

龙门品牌  学子至爱

# 新课标

# 龙门 考题

## 高中物理

主 编 朱 浩  
本册主编 魏小锋

# 动量 原子物理



龍 門 書 局

[www.Longmenbooks.com](http://www.Longmenbooks.com)

PDG

新课标

动量  
原子物理



高中物理

主 编:朱 浩

本册主编:魏小锋

龍 門 書 局  
北 京

**版权所有 侵权必究**

举报电话:(010)64030229;(010)64034315;13501151303

邮购电话:(010)64034160

**图书在版编目(CIP)数据**

龙门专题:新课标·高中物理·动量 原子物理/朱浩主编;魏小锋本册主编. —北京:龙门书局,2008

ISBN 978-7-5088-1682-1

I. 龙… II. ①朱…②魏… III. 物理课—高中—教学参考资料 IV. G634

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 142478 号

**龙 门 书 局 出 版**

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

www.longmenbooks.com

**凌奇印刷有限责任公司 印刷**

科学出版社总发行 各地书店经销

2008 年 9 月 第 一 版 开本:A5(890×1240)

2009 年 4 月 第 三 次 印 刷 印张:9 1/4

字数:332 000

**定 价:17.00 元**

(如有印装质量问题,我社负责调换)



三十的晚上还学习到深夜三点？你们又有谁发烧烧到39度以上还在病床上看书？……”那一年，她以总分684分成为了浙江省文科高考状元。

陆文，一个出自父母离异的单亲家庭的女孩，她说，她努力学习的动力就是想让妈妈高兴，因为从小她就发现，每次她成绩考得很好，妈妈就会很高兴。为了给妈妈买一套宽敞明亮的房子，她选择了出国这条路，考托福，考GRE，最后如愿以偿，被芝加哥大学以每年6.4万美金的全额奖学金录取为生物方向的研究生。6.4万美金，当时相当于人民币52万。

齐伟，湖南省高考第七名，清华大学计算机学院的研究生，最近被全球最大的软件公司MICROSOFT聘为项目经理；霖秋，北京大学数学学院的小妹，在坚持不懈的努力中完成了自身最重要的一次涅槃，昨天的她在未名湖上游弋，今天的她已在千里之外的西雅图……

还有很多很多优秀的学子，他们也都有自己的故事，酸甜苦辣，很真实，很精彩。我有幸跟他们朝夕相处，默默观察，用心感受，他们的自信，他们的执着，他们的勤奋刻苦，尤其是他们的“学而得其法”所透露出来的睿智更让人拍案叫绝，他们人人都有一套行之有效的学习方法，花同样的时间和精力他们可以更加快速高效，举一反三。我一直在想：如果当年我也知道他们的这些方法，或许我也能考个清华北大的吧？

多年以来，我一直觉得我们的高考把简单的事情搞复杂了，学生们浪费了大量的时间和精力却收效甚微；多年以来，我们也一直在研究如何

如何将一套优良的学习方法内化在图书中，让同学们在不知不觉中轻松快速的获取高分。这，就是出版《龙门专题》的原因了。

一本好书可以改变一个人的命运！名校，是每一个学子悠远的梦想和真实的渴望。“少年心事当拿云，谁念幽寒坐鸣呃！”

龙门专题，走向名校的阶梯！



总策划 王旭

2008年7月

## 《龙门专题》 状元榜

赵承胜 2007年山西省文科状元

中国人民大学财政金融学院

星座：射手座

喜欢的运动：爬山 乒乓球

喜欢的书：伟人传记，如《毛泽东传》

人生格言：生命不息，奋斗不止

学习方法、技巧：兴趣第一，带着乐趣反复翻阅教科书，从最基本的知识入手，打牢“地基”，从基础知识中演绎难题，争取举一反三，融会贯通。合理安排时间，持之以恒，坚信“天道酬勤，勤能补拙”。



卢毅 2006年浙江省理科状元

北京大学元培学院

星座：天秤座

喜欢的运动：跑步 滑板

喜欢的书：《卡尔维诺文集》

人生格言：做自己

学习方法、技巧：注重知识点的系统性，将每门学科的知识作一个系统地梳理，无论是预习还是复习，这样便可在课上学习时有的放矢，课后复习时查漏补缺。坚持锻炼，劳逸结合。



武睿颖 2005年河北省文科状元

北京大学元培学院

星座：天秤座

喜欢的运动：游泳 网球

喜欢的书：《A Thousand Splendid Suns》

人生格言：赢得时间，赢得生命

学习方法、技巧：勤奋是中学学习的不二法门；同时要掌握良好的学习方法，如制定学习目标、计划，定期总结公式、解题思路等，这样能事半功倍。最后要培养良好的心态，平和积极地面对学习中的得失。



刘诗泽 2005年黑龙江省理科状元

北京大学元培学院

星座：金牛座

喜欢的运动：篮球 台球 排球

喜欢的书：《三国演义》

人生格言：战斗到最后一滴血

学习方法、技巧：多读书，多做题，多总结。看淡眼前成绩，注重长期积累。坚持锻炼，劳逸结合。



邱讯 2005年四川省文科状元

北京大学

星座：处女座

喜欢的运动：篮球 乒乓球

喜欢的书：《哈利·波特》

人生格言：非淡泊无以明志，  
非宁静无以致远

学习方法、技巧：1. 要保持一颗平常心来面对考试、繁重的学习任务和激烈的竞争。2. 学会从各种测验考试中总结经验、教训，而不要仅仅局限于分数。3. 学会计划每一天的学习任务，安排每一天的学习时间。4. 坚持锻炼，劳逸结合。



林叶 2005年江苏省文科状元

北京大学

星座：水瓶座

喜欢的运动：跑步 台球 放风筝

喜欢的书：《黑眼睛》《笑面人》

人生格言：不经省察的生活不值得过

学习方法、技巧：学习分两类，一类和理想真正有关，另一类只是不得不过的门槛。不要总因为喜好就偏废其中的一个，它不仅是必须的，而且也许会发现，它本来也值得你热爱和认真对待。你自己的学习方法别人永远无法替代，它也是你生活的一部分，完善它，就像完善你自己。



田禾 2005年北京市理科状元

北京大学元培学院

星座：水瓶座

喜欢的运动：羽毛球

喜欢的书：历史类书籍

人生格言：认真、坚持

学习方法、技巧：认真听讲，勤于思考，作阶段性总结，及时调整学习计划，坚持阅读课外书和新闻，一以贯之，学不偏废。



朱师达 2005年湖北省理科状元

北京大学元培学院

星座：水瓶座

喜欢的运动：足球 篮球 游泳

喜欢的书：《追风筝的人》《史记》

人生格言：有梦想就有可能，有希望  
就不要放弃

学习方法、技巧：1. 知识系统化、结构化是掌握知识的有用技巧和重要体现。2. 知其然还要知其所以然，记忆才更牢固。3. 整体把握兴趣和薄弱科的平衡。4. 正确认识自己的弱点，集中力量克服它。



# 编委会

主 编：朱 浩

编委会成员：张一为 李小龙 吴曾希 江晓洁  
刘 炜 陈 平 庄建芳 张凤娟  
温卫国 魏金春 张丹彤 翟富兰  
陈 强 丁忠平 孔竹清 周晓慧  
吴纯平 蒋永根 陈平良 薛 明  
周新跃 李 琴 杨明华 冯建华  
孙燕婉 缪 昆 张馨若 杨钰敏  
李桂华 王正春 孙路平 徐金宏  
尹孝庆 吴 刚 徐伯静 李志峰  
周依群 吴世龙 许逢梅 刘卫华  
蒋兆平 刘忠平 于其泰 殷宗玉  
张玉元 张传生 李建玉 马忠琪  
姜 玮 王 婷 薛 峰 吴维佳  
谢明元 李 书 吴金龙 史大平  
房鹤年 姚雪军 李金元 陈益明  
陈志梅 钱 颖 徐 勇 薛钰康  
邵龙瑞 吴维佳 李 伟 张海平  
周渊远 秦文清 潘文华 黄 凯  
王 葭 胡 洁 周蓉娟 朱亚军  
王剑峰 顾 俊 何建波 周 枚  
邵艾丽 马晓旭 任清平 张惠珊

# Contents

## 目录

基础篇 .....	( 1 )
第一讲 冲量与动量 动量定理 .....	( 2 )
第二讲 动量守恒定律 .....	( 22 )
第三讲 动量守恒定律在碰撞中的应用 .....	( 54 )
第四讲 反冲 火箭 .....	( 86 )
第五讲 光电效应 .....	( 108 )
第六讲 康普顿效应 波粒二象性 .....	( 131 )
第七讲 原子核式结构 .....	( 149 )
第八讲 玻尔的原子模型 氢原子光谱 .....	( 162 )
第九讲 原子核的组成与衰变 .....	( 189 )
第十讲 探测射线的方法 放射性的应用与防护 .....	( 214 )
第十一讲 结合能 核反应 .....	( 224 )
综合应用篇 .....	( 262 )
第十二讲 动量与能量 .....	( 262 )





# 基础篇

## 高考内容及要求

	内容	要求	说明
1	动量 动量守恒定律	II	只限于一维的情况
2	验证动量守恒定律(实验、探究)	I	
3	弹性碰撞和非弹性碰撞反冲运动	I	只限于一维碰撞的相关问题
4	量子论的建立 黑体和黑体辐射	I	
5	光电效应 光子说 光电效应方程	I	
6	康普顿效应	I	
7	光的波粒二象性 物质波 概率波 不确定性关系	I	德布罗意关系式的定量计算不作要求
8	原子核式结构模型	I	
9	氢原子光谱	I	
10	原子的能级	I	
11	原子核的组成	I	
12	原子核的衰变 半衰期	I	用半衰期公式进行定量计算不作要求
13	放射性的应用与防护 放射性同位素	I	
14	核力与结合能 质量亏损	I	
15	核反应方程	I	
16	重核裂变 核聚变	I	



# 第一讲 冲量与动量 动量定理

## 课 标 要 求

通过实验探究物体碰撞中的不变量,正确理解弹性碰撞和非弹性碰撞,理解动量、冲量的概念以及动量定理的内容与公式。

## 重 点 聚 焦

动量定理的应用。

## 知识点精析与应用

### 知识点精析

#### 1. 碰撞

两个或几个有相对速度的物体相遇时,在很短的时间内它们的运动状态发生显著变化,这种物体间相互作用的过程叫碰撞。碰撞是自然界中常见的现象。

这里的碰撞,并不局限于物体直接接触的情况。分子、原子、基本粒子等微观粒子不直接接触,但相互间有力作用,并影响彼此的运动,这种情况也叫碰撞。

#### 2. 实验探究碰撞的设计思想

(1)设置两个物体碰撞前后沿同一直线运动,即一维碰撞。

设两个物体的质量分别是  $m_1$ 、 $m_2$ ,碰撞前的速度分别为  $v_1$ 、 $v_2$ ,碰撞后的速度分别为  $v_1'$ 、 $v_2'$ ,如果速度与我们设定的方向一致,取正值,否则取负值。

研究方向:

$$\textcircled{1} m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

$$\textcircled{2} m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 = m_1 v_1'^2 + m_2 v_2'^2$$

$$\textcircled{3} \frac{v_1}{m_1} + \frac{v_2}{m_2} = \frac{v_1'}{m_1} + \frac{v_2'}{m_2}$$

也许还有……

(2)碰撞可能有很多情形:

①两个质量相等的物体碰撞;②两个质量相差悬殊的物体碰撞;③两个速度大小相等、方向相反的物体碰撞,一个运动物体与一个静止物体碰撞等;④两个物体碰撞时可能碰后分开,也可能粘在一起不再分开等。

(3)寻找的不变量的特点:在各种碰撞的情况下都不改变。

(4)将实验中测得的数据填入下表中,然后探究不变量。



质量 速度	碰撞前		碰撞后	
	$m_1$ $v_1$	$m_2$ $v_2$	$m_1$ $v_1'$	$m_2$ $v_2'$
$mv$	$m_1 v_1 + m_2 v_2$		$m_1 v_1' + m_2 v_2'$	
$mv^2$	$m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2$		$m_1 v_1'^2 + m_2 v_2'^2$	
$\frac{v}{m}$	$\frac{v_1}{m_1} + \frac{v_2}{m_2}$		$\frac{v_1'}{m_1} + \frac{v_2'}{m_2}$	
...	...		...	

1666年,有人在英国皇家学会演示了如图1-1所示的实验:把A、B两个质量相等的硬木球(用钢球效果更好)并排挂在一起,然后把A球向左拉开,再松手,它向右回摆,到达原先的平衡位置时跟B球发生碰撞。碰撞后,A球立即停下,B球向右摆去,摆到与刚才A球开始松手时差不多的高度,又向左回摆,跟A球相撞,这时B球立即停下,而A球向左摆去……如此往复。

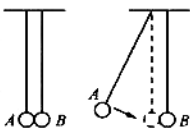


图 1-1

#### (5) 碰撞的分类.

**弹性碰撞:**如果碰撞过程中动能守恒,即为弹性碰撞.

**非弹性碰撞:**作用过程中动能不守恒的碰撞.

在近代物理学中,微观粒子间的碰撞没有能量损失,所以都是弹性碰撞.如果两个物体碰撞后合为一个整体,亦即以相同的速度运动,碰撞过程中损失动能最大,这样的碰撞称为完全非弹性碰撞.

### 3. 动量及动量变化

(1)定义:物体的质量和运动速度的乘积叫做物体的动量,记作  $p=mv$ . 是状态量,在中学阶段,动量表达式中的速度通常取地球为参考系的.

(2)矢量性:动量是矢量,它的方向与物体的速度方向相同,服从矢量运算法则.

(3)单位:在国际单位制中,千克·米/秒,符号为  $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ .

(4)动量的变化量  $\Delta p$ :

动量是矢量,当速度发生变化时,物体的动量也发生变化.速度的大小或方向发生变化时,速度就发生变化,物体动量的大小或方向也相应发生了变化,我们就说物体的动量发生了变化.

设物体的初动量  $p_1=mv_1$ ,末动量  $p_2=mv_2$ ,则物体动量的变化

$$\Delta p = p_2 - p_1 = mv_2 - mv_1$$

由于动量是矢量,因此,上式一般意义上是矢量式.

### 4. 冲量

(1)定义:力和力的作用与时间的乘积叫做力的冲量,记作  $I=F \cdot t$ . 冲量是描述力对物体作用的时间积累效应的物理量.

(2)矢量性:冲量是矢量,它的方向就是力的方向.

(3)单位:在国际单位制中,牛·秒,符号为  $\text{N} \cdot \text{s}$ .

(4)在理解冲量概念时,应注意:

冲量是过程量,它取决于力和时间两个因素.较大的力在较短的时间内的积累效果,



可以和较小的力在较长时间内的积累效果相同。求冲量时一定要明确哪个力在哪一段时间内的冲量。根据冲量的定义式  $I = F \cdot t$ ，只能直接求恒力的冲量。当力的大小或方向发生变化时，都不能直接用定义式求力的冲量。

当力的方向不变时，冲量的方向与力的方向相同，当力的方向变化时，冲量的方向一般根据动量定理来判断。

### 5. 动量定理

#### (1) 动量定理：

物体所受合外力的冲量等于物体动量的变化，数学表达式为

$$I = Ft = mv - mv_0.$$

式中  $mv_0$  是物体初始状态的动量， $mv$  是力作用结束时末状态的动量。

动量定理反映了物体在受到力的冲量作用时，其状态发生变化的规律，是力在时间上的积累效应。

#### (2) 动量定理的理解要点：

动量的表达式是一个矢量式，应用动量定理时应先规定正方向。

动量定理公式中  $F$  是研究对象所受的包括重力在内的所有外力的合力，它可以是恒力可以是变力。当合外力是变力时， $F$  应该是合外力在作用时间的平均值。

动量定理的研究对象是单个物体或系统。

动量定理中的冲量是合外力的冲量，而不是某一个力的冲量。在所研究的物理过程中，如果作用在物体上的各力作用时间相等，求合外力的冲量时，可以先求合外力，然后再乘以作用时间，也可以先求每个外力作用时间内的冲量，然后再求所有外力冲量的矢量和。若作用在物体上各力的时间不等，就只能先求每个外力在作用时间内的冲量，然后再求所有外力冲量的矢量和。

动量定理中  $I$  是合外力的冲量，是使研究对象的动量发生变化的原因，并非是产生动量的原因，不能认为合外力的冲量就是动量的变化。合外力的冲量是引起研究对象状态变化的外在因素，而动量的变化是合外力冲量作用后导致的必然结果。合外力的冲量是物体动量变化的量度。

动量定理不仅适用于宏观物体的低速运动，对微观物体和高速运动仍然适用。

#### (3) 冲量的计算方法：

$I = F \cdot t$  适用于某个恒力冲量。

冲量的运算遵循平行四边形定则。

在  $F-t$  图象下的面积就是力的冲量。如图 1-2 所示，若求变力的冲量，仍可用“面积法”表示，如图 1-3 所示。

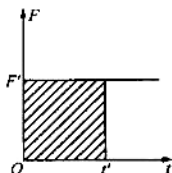


图 1-2

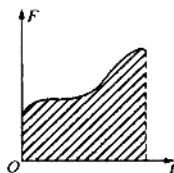


图 1-3



## 6. 动量定理的应用

(1) 一个物体的动量变化  $\Delta p$  与合外力的冲量具有等效代换关系,二者大小相等,方向相同,可以相互代换,据此有:

应用  $I = \Delta p$  求变力的冲量:如果物体受到大小或方向改变的力的作用,则不能直接用  $Ft$  求变力的冲量,这时可以求出该力作用下物体动量的变化  $\Delta p$ ,等效代换变力的冲量  $I$ .

应用  $\Delta p = F\Delta t$  求恒力作用下的曲线运动中物体动量的变化:曲线运动的物体速度方向时刻在变化,求动量变化  $\Delta p = p' - p$  需要应用矢量运算方法,比较麻烦.如果作用力是恒力,可以求恒力的冲量,等效代换动量的变化.

(2) 用动量定理解释相关物理现象的要点.

由  $Ft = p' - p = \Delta p$  可以看出,当  $\Delta p$  为恒量时,作用力  $F$  的大小与相互作用的时间  $t$  成反比.例如,玻璃杯自一定高度自由下落,掉在水泥地面上,玻璃杯可能破碎,而掉在垫子上就可能不破碎,其原因就是玻璃杯的动量变化虽然相同,但作用时间不同;当  $F$  为恒量时,物体动量的变化与作用时间成正比.例如,叠放在水平桌面上的两物体,如图 1-4 所示,若施力快速将  $A$  水平抽出,物体  $B$  几乎仍静止,当物体  $A$  抽出后,物体  $B$  竖直下落.

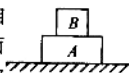


图 1-4

(3) 应用动量定理解题的步骤:

选取研究对象;

确定所研究的物理过程及其始、终状态;

分析研究对象在所研究的物理过程中的受力情况;

规定正方向,根据动量定理列式;

解方程,统一单位,求得结果.

## 解题方法指导

[例 1] 某同学设计了一个用打点计时器探究碰撞过程中不变量的实验:在小车  $A$  的前端粘有橡皮泥,推动小车  $A$  使之做匀速运动,然后与原来静止在前方的小车  $B$  相碰并粘成一体,继续做匀速运动,他设计的具体装置如图 1-5 所示.在小车  $A$  后连着纸带,电磁打点计时器电源频率为 50Hz,长木板下垫着小木片用以平衡摩擦力.

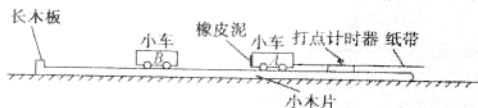


图 1-5

(1) 若已得到打点纸带如图 1-6 所示,并将测得的各计数点间距离标在图上,  $A$  点是运动起始的第一点,则应选\_\_\_\_\_段来计算  $A$  的碰前速度,应选\_\_\_\_\_段来计算  $A$  和  $B$  碰后的共同速度(以上两格填“ $AB$ ”或“ $BC$ ”或“ $CD$ ”或“ $DE$ ”).

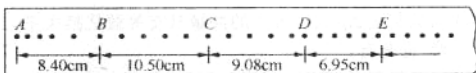


图 1-6

(2) 已测得小车 A 的质量  $m_A = 0.40 \text{ kg}$ , 小车 B 的质量  $m_B = 0.20 \text{ kg}$ , 由以上测量结果可得: 碰前  $m_A v_A + m_B v_B =$  \_\_\_\_\_  $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ ; 碰后  $m_A v'_A + m_B v'_B =$  \_\_\_\_\_  $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ . 并比较碰撞前后两个小车质量与速度的乘积之和是否相等.

**解答:** (1) 小车 A 碰前做匀速直线运动, 打在纸带上的点应该是间距均匀的, 故计算小车碰前速度应选 BC 段; CD 段上所打的点由稀变密, 可见在 CD 段 A、B 两小车相互碰撞, A、B 碰撞后一起做匀速运动, 所打出的点又应是间距均匀的, 故应选 DE 段计算碰后速度.

$$(2) \text{碰前 } m_A v_A + m_B v_B = 0.4 \times 1.05 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0.420 \text{ kg} \cdot \text{m/s}.$$

$$\text{碰后 } m_A v'_A + m_B v'_B = (m_A + m_B) v = 0.6 \times 0.695 \text{ kg} \cdot \text{m/s} = 0.417 \text{ kg} \cdot \text{m/s}.$$

$$\text{其中, } v_A = \frac{BC}{\Delta t} = \frac{0.105}{0.1} \text{ m/s} = 1.05 \text{ m/s}.$$

$$v'_A = v'_B = v = \frac{DE}{\Delta t} = \frac{0.0695}{0.1} \text{ m/s} = 0.695 \text{ m/s}.$$

通过计算可以发现, 在误差允许范围内, 碰撞前后两个小车的  $mv$  之和是相等的.

**答案:** (1) BC DE (2) 0.420 0.417

**评注:** 此题是根据 1998 年上海高考题改编的, 原题为验证碰撞过程中动量守恒, 这里结合所学内容将说法稍作变动. 此题的关键是选择纸带上的有效段, 理解为什么要选择这样的有效段(匀速运动, 打点应均匀).

[例 2] 某同学用图 1-7 甲所示装置通过半径相同的 A、B 两球的碰撞来寻找碰撞中的不变量, 图中 PQ 是斜槽, QR 为水平槽, 实验时先使 A 球从斜槽上某一固定位置 G 由静止开始滚下, 落到位于水平地面的记录纸上, 留下痕迹, 重复上述操作 10 次, 得到 10 个落点痕迹, 再把 B

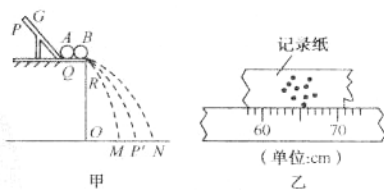


图 1-7

球放在水平槽上靠近槽末端的地方, 让 A 球仍从位置 G 由静止开始滚下, 和 B 球碰撞后, A、B 球分别在记录纸上留下各自的落点痕迹, 重复这种操作 10 次, 图中 O 是水平槽末端口在记录纸上的垂直投影点, P' 为未放被碰小球 B 时 A 球的平均落点, M 为与 B 球碰后 A 球的平均落点, N 为被碰球 B 的平均落点. 若 B 球落点痕迹如图乙所示, 其中米尺水平放置, 且平行于 OP', 米尺的零点与 O 点对齐. (注意  $m_A > m_B$ )



(1)碰撞后 B 球的水平射程应为 \_\_\_\_\_ cm.

(2)在以下选项中,哪些是本次实验必须进行的测量? 答: \_\_\_\_\_ (填选项号).

- A. 水平槽上未放 B 球时,测量 A 球落点位置到 O 点的距离  
 B. A 球与 B 球碰撞后,测量 A 球落点位置到 O 点的距离  
 C. 测量 A 球或 B 球的直径  
 D. 测量 A 球和 B 球的质量  
 E. 测量 G 点相对于水平槽面的高度

**解答:**(1)将 10 个点圈在圆内的最小圆的圆心作为平均落点,可由刻度尺测得碰撞后 B 球的水平射程约为 64.7cm.

(2)从同一高度做平抛运动飞行的时间  $t$  相同,而水平方向为匀速运动,故水平位移  $s = vt$ ,所以只要测出小球飞行的水平位移,就可以用水平位移代替平抛初速度,亦即碰撞前后的速度,通过计算  $m_A \cdot \overline{OP}$  与  $m_A \cdot \overline{OM} + m_B \cdot \overline{ON}$  是否相等,即可以说明两个物体碰撞前后各自的质量与其速度的乘积之和是否相等,故必须测量的是两球的质量和水平射程,即选项 A、B、D 是必须进行的测量.

**答案:**(1)64.7cm(64.2~65.2cm 均可) (2)A、B、D

**评注:**本题是 2000 年全国高考题,该题中利用平抛运动的规律,巧妙地提供了一种测量碰撞前后的速度的方法,既方便又实用.

**例 3** 如图 1-8 所示,在倾角  $\alpha = 37^\circ$  的斜面上,有一质量为 5kg 的物体沿斜面而下,物体与斜面间的动摩擦因数  $\mu = 0.2$ . 求物体下滑 2s 的时间内,物体所受各力的冲量. ( $g$  取  $10\text{m/s}^2$ ,  $\sin 37^\circ = 0.6$ ,  $\cos 37^\circ = 0.8$ )

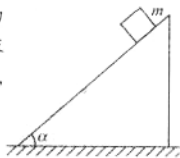


图 1-8

**解答:**物体沿斜面下滑过程中,受重力、支持力和摩擦力的作用. 冲量  $I = Ft$ ,是矢量.

**解:**重力的冲量

$$I_G = G \cdot t = mg \cdot t = 5 \times 10 \times 2 \text{ N} \cdot \text{s} = 100 \text{ N} \cdot \text{s},$$

方向竖直向下.

支持力的冲量

$$I_F = F \cdot t = mg \cos \alpha \cdot t = 5 \times 10 \times 0.8 \times 2 \text{ N} \cdot \text{s} = 80 \text{ N} \cdot \text{s},$$

方向垂直于斜面向上.

摩擦力冲量

$$I_{F_f} = F_f \cdot t = \mu mg \cos \alpha \cdot t = 0.2 \times 5 \times 10 \times 0.8 \times 2 \text{ N} \cdot \text{s} = 16 \text{ N} \cdot \text{s}.$$



方向沿斜面向上。

**评注:**合外力的冲量可以由合外力与时间的乘积求出  $I_{\text{合}} = F_{\text{合}} t = (mgs \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha) \cdot t = 5 \times 10 \times (0.6 - 0.2 \times 0.8) \times 2 \text{ N} \cdot \text{s} = 44 \text{ N} \cdot \text{s}$ , 方向沿斜面向下。合外力的冲量也可以由各外力的冲量的矢量和求出:

$$I_{\text{合}} = I_G \sin \alpha - I_{F_f} = (100 \times 0.6 - 16) \text{ N} \cdot \text{s} = 44 \text{ N} \cdot \text{s}.$$

若物体放在斜面上静止不动,则在一段时间  $t$  内,各力的冲量又如何?

**[例4]** 蹦床是运动员在一张绷紧的弹性网上蹦跳、翻滚并做各种空中动作的运动项目。一个质量为  $60 \text{ kg}$  的运动员,从离水平网面  $3.2 \text{ m}$  高处自由下落,着网后沿竖直方向弹回离水平网面  $5.0 \text{ m}$  高处。已知运动员与网接触的时间为  $1.2 \text{ s}$ 。若把这段时间内网对运动员的作用力当做恒力处理,求此力的大小。(  $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$  )

**解答:**方法一:运动员刚接触网时速度的大小:

$$v_1 = \sqrt{2gh_1} = \sqrt{2 \times 10 \times 3.2} \text{ m/s} = 8 \text{ m/s}, \text{方向向下.}$$

刚离网时速度的大小:

$$v_2 = \sqrt{2gh_2} = \sqrt{2 \times 10 \times 5.0} \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}, \text{方向向上.}$$

运动员与网接触的过程,设网对运动员的作用力为  $F$ ,对运动员由动量定理(以向上为正方向)有:

$$(F - mg) \Delta t = mv_2 - mv_1$$

$$\text{解得 } F = \frac{mv_2 - mv_1}{\Delta t} + mg = \frac{60 \times 10 - 60 \times (-8)}{1.2} \text{ N} + 60 \times 10 \text{ N} = 1.5 \times 10^3 \text{ N}, \text{方向向上.}$$

上.

方法二:此题也可以对运动员下降、与网接触、上升的全过程应用动量定理。

从  $3.2 \text{ m}$  高处自由下落的时间为:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2h_1}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 3.2}{10}} \text{ s} = 0.8 \text{ s},$$

运动员弹回到  $5.0 \text{ m}$  高处所用的时间为:

$$t_2 = \sqrt{\frac{2h_2}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 5}{10}} \text{ s} = 1 \text{ s}.$$

整个过程中运动员始终受重力作用,仅在与网接触的  $t_3 = 1.2 \text{ s}$  的时间内受到网对他向上的弹力  $F$  的作用,对全过程应用动量定理,有  $F t_3 - mg(t_1 + t_2 + t_3) = 0$ ,

$$\text{则 } F_N = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{t_3} mg = \frac{0.8 + 1 + 1.2}{1.2} \times 60 \times 10 \text{ N} = 1500 \text{ N}, \text{方向向上.}$$

**答案:**  $1.5 \times 10^3 \text{ N}$ , 方向向上。

**评注:**①若物体在运动过程中所受的力不是同时的,可按受力情况分成若干阶段来解,也可当成一个全过程来求解。②在用动量定理解题时,一定要认真进行受力分析,不





可有遗漏,比如求解本题时,有的同学就把重力遗漏了。

**例5** 据报道:1962年,一架“子爵号”客机在美国的伊利奥特市上空与一只天鹅相撞,客机坠毁,十七人丧生。1980年,一架英国的“鹞式”战斗机在威尔士地区上空与一只秃鹰相撞,飞机坠毁,飞行员靠弹射装置死里逃生。

小小的飞禽何以能撞毁飞机这样的庞然大物?试通过简要计算来说明这一问题。

**解答:**设鸟的质量  $m=1.0\text{kg}$ ,鸟的身长  $L=15\text{cm}$ (除去毛),鸟与飞机相撞的面积  $S=0.01\text{m}^2$ ,相撞前鸟的速度近似为零(因远小于飞机速度),即  $v_0=0$ ,相撞后其速度可认为是  $v=600\text{m/s}$ (现代超音速飞机的飞行速度是声速的两到三倍),因飞机质量  $M\gg m$ ,故相撞过程中可认为飞机的速度不变,因此,撞击过程所经历的时间为

$$t = \frac{L}{v} = \frac{0.15}{600} \text{s} = 2.5 \times 10^{-4} \text{s}.$$

取鸟为研究对象,因撞击时间极短,因此可认为在撞击的时间内,鸟受到飞机对它的平均撞击力为  $F$ ,规定飞机速度  $v$  的方向为正方向,根据动量定理有

$$Ft = mv - mv_0$$

$$\text{得 } F = \frac{1.0 \times 600 - 0}{2.5 \times 10^{-4}} \text{N} = 2.4 \times 10^6 \text{N}.$$

由于这里所求出的撞击力  $F$  是撞击时间内的平均值,可近似认为撞击力的峰值为  $F_{\max} = 2F = 4.8 \times 10^6 \text{N}$ 。

根据牛顿第三定律可知,鸟与飞机相撞时,飞机所受的最大撞击力亦为  $4.8 \times 10^6 \text{N}$ ,这样巨大的撞击力对撞击飞机表面产生的压强

$$p = \frac{F}{S} = \frac{4.8 \times 10^6}{0.01} \text{Pa} = 4.8 \times 10^8 \text{Pa}.$$

这样巨大的压强造成机毁鸟亡的结果就毫不奇怪了。

由此可见,平时看起来无足轻重的小物体,一旦高速运动起来,或与高速运动的物体相撞,都会造成严重的后果,千万不可忽视。

读完鸟撞飞机,我们会联想到悬于我们头上的那些太空垃圾——人类发射的火箭散失在太空的碎片和零部件、卫星由于爆炸或故障而抛于太空的碎片以及寿命已尽的卫星残骸等等,这些太空垃圾与人造卫星一样,也是按照一定的轨道,以极大的速度(数千米每秒)绕地球旋转。这些人类文明的碎片,哪怕是一颗微粒,如果与处于宇宙飞船之外的宇航员相撞,其危害也是极大的(设想微粒的质量  $m=10^{-6}\text{kg}$ ,体长  $L=10^{-6}\text{m}$ ,它以速度  $v=6\text{km/s}$  与迎面等速率而来的宇航员相撞,按照上述的计算方法可知,其撞击力的平均值将高达  $F=7.2 \times 10^7 \text{N}$ )。



### 基础达标训练

1. 为了研究碰撞,实验可以在气垫导轨上进行,这样就可以大大减小阻力,使滑块在碰撞前后的运动可以看成是匀速运动,使实验的可靠性及准确度得以提高。在某次实验