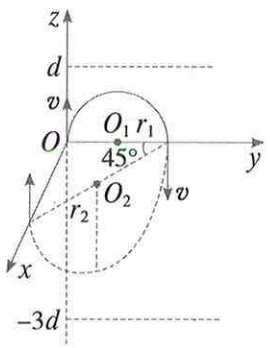


将离子甲从A点的出射速度v_0分解为沿y轴方向和沿z轴方向两个分速度，离子受到的静电力沿y轴负方向，可知离子沿z轴方向做匀速直线运动，沿y轴方向做匀减速直线运动，从A到O的过程，有$L=v_0\cos\beta\cdot t$ ①

$v_0\sin\beta=at$，$a=\dfrac{qE}{m}$ ②

联立解得$E=\dfrac{mv_0^2\sin\beta\cos\beta}{qL}$。 ③

(2)离子甲从坐标原点O沿z轴正方向进入磁场Ⅰ中，在磁场Ⅰ中做匀速圆周运动，经过磁场Ⅰ偏转后从y轴进入磁场Ⅱ中，继续做匀速圆周运动，如图所示



由洛伦兹力提供向心力可得$qvB=\dfrac{mv^2}{r_1}$，$qv\cdot\dfrac{\sqrt{2}}{2}B=\dfrac{mv^2}{r_2}$ ④

可得$r_2=\sqrt{2}r_1$

为了使离子甲始终在磁场中运动，则在磁场Ⅰ中运动时，不能从磁场Ⅰ上边界穿出；在磁场Ⅱ中运动时，不能从磁场Ⅱ下边界穿出，则离子在磁场中运动的轨迹半

径需满足 $r_1 \leqslant d$，$r_2 \leqslant 3d$ ⑤

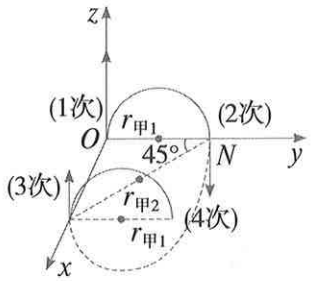
联立可得 $v \leqslant \dfrac{qBd}{m}$

要使离子甲进入磁场后始终在磁场中运动，进入磁场时的最大速度 $v_m = \dfrac{qBd}{m}$。 ⑥

(3)离子甲以 $v_1 = \dfrac{qBd}{2m}$ 的速度从 O 点沿 z 轴正方向第 1 次穿过 xOy 面进入磁场Ⅰ，离子甲在磁场Ⅰ中的轨迹半径为 $r_{甲1} = \dfrac{mv_1}{qB} = \dfrac{d}{2}$ ⑦

离子甲在磁场Ⅱ中的轨迹半径为 $r_{甲2} = \dfrac{mv_1}{q \cdot \dfrac{\sqrt{2}}{2}B} = \dfrac{\sqrt{2}d}{2}$ ⑧

离子甲从 O 点第 1 次穿过到第 4 次穿过 xOy 平面的运动情境，如图所示



离子甲第 4 次穿过 xOy 平面的 x 坐标为 $x_4 = 2r_{甲2}\sin 45° = d$

离子甲第 4 次穿过 xOy 平面的 y 坐标为 $y_4 = 2r_{甲1} = d$

故离子第 4 次穿过 xOy 平面的位置坐标为 $(d, d, 0)$。 ⑨

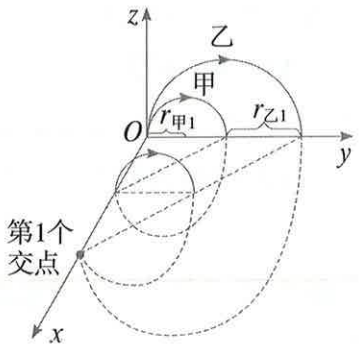
(4)设离子乙的速度为 v_2，根据离子甲、乙动能相同，可得 $\dfrac{1}{2}mv_1^{\,2} = \dfrac{1}{2} \times 4mv_2^{\,2}$

可得 $v_2 = \dfrac{v_1}{2} = \dfrac{qBd}{4m}$ ⑩

离子甲、乙在磁场Ⅰ中的轨迹半径分别为 $r_{甲1} = \dfrac{mv_1}{qB} = \dfrac{d}{2}$，$r_{乙1} = \dfrac{4mv_2}{qB} = d = 2r_{甲1}$ ⑪

离子甲、乙在磁场Ⅱ中的轨迹半径分别为 $r_{甲2} = \dfrac{\sqrt{2}d}{2}$，$r_{乙2} = \dfrac{4mv_2}{q \cdot \dfrac{\sqrt{2}}{2}B} = \sqrt{2}d = 2r_{甲2}$ ⑫

根据几何关系可知离子甲、乙运动轨迹第 1 个交点在离子乙第 1 次穿过 x 轴的位置，如图所示



从 O 点进入磁场到第 1 个交点的过程，有

$t_{甲} = T_1 + T_2 = \dfrac{2\pi m}{qB} + \dfrac{2\pi m}{q \cdot \dfrac{\sqrt{2}}{2}B} = (2+2\sqrt{2})\dfrac{\pi m}{qB}$，$t_{乙} = \dfrac{1}{2}T_1' +$

$\dfrac{1}{2}T_2' = \dfrac{1}{2} \times \dfrac{2\pi \cdot 4m}{qB} + \dfrac{1}{2} \times \dfrac{2\pi \cdot 4m}{q \cdot \dfrac{\sqrt{2}}{2}B} = (4+4\sqrt{2})\dfrac{\pi m}{qB}$ ⑬

可得离子甲、乙到达它们运动轨迹第 1 个交点的时间差为 $\Delta t = t_{乙} - t_{甲} = (2+2\sqrt{2})\dfrac{\pi m}{qB}$。 ⑭

评分参考：①～⑭各 1 分。

【答案】(1)$\frac{mv_0^2\sin\beta\cos\beta}{qL}$　(2)$\frac{qBd}{m}$　(3)$(d,d,0)$　(4)$(2+2\sqrt{2})\frac{\pi m}{qB}$

【失分剖析】①不能熟练应用运动的合成与分解的思想处理带电粒子在电场中的类斜抛问题;②不能准确地在空间中根据磁场方向判断洛伦兹力方向并确定带电粒子轨迹圆所在的平面;③不能在空间图形中准确地找到带电粒子的位置关系。

4.(2022 河北卷,14)两块面积和间距均足够大的金属板水平放置,如图 1 所示,金属板与可调电源相连形成电场,方向沿 y 轴正方向。在两板之间施加磁场,方向垂直 xOy 平面向外。电场强度和磁感应强度随时间的变化规律如图 2 所示。板间 O 点放置一粒子源,可连续释放质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$、初速度为零的粒子,不计粒子重力及粒子间的相互作用,图中物理量均为已知量。求:

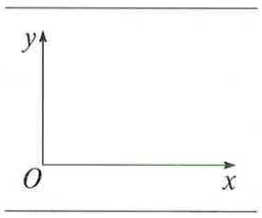


图1

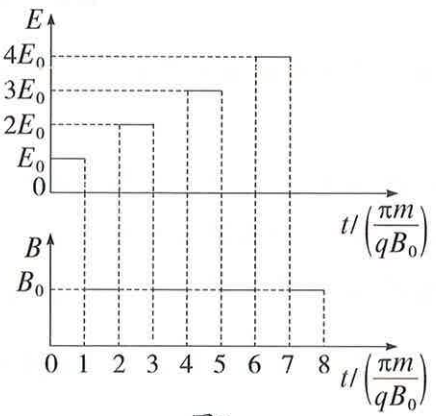


图2

(1)$t=0$ 时刻释放的粒子,在 $t=\frac{2\pi m}{qB_0}$ 时刻的位置坐标;

(2)在 $0\sim\frac{6\pi m}{qB_0}$ 时间内,静电力对 $t=0$ 时刻释放的粒子所做的功;

(3)在 $M\left(\frac{4\pi E_0 m}{qB_0^2},\frac{\pi^2 E_0 m}{4qB_0^2}\right)$ 点放置一粒子接收器,在 $0\sim\frac{6\pi m}{qB_0}$ 时间内什么时刻释放的粒子在电场存在期间被捕获。

【试题立意】本题以周期性变化的电场和磁场为素材创设研究带电粒子运动的学习探索问题情境,考查带电粒子在电场中的运动、带电粒子在匀强磁场中的运动等知识点。

【关键能力】本题主要考查模型建构能力和推理论证能力。

(1)模型建构能力[以(1)(2)问为例进行分析]

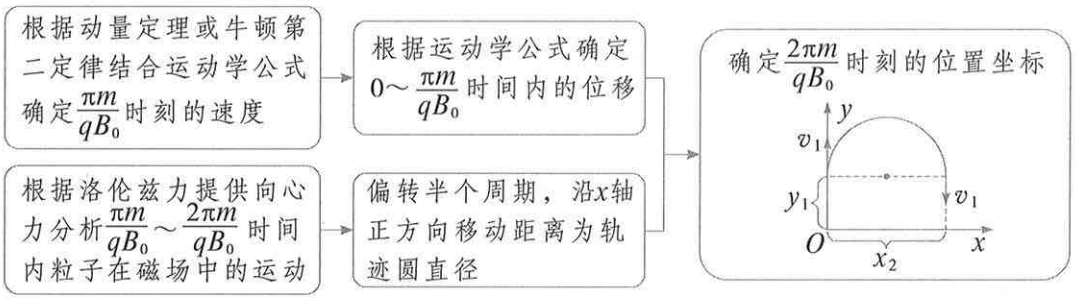
序号	关键信息	破题关键	建构模型
1	在时间 $0\sim\frac{\pi m}{qB_0}$ 内,不计重力的带正电粒子在匀强电场中运动	沿 y 轴正方向做匀加速直线运动	匀加速直线运动
2	在时间 $\frac{\pi m}{qB_0}\sim\frac{2\pi m}{qB_0}$ 内,不计重力的带正电粒子在匀强磁场中运动	沿顺时针方向做匀速圆周运动,经半个周期,速度变为沿 y 轴负方向	匀速圆周运动

续表

序号	关键信息	破题关键	建构模型
3	在时间$\frac{2\pi m}{qB_0}\sim\frac{3\pi m}{qB_0}$内，不计重力的带正电粒子在匀强电场中运动	电场强度变为$0\sim\frac{\pi m}{qB_0}$时间内的两倍，沿y轴负方向减速至零，又反向加速到与$\frac{2\pi m}{qB_0}$时刻等大的速度（以后依次经历在电场中的匀变速直线运动和在磁场中偏转半个周期的匀速圆周运动）	匀变速直线运动

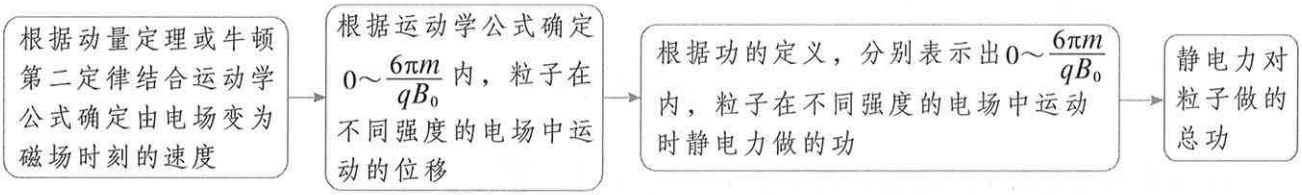
(2)推理论证能力

第(1)问：

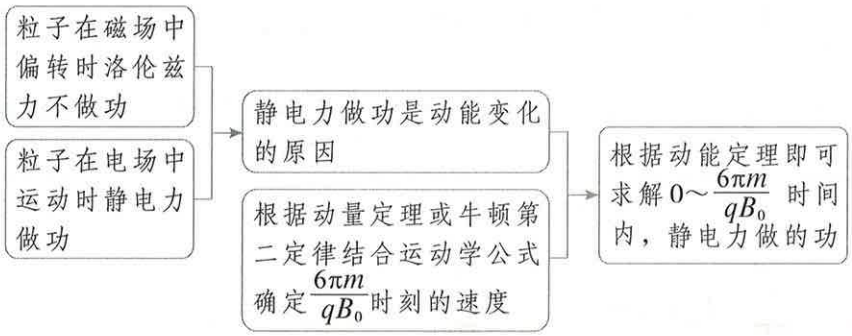


第(2)问：

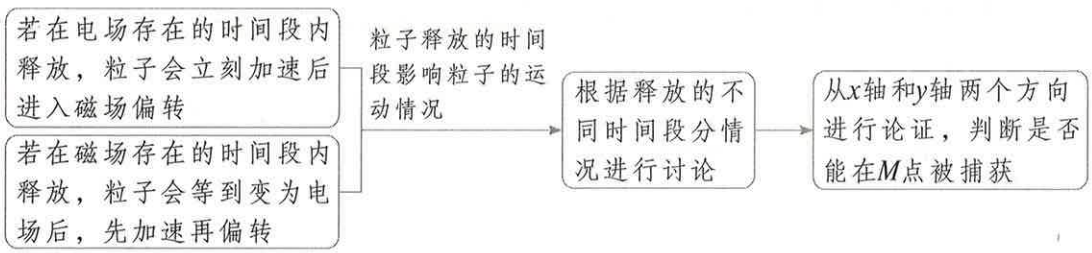
方法①根据功的定义式求静电力做功。



方法②根据动能定理求静电力做功。



第(3)问：

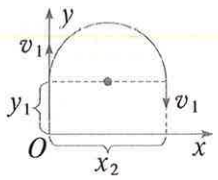


【解题过程】(1)在 $0\sim\frac{\pi m}{qB_0}$ 时间内，电场强度为 E_0，带电粒子在电场中加速，根据动量定理可知 $qE_0\cdot\frac{\pi m}{qB_0}=mv_1$ ①

解得粒子在 $\frac{\pi m}{qB_0}$ 时刻的速度大小为 $v_1=\frac{\pi E_0}{B_0}$，方向竖直向上

粒子竖直向上运动的距离 $y_1=\frac{1}{2}v_1\cdot\frac{\pi m}{qB_0}=\frac{\pi^2E_0m}{2qB_0^2}$ ②

在 $\frac{\pi m}{qB_0}\sim\frac{2\pi m}{qB_0}$ 时间内，根据粒子在磁场中运动的周期 $T=\frac{2\pi m}{qB_0}$ 可知，粒子偏转 180°，速度反向，根据 $qv_1B_0=m\frac{v_1^2}{r_2}$ 可知，粒子水平向右运动的距离为 $x_2=2r_2=2\frac{mv_1}{qB_0}=\frac{2\pi E_0m}{qB_0^2}$ ③



粒子运动轨迹如图所示

所以在 $t=\frac{2\pi m}{qB_0}$ 时刻粒子的位置坐标为 $\left(\frac{2\pi E_0m}{qB_0^2},\frac{\pi^2E_0m}{2qB_0^2}\right)$。 ④

(2)在 $\frac{2\pi m}{qB_0}\sim\frac{3\pi m}{qB_0}$ 时间内，电场强度为 $2E_0$，粒子受到的静电力竖直向上，在竖直方向

$q\cdot2E_0\cdot\frac{\pi m}{qB_0}=mv_2-m(-v_1)$ ⑤

解得 $\frac{3\pi m}{qB_0}$ 时刻粒子的速度为 $v_2=\frac{\pi E_0}{B_0}$，方向竖直向上

粒子在竖直方向上运动的距离为 $y_3=\frac{-v_1+v_2}{2}\cdot\frac{\pi m}{qB_0}-0$ ⑥

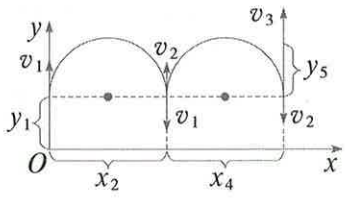
在 $\frac{3\pi m}{qB_0}\sim\frac{4\pi m}{qB_0}$ 时间内，粒子在水平方向运动的距离为 $x_4=2r_4=2\frac{mv_2}{qB_0}=\frac{2\pi E_0m}{qB_0^2}$ ⑦

$t=\frac{4\pi m}{qB_0}$ 时刻粒子速度方向向下，大小为 v_2，在 $\frac{4\pi m}{qB_0}\sim\frac{5\pi m}{qB_0}$ 时间内，电场强度为 $3E_0$，在竖直方向 $q\cdot3E_0\cdot\frac{\pi m}{qB_0}=mv_3-m(-v_2)$ ⑧

解得粒子在 $t=\frac{5\pi m}{qB_0}$ 时刻的速度 $v_3=\frac{2\pi E_0}{B_0}$

粒子在竖直方向运动的距离 $y_5=\frac{-v_2+v_3}{2}\cdot\frac{\pi m}{qB_0}=\frac{\pi^2E_0m}{2qB_0^2}$ ⑨

粒子运动的轨迹如图所示



在 $0\sim\frac{6\pi m}{qB_0}$ 时间内，静电力对粒子做功的大小为

$W=qE_0\cdot y_1+q\cdot 2E_0\cdot y_3+q\cdot 3E_0\cdot y_5=\dfrac{2\pi^2 {E_0}^2 m}{{B_0}^2}$。　⑩

(3)若未在 M 点放置粒子接收器，粒子从不同时段释放后，依次在电场中运动后再进入磁场中偏转半个周期

在电场中第一次加速，由动量定理得 $qE_1t_1=p_1\left(t_1\leqslant\dfrac{\pi m}{qB_0}\right)$

粒子在磁场中向右偏转半周后速度反向，动量变为 $-p_1$

第二次进入电场后 $qE_2\dfrac{\pi m}{qB_0}=p_2-(-p_1)$

又 $E_2>E_1$，则 $p_2>0$，粒子继续进入磁场向右偏转半周

第三次进入电场后 $qE_3\dfrac{\pi m}{qB_0}=p_3-(-p_2)$

第四次进入电场后 $qE_4\dfrac{\pi m}{qB_0}=p_4-(-p_3)$

以此类推，第 n 次进入电场后 $qE_n\dfrac{\pi m}{qB_0}=p_n-(-p_{n-1})(n>1)$

而 $E_n>E_{n-1}$，则 $p_n>0$，即粒子每次经过电场后速度方向向上，在磁场中只会向右偏转，不可能向左偏转

根据粒子释放的时间段不同分情况具体讨论分析粒子能否被 M 处的接收器捕获的情况：

①若粒子在 $0\sim\dfrac{\pi m}{qB_0}$ 内释放，设在电场强度为 E_0 的电场中加速的时间为 t_1，

据动量定理 $qE_0t_1=mv_1'$，得 $v_1'=\dfrac{qE_0t_1}{m}$　⑪

粒子沿 y 轴正向加速运动的位移 $y_1'=\dfrac{1}{2}v_1'\cdot t_1=\dfrac{qE_0{t_1}^2}{2m}$　⑫

在 $\dfrac{\pi m}{qB_0}\sim\dfrac{2\pi m}{qB_0}$ 时间内，粒子在磁场中偏转的轨迹圆半径为 $R_1=\dfrac{mv_1'}{qB_0}$

则粒子偏转半个周期在 $t=\dfrac{2\pi m}{qB_0}$ 时刻到达的位置的坐标为 $(2R_1,y_1')$　⑬

根据第(1)问计算，若 $t_1=\dfrac{\pi m}{qB_0}$，在 $t=\dfrac{2\pi m}{qB_0}$ 时刻粒子的位置坐标为 $\left(\dfrac{2\pi E_0 m}{{qB_0}^2},\dfrac{\pi^2 E_0 m}{2{qB_0}^2}\right)$　⑭

而 $t_1\leqslant\dfrac{\pi m}{qB_0}$，则 $2R_1=\dfrac{2E_0}{B_0}t_1\leqslant\dfrac{2\pi E_0 m}{{qB_0}^2}$，粒子在本时间段内未被捕获　⑮

在 $\dfrac{2\pi m}{qB_0}\sim\dfrac{3\pi m}{qB_0}$ 时间内，粒子在电场强度为 $2E_0$ 的电场中运动

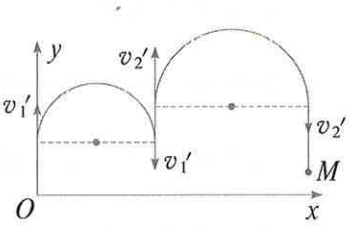
据动量定理

$q\cdot 2E_0\cdot\dfrac{\pi m}{qB_0}=mv_2'+mv_1'$　⑯

沿 y 轴方向向上移动的距离 $y_3'=\dfrac{-v_1'+v_2'}{2}\cdot\dfrac{\pi m}{qB_0}$ ⑰

在 $\dfrac{3\pi m}{qB_0}\sim\dfrac{4\pi m}{qB_0}$ 时间内，粒子沿 x 轴方向运动的距离为

$2R_2=2\dfrac{mv_2'}{qB_0}$ ⑱



第二次偏转后的 x 轴坐标为 $x=2R_1+2R_2=\dfrac{4\pi E_0 m}{qB_0^2}$，与时间 t_1 无关，即在 $0\sim\dfrac{\pi m}{qB_0}$ 内任何时刻释放均会到达与 M 点 x 轴坐标相同的位置。 ⑲

进一步分析粒子沿 y 轴的运动，两次偏转完成后的 y 轴坐标 $y_1'+y_3'=\dfrac{qE_0}{2m}t_1^2-\dfrac{\pi E_0}{B_0}t_1+\dfrac{\pi^2 E_0 m}{qB_0^2}$

在 $t_1=\dfrac{\pi m}{qB_0}$ 时有最小值 $\dfrac{\pi^2 E_0 m}{2qB_0^2}$，该位置在 M 点上方。 ⑳

而 $t_1\leqslant\dfrac{\pi m}{qB_0}$，则 $y_1'+y_3'\geqslant\dfrac{\pi^2 E_0 m}{2qB_0^2}$，在 $0\sim\dfrac{\pi m}{qB_0}$ 内任何时刻释放，两次偏转后均会到达 M 点上方。 ㉑

在 $\dfrac{4\pi m}{qB_0}\sim\dfrac{5\pi m}{qB_0}$ 时间内，粒子在电场强度为 $3E_0$ 的电场中运动，若向下运动的最大位移为 y_5'，$y_5'=\dfrac{v_2'^2}{2\times\dfrac{3qE_0}{m}}=\dfrac{mv_2'^2}{6qE_0}$ ㉒

向下运动达最低点时的坐标 $y_1'+y_3'-y_5'=\dfrac{qE_0}{3m}t_1^2-\dfrac{\pi E_0}{3B_0}t_1+\dfrac{\pi^2 mE_0}{3qB_0^2}$

在 $t_1=\dfrac{\pi m}{2qB_0}$ 时有最小值 $\dfrac{\pi^2 E_0 m}{4qB_0^2}$，恰好到达 M 点，则在 $\dfrac{\pi m}{2qB_0}$ 时刻释放的粒子恰好到达 M 点被捕获。 ㉓

其他时刻释放的粒子以后将连续不断地在经过电场加速后又进入磁场中向右偏转，沿 x 轴看，离 M 点越来越远。

②若粒子在 $\dfrac{\pi m}{qB_0}\sim\dfrac{3\pi m}{qB_0}$ 时间内释放，在电场强度为 $2E_0$ 的电场中加速的时间为 t_2，则

$2qE_0t_2=mv_1''$ ㉔

$y_1''=\dfrac{1}{2}v_1''\cdot t_2=\dfrac{qE_0t_2^2}{m}$ ㉕

$R_1'=\dfrac{mv_1''}{qB_0}$ ㉖

Ⅰ. 若经过一次偏转满足到达的位置 x 轴坐标与 M 点相同，则 $2R_1'=\dfrac{4\pi E_0 m}{qB_0{}^2}$

解得 $t_2=\dfrac{\pi m}{qB_0}$，$y_1''=\dfrac{\pi^2 E_0 m}{qB_0{}^2}>\dfrac{\pi^2 E_0 m}{4qB_0{}^2}$，在 M 点上方　㉗

$\dfrac{4\pi m}{qB_0}\sim\dfrac{5\pi m}{qB_0}$ 时间内向下运动的最大位移 $y_3''=\dfrac{v_1''^2}{2\times\dfrac{3qE_0}{m}}=\dfrac{2\pi^2 E_0 m}{3qB_0{}^2}$　㉘

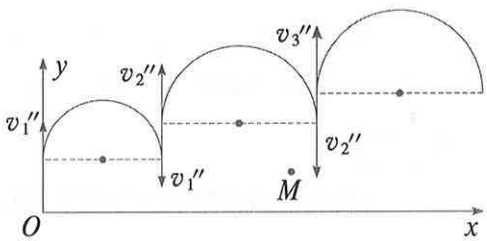
此时 y 轴坐标 $y_1''-y_3''=\dfrac{\pi^2 E_0 m}{3qB_0{}^2}>\dfrac{\pi^2 E_0 m}{4qB_0{}^2}$，仍在 M 点上方，此种情况不会被捕获。　㉙

Ⅱ. 若 $t_2<\dfrac{\pi m}{qB_0}$，则经过一次偏转 x 轴坐标小于 $\dfrac{4\pi E_0 m}{qB_0{}^2}$

在 $\dfrac{4\pi m}{qB_0}\sim\dfrac{5\pi m}{qB_0}$ 时间内，粒子在电场强度为 $3E_0$ 的电场中 $q\cdot 3E_0\cdot\dfrac{\pi m}{qB_0}=mv_2''+mv_1''$　㉚

在磁场中 $R_2'=\dfrac{mv_2''}{qB_0}$

经过两次偏转在 $\dfrac{6\pi m}{qB_0}$ 时刻的 x 轴坐标 $2R_1''+2R_2''=\dfrac{6\pi E_0 m}{qB_0{}^2}>\dfrac{4\pi E_0 m}{qB_0{}^2}$，粒子经过两次偏转后不可能在电场存在期间被捕获。　㉛



粒子将连续不断地在经过电场加速后又进入磁场中向右偏转，不可能再向左偏转到达 M 点。

综上，在 $\dfrac{\pi m}{qB_0}\sim\dfrac{3\pi m}{qB_0}$ 时间内释放的粒子一定不会达到 M 点被捕获　㉜

③若粒子在 $\dfrac{3\pi m}{qB_0}\sim\dfrac{5\pi m}{qB_0}$ 时间内释放，在电场强度为 $3E_0$ 的电场中加速的时间为 t_3，

$3qE_0t_3=mv_1'''$　㉝

$y_1'''=\dfrac{1}{2}v_1'''\cdot t_3=\dfrac{3qE_0t_3{}^2}{2m}$　㉞

$R_1''=\dfrac{mv_1'''}{qB_0}=\dfrac{3E_0}{B_0}t_3$　㉟

若经过一次偏转满足到达的位置 x 轴坐标与 M 点相同，则 $2R_1''=\dfrac{4\pi E_0 m}{qB_0{}^2}$

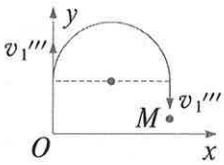
解得 $t_3-\dfrac{2\pi m}{3qB_0}$

$y_1'''=\dfrac{2\pi^2 mE_0}{3qB_0{}^2}>\dfrac{\pi^2 mE_0}{4qB_0{}^2}$，在 M 点上方　㊱

$\frac{6\pi m}{qB_0}\sim\frac{7\pi m}{qB_0}$时间内向下运动的最大位移 $y_3'''=\frac{v_1'''^2}{2\times\frac{4qE_0}{m}}=\frac{\pi^2 mE_0}{2qB_0^2}$ ㊲

$y_1'''-y_3'''=\frac{2\pi^2E_0m}{3qB_0^2}-\frac{\pi^2E_0m}{2qB_0^2}=\frac{\pi^2E_0m}{6qB_0^2}$，低于 M 点的 y 轴坐标 ㊳

则粒子在 $t=\frac{5\pi m}{qB_0}-t_3=\frac{13\pi m}{3qB_0}$ 时刻释放的粒子，将在向下运动的过程中到达 M 点被捕获 ㊴



其他时刻释放的粒子将连续不断地在经过电场加速后又进入磁场中向右偏转，不存在向左偏转到达 M 点的可能

综上分析可得，粒子在 $\frac{\pi m}{2qB_0}$ 时刻或 $\frac{13\pi m}{3qB_0}$ 时刻释放会被捕获。

评分参考：①～⑩各 1 分，⑪～㉓共 2 分，㉔～㉜共 2 分，㉝～㊴共 2 分。

【答案】(1)$\left(\frac{2\pi E_0m}{qB_0^2},\frac{\pi^2E_0m}{2qB_0^2}\right)$　(2)$\frac{2\pi^2E_0^2m}{B_0^2}$　(3)$\frac{\pi m}{2qB_0}$或$\frac{13\pi m}{3qB_0}$

【失分剖析】①复杂的字母运算出错；②从电场变化为磁场的时刻粒子运动的速度分析计算出错；③不能多角度分析粒子被捕获的多种可能。

方法点拨

带电粒子在组合场中的运动解题技巧

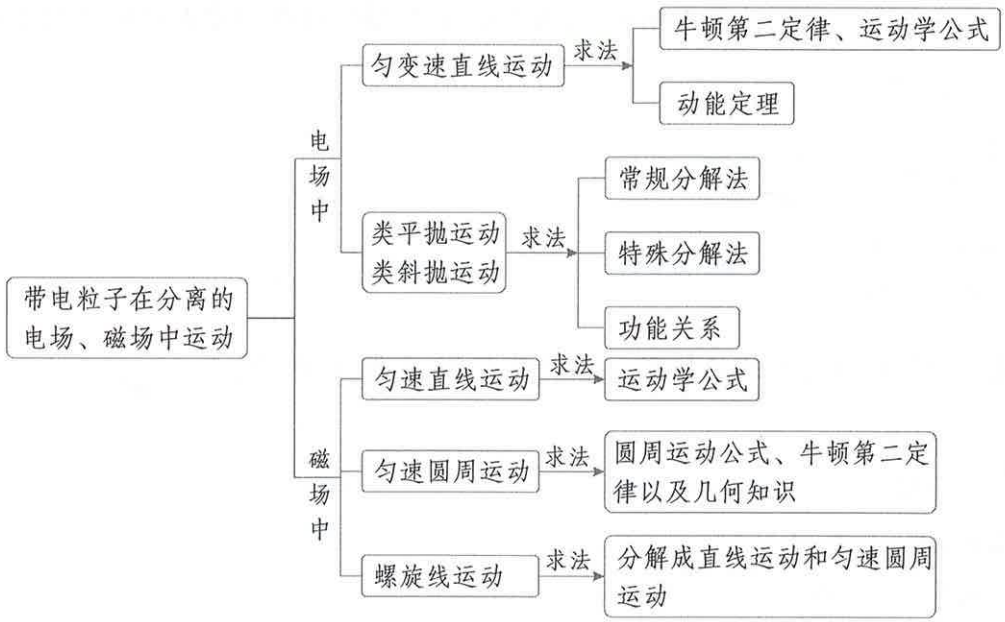
1. 分析思路

(1)画运动轨迹：根据受力分析和运动学分析，大致画出粒子的运动轨迹图。

(2)找关键点：确定带电粒子在场区边界的速度(包括大小和方向)是解决该类问题的关键。

(3)划分过程：将粒子运动的过程划分为几个不同的阶段，对不同的阶段选取不同的规律处理。

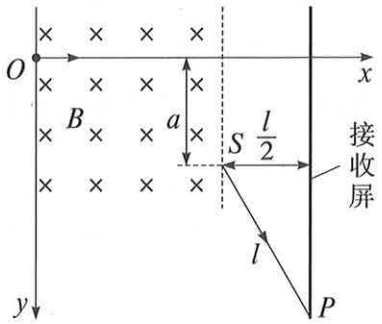
2. 常见粒子的运动及解题方法



题组二　带电粒子在复合场中的运动

复合场：电场、磁场、重力场共存，或其中某两场共存。带电粒子在复合场中所受合力为0时做匀速直线运动或静止；当合力与运动方向在同一条直线上时做变速直线运动；当合力充当向心力时做匀速圆周运动。

5.（2023全国乙卷，18）如图所示，一磁感应强度大小为B的匀强磁场，方向垂直于纸面（xOy平面）向里，磁场右边界与x轴垂直。一带电粒子由O点沿x轴正方向入射到磁场中，在磁场另一侧的S点射出，粒子离开磁场后，沿直线运动打在垂直于x轴的接收屏上的P点；$SP=l$，S与屏的距离为$\frac{l}{2}$，与x轴的距离为a。如果保持所有条件不变，在磁场区域再加上电场强度大小为E的匀强电场，该粒子入射后则会沿x轴到达接收屏。该粒子的比荷为（　　）

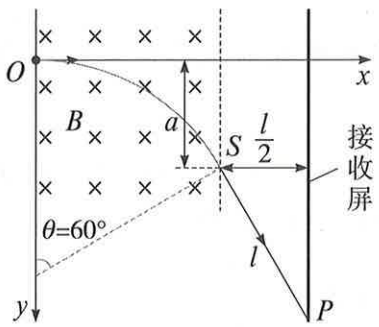


A. $\frac{E}{2aB^2}$　　B. $\frac{E}{aB^2}$　　C. $\frac{B}{2aE^2}$　　D. $\frac{B}{aE^2}$

【试题立意】本题以带电粒子在磁场与电场的复合场中运动为素材创设探究粒子比荷的学习探索问题情境，此情境曾在2017年新课标Ⅰ卷第16题出现过，主要考查带电粒子在匀强磁场中的运动、电场强度、共点力的平衡等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

根据几何关系可得轨迹对应的圆心角$\theta=60°$



由图可得$r(1-\cos 60°)=a$

粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动，得$Bqv_0=m\frac{v_0^2}{r}$

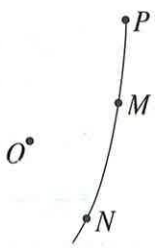
加电场后，粒子做匀速直线运动，得$Bqv_0=Eq$

联立得$\frac{q}{m}=\frac{E}{2aB^2}$

【答案】A

【失分剖析】不能根据几何关系求出粒子在磁场中运动的半径。

6.（多选）（2023全国乙卷，19）在O点处固定一个正点电荷，P点在O点右上方。从P点由静止释放一个带负电的小球，小球仅在重力和该点电荷电场力作用下在竖直面内运动，其一段轨迹如图所示。M、N是轨迹上的两点，$OP>OM$，$OM=ON$，则小球（　　）

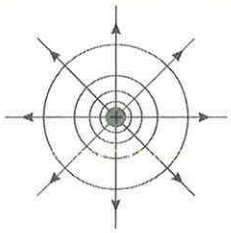


A. 在运动过程中，电势能先增加后减少

B. 在P点的电势能大于在N点的电势能

C. 在M点的机械能等于在N点的机械能

D. 从 M 点运动到 N 点的过程中，电场力始终不做功


甲　点电荷

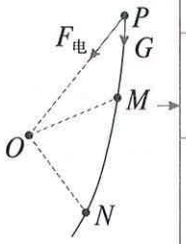
【试题立意】本题以带电小球在电场与重力场的叠加场中运动为素材创设探究电场能的性质的学习探索问题情境，教材中也出现过同源情境，如人教版教材必修第三册第 33 页图甲(如图所示)。主要考查静电场、点电荷的电场强度、电势能、电势等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	在 O 点处固定一个正点电荷	点电荷的等势面是以点电荷为球心的一系列同心球面
2	M、N 是轨迹上的两点，$OP>OM$	P、M 两点电势的关系 $\varphi_P<\varphi_M$
3	$OM=ON$	M、N 两点电势的关系 $\varphi_M=\varphi_N$

(2)推理论证能力



带负电的小球从P点运动到N点，先靠近正点电荷再远离 → 静电力对其先做正功，后做负功 → 电势能先减少后增加，A项错误

$\varphi_P<\varphi_N$ → 小球带负电$q<0$，$q\varphi_P>q\varphi_N$ → $E_{pP}>E_{pN}$,B项正确

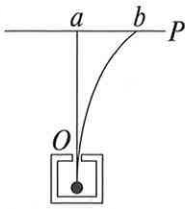
小球在运动过程中只有静电力和重力做功，所以只有电势能、动能和重力势能的相互转化，其中动能和重力势能之和为机械能 → 带电小球在M点和N点的电势能相等，所以在这两点的机械能也相等，C项正确

轨迹MN不是以O为圆心的圆弧 → 轨迹MN不在等势面上 → 静电力会做功，D项错误

【答案】BC

【失分剖析】①不能正确判断静电力做功的正负；②不会根据电势的高低判断电势能的大小。

7.(2023 全国新课标卷，18)一电子和一 α 粒子从铅盒上的小孔 O 竖直向上射出后，打到铅盒上方水平放置的屏幕 P 上的 a 和 b 两点，a 点在小孔 O 的正上方，b 点在 a 点的右侧，如图所示。已知 α 粒子的速度约为电子速度的 $\frac{1}{10}$，铅盒与屏幕之间存在匀强电场和匀强磁场，则电场和磁场方向可能为(　　)



A. 电场方向水平向左、磁场方向垂直纸面向里

B. 电场方向水平向左、磁场方向垂直纸面向外

C. 电场方向水平向右、磁场方向垂直纸面向里

D. 电场方向水平向右、磁场方向垂直纸面向外

【试题立意】本题以带电粒子在电场与磁场的叠加场中运动为素材创设探究电场和磁场方向的学习探索问题情境。主要考查电场强度、带电粒子在电场中的运动、洛伦兹力、洛伦兹力的方向、带电粒子在匀强磁场中的运动等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	一电子和一α粒子	设电子电荷量的大小为 q，则α粒子电荷量的大小为 $2q$
2	某一粒子打到铅盒上方水平放置的屏幕 P 上的 a 点	这个粒子受到的静电力与洛伦兹力平衡

(2)推理论证能力

若电场方向水平向左、磁场方向垂直纸面向里 → α粒子受到的静电力和洛伦兹力都向左；电子受到的静电力和洛伦兹力都向右 → 不可能有粒子射到a点，A项错误

若电场方向水平向左、磁场方向垂直纸面向外 → 若a处为电子，$qE=qvB$ → 则α粒子$2qE>2q\left(\frac{1}{10}v\right)B$，将射到$a$的左侧；若$a$处为α粒子，$2qE=2q\left(\frac{1}{10}v\right)B$ → 则电子$qE<qvB$，将射到a的左侧 → B项错误

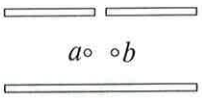
若电场方向水平向右、磁场方向垂直纸面向里 → 若a处为电子，$qE=qvB$ → 则α粒子$2qE>2q\left(\frac{1}{10}v\right)B$，将射到$a$的右侧；若$a$处为α粒子，$2qE=2q\left(\frac{1}{10}v\right)B$ → 则电子$qE<qvB$，将射到a的右侧 → C项正确

若电场方向水平向右、磁场方向垂直纸面向外 → α粒子受到的静电力和洛伦兹力都向右；电子受到的静电力和洛伦兹力都向左 → 不可能有粒子射到a点，D项错误

【答案】C

【失分剖析】不能将电场、磁场方向的可能性进行分类讨论，找出符合条件的组合。

8.(2023 全国新课标卷，25)密立根油滴实验的示意图如图所示。两水平金属平板上下放置，间距固定，可从上板中央的小孔向两板间喷入大小不同、电荷量不同、密度相同的小油滴。两板间不加电压时，油滴 a、b 在重力和空气阻力的作用下竖直向下匀速运动，速率分别为 v_0、$\frac{v_0}{4}$；两板间加上电压后(上板为正极)，这两个油滴很快达到相同的速率$\frac{v_0}{2}$，均竖直向下匀速运动。油滴可视为球形，所受空气阻力大小与油滴半径、运动速率成正比，比例系数视为常数。不计空气浮力和油滴间的相互作用。



(1)求油滴 a 和油滴 b 的质量之比；

(2)判断油滴 a 和油滴 b 所带电荷的正负，并求 a、b 所带电荷量的绝对值之比。

【试题立意】本题以密立根油滴实验为素材创设探究油滴质量及电荷量的学习探索问题情境，此情境曾在 2022 年广东卷第 14 题出现过，教材中也出现过同源情境，如鲁科版必修第三册第 22 页的例题图 1－24(如图所示)。主要考查共点力的平衡、带电粒子在电场中的运动等知识点。

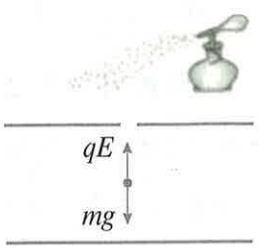


图 1－24　密立根油滴实验示意图

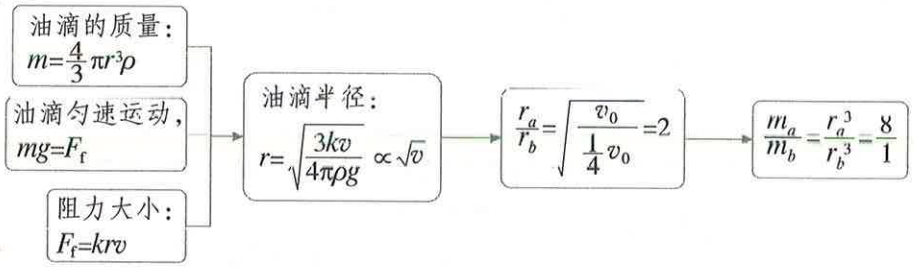
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

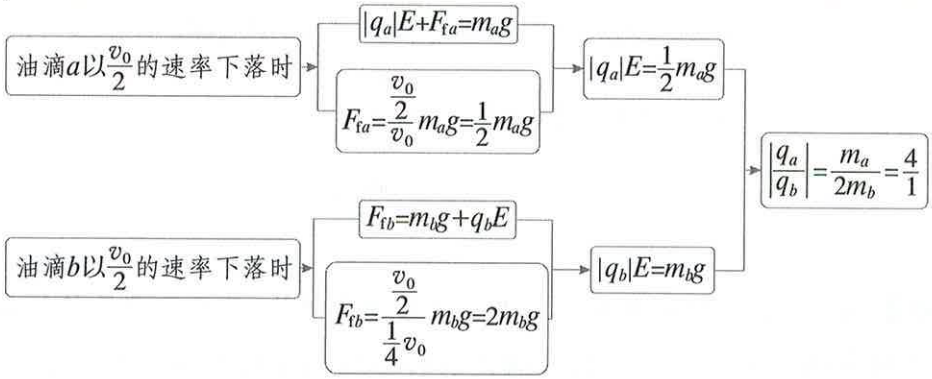
序号	关键表述	物理量及其关系
1	油滴 a、b 在重力和空气阻力的作用下竖直向下匀速运动	油滴处于平衡状态，所受合外力为零
2	油滴所受空气阻力大小与油滴半径、运动速率成正比	阻力大小 $F_f=krv$
3	油滴 a、b 速率分别为 v_0、$\frac{v_0}{4}$，两板间加上电压后（上板为正极），这两个油滴很快达到相同的速率 $\frac{v_0}{2}$	油滴 a 减速，受向上的静电力，油滴 a 带负电 油滴 b 加速，受向下的静电力，油滴 b 带正电

(2)推理论证能力

第(1)问：



第(2)问：



【解题过程】(1)设油滴半径为 r，密度为 ρ，则油滴质量 $m=\frac{4}{3}\pi r^3\rho$ ①

速率为 v 时油滴所受阻力 $F_f=krv$ ②

当油滴匀速下落时 $mg=F_f$ ③

解得 $r=\sqrt{\frac{3kv}{4\pi\rho g}}\propto\sqrt{v}$ ④

可知 $\frac{r_a}{r_b}=\sqrt{\frac{v_0}{\frac{1}{4}v_0}}=2$ ⑤

则 $\frac{m_a}{m_b}=\frac{r_a^3}{r_b^3}=\frac{8}{1}$。 ⑥

(2)两板间加上电压后（上板为正极），这两个油滴很快达到相同的速率 $\frac{v_0}{2}$，可知油滴 a 做减速运动，油滴 b 做加速运动，则油滴 a 带负电，油滴 b 带正电 ⑦

当再次匀速下落时，对 a 由受力平衡得 $|q_a|E+F_{fa}=m_ag$ ⑧

其中 $F_{fa}=\frac{\frac{v_0}{2}}{v_0}m_ag=\frac{1}{2}m_ag$ ⑨

对 b 由受力平衡得 $F_{tb}=m_bg+|q_b|E$　⑩

其中 $F_{tb}=\dfrac{\frac{v_0}{2}}{\frac{1}{4}v_0}m_bg=2m_bg$　⑪

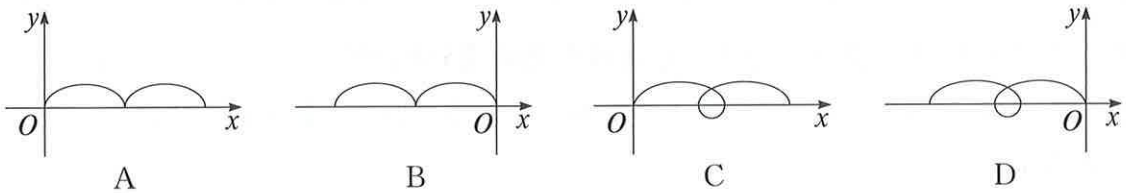
联立解得 $\left|\dfrac{q_a}{q_b}\right|=\dfrac{m_a}{2m_b}=\dfrac{4}{1}$。　⑫

评分参考：⑥⑫各 2 分，其他各 1 分。

【参考答案】(1)8∶1　(2)油滴 a 带负电，油滴 b 带正电　4∶1

【失分剖析】①不能根据已知条件先求出油滴 a、b 的半径之比；②不能根据油滴 a、b 的运动情况判断它们带电的电性。

9.(2022 全国甲卷，18)空间存在着匀强磁场和匀强电场，磁场的方向垂直于纸面(xOy 平面)向里，电场的方向沿 y 轴正方向。一带正电的粒子在电场和磁场的作用下，从坐标原点 O 由静止开始运动。下列四幅图中，可能正确描述该粒子运动轨迹的是(　　)



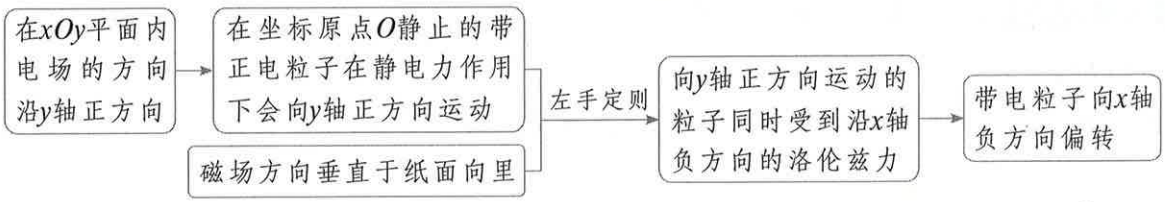
A　B　C　D

【试题立意】本题以带电粒子在电场和磁场共同作用下的运动为素材创设确定粒子运动轨迹的学习探索问题情境，考查静电力、洛伦兹力、运动的合成与分解等知识。

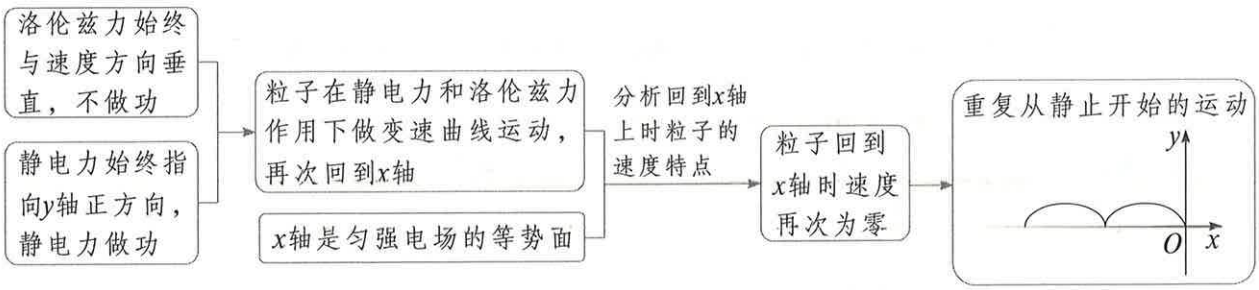
【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

(1)常规方法

①判断带电粒子由静止开始的偏转方向



②判断带电粒子再次回到 x 轴后的偏转方向



(2)利用运动的合成与分解

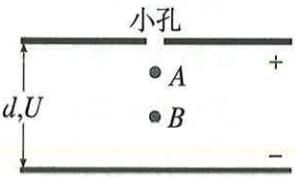
粒子在 O 点静止，对速度进行分解，分解为沿 x 轴正方向的速度 v，沿 x 轴负方向的速度 v'，两个速度大小相等，方向相反。使 v' 对应的洛伦兹力与静电力平衡，即 $qBv'=qE$，则粒子

在电场、磁场中的运动，可视为以速度 $v'=\frac{E}{B}$ 沿 x 轴负方向做匀速直线运动，同时在 x 轴上方做匀速圆周运动。当粒子做圆周运动完成一个周期时，两个分速度均与在 O 点时相同，在沿 x 轴负方向到达的位置处继续重复从 O 点开始的运动形式。

【答案】B

【失分剖析】①不明确洛伦兹力始终与粒子运动方向垂直，会改变粒子的运动方向但不会对粒子做功；②不能灵活地通过在 x 轴上的速度特点分析轨迹特点。

10.（2022 广东卷，14）密立根通过观测油滴的运动规律证明了电荷的量子性，因此获得了 1923 年的诺贝尔奖。密立根油滴实验的原理示意图如图所示，两个水平放置、相距为 d 的足够大金属极板，上极板中央有一小孔。通过小孔喷入一些小油滴，由于碰撞或摩擦，部分油滴带上了电荷。有两个质量均为 m_0、位于同一竖直线上的球形小油滴 A 和 B，在时间 t 内都匀速下落了距离 h_1。此时给两极板加上电压 U（上极板接正极），A 继续以原速度下落，B 经过一段时间后向上匀速运动。B 在匀速运动时间 t 内上升了距离 $h_2(h_2\neq h_1)$，随后与 A 合并，形成一个球形新油滴，继续在两极板间运动直至匀速。已知球形油滴受到的空气阻力大小为 $f=km^{\frac{1}{3}}v$，其中 k 为比例系数，m 为油滴质量，v 为油滴运动速率。不计空气浮力，重力加速度为 g。求：



（1）比例系数 k；

（2）油滴 A、B 的电荷量和电性，B 上升距离 h_2 电势能的变化量；

（3）新油滴匀速运动速度的大小和方向。

【试题立意】本题以密立根油滴实验为素材创设研究带电粒子的运动及能量转化的学习探索问题情境，与本讲第 8 题提到的鲁科版教材必修第三册第 22 页例题图 1－24 的物理情境相似。考查共点力的平衡、电势能、动量守恒定律等基础知识。

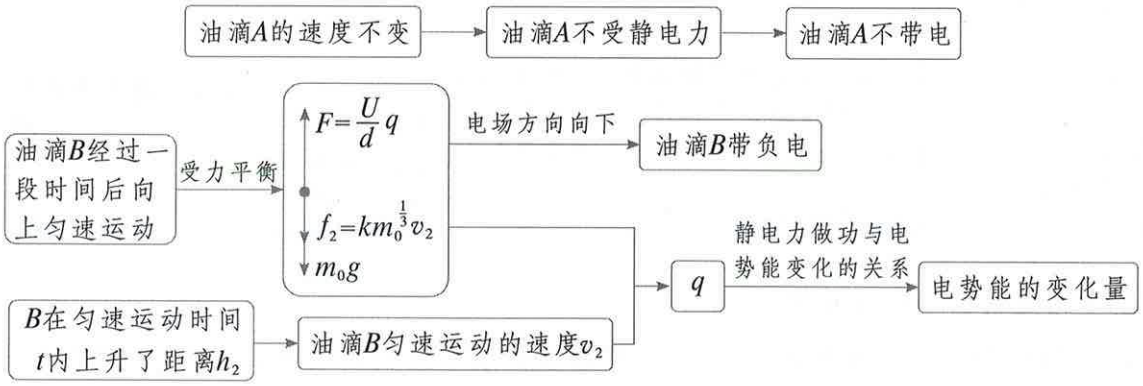
【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

第（1）问：

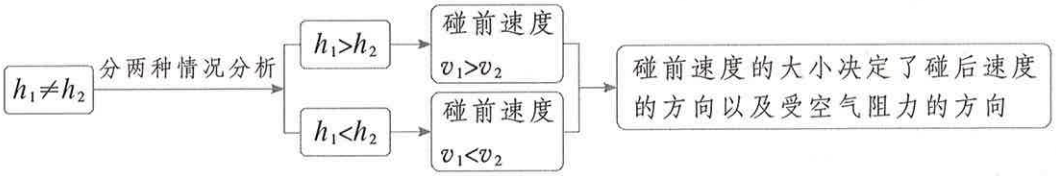
未加电压时，油滴匀速运动，重力与运动过程中的阻力平衡，据此求解 k。

第（2）问：

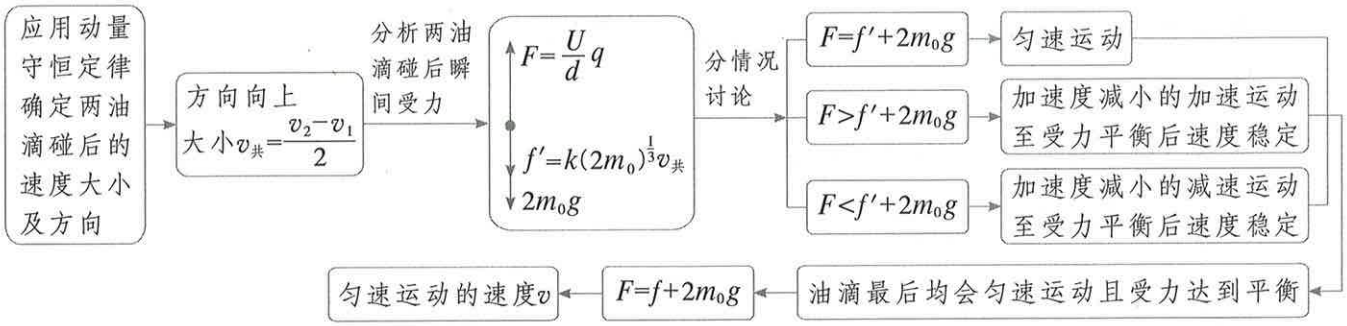
给两极板加上电压后：



第(3)问：



以 $v_1 < v_2$ 为例分析油滴的受力及运动：



若 $v_1 > v_2$，仍以相同的方法分析。

【解题过程】(1)未加电压时，油滴匀速时的速度大小 $v_1=\frac{h_1}{t}$ ①

匀速时 $m_0g=f_1$ ②

又 $f_1=km_0^{\frac{1}{3}}v_1$，联立可得 $k=\frac{m_0^{\frac{2}{3}}gt}{h_1}$。 ③

(2)加电压后，油滴 A 的速度不变，可知油滴 A 不带电，油滴 B 最后速度方向向上，可知油滴 B 所受静电力向上，极板间电场强度向下，可知油滴 B 带负电，油滴 B 向上匀速运动时，速度大小为 $v_2=\frac{h_2}{t}$ ④

根据平衡条件可得 $m_0g+km_0^{\frac{1}{3}}v_2=\frac{U}{d}q$ ⑤

解得 $q=\frac{m_0gd(h_1+h_2)}{h_1U}$

根据 $\Delta E_p=-W_{电}$ ⑥

又 $W_{电}=\frac{U}{d}\cdot qh_2$ ⑦

联立解得 $\Delta E_p=-\frac{m_0gh_2(h_1+h_2)}{h_1}$。 ⑧

(3)油滴 B 与油滴 A 合并后，新油滴的质量为 $2m_0$，新油滴所受静电力

$F=\frac{Uq}{d}=\frac{m_0g(h_1+h_2)}{h_1}$ ⑨

若 $h_2 > h_1$，则 $v_2 > v_1$

设向上为正方向，根据动量守恒定律 $m_0v_2-m_0v_1=2m_0v_{共}$ ⑩

可得 $v_{共}=\frac{v_2\quad v_1}{2}$，则 $v_{共}>0$，且 $F>2m_0g$

新油滴匀速时受力达到平衡 $2m_0g+k\cdot(2m_0)^{\frac{1}{3}}v=F$ ⑪

解得 $v-\frac{h_2-h_1}{\sqrt[3]{2}t}$，方向向上 ⑫

若 $h_1>h_2$，则 $v_2<v_1$

设向下为正方向，根据动量守恒定律 $m_0v_1-m_0v_2=2m_0v_{共}'$ ⑬

可知 $v_{共}'>0$，$F<2m_0g$

新油滴匀速时受力达到平衡 $2m_0g-F+k\cdot(2m_0)^{\frac{1}{3}}\cdot v'$ ⑭

解得 $v'=\frac{h_1-h_2}{\sqrt[3]{2}t}$，方向向下。 ⑮

评分参考：①～⑮每式 1 分。

【答案】(1)$\frac{m_0^{\frac{2}{3}}gt}{h_1}$

(2)油滴 A 不带电，油滴 B 带负电，电荷量为 $\frac{m_0gd(h_1+h_2)}{h_1U}$　$-\frac{m_0gh_2(h_1+h_2)}{h_1}$

(3)见解题过程

【失分剖析】①对加电场后油滴的受力和运动情况分析不清；②考虑不周全，做不到分情况讨论分析。

方法点拨

带电粒子在复合场中运动的处理方法

1. 弄清复合场的组成特点。

2. 正确分析带电粒子的受力及运动特点。

3. 画出粒子的运动轨迹，灵活选择不同的运动规律。

(1)若只有两个场且正交。例如，电场与磁场中满足 $qE=qvB$ 或重力场与磁场中满足 $mg=qvB$ 或重力场与电场中满足 $mg=qE$，都表现为匀速直线运动或静止，根据受力平衡列方程求解。

(2)三场共存时，合力为零，受力平衡，粒子做匀速直线运动，其中洛伦兹力 $F=qvB$ 的方向与速度 v 垂直。

(3)三场共存时，粒子在复合场中做匀速圆周运动。mg 与 qE 相平衡，有 $mg=qE$，由此可计算粒子比荷，判定粒子电性。粒子在洛伦兹力作用下做匀速圆周运动，应用受力平衡和牛顿运动定律结合圆周运动规律求解，有 $qvB=mr\omega^2=m\frac{v^2}{r}=mr\frac{4\pi^2}{T^2}=ma$。

(4)当带电粒子做复杂的曲线运动或有约束的变速直线运动时，一般用动能定理或能量守恒定律求解。

命题规律

1. 多维度细目表

高考试题（年份/卷别/题号）			2023						2022			
			全国新课标,18	全国新课标,25	全国乙,18	全国乙,19	山东,17	辽宁,14	全国甲,18	山东,17	广东,14	河北,14
考查内容	必备知识	带电粒子在组合场中的运动					√	√		√		√
		带电粒子在复合场中的运动	√	√	√	√			√		√	
	关键能力	理解能力	√	√		√						
		推理论证能力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		模型建构能力								√		√
		实验探究能力										
		创新能力										
	学科素养	物理观念	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学思维	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学探究										
		科学态度与责任										
考查要求		基础性										
		综合性	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		应用性								√		
		创新性										
情境载体		生活实践问题情境								√		
		学习探索问题情境	√	√	√	√	√	√	√		√	√

2. 命题趋势

考查项目	考查特点
命题类型	本讲是高考命题的重点，多以计算题的形式出现
必备知识	带电粒子在组合场或复合场中运动的综合分析
关键能力	理解能力、模型建构能力和推理论证能力
学科素养	物理观念和科学思维
考查要求	考查考生利用物理知识分析实际问题情境的能力，对考生提出了高水平的思维要求，综合性强、难度大
考查载体	多为科技与生活结合的应用问题

具体来看：

(1)突出应用性，由解题变成解决实际问题。

近几年的高考题中，带电粒子在组合场中的运动重点突出应用性，题目有一定的阅读量，呈现的是现实生活的真实情境，要求考生通过分析该情境解决实际问题。这其中对考生的理解能力和模型建构能力有较高的要求。如何将题干文字叙述情境转化为所学的物理模型，如何运用模型解决问题都成为题目考查的核心内容，对考生的科学思维能力有较高的要求。有边界磁场的考查次数较多，磁场边界形状的考查比较常规，如直线边界、圆形边界，突出带电粒子在磁场和电场中的运动状态的分析，鼓励考生从多个角度、采用多种方法分析问题和解决问题。

(2)突出推理论证能力的考查，加强数学知识在物理问题中的应用。

组合场分布情况不同，会导致运动过程比较复杂，这就要求考生能够正确地分析出每个状态下的运动情况，然后结合相应的物理知识和模型特点进行求解。在组合场中，通常都会用到洛伦兹力提供向心力的思路，画出运动轨迹，需要结合几何知识和三角函数的知识进行半径或其他物理量的求解。物理知识和数学方法的有机融合，提高了题目的灵活性和综合性。

2024 年命题重点是带电粒子在有界场中的运动，题目的阅读量仍会比较大，注重生产生活实际情境，解决实际问题，考查考生的理解能力、推理论证能力和模型建构能力。会继续考查数学知识在组合场中的应用，可能还会有创新。

3. 备考策略

(1)立足基础，夯实基本功，注重物理知识的学习和物理模型的推导过程。

在备考过程中要重视对带电粒子运动的受力分析和过程分析，弄清带电粒子是否考虑重力、是电偏转还是磁偏转，然后选择合适的规律分段求解。同时也要注意，对于物理模型的建构过程要让考生参与进来，亲自推导，熟悉特点，加深印象。

(2)立足学科素养，注重生活实践情境，培养考生学科能力。

要重视以示波器、显像管、质谱仪、回旋加速器等现代科技仪器为情境载体，以及其他的生活实践情境的多过程题型训练，让考生能够在大量的题干中提取有效信息，从而理解题目，建构合适的物理模型，利用模型特点进行推理论证，在这个过程中，必须结合已有的物理知识，借助合适的数学工具(平面几何、立体几何、三角函数等)解决问题；通过对临界极值、多解问题的训练，培养考生的批判性思维。

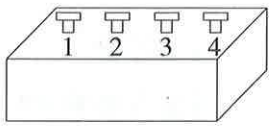
专题七　电路和电磁感应

第1讲　恒定电流和交变电流

题组一　恒定电流与电路

本题组主要涉及电路的基本概念和规律、闭合电路欧姆定律及其应用等考点，主要考查电路动态分析、电源输出功率、含电容器的电路分析等问题。

1.（多选）(2023 全国乙卷，20)黑箱外有编号为 1、2、3、4 的四个接线柱，接线柱 1 和 2、2 和 3、3 和 4 之间各接有一个电阻，在接线柱间还接有另外一个电阻 R 和一个直流电源。测得接线柱之间的电压 $U_{12}=3.0\ \text{V}$，$U_{23}=2.5\ \text{V}$，$U_{34}=-1.5\ \text{V}$。符合上述测量结果的可能接法是(　　)



A. 电源接在 1、4 之间，R 接在 1、3 之间

B. 电源接在 1、4 之间，R 接在 2、4 之间

C. 电源接在 1、3 之间，R 接在 1、4 之间

D. 电源接在 1、3 之间，R 接在 2、4 之间

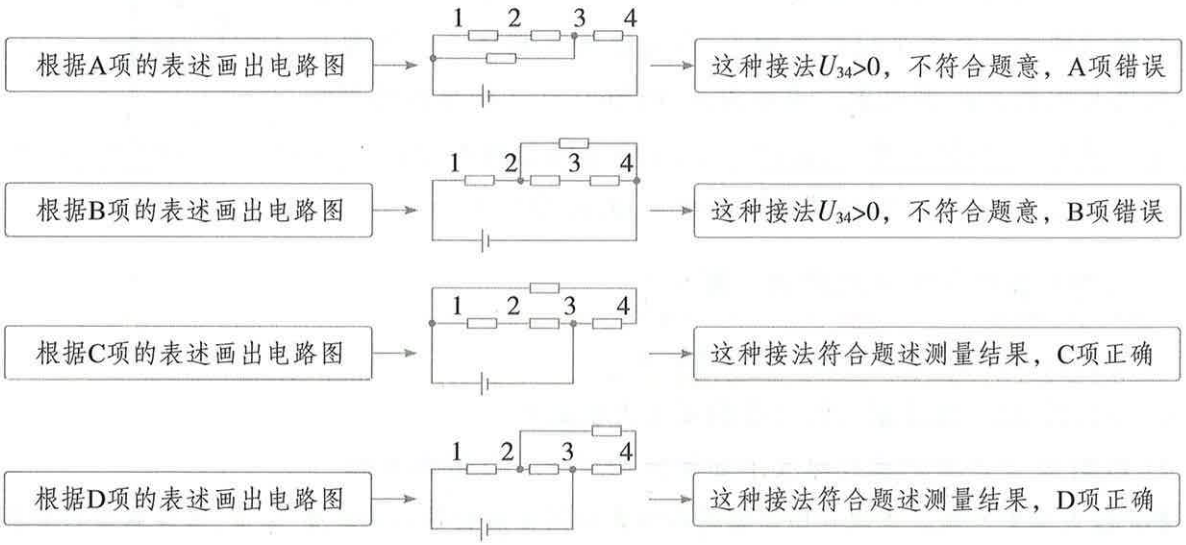
【试题立意】本题以黑箱为素材创设研究电路连接方式的学习探索问题情境。主要考查电阻的串联、并联，闭合电路欧姆定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

关键表述	物理量及其关系
测得接线柱之间的电压 $U_{12}=3.0\ \text{V}$	$U_{12}>0$，说明接线柱 1 要接电源的正极

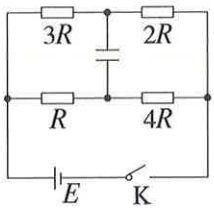
(2)推理论证能力



【答案】CD

【失分剖析】①不会根据选项的表述画出电路图；②不会利用排除法快速排除错误选项。

2.(2023 海南卷,7)如图所示电路,已知电源电动势为 E,内阻不计,电容器电容为 C,闭合开关 K,待电路稳定后,电容器上的电荷量为(　　)



A. CE　　B. $\frac{1}{2}CE$

C. $\frac{2}{5}CE$　　D. $\frac{3}{5}CE$

【试题立意】本题以含有电容器的电路为素材创设求解电容器所带电荷量的学习探索问题情境。此情境曾在 2016 年全国Ⅱ卷第 17 题出现过。主要考查电容器的电压、电荷量和电容的关系,电阻的串联、并联等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

取电源负极为零电势点 → 电容器上极板电势 $\varphi_{上}=\frac{E}{5R}\cdot 2R=\frac{2E}{5}$;电容器下极板电势 $\varphi_{下}=\frac{E}{5R}\cdot 4R=\frac{4E}{5}$ → 电容器两端电压 $U=\varphi_{下}-\varphi_{上}=\frac{2E}{5}$ → $Q=CU=\frac{2}{5}CE$

【答案】C

【失分剖析】不会求电容器两极板间的电压。

方法点拨

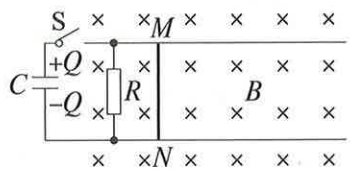
含电容器电路的分析与计算

①确定电容器和哪个电阻并联,该电阻两端电压即为电容器两端电压。

②当电容器和某一电阻串联后接在某一电路两端时,该电阻阻值应视为零。接在某一电路两端时,此电路两端电压即为电容器两端电压。

③电路的电流、电压变化时,将会引起电容器的充、放电。如果电容器两端电压升高,电容器将充电;如果电压降低,电容器将通过与它连接的电路放电。电荷量的多少可根据 $\Delta Q=C\cdot\Delta U$ 计算,还应注意极板的电性是否发生改变。

3.(多选)(2022 全国甲卷,20)如图所示,两根相互平行的光滑长直金属导轨固定在水平绝缘桌面上,在导轨的左端接入电容为 C 的电容器和阻值为 R 的电阻。质量为 m、阻值也为 R 的导体棒 MN 静止于导轨上,与导轨垂直,且接触良好,导轨电阻忽略不计,整个系统处于方向竖直向下的匀强磁场中。开始时,电容器所带的电荷量为 Q,闭合开关 S 后,(　　)



A. 通过导体棒 MN 电流的最大值为 $\frac{Q}{RC}$

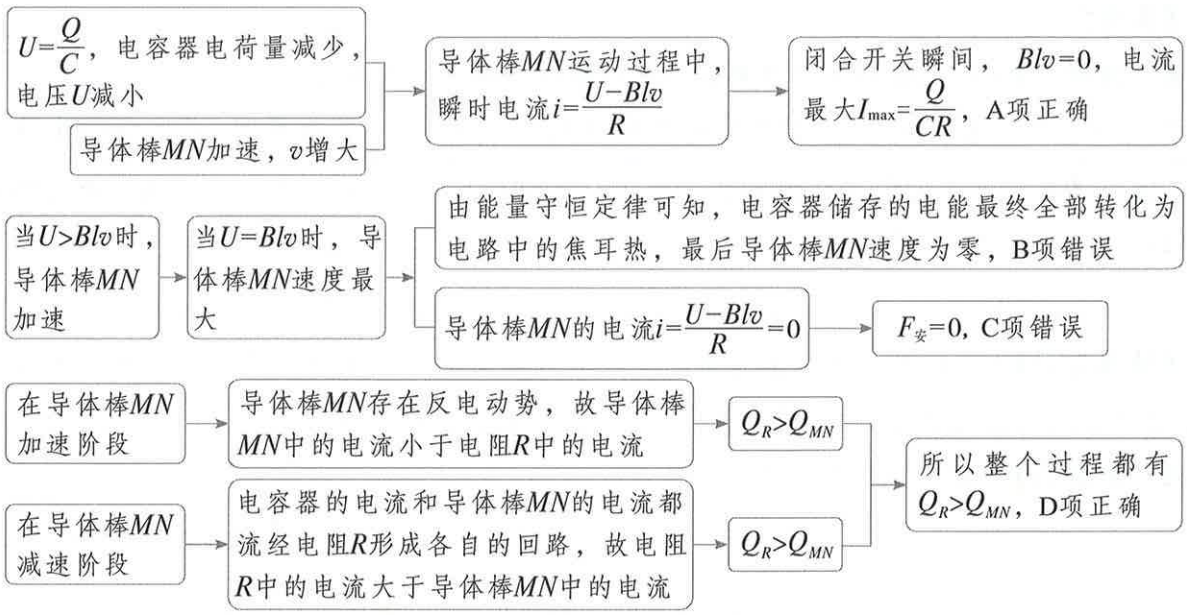
B. 导体棒 MN 向右先加速、后匀速运动

C. 导体棒 MN 速度最大时所受的安培力也最大

D. 电阻 R 上产生的焦耳热大于导体棒 MN 上产生的焦耳热

【试题立意】本题以导体棒切割磁感线为素材创设研究导体棒电流、速度、焦耳热等物理量的学习探索问题情境。主要考查欧姆定律、电容器、安培力、法拉第电磁感应定律、焦耳定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。



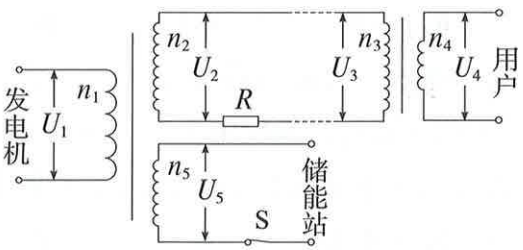
【答案】AD

【失分剖析】不会综合应用电容器和电磁感应的相关知识比较电阻 R 与导体棒 MN 中电流的大小，从而不会比较焦耳热。

题组二　交变电流、变压器、远距离输电

本题组主要涉及交变电流的产生及其描述、变压器、远距离输电、电磁振荡和电磁波等考点。

4.（2023 山东卷，7）某节能储能输电网络如图所示，发电机的输出电压 $U_1=250$ V，输出功率 500 kW。降压变压器的匝数比 $n_3:n_4=50:1$，输电线总电阻 $R=62.5\ \Omega$，其余线路电阻不计，用户端电压 $U_4=220$ V，功率 88 kW，所有变压器均为理想变压器。下列说法正确的是（　　）

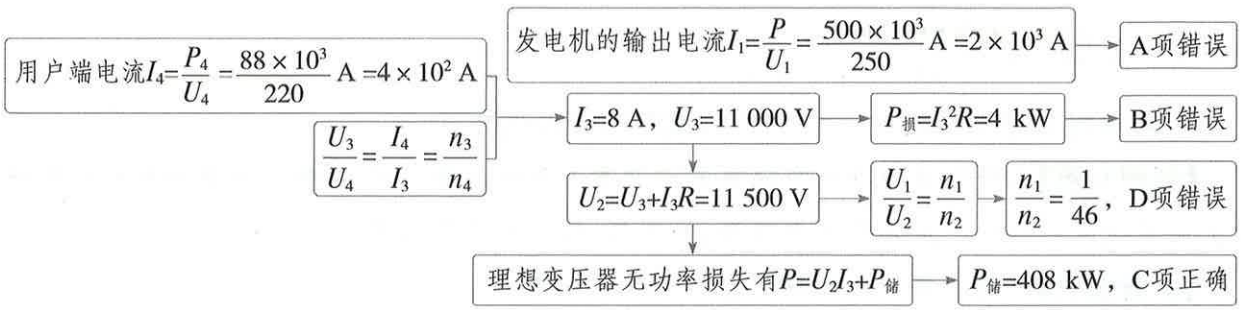


A. 发电机的输出电流为 368 A　　B. 输电线上损失的功率为 4.8 kW

C. 输送给储能站的功率为 408 kW　　D. 升压变压器的匝数比 $n_1:n_2=1:44$

【试题立意】本题以节能储能输电网络示意图为素材创设求解各电学量的学习探索问题情境，此情境曾在 2021 年河北卷第 8 题出现过，主要考查理想变压器、远距离输电、电功率等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。



【答案】C

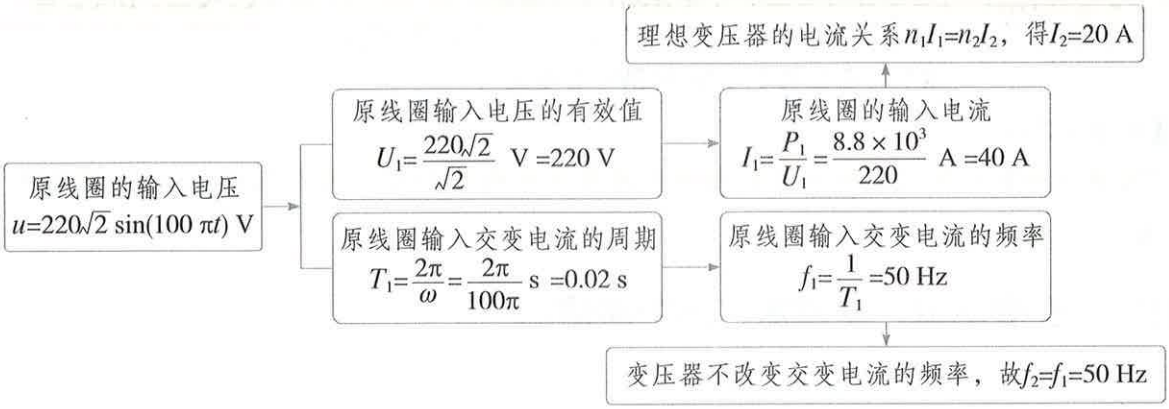
【失分剖析】不能根据题目条件求出输电线路的电流这一重要中间量。

5.(2023 广东卷,6)用一台理想变压器对电动汽车充电,该变压器原、副线圈的匝数比为1∶2,输出功率为 8.8 kW,原线圈的输入电压 $u=220\sqrt{2}\sin(100\pi t)$ V。关于副线圈输出电流的有效值和频率正确的是(　　)

A. 20 A,50 Hz　　B. $20\sqrt{2}$ A,50 Hz　　C. 20 A,100 Hz　　D. $20\sqrt{2}$ A,100 Hz

【试题立意】本题以理想变压器为素材创设求解输出电流和频率的学习探索问题情境。主要考查正弦式交变电流的公式、峰值和有效值、理想变压器等知识点。

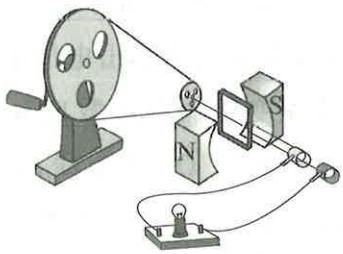
【关键能力】本题主要考查推理论证能力。



【答案】A

【失分剖析】不能熟练利用理想变压器的规律来分析解决问题。

6.(多选)(2023 湖南卷,9)某同学自制了一个手摇交流发电机,如图所示。大轮与小轮通过皮带传动(皮带不打滑),半径之比为4∶1,小轮与线圈固定在同一转轴上。线圈是由漆包线绕制而成的边长为 L 的正方形,共 n 匝,总阻值为 R。磁体间磁场可视为磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。大轮以角速度 ω 匀速转动,带动小轮及线圈绕转轴转动,转轴与磁场方向垂直。线圈通过导线、滑环和电刷连接一个阻值恒为 R 的灯泡。假设发电时灯泡能发光且工作在额定电压以内,下列说法正确的是(　　)



A. 线圈转动的角速度为 4ω

B. 灯泡两端电压有效值为 $3\sqrt{2}nBL^2\omega$

C. 若用总长为原来两倍的相同漆包线重新绕制成边长仍为 L 的多匝正方形线圈,则灯泡两端电压有效值为 $\frac{4\sqrt{2}nBL^2\omega}{3}$

D. 若仅将小轮半径变为原来的两倍,则灯泡变得更亮

【试题立意】本题以自制手摇交流发电机为素材创设求解灯泡两端电压及分析相关物理量的生活实践问题情境。主要考查角速度、线速度、峰值和有效值等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	大轮与小轮通过皮带传动(皮带不打滑)	大轮与小轮边缘的线速度大小相等
2	小轮与线圈固定在同一转轴上	小轮与线圈转动时角速度相等

(2)推理论证能力

大轮和小轮通过皮带传动，线速度大小相等 → 大轮与小轮半径之比为4∶1 → 小轮转动的角速度为4ω，A项正确

$E_{max}=nBS\cdot 4\omega$，线圈面积$S=L^2$ → $E_{max}=4nBL^2\omega$ → $E=\frac{E_{max}}{\sqrt{2}}=2\sqrt{2}nBL^2\omega$ → 灯泡两端电压有效值$U=\frac{RE}{R+R}=\sqrt{2}nBL^2\omega$，B项错误

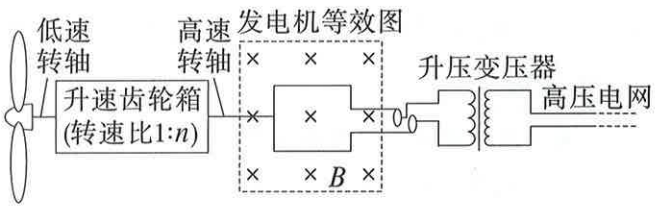
若用总长为原来两倍的相同漆包线重新绕制 → $E_{max}'=8nBL^2\omega$，$E'=\frac{E_{max}'}{\sqrt{2}}=4\sqrt{2}nBL^2\omega$；根据电阻定律$R'=\rho\frac{2l}{S}=2R$ → 灯泡两端电压有效值$U'=\frac{RE'}{R+2R}=\frac{4\sqrt{2}nBL^2\omega}{3}$，C项正确

仅将小轮半径变为原来的两倍 → 小轮和线圈的角速度变小 → 此时线圈产生的感应电动势有效值变小，则灯泡变暗，D项错误

【答案】AC

【失分剖析】忘记漆包线的长度变化时，对应线圈的匝数、电阻都会发生变化。

7.(2022河北卷，3)张家口市坝上地区的风力发电场是北京冬奥会绿色电能的主要供应地之一，其发电、输电简易模型如图所示，已知风轮机叶片转速为每秒z转，通过转速比为$1:n$的升速齿轮箱带动发电机线圈高速转动，发电机线圈面积为S，匝数为N，匀强磁场的磁感应强度为B，$t=0$时刻，线圈所在平面与磁场方向垂直，发电机产生的交变电流经过理想变压器升压后，输出电压为U。忽略线圈电阻，下列说法正确的是(　　)



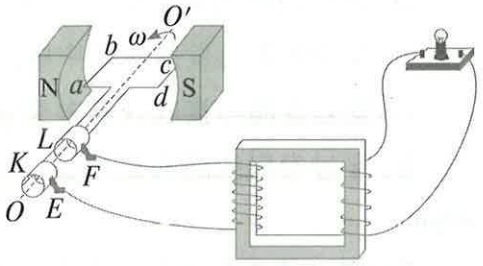
A. 发电机输出的电压为$\sqrt{2}\pi NBSz$

B. 发电机输出交变电流的频率为$2\pi nz$

C. 变压器原、副线圈的匝数比为$\sqrt{2}\pi NBSnz:U$

D. 发电机产生的瞬时电动势$e=\sqrt{2}\pi NBSnz\sin(2\pi nzt)$

【试题立意】本题以发电、输电简易模型为素材创设求解发电机电动势、输出电压、频率等物理量的生活实践问题情境。教材中也出现过同源情境，如鲁科版选择性必修第二册第86页第5题图。本题主要考查了正弦式交变电流的公式、峰值和有效值、理想变压器等知识点。



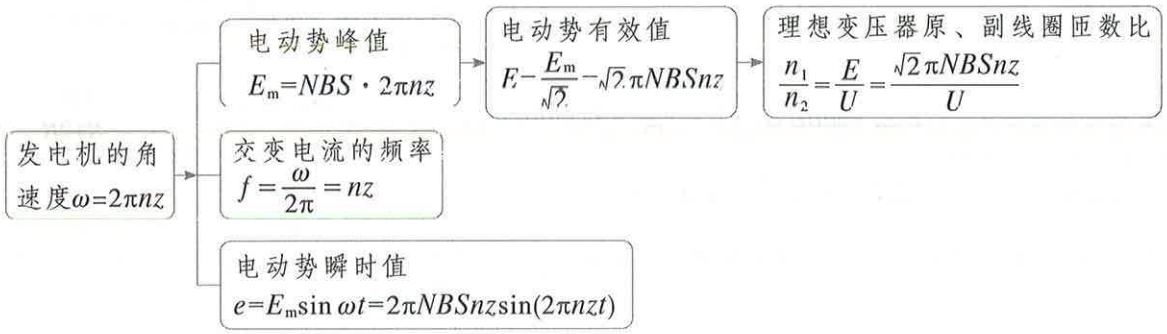
第5题图

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	风轮机叶片转速为每秒 z 转，通过转速比为 $1:n$ 的升速齿轮箱带动发电机线圈	发电机线圈转速为 nz 角速度 $\omega=2\pi nz$
2	发电机线圈面积为 S，匝数为 N，匀强磁场的磁感应强度为 B	电动势峰值 $E_m=NBS\omega$
3	$t=0$ 时刻，线圈所在平面与磁场方向垂直	电动势瞬时值 $e=E_m\sin\omega t$

(2)推理论证能力



【答案】C

【失分剖析】①不能根据转速和升速齿轮得出线圈的角速度；②不能正确区分正弦式交变电流的峰值、有效值和瞬时值，不清楚它们之间的关系。

方法点拨

关于理想变压器的四点说明

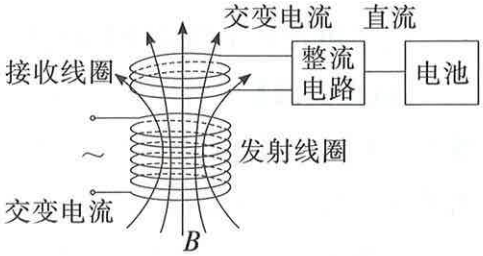
①变压器不能改变直流电压。

②变压器只能改变交变电流的电压和电流，不能改变交变电流的频率。

③理想变压器本身不消耗能量。

④理想变压器基本关系中的 U_1、U_2、I_1、I_2 均为有效值。

8.(多选)(2022 湖北卷，9)近年来，基于变压器原理的无线充电技术得到了广泛应用，其简化的充电原理图如图所示。发射线圈的输入电压为 220 V、匝数为 1 100，接收线圈的匝数为 50。若工作状态下，穿过接收线圈的磁通量约为发射线圈的 80%，忽略其他损耗，下列说法正确的是(　　)



A. 接收线圈的输出电压约为 8 V

B. 接收线圈与发射线圈中电流之比约为 22∶1

C. 发射线圈与接收线圈中交变电流的频率相同

D. 穿过发射线圈的磁通量变化率与穿过接收线圈的相同

【试题立意】本题以无线充电为素材创设研究接收线圈电压、电流、频率、磁通量变化率等物理量的生活实践问题情境。教材中也出现过同源情境，如人教版教材选择性必修第二册第 61 页图 3.3-5。本题主要考查了理想变压器等知识点。



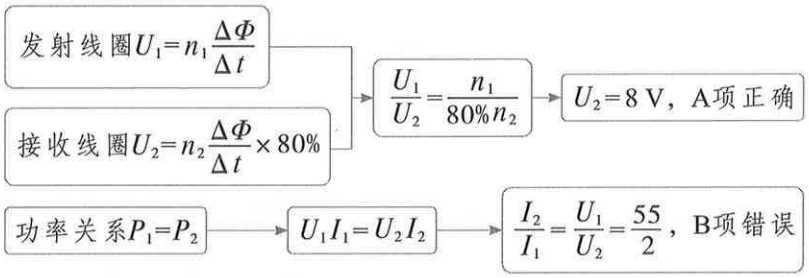
图 3.3－5　无线充电接收器中的线圈

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	穿过接收线圈的磁通量约为发射线圈的 80%	有漏磁，接收线圈的磁通量的变化率也约为发射线圈的 80%，D 项错误
2	忽略其他损耗	变压器的输入功率等于输出功率
3	基于变压器原理	不改变交变电流的频率，C 项正确

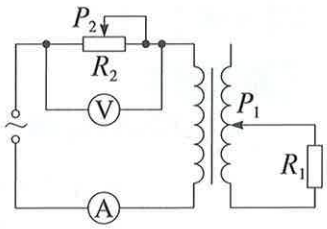
(2)推理论证能力



【答案】AC

【失分剖析】①没有考虑磁场有泄漏，仍然用理想变压器的电压关系来计算；②错误地认为功率也有损失，实际上输入功率与输出功率依然相等。

9.(2022 湖南卷，6)如图所示，理想变压器原、副线圈总匝数相同，滑动触头 P_1 初始位置在副线圈正中间，输入端接入电压有效值恒定的交流电源。定值电阻 R_1 的阻值为 R，滑动变阻器 R_2 的最大阻值为 $9R$，滑片 P_2 初始位置在最右端。理想电压表 V 的示数为 U，理想电流表 A 的示数为 I。下列说法正确的是(　　)



A. 保持 P_1 位置不变，P_2 向左缓慢滑动的过程中，I 减小，U 不变

B. 保持 P_1 位置不变，P_2 向左缓慢滑动的过程中，R_1 消耗的功率增大

C. 保持 P_2 位置不变，P_1 向下缓慢滑动的过程中，I 减小，U 增大

D. 保持 P_2 位置不变，P_1 向下缓慢滑动的过程中，R_1 消耗的功率减小

【试题立意】本题以理想变压器为素材创设研究电路动态变化的学习探索问题情境。教材中也出现过同源情境，如人教版选择性必修第二册第 69 页第 3 题图 3－5。本题主要考查理想变压器、欧姆定律等知识点。

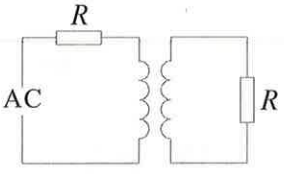
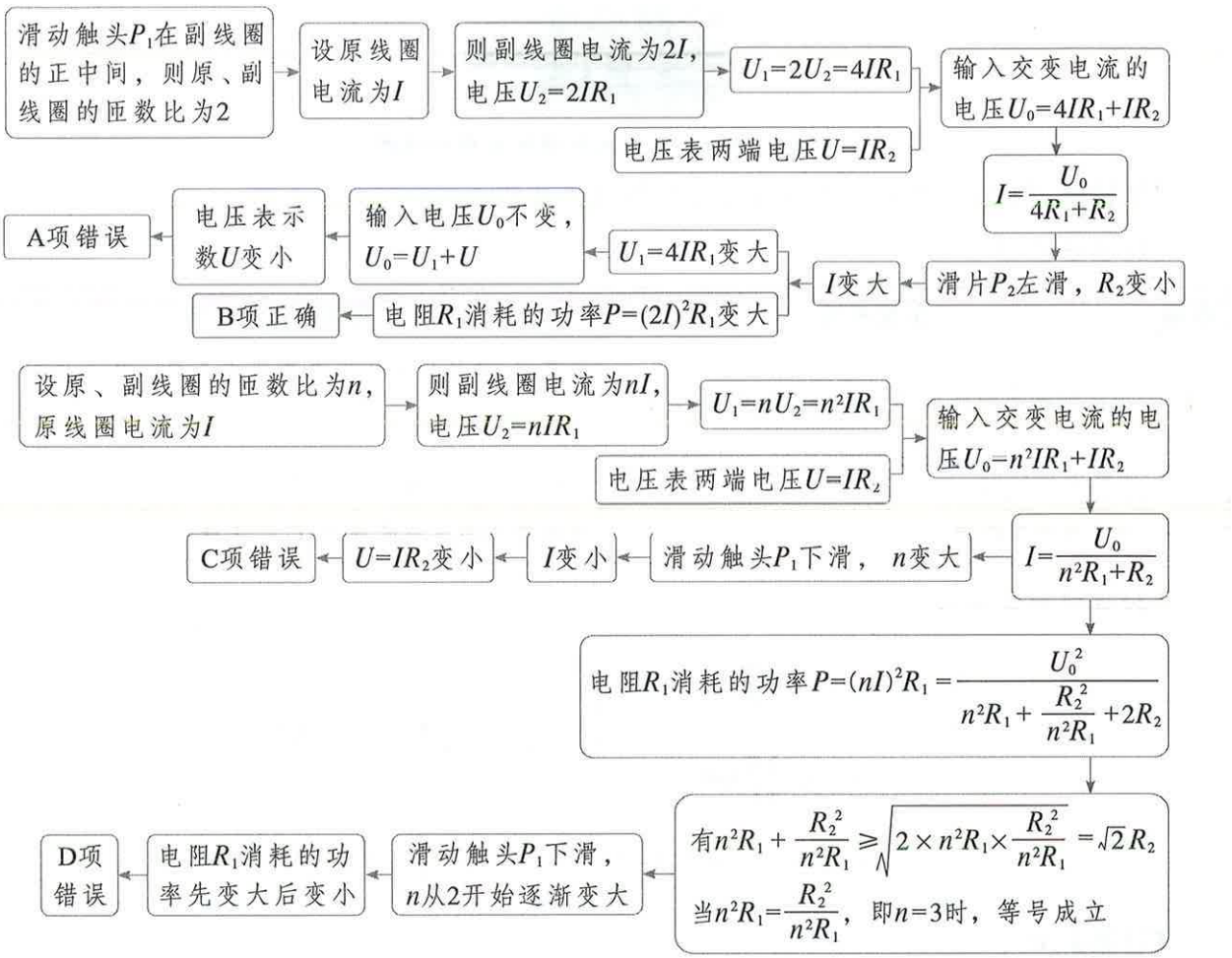


图 3－5

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

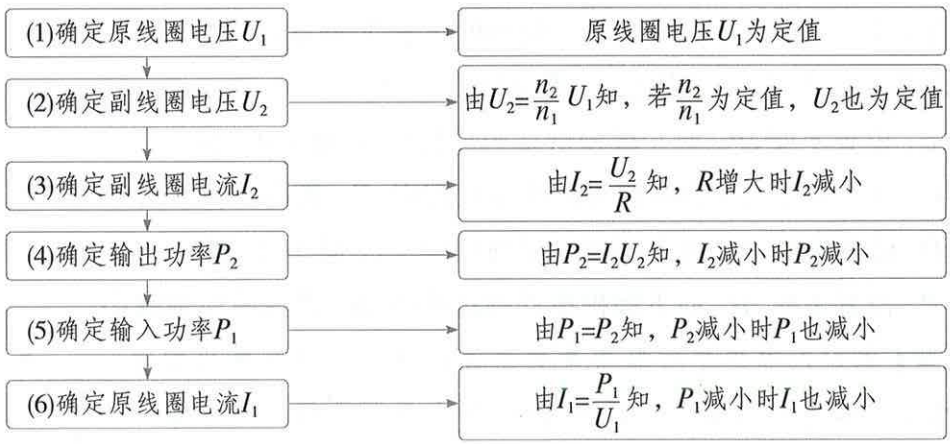


【答案】B

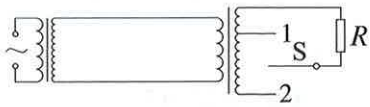
【失分剖析】不能灵活地应用变压器原理和串、并联电路的基本规律，不能正确地写出电流、功率等物理量与电阻 R_2 和变压器匝数比之间的定量表达式，进而不能判断它们之间的单调性关系。

方法点拨

含有变压器的动态电路问题的解题思路



10.（多选）(2021 山东卷，9)输电能耗演示电路如图所示。左侧变压器原、副线圈匝数比为 1∶3，输入电压为 7.5 V 的正弦交变电流。连接两理想变压器的导线总电阻为 r，负载 R 的阻值为 10 Ω。开关 S 接 1 时，右侧变



压器原、副线圈匝数比为 2∶1，R 上的功率为 10 W；接 2 时，匝数比为 1∶2，R 上的功率为 P。以下判断正确的是(　　)

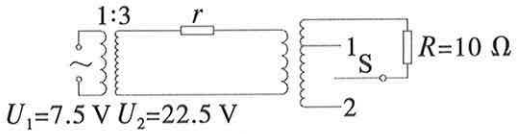
A. $r=10\ \Omega$　　B. $r=5\ \Omega$　　C. $P=45$ W　　D. $P=22.5$ W

【试题立意】本题以远距离输电为素材创设求解导线电阻以及用户功率的学习探索问题情境。主要考查理想变压器、电功率、远距离输电等知识点。

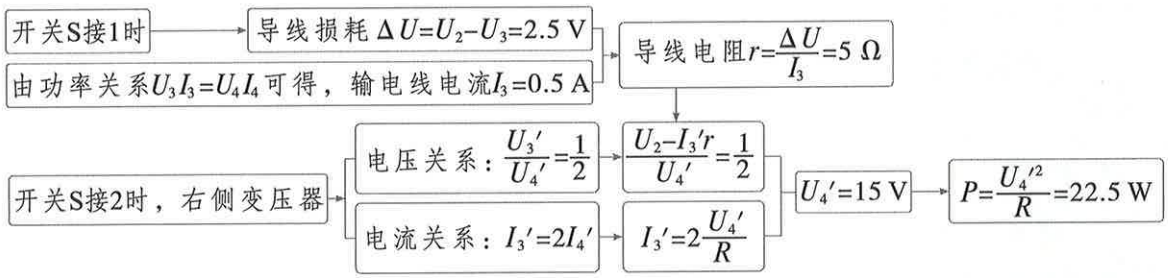
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	左侧变压器原、副线圈匝数比为 1∶3，输入电压为 7.5 V 的正弦交变电流	输出电压 $U_2=\frac{n_2}{n_1}U_1=22.5$ V
2	负载 R 的阻值为 10 Ω，S 接 1 时，R 上的功率为 10 W	$U_4=\sqrt{PR}=10$ V，$I_4=\frac{U_4}{R}=1$ A
3	S 接 1 时，右侧变压器原、副线圈匝数比为 2∶1	输入电压 $U_3=\frac{n_3}{n_4}U_4=20$ V



(2)推理论证能力



【答案】BD

【失分剖析】①开关接 1 变为接 2 时，错误地认为损失的电压不变；②不能从已知条件出发，根据变压器的一般原理建立起远距离输电过程中各物理量之间的关系，进而导致无法计算出正确结果。

方法点拨

远距离输电问题的解题技巧

①正确画出输电过程示意图，并在图上标出各物理量。

②抓住变压器变压前、后各量间的关系，求出输电线上的电流。

③计算输电线上的功率损失时常用关系式：$\Delta P=I^2R=\left(\frac{P}{U}\right)^2R$。

④电网送电遵循“用多少送多少”的原则，原线圈电流由副线圈电流决定。

命题规律

1. 多维度细目表

高考试题（年份/卷别/题号）			2023					2022				2021
			全国乙,20	山东,7	广东,6	湖南,9	海南,7	全国甲,20	河北,3	湖北,9	湖南,6	山东,9
考查内容	必备知识	欧姆定律，电阻定律，电阻的串联、并联	√				√	√			√	
		电源的电动势和内阻、闭合电路欧姆定律	√									
		电功率、焦耳定律		√				√				√
		理想变压器		√	√				√	√	√	√
		交变电流、交变电流的图像、正弦式交变电流的函数表达式、峰值和有效值			√	√			√			
		远距离输电		√								√
	关键能力	理解能力	√			√			√	√		√
		推理论证能力	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		模型建构能力										
		实验探究能力										
		创新能力										
	学科素养	物理观念	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学思维	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学探究										
		科学态度与责任										
考查要求		基础性			√				√	√		√
		综合性	√	√		√	√	√			√	
		应用性							√	√		
		创新性										

续表

高考试题（年份/卷别/题号）		2023					2022				2021
		全国乙,20	山东,7	广东,6	湖南,9	海南,7	全国甲,20	河北,3	湖北,9	湖南,6	山东,9
情境载体	生活实践问题情境				√			√	√		
	学习探索问题情境	√	√	√		√	√			√	√

2. 命题趋势

考查项目	考查特点
命题类型	多以选择题的形式出现，有的计算题中某一状态或者过程也会涉及恒定电流，闭合电路的欧姆定律多在实验题中进行考查
必备知识	理想变压器、正弦式交变电流的相关知识是考查的重点
关键能力	主要考查理解能力和推理论证能力
学科素养	重在考查物理观念和科学思维
考查要求	题目注重基础性和应用性
考查载体	生活实践问题情境和学习探索问题情境都有出现

在命题上侧重交变电流与理想变压器相结合的问题，2024 年高考考查的内容大概率会侧重理想变压器的动态分析。

3. 备考策略

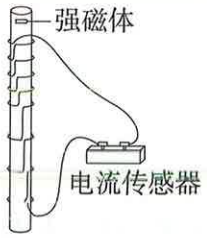
复习备考时要回归教材，夯实双基。重点关注：交变电流的产生过程，交变电流的图像和四值（峰值、瞬时值、有效值、平均值），理想变压器的工作原理及原、副线圈与各物理量之间的制约关系，远距离输电的升压、降压工作模式及功率和电压的损耗。我国的远距离输电设备在世界上处于领先地位，传感器的应用也越来越广泛，要多关注与之相关的信息题。

第2讲　法拉第电磁感应定律及其应用

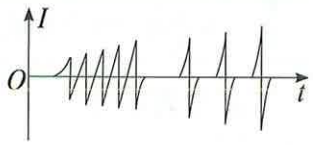
题组一　电磁感应现象　法拉第电磁感应定律

本题组主要涉及电磁感应现象、楞次定律、法拉第电磁感应定律、自感、涡流、电磁驱动和电磁阻尼等知识点。

1.（多选）(2023 全国甲卷，21）一有机玻璃管竖直放在水平地面上，管上有漆包线绕成的线圈，线圈的两端与电流传感器相连，线圈在玻璃管上部的 5 匝均匀分布，下部的 3 匝也均匀分布，下部相邻两匝间的距离大于上部相邻两匝间的距离，如图甲所示。现让一个很小的强磁体在玻璃管内沿轴线从上端口由静止下落，电流传感器测得线圈中电流 I 随时间 t 的变化如图乙所示。则（　　）



甲



乙

A. 小磁体在玻璃管内下降速度越来越快

B. 下落过程中，小磁体的 N 极、S 极上下颠倒了 8 次

C. 下落过程中，小磁体受到的电磁阻力始终保持不变

D. 与上部相比，小磁体通过线圈下部的过程中，磁通量变化率的最大值更大

【试题立意】本题以强磁体在绕有漆包线的有机玻璃管内下落为素材创设分析电磁感应规律的学习探索问题情境，此情境在 2023 年全国乙卷第 17 题出现过，教材中也出现过同源情境，如人教版教材选择性必修第二册第 30 页图 2.2－1 和第 39 页第 3 题图 2.3－15。本题主要考查电磁感应现象、楞次定律、法拉第电磁感应定律等知识点。



图 2.2－1

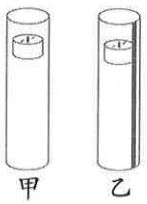


图 2.3－15

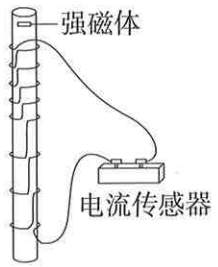
【关键能力】本题主要考查理解能力。

序号	图像信息	物理量及其关系
1	感应电流的峰值越来越大	说明感应电动势越来越大，小磁体在玻璃管内下降的速度越来越快，A 项正确
		小磁体受到的电磁阻力不断变大，C 项错误
		小磁体通过线圈下部的过程中，磁通量变化率的最大值更大，D 项正确
2	每次小磁体靠近线圈，线圈都产生正向电流，远离时都产生反向电流	说明小磁体下落过程中 N、S 极没有颠倒，B 项错误

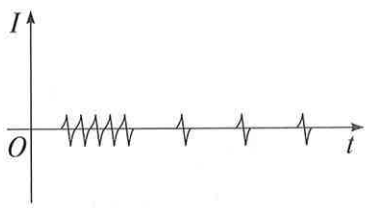
【答案】AD

【失分剖析】不会从感应电流的变化情况来分析小磁体的运动情况。

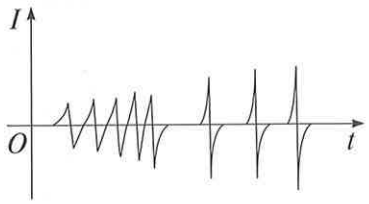
2.(2023 全国乙卷,17)一学生小组在探究电磁感应现象时,进行了如下比较实验。用图(a)所示的缠绕方式,将漆包线分别绕在几何尺寸相同的有机玻璃管和金属铝管上,漆包线的两端与电流传感器接通。两管皆竖直放置,将一很小的强磁体分别从管的上端由静止释放,在管内下落至管的下端。实验中电流传感器测得的两管上流过漆包线的电流 I 随时间 t 的变化分别如图(b)和图(c)所示,分析可知(　　)



图(a)



图(b)



图(c)

A. 图(c)是用玻璃管获得的图像

B. 在铝管中下落,小磁体做匀变速运动

C. 在玻璃管中下落,小磁体受到的电磁阻力始终保持不变

D. 用铝管时测得的电流第一个峰到最后一个峰的时间间隔比用玻璃管时的短

【试题立意】本题以强磁体在绕有漆包线的管内下落为素材创设研究小磁体下落规律的学习探索问题情境,本题主要考查电磁感应现象、楞次定律、法拉第电磁感应定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力。

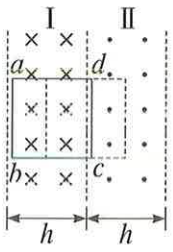
序号	图像信息	物理量及其关系
1	图(b)显示感应电流的峰值比图(c)小	在铝管中下落时,小磁体受到两个阻力的作用,一个是铝管电流产生的磁场的阻碍作用,另一个是线圈电流产生的磁场的阻碍作用,显然总的阻碍作用更强一些,所以小磁体在铝管中运动的速度要比在玻璃管中运动的速度小,线圈中出现的电流峰值也要小,故图(b)是用铝管获得的图像,图(c)是用玻璃管获得的图像,A 项正确。 用铝管时小磁体下落速度小,故测得的电流第一个峰到最后一个峰的时间间隔比用玻璃管时的长,D 项错误
2	图(b)显示感应电流的峰值几乎不变	说明在铝管中下落,小磁体做近似匀速运动,B 项错误
3	图(c)显示感应电流的峰值在变大	说明在玻璃管中下落,小磁体受到的电磁阻力在不断变大,C 项错误

【答案】A

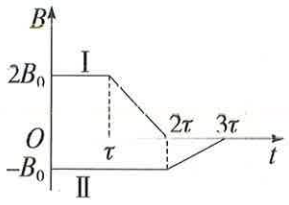
【失分剖析】不会从感应电流的变化情况来分析小磁体的运动情况。

3.(2023 广东卷,14)光滑绝缘的水平面上有垂直平面的匀强磁场,磁场被分成区域Ⅰ和Ⅱ,宽度均为 h,其俯视图如图(a)所示,两磁场磁感应强度随时间 t 的变化如图(b)所示,$0\sim\tau$

时间内，两区域磁场恒定，方向相反，磁感应强度大小分别为 $2B_0$ 和 B_0，一电阻为 R、边长为 h 的刚性正方形金属线框 $abcd$，平放在水平面上，ab、cd 边与磁场边界平行。$t=0$ 时，线框 ab 边刚好跨过区域Ⅰ的左边界以速度 v 向右运动。在 τ 时刻，ab 边运动到距区域Ⅰ的左边界 $\frac{h}{2}$ 处，线框的速度近似为零，此时线框被固定，如图(a)中的虚线框所示。随后在 $\tau\sim2\tau$ 时间内，区域Ⅰ的磁感应强度线性减小到 0，区域Ⅱ的磁场保持不变；$2\tau\sim3\tau$ 时间内，区域Ⅱ的磁感应强度也线性减小到 0。求：



图(a)



图(b)

(1)$t=0$ 时线框所受的安培力 F；

(2)$t=1.2\tau$ 时穿过线框的磁通量 Φ；

(3)$2\tau\sim3\tau$ 时间内，线框中产生的热量 Q。

【试题立意】本题以两部分方向相反的磁场区域为素材创设求解线框受力、磁通量、热量的学习探索问题情境，此情境曾在 2020 年 7 月浙江卷第 21 题出现过，主要考查匀强磁场中的安培力、磁通量、法拉第电磁感应定律、焦耳定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述/图像信息	物理量及其关系
1	两磁场磁感应强度随时间 t 的变化如图(b)所示	$t=1.2\tau$ 时，区域Ⅰ的磁感应强度大小为 $1.6B_0$
2	在 $2\tau\sim3\tau$ 时间内，区域Ⅱ的磁感应强度线性减小到 0	线圈中产生恒定的电动势

(2)推理论证能力

$t=0$ 时，$E=2B_0hv+B_0hv=3B_0hv$ → $I=\frac{E}{R}=\frac{3B_0hv}{R}$ → $F=2B_0\frac{3B_0hv}{R}h+B_0\frac{3B_0hv}{R}h=\frac{9B_0^2h^2v}{R}$

$t=1.2\tau$ 时，$\Phi=1.6B_0h\cdot\frac{1}{2}h-B_0h\cdot\frac{1}{2}h=\frac{3B_0h^2}{10}$

$2\tau\sim3\tau$ 时，$E'=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{B_0\frac{1}{2}h^2}{\tau}=\frac{B_0h^2}{2\tau}$ → $I'=\frac{E'}{R}=\frac{B_0h^2}{2\tau R}$ → $Q=I'^2Rt=\frac{B_0^2h^4}{4\tau R}$

【解题过程】

(1)由图可知 $t=0$ 时线框切割磁感线的感应电动势为 $E=2B_0hv+B_0hv=3B_0hv$ ①

感应电流大小为 $I=\frac{E}{R}=\frac{3B_0hv}{R}$ ②

线框所受的安培力为 $F=2B_0\dfrac{3B_0hv}{R}h+B_0\dfrac{3B_0hv}{R}h=\dfrac{9B_0^2h^2v}{R}$　③

由左手定则可知安培力方向水平向左。　④

(2)在 τ 时刻，ab 边运动到距区域Ⅰ的左边界 $\dfrac{h}{2}$ 处，线框的速度近似为零，此时线框被固定，则 $t=1.2\tau$ 时穿过线框的磁通量为 $\Phi=1.6B_0h\cdot\dfrac{1}{2}h-B_0h\cdot\dfrac{1}{2}h=\dfrac{3B_0h^2}{10}$。　⑤

(3)$2\tau\sim3\tau$ 时间内，区域Ⅱ的磁感应强度也线性减小到 0，有 $E'=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\dfrac{B_0\dfrac{1}{2}h^2}{\tau}=\dfrac{B_0h^2}{2\tau}$　⑥

感应电流大小为 $I'=\dfrac{E'}{R}=\dfrac{B_0h^2}{2\tau R}$　⑦

则 $2\tau\sim3\tau$ 时间内，线框中产生的热量为 $Q=I'^2Rt=\dfrac{B_0^2h^4}{4\tau R}$。　⑧

评分参考：①③⑤⑥⑧各 2 分，其他各 1 分。

【答案】(1)$\dfrac{9B_0^2h^2v}{R}$，方向水平向左　(2)$\dfrac{3B_0h^2}{10}$　(3)$\dfrac{B_0^2h^4}{4\tau R}$

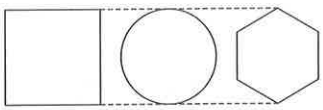
【失分剖析】①不会分别求两个边产生的电动势，再求总的电动势；②求 $2\tau\sim3\tau$ 时间内的电动势时没有用线圈的有效面积。

方法点拨

应用法拉第电磁感应定律应注意的两个问题

①公式 $E=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 求解的是一个回路中某段时间内的平均电动势，在磁通量均匀变化时，瞬时值才等于平均值。

②利用公式 $E=nS\dfrac{\Delta B}{\Delta t}$ 求感应电动势时，S 为线圈在磁场范围内的有效面积。



4.(2022 全国甲卷，16)三个用同样的细导线做成的刚性闭合线框，正方形线框的边长与圆线框的直径相等，圆线框的半径与正六边形线框的边长相等，如图所示。把它们放入磁感应强度随时间线性变化的同一匀强磁场中，线框所在平面均与磁场方向垂直，正方形、圆形和正六边形线框中感应电流的大小分别为 I_1、I_2 和 I_3。则(　　)

A. $I_1<I_3<I_2$　　B. $I_1>I_3>I_2$　　C. $I_1=I_2>I_3$　　D. $I_1=I_2=I_3$

【试题立意】本题以三个不同形状的线框为素材创设比较感应电流大小的学习探索问题情境。教材中也出现过同源情境，如人教版选择性必修第二册第 45 页第 5 题图 2－5。本题主要考查法拉第电磁感应定律、电阻定律等知识点。

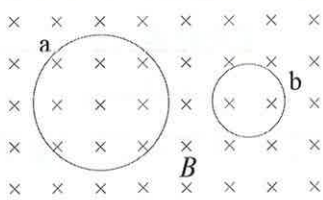


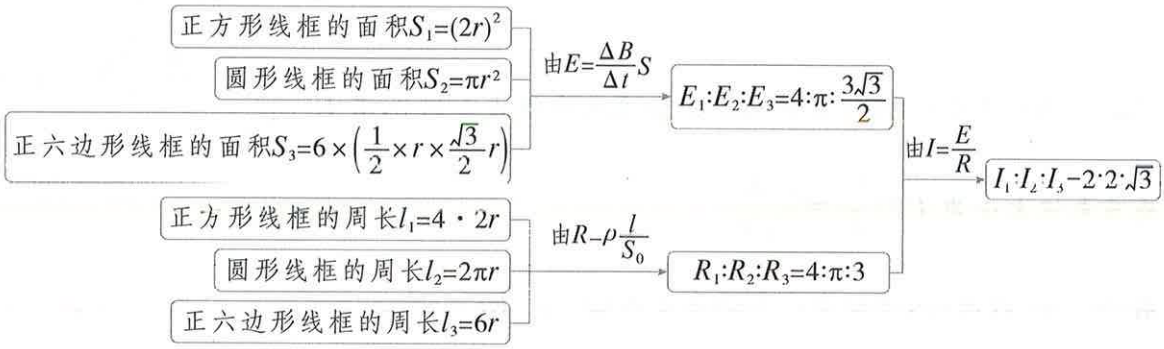
图 2－5

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	三个用同样的细导线做成的刚性闭合线框	设电阻率都为 ρ,横截面积都为 S_0
2	正方形线框的边长与圆线框的直径相等,圆线框的半径与正六边形线框的边长相等	设圆线框的半径为 r,则由题意可知,正方形线框的边长为 $2r$,正六边形线框的边长为 r

(2)推理论证能力



【答案】C

【失分剖析】①计算线框面积时出现错误;②混淆了线框的面积与导线的横截面积这两个物理量。

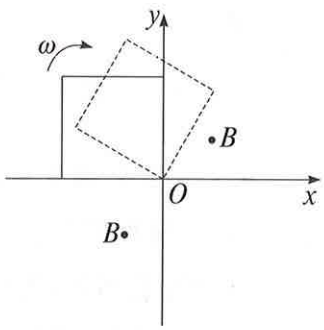
5.(多选)(2022 山东卷,12)如图所示,xOy 平面的第一、三象限内以坐标原点 O 为圆心、半径为$\sqrt{2}L$ 的扇形区域充满方向垂直纸面向外的匀强磁场。边长为 L 的正方形金属框绕其始终在 O 点的顶点、在 xOy 平面内以角速度 ω 顺时针匀速转动。$t=0$ 时刻,金属框开始进入第一象限。不考虑自感影响,关于金属框中感应电动势 E 随时间 t 变化规律的描述正确的是(　　)

A. 在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{2\omega}$的过程中,E 一直增大

B. 在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{2\omega}$的过程中,E 先增大后减小

C. 在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{4\omega}$的过程中,E 的变化率一直增大

D. 在 $t=0$ 到 $t=\frac{\pi}{4\omega}$的过程中,E 的变化率一直减小



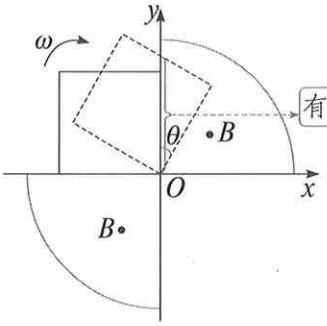
【试题立意】本题以金属框切割磁感线为素材创设分析感应电动势大小变化情况的学习探索问题情境。主要考查法拉第电磁感应定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

关键表述	物理量及其关系
边长为 L 的正方形金属框绕其始终在 O 点的顶点、在 xOy 平面内以角速度 ω 顺时针匀速转动	产生的感应电动势大小 $E=\frac{1}{2}BL_{\text{效}}^2\omega$,其中 $L_{\text{效}}$ 为有效切割长度,是金属框与 y 轴的交点和 O 点间的线段的长度

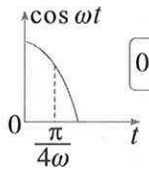
(2)推理论证能力



有效切割长度$L_{效}$ → $E=\frac{1}{2}BL_{效}^2\omega$ → ①θ角在$0\sim\frac{\pi}{4}$过程中，$L_{效}$变大 → E变大；②$\theta=\frac{\pi}{4}$时，$L_{效}=\sqrt{2}L$最大 → E最大；③θ角在$\frac{\pi}{4}\sim\frac{\pi}{2}$过程中，$L_{效}$变小 → E变小

电动势$E=\frac{1}{2}BL_{效}^2\omega=\frac{1}{2}B\left(\frac{L}{\cos\omega t}\right)^2\omega=\frac{BL^2\omega}{2\cos^2\omega t}$ → $0\sim\frac{\pi}{4\omega}$时间内，电动势E增加得越来越快

$0\sim\frac{\pi}{4\omega}$时间内，$\cos\omega t$减小得越来越快



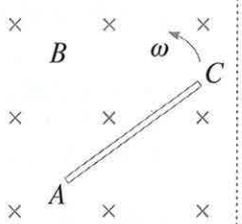
【答案】BC

【失分剖析】①金属框转动切割磁感线有效切割长度的判断错误；②不能根据法拉第电磁感应定律写出感应电动势E的表达式，进而分析不出E的变化率。

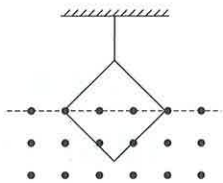
方法点拨

导体转动切割磁感线

如图所示，当长为L的导体在垂直于匀强磁场(磁感应强度为B)的平面内，绕一端以角速度ω匀速转动，当导体运动Δt时间后，转过的弧度$\theta=\omega\Delta t$，转过的面积$\Delta S=\frac{1}{2}L^2\omega\Delta t$，则$E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{B\Delta S}{\Delta t}=\frac{1}{2}BL^2\omega$。



6.(2022全国乙卷，24)如图所示，一不可伸长的细绳的上端固定，下端系在边长为$l=0.40$ m的正方形金属框的一个顶点上。金属框的一条对角线水平，其下方有方向垂直于金属框所在平面的匀强磁场。已知构成金属框的导线单位长度的阻值为$\lambda=5.0\times10^{-3}$ Ω/m；在$t=0$到$t=3.0$ s时间内，磁感应强度大小随时间t的变化关系为$B(t)=0.3-0.1t$(SI)。求：



(1)$t=2.0$ s时金属框所受安培力的大小；

(2)在$t=0$到$t=2.0$ s时间内金属框产生的焦耳热。

【试题立意】本题以正方形金属框为素材创设求解安培力和焦耳热的学习探索问题情境，此情境曾在2020年天津卷第10题出现过。主要考查法拉第电磁感应定律、欧姆定律、安培力、焦耳定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

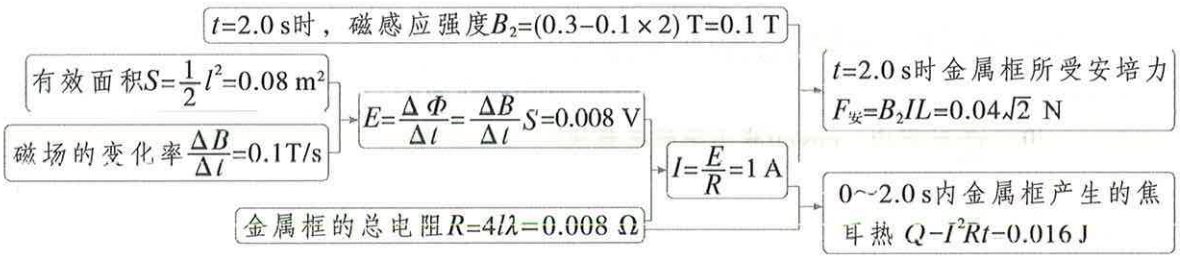
(1)理解能力

序号	关键表述/图像信息	物理量及其关系
1	边长为$l=0.40$ m的正方形金属框，导线单位长度的阻值$\lambda=5.0\times10^{-3}$ Ω/m	金属框的总电阻为$R=4l\lambda=0.008$ Ω

续表

序号	关键表述/图像信息	物理量及其关系
2	磁感应强度大小随时间 t 的变化关系为 $B(t)=0.3-0.1t$(SI)	磁感应强度的变化率 $\frac{\Delta B}{\Delta t}=0.1\ \mathrm{T/s}$
3	如图所示,金属框有一半在磁场中	计算电动势时有效面积是 $\frac{1}{2}l^2$ 计算安培力时等效长度是 $L=\sqrt{2}l$

(2)推理论证能力



【解题过程】(1)金属框的总电阻为 $R=4l\lambda=4\times0.4\times5\times10^{-3}\ \Omega=0.008\ \Omega$ ①

金属框中产生的感应电动势为 $E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{\Delta B\times\frac{l^2}{2}}{\Delta t}=0.1\times\frac{1}{2}\times0.4^2\ \mathrm{V}=0.008\ \mathrm{V}$ ②

金属框中的电流为 $I=\frac{E}{R}=1\ \mathrm{A}$ ③

$t=2.0\ \mathrm{s}$ 时,磁感应强度为 $B_2=(0.3-0.1\times2)\ \mathrm{T}=0.1\ \mathrm{T}$ ④

金属框处于磁场中的有效长度为 $L=\sqrt{2}l$ ⑤

此时金属框所受安培力大小为 $F_{安}=B_2IL=0.1\times1\times\sqrt{2}\times0.4\ \mathrm{N}=0.04\sqrt{2}\ \mathrm{N}$。 ⑥

(2)0～2.0 s 内金属框产生的焦耳热为 $Q=I^2Rt=1^2\times0.008\times2\ \mathrm{J}=0.016\ \mathrm{J}$。 ⑦

评分参考:②⑥各 2 分,⑦4 分,其他各 1 分。

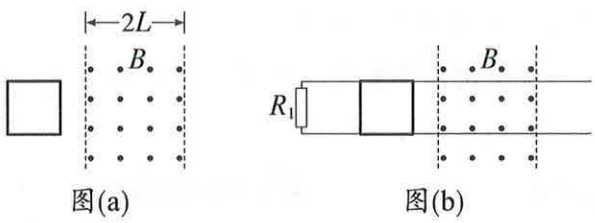
【答案】(1)$0.04\sqrt{2}\ \mathrm{N}$　(2)0.016 J

【失分剖析】①求感应电动势时有效面积判断错误;②求安培力时有效长度判断错误。

题组二　电磁感应中的综合应用

本题组主要涉及五种综合问题,电磁感应中的图像问题、动力学问题、电路问题、能量问题、动量问题,选择题、计算题都有出现,难度一般都比较大。

7.(2023 全国新课标卷,26)一边长为 L、质量为 m 的正方形金属框,每边电阻为 R_0,置于光滑的绝缘水平桌面(纸面)上。宽度为 $2L$ 的区域内存在方向垂直于纸面的匀强磁场,磁感应强度大小为 B,两虚线为磁场边界,如图(a)所示。



图(a)　　图(b)

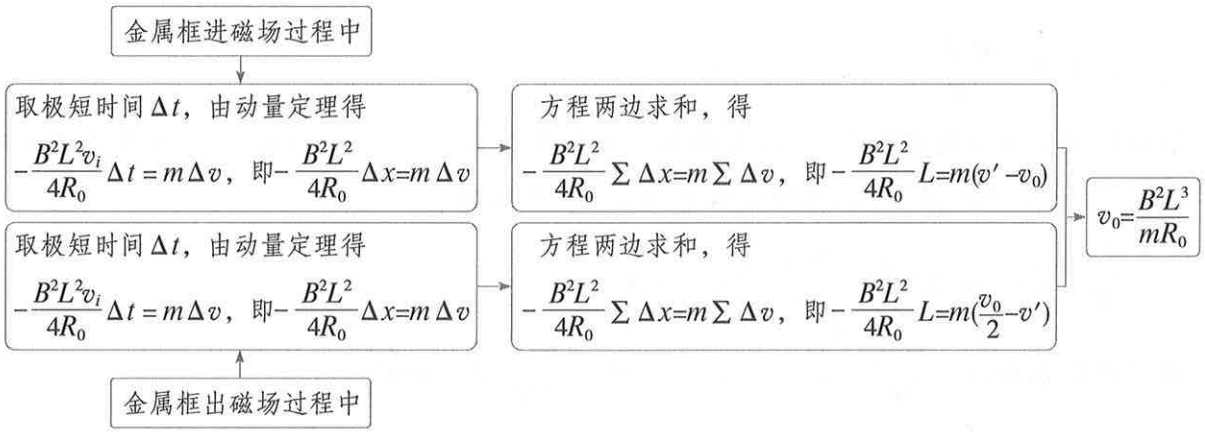
(1)使金属框以一定的初速度向右运动，进入磁场。运动过程中金属框的左、右边框始终与磁场边界平行，金属框完全穿过磁场区域后，速度大小降为它初速度的一半，求金属框的初速度大小。

(2)在桌面上固定两条光滑长直金属导轨，导轨与磁场边界垂直，左端连接电阻 $R_1=2R_0$，导轨电阻可忽略，金属框置于导轨上，如图(b)所示。让金属框以与(1)中相同的初速度向右运动，进入磁场。运动过程中金属框的上、下边框处处与导轨始终接触良好。求在金属框整个运动过程中，电阻 R_1 产生的热量。

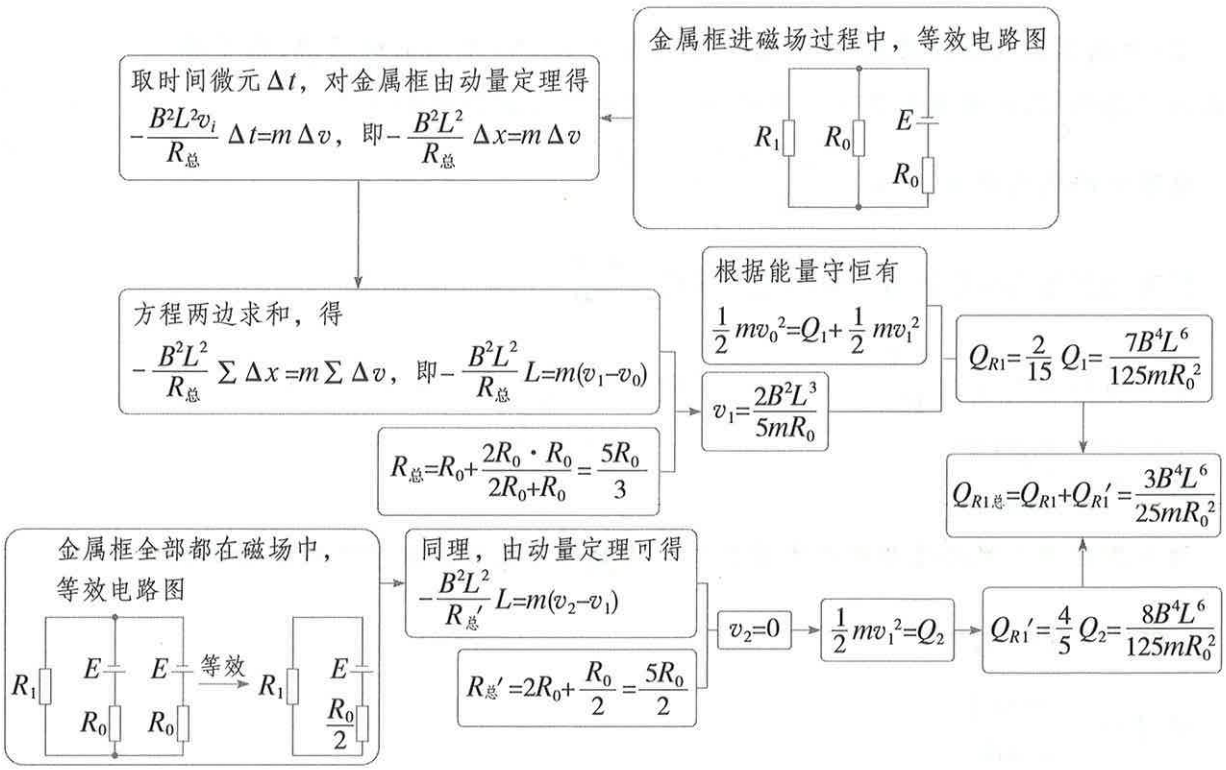
【试题立意】本题以正方形金属框穿越匀强磁场为素材创设了求解金属框速度与电阻热量的学习探索问题情境。主要考查法拉第电磁感应定律、欧姆定律、安培力、动量定理、能量守恒定律、电阻的串联、电阻的并联等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

第(1)问



第(2)问



【解题过程】(1)设金属框进入磁场时速度为 v_0,金属框完全进入时速度为 v',设金属框进入磁场过程中某时刻速度为 v_i,金属框中产生的感应电动势 $e=BLv_i$ ①

感应电流 $i=\dfrac{e}{4R_0}$ ②

所受安培力 $F=BiL$ ③

联立解得 $F=\dfrac{B^2L^2v_i}{4R_0}$ ④

取时间微元 Δt,对金属框由动量定理得 $-F\Delta t=m\Delta v$,即 $-\dfrac{B^2L^2v_i}{4R_0}\Delta t=m\Delta v$ ⑤

其中 $v_i\Delta t=\Delta x$

方程两侧求和得 $-\dfrac{B^2L^2}{4R_0}\sum\Delta x=m\sum\Delta v$ ⑥

其中 $\sum\Delta x=L$,$\sum\Delta v=v'-v_0$

代入上式得 $-\dfrac{B^2L^2}{4R_0}L=m(v'-v_0)$ ⑦

金属框完全在匀强磁场中运动,金属框中磁通量不变,不产生感应电流,做匀速直线运动。

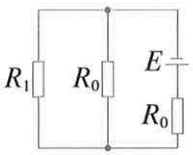
同理,金属框出磁场过程,取时间微元 Δt,由动量定理得

$-\dfrac{B^2L^2v_i}{4R_0}\Delta t=m\Delta v$,即 $-\dfrac{B^2L^2}{4R_0}\Delta x=m\Delta v$ ⑧

方程两侧求和得 $-\dfrac{B^2L^2}{4R_0}\sum\Delta x=m\sum\Delta v$,即 $-\dfrac{B^2L^2}{4R_0}L=m\left(\dfrac{v_0}{2}-v'\right)$ ⑨

联立⑦⑨两式可得 $v_0=\dfrac{B^2L^3}{mR_0}$。 ⑩

(2)金属框进入磁场区域过程,右侧边切割磁感线产生感应电动势,由于导轨电阻可忽略,此时金属框上下部分被短路,其电路可以简化如右。



电路中的总电阻 $R_{总}=R_0+\dfrac{2R_0\cdot R_0}{2R_0+R_0}=\dfrac{5R_0}{3}$ ⑪

取时间微元 Δt,对金属框由动量定理得 $-\dfrac{B^2L^2v_i}{R_{总}}\Delta t=m\Delta v$ ⑫

方程两侧求和得 $-\dfrac{B^2L^2}{R_{总}}\sum\Delta x=m\sum\Delta v$,即 $-\dfrac{B^2L^2}{R_{总}}L=m(v_1-v_0)$ ⑬

解得 $v_1=\dfrac{2B^2L^3}{5mR_0}$

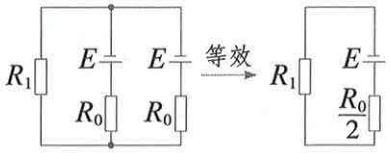
设金属框进入磁场过程中产生的焦耳热为 Q_1,则在此过程中根据能量守恒有

$\dfrac{1}{2}mv_0^2=Q_1+\dfrac{1}{2}mv_1^2$ ⑭

解得 $Q_1=\dfrac{21B^4L^6}{50mR_0^2}$

其中电阻 R_1 产生的热量 $Q_{R1}=\frac{2}{15}Q_1=\frac{7B^4L^6}{125mR_0{}^2}$ ⑮

此后金属框完全进入磁场中，则金属框左右两边均作为电源，且等效电路图如右



则此时回路的总电阻 $R_{总}'=2R_0+\frac{R_0}{2}=\frac{5R_0}{2}$ ⑯

取时间微元 Δt，对金属框由动量定理得 $-\frac{B^2L^2v_i}{R_{总}'}\Delta t=m\Delta v$

设金属框开始出磁场时速度为 v_2，方程两侧求和得 $-\frac{B^2L^2}{R_{总}'}\sum\Delta x=m\sum\Delta v$，即 $-\frac{B^2L^2}{R_{总}'}L=m(v_2-v_1)$ ⑰

解得 $v_2=0$

则说明金属框刚离开磁场时就停止运动了，则再根据能量守恒有 $\frac{1}{2}mv_1{}^2=Q_2$ ⑱

$Q_{R1}'=\frac{4}{5}Q_2=\frac{8B^4L^6}{125mR_0{}^2}$ ⑲

则在金属框整个运动过程中，电阻 R_1 产生的热量 $Q_{R1总}=Q_{R1}+Q_{R1}'=\frac{3B^4L^6}{25mR_0{}^2}$。 ⑳

评分参考：每式 1 分。

【答案】(1)$\frac{B^2L^3}{mR_0}$　(2)$\frac{3B^4L^6}{25mR_0{}^2}$

【失分剖析】①金属框的加速度不恒定时，不会用先微元再求和的办法求速度变化；②误认为回路中产生的热量就是电阻 R_1 产生的热量。

方法点拨

电磁感应中的电路问题

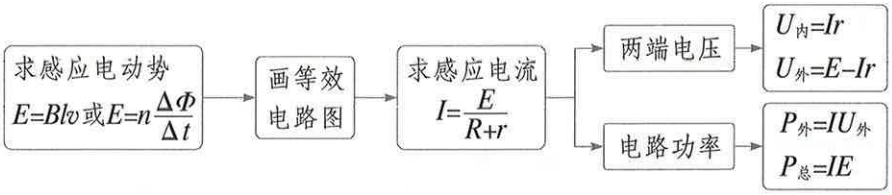
1. 电磁感应中的电源

(1)做切割磁感线运动的导体或磁通量发生变化的回路相当于电源。

电动势：$E=Blv$ 或 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$，这部分电路的阻值为电源内阻。

(2)用右手定则或楞次定律与安培定则结合判断，感应电流流出的一端为电源正极。

2. 分析电磁感应电路问题的基本思路



3. 电磁感应中电路知识的关系图

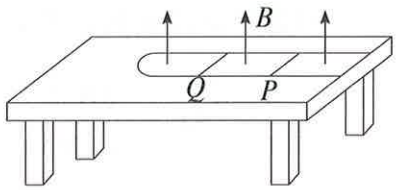


8.（2023 全国甲卷，25）如图所示，水平桌面上固定一光滑 U 形金属导轨，其平行部分的间距为 l，导轨的最右端与桌面右边缘对齐，导轨的电阻忽略不计。导轨所在区域有方向为竖直向上的匀强磁场，磁感应强度大小为 B。一质量为 m、电阻为 R、长度也为 l 的金属棒 P 静止在导轨上。导轨上质量为 $3m$ 的绝缘棒 Q 位于 P 的左侧，以大小为 v_0 的速度向 P 运动并与 P 发生弹性碰撞，碰撞时间很短。碰撞一次后，P 和 Q 先后从导轨的最右端滑出导轨，并落在地面上同一地点。P 在导轨上运动时，两端与导轨接触良好，P 与 Q 始终平行，不计空气阻力。求：

（1）金属棒 P 滑出导轨时的速度大小；

（2）金属棒 P 在导轨上运动过程中产生的热量；

（3）与 P 碰撞后，绝缘棒 Q 在导轨上运动的时间。



【试题立意】本题以光滑 U 形金属导轨为素材创设了求解导体棒速度、时间以及热量的学习探索问题情境，此情境曾在 2022 年辽宁卷第 15 题出现过。主要考查动量守恒定律、机械能守恒定律、能量守恒定律、动量定理、匀强磁场中的安培力、法拉第电磁感应定律等知识点。

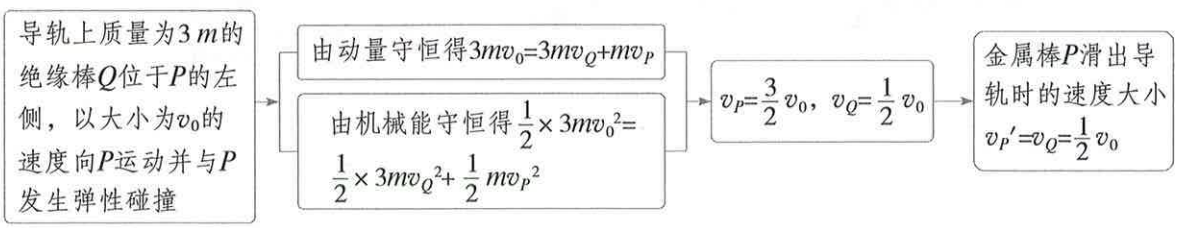
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

（1）理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	导轨上质量为 $3m$ 的绝缘棒 Q 位于 P 的左侧，以大小为 v_0 的速度向 P 运动并与 P 发生弹性碰撞	Q、P 组成的系统动量守恒、机械能守恒
2	绝缘棒 Q	说明它不导电，不受安培力的作用，故绝缘棒 Q 与金属棒 P 碰撞前后，Q 均做匀速直线运动
3	P 和 Q 先后从导轨的最右端滑出导轨，并落在地面上同一地点	P 和 Q 从导轨右端平抛时的初速度相等
4	金属棒 P 在导轨上运动过程中产生的热量	金属棒 P 在导轨上运动过程中，绝缘棒 Q 正在做匀速直线运动，并且它也不产生热量，故金属棒 P 动能的减少量就等于产生的热量

（2）推理论证能力

第（1）问：



第(2)问：

对导体回路，由能量守恒得 → $\frac{1}{2}mv_P^2=\frac{1}{2}mv_P'^2+Q$ → 解得$Q=mv_0^2$

第(3)问：

对金属棒P，在极短时间内，根据动量定理得$-\frac{B^2l^2v}{R}\Delta t=m\Delta v$，即$-\frac{B^2l^2}{R}\Delta x=m\Delta v$ → 对方程两边求和，得$-\frac{B^2l^2}{R}\sum\Delta x=m\sum\Delta v$，即$-\frac{B^2l^2}{R}x=m(v_P'-v_P)$ → $x=\frac{mv_0R}{B^2l^2}$ → $t=\frac{x}{v_Q}=\frac{2mR}{B^2l^2}$

【解题过程】

(1)由于绝缘棒Q与金属棒P发生弹性碰撞，根据动量守恒和机械能守恒可得

$3mv_0=3mv_Q+mv_P$ ①

$\frac{1}{2}\times3mv_0^2=\frac{1}{2}\times3mv_Q^2+\frac{1}{2}mv_P^2$ ②

联立解得$v_P=\frac{3}{2}v_0$，$v_Q=\frac{1}{2}v_0$ ③

由题知，碰撞一次后，P和Q先后从导轨的最右端滑出导轨，并落在地面上同一地点，则金属棒P滑出导轨时的速度大小为$v_P'=v_Q=\frac{1}{2}v_0$。 ④

(2)对导体回路，由能量守恒得$\frac{1}{2}mv_P^2=\frac{1}{2}mv_P'^2+Q$ ⑤

解得$Q=mv_0^2$。 ⑥

(3)P、Q碰撞后，设某一时刻金属棒P的速度为v，回路中产生的感应电动势$e=Blv$ ⑦

感应电流$i=\frac{e}{R}$ ⑧

金属棒P所受安培力$F=Bil$ ⑨

取时间微元Δt，对金属棒P由动量定理得$-F\Delta t=m\Delta v$，即$-\frac{B^2l^2v}{R}\Delta t=m\Delta v$ ⑩

其中$v\Delta t=\Delta x$ ⑪

方程两边求和得$-\frac{B^2l^2}{R}\sum\Delta x=m\sum\Delta v$ ⑫

设碰撞时金属棒P距离导轨右端的距离为x，则$\sum\Delta x=x$，$\sum\Delta v=v_P'-v_P$ ⑬

代入上式得$-\frac{B^2l^2}{R}x=m(v_P'-v_P)$ ⑭

解得$x=\frac{mv_0R}{B^2l^2}$ ⑮

由于Q为绝缘棒，无电流通过，做匀速直线运动，故Q运动的时间为$t=\frac{x}{v_Q}=\frac{2mR}{B^2l^2}$。 ⑯

评分参考:①②⑤⑩各 2 分,其他各 1 分。

【答案】(1)$\frac{1}{2}v_0$　(2)mv_0^2　(3)$\frac{2mR}{B^2l^2}$

【失分剖析】①不会根据 P、Q 落在地面上同一点,推导出它们平抛的初速度相等;②当金属棒 P 的速度不恒定时,不会用先微元再求和的办法求位移。

方法点拨

电磁感应中的能量问题

1. 电磁感应中的能量转化

其他形式的能量 —克服安培力做功→ 电能 —电流做功→ 焦耳热或其他形式的能量

2. 求解焦耳热 Q 的三种方法

焦耳热Q的三种求法
- 焦耳定律:$Q=I^2Rt$,电流、电阻都不变时适用
- 功能关系:$Q=W_{克服安培力}$,任意情况都适用
- 能量转化:$Q=\Delta E_{其他能的减少量}$,任意情况都适用

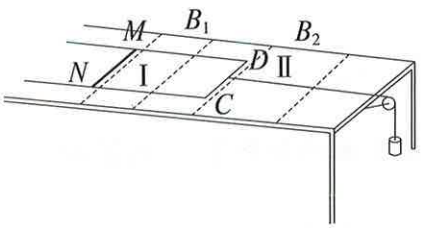
3. 解题的一般步骤

(1)确定研究对象(导体棒或回路);

(2)弄清电磁感应过程中哪些力做功,以及哪些形式的能量相互转化;

(3)根据功能关系或能量守恒定律列式求解。

9.(多选)(2023 山东卷,12)足够长 U 形导轨平置在光滑水平绝缘桌面上,宽为 1 m,电阻不计。质量为 1 kg、长为 1 m、电阻为 1 Ω 的导体棒 MN 放置在导轨上,与导轨形成矩形回路并始终接触良好,Ⅰ和Ⅱ区域内分别存在竖直方向的匀强磁场,磁感应强度分别为 B_1 和 B_2,其中 $B_1=2$ T,方向向下。用不可伸长的轻绳跨过固定轻滑轮将导轨 CD 段中点与质量为 0.1 kg 的重物相连,绳与 CD 垂直且平行于桌面。如图所示,某时刻 MN、CD 同时分别进入磁场区域Ⅰ和Ⅱ并做匀速直线运动,MN、CD 与磁场边界平行。MN 的速度 $v_1=2$ m/s,CD 的速度为 v_2 且 $v_2>v_1$,MN 和导轨间的动摩擦因数为 0.2。重力加速度大小取 10 m/s^2,下列说法正确的是(　　)



A. B_2 的方向向上　　B. B_2 的方向向下

C. $v_2=5$ m/s　　D. $v_2=3$ m/s

【试题立意】本题以 U 形导轨为素材创设了判断磁场方向以及求解 U 形导轨速度的学习探索问题情境,主要考查法拉第电磁感应定律、共点力的平衡、安培力、安培力的方向、欧姆定

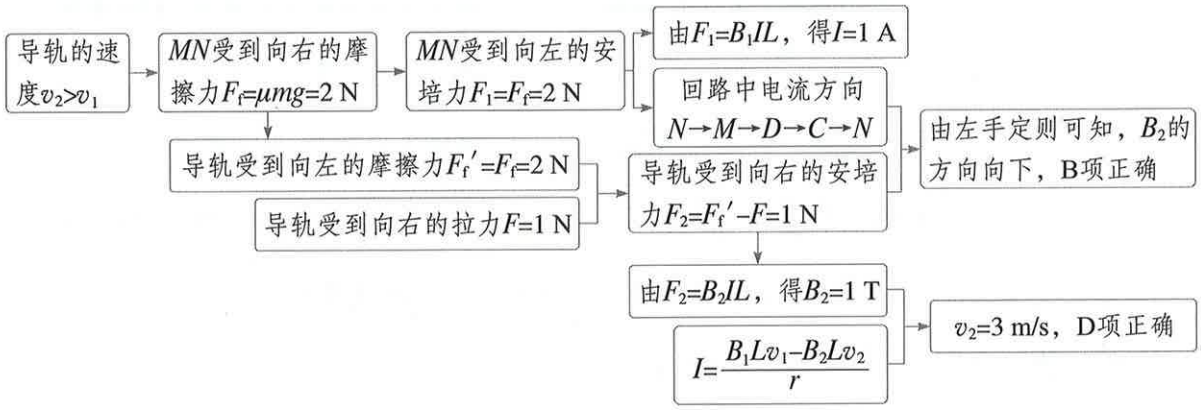
律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	MN、CD 同时分别进入磁场区域Ⅰ和Ⅱ并做匀速直线运动	MN、CD 都处于平衡状态，所受合外力为 0
2	质量为 0.1 kg 的重物……做匀速直线运动	重物处于平衡状态，绳子的拉力 $F=1$ N

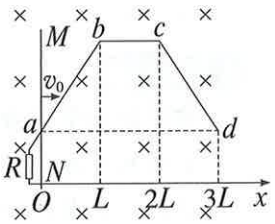
(2)推理论证能力

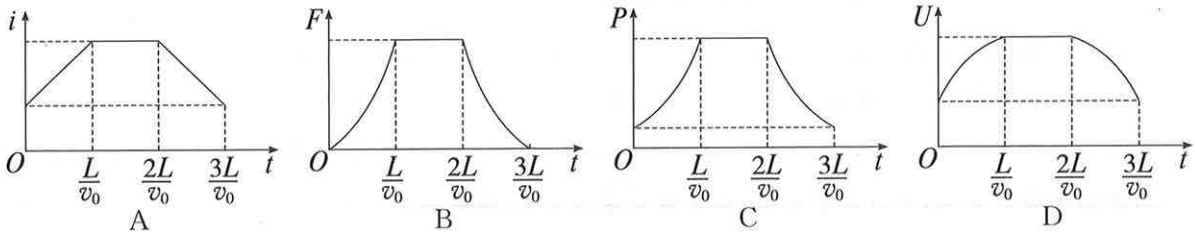


【答案】BD

【失分剖析】①不会判断导体棒所受摩擦力的方向；②没有求出回路中的电流这一关键量。

10.(多选)(2022 河北卷，8)如图所示，两光滑导轨水平放置在竖直向下的匀强磁场中，一根导轨位于 x 轴上，另一根由 ab、bc、cd 三段直导轨组成，其中 bc 段与 x 轴平行，导轨左端接入一电阻 R。导轨上一金属棒 MN 沿 x 轴正向以速度 v_0 保持匀速运动，$t=0$ 时刻通过坐标原点 O，金属棒始终与 x 轴垂直。设运动过程中通过电阻的电流为 i，金属棒受到安培力的大小为 F，金属棒克服安培力做功的功率为 P，电阻两端的电压为 U，导轨与金属棒接触良好，忽略导轨与金属棒的电阻。下列图像可能正确的是(　　)





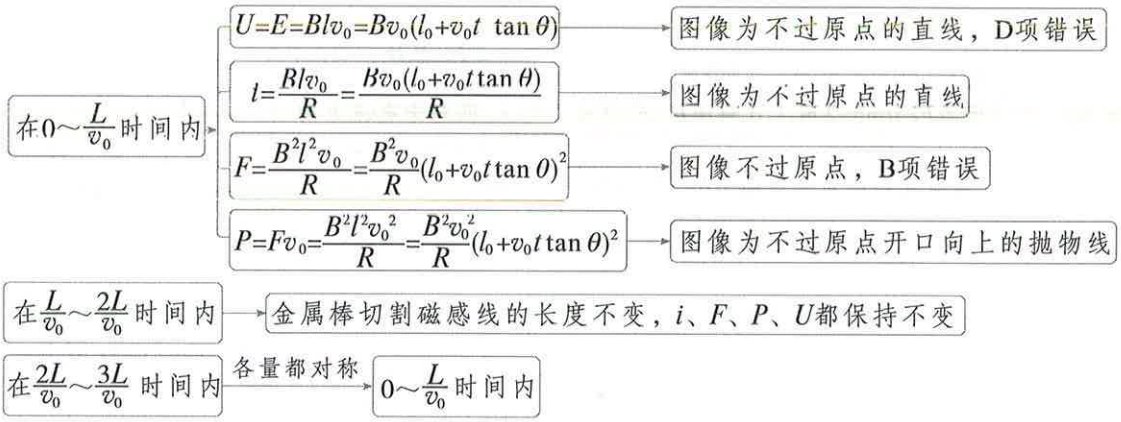
【试题立意】本题以金属棒切割磁感线为素材，创设了分析 i、F、P、U 随时间变化规律的学习探索问题情境，此情境曾在 2020 年山东卷第 12 题出现过。主要考查法拉第电磁感应定律、功率、安培力等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	导轨上一金属棒 MN 沿 x 轴正向以速度 v_0 保持匀速运动	有效切割长度 $l=l_0+v_0t\tan\theta$（θ 为 ab 与 ad 的夹角，l_0 为 $t=0$ 时刻的有效切割长度）
2	电阻两端的电压为 U，忽略导轨与金属棒的电阻	$U=E$（金属棒切割磁感线产生的电动势）

(2)推理论证能力



【答案】AC

【失分剖析】①不能找到金属棒切割磁感线的有效长度；②不能正确推导出各物理量与时间 t 的关系。

方法点拨

电磁感应中的图像问题

1. 解题关键

弄清初始条件、正负方向的对应变化范围、所研究物理量的函数表达式、进出磁场的转折点等是解决此类问题的关键。

2. 解题步骤

(1)明确图像的种类，即是 $B-t$ 图像还是 $\Phi-t$ 图像，或者 $E-t$ 图像、$I-t$ 图像等；对切割磁感线产生感应电动势和感应电流的情况，还常涉及 $E-x$ 图像和 $i-x$ 图像。

(2)分析电磁感应的具体过程。

(3)用右手定则或楞次定律确定方向的对应关系。

(4)结合法拉第电磁感应定律、闭合电路的欧姆定律、牛顿运动定律等知识写出相应的函数关系式。

(5)根据函数关系式，进行数学分析，如分析斜率的变化、截距等。

(6)画图像或判断图像。

3. 常用方法

(1)排除法：定性地分析电磁感应过程中物理量的正负，增大还是减小，以及变化快慢，来排除错误选项。

(2)函数法：写出两个物理量之间的函数关系，然后由函数关系对图像进行分析和判断。

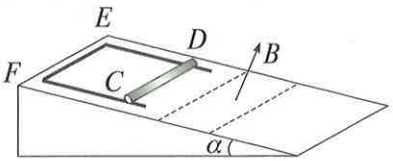
11.(2021 全国乙卷，25)如图所示，一倾角为 α 的光滑固定斜面的顶端放有质量 $M=0.06$ kg 的 U 形导体框，导体框的电阻忽略不计；一电阻 $R=3\ \Omega$ 的金属棒 CD 的两端置于导

体框上，与导体框构成矩形回路 $CDEF$；EF 与斜面底边平行，长度 $L=0.6$ m。初始时 CD 与 EF 相距 $s_0=0.4$ m，金属棒与导体框同时由静止开始下滑，金属棒下滑距离 $s_1=\frac{3}{16}$ m 后进入一方向垂直于斜面的匀强磁场区域，磁场边界（图中虚线）与斜面底边平行；金属棒在磁场中做匀速运动，直至离开磁场区域。当金属棒离开磁场的瞬间，导体框的 EF 边正好进入磁场，并在匀速运动一段距离后开始加速。已知金属棒与导体框之间始终接触良好，磁场的磁感应强度大小 $B=1$ T，重力加速度大小 g 取 10 m/s^2，$\sin\alpha=0.6$。求：

(1)金属棒在磁场中运动时所受安培力的大小；

(2)金属棒的质量以及金属棒与导体框之间的动摩擦因数；

(3)导体框匀速运动的距离。



【试题立意】本题以导体框和金属棒在斜面上运动并经过磁场区域为素材，创设了比较复杂的多研究对象、多运动阶段的学习探索问题情境。主要考查右手定则、左手定则、法拉第电磁感应定律、安培力、闭合电路欧姆定律、匀变速直线运动及其公式、牛顿运动定律、滑动摩擦力、动能定理等知识点。

【关键能力】本题主要考查模型建构能力、推理论证能力。

(1)模型建构能力

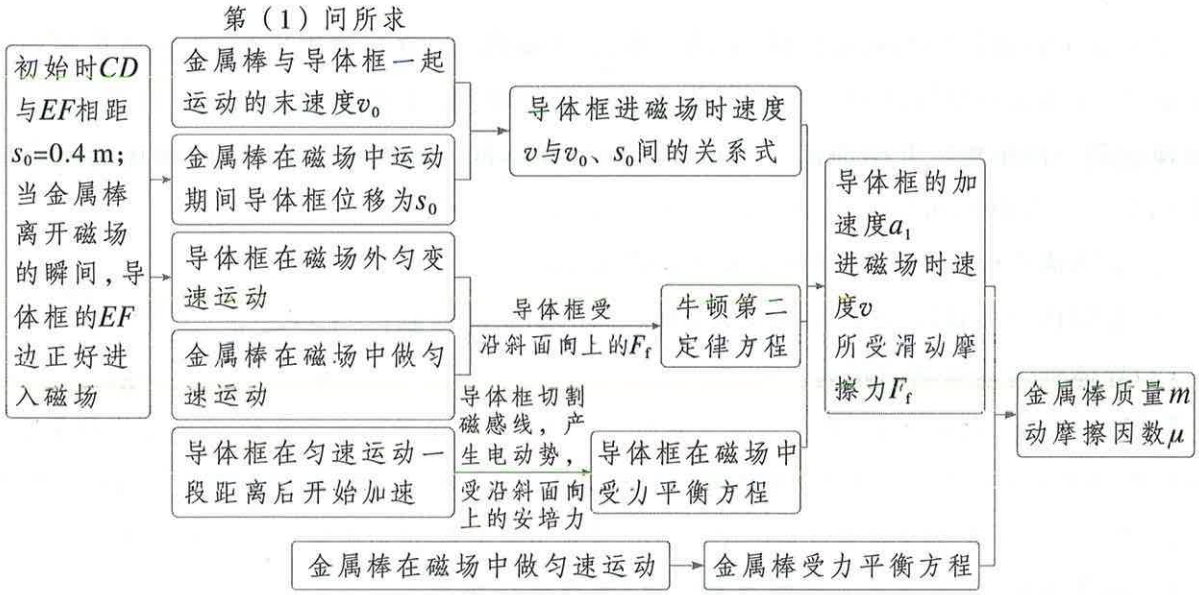
序号	研究对象、物理状态、物理过程	物理模型
1	光滑固定斜面；金属棒与导体框同时由静止开始下滑	“板块”一起从静止开始沿斜面向下做匀加速直线运动
2	金属棒 CD 的两端置于导体框上，与导体框构成矩形回路 $CDEF$；金属棒下滑距离 $s_1=\frac{3}{16}$ m 后进入一方向垂直于斜面的匀强磁场区域	单棒切割磁感线的“发电机”模型：金属棒 CD 切割磁感线相当于电源，由于与导体框构成矩形回路，所以金属棒 CD 因有电流而受阻碍其相对运动的安培力
3	金属棒在磁场中做匀速运动	金属棒处于平衡状态，所受合外力为零
4	当金属棒离开磁场的瞬间，导体框的 EF 边正好进入磁场，并在匀速运动一段距离后开始加速	“板块”模型：分别隔离受力分析、运动分析，建立两者速度或位移间的关系式

(2)推理论证能力

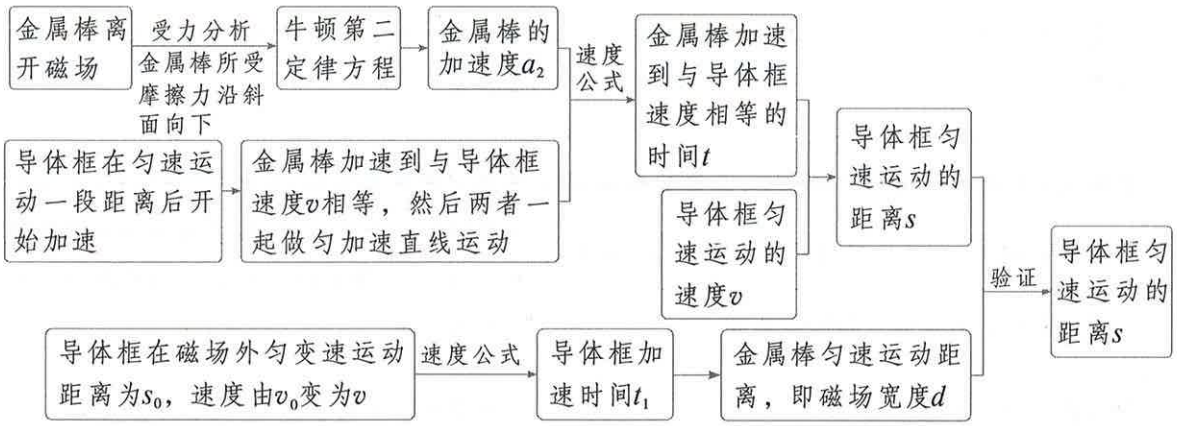
第(1)问：金属棒在磁场外做匀加速运动，进入磁场后做切割磁感线运动



第(2)问:金属棒在磁场中匀速运动期间,导体框在磁场外匀变速运动,进入磁场后匀速运动



第(3)问:金属棒离开磁场后做匀变速运动,导体框在磁场中先匀速运动一段距离后再加速运动



【解题过程】(1)设金属棒的质量为 m,金属棒与导体框一起做初速度为零的匀加速直线运动。当金属棒进入磁场时,设金属棒与导体框的速度大小为 v_0,根据动能定理有

$$\frac{1}{2}(M+m)v_0^{\ 2}=(M+m)gs_1\sin\alpha \qquad ①$$

代入数据解得 $v_0=1.5$ m/s

金属棒切割磁感线产生的感应电动势为 $E=BLv_0$ ②

由闭合电路欧姆定律可知,感应电流 $I_1=\dfrac{E}{R}$ ③

金属棒在磁场中运动时受到的安培力大小 $F_1=I_1BL$ ④

代入数据解得 $F_1=0.18$ N。 ⑤

(2)金属棒在磁场中运动过程中,导体框做匀加速直线运动

设金属棒与导体框间的滑动摩擦力大小为 F_f，导体框进入磁场时的速度大小为 v

对导体框，由牛顿第二定律得 $Mg\sin\alpha-F_f=Ma_1$ ⑥

由匀变速直线运动的速度—位移公式得 $v^2-v_0^2=2a_1s_0$ ⑦

导体框刚进入磁场时所受安培力 $F_2=I_2BL=\dfrac{B^2L^2v}{R}$ ⑧

导体框刚进入磁场时做匀速直线运动，对导体框，由平衡条件得

$Mg\sin\alpha=F_2+F_f$ ⑨

代入数据联立解得 $a_1=5\ \text{m/s}^2$，$F_f=0.06\ \text{N}$，$v=2.5\ \text{m/s}$

金属棒在磁场中做匀速直线运动时，由平衡条件得 $mg\sin\alpha+F_f=F_1$ ⑩

代入数据解得金属棒的质量 $m=0.02\ \text{kg}$ ⑪

由滑动摩擦力公式得 $F_f=\mu mg\cos\alpha$，代入数据解得金属棒与导体框之间的动摩擦因数 $\mu=0.375$。 ⑫

(3)导体框加速时间 $t_1=\dfrac{v-v_0}{a_1}=0.2\ \text{s}$ ⑬

磁场宽度 $d=v_0t_1=0.3\ \text{m}$ ⑭

金属棒离开磁场后做匀加速直线运动，由牛顿第二定律得 $mg\sin\alpha+F_f=ma_2$ ⑮

代入数据解得 $a_2=9\ \text{m/s}^2$

金属棒加速到与导体框速度 v 相等，然后两者一起做匀加速直线运动

由匀变速直线运动的速度—时间公式得 $v=v_0+a_2t$ ⑯

解得金属棒加速到与导体框速度相等的时间 $t=\dfrac{1}{9}\ \text{s}$

在金属棒加速运动时间内，导体框做匀速直线运动

导体框匀速运动的距离 $s=vt=2.5\times\dfrac{1}{9}\ \text{m}=\dfrac{5}{18}\ \text{m}<0.3\ \text{m}$，符合实际 ⑰

故导体框的位移为 $x=\dfrac{5}{18}\ \text{m}$。 ⑱

评分参考：①⑯各 2 分，其他各 1 分。

【答案】(1)0.18 N

(2)0.02 kg　0.375

(3)$\dfrac{5}{18}\ \text{m}$

【失分剖析】搞混金属棒和导体框各自所受摩擦力的方向，无法形成清晰的金属棒和导体框多阶段的运动情境，挖掘不出“在匀速运动一段距离后开始加速”的隐含意义。

方法点拨

电磁感应中的动力学问题

1. 导体的两种运动状态

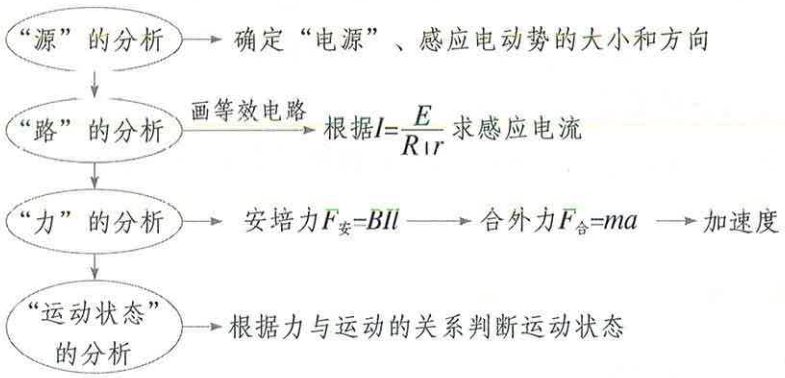
(1)导体的平衡状态——静止状态或匀速直线运动状态。

处理方法:根据平衡条件列式分析。

(2)导体的非平衡状态——加速度不为零。

处理方法:根据牛顿第二定律进行动态分析或结合功能关系分析。

2. 用动力学观点解答电磁感应问题的一般步骤



命题规律

1. 多维度细目表

高考试题(年份/卷别/题号)			2023						2022				2021
			全国新课标,26	全国甲,21	全国甲,25	全国乙,17	山东,12	广东,14	全国甲,16	全国乙,24	山东,12	河北,8	全国乙,25
考查内容	必备知识	电磁感应现象、磁通量		√		√		√					
		法拉第电磁感应定律	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		楞次定律、自感、涡流		√		√							
	关键能力	理解能力		√	√	√	√	√	√	√	√	√	
		推理论证能力	√		√		√	√	√	√	√	√	√
		模型建构能力											√
		实验探究能力											
		创新能力											
	学科素养	物理观念	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学思维	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学探究											
		科学态度与责任											

续表

高考试题（年份/卷别/题号）		2023						2022				2021
		全国新课标，26	全国甲，21	全国甲，25	全国乙，17	山东，12	广东，14	全国甲，16	全国乙，24	山东，12	河北，8	全国乙，25
考查要求	基础性		√		√							
	综合性	√		√		√	√	√	√	√	√	√
	应用性											
	创新性											
情境载体	生活实践问题情境											
	学习探索问题情境	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

2. 命题趋势

考查项目	考查特点
命题类型	经常以选择题或计算题的形式命题考查
必备知识	主要侧重法拉第电磁感应定律的理解及应用
关键能力	主要考查理解能力和推理论证能力
学科素养	重在考查物理观念和科学思维
考查要求	题目注重综合性，有时还与实际生活、生产科技相结合，考查考生利用物理知识分析实际问题的能力
考查载体	多以学习探索问题情境为载体

2024年高考考查的内容较大概率以法拉第电磁感应定律的理解及应用为核心，侧重力与电的综合应用，有可能和欧姆定律一起综合命题考查，电磁感应中的能量、动量等问题还将会是考查的重点。

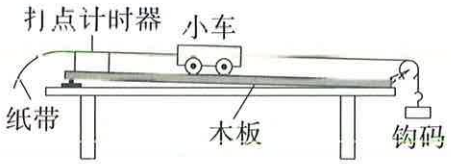
3. 备考策略

在备考过程中首先要重视对物理概念、物理规律的理解，在应用中深化理解，夯实双基；其次要重视与电路、牛顿运动定律、动量、能量相结合的综合性题型的训练，如“电磁感应中的电路问题”“电磁感应中的力学问题”“电磁感应中的能量问题”等，让考生掌握各种典型问题的解决方法，培养考生模型建构能力、推理论证能力。

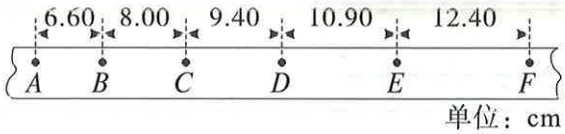
专题八　实验探究

第1讲　力学实验

1.(2023 全国甲卷,23)某同学利用如图甲所示的实验装置探究物体做直线运动时平均速度与时间的关系。让小车左端和纸带相连,右端用细绳跨过定滑轮和钩码相连,钩码下落,带动小车运动,打点计时器打出纸带。某次实验得到的纸带和相关数据如图乙所示。



甲

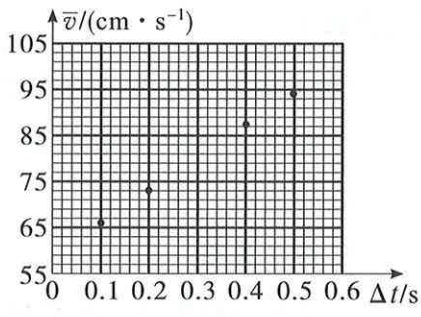


乙

(1)已知打出图乙中相邻两个计数点的时间间隔均为 0.1 s,以打出 A 点时小车位置为初始位置,将打出 B、C、D、E、F 各点时小车的位移 Δx 填到表中,小车发生位移所用时间和平均速度分别为 Δt 和 $\bar{v}$,表中 $\Delta x_{AD}=$_____ cm,$\bar{v}_{AD}=$_____ cm/s。

位移区间	AB	AC	AD	AE	AF
Δx/cm	6.60	14.60	Δx_{AD}	34.90	47.30
$\bar{v}$/(cm·s^{-1})	66.0	73.0	$\bar{v}_{AD}$	87.3	94.6

(2)根据表中数据得到小车平均速度 $\bar{v}$ 随时间 Δt 的变化关系,如图丙所示。在图丙中补全实验点。



丙

(3)从实验结果可知,小车运动的 $\bar{v}-\Delta t$ 图线可视为一条直线,此直线用方程 $\bar{v}=k\Delta t+b$ 表示,其中 $k=$_____ cm/s^2,$b=$_____ cm/s。(结果均保留 3 位有效数字)

(4)根据(3)中的直线方程可以判定小车做匀加速直线运动,得到打出 A 点时小车瞬时速度大小 $v_A=$_____,小车的加速度大小 $a=$_____。(结果用字母 k、b 表示)

【试题立意】本题以探究物体做直线运动时平均速度与时间的关系为素材创设了通过利用小车平均速度 $\bar{v}$ 随时间 Δt 的变化关系来探究小车运动性质的学习探索问题情境。本题中的实验源于人教版教材必修第一册第 36 页的实验“探究小车速度随时间变化的规律”。该题主要考查了匀变速直线运动及其公式、有效数字等知识点。

【关键能力】本题主要考查模型建构能力、实验探究能力。

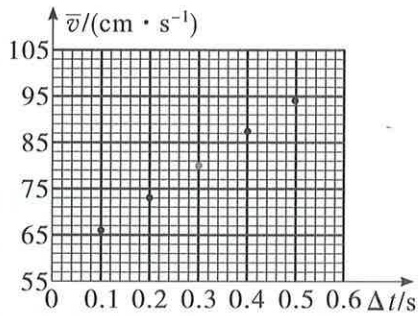
(1)模型建构能力

关键信息	破题关键	建构模型
让小车左端和纸带相连，右端用细绳跨过定滑轮和钩码相连，钩码下落，带动小车运动，打点计时器打出纸带	弄清纸带上点与点之间的时间间隔及位移关系	纸带模型，根据运动学公式的推论求加速度及速度，判断物体的运动性质

(2)实验探究能力

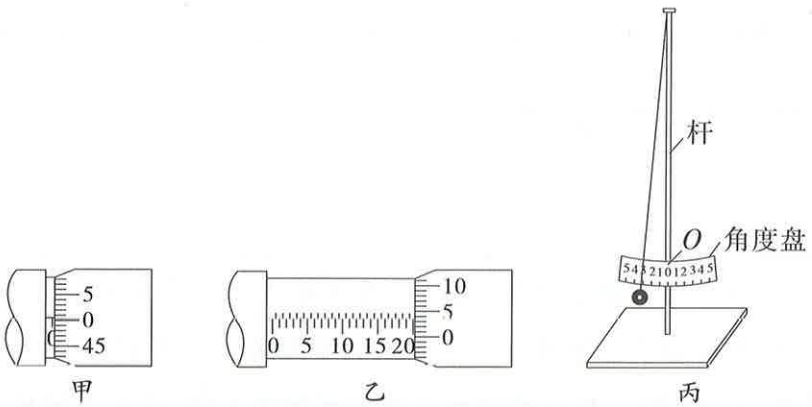
序号	实验探究要素	具体内容
1	实验目的	探究物体做直线运动时平均速度与时间的关系
2	实验原理	利用打点计时器记录小车的运动过程，根据运动学公式计算平均速度，例如 $\overline{v}_{AD}=\frac{x_{AD}}{3T}=80.0\ \text{cm/s}$，根据图像的斜率计算加速度
3	实验器材选择	小车、纸带、右端有定滑轮的长木板、钩码、打点计时器、刻度尺等
4	基于证据得出结论	根据运动学公式 $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ 推出 $\frac{x}{t}=v_0+\frac{1}{2}at$，进而得到 $\overline{v}=v_A+\frac{1}{2}at$，根据图像斜率和截距可得 $v_A=b$，$a=2k$

【答案】(1)24.00　80.0　(2)如图所示　(3)71.5　58.7　(4)b　$2k$



【失分剖析】①不注意有效数字的要求；②图像画的不够准确。

2.(2023 全国新课标卷，23)一学生小组做“用单摆测量重力加速度的大小”实验。



(1)用实验室提供的螺旋测微器测量摆球直径。首先，调节螺旋测微器，拧动微调旋钮使测微螺杆和测砧相触时，发现固定刻度的横线与可动刻度上的零刻度线未对齐，如图甲所示，该示数为_____ mm；螺旋测微器在夹有摆球时示数如图乙所示，该示数为_____ mm，

则摆球的直径为_____ mm。

(2)单摆实验的装置示意图如图丙所示,其中角度盘需要固定在杆上的确定点 O 处,摆线在角度盘上所指的示数为摆角的大小。若将角度盘固定在 O 点上方,则摆线在角度盘上所指的示数为 5°时,实际摆角_____(选填"大于"或"小于")5°。

(3)某次实验所用单摆的摆线长度为 81.50 cm,则摆长为_____ cm。实验中观测到从摆球第 1 次经过最低点到第 61 次经过最低点的时间间隔为 54.60 s,则此单摆周期为_____ s,该小组测得的重力加速度大小为_____ m/s^2。(结果均保留 3 位有效数字,π^2 取 9.870)

【试题立意】本题以单摆为素材创设了通过用单摆测量重力加速度的大小的学习探索问题情境。本题中的实验源于人教版教材选择性必修第一册第 48 页的实验"探究单摆周期与摆长之间的关系",类似情境在 2012 年天津卷第 9 题也出现过。该题主要考查了螺旋测微器的使用,单摆、周期公式,有效数字等知识点。

【关键能力】本题主要考查模型建构能力、实验探究能力。

(1)模型建构能力

关键信息	破题关键	建构模型
用单摆测量重力加速度的大小	由单摆的周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 得重力加速度求解公式 $g=\frac{4\pi^2 l}{T^2}$	单摆模型,根据单摆周期公式推出重力加速度,并能利用不同器材测量需要的物理量

(2)实验探究能力

序号	实验探究要素	具体内容
1	实验目的	利用单摆测量重力加速度的大小
2	实验原理	根据单摆的周期公式得出重力加速度的求解公式,需要测量的物理量有摆长跟周期,摆长包括两部分,周期需要扩大
3	实验器材选择	螺旋测微器、小球、停表、铁架台、刻度尺等
4	基于证据得出结论	根据单摆的周期公式 $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ 得出重力加速度的求解公式 $g=\frac{4\pi^2 l}{T^2}$

【答案】(1)0.006　20.035　20.029

(2)大于

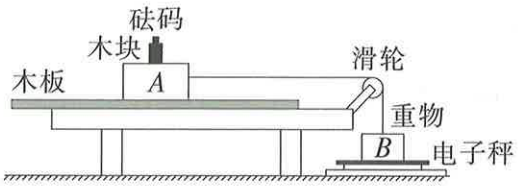
(3)82.5　1.82　9.83

【失分剖析】①不注意有效数字的要求;②不理解螺旋测微器的工作原理。

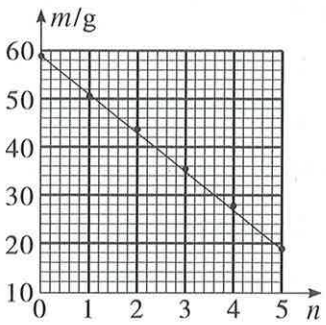
【思路点拨】螺旋测微器在电学实验与力学实验中都有所利用,关键是工作原理理解透彻。

3.(2023 湖北卷,11)某同学利用测质量的小型家用电子秤,设计了测量木块和木板间动摩擦因数 μ 的实验。如图甲所示,木板和木块 A 放在水平桌面上,电子秤放在水平地面上,木块 A 和放在电子秤上的重物 B 通过跨过定滑轮的轻绳相连。调节滑轮,使其与木块 A 间的轻绳水平,与重物 B 间的轻绳竖直。在木块 A 上放置 n($n=0,1,2,3,4,5$)个砝码(电子秤称得每

个砝码的质量 m_0 为 20.0 g)，向左拉动木板的同时，记录电子秤的对应示数 m。



甲



乙

(1)实验中，拉动木板时_____(选填“必须”或“不必”)保持匀速。

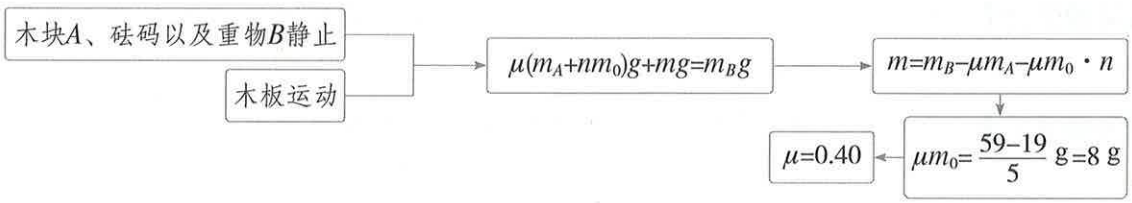
(2)用 m_A 和 m_B 分别表示木块 A 和重物 B 的质量，则 m 和 m_A、m_B、m_0、μ、n 所满足的关系式为 $m=$_____。

(3)根据测量数据在坐标纸上绘制出 $m-n$ 图像，如图乙所示，可得木块 A 和木板间的动摩擦因数 $\mu=$_____。(保留 2 位有效数字)

【试题立意】本题以测质量的小型家用电子秤为素材设计了测量木块和木板间动摩擦因数 μ 的学习探索问题情境，2010 年山东卷的第 23 题曾考过类似情境。该题主要考查了滑动摩擦力、动摩擦因数、共点力的平衡等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力、实验探究能力。

(1)推理论证能力



(2)实验探究能力

序号	实验探究要素	具体内容
1	实验目的	利用测质量的小型家用电子秤测量木块和木板间动摩擦因数 μ
2	实验原理	由物体的受力跟运动情况列出基本公式并进一步推导，根据推导公式画出图像，利用图像的斜率算出目标量
3	实验器材选择	电子秤、带滑轮的木板、木块 A、砝码以及重物 B 等
4	基于证据得出结论	对木块、砝码以及重物 B 分析可知 $\mu(m_A+nm_0)g+mg=m_Bg$ 进而推出 $m=m_B-\mu m_A-\mu m_0\cdot n$，结合图像可知 $\mu m_0=\frac{59-19}{5}$ g=8 g，则 $\mu=0.40$

【答案】(1)不必　(2)$m_B-\mu(m_A+nm_0)$　(3)0.40

【失分剖析】对实验原理涉及的公式不能灵活变形从而找不到求解目标量的方法。

4.(2023.6 浙江卷,16)在“探究平抛运动的特点”实验中

(1)用图甲装置进行探究,下列说法正确的是_____。

A. 只能探究平抛运动水平分运动的特点

B. 需改变小锤击打的力度,多次重复实验

C. 能同时探究平抛运动水平、竖直分运动的特点

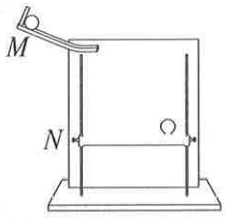

甲

(2)用图乙装置进行实验,下列说法正确的是_____。

A. 斜槽轨道 M 必须光滑且其末端水平

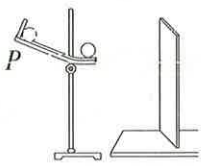
B. 上下调节挡板 N 时必须每次等间距移动

C. 小钢球从斜槽 M 上同一位置静止滚下



乙

(3)用图丙装置进行实验,竖直挡板上附有复写纸和白纸,可以记下钢球撞击挡板时的点迹。实验时竖直挡板初始位置紧靠斜槽末端,钢球从斜槽上 P 点静止滚下,撞击挡板留下点迹 0,将挡板依次水平向右移动 x,重复实验,挡板上留下点迹 1、2、3、4。以点迹 0 为坐标原点,竖直向下建立坐标轴 y,各点迹坐标值分别为 y_1、y_2、y_3、y_4。测得钢球直径为 d,则钢球平抛初速度 v_0 为_____。



丙

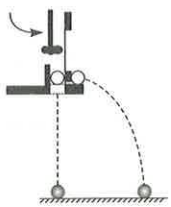
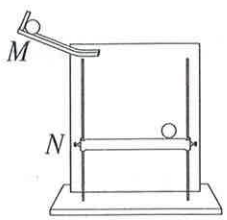
A. $\left(x+\frac{d}{2}\right)\sqrt{\frac{g}{2y_1}}$　　B. $\left(x+\frac{d}{2}\right)\sqrt{\frac{g}{y_2-y_1}}$

C. $\left(3x-\frac{d}{2}\right)\sqrt{\frac{g}{2y_4}}$　　D. $\left(4x-\frac{d}{2}\right)\sqrt{\frac{g}{2y_4}}$

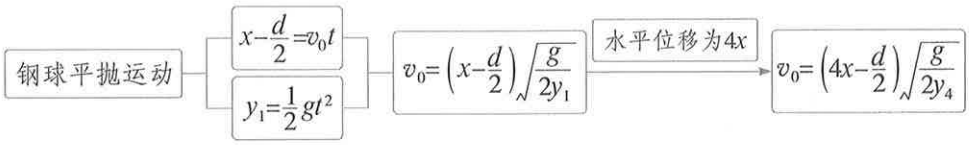
【试题立意】本题以探究平抛运动的特点为素材创设了三种探究平抛运动特点的学习探索问题情境。该题主要考查了抛体运动等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、推理论证能力、实验探究能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	用图甲装置进行探究  甲	两球同时落地,只能探究平抛运动的竖直分运动是自由落体运动;实验时需改变小锤击打的力度,多次重复实验
2	用图乙装置进行实验  乙	研究平抛运动,斜槽末端必须水平,但轨道没必要光滑;描绘平抛运动的轨迹,没必要将挡板 N 等间距移动,但为了保证平抛运动的初速度一定,小钢球从斜槽 M 上同一位置静止滚下

(2)推理论证能力



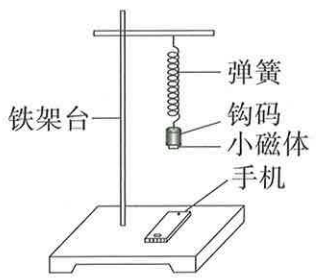
(3)实验探究能力

序号	实验探究要素	具体内容
1	实验目的	探究平抛运动的特点
2	实验原理	(3)中用平抛竖落仪进行实验，记下钢球撞击挡板时的点迹。由平抛运动水平位移跟竖直位移的公式可以得到水平初速度 v_0 等物理量的求解
3	实验器材选择	(3)中需要的器材有斜槽、竖直挡板、复写纸、白纸、钢球等
4	基于证据得出结论	(3)中钢球抛出的水平距离 $x-\frac{d}{2}=v_0t$，竖直距离 $y_1=\frac{1}{2}gt^2$，故 $v_0=\left(x-\frac{d}{2}\right)\sqrt{\frac{g}{2y_1}}$，A、B项错误；钢球抛出的水平距离 $4x-\frac{d}{2}=v_0t'$，竖直距离 $y_4=\frac{1}{2}gt'^2$，故 $v_0=\left(4x-\frac{d}{2}\right)\sqrt{\frac{g}{2y_4}}$，C项错误，D项正确

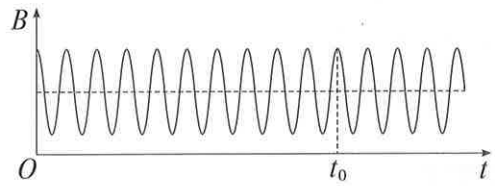
【答案】(1)B　(2)C　(3)D

【失分剖析】对实验原理理解不透，从而对实验仪器的要求不清楚。

5.(2023 湖南卷，11)某同学探究弹簧振子振动周期与质量的关系，实验装置如图甲所示，轻质弹簧上端悬挂在铁架台上，下端挂有钩码，钩码下表面吸附一个小磁体，其正下方放置智能手机，手机中的磁传感器可以采集磁感应强度实时变化的数据并输出图像，实验步骤如下：



甲



乙

(1)测出钩码和小磁体的总质量 m。

(2)在弹簧下端挂上该钩码和小磁体，使弹簧振子在竖直方向做简谐运动，打开手机的磁传感器软件，此时磁传感器记录的磁感应强度变化周期等于弹簧振子振动周期。

(3)某次采集到的磁感应强度 B 的大小随时间 t 变化的图像如图乙所示，从图中可以算出弹簧振子振动周期 $T=$_____(用“t_0”表示)。

(4)改变钩码质量，重复上述步骤。

(5)实验测得数据如下表所示，分析数据可知，弹簧振子振动周期的二次方与质量的关系

是_____（选填“线性的”或“非线性的”）。

m/kg	$10T$/s	T/s	T^2/s^2
0.015	2.43	0.243	0.059
0.025	3.14	0.314	0.099
0.035	3.72	0.372	0.138
0.045	4.22	0.422	0.178
0.055	4.66	0.466	0.217

(6)设弹簧的劲度系数为k，根据实验结果并结合物理量的单位关系，弹簧振子振动周期的表达式可能是_____（填正确答案标号）。

A. $2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$　　B. $2\pi\sqrt{\frac{k}{m}}$

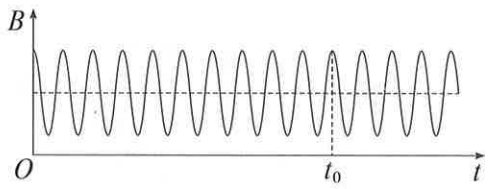
C. $2\pi\sqrt{mk}$　　D. $2\pi k\sqrt{m}$

(7)除偶然误差外，写出一条本实验中可能产生误差的原因：_____。

【试题立意】本题以智能手机为素材设计了探究弹簧振子振动周期与质量的关系的学习探索问题情境。该题主要考查了简谐运动的公式和图像、单位制等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、实验探究能力、创新能力。

(1)理解能力

关键表述	物理量及其关系
轻质弹簧上端悬挂在铁架台上，下端挂有钩码，钩码下表面吸附一个小磁体，其正下方放置智能手机，手机中的磁传感器可以采集磁感应强度实时变化的数据并输出图像	某次采集到的磁感应强度B的大小随时间t变化的图像如图所示，从而可得周期$T=\frac{t_0}{10}$ 

(2)实验探究能力

序号	实验探究要素	具体内容
1	实验目的	探究弹簧振子振动周期与质量的关系
2	实验原理	本实验利用了手机的磁传感器软件，此磁传感器记录的磁感应强度变化周期等于弹簧振子振动周期，根据测量数据画出周期的二次方与质量的关系图像，根据实验结果并结合物理量的单位关系猜想出弹簧振子振动周期的表达式
3	实验器材选择	轻质弹簧、铁架台、钩码、小磁体、智能手机等
4	基于证据得出结论	根据实验测量值画出周期的二次方与质量的关系图像，进而推出相关的物理公式

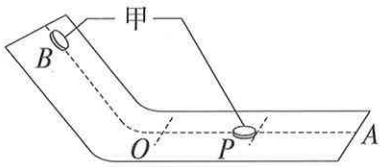
(3)创新能力

本题的创新点是实验装置中利用了智能手机，手机中的磁传感器可以采集磁感应强度实时变化的数据并输出图像从而求出简谐运动的周期。

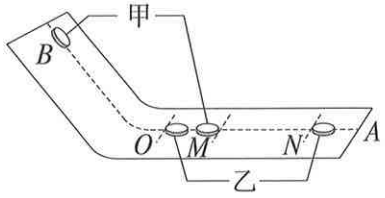
【答案】(3)$\frac{t_0}{10}$　(5)线性的　(6)A　(7)空气阻力

【失分剖析】对创新实验中新的仪器所测量的实验量不能正确分析，对于用归纳法及量纲法推导公式不够灵活。

6.(2023 辽宁卷，11)某同学为了验证对心碰撞过程中的动量守恒定律，设计了如下实验：用纸板搭建如图所示的滑道，使硬币可以平滑地从斜面滑到水平面上，其中 OA 为水平段，选择相同材质的一元硬币和一角硬币进行实验。



图(a)



图(b)

测量硬币的质量，得到一元和一角硬币的质量分别为 m_1 和 $m_2(m_1>m_2)$，将硬币甲放置在斜面上某一位置，标记此位置为 B。由静止释放甲，当甲停在水平面上某处时，测量甲从 O 点到停止处的滑行距离 OP。将硬币乙放置在 O 处，左侧与 O 点重合，将甲放置于 B 点由静止释放。当两枚硬币发生碰撞后，分别测量甲、乙从 O 点到停止处的滑行距离 OM 和 ON，保持释放位置不变，重复实验若干次，得到 OP、OM、ON 的平均值分别为 s_0、s_1、s_2。

(1)在本实验中，甲选用的是_____(选填“一元”或“一角”)硬币。

(2)碰撞前，甲到 O 点时速度的大小可表示为_____(设硬币与纸板间的动摩擦因数为 μ，重力加速度为 g)。

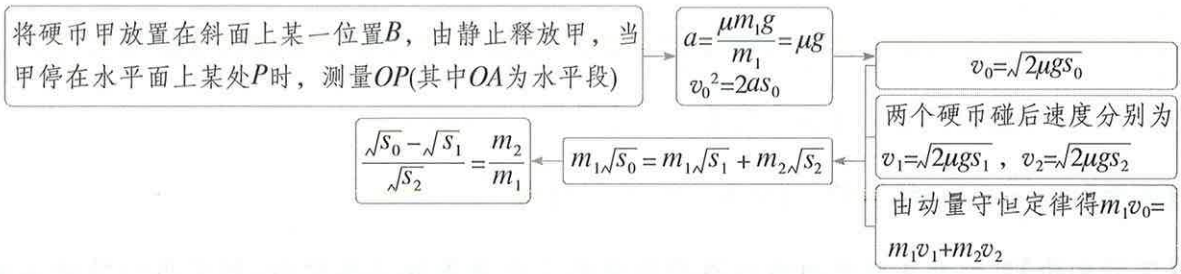
(3)若甲、乙碰撞过程中动量守恒，则 $\frac{\sqrt{s_0}-\sqrt{s_1}}{\sqrt{s_2}}=$_____(用 m_1 和 m_2 表示)，然后通过测得的具体数据验证硬币对心碰撞过程中动量是否守恒。

(4)由于存在某种系统或偶然误差，计算得到碰撞前后甲动量变化量大小与乙动量变化量大小的比值不是 1，写出一条产生这种误差可能的原因：_____。

【试题立意】本题以相同材质的一元硬币和一角硬币为素材设计了验证对心碰撞过程中的动量守恒定律的学习探索问题情境，类似情境在 2011 年北京卷的第 21 题曾考过类似情境。该题主要考查了匀变速直线运动及其公式、动量守恒定律及其应用等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力、实验探究能力。

(1)推理论证能力



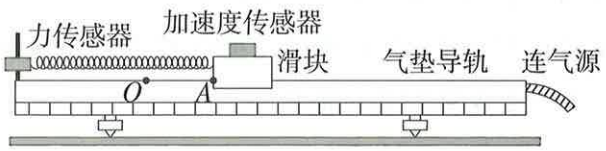
(2)实验探究能力

序号	实验探究要素	具体内容
1	实验目的	验证对心碰撞过程中的动量守恒定律
2	实验原理	本实验结合平抛运动验证 m_1 和 m_2 组成的系统动量守恒，把动量守恒的式子转化成方便测量的物理量的式子
3	实验器材选择	一元和一角硬币、斜面、刻度尺等
4	基于证据得出结论	根据系统动量守恒公式 $m_1v_0=m_1v_1+m_2v_2$ 及运动学公式 $v_0=\sqrt{2\mu gs_0}$，$v_1=\sqrt{2\mu gs_1}$，$v_2=\sqrt{2\mu gs_2}$ 得 $m_1\sqrt{s_0}=m_1\sqrt{s_1}+m_2\sqrt{s_2}$，若验证了 $\frac{\sqrt{s_0}-\sqrt{s_1}}{\sqrt{s_2}}=\frac{m_2}{m_1}$ 从而也就验证了动量守恒

【答案】(1)一元　(2)$\sqrt{2\mu gs_0}$　(3)$\frac{m_2}{m_1}$　(4)存在空气阻力；硬币大小不能忽略，不可视为质点等(答案合理即可)

【失分剖析】对实验过程分析不清楚，对原理公式的变形运用不够灵活。

7.(2022 山东卷，13)在天宫课堂中，我国航天员演示了利用牛顿第二定律测量物体质量的实验。受此启发，某同学利用气垫导轨、力传感器、无线加速度传感器、轻弹簧和待测物体等器材设计了测量物体质量的实验，如图甲所示。主要步骤如下：

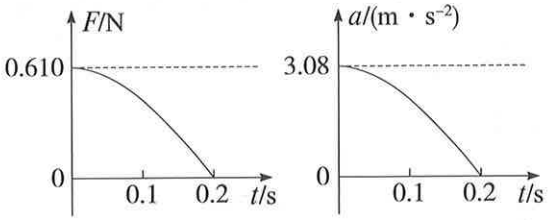


甲

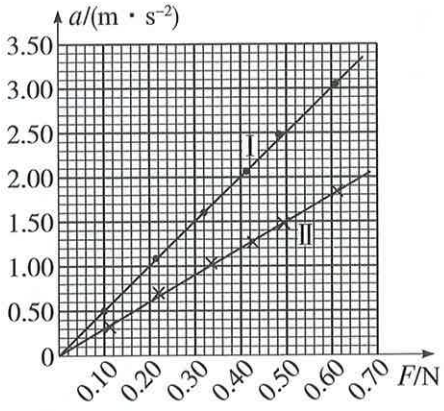
①将力传感器固定在气垫导轨左端支架上，加速度传感器固定在滑块上。

②接通气源，放上滑块，调平气垫导轨。

③将弹簧左端连接力传感器，右端连接滑块。弹簧处于原长时滑块左端位于 O 点，A 点到 O 点的距离为 5.00 cm，拉动滑块使其左端处于 A 点，由静止释放并开始计时。



乙



丙

④计算机采集获取数据，得到滑块所受弹力 F、加速度 a 随时间 t 变化的图像，部分图像如图乙所示。

回答以下问题(结果均保留 2 位有效数字)：

(1)弹簧的劲度系数为_____ N/m。

(2)该同学从图乙中提取某些时刻 F 与 a 的数据，画出 $a-F$ 图像如图丙中Ⅰ所示，由此可得滑块与加速度传感器的总质量为_____ kg。

(3)该同学在滑块上增加待测物体，重复上述实验步骤，在图丙中画出新的 $a-F$ 图像Ⅱ，则待测物体的质量为_____ kg。

【试题立意】本题以传感器、弹簧、气垫导轨、滑块为素材创设了测量物体质量的学习探索问题情境。该题主要考查了胡克定律、牛顿第二定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、创新能力。

(1)理解能力

对图像的理解

序号	图像信息	物理量及其关系
1	$F-t$ 图像的纵截距	$t=0$ 时，弹簧的弹力 $F=0.610$ N，此时弹簧的伸长量为 $x=5.00$ cm，根据胡克定律得，弹簧的劲度系数 $k=\dfrac{F}{x}=12$ N/m
2	$a-F$ 图像的斜率	Ⅰ：斜率 $k_1=\dfrac{3.00}{0.60}$ kg^{-1}，又 $k_1=\dfrac{1}{m_1}$，故滑块与加速度传感器的总质量 $m_1=\dfrac{0.60}{3.00}$ kg$=0.20$ kg Ⅱ：同理，滑块、加速度传感器和待测物体的总质量 $m_1+m_2=0.33$ kg，故待测物体的质量 $m_2=0.33$ kg-0.20 kg$=0.13$ kg

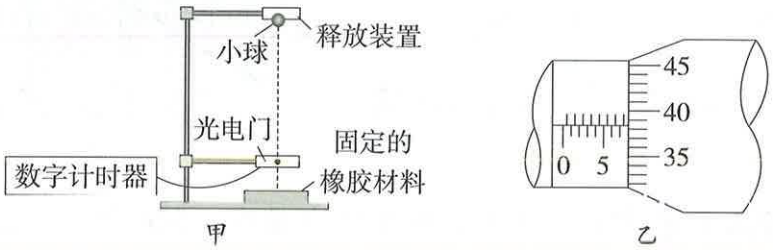
(2)创新能力

本题的创新点是利用传感器直接获取弹簧弹力和滑块加速度的大小随时间的变化关系，并由此得到滑块加速度大小随外力的变化规律，进而利用图线斜率求得滑块(包括加速度传感器)的质量。

【答案】(1)12　(2)0.20　(3)0.13

【失分剖析】①不能明确弹力 F 的大小对应的弹簧的形变量 x；②误将 $a-F$ 图像的斜率当作质量。

8.(2022 广东卷,11)某实验小组为测量小球从某一高度释放,与某种橡胶材料碰撞导致的机械能损失,设计了如图甲所示的装置,实验过程如下:



(1)让小球从某一高度由静止释放,与水平放置的橡胶材料碰撞后竖直反弹。调节光电门位置,使小球从光电门正上方释放后,在下落和反弹过程中均可通过光电门。

(2)用螺旋测微器测量小球的直径,示数如图乙所示,小球直径 $d=$_____ mm。

(3)测量时,应_____(选填"A"或"B",其中 A 为"先释放小球,后接通数字计时器",B 为"先接通数字计时器,后释放小球")。记录小球第一次和第二次通过光电门的遮光时间 t_1 和 t_2。

(4)计算小球通过光电门的速度,已知小球的质量为 m,可得小球与橡胶材料碰撞导致的机械能损失 $\Delta E=$_____(用字母 m、d、t_1 和 t_2 表示)。

(5)若适当调高光电门的高度,将会_____(选填"增大"或"减小")因空气阻力引起的测量误差。

【试题立意】本题以光电门测量小球与橡胶材料碰撞前后的速度为素材创设了探究碰撞过程机械能损失的学习探索问题情境。该题主要考查了速度、机械能、功能关系等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、实验探究能力。

(1)理解能力

对题干表述和对图片的理解

序号	关键表述、图片信息	物理量及其关系
1	如图乙所示的螺旋测微器	半毫米刻度线已经露出,固定刻度示数为 7.5 mm,可动刻度示数为 38.4,最后读数为 $d=7.5\ \text{mm}+38.4\times0.01\ \text{mm}=7.884\ \text{mm}$
2	小球第一次和第二次通过光电门的遮光时间 t_1 和 t_2	用极短时间内的平均速度代替某时刻或通过某位置的瞬时速度,可以求出小球与橡胶材料碰撞前后通过光电门的瞬时速度 $v_1=\frac{d}{t_1}$、$v_2=\frac{d}{t_2}$

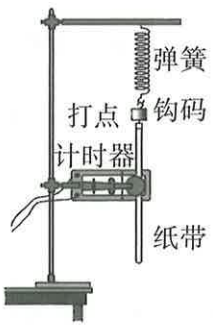
(2)实验探究能力

序号	实验探究要素	具体内容
1	实验目的	测量小球与某种橡胶材料碰撞导致的机械能损失
2	实验原理	本题通过光电门测量时间从而计算出小球通过光电门的瞬时速度。 根据机械能守恒条件可知,如果忽略空气阻力的影响,小球与橡胶材料碰撞前后在空中运动的过程均机械能守恒,所以小球第一次和第二次通过光电门的动能之差就等于小球与橡胶材料碰撞导致的机械能损失
3	实验器材选择	铁架台、数字计时器、小球、光电门等
4	基于证据得出结论	小球第一次和第二次通过光电门的动能之差就等于小球与橡胶材料碰撞导致的机械能损失,即 $\Delta E=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_2^2=\frac{1}{2}m\left(\frac{d}{t_1}\right)^2-\frac{1}{2}m\left(\frac{d}{t_2}\right)^2$

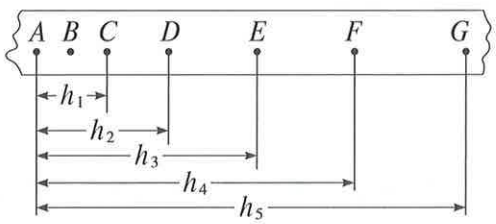
【答案】(2)7.884(或 7.883)　(3)B　(4)$\frac{1}{2}m\left(\frac{d}{t_1}\right)^2-\frac{1}{2}m\left(\frac{d}{t_2}\right)^2$　(5)增大

【失分剖析】没有注意螺旋测微器的半毫米刻度线已经露出导致读数错误。

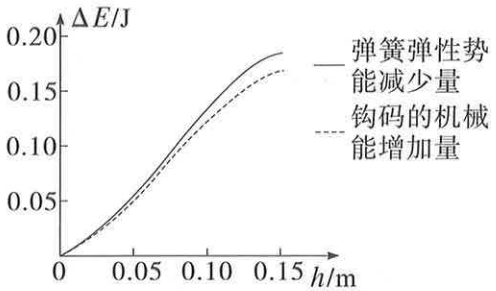
9.(2022 河北卷,11)某实验小组利用铁架台、弹簧、钩码、打点计时器、刻度尺等器材验证系统机械能守恒定律,实验装置如图甲所示。弹簧的劲度系数为 k,原长为 L_0,钩码的质量为 m。已知弹簧的弹性势能表达式为 $E=\frac{1}{2}kx^2$,其中 k 为弹簧的劲度系数,x 为弹簧的形变量,当地的重力加速度大小为 g。



甲



乙



丙

(1)在弹性限度内将钩码缓慢下拉至某一位置,测得此时弹簧的长度为 L。接通打点计时器电源。从静止释放钩码,弹簧收缩,得到了一条点迹清晰的纸带。钩码加速上升阶段的部分纸带如图乙所示,纸带上相邻两点之间的时间间隔均为 T(在误差允许范围内,认为释放钩码的同时打出 A 点)。从打出 A 点到打出 F 点时间内,弹簧的弹性势能减少量为_____,钩码的动能增加量为_____,钩码的重力势能增加量为_____。

(2)利用计算机软件对实验数据进行处理,得到弹簧弹性势能减少量、钩码的机械能增加量分别与钩码上升高度 h 的关系,如图丙所示。由图丙可知,随着 h 增加,两条曲线在纵向的间隔逐渐变大,主要原因是_____。

【试题立意】本题以竖直悬挂的弹簧、钩码、打点计时器为素材创设了验证系统机械能守恒定律的学习探索问题情境。该题主要考查了速度、动能、重力势能、弹性势能、机械能守恒定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力。

①对题干表述的理解

序号	关键表述	物理量及其关系
1	原长为 L_0，此时弹簧的长度为 L，弹簧的弹性势能表达式为 $E=\frac{1}{2}kx^2$	由静止释放钩码时，弹簧的伸长量 $x_1=L-L_0$，弹性势能 $E_1=\frac{1}{2}kx_1^2=\frac{1}{2}k(L-L_0)^2$
2	认为释放钩码的同时打出 A 点	打出 A 点时钩码的瞬时速度为 0

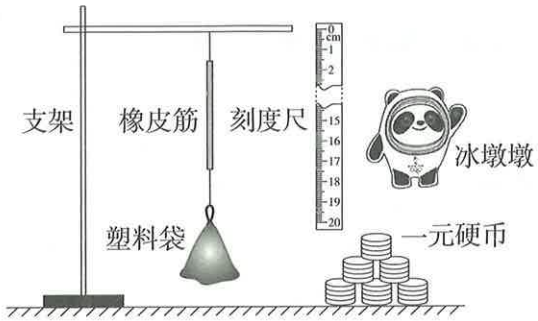
②对图像、图片的理解

序号	图像、图片信息	物理量及其关系
1	图甲所示的实验装置图乙中 A、F 间距为 h_4	钩码上升 h_4 ①弹簧的伸长量 $x_2=L-L_0-h_4$，弹性势能 $E_2=\frac{1}{2}kx_2^2=\frac{1}{2}k(L-L_0-h_4)^2$，所以，弹簧的弹性势能减少量 $\Delta E_{p弹}=\frac{1}{2}k(L-L_0)^2-\frac{1}{2}k(L-L_0-h_4)^2=k(L-L_0)h_4-\frac{1}{2}kh_4^2$ ②根据重力做功与重力势能的关系得，钩码的重力势能增加量为 $\Delta E_{p重}=mgh_4$
2	图乙纸带信息	用极短时间内的平均速度代替某时刻的瞬时速度，可以求出打出 F 点时钩码的速度 $v_F=\frac{h_5-h_3}{2T}$，所以钩码的动能增加量 $\Delta E_k=\frac{1}{2}mv_F^2-0=\frac{m(h_5-h_3)^2}{8T^2}$
3	由图丙可知，随着 h 增加，两条曲线在纵向的间隔逐渐变大	从功能关系角度审视：随着 h 增加，两条曲线在纵向的间隔逐渐变大，而两条曲线在纵向的间隔即阻力做的功，则产生这个问题的主要原因是钩码和纸带运动的速度逐渐增大，导致空气阻力逐渐增大，以至于空气阻力做的功也逐渐增大

【答案】(1)$k(L-L_0)h_4-\frac{1}{2}kh_4^2$　$\frac{m(h_5-h_3)^2}{8T^2}$　mgh_4　(2)钩码和纸带运动的速度逐渐增大，导致空气阻力逐渐增大，以至于空气阻力做的功也逐渐增大

【失分剖析】①不能从图乙中获取正确信息，搞错钩码上升的高度，从而写错弹簧形变量的表达式；②不能用恰当的物理学科语言表达实验误差来源。

10.(2022 湖南卷,11)小圆同学用橡皮筋、同种一元硬币、刻度尺、塑料袋、支架等,设计了如图甲所示的实验装置,测量冰墩墩玩具的质量。主要实验步骤如下:



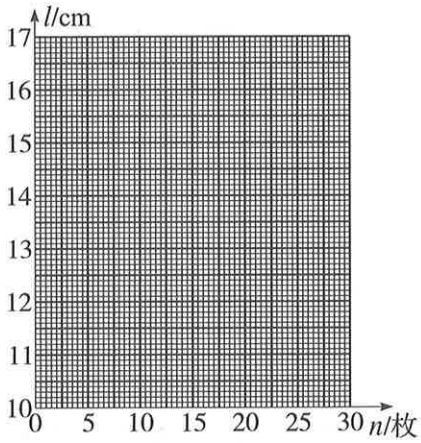
甲

(1)查找资料,得知每枚硬币的质量为 6.05 g。

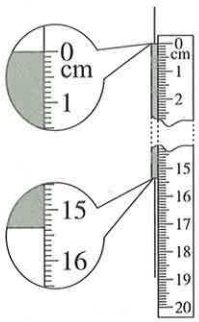
(2)将硬币以 5 枚为一组逐次加入塑料袋,测量每次稳定后橡皮筋的长度 l,记录数据如下表:

序号	1	2	3	4	5
硬币数量 n/枚	5	10	15	20	25
橡皮筋长度 l/cm	10.51	12.02	13.54	15.05	16.56

(3)根据表中数据在图乙上描点,绘制图线。



乙


丙

(4)取出全部硬币,把冰墩墩玩具放入塑料袋中,稳定后橡皮筋长度的示数如图丙所示,此时橡皮筋的长度为_____ cm。

(5)由上述数据计算得冰墩墩玩具的质量为_____ g(计算结果保留 3 位有效数字)。

【试题立意】本题以橡皮筋、一元硬币等生活中常见的物品为素材创设了利用胡克定律测量物体(冰墩墩)质量的生活实践问题情境。本题中的实验源于人教版教材必修第一册第 60 页的实验“探究弹簧弹力与形变量的关系”。该题主要考查了重力、弹力、胡克定律、共点力的平衡、有效数字等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、推理论证能力、创新能力。

(1)理解能力

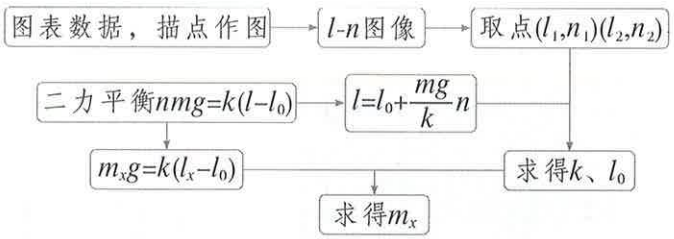
对图表、图片的理解

序号	图表、图片信息	物理量及其关系
1	表格中的数据	描点作图：看清横轴与纵轴每一小格代表的值，准确地进行描点；观察所描点迹的走向趋势；如果走向为直线，画直线时应让尽可能多的点迹落在直线上，不在直线上的点迹均匀分布在直线的两侧
2	图丙刻度尺的读数	刻度尺的分度值为 1 mm，因此读数时应估读到 0.1 mm。橡皮筋的上端与 0 刻线对齐，下端所对刻度尺示数的准确值为 15.3 cm，估读值为 0.5 mm(可以有细微的偏差)，因此，橡皮筋的长度为 15.35 cm

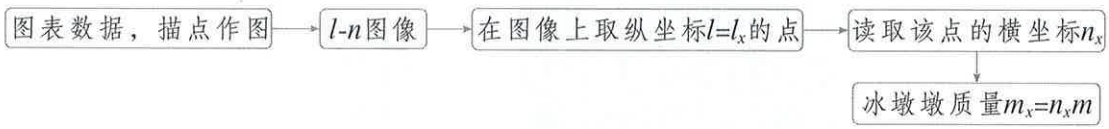
(2)推理论证能力

设每枚硬币的质量为 m，橡皮筋的劲度系数为 k，橡皮筋的原长为 l_0，刻度尺读取的橡皮筋长度为 l_x，待测冰墩墩质量为 m_x。

①常规思路



②直接取点法

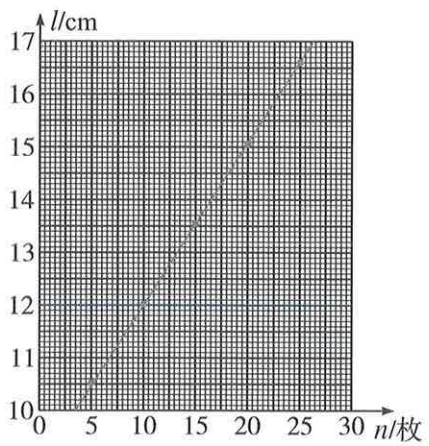


$l=15.35$ cm 对应的横坐标为 $n=21.0$(枚)，因此，冰墩墩的质量为 $m_x=21.0\times6.05$ g$\approx$127 g。

(3)创新能力

本题以测量冰墩墩的质量为实验目的，考查的其实是探究弹簧弹力与形变量的关系这个实验，这是本题的创新点。

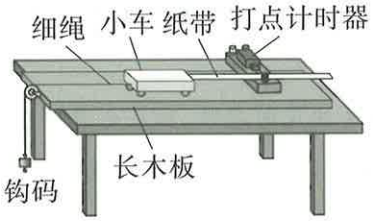
【答案】(3)如图所示



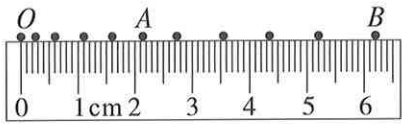
(4)15.35　(5)127

【失分剖析】①由于描点时所描点迹过大，或者由于没有看清横轴与纵轴的标度而描错点，导致画出的直线明显偏离正确的图线；②由于没有画出正确的图线，导致最后算出的冰墩墩的质量与正确答案相去甚远；③从直线上取点时，两点间距离应该适当大一些，如果取得较近，偶然误差可能会比较大。

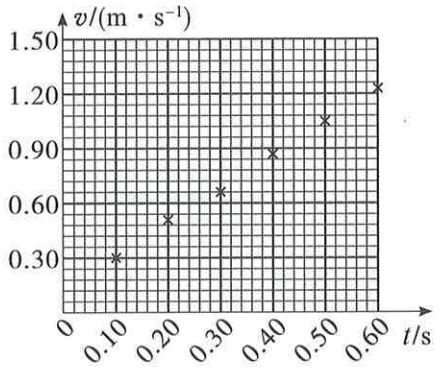
11.（2022.6 浙江卷，17）(1)①“探究小车速度随时间变化的规律”的实验装置如图甲所示，长木板水平放置，细绳与长木板平行。图乙是打出纸带的一部分，以计数点 O 为位移测量起点和计时起点，则打计数点 B 时小车位移大小为_____ cm。由图丙中小车运动的数据点求得加速度为_____ m/s^2（保留 2 位有效数字）。



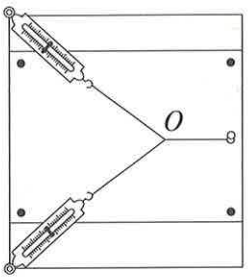
甲



乙



丙



丁

②利用图甲装置做“探究加速度与力、质量的关系”的实验，需调整的是_____。

A. 换成质量更小的小车

B. 调整长木板的倾斜程度

C. 把钩码更换成砝码盘和砝码

D. 改变连接小车的细绳与长木板的夹角

(2)“探究求合力的方法”的实验装置如图丁所示，在该实验中，

①下列说法正确的是_____。

A. 拉着细绳套的两只弹簧测力计，稳定后读数应相同

B. 在已记录结点位置的情况下，确定一个拉力的方向需要再选择相距较远的两点

C. 测量时弹簧测力计外壳与木板之间不能存在摩擦

D. 测量时，橡皮条、细绳和弹簧测力计应贴近并平行于木板

②若只有一只弹簧测力计，为了完成该实验至少需要_____（选填“2”“3”或“4”）次把橡皮条结点拉到 O 点。

【试题立意】本题以人教版教材必修第一册第 36 页的实验“探究小车速度随时间变化的规

律”和第 73 页的实验“探究两个互成角度的力的合成规律”为相似素材创设学习探索问题情境。该题主要考查了速度和加速度、匀变速直线运动及其图像、牛顿运动定律、力的合成和分解等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、实验探究能力、创新能力。

(1)理解能力

序号	图片、图像信息	物理量及其关系
1	以计数点 O 为位移测量起点，图乙刻度尺的读数	刻度尺的分度值为 1 mm，因此读数时应估读到 0.1 mm。打计数点 B 时小车位移大小为 6.20 cm，考虑到偶然误差，6.15～6.25 cm 均可以
2	图丙中小车运动的数据点	连点作图：观察图中点迹的走向趋势，如果走向为直线，画直线时应让尽可能多的点迹落在直线上，不在直线上的点迹均匀分布在直线的两侧。 求加速度：选取图线上相距较远的两点计算斜率，即加速度 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{1.05-0.30}{0.4}\ \mathrm{m/s^2}=1.9\ \mathrm{m/s^2}$，考虑到偶然误差，1.7～2.1 $\mathrm{m/s^2}$ 均可以

(2)实验探究能力

序号	实验目的	实验方案设计
1	利用图甲装置做“探究加速度与力、质量的关系”的实验	近似测量小车所受合外力：认为悬挂物重力近似等于小车所受的合外力。所以，一要让连接悬挂物和小车的细绳始终与长木板保持平行，使细绳拉力沿长木板方向；二要平衡阻力，使小车所受拉力近似等于其合外力；三要使悬挂物质量远小于小车质量，可以认为砝码盘和砝码的重力近似等于小车所受的拉力。 所以不能换成质量更小的小车；为了平衡阻力，需要调整长木板的倾斜程度；需将钩码更换成砝码盘和砝码，以满足小车质量远远大于所悬挂物体的质量；不能改变连接小车的细绳与长木板的夹角
2	“探究求合力的方法”的实验	在不超出弹簧测力计的量程和橡皮条形变限度的条件下，使拉力适当大些，不必使两只弹簧测力计的示数相同；在已记录结点位置的情况下，确定一个拉力的方向需要再选择相距较远的一个点就可以了；实验中拉弹簧测力计时，只需让弹簧与外壳间没有摩擦，此时弹簧测力计的示数即为弹簧对细绳的拉力，与弹簧测力计外壳与木板之间是否存在摩擦无关；为了减小实验中摩擦对测量结果的影响，拉橡皮条时，橡皮条、细绳和弹簧测力计应贴近并平行于木板

续表

序号	实验目的	实验方案设计
3	只用一只弹簧测力计完成“探究求合力的方法”的实验	用手拉住一条细绳，用弹簧测力计拉住另一条细绳，互成角度地拉橡皮条，使其结点达到某一点 O，记下位置 O、弹簧测力计示数 F_1 和两个拉力的方向；交换弹簧测力计和手的位置，再次拉橡皮条将结点拉至 O 点，使两力的方向与原来两力方向相同，并记下此时弹簧测力计的示数 F_2；只用一只弹簧测力计将结点拉至 O 点，并记下此时弹簧测力计的示数 F 的大小及方向

(3)创新能力

只用一只弹簧测力计完成“探究求合力的方法”的实验是本题的创新点。

【答案】(1)①6.20(6.15～6.25 均可)　1.9(1.7～2.1 均可)　②BC　(2)①D　②3

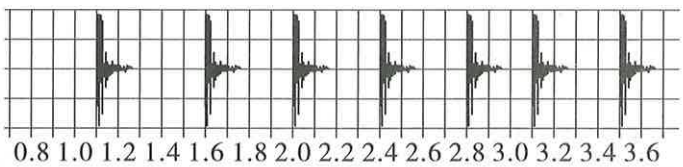
【失分剖析】①没有认真审题，误用图乙数据根据 $\Delta x=aT^2$ 计算加速度；②不理解“探究加速度与力、质量的关系”的实验中小车所受合外力的测量方法；③不能根据题目提供的实验器材“只有一只弹簧测力计”创新地设计实验方案。

12.(2021 山东卷，13)某乒乓球爱好者利用手机研究乒乓球与球台碰撞过程中能量损失的情况。实验步骤如下：

①固定好手机，打开录音功能；

②从一定高度由静止释放乒乓球；

③手机记录下乒乓球与台面碰撞的声音，其随时间(单位：s)的变化图像如图所示。



根据声音图像记录的碰撞次序及相应碰撞时刻，如下表所示。

碰撞次序	1	2	3	4	5	6	7
碰撞时刻/s	1.12	1.58	2.00	2.40	2.78	3.14	3.47

根据实验数据，回答下列问题：

(1)利用碰撞时间间隔，计算出第 3 次碰撞后乒乓球的弹起高度为_____ m(保留 2 位有效数字，当地重力加速度 g 取 9.80 m/s^2)。

(2)设碰撞后弹起瞬间与该次碰撞前瞬间速度大小的比值为 k，则每次碰撞损失的动能为碰撞前动能的_____倍(用 k 表示)，第 3 次碰撞过程中 $k=$_____(保留 2 位有效数字)。

(3)由于存在空气阻力，第(1)问中计算的弹起高度_____(选填“高于”或“低于”)实际弹起高度。

【试题立意】本题以乒乓球竖直下落、与球台碰撞然后竖直上升为素材，创新地借用手机录音功能记录乒乓球在空中运动的时间，创设了探索碰撞过程中能量损失问题的生活实践问题情境。该题主要考查了匀变速直线运动及其公式、牛顿第二定律、动能、有效数字等知识点。

【关键能力】本题主要考查模型建构能力、理解能力、推理论证能力、实验探究能力和创新能力。

(1)模型建构能力

序号	关键信息	破题关键	建构模型
1	研究乒乓球与球台碰撞过程中能量损失的情况	研究的是乒乓球的能量损失情况，可忽略乒乓球大小等次要因素	质点
2	声音图像、表格数据	记录了相邻两次与台面碰撞之间乒乓球的运动	竖直上抛运动

(2)理解能力

对图像、表格的理解

序号	图像、表格信息	物理量及其关系
1	2.00 s 时，乒乓球与台面发生第 3 次碰撞；2.40 s 时，乒乓球与台面发生第 4 次碰撞	第 3 次碰撞后乒乓球竖直上抛运动的时间为 $t_0=2.40\ \text{s}-2.00\ \text{s}=0.40\ \text{s}$
2	设碰撞后弹起瞬间与该次碰撞前瞬间速度大小的比值为 k	写出关系式 $\frac{v_2}{v_1}=k$ 其中 v_1 为碰撞前瞬间速度、v_2 为碰撞后弹起瞬间速度

(3)推理论证能力

第(1)问：乒乓球竖直上抛

第3次碰撞后乒乓球竖直上抛运动的时间为0.40 s → 时间对称性 → 竖直向上减速运动至最高点与自由落体运动时间均为0.20 s → 弹起高度 $h_0=\frac{1}{2}g\cdot\left(\frac{t_0}{2}\right)^2\approx0.20\ \text{m}$

第(2)问：乒乓球与台面碰撞的动能损失

设碰撞前瞬间速度为v_1、碰撞后弹起瞬间速度为v_2，则 $\frac{v_2}{v_1}=k$ → 动能损失 $\Delta E_k=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_2^2=(1-k^2)\cdot\frac{1}{2}mv_1^2$；碰撞前动能 $\frac{1}{2}mv_1^2$ → 每次碰撞损失的动能为碰撞前动能的$1-k^2$

第3次碰撞与第4次碰撞之间的时间为 $t_0=2.40\ \text{s}-2.00\ \text{s}=0.40\ \text{s}$ → 第3次碰撞后速度 $v_2'=g\frac{t_0}{2}$

第2次碰撞与第3次碰撞之间的时间为 $t_1=2.00\ \text{s}-1.58\ \text{s}=0.42\ \text{s}$ → 第2次碰撞后速度，即第3次碰撞前速度 $v_1'=g\frac{t_1}{2}$

$k=\frac{v_2'}{v_1'}=\frac{t_0}{t_1}=0.95$

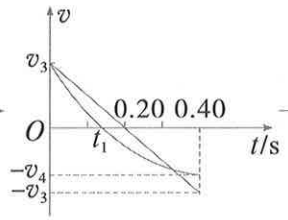
第(3)问：实验误差分析

常规思路

若不计空气阻力，乒乓球竖直上抛时加速度大小为$g=9.80\ \mathrm{m/s^2}$

存在空气阻力，可知乒乓球上升阶段加速度大小$a_1=\frac{mg+F_f}{m}>9.80\ \mathrm{m/s^2}$，而下降阶段加速度大小$a_2=\frac{mg-F_f}{m}<9.80\ \mathrm{m/s^2}$

且由于能量损失，乒乓球落回台面时的速度v_4均小于该次乒乓球离开台面的速度v_3



乒乓球弹起高度的计算值高于实际弹起高度

根据题意，无论考虑空气阻力还是不考虑空气阻力，计算乒乓球弹起高度都要依据实验测量结果——第3次碰撞后至发生第4次碰撞的时间间隔$t_0=2.40\ \mathrm{s}-2.00\ \mathrm{s}=0.40\ \mathrm{s}$进行计算。

所以创新思路如下：

设空气阻力单独存在使乒乓球产生的加速度大小为a，即$F_f=ma$；并设乒乓球下落时间为t_1'

下落$h=\frac{1}{2}(g-a)t_1'^2$ 竖直向上减速至零

上升高度$h=\frac{1}{2}(g+a)(t_0-t_1')^2$

$h=\frac{t_0^2}{4}\cdot\frac{1}{\frac{g}{g^2-a^2}+\frac{1}{\sqrt{g^2-a^2}}}$

乒乓球弹起高度的计算值高于实际弹起高度

(4)实验探究能力

序号	实验探究要素	具体内容
1	实验目的	研究乒乓球与球台碰撞过程中能量损失的情况
2	实验原理	利用手机的录音功能记录下乒乓球与球台碰撞的次序与相应碰撞的时刻，转化成表格记录实验数据。先分析出上升、下落过程的时间，进而写出上升高度与碰撞前后的动能表达式
3	实验数据处理	根据运动学公式和表格数据计算
4	实验误差分析	由于存在空气阻力，计算的弹起高度高于实际弹起高度

(5)创新能力

利用手机录音功能记录乒乓球在空中运动的时间是本题实验器材的创新点。

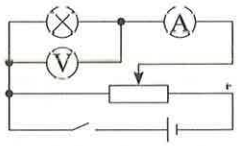
【答案】(1)0.20　(2)$1-k^2$　0.95　(3)高于

【失分剖析】①无法看懂题目中给出的信息，不能把题目信息与实验目的进行有效结合；②存在空气阻力时，无法准确找到计算的弹起高度与实际弹起高度的关系。

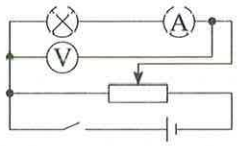
第 2 讲　电学实验及其他实验

题组一　电学实验

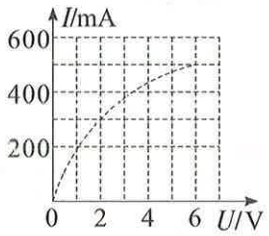
1.(2023 全国甲卷,22)某同学用伏安法测绘一额定电压为 6 V、额定功率为 3 W 的小灯泡的伏安特性曲线,实验所用电压表内阻约为 6 kΩ,电流表内阻约为 1.5 Ω,实验中有图甲和图乙所示的两个电路图供选择。



甲



乙



丙

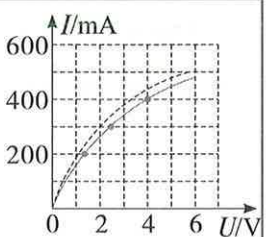
(1)实验中得到的电流 I 和电压 U 的关系曲线如图丙所示,该同学选择的电路图是图____(选填“甲”或“乙”)。

(2)若选择另一个电路图进行实验,在图丙中用实线画出实验中应得到的 $I-U$ 关系曲线的示意图。

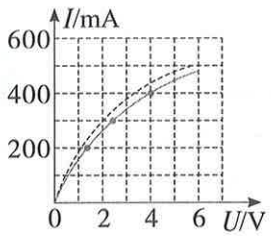
【试题立意】本题以测绘小灯泡的伏安特性曲线为素材创设了学习探索问题情境,此情境曾在 2017 年全国Ⅰ卷第 23 题出现过。该题主要考查了串并联电路规律、欧姆定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力。

对题干表述和图像的理解

序号	关键表述、图片信息	物理量及其关系
1	额定电压为 6 V、额定功率为 3 W 的小灯泡	小灯泡电阻 $R_L=\frac{6^2}{3}\ \Omega=12\ \Omega$
2	图丙	①由 $I-U$ 图像可得 $U=6$ V 时,$I=500$ mA,则小灯泡电阻 $R_L=12\ \Omega$,故电表内阻影响小,实验误差小。 ②由 $R=\frac{U}{I}$ 可得当小灯泡两端电压小于 6 V 时,小灯泡电阻小于 12 Ω
3	电压表内阻约为 6 kΩ,电流表内阻约为 1.5 Ω	根据 $\frac{6\ \text{k}\Omega}{R_L}>\frac{R_L}{1.5\ \Omega}$ 可得,电压表内阻影响较小,故电流表外接时实验误差小,该同学选择的电路图是图甲
4	图乙	①由图乙可知,电压表的示数 $U_1=I(R_L+R_A)$; ②分别代入电流 200 mA、300 mA、400 mA,根据图丙小灯泡电阻 R_L 和电流表内阻 R_A 可知对应的电压应为 1.3 V、2.45 V、4.0 V,描点作图可大致得到图乙的 $I-U$ 曲线示意图 

【答案】(1)甲　(2)如图所示



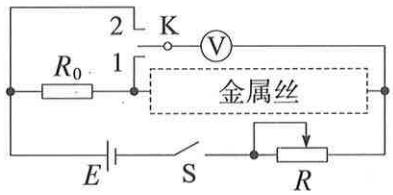
【失分剖析】①不清楚两个电路图选择的依据;②不会确定图乙中的(I,U)点的位置。

方法点拨

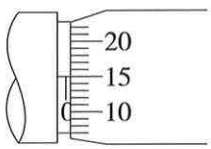
电流表内接或外接的判断方法:$R_x<\sqrt{R_VR_A}$时,用电流表外接法;$R_x>\sqrt{R_VR_A}$时,用电流表内接法。

2.(2023 全国乙卷,23)一学生小组测量某金属丝(阻值约十几欧姆)的电阻率。现有实验器材:螺旋测微器、刻度尺、电源 E、电压表(内阻非常大)、定值电阻 R_0(阻值 10.0 Ω)、滑动变阻器 R、待测金属丝、单刀双掷开关 K、开关 S、导线若干。图甲是学生设计的实验电路原理图。完成下列填空:

(1)实验时,先将滑动变阻器 R 接入电路的电阻调至最大,闭合 S。



甲



乙

(2)将 K 与 1 端相连,适当减小滑动变阻器 R 接入电路的电阻,此时电压表读数记为 U_1,然后将 K 与 2 端相连,此时电压表读数记为 U_2。由此得到流过待测金属丝的电流 $I=$_____,金属丝的电阻 $r=$_____。(结果均用 R_0、U_1、U_2 表示)

(3)继续微调 R,重复(2)的测量过程,得到多组测量数据,如下表所示:

U_1/mV	0.57	0.71	0.85	1.14	1.43
U_2/mV	0.97	1.21	1.45	1.94	2.43

(4)利用上述数据,得到金属丝的电阻 $r=14.2$ Ω。

(5)用刻度尺测得金属丝长度 $l=50.00$ cm。用螺旋测微器测量金属丝不同位置的直径,某次测量的示数如图乙所示,该读数为 $d=$_____ mm。多次测量后,得到直径的平均值恰与 d 相等。

(6)由以上数据可得,待测金属丝所用材料的电阻率 $\rho=$_____ $\times10^{-7}$ Ω·m。(保留 2 位有效数字)

【试题立意】本题以测量金属丝电阻率为素材创设了学习探索问题情境,此情境曾在 2018 年全国Ⅲ卷第 23 题出现过。该题主要考查了电阻定律、串并联电路规律、欧姆定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、实验探究能力。

(1)理解能力

对题干表述和图片的理解

序号	关键表述、图片信息	物理量及其关系
1	电压表(内阻非常大)	可以将电压表视为理想电压表,单刀双掷开关无论接 1 或 2,流过金属丝的电流相同
2	图乙	固定刻度示数为 0,半毫米刻度线未露出,故示数为 0+15.0×0.01 mm=0.150 mm

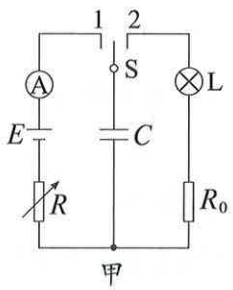
(2)实验探究能力

序号	实验探究要素	具体内容
1	实验目的	测量金属丝电阻率
2	实验原理	单刀双掷开关接 1 时,电压表测量的是金属丝两端的电压,接 2 时,电压表测量的是定值电阻 R_0 和金属丝两端的电压,故 R_0 两端的电压为 $U=U_2-U_1$,故流过金属丝的电流为 $I=\frac{U}{R_0}=\frac{U_2-U_1}{R_0}$; 单刀双掷开关接 1 时,金属丝两端电压为 U_1,测得流过的电流为 I,则金属丝的电阻 $r=\frac{U_1}{I}=\frac{U_1R_0}{U_2-U_1}$; 根据电阻的定义式 $r=\rho\frac{l}{\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2}$得出电阻率
3	实验数据处理	已知 $r=14.2\ \Omega$,$l=50.00\ \text{cm}$,$d=0.150\ \text{mm}$,$\rho=\frac{\pi d^2 r}{4l}\approx5.0\times10^{-7}\ \Omega\cdot\text{m}$

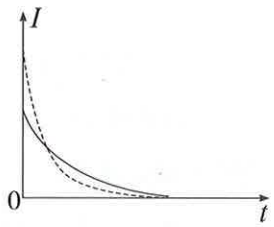
【答案】(2)$\frac{U_2-U_1}{R_0}$　$\frac{U_1R_0}{U_2-U_1}$　(5)0.150　(6)5.0

【失分剖析】①没有把电压表当成理想电压表处理;②不知道该电路测量金属丝电阻的原理;③计算错误。

3.(2023 全国新课标卷,22)在“观察电容器的充、放电现象”实验中,所用器材如下:电池、电容器、电阻箱、定值电阻、小灯泡、多用电表、电流表、停表、单刀双掷开关以及导线若干。



甲



乙

(1)用多用电表的电压挡检测电池的电压。检测时,红表笔应该与电池的_____(选填“正极”或“负极”)接触。

(2)某同学设计的实验电路如图甲所示。先将电阻箱的阻值调为 R_1,将单刀双掷开关 S 与“1”端相接,记录电流随时间的变化。电容器充电完成后,开关 S 再与“2”端相接,相接后小灯泡亮度变化情况可能是_____。

A. 迅速变亮，然后亮度趋于稳定

B. 亮度逐渐增大，然后趋于稳定

C. 迅速变亮，然后亮度逐渐减小至熄灭

(3)将电阻箱的阻值调为 R_2($R_2>R_1$)，再次将开关 S 与“1”端相接，再次记录电流随时间的变化情况。两次得到的电流 I 随时间 t 变化如图乙中曲线所示，其中实线是电阻箱阻值为____(选填“R_1”或“R_2”)时的结果，曲线与坐标轴所围面积等于该次充电完成后电容器上的____(选填“电压”或“电荷量”)。

【试题立意】本题以观察电容器的充、放电现象为素材创设了学习探索问题情境，类似情境在 2023 年山东卷第 14 题也出现过。该题主要考查了电容器的电压、电荷量和电容的关系，闭合电路欧姆定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力。

对题干表述和图像的理解

序号	关键表述、图片信息	物理量及其关系
1	用多用电表的电压挡检测电池的电压	多用电表使用时要求电流方向“红进黑出”，即电流从红表笔流入，从黑表笔流出，故红表笔与电源的正极连接
2	电容器充电完成后，开关 S 再与“2”端相接	开关 S 接“2”后电容器处于放电状态，由 $C=\frac{Q}{U}$ 可知，放电过程中电容器两端电压 U 不断减小，由 $I=\frac{U}{R_L+R_0}$ 可知，电流逐渐减小至 0
3	图甲和图乙	①开关 S 接“1”瞬间，电容器两端电压为 0，设电源内阻为 r，则电流 $I=\frac{E}{r+R}$，由于 $R_2>R_1$，故 $I_2<I_1$，实线是电阻箱阻值为 R_2 时的结果。 ②曲线的物理意义为充电过程中电流随时间的变化图线，借助匀变速直线运动位移公式的推导过程可得曲线与坐标轴所围成的面积等于该次充电完成后电容器上的电荷量

【答案】(1)正极　(2)C　(3)R_2　电荷量

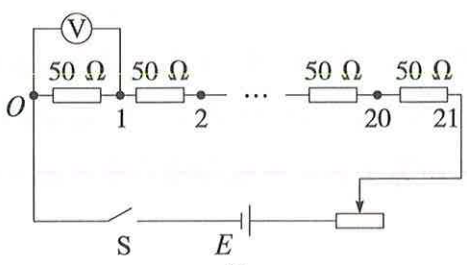
【失分剖析】①不知道多用电表的使用方法；②不会利用开关 S 接“1”的瞬间这一瞬时状态来区分实线和虚线；③不会类比匀变速直线运动位移公式的推导过程来判断曲线与坐标轴所围成的面积等于该次充电完成后电容器上的电荷量。

方法点拨

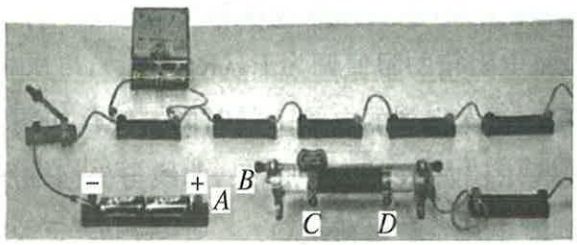
利用微元法推导 $I-t$ 图像的面积代表电容器充电或者放电的电荷量，此结论可以推广到 $F-x$、$E-x$、$F-t$ 等图像。

4.(2023 江苏卷，12)小明通过实验探究电压表内阻对测量结果的影响。所用器材有干电池(电动势约 1.5 V，内阻不计)2 节；两量程电压表(量程 0～3 V，内阻约 3 kΩ；量程 0～15 V，

内阻约 15 kΩ)1 个;滑动变阻器(最大阻值 50 Ω)1 个;定值电阻(阻值 50 Ω)21 个;开关 1 个及导线若干。实验电路如图甲所示。



甲

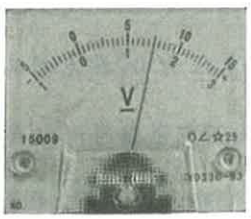


乙

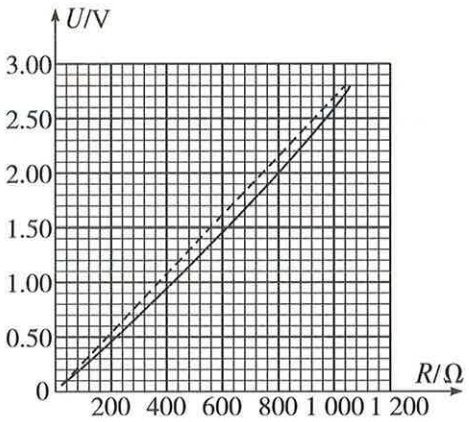
(1)电压表量程应选用_____(选填“0~3 V”或“0~15 V”)。

(2)图乙为该实验的实物电路(右侧未拍全)。先将滑动变阻器的滑片置于如图所示的位置,然后用导线将电池盒上接线柱 A 与滑动变阻器的接线柱_____(选填“B”“C”或“D”)连接,再闭合开关,开始实验。

(3)将滑动变阻器滑片移动到合适位置后保持不变,依次测量电路中 O 与 1,2,…,21 之间的电压。某次测量时,电压表指针位置如图丙所示,其示数为_____V。根据测量数据作出电压 U 与被测电阻值 R 的关系图线,如图丁中实线所示。



丙



丁

(4)在图甲所示的电路中,若电源电动势为 E,电压表视为理想电压表,滑动变阻器接入的阻值为 R_1,定值电阻的总阻值为 R_2,当被测电阻为 R 时,其两端的电压 $U=$_____(用 E、R_1、R_2、R 表示),据此作出 $U-R$ 理论图线如图丁中虚线所示。小明发现被测电阻较小或较大时,电压的实测值与理论值相差较小。

(5)分析可知,当 R 较小时,U 的实测值与理论值相差较小,是因为电压表的分流小,电压表内阻对测量结果影响较小。小明认为,当 R 较大时,U 的实测值与理论值相差较小,也是因为相同的原因。你是否同意他的观点?请简要说明理由。

【试题立意】本题以探究电压表内阻对测量结果的影响为素材创设了学习探索问题情境。该题主要考查了串并联电路规律、闭合电路欧姆定律、电表的读数等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、实验探究能力。

(1)理解能力

对题干表述和图像的理解

序号	关键表述、图片信息	物理量及其关系
1	图乙	闭合开关之前，滑动变阻器阻值应该调到最大，从而起到保护电表的作用，由图乙可知，电池盒上的接线柱 A 应该与滑动变阻器的接线柱 D 连接
2	图丙	电压表每小格表示 0.1 V，向后估读一位，示数为 1.50 V

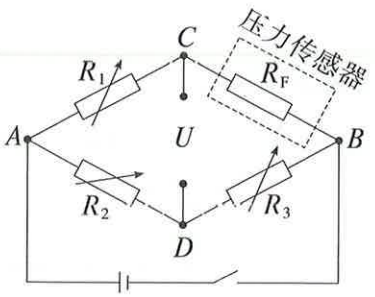
(2)实验探究能力

序号	实验探究要素	具体内容
1	实验目的	探究电压表内阻对测量结果的影响
2	实验原理	①若电压表内阻不计，电路中电流 $I=\dfrac{E}{R_1+R_2}$，被测电阻阻值为 R 时，电压表读数 $U=IR=\dfrac{ER}{R_1+R_2}$； ②当 R 较大时，则电压表内阻不能忽略，则电路中的电流 $I=\dfrac{E}{R_1+(R_2-R)+\dfrac{RR_V}{R+R_V}}$，则电压表读数为 $U=\dfrac{E}{R_1+(R_2-R)+\dfrac{RR_V}{R+R_V}}\cdot\dfrac{RR_V}{R+R_V}=\dfrac{E}{\dfrac{(R_1+R_2-R)(R+R_V)}{RR_V}+1}$ 对比两种情况下的 $U-R$ 图像，分析电压表内阻对测量结果的影响
3	实验器材选择	所用电源为两节干电池，电动势为 3 V，则所用电表量程为 0～3 V
4	基于证据得出结论	当 R 较大时，$R=R_2$ 时 R 最大，此时 $U=\dfrac{E}{\dfrac{R_1(R_2+R_V)}{R_2R_V}+1}=\dfrac{E}{\dfrac{R_1}{R_V}+\dfrac{R_1}{R_2}+1}$，因 $R_V\gg R_1$，则电压表读数接近于 $U=\dfrac{E}{\dfrac{R_1}{R_2}+1}=\dfrac{ER_2}{R_1+R_2}$，故当 R 较大时，U 的实测值与理论值相差较小的原因与 R 较小时不同

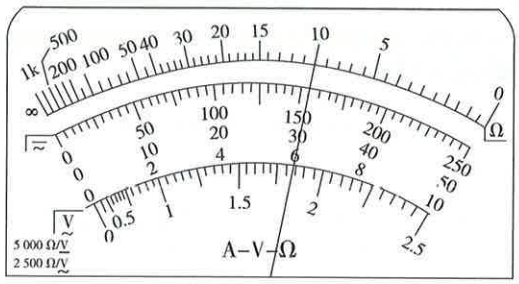
【答案】(1)0～3 V　(2)D　(3)1.50　(4)$\dfrac{ER}{R_1+R_2}$　(5)不同意，当 R 较大时，$R=R_2$ 时 R 最大，此时 $U=\dfrac{E}{\dfrac{R_1(R_2+R_V)}{R_2R_V}+1}=\dfrac{E}{\dfrac{R_1}{R_V}+\dfrac{R_1}{R_2}+1}$，因 $R_V\gg R_1$，则电压表读数接近于 $U=\dfrac{E}{\dfrac{R_1}{R_2}+1}=\dfrac{ER_2}{R_1+R_2}$，故当 R 较大时，U 的实测值与理论值相差较小的原因与 R 较小时不同。

【失分剖析】不会表示考虑电压表内阻时的电压。

5.(2023 湖南卷，12)某探究小组利用半导体薄膜压力传感器等元件设计了一个测量微小压力的装置，其电路如图甲所示，R_1、R_2、R_3 为电阻箱，R_F 为半导体薄膜压力传感器，C、D 间连接电压传感器(内阻无穷大)。



甲



乙

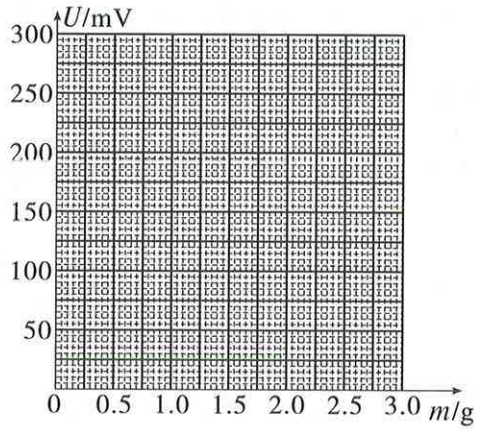
(1)先用欧姆表“×100”挡粗测 R_F 的阻值,示数如图乙所示,对应的读数是_____ Ω。

(2)适当调节 R_1、R_2、R_3,使电压传感器示数为 0,此时,R_F 的阻值为_____(用 R_1、R_2、R_3 表示)。

(3)依次将 0.5 g 的标准砝码加载到压力传感器上(压力传感器上所受压力大小等于砝码重力大小),读出电压传感器示数 U,所测数据如下表所示。

次数	1	2	3	4	5	6
砝码质量 m/g	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
电压 U/mV	0	57	115	168	220	280

根据表中数据在图丙上描点,绘制 $U-m$ 关系图线。



丙

(4)完成前面三步的实验工作后,该测量微小压力的装置即可投入使用。在半导体薄膜压力传感器上施加微小压力 F_0,电压传感器示数为 200 mV,则 F_0 大小是_____ N(重力加速度取 9.8 m/s^2,保留 2 位有效数字)。

(5)若在步骤(4)中换用非理想毫伏表测量 C、D 间电压,在半导体薄膜压力传感器上施加微小压力 F_1,此时非理想毫伏表读数为 200 mV,则 F_1_____(选填“>”“=”或“<”)F_0。

【试题立意】本题以半导体薄膜压力传感器为素材创设了一个测微小压力的装置的学习探索问题情境。该题主要考查了串并联电路规律、欧姆定律、多用电表的使用等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、实验探究能力、创新能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	适当调节 R_1、R_2、R_3，使电压传感器示数为 0	$U_{CB}=U_{DB}$ $\frac{U_{AB}}{R_1+R_F}R_F=\frac{U_{AB}}{R_2+R_3}R_3$ $R_F=\frac{R_1R_3}{R_2}$
2	依次将 0.5 g 的标准砝码加载到压力传感器上(压力传感器上所受压力大小等于砝码重力大小)，读出电压传感器示数 U	根据绘制的 $U-m$ 关系图线可以得出不同电压下的微小压力值
3	若在步骤(4)中换用非理想毫伏表测量 C、D 间电压，在半导体薄膜压力传感器上施加微小压力 F_1，此时非理想毫伏表读数为 200 mV	若将 C、D 以外的电路等效为新的电源，C、D 两点电压看作路端电压，因为换用非理想电压传感器时读数为 200 mV，当 C、D 间断路(接理想电压传感器)时的电压大于 200 mV，则此时 $F_1>F_0$

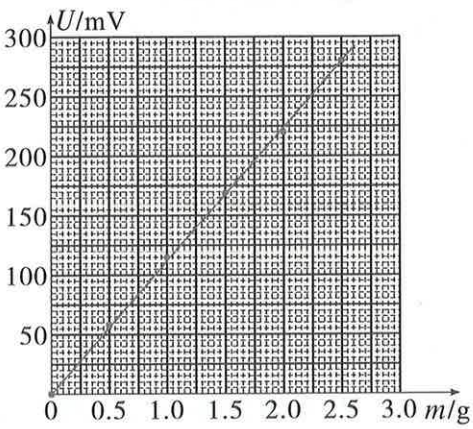
(2)实验探究能力

序号	实验探究要素	具体内容
1	实验目的	利用半导体薄膜压力传感器等元件设计了一个测量微小压力的装置
2	实验原理	利用电桥法测出 R_F 的初始阻值，利用图像法知道不同电压对应的 R_F 的值
3	选择实验器材	电阻箱，半导体薄膜压力传感器，电压传感器(内阻无穷大)等
4	基于证据得出结论	根据所测数据得出 $U-m$ 图像，根据图像可以得出不同电压下的压力大小

(3)创新能力

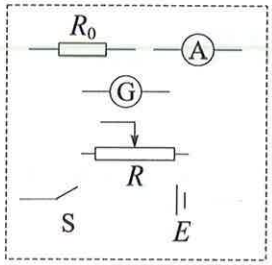
本题的创新点是实验装置中利用了半导体薄膜压力传感器，能将电信号与力信号相互转化；第(5)问在理论推导的过程中运用了等效电源的思想。

【答案】(1)1 000　(2)$\frac{R_1R_3}{R_2}$　(3)如图所示　(4)1.7×10^{-2}　(5)>



【失分剖析】①不会灵活分析电路；②对等效电源的思想不熟悉。

6.(2022 全国甲卷,22)某同学要测量微安表内阻,可利用的实验器材有电源 E(电动势 1.5 V,内阻很小),电流表 A(量程 10 mA,内阻约 10 Ω),微安表 G(量程 100 μA,内阻 R_g 待测,约 1 kΩ),滑动变阻器 R(最大阻值 10 Ω),定值电阻 R_0(阻值 10 Ω),开关 S,导线若干。



(1)将图中所示的器材符号连线,画出实验电路原理图。

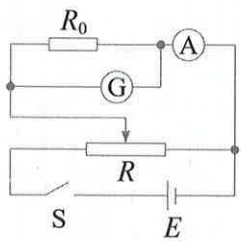
(2)某次测量中,微安表的示数为 90.0 μA,电流表的示数为 9.00 mA,由此计算出微安表内阻 $R_g=$_____ Ω。

【试题立意】本题以研究微安表内阻为素材创设了学习探索问题情境,此情境曾在 2019 年海南卷第 11 题出现过。该题主要考查了串并联电路规律、欧姆定律、滑动变阻器的分压式接法等知识点。

【关键能力】本题主要考查实验探究能力。

序号	实验探究要素	具体内容
1	实验目的	测量微安表内阻
2	实验原理	微安表能显示通过自身的电流,根据电阻计算式 $R=\frac{U}{I}$,要测量其内阻,就要直接或间接测量其两端电压。 根据题目所提供器材,可以借助定值电阻 R_0,因为电流表内阻未知,所以定值电阻 R_0 与电流表不能直接串联。 综合考虑,微安表与定值电阻 R_0 并联,再与电流表串联,这样流过定值电阻 R_0 的电流 $I=I_A-I_G$,微安表两端的电压 $U=(I_A-I_G)R_0$。 微安表内阻约 1 kΩ,滑动变阻器最大阻值 10 Ω,为了便于调节且能测量多组数据,滑动变阻器采用分压式接法
3	实验器材选择	电源 E(电动势 1.5 V,内阻很小),电流表 A(量程 10 mA,内阻约 10 Ω),微安表 G(量程 100 μA,内阻 R_g 待测,约 1 kΩ),滑动变阻器 R(最大阻值 10 Ω),定值电阻 R_0(阻值 10 Ω),开关 S,导线若干
4	基于证据得出结论	已知微安表的示数为 90.0 μA,电流表的示数为 9.00 mA 所以流过定值电阻 R_0 的电流 $I=I_A-I_G=9.00\ \text{mA}-0.09\ \text{mA}=8.91\ \text{mA}$ 加在微安表两端的电压 $U=IR_0=8.91\times10^{-2}\ \text{V}$ 微安表的内阻 $R_g=\frac{U}{I_G}=\frac{8.91\times10^{-2}}{90.0\times10^{-6}}\ \Omega=990\ \Omega$

【答案】(1)如图所示　(2)990



【失分剖析】①不会借助定值电阻 R_0 间接测量微安表两端电压;②错将电流表与定值电阻串联后并联在微安表两端。

方法点拨

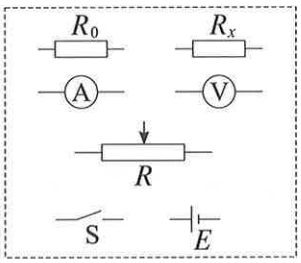
测电表内阻多利用伏安法，即微安表本身能够显示电流示数，只需测量微安表两端电压，本题中流过 R_0 的电阻已知时，其两端电压便已知，并在微安表两端充当电压表的作用。

7.（2022 全国乙卷，23）一同学探究阻值约为 550 Ω 的待测电阻 R_x 在 0～5 mA 范围内的伏安特性。可用器材有电压表 V（量程为 3 V，内阻很大），电流表 A（量程为 1 mA，内阻为 300 Ω），电源 E（电动势约为 4 V，内阻不计），滑动变阻器 R（最大阻值可选 10 Ω 或 1.5 kΩ），定值电阻 R_0（阻值可选 75 Ω 或 150 Ω），开关 S，导线若干。

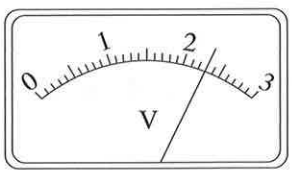
（1）要求通过 R_x 的电流可在 0～5 mA 范围内连续可调，将图甲所示的器材符号连线，画出实验电路的原理图。

（2）实验时，图甲中的 R 应选最大阻值为_____（选填“10 Ω”或“1.5 kΩ”）的滑动变阻器，R_0 应选阻值为_____（选填“75 Ω”或“150 Ω”）的定值电阻。

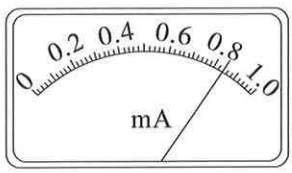
（3）测量多组数据可得 R_x 的伏安特性曲线。若在某次测量中，电压表、电流表的示数分别如图乙和图丙所示，则此时 R_x 两端的电压为_____ V，流过 R_x 的电流为_____ mA，此组数据得到的 R_x 的阻值为_____ Ω（保留 3 位有效数字）。



甲



乙



丙

【试题立意】本题以研究待测电阻的伏安特性为素材创设了学习探索问题情境，主要考查了串并联电路规律、欧姆定律、滑动变阻器的分压式接法、电表读数等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、实验探究能力。

（1）理解能力

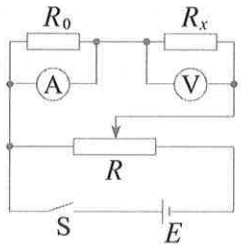
对题干表述和图片的理解

序号	关键表述、图片信息	物理量及其关系
1	电流表 A（量程为 1 mA，内阻为 300 Ω），定值电阻 R_0，要求通过 R_x 的电流可在 0～5 mA 范围内连续可调	要求通过 R_x 的最大电流为 5 mA，而提供的电流表 A 的量程为 1 mA，又因为电流表内阻已知，所以可将电流表与 R_0 并联扩大电流表量程
2	电压表 V 内阻很大	可以将电压表视为理想电压表，直接接在待测电阻两端
3	探究阻值约为 550 Ω 的待测电阻 R_x 的伏安特性	探究伏安特性，需要测量多组数据，所以滑动变阻器采用分压式接法
4	图乙	电压表每小格表示 0.1 V，向后估读一位，示数为 2.30 V
5	图丙	电流表每小格表示 0.02 mA，示数为 0.84 mA

（2）实验探究能力

序号	实验探究要素	具体内容
1	实验目的	探究待测电阻 R_x 在 0～5 mA 范围内的伏安特性
2	实验原理	电流表与 R_0 并联相当于大量程的电流表，测量流过待测电阻的电流；电压表直接接在待测电阻两端测量其电压；滑动变阻器采用分压式接法调节电路中的电流
3	实验器材选择	电压表 V(量程为 3 V，内阻很大)，电流表 A(量程为 1 mA，内阻为 300 Ω)，电源 E(电动势约为 4 V，内阻不计)，滑动变阻器 R(最大阻值可选 10 Ω)，定值电阻 R_0(阻值可选 75 Ω)，开关 S，导线若干
4	实验数据处理	电压表示数即为待测电阻两端电压 $U=2.30$ V；电流表示数为 0.84 mA，电流表量程扩大 5 倍，所以通过 R_x 的电流为 $I=4.20$ mA；根据欧姆定律可知 $R_x=\frac{U}{I}=\frac{2.30}{4.20\times10^{-3}}\ \Omega\approx548\ \Omega$

【答案】(1)如图所示　(2)10 Ω　75 Ω　(3)2.30　4.20　548



【失分剖析】①画错滑动变阻器分压式接法电路图；②电压表读数没有正确估读；③误将电流表示数当成流过 R_x 的电流。

方法点拨

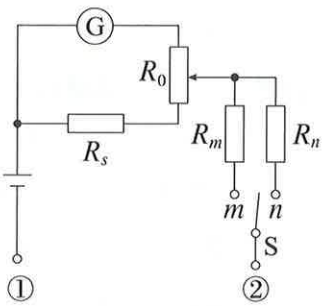
滑动变阻器必须接成分压电路的几种情况

①要求电压表能从零开始读数；

②当待测电阻 $R_x\gg R$(滑动变阻器的最大阻值)时；

③若采用限流式接法，电路中的最小电流仍超过电路中电表、电阻允许的最大电流。

8.(2022 湖南卷，12)小梦同学自制了一个两挡位(“×1”“×10”)的欧姆表，其内部结构如图所示，R_0 为调零电阻(最大阻值为 R_{0m})，R_s、R_m、R_n 为定值电阻($R_s+R_{0m}<R_m<R_n$)，电流表 G 的内阻为 R_G($R_s\ll R_G$)。用此欧姆表测量一待测电阻的阻值，回答下列问题：



(1)短接①②，将单刀双掷开关 S 与 m 接通，电流表 G 示数为 I_m；保持电阻 R_0 滑片位置不变，将单刀双掷开关 S 与 n 接通，电流表 G 示数变为 I_n，则 I_m _____(选填“大于”或“小于”)I_n。

(2)将单刀双掷开关 S 与 n 接通，此时欧姆表的挡位为_____(选填“×1”或“×10”)。

(3)若从“×1”挡位换成“×10”挡位，调整欧姆零点(欧姆零点在电流表 G 满偏刻度处)时，调零电阻 R_0 的滑片应该_____(选填“向上”或“向下”)调节。

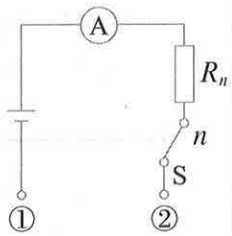
(4)在“×10”挡位调整欧姆零点后，在①②间接入阻值为 100 Ω 的定值电阻 R_1，稳定后电

流表 G 的指针偏转到满偏刻度的$\frac{2}{3}$；取走 R_1，在①②间接入待测电阻 R_x，稳定后电流表 G 的指针偏转到满偏刻度的$\frac{1}{3}$，则 $R_x=$_____ Ω。

【试题立意】本题以自制两挡位欧姆表为素材创设了学习探索问题情境，类似情境曾在2017年全国Ⅲ卷第23题出现过。该题主要考查了串并联电路规律、闭合电路欧姆定律、欧姆表等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力。

对题干表述、电路图的理解

序号	关键表述、电路图	物理量及其关系
1	$R_m<R_n$，保持电阻 R_0 滑片位置不变，电路图	保持电阻 R_0 滑片位置不变，即 R_s、R_0 和电流表 G 部分电路的电阻不变；因为 $R_m<R_n$，所以开关拨向 m 时电路的总电阻小于开关拨向 n 时电路的总电阻，电源电动势 E 不变，根据 $I=\frac{E}{R_{总}}$ 可知 $I_m>I_n$
2	电路图，$R_m<R_n$	当测量的电阻值等于欧姆表的内阻时，电流为满偏电流的一半，指针在中间，所以叫中值电阻。 当开关 S 拨向 n 时，欧姆表内阻较大，即中值电阻较大，能够接入待测电阻的阻值也更大，所以开关 S 拨向 n 时对应欧姆表的挡位倍率较大，即“×10”挡
3	电路图，从“×1”挡位换成“×10”挡位	从“×1”挡位换成“×10”挡位，即开关 S 从 m 拨向 n，电路电阻增大，由 $I=\frac{E}{R_{总}}$ 可知干路电流减小，①②短接时，为了使电流表满偏，则需要增大通过电流表 G 所在支路的电流，所以需要将 R_0 的滑片向上调节
4	在“×10”挡位调整欧姆零点	在“×10”挡位调整欧姆零点后，将 R_s、R_0 和电流表 G 部分电路等效为电流表 A，等效电路图如图所示。欧姆表内阻用 $R_{内}$ 表示，欧姆调零即电流表满偏，根据闭合电路欧姆定律有 $E=I_mR_{内}$ 
5	接入阻值为 100 Ω 的定值电阻，电流表 G 的指针偏转到满偏刻度的 $\frac{2}{3}$	根据闭合电路欧姆定律有 $E=\frac{2}{3}I_m(R_{内}+R_1)$
6	接入待测电阻 R_x，指针偏转到满偏刻度的$\frac{1}{3}$	根据闭合电路欧姆定律有 $E=\frac{1}{3}I_m(R_{内}+R_x)$ 得 $R_x=400$ Ω

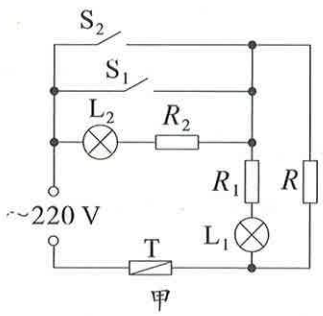
【答案】(1)大于　(2)×10　(3)向上　(4)400

【失分剖析】①不理解欧姆表原理，不能判断将单刀双掷开关 S 与 n 接通后欧姆表的挡位；②被题干复杂的电路图所迷惑，不会根据闭合电路欧姆定律和并联分流的规律分析换挡位后欧姆调零电阻 R_0 的滑片移动问题；③不会根据闭合电路欧姆定律列方程，联立求解电阻 R_x 的阻值。

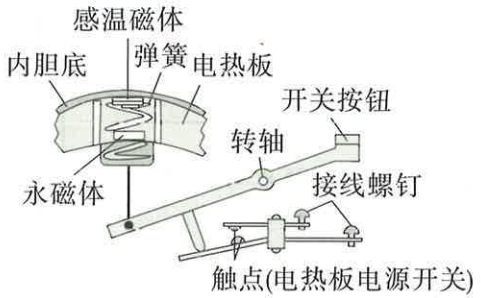
方法点拨

多用电表考查的难点在于其工作原理，从三个方面理解：(1)欧姆调零的原理，即 $I_m=\frac{E}{r+R_G+R_L}$（R_G 表示表头内阻，R_L 表示滑动变阻器阻值，设 $R_{内}=r+R_G+R_L$）。(2)测量原理为 $I=\frac{E}{R_{内}+R_x}$（R_x 表示待测电阻的阻值）。(3)$R_{中}=R_{内}$（$R_{中}$ 表示表头示数为 $\frac{I_m}{2}$ 时待测电阻的阻值）。

9.(2022 河北卷，12)某物理兴趣小组利用废弃电饭煲的部分器材自制简易电饭煲，设计电路如图甲所示。选用的器材有限温开关 S_1（手动将其按下，开始持续加热煮饭，当锅内温度高于 103 ℃时自动断开，之后不能自动闭合）；保温开关 S_2（当锅内温度高于 80 ℃时自动断开，温度低于 70 ℃时自动闭合）；电饭煲的框架（结构如图乙所示）。自备元件有加热电阻丝 R（阻值为 60 Ω，用于加热煮饭）；限流电阻 R_1 和 R_2（阻值均为 1 kΩ）；指示灯 L_1 和 L_2（2.5 V，0.6 W，当电流低于 30 mA 时可视为熄灭）；保险丝 T。



甲



乙

(1)按照兴趣小组设计的电路，下列说法正确的是_____。

A. 按下 S_1，L_1 和 L_2 均发光

B. 当锅内温度高于 103 ℃时，S_1 自动断开，L_1 和 L_2 均发光

C. 保温过程中，S_2 自动在闭合、断开状态之间交替切换

D. 当锅内温度低于 70 ℃时，S_2 自动闭合，L_1 发光，L_2 熄灭

(2)简易电饭煲制作完成后，试用时 L_1 始终不亮，但加热和保温功能均正常。在不增加元件的前提下，断开电源，使用多用电表判断发生故障的元件。下列操作步骤的正确顺序是_____（填写各步骤前的字母）。

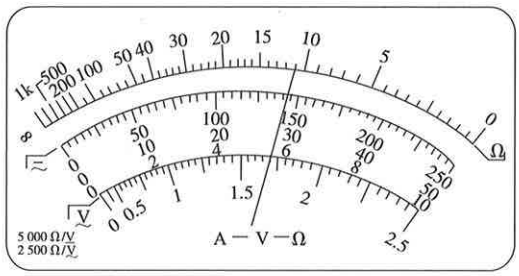
A. 将选择开关旋转到“×100”位置

B. 将两支表笔直接接触，调节“欧姆调零旋钮”，使指针指向欧姆零点

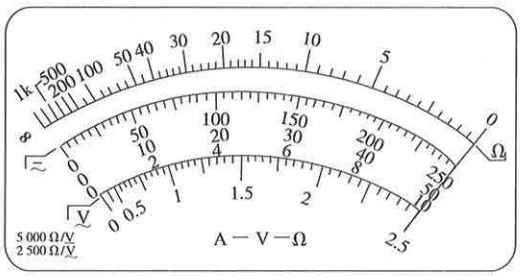
C. 调整“指针定位螺丝”，使指针指到零刻度

D. 测量指示灯 L_1 两端的阻值

E. 将选择开关置于 OFF 位置或交流电压最高挡



丙



丁

操作时，将多用电表两表笔与 L_1 两端接触，若指针如图丙所示，可判断是_____断路损坏；若指针如图丁所示，可判断是_____断路损坏。（用电路中的元件符号表示）

【试题立意】本题以废弃电饭煲的部分器材为素材创设了探究自制简易电饭煲的学习探索问题情境，人教版教材选择性必修第二册第 102 页第 3 题有类似素材。该题主要考查了串并联电路规律、闭合电路欧姆定律、多用电表的使用等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和实验探究能力。

(1)理解能力

对题干表述和电路图、图片的理解

序号	关键表述、电路图、图片信息	物理量及其关系
1	图甲，按下 S_1	按下 S_1 后 L_2 支路被短路，则 L_2 不会发光
2	指示灯 L_1 和 L_2(2.5 V，0.6 W)	指示灯电阻 $R_L=\dfrac{U^2}{P}\approx 10.42\ \Omega$
3	图甲，加热电阻丝 R（阻值为 60 Ω），限流电阻 R_1 和 R_2（阻值均为 1 kΩ），当锅内温度高于 103 ℃时限温开关 S_1 自动断开，指示灯 L_1 和 L_2 电流低于 30 mA 时可视为熄灭	S_1 自动断开时，R_1 和 L_1 串联后再与 R 并联，$R_{并}=\dfrac{(R_1+R_L)R}{R_1+R_L+R}\approx 56.64\ \Omega$，此并联支路再与 R_2 和 L_2 串联，回路总电阻 $R_{总}=R_{并}+R_2+R_L\approx 1\,067.06\ \Omega$ 回路总电流 $I_{总}=\dfrac{220\ \text{V}}{R_{总}}\approx 0.21\ \text{A}$，因为其大于 30 mA，所以 L_2 一定发光； 此时并联的整体的电压为 $U_{并}=I_{总}R_{并}\approx 11.89\ \text{V}$ 则流过 L_1 的电流为 $I_{L1}=\dfrac{U_{并}}{R_1+R_L}=\dfrac{11.89}{1\,000+10.42}\ \text{A}\approx 0.012\ \text{A}$ 流过 L_1 的电流小于 30 mA，则 L_1 不发光
4	图甲，当锅内温度高于 80 ℃时保温开关 S_2 自动断开，温度低于 70 ℃时自动闭合	由此可知，保温过程中，S_2 自动在闭合、断开状态之间交替切换
5	当锅内温度低于 70 ℃时保温开关 S_2 自动闭合，图甲	S_2 自动闭合时，L_2 支路被短路，则 L_2 不会发光； 此时流过 L_1 的电流为 $I_{L1}'=\dfrac{E}{R_1+R_L}=\dfrac{220}{1\,000+10.42}\ \text{A}\approx 0.218\ \text{A}$，流过 L_1 的电流大于 30 mA，所以 L_1 发光

续表

序号	关键表述、电路图、图片信息	物理量及其关系
6	图丙，选择开关旋转到“×100”位置	欧姆表示数约为 1 100 Ω
7	图丁，选择开关旋转到“×100”位置	欧姆表示数约为 0
8	试用时 L_1 始终不亮	通过指示灯 L_1 的电流为零
9	图甲，加热和保温功能均正常	说明 R、L_2、R_2、T 均正常

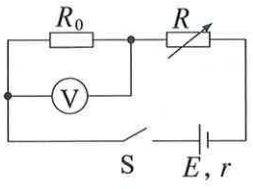
(2)实验探究能力

序号	实验探究要素	具体内容
1	实验目的	使用多用电表判断发生故障的元件
2	实验步骤设计	多用电表的操作步骤：调整“指针定位螺丝”，使指针指到零刻度，即机械调零；将选择开关旋转到“×100”位置，即选挡；将两支表笔直接接触，调节“欧姆调零旋钮”，使指针指向欧姆零点，即欧姆调零；测量指示灯 L_1 两端的阻值；将选择开关置于 OFF 位置或交流电压最高挡，即关闭多用电表。故正确顺序为 CABDE
3	基于证据得出结论	若指针如图丙所示，可看出 L_1 两端间电阻值约为 1 100 Ω，因为 R、L_2、R_2、T 均正常，则说明 L_1 始终不亮的原因是 L_1 断路损坏，欧姆表示数为 R_1 和 R 的串联值。 若指针如图丁所示，欧姆表示数约为 0，但由于 $R_L=10.42$ Ω，此时选用的是“×100”挡，则说明灯泡 L_1 正常；因为 R、L_2、R_2、T 均正常，则说明 L_1 始终不亮的原因是 R_1 断路损坏

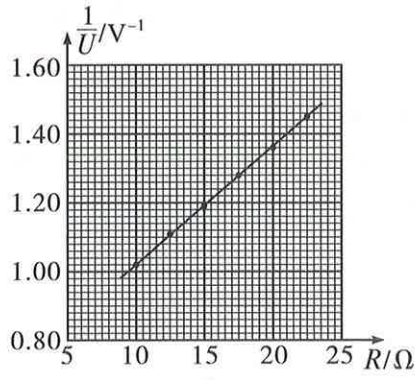
【答案】(1)CD　(2)CABDE　L_1　R_1

【失分剖析】①S_1 自动断开时，误认为 L_1 和 L_2 均发光；②混淆多用电表的操作步骤；③不能根据图丙中的指针位置判断 L_1 断路损坏；不能根据图丁中指针位置判断灯泡 L_1 正常。

10.(2021 全国乙卷，23)一实验小组利用图甲所示的电路测量一电池的电动势 E(约 1.5 V)和内阻 r(小于 2 Ω)。图中电压表量程为 1 V，内阻 $R_V=380.0$ Ω；定值电阻 $R_0=20.0$ Ω；电阻箱 R 最大阻值为 999.9 Ω；S 为开关。按电路图连接电路。完成下列填空：



甲



乙

(1)为保护电压表,闭合开关前,电阻箱接入电路的电阻值可以选_____(选填“5.0”或“15.0”) Ω。

(2)闭合开关,多次调节电阻箱,记录下阻值 R 和电压表的相应读数 U。

(3)根据图甲所示电路,用 R、R_0、R_V、E 和 r 表示 $\frac{1}{U}$,得 $\frac{1}{U}=$_____。

(4)利用测量数据,作 $\frac{1}{U}$-R 图线,如图乙所示。

(5)通过图乙可得 $E=$_____ V(保留 2 位小数),$r=$_____ Ω(保留 1 位小数)。

(6)若将图甲中的电压表当成理想电表,得到的电源电动势为 E',由此产生的误差为 $\left|\frac{E'-E}{E}\right|\times 100\%=$_____%。

【试题立意】本题以测量电源的电动势和内阻的实验方案改进为素材创设了学习探索问题情境。主要考查了串并联电路的规律、闭合电路欧姆定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力、实验探究能力。

(1)理解能力

对题干表述、电路图、图像的理解

序号	关键表述、电路图、图像信息	物理量及其关系
1	保护电压表,图甲	由于电压表的量程小于电源电动势,为了保证电压表安全,电阻箱要有足够的分压,利用题目中已经给出的数据,根据闭合电路欧姆定律,可得 $\frac{U}{\frac{R_VR_0}{R_V+R_0}}=\frac{E-U}{R+r}$,据此可以算出 $R=7.5\ \Omega$。题目中给出的两个待选电阻值中,5.0 Ω 不能满足保护电压表的要求,所以选择 15.0 Ω
2	图甲、图乙	外电路是由电压表与 R_0 并联后再与 R 串联组成的。根据闭合电路欧姆定律和串并联知识可以得到 $E=U+\frac{U}{\frac{R_VR_0}{R_V+R_0}}(R+r)$,经过化简可得 $\frac{1}{U}=\frac{1}{E}+\left(\frac{1}{R_0}+\frac{1}{R_V}\right)\frac{r}{E}+\left(\frac{1}{R_0}+\frac{1}{R_V}\right)\frac{R}{E}$。这是作出图像的数学依据,通过图像中得到的斜率和点(10,1.02),可以计算出 $E=1.55$ V,$r=1.0\ \Omega$
3	将图甲中的电压表当成理想电表	若电压表是理想电表,原来的 $\frac{1}{U}$ 表达式中 R_V 当作无穷大,即可得到 $\frac{1}{U}=\frac{1}{E'}+\frac{r}{E'R_0}+\frac{1}{E'R_0}R$,取图中对应的两点求出斜率,可以计算出 E',从而代入公式得到误差为 5%

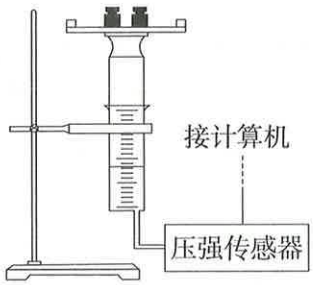
(2)实验探究能力

序号	实验探究要素	具体内容
1	实验目的	测量一电池的电动势 E 和内阻 r
2	实验原理	已知内阻的电压表串联分流电阻 R_0，改装为电流表
3	基于证据得出结论	根据闭合电路欧姆定律列出关于电压表示数 U 和电阻箱 R 的方程，利用图像的截距和斜率求出电动势 E 和内阻 r；根据题目给出的相对误差公式的计算，体会电表内阻所带来的影响

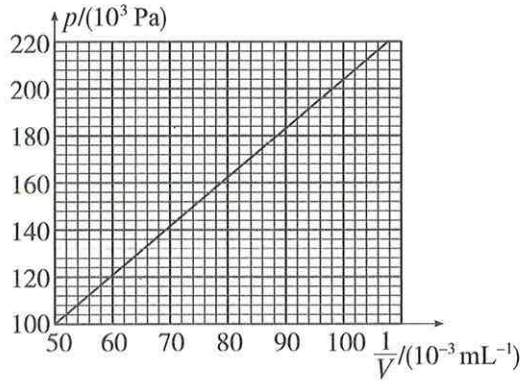
【答案】(1)15.0　(3)$\frac{1}{E}+\left(\frac{1}{R_0}+\frac{1}{R_V}\right)\frac{r}{E}+\left(\frac{1}{R_0}+\frac{1}{R_V}\right)\frac{R}{E}$　(5)1.55　1.0　(6)5

题组二　其他实验

11.(2023 山东卷，13)利用图甲所示实验装置可探究等温条件下气体压强与体积的关系。将带有刻度的注射器竖直固定在铁架台上，注射器内封闭一定质量的空气，下端通过塑料管与压强传感器相连。活塞上端固定一托盘，托盘中放入砝码，待气体状态稳定后，记录气体压强 p 和体积 V(等于注射器示数 V_0 与塑料管容积 ΔV 之和)。逐次增加砝码质量，采集多组数据并作出拟合曲线如图乙所示。



甲



乙

回答以下问题：

(1)在实验误差允许范围内，图乙中的拟合曲线为一条过原点的直线，说明在等温情况下，一定质量的气体_____。

A. p 与 V 成正比　　B. p 与 $\frac{1}{V}$ 成正比

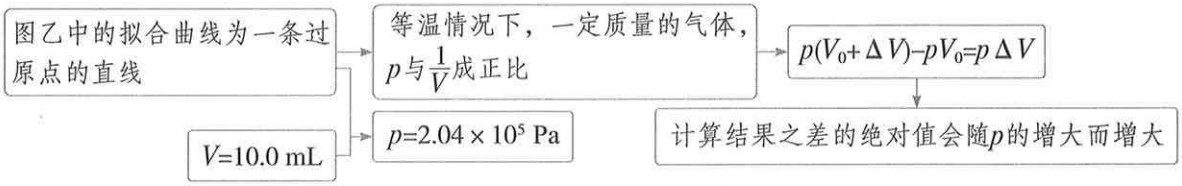
(2)若气体被压缩到 $V=10.0$ mL，由图乙可读出封闭气体压强为_____ Pa(保留 3 位有效数字)。

(3)某组同学进行实验时，一同学在记录数据时漏掉了 ΔV，则在计算 pV 乘积时，他的计算结果与同组正确记录数据同学的计算结果之差的绝对值会随 p 的增大而_____(选填“增大”或“减小”)。

【试题立意】本题以探究等温条件下气体压强与体积的关系为素材创设了学习探索问题情境。类似情境在人教版教材选择性必修第三册第 23 页的实验“探究气体等温变化规律”出现过，2014 年上海卷的第 27 题也曾考过类似情境。该题主要考查了气体实验定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力、实验探究能力。

(1)推理论证能力



(2)实验探究能力

序号	实验探究要素	具体内容
1	实验目的	探究等温条件下气体压强与体积的关系
2	实验原理	利用带有刻度的注射器及压强传感器测量气体压强 p 和体积 V，利用采集的多组数据拟合曲线探究物理量间的关系
3	选择实验器材	注射器、铁架台、塑料管、压力传感器、托盘、砝码等
4	基于证据得出结论	根据实验测量值推出相关的物理公式，然后利用物理公式推出实验误差

【答案】 (1)B　(2)2.04×10^5　(3)增大

【失分剖析】对实验原理不能灵活分析从而不能准确地分析实验误差。

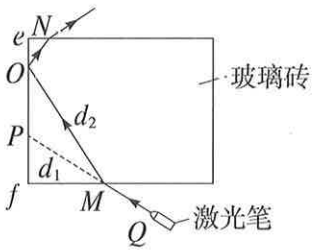
12.(2023 广东卷，11)某同学用激光笔和透明长方体玻璃砖测量玻璃的折射率，实验过程如下：

(1)将玻璃砖平放在水平桌面上的白纸上，用大头针在白纸上标记玻璃砖的边界。

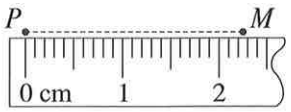
(2)①激光笔发出的激光从玻璃砖上的 M 点水平入射，到达 ef 面上的 O 点后反射到 N 点射出。用大头针在白纸上标记 O 点、M 点和激光笔出光孔 Q 的位置。

②移走玻璃砖，在白纸上描绘玻璃砖的边界和激光的光路，作 QM 连线的延长线与 ef 面的边界交于 P 点，如图甲所示。

③用刻度尺测量 PM 和 OM 的长度 d_1 和 d_2。PM 的示数如图乙所示，d_1 为_____cm。测得 d_2 为 3.40 cm。



甲



乙

(3)利用所测量的物理量,写出玻璃砖折射率的表达式 $n=$_____;由测得的数据可得折射率 n 为_____(结果保留 3 位有效数字)。

(4)相对误差的计算式为 $\delta=\left|\dfrac{\text{测量值}-\text{真实值}}{\text{真实值}}\right|\times 100\%$。为了减小 d_1、d_2 测量的相对误差,实验中激光在 M 点入射时应尽量使入射角_____。

【试题立意】本题以测量玻璃的折射率为素材创设了学习探索问题情境,此情境与 2023 年海南卷第 14 题类似。该题主要考查了光的折射定律、折射率、刻度尺的读数等知识。

【关键能力】本题主要考查理解能力、实验探究能力。

(1)理解能力

对图像的理解:刻度尺每小格表示 0.1 cm,向后估读一位,示数为 2.25 cm,即 $d_1=2.25$ cm。

(2)实验探究能力

序号	实验探究要素	具体内容
1	实验目的	测量玻璃的折射率
2	实验原理	玻璃砖折射率的表达式
3	基于证据得出结论	$n=\dfrac{\sin i}{\sin r}=\dfrac{\frac{fM}{MP}}{\frac{fM}{OM}}=\dfrac{OM}{PM}=\dfrac{d_2}{d_1}$,代入数据可知 $n=\dfrac{3.40}{2.25}=1.51$ 相对误差的计算式为 $\delta=\left\|\dfrac{\text{测量值}-\text{真实值}}{\text{真实值}}\right\|\times 100\%$,为了减小 d_1、d_2 测量的相对误差,实验中 d_1、d_2 要尽量稍大一些,即激光在 M 点入射时应尽量使入射角稍小一些

【答案】(2)2.23 (3)$\dfrac{d_2}{d_1}$ 1.51 (4)稍小一些

【失分剖析】①不会推导折射率表达式;②不知道如何减小相对误差。

命题规律

1. 多维度细目表

表一：

高考试题（年份/卷别/题号）			2023						2022					2021
			全国新课标，23	全国甲，23	湖南，11	湖北，11	浙江6月，16	辽宁，11	山东，13	广东，11	河北，11	湖南，11	浙江6月，17	山东，13
考查内容	必备知识	测量做直线运动物体的瞬时速度		√									√	
		探究弹簧弹力与形变量的关系										√		
		测量物体接触面间的动摩擦因数				√								
		探究两个互成角度的力的合成规律											√	
		探究加速度与物体受力、物体质量的关系							√				√	
		验证机械能守恒定律								√	√			√
		探究平抛运动的特点					√							
		探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系												
		验证动量守恒定律						√						
		用单摆测量重力加速度的大小	√											
		等温条件下压强与体积的关系												
		探究弹簧振子振动周期与质量的关系			√									
		长度的测量及其测量工具的选用	√							√		√	√	
	关键能力	理解能力			√		√		√	√	√	√	√	√
		推理论证能力				√	√	√				√		√
		模型建构能力	√	√										√
		实验探究能力	√	√	√	√	√	√		√			√	√
		创新能力			√				√			√	√	√
	学科素养	物理观念	√	√	√	√	√		√	√	√	√	√	√
		科学思维	√	√	√	√	√		√	√	√	√	√	√
		科学探究	√	√	√	√	√		√	√	√	√	√	√
		科学态度与责任												
考查要求		基础性		√					√	√	√	√	√	
		综合性			√	√	√	√					√	√
		应用性	√											
		创新性							√	√	√	√	√	√
情境载体		生活实践问题情境										√		√
		学习探索问题情境	√	√	√	√	√	√	√	√	√		√	

表二：

高考试题（年份/卷别/题号）			2023							2022				2021
			全国新课标，22	全国甲，22	全国乙，23	山东，13	广东，11	湖南，12	江苏，12	全国甲，22	全国乙，23	湖南，12	河北，12	全国乙，23
考查内容	电学必备知识	观察电容器的充、放电现象	√											
		测量金属丝的电阻率或元件电阻			√			√		√				
		用多用电表测量电学中的物理量										√	√	
		测量电源的电动势和内阻							√					√
		探究影响感应电流方向的因素												
		探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系												
	其他实验必备知识	利用传感器制作简单的自动控制装置						√					√	
		描绘小灯泡的伏安特性曲线（非新课改地区教材实验方案）		√							√			
		探究等温情况下一定质量气体压强与体积的关系				√								
		测量玻璃的折射率					√							
	关键能力	理解能力	√	√	√		√	√	√		√	√	√	√
		推理论证能力				√								
		模型建构能力												
		实验探究能力			√	√	√	√	√	√	√		√	√
		创新能力						√						
	学科素养	物理观念	√	√	√			√	√	√	√	√	√	√
		科学思维	√	√	√			√	√	√	√	√	√	√
		科学探究	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学态度与责任												

续表

高考试题（年份/卷别/题号）		2023							2022				2021
		全国新课标，22	全国甲，22	全国乙，23	山东，13	广东，11	湖南，12	江苏，12	全国甲，22	全国乙，23	湖南，12	河北，12	全国乙，23
考查要求	基础性	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
	综合性						√	√			√	√	√
	应用性						√	√			√	√	
	创新性	√	√	√			√	√	√	√	√	√	√
情境载体	生活实践问题情境												
	学习探索问题情境	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

2. 命题趋势

近几年高考实验题基本沿用“一力一电”的模式，形式多样，考查内容广泛，考法灵活，注重考查对实验操作、基本原理和方法的理解及应用，更加注重考查考生对基本实验方法的迁移和灵活运用能力。从难度上来说，试题难度呈下降趋势。

(1)突出基础性，更加注重贴近教材和教学实际，体现做与不做实验的区别。

近几年高考实验题注重基础，不回避经典实验和基本实验技能，不过分追求实验设计的奇思妙想，而是注重基本仪器的使用与读数、实验原理的理解与分析、实验方案的设计、实验数据的合理表达与评估。考查的重点还是核心主干知识，从实验原理、操作细节、数据处理等方面考查考生是否真正地经历实验过程。基本仪器的读数、处理纸带求瞬时速度、验证加速度与合力的关系、验证动能定理、机械能的损失、伏安法测电阻、电流表的内外接法、滑动变阻器的分压限流式接法、图像法处理实验数据等是近几年高考实验题的高频考点。例如2022年全国甲卷第22题要求学生根据提供的实验器材，画出测量微安表内阻的实验电路原理图。2023年湖南卷第11题利用手机中的磁传感器可以采集磁感应强度实时变化的数据并输出图像从而帮助求出简谐运动的周期，要求学生将理论与实验相结合，培养学生的证据意识。

(2)突出创新，常规实验的改装和重组呈现率较高。

高考实验题力求创新，从研究对象、测量工具、实验原理、实验器材功能、处理实验数据方法等方面改变常规实验，创设新实验情境，例如2021年山东卷第13题以手机记录乒乓球与台面碰撞的声音为背景，要求学生将熟悉的打点计时器、纸带求速度的处理方法进行灵活迁移。考生须具有正确的物理观念和科学思维，有清晰的相互作用观，能进行正确的科学推理，并根据已有实验方案改进设计方案，选择合适的器材，关联整合各实验要素，科学处理实验数据，形成合理结论，不落俗套，灵活性高。

高考实验题不再拘泥于教材传统实验方案，但每道试题还都有教材实验的影子，通常将原实验装置巧妙拆分再组合，将某些先进元件或科学技术与教材中的实验相融合。

(3)突出对实验探究能力的考查,加强理论联系实际,突显情境的时代性。

高考实验题多数考查“进行实验及收集数据、解释与结论、反思与评价”三个探究实验要素,通过设置一些新颖的试题情境,试题设问方式多样化,要求考生根据实验目的,自主挑选实验器材;分析评价结果的合理性,提出改进措施;增强试题的开放性和探究性,引导考生创新意识的培养。例如传感器中经常使用的元件——热敏电阻的阻值随温度变化规律的探究,突显试题情境的时代性,鼓励考生多角度思考问题,让考生主动设计实验方案,突出对推理论证能力、实验探究能力的考查。

未来高考实验命题很大可能还是会继续沿用“一力一电、一大一小、一难一易、一熟一生”的命题思路,但备考过程中也要全面覆盖,例如2023年山东卷考到了玻意耳定律实验和电容器的充放电。通过选择、填空、画图、连线、问答等形式全面考查考生的实验探究能力和创新能力。基本仪器的工作原理及使用方法、纸带类问题、弹簧类实验、测量工具的使用和读数问题、气垫导轨的使用、电阻的测量、电源的电动势和内阻的测量、有关热敏电阻和光敏电阻等传感器有关的实验,仍是2024年高考实验命题的重点。仍然以实验的原理、器材的选择、电路的设计、公式法和图像法处理实验数据和误差分析等考查为主。

3. 备考策略

(1)立足教材,不回避经典。

在备考中要立足教材中的基本实验,弄透教材中的各种实验仪器的使用方法,新课标要求考生必做实验的实验原理、实验步骤、数据处理方法、误差分析等基本实验理论和实验技能。

(2)加强实验“可参与”环节的训练。

高考实验试题非常重视对实验可参与环节的考查,因此要加强对基本仪器的读数、点迹处理、图像法、电路连接、电路改装与设计、误差分析及有效数字等的训练。

(3)加强实验原理的理解与常规实验的变式训练。

虽然高考实验题很少有与教材实验一模一样的问题,但高考实验题涉及的实验原理、处理数据的方法、实验技能和教材实验的实验原理、处理实验数据的方法等实验基础知识和基本技能是相同的。因此复习备考必须立足教材实验的拓展与创新,掌握常规实验应该怎么做、还能怎么做、还能做什么、是否真正做,关注同一实验的不同设计方法,关注同一仪器的多种用途,并能灵活运用所学的实验理论和方法解决实验中遇到的新问题。

(4)加强实践和科学探究素养的训练。

实验备考复习中要纠正假实验(数据)、伪实验(教师包办)、空实验(要素不全)等问题,纠正以“做实验题”代替“做实验”的错误倾向,要让考生能独立完成基本的实验,能针对具体探究的问题根据已有条件制订实验方案,能够提取、筛选、整合实验要素,能根据实验数据得出合理的结论。

专题九　热学

题组一　气体实验定律　理想气体状态方程

本题组为气体状态变化问题，主要模型为玻璃管水银柱模型和活塞汽缸模型。主要考查“变质量”问题和关联气体问题。

解决本题组的主要方法为气体实验三定律、理想气体状态方程，涉及“变质量”问题时，克拉伯龙方程是不错的选择。

1.[2023 全国甲卷，33(2)]一高压舱内气体的压强为大气压的 1.2 倍，温度为 17 ℃，密度为 1.46 kg/m^3。

(ⅰ)升高气体温度并释放出舱内部分气体以保持压强不变，求气体温度升至 27 ℃时舱内气体的密度。

(ⅱ)保持温度 27 ℃不变，再释放出舱内部分气体使舱内压强降至大气压，求舱内气体的密度。

【试题立意】本题以高压舱内气体状态变化为素材，创设了求解气体密度的学习探索问题情境。此情境在 2021 年河北卷第 15 题第(2)问曾出现过，主要考查了气体实验定律、理想气体等知识点。

【关键能力】本题主要考查模型建构能力和推理论证能力。

(1)模型建构

关键信息	破题关键	建构模型
(ⅰ)保持压强不变	选择所有气体为研究对象，将变质量问题变为定质量问题，气体做等压变化，质量不变，密度之比等于体积的反比	等压变化 $\frac{V_2}{T_2}=\frac{V_1}{T_1}$
(ⅱ)保持温度 27 ℃不变	选择第二次释放前舱内所有气体为研究对象，将变质量问题变为定质量问题，气体做等温变化，质量不变，密度之比等于体积的反比	等温变化 $p_2V_1=p_3V_3$

(2)推理论证能力

①基于一定质量的理想气体进行推理

第(ⅰ)问：

选择所有气体为研究对象 → 气体质量不变，做等压变化 → $\frac{V_2}{T_2}=\frac{V_1}{T_1}$；$\rho_1=\frac{m}{V_1}$，$\rho_2=\frac{m}{V_2}$ → $\rho_2=\frac{29}{30}\rho_1=1.41\ \text{kg/m}^3$

第(ⅱ)问：

选择第二次释放前舱内所有气体为研究对象 → 气体质量不变，做等温变化 → $p_2V_1=p_3V_3$；$\rho_2=\frac{m'}{V_1}$，$\rho_3=\frac{m'}{V_3}$ → $\rho_3=1.18\ \mathrm{kg/m^3}$

注：本题也可以始终选择舱内气体为研究对象，体积不变，密度之比等于质量之比。而舱内气体的质量之比可以利用克拉伯龙方程 $pV=nRT$ 进行求解。

②直接基于“克拉伯龙方程 $pV=nRT$”进行推理

选择舱内气体为研究对象 → 气体体积相等，密度之比等于质量之比；克拉伯龙方程 $pV=nRT$ → $\frac{\rho_1}{\rho_2}=\frac{\frac{m_1}{V}}{\frac{m_2}{V}}=\frac{m_1}{m_2}=\frac{n_1}{n_2}=\frac{\frac{p_1V}{T_1}}{\frac{p_2V}{T_2}}$

第（ⅰ）问 $p_1=p_2$，密度之比等于温度的反比，求解即可。

第（ⅱ）问 $T_2=T_3$，密度之比等于压强之比，求解即可。

【解题过程】

（ⅰ）对原舱内所有气体，气体做等压变化。

$T_1=(17+273)\ \mathrm{K}=290\ \mathrm{K}$，$T_2=(27+273)\ \mathrm{K}=300\ \mathrm{K}$

由盖-吕萨克定律得 $\frac{V_2}{T_2}=\frac{V_1}{T_1}$ ①

由 $\rho=\frac{m}{V}$ 可得 $\frac{\rho_1}{\rho_2}=\frac{\frac{m}{V_1}}{\frac{m}{V_2}}=\frac{V_2}{V_1}=\frac{T_2}{T_1}$ ②

解得 $\rho_2=\frac{29}{30}\rho_1=1.41\ \mathrm{kg/m^3}$。 ③

（ⅱ）对降低舱内压强前舱内剩余气体，气体做等温变化。

$p_2=1.2p_0$，$p_3=p_0$

由玻意耳定律得 $p_2V_1=p_3V_3$ ④

由 $\rho=\frac{m}{V}$ 可得 $\frac{\rho_2}{\rho_3}=\frac{\frac{m_1}{V_1}}{\frac{m_1}{V_3}}=\frac{V_3}{V_1}=\frac{p_2}{p_3}$ ⑤

解得 $\rho_3=1.18\ \mathrm{kg/m^3}$。 ⑥

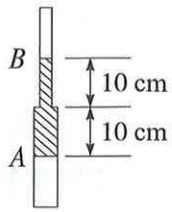
评分参考：①②④⑤各 2 分，③⑥各 1 分。

【答案】（ⅰ）$1.41\ \mathrm{kg/m^3}$　（ⅱ）$1.18\ \mathrm{kg/m^3}$

【失分剖析】没有正确选择研究对象，导致无法利用气体实验定律列方程求解。

2.［2023 全国乙卷，33(2)］如图所示，竖直放置的封闭玻璃管由管径不同、长度均为 20 cm 的 A、B 两段细管组成，A 管的内径是 B 管的 2 倍，B 管在上方。管内空气被一段水银柱隔开。

水银柱在两管中的长度均为 10 cm。现将玻璃管倒置使 A 管在上方，平衡后，A 管内的空气柱长度改变 1 cm。求 B 管在上方时，玻璃管内两部分气体的压强相当于多少厘米高度的水银柱的压强。（气体温度保持不变）



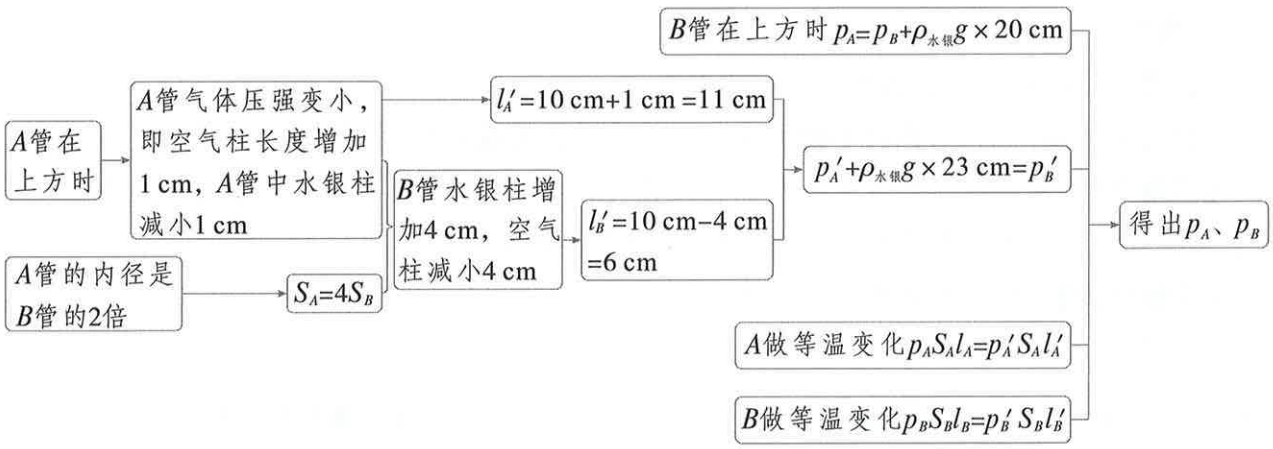
【试题立意】本题以封闭玻璃管内气体状态变化为素材，创设了解决关联气体问题的学习探索问题情境。此情境在 2017 年海南卷第 15 题曾出现过，主要考查了气体实验定律、共点力平衡等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	气体温度保持不变	A、B 两部分气体分别做等温变化 $p_AS_Al_A=p_A'S_Al_A'$ $p_BS_Bl_B=p_B'S_Bl_B'$
2	A 管的内径是 B 管的 2 倍 平衡后，A 管内的空气柱长度改变 1 cm	$S_A=4S_B$ 倒置后 A 管气体压强变小，即空气柱长度增加 1 cm，A 管中水银柱减小 1 cm，A 管的内径是 B 管的 2 倍，可知 B 管水银柱增加 4 cm，空气柱减小 4 cm

(2)推理论证能力



【解题过程】

设 B 管在上方时上部分气压为 p_B，下部分气压为 p_A，此时有 $p_A=p_B+\rho_{水银}g\times20\ cm$ ①

倒置后 A 管气体压强变小，即空气柱长度增加 1 cm，A 管中水银柱减小 1 cm，A 管的内径是 B 管的 2 倍，则 $S_A=4S_B$ ②

可知 B 管水银柱增加 4 cm，空气柱减小 4 cm；设此时两管中气体的压强分别为 p_A'、p_B'，所以有 $p_A'+\rho_{水银}g\times23\ cm=p_B'$ ③

倒置前后温度不变，根据玻意耳定律，对 A 管有 $p_AS_Al_A=p_A'S_Al_A'$ ④

对 B 管有 $p_BS_Bl_B=p_B'S_Bl_B'$ ⑤

其中 $l_A'=10\ cm+1\ cm=11\ cm$，$l_B'=10\ cm-4\ cm=6\ cm$ ⑥

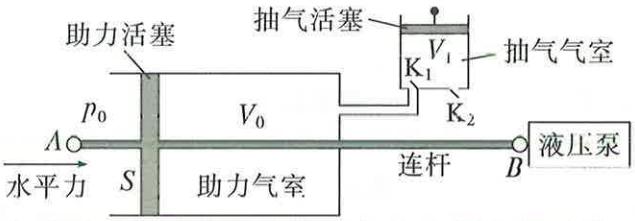
联立以上各式解得，p_A 相当于 74.36 cm 高度的水银柱的压强，p_B 相当于 54.36 cm 高度的水银柱的压强。 ⑦

评分参考：③⑥⑦各 2 分，其他各 1 分。

【答案】A 部分相当于 74.36 cm 高度的水银柱的压强，B 部分相当于 54.36 cm 高度的水银柱的压强

【失分剖析】①没有根据两管的内径关系找出正确的气体体积变化关系；②没有得出正确的压强关系。

3.（2023 湖南卷，13）汽车刹车助力装置能有效为驾驶员踩刹车省力。如图所示，刹车助力装置可简化为助力气室和抽气气室等部分构成，连杆 AB 与助力活塞固定为一体，驾驶员踩刹车时，在连杆 AB 上施加水平力推动液压泵实现刹车。助力气室与抽气气室用细管连接，通过抽气降低助力气室压强，利用大气压与助力气室的压强差实现刹车助力。每次抽气时，K_1 打开，K_2 闭合，抽气活塞在外力作用下从抽气气室最下端向上运动，助力气室中的气体充满抽气气室，达到两气室压强相等；然后，K_1 闭合，K_2 打开，抽气活塞向下运动，抽气气室中的全部气体从 K_2 排出，完成一次抽气过程。已知助力气室容积为 V_0，初始压强等于外部大气压强 p_0，助力活塞横截面积为 S，抽气气室的容积为 V_1。假设抽气过程中，助力活塞保持不动，气体可视为理想气体，温度保持不变。



（1）求第 1 次抽气之后助力气室内的压强 p_1。

（2）第 n 次抽气后，求该刹车助力装置为驾驶员省力的大小 ΔF。

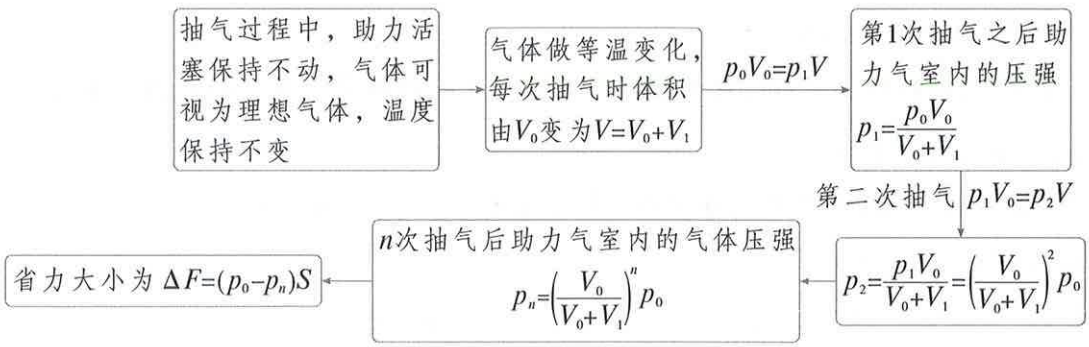
【试题立意】本题以汽车刹车助力装置为素材，创设了解决理想气体状态变化问题的学习探索问题情境。主要考查了气体实验定律、共点力平衡等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

（1）理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	假设抽气过程中，助力活塞保持不动，气体可视为理想气体，温度保持不变	气体做等温变化 每次抽气时体积由 V_0 变为 $V=V_0+V_1$
2	通过抽气降低助力气室压强，利用大气压与助力气室的压强差实现刹车助力	省力的大小 $\Delta F=(p_0-p_n)S$

（2）推理论证能力



【解题过程】

(1)以助力气室内的气体为研究对象，则初态压强为 p_0，体积为 V_0，第一次抽气后，气体体积 $V=V_0+V_1$ ①

根据玻意耳定律得 $p_0V_0=p_1V$ ②

解得 $p_1=\dfrac{V_0}{V_0+V_1}p_0$。 ③

(2)同理第二次抽气有 $p_1V_0=p_2V$ ④

解得 $p_2=\dfrac{p_1V_0}{V_0+V_1}=\left(\dfrac{V_0}{V_0+V_1}\right)^2p_0$ ⑤

以此类推……

则当第 n 次抽气后助力气室内的气体压强 $p_n=\left(\dfrac{V_0}{V_0+V_1}\right)^np_0$ ⑥

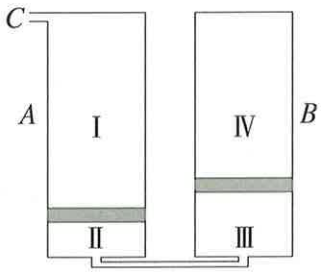
则刹车助力系统为驾驶员省力的大小为 $\Delta F=(p_0-p_n)S=\left[1-\left(\dfrac{V_0}{V_0+V_1}\right)^n\right]p_0S$。 ⑦

评分参考：⑤⑥⑦各 2 分，其他各 1 分。

【答案】(1)$\dfrac{V_0}{V_0+V_1}p_0$　(2)$\left[1-\left(\dfrac{V_0}{V_0+V_1}\right)^n\right]p_0S$

【失分剖析】①没有分析出气体做等温变化；②没有推理归纳出第 n 次抽气后助力气室内的气体压强。

4.[2022 全国甲卷，33(2)]如图所示，容积均为 V_0、缸壁可导热的 A、B 两汽缸放置在压强为 p_0、温度为 T_0 的环境中；两汽缸的底部通过细管连通，A 汽缸的顶部通过开口 C 与外界相通；汽缸内的两活塞将缸内气体分成Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四部分，其中第Ⅱ、Ⅲ部分的体积分别为 $\dfrac{1}{8}V_0$ 和 $\dfrac{1}{4}V_0$。环境压强保持不变，不计活塞的质量和体积，忽略摩擦。



(ⅰ)将环境温度缓慢升高，求 B 汽缸中的活塞刚到达汽缸底部时的温度。

(ⅱ)将环境温度缓慢改变至 $2T_0$，然后用气泵从开口 C 向汽缸内缓慢注入气体，求 A 汽缸中的活塞到达汽缸底部后，B 汽缸内第Ⅳ部分气体的压强。

【试题立意】本题以两个相连通的汽缸为素材，创设了求解气体温度和压强的学习探索问题情境。此情境在 2017 年全国Ⅰ卷第 33 题第(2)问曾出现过。主要考查气体实验定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

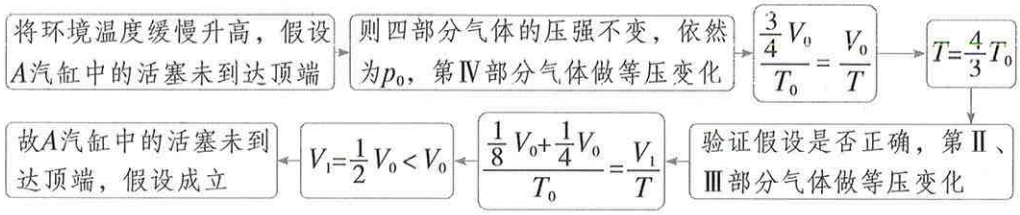
序号	关键表述	物理量及其关系
1	缸壁可导热的 A、B 两汽缸	封闭气体的温度与外界温度相同

续表

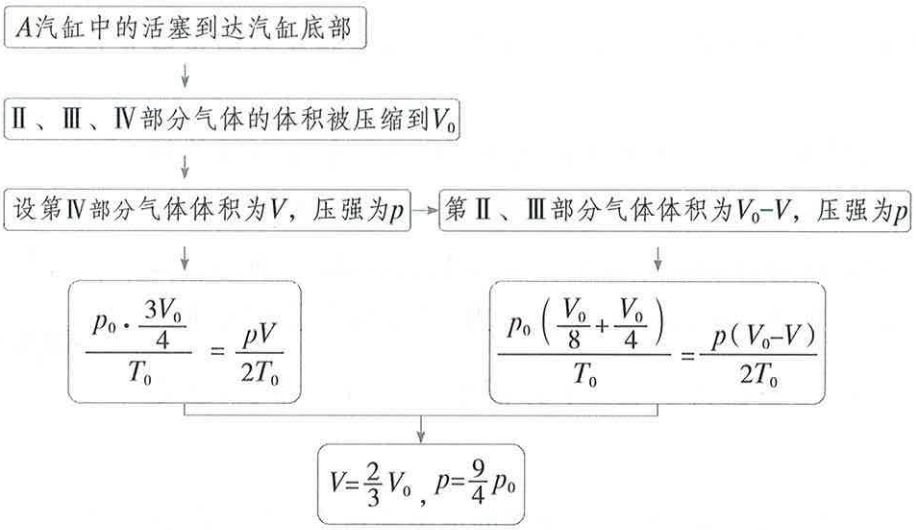
序号	关键表述	物理量及其关系
2	两汽缸的底部通过细管连通，A 汽缸的顶部通过开口 C 与外界相通，不计活塞的质量和体积，忽略摩擦	初始状态下，Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四部分气体压强相等，都为大气压 p_0
3	将环境温度缓慢升高，B 汽缸中的活塞刚到达汽缸底部	假设 A 汽缸中的活塞未到达顶端，则Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ四部分气体的压强都为 p_0
4	用气泵从开口 C 向汽缸内缓慢注入气体，A 汽缸中的活塞到达汽缸底部	此时Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ部分气体的总体积为 V_0，第Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ部分气体的压强相等

(2)推理论证能力

第(ⅰ)问：



第(ⅱ)问：



【解题过程】(ⅰ)因两活塞的质量不计，则当环境温度升高且 A 汽缸中的活塞未到达顶端时，第Ⅳ部分气体压强总等于大气压强，所以该气体发生等压变化。

当 B 中的活塞刚到达汽缸底部时，假设 A 汽缸中的活塞未到达顶端，由盖-吕萨克定律可得 $\frac{\frac{3}{4}V_0}{T_0}=\frac{V_0}{T}$ ①

解得 $T=\frac{4}{3}T_0$ ②

对假设进行验证，第Ⅱ、Ⅲ部分气体做等压变化，由盖-吕萨克定律可得 $\frac{\frac{1}{8}V_0+\frac{1}{4}V_0}{T_0}=\frac{V_1}{T}$ ③

解得 $V_1=\frac{1}{2}V_0<V_0$，故 A 汽缸中的活塞未到达顶端，假设成立。　④

（ⅱ）设当 A 中的活塞到达汽缸底部时，第Ⅳ部分气体的压强为 p、体积为 V，则此时第Ⅱ、Ⅲ部分气体的压强为 p、体积为 V_0-V

对第Ⅳ部分气体 $\frac{p_0\cdot\frac{3V_0}{4}}{T_0}=\frac{pV}{2T_0}$　⑤

对第Ⅱ、Ⅲ部分气体 $\frac{p_0\left(\frac{V_0}{8}+\frac{V_0}{4}\right)}{T_0}=\frac{p(V_0-V)}{2T_0}$　⑥

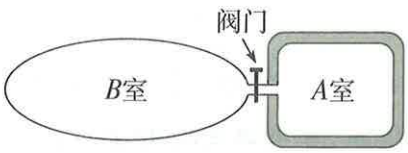
联立解得 $V=\frac{2}{3}V_0$，$p=\frac{9}{4}p_0$。　⑦

评分参考：①⑤⑥各 2 分，其他各 1 分。

【答案】（ⅰ）$\frac{4}{3}T_0$　（ⅱ）$\frac{9}{4}p_0$

【失分剖析】①第（ⅰ）问中，不能正确分析第Ⅳ部分气体经历等压膨胀过程；②第（ⅱ）问中，不能准确找到气体之间压强的关系。

5.（2022 山东卷，15）某些鱼类通过调节体内鱼鳔的体积实现浮沉。如图所示，鱼鳔结构可简化为通过阀门相连的 A、B 两个密闭气室，A 室壁厚，可认为体积恒定，B 室壁薄，体积可变；



两室内气体视为理想气体，可通过阀门进行交换。质量为 $m_{鱼}$ 的鱼静止在水面下 H 处，B 室内气体体积为 V，质量为 m；设 B 室内气体压强与鱼体外压强相等，鱼体积的变化与 B 室气体体积的变化相等，鱼的质量不变，鱼鳔内气体温度不变，水的密度为 ρ，重力加速度为 g，大气压强为 p_0。

（1）鱼通过增加 B 室体积获得大小为 a 的加速度，求需从 A 室充入 B 室的气体质量 Δm。

（2）求鱼静止于水面下 H_1 处时，B 室内气体质量 m_1。

【试题立意】本题以鱼类的浮沉为素材，创设了求解气体质量的学习探索问题情境。主要考查了浮力、共点力的平衡、牛顿第二定律、气体实验定律、克拉伯龙方程等知识点。

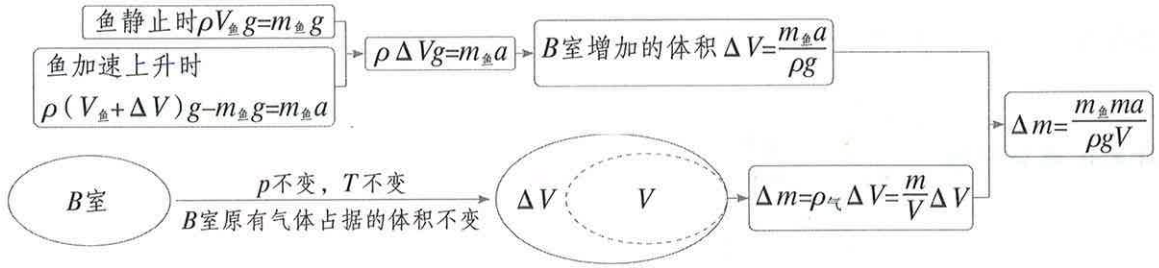
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

（1）理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	鱼静止在水中	受力平衡 $F_{浮}=m_{鱼}g$
2	鱼获得大小为 a 的加速度	牛顿第二定律 $F_{合}=m_{鱼}a$
3	B 室内气体压强与鱼体外压强相等	B 室气体压强 $p=\rho gH+p_0$
4	鱼在不同的深度静止	由于鱼的质量不变，所以在不同的深度处都满足 $\rho V_{鱼}g=m_{鱼}g$，所以鱼的体积不变，B 室体积也不变

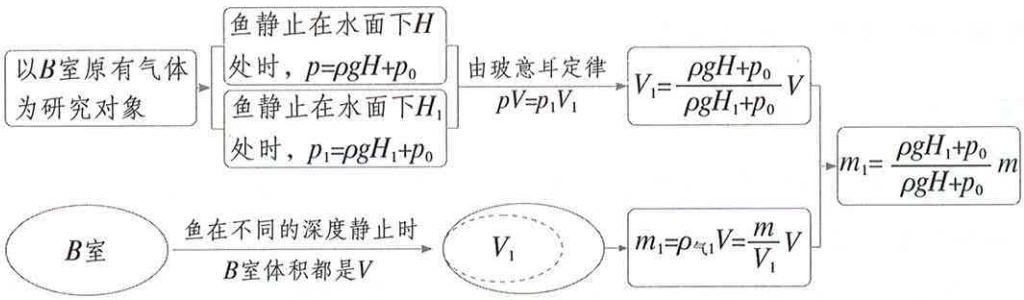
(2)推理论证能力

第(1)问：

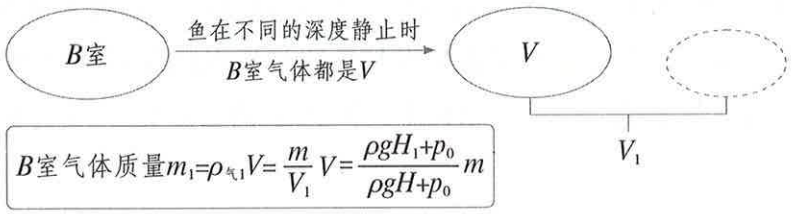


第(2)问：

①基于一定质量的理想气体进行推理

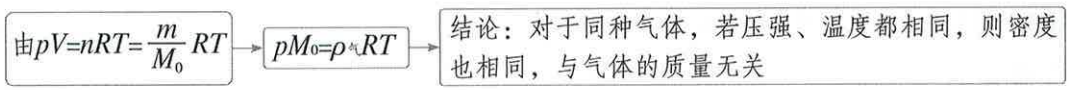


上面的示意图画的是鱼的深度变大，会有一部分气体进入 B 室，从而使 B 室原有气体被压缩，如果鱼的深度变小，B 室气体就会排出一部分，示意图如下：

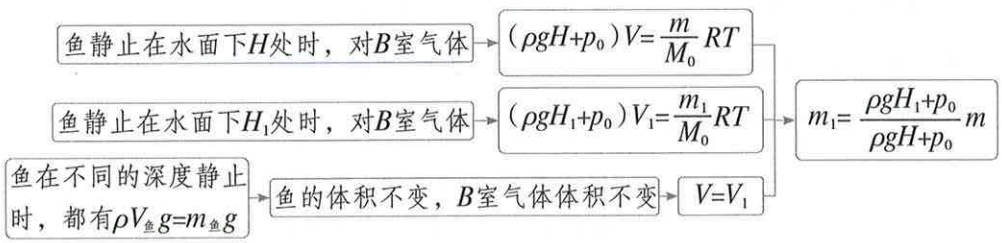


结果是一样的。

注：在第(1)问和第(2)问第一种解法中用到“同种气体、相同温度、相同压强条件下密度相等”的关系，是来自克拉伯龙方程，推理如下：



②直接基于“克拉伯龙方程 $pV=nRT$”进行推理



【解题过程】(1)由题知,开始时鱼静止在水面下 H 处,设此时鱼的体积为 $V_{鱼}$,有 $\rho V_{鱼} g = m_{鱼} g$ ①

鱼的加速度为 a 时,有 $\rho(V_{鱼}+\Delta V)g - m_{鱼} g = m_{鱼} a$ ②

可得 $\Delta V = \dfrac{m_{鱼} a}{\rho g}$

设需从 A 室充入 B 室的气体质量为 Δm,则 $\Delta m = \rho_{气}\Delta V$ ③

代入得 $\Delta m = \rho_{气}\Delta V = \dfrac{m}{V}\Delta V = \dfrac{m_{鱼} ma}{\rho g V}$。 ④

(2)鱼静止在水面下 H 处时,B 室内的压强为 $p = \rho g H + p_0$

鱼静止在水面下 H_1 处时,B 室内的压强为 $p_1 = \rho g H_1 + p_0$

以 B 室内原有气体为研究对象,由玻意耳定律得 $pV = p_1 V_1$ ⑤

得 $V_1 = \dfrac{\rho g H + p_0}{\rho g H_1 + p_0} V$

则 B 室现有气体质量 $m_1 = \rho_{气1} V = \dfrac{m}{V_1} V$ ⑥

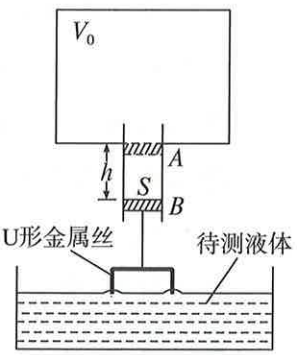
解得 $m_1 = \dfrac{\rho g H_1 + p_0}{\rho g H + p_0} m$。 ⑦

评分参考:①~⑦各 1 分。

【答案】(1)$\dfrac{m_{鱼} ma}{\rho g V}$　(2)$\dfrac{\rho g H_1 + p_0}{\rho g H + p_0} m$

【失分剖析】①不会求 B 室中气体的密度;②不能灵活地选取研究对象,把变质量问题转化为定质量问题。

6.[2022 湖南卷,15(2)]如图,小赞同学设计了一个液体拉力测量仪。一个容积 $V_0 = 9.9$ L 的导热汽缸下接一圆管,用质量 $m_1 = 90$ g、横截面积 $S = 10$ cm^2 的活塞封闭一定质量的理想气体,活塞与圆管壁间摩擦不计。活塞下端用轻质细绳悬挂一质量 $m_2 = 10$ g 的 U 形金属丝,活塞刚好处于 A 位置。将金属丝部分浸入待测液体中,缓慢升起汽缸,使金属丝从液体中拉出,活塞在圆管中的最低位置为 B。已知 A、B 间距离 $h = 10$ cm,外界大气压强 $p_0 = 1.01\times10^5$ Pa,重力加速度 g 取 10 m/s^2,环境温度保持不变。



(ⅰ)求活塞处于 A 位置时,汽缸中的气体压强 p_1。

(ⅱ)求活塞处于 B 位置时,液体对金属丝拉力 F 的大小。

【试题立意】本题以液体拉力测量仪为素材,创设了求解气体压强以及液体拉力的生活实践问题情境。主要考查共点力的平衡、气体实验定律等知识点。

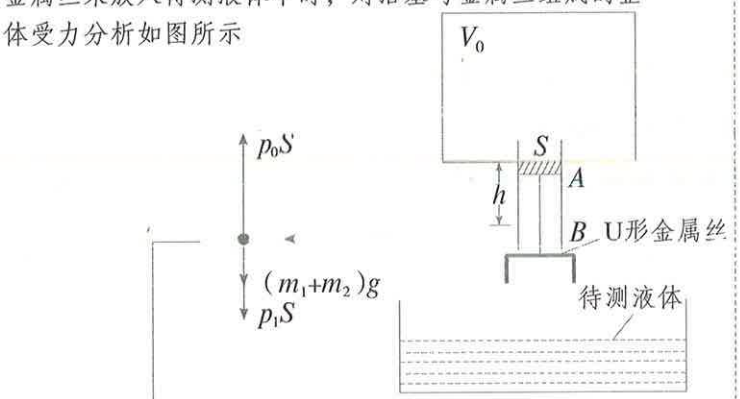
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

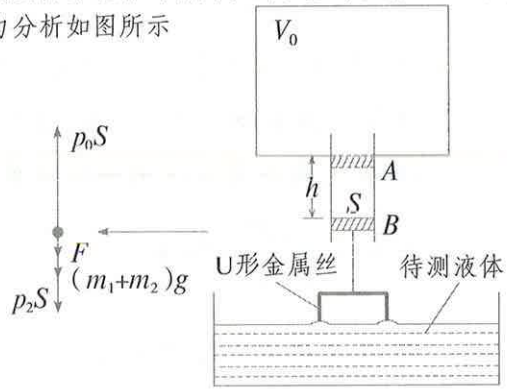
序号	关键表述	物理量及其关系
1	活塞刚好处于 A 位置，缓慢升起汽缸，活塞在圆管中的最低位置为 B	活塞和金属丝处于平衡状态，所受合外力为零
2	导热汽缸，环境温度保持不变	封闭气体做等温变化

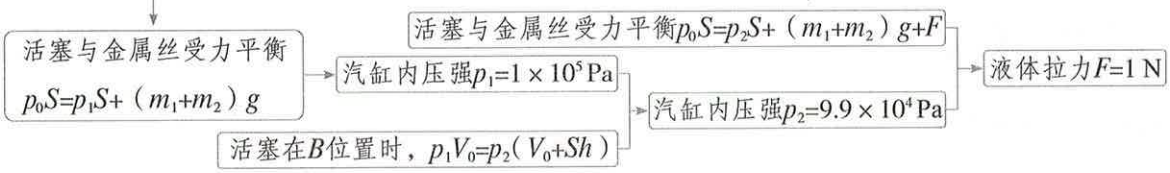
(2)推理论证能力

金属丝未放入待测液体中时，对活塞与金属丝组成的整体受力分析如图所示



金属丝刚要离开液体的瞬间，对活塞与金属丝组成的整体受力分析如图所示





【解题过程】(ⅰ)将活塞与金属丝视为整体，当活塞处于 A 位置时，由受力平衡得

$p_0S=p_1S+(m_1+m_2)g$ ①

代入数据，解得 $p_1=1\times10^5$ Pa。 ②

(ⅱ)当活塞在 B 位置时，设汽缸内压强为 p_2，由玻意耳定律得

$p_1V_0=p_2(V_0+Sh)$ ③

代入数据，解得 $p_2=9.9\times10^4$ Pa

将活塞与金属丝视为整体，由受力平衡得

$p_0S=p_2S+(m_1+m_2)g+F$ ④

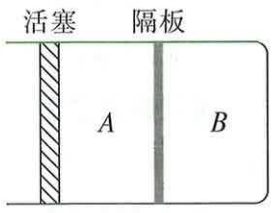
代入数据，解得 $F=1$ N。 ⑤

评分参考：①③④各 2 分，②⑤各 1 分。

【答案】(ⅰ)1×10^5 Pa　(ⅱ)1 N

【失分剖析】不能灵活地选择研究对象进行受力分析、列平衡方程。

7.[2021 全国甲卷，33(2)]如图，一汽缸中由活塞封闭有一定量的理想气体，中间的隔板将气体分为 A、B 两部分；初始时，A、B 的体积均为 V，压强均等于大气压 p_0。隔板上装有压强传感器和控制装置，当隔板两边压强差超过 $0.5p_0$ 时隔板就会滑动，否则隔板停止运动。气体温度始终保持不变。向右缓慢推动活塞，使 B 的体积减小为 $\frac{V}{2}$。



（ⅰ）求 A 的体积和 B 的压强。

（ⅱ）再使活塞向左缓慢回到初始位置，求此时 A 的体积和 B 的压强。

【试题立意】本题以带有可移动隔板的汽缸为素材，创设求解气体体积和压强的学习探索问题情境。主要考查气体实验定律、共点力的平衡等知识点。

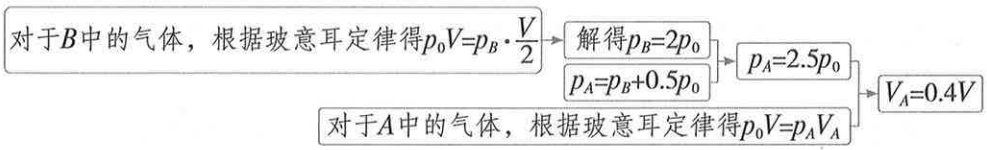
【关键能力】本题主要考查考生的理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

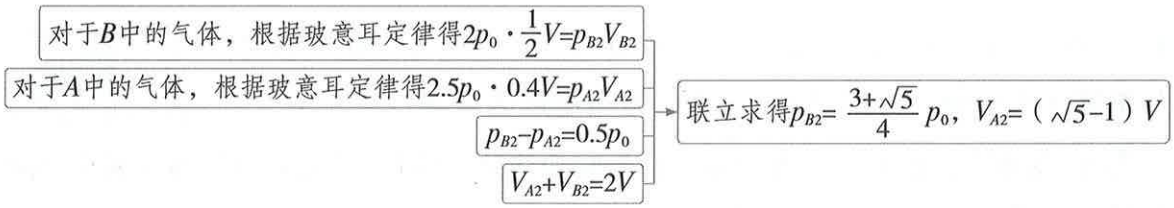
序号	关键表述	物理量及其关系
1	气体温度始终保持不变	A、B 两部分气体发生等温变化
2	当隔板两边压强差超过 $0.5p_0$ 时隔板就会滑动，否则隔板停止运动	隔板停止运动时，A、B 气体压强满足关系为 $p_A=p_B\pm0.5p_0$
3	再使活塞向左缓慢回到初始位置	隔板向左移动，停止时，$p_{B2}-p_{A2}=0.5p_0$，A、B 体积之和仍为 $2V$

(2)推理论证能力

第（ⅰ）问：



第（ⅱ）问：



【解题过程】（ⅰ）对于 B 中的气体，根据玻意耳定律得 $p_0V=p_B\cdot\dfrac{V}{2}$ ①

解得 $p_B=2p_0$

对于 A 中的气体，根据玻意耳定律得 $p_0V=p_AV_A$ ②

又 $p_A=p_B+0.5p_0=2.5p_0$ ③

解得 $V_A=0.4V$。 ④

（ⅱ）使活塞向左缓慢回到初始位置，对于 B 中的气体，根据玻意耳定律得

$2p_0\cdot\dfrac{1}{2}V=p_{B2}V_{B2}$ ⑤

对于 A 中的气体，根据玻意耳定律得 $2.5p_0\cdot0.4V=p_{A2}V_{A2}$ ⑥

又 $V_{A2}+V_{B2}=2V$ ⑦

$p_{B2}-p_{A2}=0.5p_0$ ⑧

联立求得 $p_{B2}=\dfrac{3+\sqrt{5}}{4}p_0$ ⑨

$V_{A2}=(\sqrt{5}-1)V$。 ⑩

评分参考:①～⑩各 1 分。

【答案】(ⅰ)0.4V　2p_0　(ⅱ)$(\sqrt{5}-1)V$　$\frac{3+\sqrt{5}}{4}p_0$

【失分剖析】①对隔板移动的条件理解不透彻,无法得出末状态两边压强差为 0.5p_0 的关系;②对题目条件挖掘较浅,不知道活塞回到原位置时,两者体积之和为 2V。

方法点拨

(1)利用受力平衡求解气体的压强或者两部分气体的压强关系。

(2)"变质量"问题,合理选择研究对象,变"变质量"问题为"定质量"问题。此类问题也可以使用克拉伯龙方程解决。

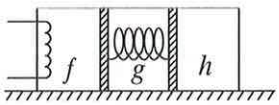
(3)关联气体问题,每部分气体各自列气体状态方程,再联系两部分气体的压强关系和体积关系列方程求解。

题组二　热力学定律与气体实验定律的综合应用

本题组主要涉及气体状态变化中的吸放热、做功和内能变化问题,主要考查方式为气体状态变化与热力学定律相结合。

解决本题组的主要方法为利用气体实验定律求解或判断气体状态参量的变化,结合热力学第一定律 $\Delta U=W+Q$ 进行吸放热、做功和内能变化的判断。

8.(多选)(2023 全国新课标卷,21)如图所示,一封闭着理想气体的绝热汽缸置于水平地面上,用轻弹簧连接的两绝热活塞将汽缸分为 f、g、h 三部分,活塞与汽缸壁间没有摩擦。初始时弹簧处于原长,三部分中气体的温度、体积、压强均相等。现通过电阻丝对 f 中的气体缓慢加热,停止加热并达到稳定后(　　)



A. h 中的气体内能增加　　B. f 与 g 中的气体温度相等

C. f 与 h 中的气体温度相等　　D. f 与 h 中的气体压强相等

【试题立意】本题以绝热汽缸中的三部分关联气体为素材,创设了判断气体状态参量变化的学习探索问题情境。此情境在 2014 年全国Ⅱ卷第 33 题曾出现过。主要考查理想气体状态方程、热力学第一定律等知识点。

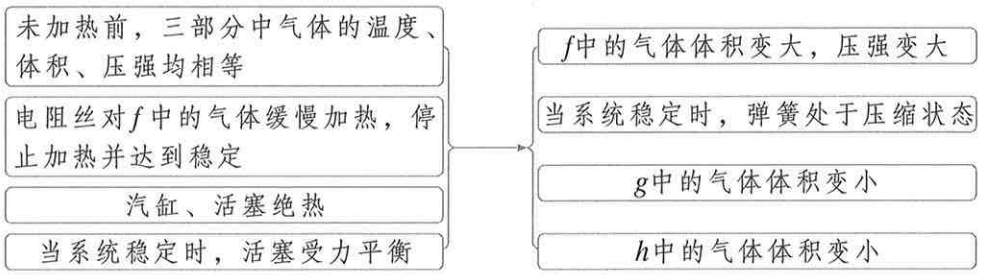
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	概念、规律	理解应用
1	绝热汽缸,绝热活塞	气体与外界没有热交换,内能的变化取决于做功情况
2	理想气体	不计分子势能,一定质量理想气体的内能只与温度有关
3	活塞与汽缸壁间没有摩擦	活塞在气体压力和弹簧弹力作用下受力平衡

(2)推理论证能力

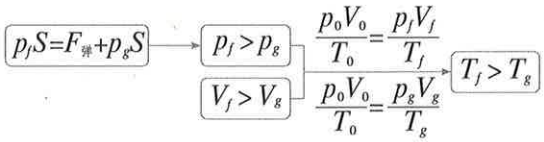
初、末状态判断：



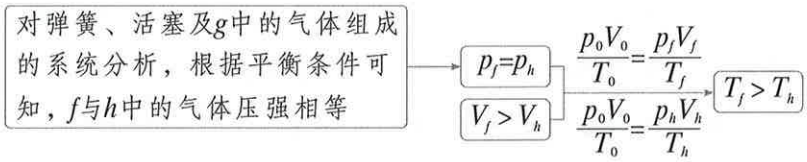
A项：



B项：



C、D项：



【答案】AD

【失分剖析】没有分析判断出最终达到稳定状态时三部分气体的体积及压强的变化。

9.[2023全国甲卷,33(1)]在一汽缸中用活塞封闭着一定量的理想气体,发生下列缓慢变化过程,气体一定与外界有热量交换的过程是_____。(填正确答案标号)

A.气体的体积不变,温度升高

B.气体的体积减小,温度降低

C.气体的体积减小,温度升高

D.气体的体积增大,温度不变

E.气体的体积增大,温度降低

【试题立意】本题以理想气体状态变化为素材,创设了研究与气体内能相关物理量变化情况的学习探索问题情境。此情境在2021年天津卷第6题曾出现过。主要考查热力学第一定律。

【关键能力】本题主要考查理解能力。

序号	概念、规律	理解应用
1	热力学第一定律	$\Delta U=W+Q$
2	内能的增量ΔU	一定质量的理想气体的内能取决于温度,温度升高内能变大,ΔU大于0;温度降低内能减小,ΔU小于0

续表

序号	概念、规律	理解应用
3	外界对气体做的功 W	做功情况看气体体积的变化，体积变大对外做功，W 小于 0；体积减小外界对气体做功，W 大于 0
4	气体吸收的热量 Q	利用 $\Delta U=W+Q$，结合内能变化和做功情况得出 Q 的正负来判断吸热还是放热，Q 为正，吸热；Q 为负，放热

【答案】ABD

【失分剖析】①不知道一定质量的理想气体的内能取决于气体的温度；②对热力学第一定律掌握不熟练，不会判断气体对外界做功的情况。

10. [2023 全国乙卷，33(1)]对于一定量的理想气体，经过下列过程，其初始状态的内能与末状态的内能可能相等的是_____。(填正确答案标号)

A. 等温增压后再等温膨胀

B. 等压膨胀后再等温压缩

C. 等容减压后再等压膨胀

D. 等容增压后再等压压缩

E. 等容增压后再等温膨胀

【试题立意】本题以理想气体状态变化为素材，创设了研究与气体内能相关物理量变化情况的学习探索问题情境。主要考查理想气体状态方程、内能等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	概念、规律	理解应用
1	理想气体的内能	一定质量的理想气体的内能取决于温度，初、末状态内能是否相等看温度是否相等即可
2	理想气体状态方程	$\frac{pV}{T}=C$

(2)推理论证能力

序号	项目	推理论证过程
1	A	等温增压和等温膨胀过程温度均保持不变，内能不变，故 A 项正确
2	B	根据理想气体状态方程可知等压膨胀后气体温度升高，内能增大；等温压缩温度不变，内能不变，所以末状态与初始状态相比内能增加，故 B 项错误
3	C	等容减压过程温度降低，等压膨胀过程温度升高，末状态的温度有可能和初状态的温度相等，内能可能相等，故 C 项正确
4	D	等容增压过程温度升高，等压压缩过程温度降低，末状态的温度有可能和初状态的温度相等，内能可能相等，故 D 项正确
5	E	等容增压过程温度升高，等温膨胀过程温度不变，所以末状态的内能大于初状态的内能，故 E 项错误

【答案】ACD

【失分剖析】①不知道一定质量的理想气体的内能取决于气体的温度；②对理想气体状态方程掌握不熟练，不会判断气体温度变化情况。

11.（多选）(2023 山东卷，9)一定质量的理想气体，初始温度为 300 K，压强为 1×10^5 Pa。经等容过程，该气体吸收 400 J 的热量后温度上升 100 K；若经等压过程，需要吸收 600 J 的热量才能使气体温度上升 100 K。下列说法正确的是(　　)

A. 初始状态下，气体的体积为 6 L　　B. 等压过程中，气体对外做功 400 J

C. 等压过程中，气体体积增加了原体积的$\frac{1}{4}$　　D. 两个过程中，气体的内能增加量都为 400 J

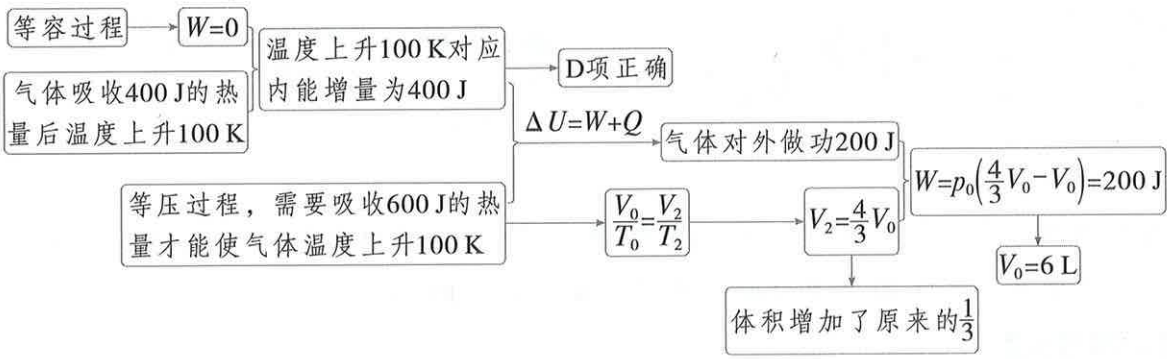
【试题立意】本题以气体状态变化中的吸热情况为素材，创设了求解气体状态参量以及状态变化中对外做功等问题的学习探索问题情境。主要考查了热力学第一定律、气体实验定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	经等容过程，该气体吸收 400 J 的热量后温度上升 100 K	温度升高 100 K，内能的增量为 400 J
2	经等压过程，需要吸收 600 J 的热量才能使气体温度上升 100 K	内能的增量为 400 J，所以该过程对外做功 200 J

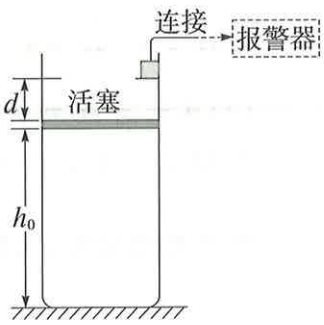
(2)推理论证能力



【答案】AD

【失分剖析】①不知道一定质量的理想气体的内能取决于气体的温度；②不会利用等压过程中 $W=p\Delta V$ 求解气体对外做功。

12.(2023.1 浙江卷，17)某探究小组设计了一个报警装置，其原理如图所示。在竖直放置的圆柱形容器内用面积 $S=100\ \text{cm}^2$、质量 $m=1\ \text{kg}$ 的活塞密封一定质量的理想气体，活塞能无摩擦滑动。开始时气体处于温度 $T_A=300\ \text{K}$、活塞与容器底的距离 $h_0=30\ \text{cm}$ 的状态 A。环境温度升高时容器内气体被加热，活塞缓慢上升 $d=3\ \text{cm}$ 恰好到达容器内的卡口处，此时气体达到状态 B。活塞保持不动，气体被继续加热至温度 $T_C=363\ \text{K}$ 的状态 C 时触动报警器。从状态 A 到状态 C 的过程中气体内能



增加了 $\Delta U=158\ \mathrm{J}$。取大气压 $p_0=0.99\times10^5\ \mathrm{Pa}$，$g$ 取 $10\ \mathrm{m/s^2}$。

(1)求气体在状态 B 的温度。

(2)求气体在状态 C 的压强。

(3)求气体由状态 A 到状态 C 过程中从外界吸收的热量 Q。

【试题立意】本题以报警装置为素材，创设了解决理想气体状态变化问题的学习探索问题情境。此情境在2018年全国Ⅱ卷第33题曾出现过。主要考查了气体实验定律、共点力平衡、热力学第一定律等知识点。

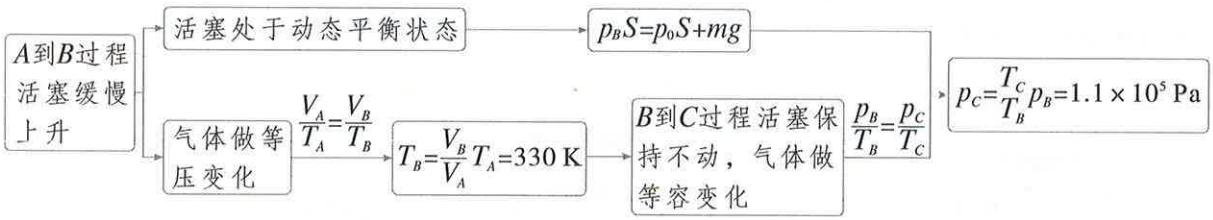
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	环境温度升高时容器内气体被加热，活塞缓慢上升 $d=3\ \mathrm{cm}$ 恰好到达容器内的卡口处，此时气体达到状态 B	气体做等压变化 $\frac{V_A}{T_A}=\frac{V_B}{T_B}$
2	气体达到状态 B。活塞保持不动，气体被继续加热至温度 $T_C=363\ \mathrm{K}$ 的状态 C 时触动报警器	气体做等容变化 $\frac{p_B}{T_B}=\frac{p_C}{T_C}$

(2)推理论证能力

第(1)(2)问：



第(3)问：

A 到 B 过程气体做等压变化，体积变大，外界对气体做的功为 $W=-p_B\Delta V=-30\ \mathrm{J}$，由热力学第一定律 $\Delta U=W+Q$ 可得 $Q=\Delta U-W=188\ \mathrm{J}$。

【解题过程】

(1)根据题意可知，气体由状态 A 变化到状态 B 的过程中，封闭气体的压强不变，则有

$$\frac{V_A}{T_A}=\frac{V_B}{T_B} \quad ①$$

解得 $T_B=\frac{V_B}{V_A}T_A=330\ \mathrm{K}$。 ②

(2)从状态 A 到状态 B 的过程中，活塞缓慢上升，则 $p_BS=p_0S+mg$ ③

解得 $p_B=1\times10^5\ \mathrm{Pa}$

根据题意可知，气体由状态 B 变化到状态 C 的过程中，气体的体积不变，则有 $\frac{p_B}{T_B}=\frac{p_C}{T_C}$ ④

解得 $p_C=\frac{T_C}{T_B}p_B=1.1\times10^5\ \mathrm{Pa}$。 ⑤

(3)根据题意可知,从状态 A 到状态 C 的过程中外界对气体做功为 $W=-p_B Sd=-30$ J　⑥

由热力学第一定律有 $\Delta U=W+Q$　⑦

解得 $Q=\Delta U-W=188$ J。　⑧

评分参考:①~⑧各 1 分。

【答案】(1)330 K　(2)1.1×10^5 Pa　(3)188 J

【失分剖析】①没有分析出两个过程气体分别做何种变化;②不知道等压变化中气体做的功可用 $W=p\Delta V$ 求解;③应用热力学第一定律时,气体做功的正负号弄错。

13. [2022 全国甲卷,33(1)]一定量的理想气体从状态 a 变化到状态 b,其过程如 $p-T$ 图上从 a 到 b 的线段所示。在此过程中_____。(填正确答案标号)

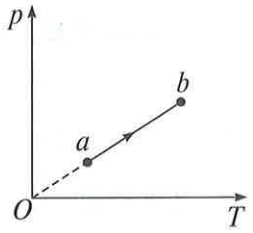
A. 气体一直对外做功

B. 气体的内能一直增加

C. 气体一直从外界吸热

D. 气体吸收的热量等于其对外做的功

E. 气体吸收的热量等于其内能的增加量



【试题立意】本题以理想气体的 $p-T$ 图像为素材,创设了研究气体内能、热量等物理量的学习探索问题情境。类似情境在教材中有体现,如鲁科版教材选择性必修第三册第 25 页图 1-27,如图。高考题中此情境曾在 2022 全国乙卷第 33 题出现过。本题主要考查气体实验定律、热力学第一定律、理想气体等知识点。

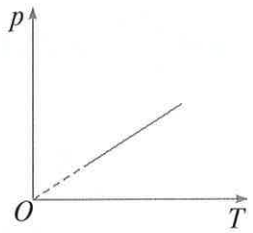


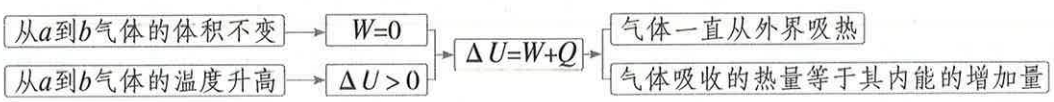
图 1-27　$p-T$ 图像

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	图像信息	物理量及其关系
1	$p-T$ 图上,线段 ab 的延长线过原点 O	由 $\frac{pV}{T}=C$ 可知,从 a 到 b 气体的体积不变,则从 a 到 b 气体不对外做功,A 项错误
2	从 a 到 b 气体温度升高	一定质量的理想气体的内能只与温度有关,温度升高,内能增加,B 项正确

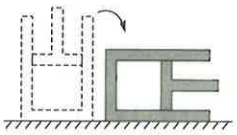
(2)推理论证能力



【答案】BCE

【失分剖析】①不知道 $p-T$ 图像中过原点的直线是等容线;②不能熟练应用热力学第一定律和理想气体内能的特点判断吸、放热和做功正、负的问题。

14.(2022 山东卷,5)如图所示,内壁光滑的绝热汽缸内用绝热活塞封闭一定质量的理想气体,初始时汽缸开口向上放置,活塞处于静止状态,将汽缸缓慢转动 90°过程中,缸内气体 (　　)



A. 内能增加,外界对气体做正功

B. 内能减小,所有分子热运动速率都减小

C. 温度降低,速率大的分子数占总分子数比例减少

D. 温度升高,速率大的分子数占总分子数比例增加

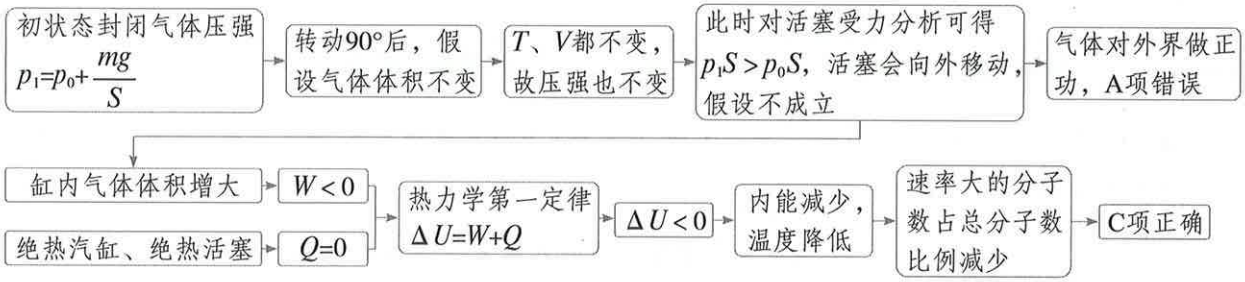
【试题立意】本题以绝热汽缸为素材,创设研究气体做功情况以及分子速率变化情况的学习探索问题情境。此情境在 2020 年全国Ⅲ卷第 33 题曾出现过。主要考查理想气体、热力学第一定律、气体实验定律、内能、气体分子运动速率的统计分布等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	概念、规律	理解应用
1	绝热汽缸,绝热活塞	气体与外界没有热交换
2	理想气体	不计分子势能,一定质量理想气体的内能只与温度有关
3	温度	温度是分子平均动能的标志,温度越高分子平均动能越大,但单个分子的动能大小具有随机性

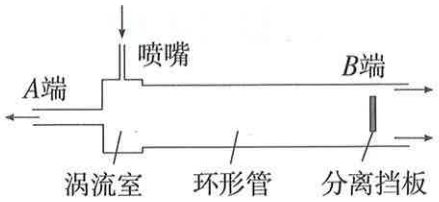
(2)推理论证能力



【答案】C

【失分剖析】没有想到用热力学第一定律判断出内能的变化,进而判断出气体温度的变化。

15.[2022 湖南卷,15(1)]利用"涡流效应"可实现冷热气体的分离。如图所示,一冷热气体分离装置由喷嘴、涡流室、环形管、分离挡板和冷热两端管等构成。高压氮气由喷嘴切向流入涡流室中,然后以螺旋方式在环形管中向右旋转前进,分子热运动速率较小的气体分子将聚集到环形管中心部位,而分子热运动速率较大的气体分子将聚集到环形管边缘部位。气流到达分离挡板处时,中心部位气流与分离挡板碰撞后反向,从 A 端流出,边缘部位气流从 B 端流出。下列说法正确的是_____(填正确答案标号)。



A. A 端为冷端，B 端为热端

B. A 端流出的气体分子热运动平均速率一定小于 B 端流出的

C. A 端流出的气体内能一定大于 B 端流出的

D. 该装置气体进出的过程满足能量守恒定律，但违背了热力学第二定律

E. 该装置气体进出的过程既满足能量守恒定律，也满足热力学第二定律

【试题立意】本题以冷热气体的分离装置为素材，创设了研究与气体内能相关物理量变化的学习探索问题情境。主要考查气体分子运动速率的统计分布、内能、能量守恒定律和热力学第二定律等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力。

序号	关键表述	物理量及其关系
1	分子热运动速率较大的气体分子将聚集到环形管边缘部位，边缘部位气流从 B 端流出	同种气体分子热运动平均速率较大，其对应的温度也就较高。故 B 端为热端，A 端为冷端，A、B 项正确
2	气体内能大小	内能是所有分子热运动的动能和分子势能的总和。A 端流出的气体温度低，分子平均动能小，气体内能的大小还与分子个数有关，因此不能确定 A、B 两端流出气体的内能的大小，C 项错误
3	该装置气体进出的过程	该装置将冷热气体进行分离，喷嘴处有高压，即是通过外界做功实现的，并非是自发进行的，没有违背热力学第二定律，故 D 项错误，E 项正确

【答案】ABE

【失分剖析】不理解内能、气体分子运动速率的统计分布、热力学第二定律等概念和规律。

方法点拨

(1)利用气体实验定律结合图像进行气体状态参量的求解。

(2)一定质量的理想气体的内能取决于温度，体积变大气体对外做功，体积变小外界对气体做功，利用 $\Delta U=W+Q$ 判断气体吸、放热。

(3)$p-V$ 图像的面积表示气体做功的多少。

命题规律

1. 多维度细目表

高考试题（年份/卷别/题号）			2023								2022						2021
			全国新课标，21	全国甲，33(1)	全国甲，33(2)	全国乙，33(1)	全国乙，33(2)	山东，9	湖南，13	浙江1月，17	全国甲，33(1)	全国甲，33(2)	山东，5	山东，15	湖南，15(1)	湖南，15(2)	全国甲，33(2)
考查内容	必备知识	分子动理论的基本观点及相关的实验证据、阿伏加德罗常数															
		气体分子运动速率的统计分布、温度、内能				√							√		√		
		固体的微观结构、晶体和非晶体、液晶的微观结构、液体的表面张力现象															
		气体实验定律、理想气体	√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		√	√
		热力学第一定律、能量守恒定律、热力学第二定律	√	√				√		√	√		√		√		
	关键能力	理解能力	√	√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		推理论证能力	√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		√	√
		模型建构能力			√												
		实验探究能力															
		创新能力															
	学科素养	物理观念	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学思维	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学探究															
		科学态度与责任															

续表

高考试题（年份/卷别/题号）		2023								2022						2021
		全国新课标，21	全国甲，33(1)	全国甲，33(2)	全国乙，33(1)	全国乙，33(2)	山东，9	湖南，13	浙江1月，17	全国甲，33(1)	全国甲，33(2)	山东，5	山东，15	湖南，15(1)	湖南，15(2)	全国甲，33(2)
考查要求	基础性		√		√					√		√		√		
	综合性	√		√		√	√	√	√		√		√		√	√
	应用性							√							√	
	创新性															
情境载体	生活实践问题情境														√	
	学习探索问题情境	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		√

2. 命题趋势

考查项目	考查特点
命题类型	在全国及新高考各省份试卷中经常是两种题型，一种是选择（或者填空）题，另一种是计算题
必备知识	内能、气体实验定律、理想气体、热力学定律
关键能力	主要考查理解能力和推理论证能力
学科素养	重在考查物理观念和科学思维
考查要求	选择题、填空题注重基础性，计算题侧重综合性
考查载体	多以学习探索问题情境出现

全国卷及其他新高考省份的考查题型保持相对稳定，即选择（或填空）题和计算题。山东卷2023年出现了实验题的考查。所考查的内容应该为热学的主干知识，包括分子力、分子势能、内能、气体压强的微观解释、气体实验定律、两个热力学定律、气体的图像等。计算题大致以汽缸—活塞模型和玻璃管—液柱模型呈现，主要以“变质量”模型和关联气体模型为考查方式。预测2024年这两种模型有可能继续考查，所以不能忽视。

3. 备考策略

本专题知识点较多且零散，因此复习要全面，不留死角，重要的课后题要反复练习，吃透题目要义；其次，复习要突出重点和难点，重视知识的内在联系，加强主干知识训练，特别是汽缸—活塞模型、玻璃管—液柱模型及二者混合模型的题目要加强训练，气体“变质量”问题等难点不能忽视，克拉伯龙方程也应该掌握；最后要更多地联系实际问题，培养分析问题、解决问题的能力，提高考生的模型建构能力和推理论证能力。

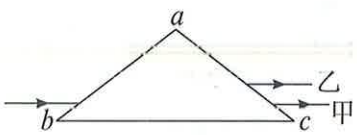
专题十　光学

题组　光的反射、折射和全反射

本题组涉及折射率、折射定律、全反射等概念和规律，主要考查光在介质界面上发生折射或全反射的几何光学问题，是高考高频考点。

解决此类问题的基本方法为作光路图，利用几何关系结合折射定律和全反射规律解题。

1. [2023 全国甲卷，34(1)]等腰三角形 abc 为一棱镜的横截面，$ab=ac$；一平行于 bc 边的细光束从 ab 边射入棱镜，在 bc 边反射后从 ac 边射出，出射光分成了不同颜色的两束，甲光的出射点在乙光的下方，如图所示。不考虑多次反射，下列说法正确的是_____。(填正确答案标号)



A. 甲光的波长比乙光的长

B. 甲光的频率比乙光的高

C. 在棱镜中的传播速度，甲光比乙光的大

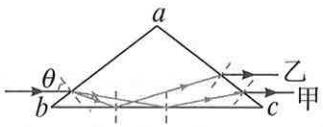
D. 该棱镜对甲光的折射率大于对乙光的折射率

E. 在棱镜内 bc 边反射时的入射角，甲光比乙光的大

【试题立意】本题以光在三棱镜中的折射和反射为素材创设研究光的波长、频率、波速与折射率的学习探索问题情境。此情境曾在 2021 年北京卷第 2 题出现过。主要考查折射率、波长、频率、波速等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力。

光路如图所示，可得 E 项正确。

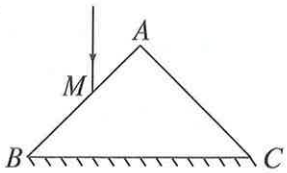


序号	概念、规律	理解应用
1	折射定律	根据光路图和折射定律可知 $n_{甲}<n_{乙}$，D 项错误
2	折射率 $n=\frac{c}{v}$	$n_{甲}<n_{乙}$，根据 $n=\frac{c}{v}$ 可知，$v_{甲}>v_{乙}$，C 项正确
3	光的频率越高，折射率越大	$n_{甲}<n_{乙}$，所以 $f_{甲}<f_{乙}$，B 项错误
4	波长、频率和波速的关系 $c=\lambda f$	$f_{甲}<f_{乙}$，由 $c=\lambda f$ 可知，$\lambda_{甲}>\lambda_{乙}$，A 项正确

【答案】ACE

【失分剖析】①没有作出正确的光路图，不能利用折射定律和几何关系找出各个角之间的关系；②没有熟练掌握各个物理量之间的关系。

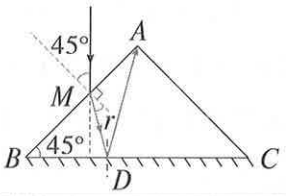
2.[2023 全国乙卷,34(2)]如图所示,一折射率为$\sqrt{2}$的棱镜的横截面为等腰直角三角形 ABC,$AB=AC=l$,BC 边所在底面上镀有一层反射膜。一细光束沿垂直于 BC 方向经 AB 边上的 M 点射入棱镜,若这束光被 BC 边反射后恰好射向顶点 A,求 M 点到 A 点的距离。



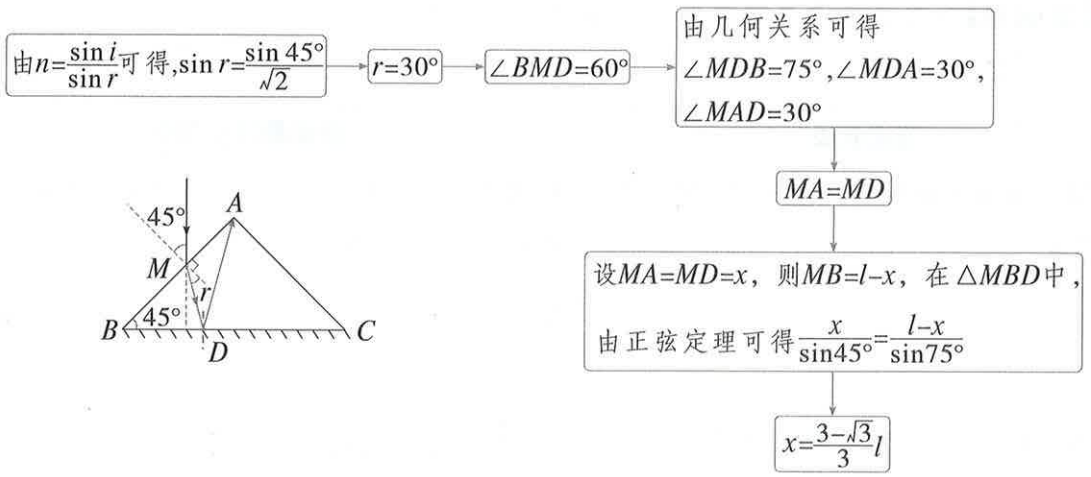
【试题立意】本题以三棱镜为素材创设求解几何关系的学习探索问题情境。此情境曾在2020年山东卷第9题出现过。主要考查光的折射定律、折射率、反射等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

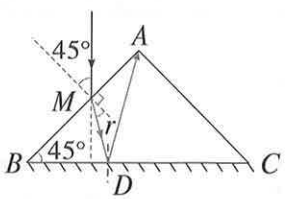
(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	一细光束沿垂直于 BC 方向经 AB 边上的 M 点射入折射率为$\sqrt{2}$的棱镜	入射角为 45°,折射角为 30°
2	光被 BC 边反射后恰好射向顶点 A	光路如图:

(2)推理论证能力



【解题过程】光路如图所示,由 $n=\dfrac{\sin i}{\sin r}$可得,$\sin r=\dfrac{\sin 45°}{\sqrt{2}}=\dfrac{1}{2}$ ①



解得 $r=30°$ ②

所以$\angle BMD=60°$,$\angle MDB=75°$ ③

由几何关系可得$\angle MDA=30°$,$\angle MAD=30°$ ④

故 $MA=MD$ ⑤

设 $MA=MD=x$,则 $MB=l-x$

在$\triangle MBD$ 中,由正弦定理可得$\dfrac{x}{\sin 45°}=\dfrac{l-x}{\sin 75°}$ ⑥

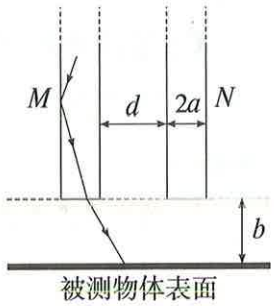
解得 $x=\dfrac{3-\sqrt{3}}{3}l$。 ⑦

评分参考:①④⑥各 2 分,其他各 1 分。

【答案】$\dfrac{3-\sqrt{3}}{3}l$

【失分剖析】不能综合利用折射定律、反射规律和几何关系找出各个角之间的关系。

3.(2023 山东卷,16)一种反射式光纤位移传感器可以实现微小位移测量,其部分原理简化如图所示。两光纤可等效为圆柱状玻璃丝 M、N,相距为 d,直径均为 $2a$,折射率为 $n(n<\sqrt{2})$。M、N 下端横截面平齐且与被测物体表面平行。激光在 M 内多次全反射后从下端面射向被测物体,经被测物体表面镜面反射至 N 下端面,N 下端面被照亮的面积与玻璃丝下端面到被测物体距离有关。



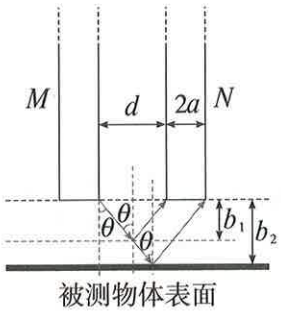
(1)从 M 下端面出射的光与竖直方向的最大偏角为 θ,求 θ 的正弦值。

(2)被测物体自上而下微小移动,使 N 下端面从刚能接收反射激光到恰好全部被照亮,求玻璃丝下端面到被测物体距离 b 的相应范围(只考虑在被测物体表面反射一次的光线)。

【试题立意】本题以反射式光纤位移传感器为素材创设分析光传播路径的学习探索问题情境。此情境曾在 2021 年海南卷第 6 题出现过。主要考查光的折射定律、折射率、全反射等知识点。

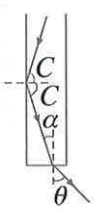
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

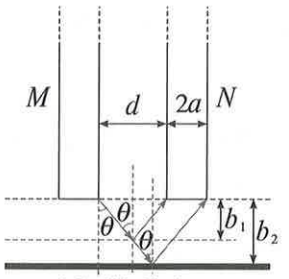
序号	关键表述	物理量及其关系
1	从 M 下端面出射的光与竖直方向的最大偏角为 θ	光在 M 的侧面恰好发生全反射时的反射角最小,从下端面折射时的入射角最大,折射角达到最大
2	被测物体自上而下微小移动,使 N 下端面从刚能接收反射激光到恰好全部被照亮	光路如图:

(2)推理论证能力

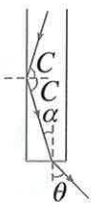
第(1)问:当光在 M 的侧面刚好发生全反射时,从 M 下端面出射的光与竖直方向夹角最大,光路如图。



第(2)问:光路如图,当光从 M 下端的最右侧以 θ 角出射时,反射光线照射到 N 下端的最左侧和最右侧,分别对应被测物体的最高位置和最低位置。



【解题过程】(1)由题意可知,当光在 M 的侧面刚好发生全反射时从 M 下端面出射的光与竖直方向夹角最大,设射向 M 下端的光与竖直方向的夹角为 α,此时光路如图所示



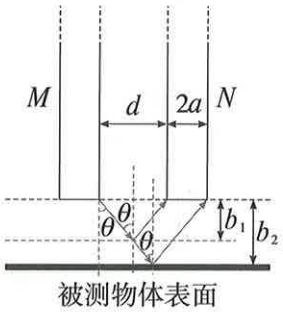
$$\sin C=\frac{1}{n}=\cos\alpha \qquad ①$$

可得 $\sin\alpha=\sqrt{1-\frac{1}{n^2}}$ ②

又因为 $n=\frac{\sin\theta}{\sin\alpha}$ ③

所以 $\sin\theta=n\sin\alpha=\sqrt{n^2-1}$。 ④

(2)根据题意,要使 N 下端面从刚能接收反射激光到恰好全部被照亮,光路图如图所示



则玻璃丝下端面到被测物体距离 b 的相应范围应该为 $b_1\leqslant b\leqslant b_2$

当距离最近时有 $\tan\theta=\frac{\frac{d}{2}}{b_1}$ ⑤

当距离最远时有 $\tan\theta=\frac{\frac{d+2a}{2}}{b_2}$ ⑥

根据(1)可知 $\tan\theta=\frac{\sqrt{n^2-1}}{\sqrt{2-n^2}}$

联立可得

$$b_1=\frac{d}{2}\sqrt{\frac{2-n^2}{n^2-1}} \qquad ⑦$$

$$b_2=\frac{d+2a}{2}\sqrt{\frac{2-n^2}{n^2-1}} \qquad ⑧$$

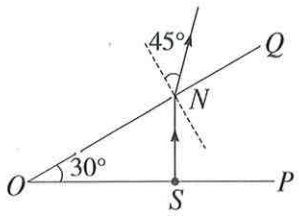
所以满足条件的范围为 $\frac{d}{2}\sqrt{\frac{2-n^2}{n^2-1}}\leqslant b\leqslant\frac{d+2a}{2}\sqrt{\frac{2-n^2}{n^2-1}}$。

评分参考:①~⑧各 1 分。

【答案】(1)$\sqrt{n^2-1}$　(2)$\frac{d}{2}\sqrt{\frac{2-n^2}{n^2-1}}\leqslant b\leqslant\frac{d+2a}{2}\sqrt{\frac{2-n^2}{n^2-1}}$

【失分剖析】①没有分析并画出满足条件的临界光线的光路图；②不能熟练地利用几何关系进行题目的求解。

4.（2023 湖北卷，6）如图所示，楔形玻璃的横截面 POQ 的顶角为 30°，OP 边上的点光源 S 到顶点 O 的距离为 d，垂直于 OP 边的光线 SN 在 OQ 边的折射角为 45°。不考虑多次反射，OQ 边上有光线射出部分的长度为（　　）

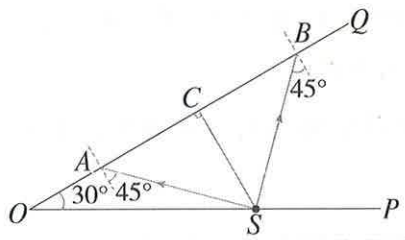


A. $\frac{1}{2}d$　　B. $\frac{\sqrt{2}}{2}d$　　C. d　　D. $\sqrt{2}d$

【试题立意】本题以光在楔形玻璃内传播为素材创设求折射率与距离的学习探索问题情境。此情境曾在 2022 年全国乙卷第 34 题出现过。主要考查光的折射定律、折射率、全反射等知识点。

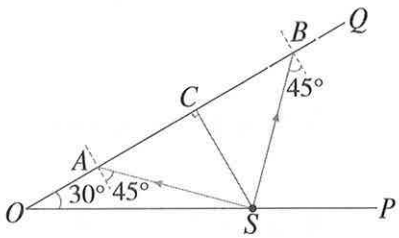
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

（1）理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	垂直于 OP 边的光线 SN 在 OQ 边的折射角为 45°	入射角为 30°，折射率为 $n=\frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ}=\sqrt{2}$
2	OQ 边上有光射出部分	光路如图 

（2）推理论证能力

光线射出 OQ 界面的临界状态为发生全反射，光路如图所示，其中 $OB\perp CS$



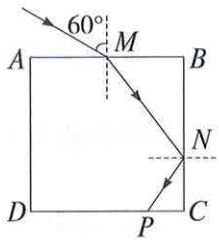
光线在 A、B 两点恰好发生全反射，由全反射定律得 $\sin C=\frac{1}{n}=\frac{\sqrt{2}}{2}$

即全反射的临界角为 45°，AB 之间有光线射出，由几何关系可知 $AB=2AC=2CS=OS=d$，C 项正确。

【答案】C

【失分剖析】没有根据临界情况画出正确的光路图。

5.［2022 全国甲卷，34(2)］如图所示，边长为 a 的正方形 $ABCD$ 为一棱镜的横截面，M 为 AB 边的中点。在截面所在平面内，一光线自 M 点射入棱镜，入射角为 60°，经折射后在 BC 边的 N 点恰好发生全反射，反射光线从 CD 边的 P 点射出棱镜。求棱镜的折射率以及 P、C 两点之间的距离。



【试题立意】本题以横截面为正方形的棱镜为素材创设求折射率与距离

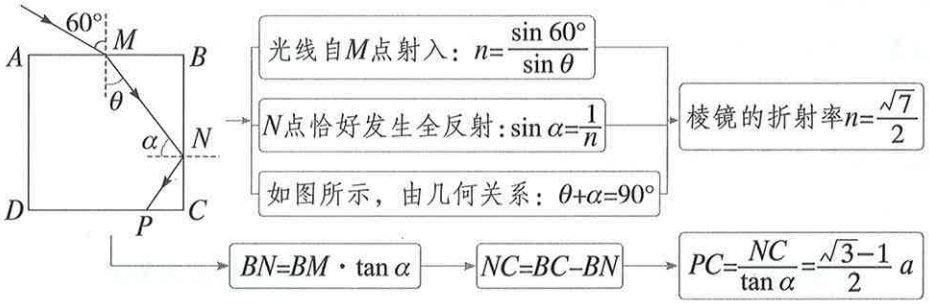
的学习探索问题情境。此情境曾在2018年全国Ⅱ卷第34题出现过。主要考查光的折射定律、折射率、全反射等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

关键表述	物理量及其关系
在BC边的N点恰好发生全反射	入射角α恰为临界角，$\sin\alpha=\frac{1}{n}$

(2)推理论证能力



【解题过程】设该棱镜的临界角为α，折射率为n，由题知，光线经折射后在BC边的N点恰好发生全反射，则$\sin\alpha=\frac{1}{n}$ ①

设光线从M点射入棱镜后折射角为θ，由几何关系可得$\alpha=90°-\theta$ ②

由折射定律有$n=\frac{\sin 60°}{\sin\theta}$ ③

联立有$\frac{\sin 60°}{\sin(90°-\alpha)}=\frac{1}{\sin\alpha}$，解得$\sin\alpha=\frac{2}{7}\sqrt{7}$，$n=\frac{\sqrt{7}}{2}$ ④

由数学知识可求得$\tan\alpha=\frac{2\sqrt{3}}{3}$

根据几何关系有$BN=BM\tan\alpha$ ⑤

$NC=BC-BN$

$PC=\frac{NC}{\tan\alpha}$ ⑥

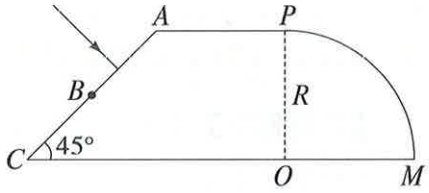
联立解得$PC=\frac{\sqrt{3}-1}{2}a$。 ⑦

评分参考：①③④各2分，其他各1分。

【答案】$\frac{\sqrt{7}}{2}$　$\frac{\sqrt{3}-1}{2}a$

【失分剖析】①不能综合应用折射定律和全反射规律找出各个角之间的关系；②三角函数运算不熟练，数学计算出现错误。

6.（2022 山东卷，7）柱状光学器件横截面如图所示，OP 右侧是以 O 为圆心，半径为 R 的 $\frac{1}{4}$ 圆，左侧是直角梯形，AP 长为 R，AC 与 CO 夹角为 45°，AC 中点为 B。a、b 两种频率的细激光束，垂直 AB 面入射，器件介质对 a、b 光的折射率分别为 1.42、1.40。保持光的入射方向不变，入射点从 A 向 B 移动过程中，能在 PM 面全反射后，从 OM 面出射的光是（不考虑三次反射以后的光）（　　）



A. 仅有 a 光　　B. 仅有 b 光

C. a、b 光都可以　　D. a、b 光都不可以

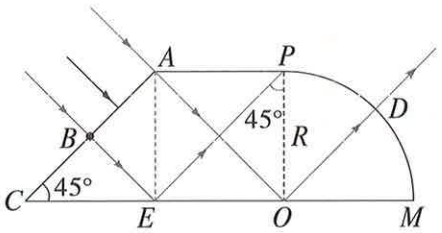
【试题立意】本题以柱状光学器件为素材创设分析光传播路径的学习探索问题情境。主要考查光的折射定律、折射率、全反射等知识点。

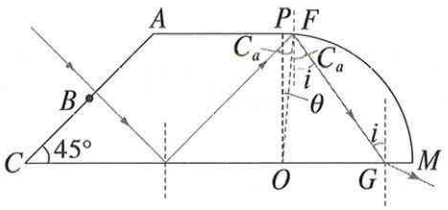
【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

（1）理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	在 PM 面全反射	入射角≥临界角
2	介质对 a 光的折射率为 1.42	$\sin C_a=\frac{1}{n_a}=\frac{1}{1.42}<\frac{\sqrt{2}}{2}$，$C_a<45°$
3	介质对 b 光的折射率为 1.40	$\sin C_b=\frac{1}{n_b}=\frac{1}{1.40}>\frac{\sqrt{2}}{2}$，$C_b>45°$

（2）推理论证能力





经过A点入射的光 → 经O点反射到D点，此时入射角为0°

经过B点入射的光 → 经E点反射到P点，此时入射角为45°

从AB之间射入的光，最终都照射到了圆弧DP之间，入射角在0°到45°之间变化 → b光不可能在DP面发生全反射

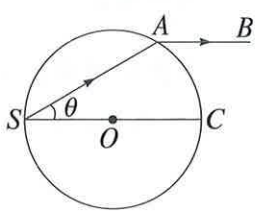
a、b光的临界角分别为C_a、C_b，有$C_a<45°<C_b$

假如一束a光恰好在F点发生全反射，此时入射角恰为临界角C_a → 经F点全反射到OM面上的G点，此时入射角为i → 由几何关系可知$i=C_a-\theta<C_a$，这束a光可以从OM面射出

【答案】A

【失分剖析】本题入射点从 A 向 B 移动，这种情况下不知道该怎么作图导致失分。

7.［2022 河北卷，16(2)］如图所示，一个半径为 R 的玻璃球，O 点为球心。球面内侧单色点光源 S 发出的一束光在 A 点射出，出射光线 AB 与球直径 SC 平行，$\theta=30°$。光在真空中的传播速度为 c。



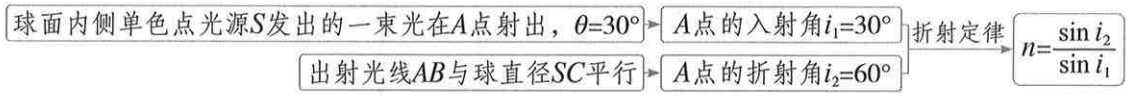
（1）求玻璃的折射率。

(2)求从 S 发出的光线经多次全反射回到 S 点的最短时间。

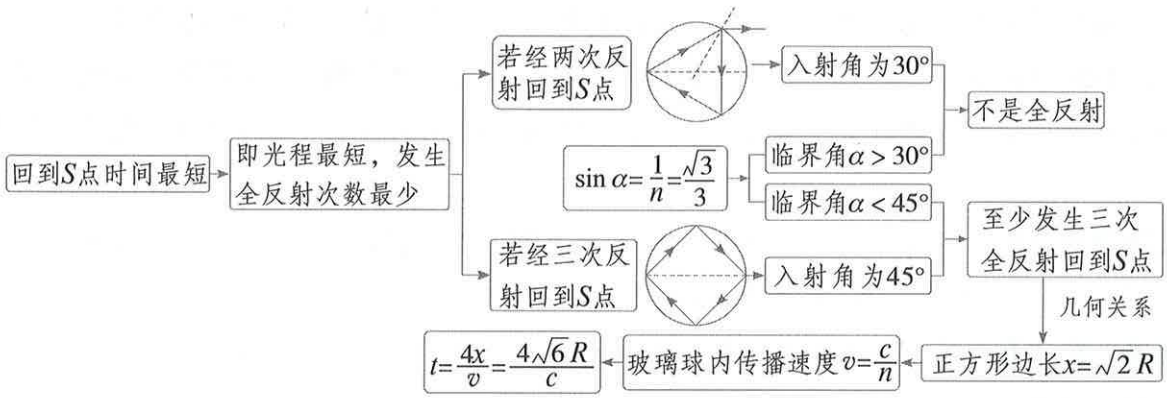
【试题立意】本题以玻璃球为素材创设求解折射率和光传播时间的学习探索问题情境。主要考查光的折射定律、折射率、全反射等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

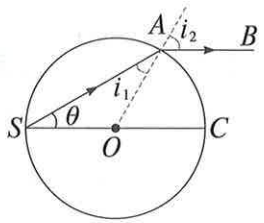
第(1)问



第(2)问



【解题过程】(1)根据题意将光路图补充完整，如图所示



根据几何关系可知 $i_1=\theta=30°$，$i_2=60°$　①

根据折射定律有 $n=\dfrac{\sin i_2}{\sin i_1}$　②

解得 $n=\sqrt{3}$。　③

(2)设全反射的临界角为 α，则 $\sin\alpha=\dfrac{1}{n}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$　④

所以 $30°<\alpha<45°$

光在玻璃球内的传播速度 $v=\dfrac{c}{n}$　⑤

根据几何关系可知，当 $\theta=45°$，即光路为圆的内接正方形时，从 S 发出的光线经多次全反射回到 S 点的时间最短，正方形的边长 $x=\sqrt{2}R$　⑥

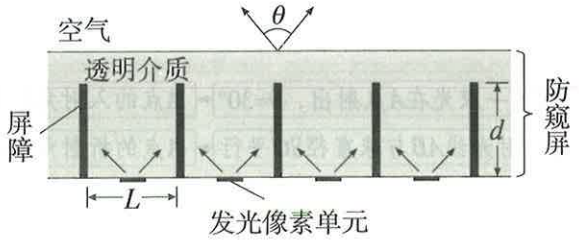
则最短时间为 $t=\dfrac{4x}{v}=\dfrac{4\sqrt{6}R}{c}$。　⑦

评分参考：⑦2 分，其他各 1 分。

【答案】(1)$\sqrt{3}$　(2)$\dfrac{4\sqrt{6}R}{c}$

【失分剖析】对发生全反射的条件理解不透，最短时间转换为最短光程后，分析不出在球内全反射光路组成的是正多边形，全反射次数越少，光程越短，时间越短。

8. [2022 湖南卷,16(2)]如图所示,某种防窥屏由透明介质和对光完全吸收的屏障构成,其中屏障垂直于屏幕平行排列,可实现对像素单元可视角度 θ 的控制(可视角度 θ 定义为某像素单元发出的光在图示平面内折射到空气后最大折射角的 2 倍)。透明介质的折射率 $n=2$,屏障间隙 $L=0.8$ mm。发光像素单元紧贴屏下,位于相邻两屏障的正中间。不考虑光的衍射。



(1)若把发光像素单元视为点光源,要求可视角度 θ 控制为 60°,求屏障的高度 d。

(2)若屏障高度 $d=1.0$ mm,且发光像素单元的宽度不能忽略,求像素单元宽度 x 最小为多少时,其可视角度 θ 刚好被扩为 180°(只要看到像素单元的任意一点,即视为能看到该像素单元)。

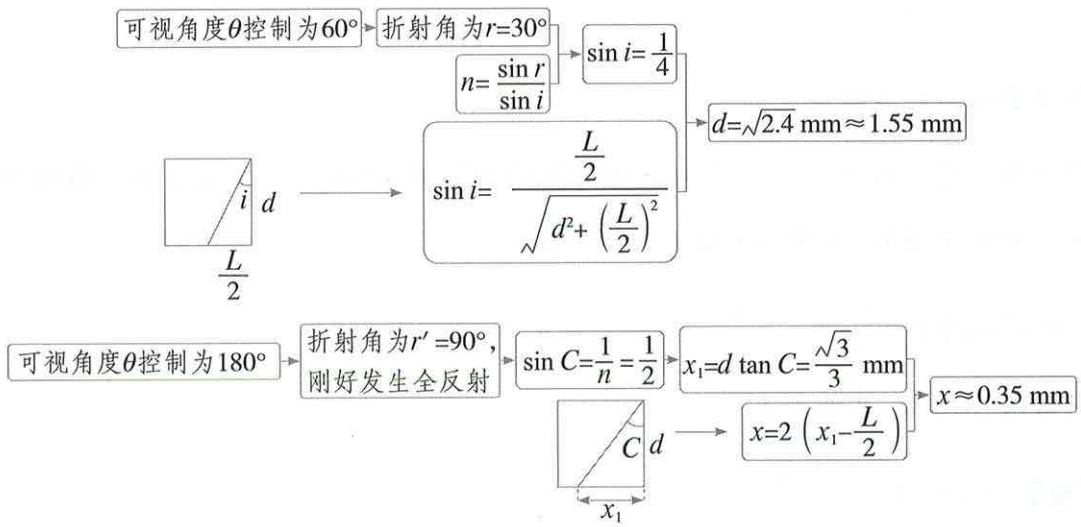
【试题立意】本题以防窥屏为素材创设求解屏障高度与像素单元宽度的学习探索问题情境。主要考查光的折射定律、折射率、全反射等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	关键表述	物理量及其关系
1	可视角度 θ 控制为 60°	折射角为 30°,可求对应入射角的正弦值
2	可视角度 θ 刚好被扩为 180°	折射角为 90°,可求对应入射角的正弦值
3	只要看到像素单元的任意一点,即视为能看到该像素单元	第(2)问中可以研究像素单元上的某些点来代替该像素单元

(2)推理论证能力



【解题过程】(1)发光像素单元射到屏障上的光被完全吸收,考虑射到屏障顶端的光射到透

明介质和空气界面，折射后从界面射向空气，由题意可知 $\theta=60°$，则 $r=\frac{\theta}{2}=30°$

在介质中的入射角为 i，则 $\frac{\sin r}{\sin i}=n$　①

解得 $\sin i=\frac{1}{4}$　②

由几何关系 $\sin i=\frac{\frac{L}{2}}{\sqrt{d^2+\left(\frac{L}{2}\right)^2}}$　③

解得 $d=\sqrt{2.4}$ mm$\approx$1.55 mm。　④

(2)若可视角度 θ 刚好被扩为 180°，则 $r'=\frac{180°}{2}=90°$，此时光线在界面发生全反射，入射角

$\sin C=\frac{1}{n}=\frac{1}{2}$　⑤

解得 $C=30°$　⑥

此时发光像素单元左侧(或右侧)发光点距离右侧(或左侧)屏障的距离为

$x_1=d\tan C=\frac{\sqrt{3}}{3}$ mm　⑦

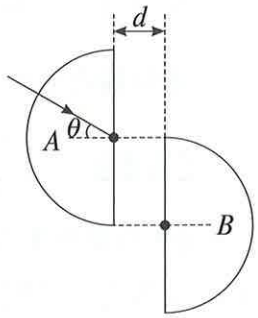
则像素单元宽度 x 最小为 $x=2\left(x_1-\frac{L}{2}\right)=\left(\frac{2\sqrt{3}}{3}-0.8\right)$ mm$\approx$0.35 mm。　⑧

评分参考：①～⑧各 1 分。

【答案】(1)1.55 mm　(2)0.35 mm

【失分剖析】①不能把实际情境中防窥屏的原理转化成常见的几何光路图模型；②不理解像素单元宽度 x 最小的含义，找不出临界条件，无法确立几何关系。

9.[2021 河北卷，16(2)]将两块半径均为 R、完全相同的透明半圆柱体 A、B 正对放置，圆心上下错开一定距离，如图所示。用一束单色光沿半径照射半圆柱体 A，设圆心处入射角为 θ。当 $\theta=60°$时，A 右侧恰好无光线射出；当 $\theta=30°$时，有光线沿 B 的半径射出，射出位置与 A 的圆心相比下移 h。不考虑多次反射。



(ⅰ)求半圆柱体对该单色光的折射率。

(ⅱ)求两个半圆柱体之间的距离 d。

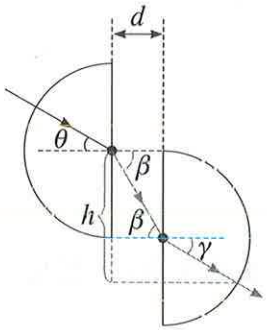
【试题立意】本题以两个透明的半圆柱体为素材创设求解折射率与距离的学习探索问题情境。此情境曾在 2021 年山东卷第 15 题出现过。主要考查光的折射定律、全反射等知识点。

【关键能力】主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

关键表述	物理量及其关系
当 $\theta=60°$ 时，A 右侧恰好无光线射出	入射光恰好发生全反射，临界角 $C=60°$，$n=\dfrac{1}{\sin C}=\dfrac{2\sqrt{3}}{3}$

(2)推理论证能力



$n=\dfrac{\sin\beta}{\sin\theta}$ → $\sin\beta=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$，$\tan\beta=\dfrac{\sqrt{2}}{2}$

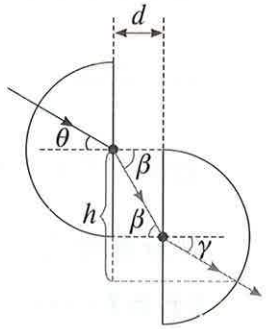
$n=\dfrac{\sin\beta}{\sin\gamma}$ → $\sin\gamma=\dfrac{1}{2}$

由几何关系有 $h=d\cdot\tan\beta+R\cdot\sin\gamma$ → $d=\sqrt{2}\left(h-\dfrac{R}{2}\right)$

【解题过程】(ⅰ)当 $\theta=60°$ 时恰好发生全反射，即临界角为 $60°$

$n=\dfrac{1}{\sin C}=\dfrac{2\sqrt{3}}{3}$。 ①

(ⅱ)光路图如图所示



当 $\theta=30°$ 时，由折射定律得 $n=\dfrac{\sin\beta}{\sin\theta}$ ②

解得 $\sin\beta=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$，故 $\tan\beta=\dfrac{\sin\beta}{\sqrt{1-\sin^2\beta}}=\dfrac{\sqrt{2}}{2}$ ③

又 $n=\dfrac{\sin\beta}{\sin\gamma}$，所以 $\sin\gamma=\sin\theta=\dfrac{1}{2}$ ④

由几何关系得 $h=d\cdot\tan\beta+R\cdot\sin\gamma$ ⑤

解得 $d=\sqrt{2}\left(h-\dfrac{R}{2}\right)$。 ⑥

评分参考：①⑤各 2 分，其他各 1 分。

【答案】(ⅰ)$\dfrac{2\sqrt{3}}{3}$ (ⅱ)$\sqrt{2}\left(h-\dfrac{R}{2}\right)$

【失分剖析】无法根据题目所给条件画出正确的光路图，找不到 h 代表的距离，从而不能正确表达两个半圆柱体之间的距离 d。

方法点拨

(1)尺规作图，画出准确的光路图。

(2)恰好发生全反射时入射角为临界角 C，$\sin C=\dfrac{1}{n}$。

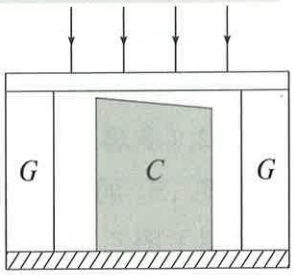
(3)灵活应用几何关系，例如正弦定理、余弦定理等边角关系。

题组二　光的干涉

本题组主要涉及光的干涉现象，属于波动光学内容，主要以薄膜干涉和双缝干涉模型进行考查，属于基础考查的题型。

解决此类问题须熟练掌握光的干涉规律和不同色光的干涉条纹的特点。

10.（2023 山东卷，5）一种干涉热膨胀仪原理图如图所示。G 为标准石英环，C 为待测柱形样品，C 的上表面与上方标准平面石英板之间存在劈形空气层。用单色平行光垂直照射上方石英板，会形成干涉条纹。已知 C 的膨胀系数小于 G 的膨胀系数，当温度升高时，下列说法正确的是（　　）



A. 劈形空气层的厚度变大，条纹向左移动　　B. 劈形空气层的厚度变小，条纹向左移动

C. 劈形空气层的厚度变大，条纹向右移动　　D. 劈形空气层的厚度变小，条纹向右移动

【试题立意】本题以干涉热膨胀仪原理为素材创设研究薄膜干涉的特点的学习探索问题情境。此情境曾在 2021 年山东卷第 7 题出现过。主要考查薄膜干涉的知识点。

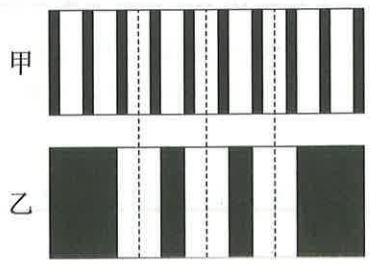
【关键能力】本题主要考查理解能力。

序号	关键表述	物理量及其关系
1	C 的膨胀系数小于 G 的膨胀系数	当温度升高时，G 增长的高度大于 C 增长的高度，则劈形空气层的厚度变大
2	C 的上表面与上方标准平面石英板之间存在劈形空气层	薄膜干涉，劈形空气层的厚度变大，可以理解为原来厚度的空气薄膜向左移动，所以干涉条纹向左移动

【答案】A

【失分剖析】没有正确理解空气层厚度的增加与条纹的移动的关系。

11.（2023 江苏卷，6）用某种单色光进行双缝干涉实验，在屏上观察到的干涉条纹如图甲所示，改变双缝间的距离后，干涉条纹如图乙所示，图中虚线是亮条纹中心的位置。则双缝间的距离变为原来的（　　）



A. $\frac{1}{3}$　　B. $\frac{1}{2}$　　C. 2 倍　　D. 3 倍

【试题立意】本题以光的双缝干涉实验为素材创设研究光的干涉的学习探索问题情境。主要考查光的干涉知识点。

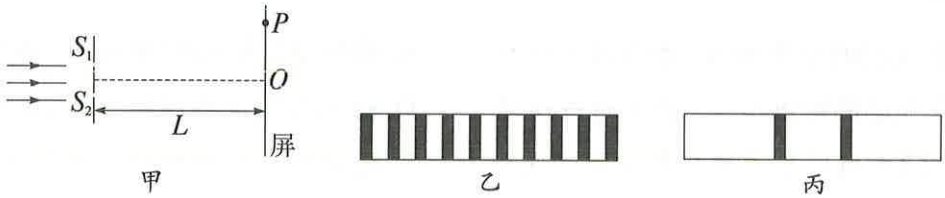
【关键能力】本题主要考查理解能力。

概念、规律	理解应用
双缝干涉	根据条纹间距公式 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$ 可知，当 l、λ 不变时，双缝间的距离与条纹间距成反比，根据题图可知 $2\Delta x=\Delta x'$，故 $\frac{d'}{d}=\frac{\Delta x}{\Delta x'}=\frac{1}{2}$，B 项正确

【答案】B

【失分剖析】甲、乙两图条纹间距大小关系搞错。

12.（多选）(2022 山东卷，10)某同学采用图甲所示的实验装置研究光的干涉与衍射现象，狭缝 S_1、S_2 的宽度可调，狭缝到屏的距离为 L。同一单色光垂直照射狭缝。实验中分别在屏上得到了图乙、图丙所示图样。下列描述正确的是(　　)



A. 图乙是光的双缝干涉图样，当光通过狭缝时，也发生了衍射

B. 遮住一条狭缝，另一狭缝宽度增大，其他条件不变，图丙中亮条纹宽度增大

C. 照射两条狭缝时，增加 L，其他条件不变，图乙中相邻暗条纹的中心间距增大

D. 照射两条狭缝时，若光从狭缝 S_1、S_2 到屏上 P 点的路程差为半波长的奇数倍，P 点处一定是暗条纹

【试题立意】本题以光的双缝干涉实验装置为素材创设研究光的干涉、衍射特点的学习探索问题情境。此情境曾在 2019 年北京卷第 14 题出现过。主要考查光的干涉、衍射等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力。

序号	概念、规律	理解应用
1	双缝干涉	干涉图样是等间距的明暗相间的条纹，如图乙所示，发生干涉现象时，光绕过狭缝继续传播，同时发生了衍射现象，A 项正确
		根据条纹间距公式 $\Delta x=\frac{L}{d}\lambda$ 可知，照射两条狭缝时，增加 L，其他条件不变，图乙中相邻暗条纹的中心间距增大，C 项正确
		照射两条狭缝时，光从狭缝 S_1、S_2 到屏上某点的路程差为半波长的奇数倍是产生暗条纹的条件，因此，P 点处一定是暗条纹，D 项正确
2	单缝衍射	狭缝越宽，衍射范围越小，图丙中亮条纹宽度越小，B 项错误

【答案】ACD

【失分剖析】不了解光的干涉、衍射现象的成因和规律。

方法点拨

(1)双缝干涉条纹间距 $\Delta x=\frac{l}{d}\lambda$，波长越长间距越大，光的波长从红到紫逐渐变小。

(2)薄膜干涉中，薄膜的厚度的两倍为光程差，是亮条纹还是暗条纹取决于薄膜厚度。明暗条纹的间距取决于薄膜的夹角。

命题规律

1. 多维度细目表

高考试题（年份/卷别/题号）			2023						2022					2021
			全国甲，34（1）	全国乙，34（2）	山东，5	山东，16	江苏，6	湖北，6	全国甲，34（2）	山东，7	山东，10	河北，16（2）	湖南，16（2）	河北，16（2）
考查内容	必备知识	光的折射定律、折射率	√	√		√		√	√	√		√	√	√
		全反射、光纤				√		√	√	√		√	√	√
		光的干涉、衍射和偏振现象			√		√				√			
	关键能力	理解能力	√	√	√	√	√	√	√	√	√		√	√
		推理论证能力		√		√		√	√	√		√	√	√
		模型建构能力												
		实验探究能力												
		创新能力												
	学科素养	物理观念	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学思维	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学探究												
		科学态度与责任												
考查要求		基础性	√		√		√				√			
		综合性		√		√		√	√	√		√	√	√
		应用性			√	√							√	
		创新性												
情境载体		生活实践问题情境												
		学习探索问题情境	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

2. 命题趋势

考查项目	考查特点
命题类型	多以计算题的形式出现，有时也以选择题(或者填空题)的形式考查
必备知识	光的折射定律和全反射的相关知识是考查的重点，用数学知识解决几何光学问题是难点。薄膜干涉、双缝干涉测量光的波长实验也有考查
关键能力	主要考查理解能力和推理论证能力
学科素养	重在考查物理观念和科学思维
考查要求	选择题侧重基础性，计算题侧重综合性
考查载体	问题情境以学习探索问题情境为主

2024年还是会主要考查光的折射定律和全反射的知识，因涉及光路图，需要应用数学知识解答。题目的情境从“直接给出光路特点、角边关系”，向“将已知条件放在实际情境中”进行过渡，更深层次地考查考生的阅读能力、理解能力，从“解题”向“解决问题”进行转变。

3. 备考策略

(1)重点理解光的折射定律和全反射的内涵，这是考查的重点。

(2)平时多注重数学能力的训练和培养，重点突出与数学知识中三角函数相关联的训练，这往往是解决问题的关键所在。

(3)理解光的干涉、衍射和偏振现象的概念及相关现象的解释。

(4)重点掌握用双缝干涉测量光的波长的实验，理解双缝干涉实验中各物理量的含义及关系。

(5)关注前沿科技、生活实际等情境中与光学知识相联系的部分，加强考生对情境问题的阅读能力和理解能力。

专题十一　原子物理

题组一　光电效应　波粒二象性

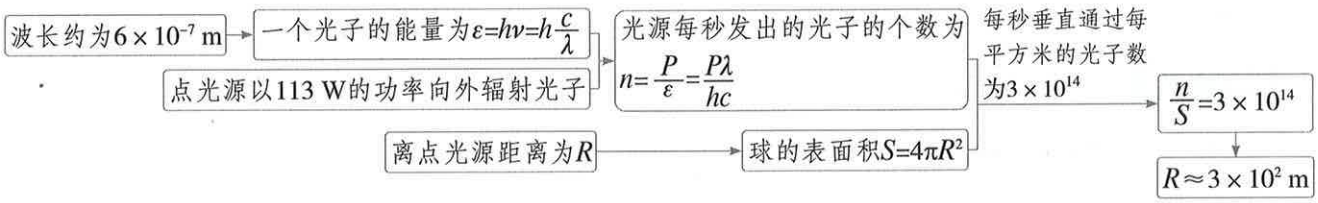
本题组主要涉及光子、光电效应等知识点，主要考查对基本概念规律的理解，例如：光子的能量与波长、频率的关系，光电效应方程的理解应用。

1.（2022 全国乙卷，17）一点光源以 113 W 的功率向周围所有方向均匀地辐射波长约为 6×10^{-7} m 的光，在离点光源距离为 R 处每秒垂直通过每平方米的光子数为 3×10^{14}。普朗克常量为 $h=6.63\times10^{-34}$ J·s。R 约为（　　）

A. 1×10^{2} m　　B. 3×10^{2} m　　C. 6×10^{2} m　　D. 9×10^{2} m

【试题立意】本题以点光源均匀辐射光子为素材创设学习探索问题情境。本题与人教版教材选择性必修第三册第 99 页第 6 题创设的物理情境相似。主要考查光子等知识点。

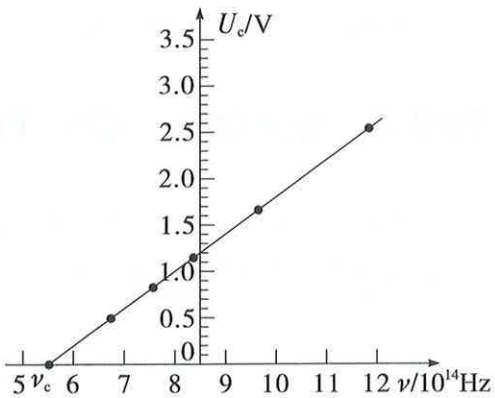
【关键能力】本题主要考查推理论证能力。



【答案】B

【失分剖析】不知道光子能量与波长的关系式或者计算失误。

2.（2022 河北卷，4）密立根于 1916 年发表的钠金属光电效应的遏止电压 U_c 与入射光频率 ν 的实验曲线如图所示，该实验直接证明了爱因斯坦光电效应方程，并且第一次利用光电效应实验测定了普朗克常量 h。由图像可知（　　）



A. 钠的逸出功为 $h\nu_c$

B. 钠的截止频率为 8.5×10^{14} Hz

C. 图中直线的斜率为普朗克常量 h

D. 遏止电压 U_c 与入射光频率 ν 成正比

【试题立意】本题以证明爱因斯坦光电效应方程并测定普朗克常量的密立根实验为素材创设探究钠金属光电效应的学习探索问题情境。此情境曾在 2019 年海南卷第 7 题出现过。主要考查光电效应、爱因斯坦光电效应方程等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力。

序号	图像信息	物理量及其关系
1	横截距	根据遏止电压与最大初动能的关系有 $eU_c=E_{kmax}$，根据爱因斯坦光电效应方程有 $E_{kmax}=h\nu-W_0$，联立可得 $U_c=\frac{h}{e}\nu-\frac{W_0}{e}$。 ①结合图像可知，当 U_c 为 0 时，解得钠的逸出功 $W_0=h\nu_c$； ②截止频率小于 8.5×10^{14} Hz； ③图线不过坐标原点，所以遏止电压 U_c 与入射光频率 ν 成线性关系，不是成正比
2	遏止电压 U_c 与入射光频率 ν 的实验曲线	由 $U_c-\frac{h}{e}\nu-\frac{W_0}{e}$ 可知，图中直线的斜率表示 $\frac{h}{e}$

【答案】A

【失分剖析】没有写出遏止电压 U_c 与入射光频率 ν 的关系式，从而不知道截距和斜率的物理意义。

方法点拨

(1)光子的能量 $\varepsilon=h\nu=h\frac{c}{\lambda}$。

(2)熟练运用光电效应的基本规律：

光电效应方程 $E_{kmax}=h\nu-W_0$

遏止电压与光电子最大初动能的关系 $eU_c=E_{kmax}$

逸出功与截止频率的关系 $W_0=h\nu_c$。

题组二　原子结构　玻尔理论

本题组主要涉及的知识点为玻尔的氢原子结构模型，主要考查对原子能级和电子跃迁的基本规律的理解，也包含能量守恒定律的理解。

3.(2023 全国新课标卷，16)铯原子基态的两个超精细能级之间跃迁发射的光子具有稳定的频率，铯原子钟利用的两能级的能量差量级为 10^{-5} eV，跃迁发射的光子的频率量级为(普朗克常量 $h=6.63\times10^{-34}$ J·s，元电荷 $e=1.60\times10^{-19}$ C)(　　)

A. 10^3 Hz　　B. 10^6 Hz　　C. 10^9 Hz　　D. 10^{12} Hz

【试题立意】本题是以铯原子钟为素材创设学习探索问题情境。主要考查了能级、光子的能量等知识点。

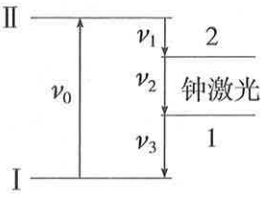
【关键能力】本题主要考查理解能力。

概念、规律	理解应用
公式 $\Delta E=h\nu$	两能级的能量差量级对应的能量为 $\Delta E=10^{-5}\ \text{eV}=10^{-5}\times1.60\times10^{-19}\ \text{J}=1.60\times10^{-24}\ \text{J}$ 跃迁发射的光子的频率为 $\nu=\frac{\Delta E}{h}=\frac{1.60\times10^{-24}}{6.63\times10^{-34}}\ \text{Hz}\approx2.4\times10^{9}\ \text{Hz}$

【答案】C

【失分剖析】①公式 $\Delta E=h\nu$ 没有记住；②能量单位没有换算为焦耳。

4.（2023 山东卷，1）“梦天号”实验舱携带世界首套可相互比对的冷原子钟组发射升空，对提升我国导航定位、深空探测等技术具有重要意义。某原子钟工作的四能级体系如图所示，原子吸收频率为 ν_0 的光子从基态能级Ⅰ跃迁至激发态能级Ⅱ，然后自发辐射出频率为 ν_1 的光子，跃迁到钟跃迁的上能级 2，并在一定条件下可跃迁到钟跃迁的下能级 1，实现受激辐射，发出钟激光，最后辐射出频率为 ν_3 的光子回到基态。该原子钟产生的钟激光的频率 ν_2 为（　　）



A. $\nu_0+\nu_1+\nu_3$　　B. $\nu_0+\nu_1-\nu_3$　　C. $\nu_0-\nu_1+\nu_3$　　D. $\nu_0-\nu_1-\nu_3$

【试题立意】本题是以冷原子钟组为素材创设学习探索问题情境。主要考查了原子跃迁、能级、能量守恒等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

原子吸收频率为 ν_0 的光子从基态能级Ⅰ跃迁至激发态能级Ⅱ时有 $E_{\text{Ⅱ}}-E_{\text{Ⅰ}}=h\nu_0$

从激发态能级Ⅱ向下跃迁到基态能级Ⅰ的过程有 $E_{\text{Ⅱ}}-E_{\text{Ⅰ}}=h\nu_1+h\nu_2+h\nu_3$

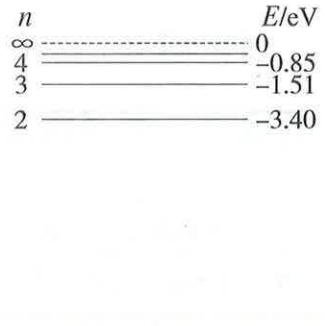
联立解得 $\nu_2=\nu_0-\nu_1-\nu_3$

D 项正确。

【答案】D

【失分剖析】没有理解向高能级跃迁和向低能级跃迁的能量关系。

5.（2023 湖北卷，1）2022 年 10 月，我国自主研发的“夸父一号”太阳探测卫星成功发射。该卫星搭载的莱曼阿尔法太阳望远镜可用于探测波长为 121.6 nm 的氢原子谱线（对应的光子能量为 10.2 eV）。根据如图所示的氢原子能级图，可知此谱线来源于太阳中氢原子



（　　）

A. $n=2$ 和 $n=1$ 能级之间的跃迁

B. $n=3$ 和 $n=1$ 能级之间的跃迁

C. $n=3$ 和 $n=2$ 能级之间的跃迁

D. $n=4$ 和 $n=2$ 能级之间的跃迁

【试题立意】本题是以太阳探测卫星探测氢原子谱线为素材创设学习探索问题情境。此情境曾在 2022 年重庆卷第 6 题出现过。主要考查了原子跃迁、能级、能量守恒等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。

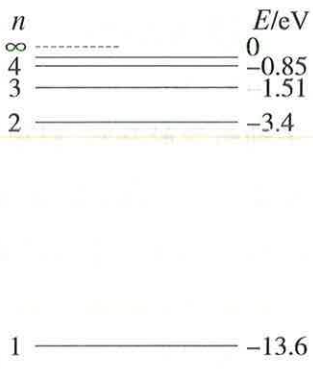
由题图可知 $n=2$ 和 $n=1$ 的能级之间的能量差为 $\Delta E=E_2-E_1=-3.40\ \text{eV}-(-13.6\ \text{eV})=10.2\ \text{eV}$

与探测到的谱线对应的光子能量相等，故可知此谱线来源于太阳中氢原子 $n=2$ 和 $n=1$ 能级之间的跃迁。

【答案】A

【失分剖析】没有理解向高能级跃迁和向低能级跃迁的能量关系。

6.（2022.6 浙江卷，7）氢原子的能级图如图所示。大量氢原子处于 $n=3$ 的激发态，在向低能级跃迁时放出光子，用这些光子照射逸出功为 2.29 eV 的金属钠。下列说法正确的是（　　）



A. 逸出光电子的最大初动能为 10.80 eV

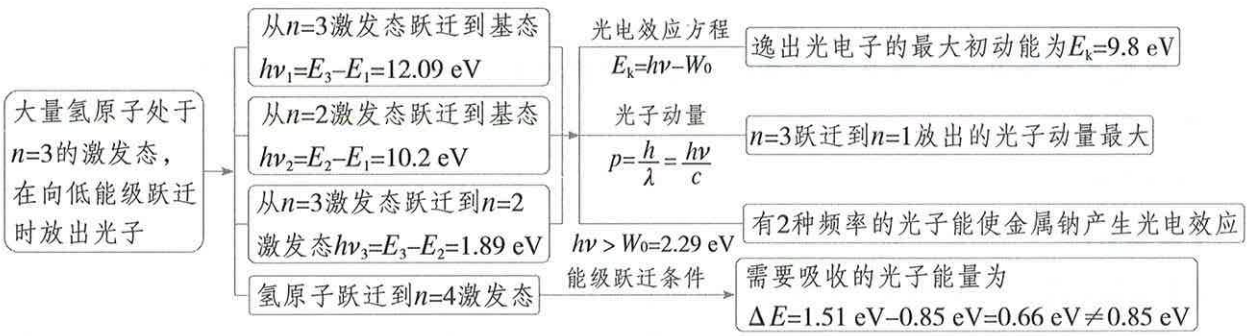
B. $n=3$ 跃迁到 $n=1$ 放出的光子动量最大

C. 有 3 种频率的光子能使金属钠产生光电效应

D. 用 0.85 eV 的光子照射，氢原子跃迁到 $n=4$ 激发态

【试题立意】本题以大量氢原子跃迁放出的光子照射金属钠为素材创设了学习探索问题情境。主要考查氢原子的能级结构、能级公式、光电效应、爱因斯坦光电效应方程等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。



【答案】B

题组三　原子核及核反应

本题组主要涉及天然放射现象、原子核的衰变、半衰期、核反应方程、结合能、质量亏损、核裂变和核聚变等知识点，主要考查对基本概念规律的理解，其中半衰期、核反应方程是高考的热点。

7.（2023 全国甲卷，15）在下列两个核反应方程中

$$\begin{aligned} X+{}^{14}_{7}N &\longrightarrow Y+{}^{17}_{8}O \\ Y+{}^{7}_{3}Li &\longrightarrow 2X \end{aligned}$$

X 和 Y 代表两种不同的原子核，以 Z 和 A 分别表示 X 的电荷数和质量数，则（　　）

A. $Z=1,A=1$　　B. $Z=1,A=2$

C. $Z=2,A=3$　　D. $Z=2,A=4$

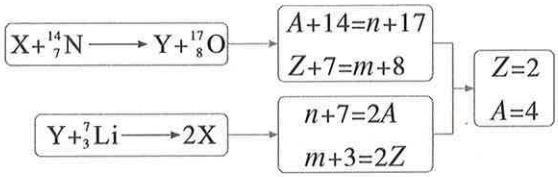
【试题立意】本题是以核反应方程为素材创设学习探索问题情境。此情境曾在2018年全国Ⅲ卷第14题出现过。主要考查核反应方程这一知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

概念、规律	理解应用
核反应方程	核反应前后质量数和电荷数守恒

(2)推理论证能力



【答案】D

【失分剖析】没有根据电荷数守恒和质量数守恒列出正确的方程组。

8.(2023全国乙卷,16)2022年10月,全球众多天文设施观测到迄今最亮的伽马射线暴,其中我国的“慧眼”卫星、“极目”空间望远镜等装置在该事件观测中作出重要贡献。由观测结果推断,该伽马射线暴在1分钟内释放的能量量级为10^{48} J。假设释放的能量来自物质质量的减少,则每秒钟平均减少的质量量级为(光速为3×10^{8} m/s)(　　)

A. 10^{19} kg　　B. 10^{24} kg　　C. 10^{29} kg　　D. 10^{34} kg

【试题立意】本题是以伽马射线暴为素材创设学习探索问题情境。此情境曾在2020年全国Ⅱ卷第18题、2017年全国Ⅰ卷第17题出现过。主要考查了质能方程的应用这一知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力。

概念、规律	理解应用
质能方程$E=mc^2$	由爱因斯坦质能方程$E=mc^2$可得$\frac{\Delta m}{\Delta t}=\frac{\Delta E}{c^2\Delta t}=\frac{10^{48}}{(3\times10^{8})^2\times60}$ kg/s$\approx2\times10^{29}$ kg/s,C项正确。

【答案】C

【失分剖析】审题错误,求成了每分钟减少的质量量级。

9.(2023广东卷,1)理论认为,大质量恒星塌缩成黑洞的过程,受核反应$^{12}_{6}$C+Y⟶$^{16}_{8}$O的影响。下列说法正确的是(　　)

A. Y是β粒子,β射线穿透能力比γ射线强

B. Y是β粒子,β射线电离能力比γ射线强

C. Y是α粒子,α射线穿透能力比γ射线强

D. Y是α粒子，α射线电离能力比γ射线强

【试题立意】本题是以恒星塌缩成黑洞为素材创设学习探索问题情境。此情境曾在2021年江苏卷第1题出现过。主要考查核反应方程以及α、β、γ射线等知识点。

【关键能力】本题主要考查理解能力。

序号	概念、规律	理解应用
1	核反应方程	根据核反应满足质量数和电荷数守恒可知，Y是α粒子（$^4_2\mathrm{He}$）
2	α、β、γ射线	三种射线的穿透能力，γ射线最强，α射线最弱；三种射线的电离能力，α射线最强，γ射线最弱

【答案】D

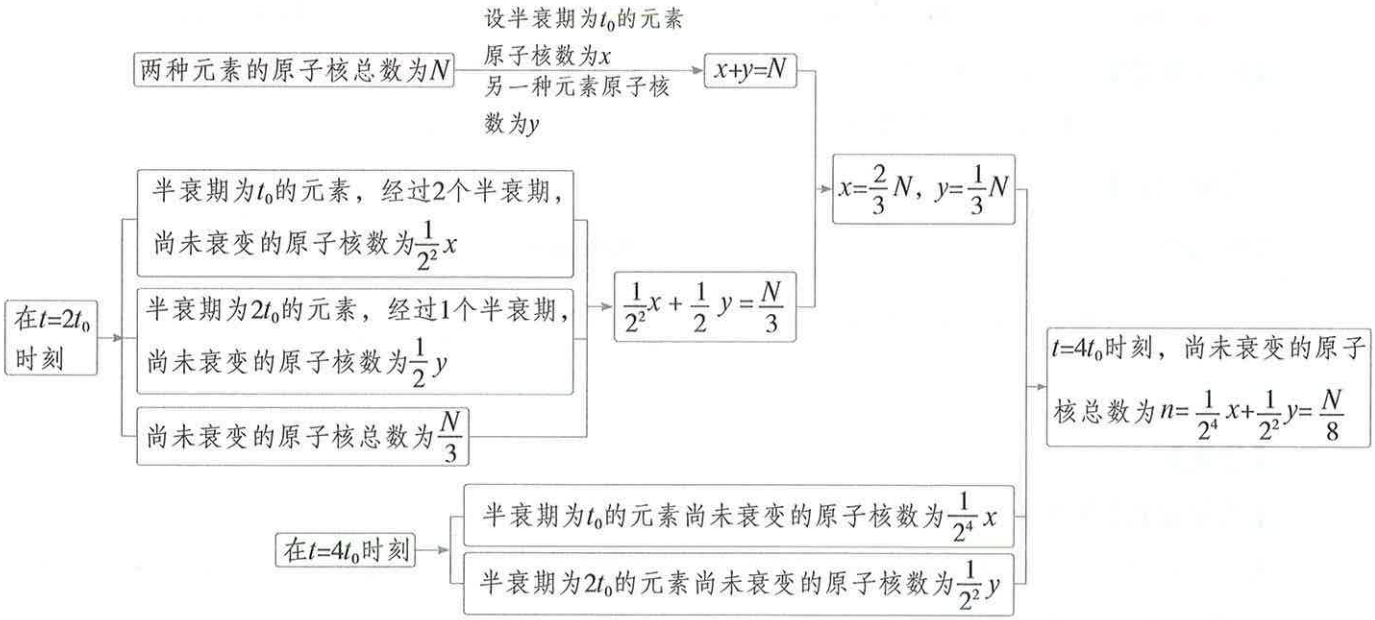
【失分剖析】α、β、γ射线的特点没记清。

10.（2022全国甲卷，17）两种放射性元素的半衰期分别为t_0和$2t_0$，在$t=0$时刻这两种元素的原子核总数为N，在$t=2t_0$时刻，尚未衰变的原子核总数为$\frac{N}{3}$，则在$t=4t_0$时刻，尚未衰变的原子核总数为（　　）

A. $\frac{N}{12}$　　B. $\frac{N}{9}$　　C. $\frac{N}{8}$　　D. $\frac{N}{6}$

【试题立意】本题以两种放射性元素的衰变为素材创设计算尚未衰变原子核总数的学习探索问题情境。本题与人教版教材选择性必修第三册第114页第3题创设的物理情境相似。主要考查放射性、原子核衰变、半衰期等知识点。

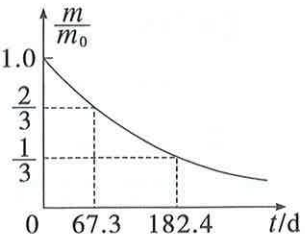
【关键能力】本题主要考查推理论证能力。



【答案】C

【失分剖析】①不理解半衰期概念，从而写错经过一定时间后尚未衰变的原子核数目的表达式；②没有联立方程求解出两种元素在$t=0$时刻原子核的数目。

11.(2021 全国乙卷,17)医学治疗中常用放射性核素^{113}In产生γ射线,而^{113}In是由半衰期相对较长的^{113}Sn衰变产生的。对于质量为m_0的^{113}Sn,经过时间t后剩余的^{113}Sn质量为m,其$\frac{m}{m_0}-t$图线如图所示。从图中可以得到^{113}Sn的半衰期为(　　)



A. 67.3 d　　B. 101.0 d　　C. 115.1 d　　D. 124.9 d

【试题立意】本题以医学治疗中常用的γ射线为素材创设利用图像探究半衰期的学习探索问题情境。本题与人教版教材选择性必修第三册第 110 页图 5.2-4 创设的物理情境相似。主要考查放射性、原子核衰变、半衰期等知识点。

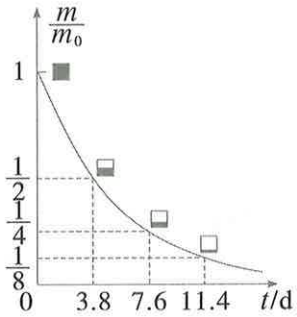


图 5.2-4　氡的衰变

【关键能力】本题主要考查理解能力和推理论证能力。

(1)理解能力

序号	图像信息	物理量及其关系
1	当$t=0$时,$\frac{m}{m_0}=1$	^{113}Sn还没有开始衰变
2	当$t=67.3$ d时,$\frac{m}{m_0}=\frac{2}{3}$	^{113}Sn已有$\frac{1}{3}$发生衰变,剩余$\frac{2}{3}$
3	当$t=182.4$ d时,$\frac{m}{m_0}=\frac{1}{3}$	^{113}Sn已有$\frac{2}{3}$发生衰变,剩余$\frac{1}{3}$

(2)推理论证能力

①常规思路:

质量为m_0的^{113}Sn一半发生衰变 → $\frac{m}{m_0}=\frac{1}{2}$

$t=67.3$ d时,$\frac{m_1}{m_0}=\frac{2}{3}$

$t=182.4$ d时,$\frac{m_2}{m_0}=\frac{1}{3}$

→ $67.3\text{ d}<\tau<182.4\text{ d}$ → 无法确定具体数值

②创新思路:

$t=67.3$ d时,$\frac{m_1}{m_0}=\frac{2}{3}$

$t=182.4$ d时,$\frac{m_2}{m_0}=\frac{1}{3}$

→ $\frac{m_1}{m_2}=\frac{2}{1}$ → $\tau=182.4\text{ d}-67.3\text{ d}=115.1\text{ d}$

【答案】C

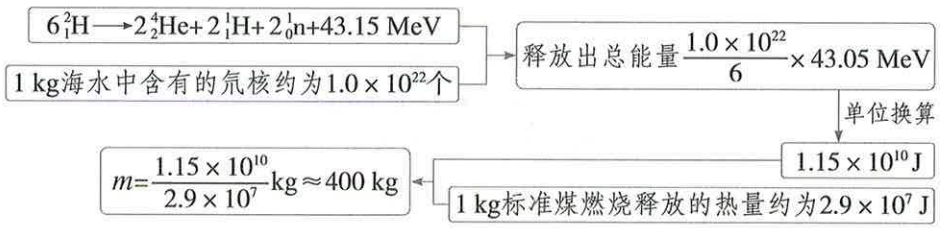
【失分剖析】对半衰期的定义模糊，或是从图像中找不到在哪一段时间内^{113}Sn恰好有半数发生衰变，从而得不到^{113}Sn的半衰期。

12.(2020全国Ⅱ卷，18)氘核$_1^2H$可通过一系列聚变反应释放能量，其总效果可用反应式$6_1^2H \longrightarrow 2_2^4He+2_1^1H+2_0^1n+43.15\ MeV$表示。海水中富含氘，已知1 kg海水中含有的氘核约为1.0×10^{22}个，若全都发生聚变反应，其释放的能量与质量为m的标准煤燃烧时释放的热量相等；已知1 kg标准煤燃烧释放的热量约为2.9×10^7 J，1 MeV$=1.6\times10^{-13}$ J，则m约为（　　）

A. 40 kg　　B. 100 kg　　C. 400 kg　　D. 1 000 kg

【试题立意】本题以氘核$_1^2H$发生聚变反应为素材创设学习探索问题情境。此情境曾在2017年全国Ⅰ卷第17题出现过，主要考查核反应方程、核聚变反应、能量单位换算关系等知识点。

【关键能力】本题主要考查推理论证能力。



【答案】C

方法点拨

(1)核反应前后满足质量数守恒和电荷数守恒。

(2)半衰期的理解

$$N=N_0\times\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

其中N_0是指初始时刻($t=0$)时该元素的原子核数，t为衰变时间，T为半衰期，N是衰变后该元素的原子核数。

$$m=m_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

其中m_0为初始时刻($t=0$)时该元素的原子核质量，t为衰变时间，T为半衰期，m为衰变后该元素的原子核质量。

(3)质能方程$E=mc^2$，质量亏损与释放能量的关系$\Delta E=\Delta mc^2$。

命题规律

1. 多维度细目表

高考试题（年份/卷别/题号）			2023						2022				2021	2020
			全国新课标，16	全国甲，15	全国乙，16	山东，1	广东，1	湖北，1	全国甲，17	全国乙，17	河北，4	浙江6月，7	全国乙，17	全国Ⅱ，18
考查内容	必备知识	氢原子光谱、氢原子能级结构、能级公式	√			√		√				√		
		原子核的组成、放射性、原子核的衰变、半衰期、放射性同位素							√				√	
		核力、核反应方程、结合能、质量亏损、核裂变和核聚变、裂变反应堆、射线的危害和防护		√	√		√							√
		光电效应、爱因斯坦光电效应方程								√	√	√		
	关键能力	理解能力	√	√	√		√				√		√	
		推理论证能力		√		√		√	√	√		√	√	√
		模型建构能力												
		实验探究能力												
		创新能力												
	学科素养	物理观念	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
		科学思维	√	√	√	√	√		√	√		√	√	√
		科学探究												
		科学态度与责任												
考查要求		基础性	√	√	√	√	√	√	√		√		√	√
		综合性								√		√		
		应用性												
		创新性												
情境载体		生活实践问题情境												
		学习探索问题情境	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

2. 命题趋势

考查项目	考查特点
命题类型	题型均为选择题，可能只考查一个考点，也可能涉及多个考点
必备知识	在原子结构方面，主要考查原子的核式结构模型、氢原子光谱和玻尔的原子理论。主要涉及 α 粒子散射实验和原子核式结构模型的理解，根据定态跃迁条件分析氢原子能级。这部分内容多与光电效应综合考查。 在原子核方面，常以原子核衰变、核反应为背景，考查天然放射现象、原子核的组成、射线特点、核反应的质量亏损和核能等，内容较多且较为分散。在 2021、2022 连续两年的高考中，多省的试卷考查了半衰期这一概念。 在波粒二象性方面，主要考查光电效应的条件和在该过程中各个概念的理解，常结合光电效应方程、遏止电压、饱和电流、$I-U$ 图像等进行考查
关键能力	绝大多数考题考查的是理解能力、推理论证能力。理解能力是多数题目考查的能力，推理论证能力则重在考查半衰期公式、氢原子能级结构和能级公式、光电效应、核反应的规律、结合能的应用
学科素养	重在考查物理观念和科学思维
考查要求	注重基础性，综合性和创新性的考题相对较少
考查载体	问题情境以学习探索情境为主

原子物理部分考点分散，考查要求不高。未来高考命题的方向仍然突出原子的能级跃迁、原子核的衰变规律、核反应方程的书写以及遵循的规律、质量亏损与核能计算、光电效应的规律及应用。

值得注意的是，玻尔的原子理论、光电效应，也可能与光的折射、全反射相结合进行综合考查；原子核衰变可能与动量、能量和电磁场相结合以计算题的形式进行综合考查。

3. 备考策略

本专题涉及的知识点较多，多数属于理解记忆的内容，在备考过程中，要做到以下两点：

(1)紧扣课本，加强对相关概念和规律的理解和记忆，强化选择题的训练。

(2)关注本专题内容与其他专题内容的关联，强化知识的综合运用能力。比如原子物理与动量守恒、能量守恒、电磁场等相关内容的联系。注意综合题目的分析思路，强化训练。

附录Ⅰ

高考必备知识细目

依据《普通高中物理课程标准》(2017年版2020年修订)规定的课程内容要求，梳理必备知识，并突出了与旧课标、老考纲之间的差异，有利于对课程改革内容进一步理解。

依据知识点在基础物理学中的地位，及在学习、应用相应知识提升学生核心素养过程中的作用和思维难度，确定相应等级要求，用数字Ⅰ、Ⅱ标出。Ⅰ、Ⅱ含义如下：

Ⅰ.对所列知识要知道其内容及含义，并能在有关问题中识别和直接使用。形成相应的物理观念、科学态度与责任。与课程标准中的“了解”和“认识”相当。

Ⅱ.对所列知识要理解其确切含义及与其他知识的联系，能够进行叙述和解释，并能在实际问题的分析、综合、推理和判断等过程中运用。具备相应的科学思维、科学探究能力。与课程标准中的“理解”和“应用”相当。

必备知识及要求

力　学			
主题	内容	要求	说明(与老考纲不同之依据)
机械运动与物理模型	质点	Ⅰ	①删掉了“参考系”。新旧课标中都没提“参考系” ②新课标加了“通过实验，认识自由落体运动规律”
	位移、速度和加速度	Ⅱ	
	匀变速直线运动及其公式、图像	Ⅱ	
	自由落体运动	Ⅰ	
相互作用与运动定律	重力	Ⅰ	①新课标加了“认识重力” ②新课标没提“形变、弹性”，增加了“认识弹力” ③新课标是“了解力的合成和分解”，旧课标为“理解力的合成和分解”
	弹力、胡克定律	Ⅰ	
	滑动摩擦力、动摩擦因数、静摩擦力	Ⅰ	
	矢量和标量	Ⅰ	
	力的合成和分解	Ⅰ	
	共点力的平衡	Ⅱ	
	牛顿运动定律及其应用	Ⅱ	
	超重和失重	Ⅰ	
机械能及其守恒定律	功和功率	Ⅱ	新课标加了“定性了解弹性势能”
	动能和动能定理	Ⅱ	
	重力做功与重力势能	Ⅱ	
	弹性势能	Ⅰ	
	功能关系、机械能守恒定律及其应用	Ⅱ	

续表

力　学			
主题	内容	要求	说明(与老考纲不同之依据)
曲线运动与万有引力定律	运动的合成与分解	Ⅱ	新课标加了“周期”
	抛体运动	Ⅱ	
	匀速圆周运动、角速度、线速度、周期、向心加速度	Ⅰ	
	匀速圆周运动的向心力	Ⅱ	
	离心现象	Ⅰ	
	万有引力定律及其应用	Ⅱ	
	环绕速度	Ⅱ	
	第二宇宙速度和第三宇宙速度	Ⅰ	
牛顿力学的局限性与相对论初步	牛顿力学时空观和相对论时空观	Ⅰ	
	狭义相对论的基本假设	Ⅰ	
	质能关系	Ⅰ	
动量与动量守恒定律	冲量、动量、动量定理、动量守恒定律及其应用	Ⅱ	新课标加了“理解冲量”
	弹性碰撞和非弹性碰撞	Ⅰ	
机械振动与机械波	简谐运动	Ⅰ	新课标加了“知道波的反射和折射现象”
	简谐运动的公式和图像	Ⅱ	
	单摆、周期公式	Ⅰ	
	受迫振动和共振	Ⅰ	
	机械波、横波和纵波	Ⅰ	
	横波的图像	Ⅱ	
	波速、波长和频率(周期)的关系	Ⅰ	
	波的反射、折射、干涉和衍射现象	Ⅰ	
	多普勒效应	Ⅰ	
电　学			
主题	内容	要求	说明(与老考纲不同之依据)
静电场	物质的电结构、电荷守恒	Ⅰ	删掉老考纲“带电粒子在匀强电场中的运动”中的“匀强”。新课标的表述:“能分析带电粒子在电场中的运动情况,能解释相关的物理现象”
	静电现象的解释	Ⅰ	
	点电荷	Ⅰ	
	库仑定律	Ⅱ	
	静电场	Ⅰ	
	电场强度、点电荷的电场强度	Ⅱ	
	电场线	Ⅰ	
	电势能、电势	Ⅰ	
	电势差	Ⅱ	
	匀强电场中电势差与电场强度的关系	Ⅱ	

续表

电　学			
主题	内容	要求	说明(与老考纲不同之依据)
静电场	带电粒子在电场中的运动	Ⅱ	
	示波管	Ⅰ	
	常见电容器	Ⅰ	
	电容器的电压、电荷量和电容的关系	Ⅰ	
电路及其应用	欧姆定律	Ⅱ	新课标加了“理解电功、电功率及焦耳定律”。旧课标为“知道焦耳定律”
	电阻定律	Ⅰ	
	电阻的串联、并联	Ⅰ	
	电源的电动势和内阻	Ⅱ	
	闭合电路欧姆定律	Ⅱ	
	电功、电功率及焦耳定律	Ⅱ	
磁场	磁场、磁感应强度、磁感线	Ⅰ	
	通电直导线和通电线圈周围磁场的方向	Ⅰ	
	安培力、安培力的方向	Ⅰ	
	匀强磁场中的安培力	Ⅱ	
	洛伦兹力、洛伦兹力的方向	Ⅰ	
	洛伦兹力公式	Ⅱ	
	带电粒子在匀强磁场中的运动	Ⅱ	
	质谱仪和回旋加速器	Ⅰ	
电磁感应及其应用	电磁感应现象	Ⅰ	新课标为“公式”，旧课标为“函数表达式”
	磁通量	Ⅰ	
	法拉第电磁感应定律	Ⅱ	
	楞次定律	Ⅱ	
	自感、涡流	Ⅰ	
	交变电流、交变电流的图像	Ⅰ	
	正弦式交变电流的公式、峰值和有效值	Ⅰ	
	理想变压器	Ⅱ	
	远距离输电	Ⅰ	
电磁振荡与电磁波	电磁波的产生	Ⅰ	
	电磁波的发射、传播和接收	Ⅰ	
	电磁波谱	Ⅰ	
传感器	常见传感器	Ⅰ	新课标中增加了主题“传感器”

续表

热　学			
主题	内容	要求	说明(与老考纲不同之依据)
固体、液体和气体	分子动理论的基本观点及相关的实验证据	Ⅰ	删掉老考纲“饱和蒸汽、未饱和蒸汽、饱和蒸汽压”“相对湿度”两个知识点。新课标删除了相应知识点的内容要求
	阿伏加德罗常数	Ⅰ	
	气体分子运动速率的统计分布	Ⅰ	
	温度、内能	Ⅰ	
	固体的微观结构、晶体和非晶体	Ⅰ	
	液晶的微观结构	Ⅰ	
	液体的表面张力现象	Ⅰ	
	气体实验定律	Ⅱ	
	理想气体	Ⅰ	
热力学定律	热力学第一定律	Ⅰ	
	能量守恒定律	Ⅰ	
	热力学第二定律	Ⅰ	
光　学			
主题	内容	要求	说明(与老考纲不同之依据)
光及其应用	光的折射定律	Ⅱ	新旧课标都有关于“激光”的内容要求
	折射率	Ⅰ	
	全反射、光纤	Ⅰ	
	干涉、衍射和偏振现象	Ⅰ	
	激光的特性及应用	Ⅰ	
原子与原子核			
主题	内容	要求	说明(与老考纲不同之依据)
原子与原子核	氢原子光谱	Ⅰ	
	氢原子的能级结构、能级公式	Ⅰ	
	原子核的组成、放射性、原子核衰变、半衰期	Ⅰ	
	放射性同位素	Ⅰ	
	核力、核反应方程	Ⅰ	
	结合能、质量亏损	Ⅰ	
	核裂变反应和核聚变反应、核裂变反应堆	Ⅰ	
	射线的危害与防护	Ⅰ	
波粒二象性	光电效应	Ⅰ	
	爱因斯坦光电效应方程	Ⅰ	

续表

单位制和实验			
主题	内容	要求	说明(与老考纲不同之依据)
单位制	中学物理中涉及的国际单位制的基本单位和其他单位,例如小时、分、升、电子伏、摄氏度、标准大气压	Ⅰ	
实验	1.测量做直线运动物体的瞬时速度 2.探究弹簧弹力与形变量的关系 3.探究两个互成角度的力的合成规律 4.探究加速度与物体受力、物体质量的关系 5.验证机械能守恒定律 6.探究平抛运动的特点 7.探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系 8.观察电容器的充、放电现象 9.长度的测量及其测量工具的选用 10.测量金属丝的电阻率 11.用多用电表测量电学中的物理量 12.测量电源的电动势和内阻 13.验证动量守恒定律 14.用单摆测量重力加速度的大小 15.测量玻璃的折射率 16.用双缝干涉实验测量光的波长 17.探究影响感应电流方向的因素 18.探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系 19.利用传感器制作简单的自动控制装置 20.用油膜法估测油酸分子的大小 21.探究等温情况下一定质量气体压强与体积的关系		新课标所列“学生必做实验”

附录Ⅱ

试题索引

专题		地区/年份/题号											
		全国新课标卷	全国甲卷	全国乙卷	山东卷	广东卷	湖南卷	湖北卷	河北卷	辽宁卷	浙江卷	北京卷	其他卷
专题一 力和运动	第1讲			2019:19（Ⅰ卷）	2023:2 2020:8	2023:2	2022:5 2021:5		2022:7		2022：10（6月）		海南，2023:3
	第2讲		2023:16、19 2022:19	2023:14 2022:15 2021:21	2023:6		2023:10	2023:9				2023:6	
	第3讲	2023:24	2023:24、17 2022:24、14 2021:15	2023:15	2022:11		2023:2	2023:14	2022:10				
	第4讲	2023:17		2022:14 2021:18	2023:3	2022:2	2023:4	2023:2	2022:2	2023:7	2022:8（1月）	2023:20	
专题二 功和能	第1讲	2023:15		2023:21 2021:24	2023:4、8 2022:16		2023:8				2023：18（1月） 2022：13（6月）		
	第2讲		2023:14 2021:24	2022:16	2021:18				2022:9		2023：18（6月）		