

高中物理“逐差法”研究综述与教学建议*

宋 静

(福州教育研究院 福建 福州 350001)

林 钦

(福建师范大学物理与能源学院 福建 福州 350108)

(收稿日期:2020-05-19)

摘 要:逐差法是高中物理实验数据处理常用的方法,有关逐差法应用问题的研究屡见不鲜.文献分析发现中学常用的“逐差法”只取了“逐差”的数据处理方法,目的是为了“充分利用数据,减小实验误差”.物理教学和考试都应该关注如何应用该方法培养学生数据处理能力.

关键词:逐差法 数据处理 教学建议

“逐差法”是物理实验中处理数据的一种重要方法,因用其处理数据的方法常在高考物理实验试题中出现,使得中学物理教师对该方法格外关注.在“中国知网”以“逐差法”为关键词检索发现有219篇研究,其中“基础教育与中等职业教育”领域最多,有79篇文献(数据截止投稿时).中学物理教师有关“逐差法”的研究随着2001年、2006年、2014年和2017年高考试题的考查,一次又一次出现高峰.

中学物理教师所关注的问题是什么?每次讨论的焦点是否出现变化?多年持续的讨论有没有得到公认的结果?我们对现有的研究文献进行梳理,尝试在回答这些问题的基础上,明确中学物理实验中“逐差法”的应用方法和考查目标,为“逐差法”的教学提供参考.

分析发现,中学物理教师讨论的“逐差法”普遍围绕两个实验进行:“匀变速直线运动”和“自由落体运动”,即围绕“如何利用逐差法处理打点计时器得到的匀变速直线运动的纸带”(有59篇),学者所探讨的问题主要有两类:一是“逐差法与两段法处理数据的差异”^[1~4],二是“奇数项数据如何使用逐差法”^[5~7].下面我们就从这两方面的研究入手,梳理学者们的研究.

1 “逐差法”研究争议问题的探析

1.1 “逐差法”还是“两段法”

如图1所示是自由落体运动实验中打点计时器打出的纸带,各点时间间隔是 T .

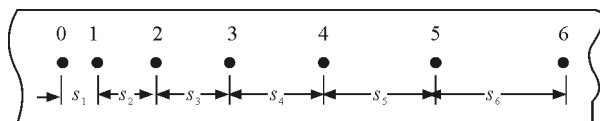


图1 “测量自由落体运动加速度”实验数据6组

应用“逐差法”计算匀变速直线运动的加速度过程如下.

$$a_1 = \frac{s_6 - s_3}{3T^2}, a_2 = \frac{s_5 - s_2}{3T^2}, a_3 = \frac{s_4 - s_1}{3T^2}$$

$$a = \frac{\frac{s_6 - s_3}{3T^2} + \frac{s_5 - s_2}{3T^2} + \frac{s_4 - s_1}{3T^2}}{3} =$$

$$\frac{(s_6 + s_5 + s_4) - (s_3 + s_2 + s_1)}{9T^2} \quad (1)$$

若用“两段法”计算加速度,可记0~3点的位移为 s' ,3~6点的位移为 s'' ,运动时间则为 $3T$,计算过程如下

$$a = \frac{s'' - s'}{(3T)^2} =$$

$$\frac{(s_6 + s_5 + s_4) - (s_3 + s_2 + s_1)}{9T^2} \quad (2)$$

* 全国教育科学“十三五”规划2016年度单位资助教育部规划课题“校地协同推进中学物理教师专业成长的路径研究”的阶段性研究成果,课题批准号:FHB160525

作者简介:宋静(1981-),女,高级教师,主要从事中学物理教学研究.

通讯作者:林钦(1979-),男,副教授,主要从事中学物理课程与教学研究.

比较式(1)和(2)发现,“逐差法”和“两段法”的数据处理的过程和结果是完全一致的.于是有教师认为,应用“两段法”处理数据更简便^[8,9].

1.2 奇数项数据取舍问题

如图2所示的纸带上只有5段数据,应用“逐差法”时需要舍弃某一段数据.有学者认为应该舍弃第一段(s_1 段),理由是第一段数值最小,测量的相对误差较大.也有学者认为应该舍弃中间段(s_3 段),理由是舍弃 s_3 段数据后“逐差”的差值比舍弃 s_1 段数据“逐差”的差值大,计算结果误差小^[10].

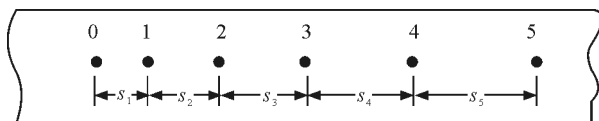


图2 “测量自由落体运动加速度”实验数据5组

从双方的理由可以发现,前者是站在“测量相对误差”的角度,在测量仪器精度确定的情况下,测量结果越大,相对误差越小,舍弃测量结果数值较小的 s_1 段,可以减小误差.后者则是基于“计算相对误差”的角度进行分析的,在仪器测量误差一定的情况下,数据差值越大($s_5 - s_2 > s_5 - s_3$),误差越小.

在匀变速直线运动实验中,显然这两方面的误差都不可忽视^[11].但何种误差的影响更小则与每次实验测量的偶然误差、打点计时器的随机误差有关,无法一概而论.于是有学者呼吁“不要再考逐差法”了^[12].

2 “逐差法”的内涵辨析

梳理上述两个争议的问题,我们发现学者们讨论的“逐差法”是:在处理数据时,将测量得到的数据按自变量(时间 t)的大小顺序排列后平分为前后两组,先求出两组中对应项(因变量 s)的差值(即求逐差),然后取其平均值^[13].且绝大部分学者都将该定义当成普遍的共识,没有标注概念的定义来源.为此,我们有必要先探寻一下“逐差法”的定义.

最早提出逐差法的文献可以追溯到1953年的北京大学普通物理教研组提出“用逐差法处理数据减小误差”^[14].龚镇雄、潘小青等在普通物理实验数据处理中对“逐差法”的介绍是^[15,16]:

在预测某一物理规律满足幂函数关系 $y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots$ 时,只要找到幂函数各项的系数,就清楚这一物理规律了.在处理实验数据时

采用逐差法.

(1)如果 y 与 x 是一次函数关系,利用一次逐差消去常数项即可得到一次项的系数.

(2)若 y 与 x 是二次函数关系,利用一次逐差消去常数项,二次逐差消去一次项,即可得到二次项的系数.

(3)……

即“逐差法”的本意是通过“寻找幂函数系数 a_i ”的方式寻找数据背后的规律.

但是,中学物理实验中应用逐差法的目的是为了求自变量 x ,以自由落体运动实验的纸带为例(数据如图2所示),按照逐差法处理数据发现结果为零,希望求得的是重力加速度 g .计算过程如下(计时零点速度为 v_0)

$$s_1 = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$s_2 = v_1 t + \frac{1}{2} a t^2 = v_0 t + \frac{3}{2} a t^2$$

$$s_3 = v_2 t + \frac{1}{2} a t^2 = v_0 t + \frac{5}{2} a t^2$$

$$s_4 = v_3 t + \frac{1}{2} a t^2 = v_0 t + \frac{7}{2} a t^2$$

一次逐差: $\Delta s_1 = s_4 - s_2 = 2at^2$; $\Delta s_2 = s_3 - s_1 = 2at^2$

二次逐差: $\Delta s_2 - \Delta s_1 = 0$

可以发现,一次逐差时已经消除了1次方项,二次逐差时则消除了2次方项.因此无论数据有多少段,二次逐差的结果都是零,无法获得二次项的系数.

但是,我们可以在一次逐差后,直接求 a 的平均值

$$\bar{a} = \frac{\frac{\Delta s_2}{2t^2} + \frac{\Delta s_1}{2t^2}}{2}$$

即

$$\bar{a} = \frac{s_4 + s_3 - s_2 - s_1}{4t^2}$$

因此,在中学“测量匀变速直线运动加速度”的实验中,教师们没有探索“因自变量之间的关系”的意图,是在已知位移和时间关系的前提下,计算加速度的平均值.

可见,我们在处理匀变速直线运动数据处理时的“逐差法”并不具备严格意义上的“逐差探索因自

变量关系”的意义. 只有处理数据过程上的相似, 是一种概念上的“借用”. 即中学物理教师们所讨论的“逐差法”意图是“逐项相减”“充分利用数据, 减小实验误差”. 在“测量匀变速直线运动加速度”的实验中, 不论应用“两段法”还是“逐差法”处理数据, 都能实现“充分利用数据, 减小实验误差”的目的, 只存在名称上的差异.

3 “逐差法”教学与考试价值追求

如上所述, 中学物理实验处理数据时使用“逐差法”的目的在于充分利用数据和减小实验误差, 我们的教学和考试都围绕这个核心价值展开.

在打点计时器研究匀变速直线运动实验中, 误差主要来源于两方面: 一是摩擦的影响, 二是打点计时器点迹漂移的误差. 摩擦力的影响是全局的, 与取哪段数据无关; 点迹漂移则会对测量结果造成较大影响^[17]. 因此, 数据处理时, 我们通常要求学生“选取清晰的点、选取间距大的点”, 这是减小测量相对误差的要求; 要求学生“跳着逐差”, 是基于通过“逐差”消除中间各点左右漂移误差的要求. 这些教学要求充分体现了逐差法教学的价值.

以大家普遍关注的 2017 年高考试题为例, 我们也可以发现命题教师也是围绕着“减小误差”这个核心价值去的^[18]: 无论学生舍弃哪段数据进行计算, 结果相差不大(差异为 0.001)^[19,20], 判卷时都是对的. 试题的目的在于引导教学关注数据处理的方法、减小误差的方法, 而不是考查学生是否理解如何逐差的误差更小.

4 “逐差法”数据处理的教学建议

我们讨论用何种方法处理数据, 其根本目的在于培养学生科学探究和科学态度核心素养, 让他们明确实验是有误差的, 误差的影响是可以通过改进实验方案和改善数据处理方式等手段减小的. 为此, 教学中我们不妨让学生用“邻差法”处理数据, 发现实验中数据的问题, 然后引导分析误差产生的原因, 探讨如何才能最大程度减小这些误差, 充分利用数据等等.

总之, 教学中我们要关注的是学生对“逐差法”内涵和价值的理解, 对减小实验误差影响方法的理解和掌握, 而不应该拘泥于何种数据处理的细节精

度更高. 与其纠结“如何逐差”不如关注“如何教给学生数据分析和处理的方法”.

参考文献

- 1 赵怀彬, 张中玉. 应用“两段法”快速求解加速度[J]. 中学物理教学参考, 2014, 43(Z1): 102 ~ 103
- 2 陈晓华, 张红. 这里是“逐差法”的误用[J]. 中学物理教学参考, 2011, 40(09): 20 ~ 21
- 3 李如虎. 逐差法与两段法[J]. 物理教学, 2009, 31(05): 28 ~ 29
- 4 齐春法. 对“逐差法”与“二段法”求加速度所引起误差的探讨[J]. 物理教学探讨, 2006(13): 26
- 5 王志成. 新课标两道高考实验试题的参考答案引发的思考——兼谈逐差法减小误差的理论根源的完整理解[J]. 物理教师, 2019, 40(07): 78 ~ 80
- 6 李研海. 当逐差法遇上奇数段位移时数据该如何取舍[J]. 物理通报, 2016(08): 75 ~ 76, 78
- 7 许湘苗. 奇数项数据的最佳逐差间隔数与误差分析[J]. 物理通报, 2013(11): 81 ~ 82, 106
- 8 仓云. 巧记逐差法[J]. 物理通报, 2017(05): 26 ~ 28
- 9 彭连焕. “一分为二法”比“逐差法”更优越[J]. 中学物理教学参考, 2002(10): 34
- 10 许湘苗. 奇数项数据的最佳逐差间隔数与误差分析[J]. 物理通报, 2013(11): 81 ~ 82, 106
- 11 林钦, 宋静. “测量自由落体运动加速度实验”的误差分析与教学建议[J]. 物理教师, 2015, 36(06): 52 ~ 53, 55
- 12 杭庆祥. 为什么不要再考“逐差法”[J]. 物理通报, 2014(08): 106 ~ 109
- 13 董光顺. 关于利用逐差法减小实验误差的有效性理性辨析[J]. 物理通报, 2015(02): 65 ~ 67
- 14 北京大学普通物理教研组. 北京大学普通物理实验教学经验[J]. 物理通报, 1953(11): 527 ~ 534
- 15 龚镇雄. 普通物理实验中的数据[M]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1985. 119 ~ 123
- 16 潘小青, 陆俊发. 大学物理实验教程[M]. 上海: 华东理工大学出版社, 2006. 2
- 17 林钦, 宋静. “测量自由落体运动加速度实验”的误差分析与教学建议[J]. 物理教师, 2015, 36(06): 52 ~ 53, 55
- 18 邵永. 2017 年全国卷 I 中的“智者千虑, 必有一失”[J]. 湖南中学物理, 2017, 32(10): 80 ~ 81
- 19 黄立中. 从 2001 年全国高考题谈逐差法教学的改进[J]. 物理教师, 2002(03): 21 ~ 23
- 20 王志成. 新课标两道高考实验试题的参考答案引发的思考——兼谈逐差法减小误差的理论根源的完整理解[J]. 物理教师, 2019, 40(07): 78 ~ 80