# 17．用传感器做探究加速度与力、质量关系的实验中有哪些问题？

一般的实验思路是把位于水平导轨上的小车作为研究对象，用一根细绳绕过定滑轮，下面悬挂质量较小的砝码，它的重力认为等于绳的拉力，即施加在小车上的外力。使用力传感器可以直接测量小车受到的水平拉力。但同时产生了新的问题：要保持水平拉力不变，而改变小车的质量，几乎无可能。从而，“控制变量法”无法实施。

探究加速度与外力及质量的关系的实验，在高一物理教学中的地位比较重要。传统的实验方法是在水平木板（或水平轨道）的一端固定一个定滑轮，将一根细线的一端与小车相连，另一端绕过滑轮后悬挂一个小的重物，认为重物的重力等于水平拉小车的外力。但重物的重力并不等于拉小车的拉力，于是有人想到改用力传感器直接测量拉小车的外力，却又遇到了新的问题。

## 一、传统方法的问题所在

传统的实验装置如图 1 所示。小车作为研究对象，其质量可用天平测量。加速度的测量方法可以采用拖带纸带，让纸带通过打点计时器打出点迹，再通过测量纸带上的点迹计算出来。作用在小车上的外力，则用悬挂的重物（例如小砝码）的重力代替。实验分为两组，先保持小车的质量 *m* 不变，测量多组外力 *F* 及加速度 *a* 的值，探究 *a* 与 *F* 的关系；而后保持外力 *F* 不变而改变小车的质量，测量多组加速度 *a* 及质量 *m* 的值，探究 *a* 与 *m* 的关系。这种实验方法称为控制变量法，第一次控制质量 *m* 不变，第二次则控制外力 *F* 不变。

图 1 传统的实验装置

完全采用这套仪器和实验方法，首先遇到的问题是，通过测量纸带上的点迹计算加速度的值，很费时间，学生无法在一节课的时间里完成全部实验任务。现在很多学校有了现代化的教学手段和教学仪器，因此，改换用光电门计时，并由计算机计算出加速度的值，或者使用位移传感器，利用传感器的灵敏度及计算机的高速计算能力，直接得出加速度的值，这样就解决了耗时过长的问题。

另一个问题是重物的重力并不真正等于小车受到的拉力。想到的解决办法是在小车左端串联上一个力传感器，如果用无线传输的力传感器，效果会更好。力传感器可以把测量所得的数据直接传送到计算机上，而这样测出的力的数值就等于小车受到的拉力。

## 二、用力传感器测量拉力带来的新问题与解决办法

用力传感器直接测量小车受到的拉力，却带来了新的问题：若采用控制变量法，第二步要保证小车受到的拉力不变而改变小车的质量，但要在改变小车加速度的情况下保持拉力不变根本不可能，如果拘泥于教科书上设计的实验步骤，后一半实验任务无法完成。

解决的办法可有如下两种：

1．不再强求控制变量，随机测量加速度 *a*、拉力 *F* 及质量 *m*，把数据记录在表格中，如记录表格 1 所示（右边留出几列空白）。由于现代化的技术手段测量和记录数据的速度很快，课堂上学生可以用不长的时间测出并记录下更多组数据，供探究分析使用。

**记录表格 1**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 加速度 *a*/（m·s−2） | 拉力 *F*/N | 质量 *m*/kg |  |  |  |
| 1 |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |
| …… |  |  |  |  |  |  |

引导学生观察和研究所得到的数据，寻找可能存在的规律，可以试着把某两个物理量组合起来，看与第三个物理量有怎样的关系。例如可以试着求出 *F* 与 *m* 的比值，即在后面空白栏中写出（*F*/*m*），并让计算机求出由各组数据得到的 *F*/*m* 的数值，看与 *a* 数值的关系；也可以计算由各组数据得到的 *ma* 的数值，看与 *F* 数值的关系；或者计算由各组数据得出的 *F*/*a* 的数值，看与 *m* 数值的关系。当然，应该允许学生做其他的尝试，但除此三种以外，其他的尝试可能不会得出具体的结论。上面三个结论分别是：①*a* = *F*/*m*，它完全符合加速度 *a* 与外力 *F* 成正比，与质量 *m* 成反比的结论；②*F* = *ma*，它就是牛顿第二定律现代最常见的表述形式；③*m* = *F*/*a*，它是惯性质量的定义式。

2．每一个确定的物体，分别测量和记录多组外力 *F* 与加速度 *a* 的数值，单独使用一个表格，如记录表格 2 所示。

**记录表格 2 质量 *m* = \_\_\_\_\_\_\_\_kg**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 加速度 *a*/（m·s−2） | 拉力 *F*/N |  |
| 1 |  |  |  |
| 2 |  |  |  |
| …… |  |  |  |

这就是保持物体质量一定，探究加速度 *a* 与外力 *F* 关系所用的记录表格，不难得出 *a* ∝ *F* 的结论。这样的表格要用到多组，每一组表格右边的空格中填入“*F*/*a*”，并计算每组数据的“*F*/*a*”的数值，它们都应等于（在误差范围内近似等于）表格前面物体的质量 *m* 的数值，从而说明物体的质量是物体惯性大小的量度。

这种实验方法，可能更符合牛顿的本意。

## 三、几点思考

1．控制变量法不是必须的。学生在学习初中物理开始阶段就了解到控制变量法，它的确是一种科学方法，很多时候它的优点十分明显，也被广泛使用。但它并不是最重要的科学方法，更不是必须的。例如，在使用力传感器测量小车的拉力时，就很难做到保持拉力不变而测量不同质量 *m* 所产生的加速度 *a*，即很难控制某个变量保持不变。遇到这类情况，不必强求学生控制变量，完全可以在各个变量同时变化的情况下分析众多数据，经过猜想和验证得出正确结论。

2．在科学研究中，通过分析大量实验数据而得出结论，是很艰苦的工作，最典型的例子是光的折射定律。在很早以前，人们就已经知道折射角 *r* 与入射角 *i* 是正相关的，即随着入射角的增大，折射角也随之增大，公元前 2 世纪，古希腊科学家托勒密就通过实验测量了光线从空气射入水中时的折射角 *r* 随入射角 *i* 的变化而变化的数值，但对于二者间是怎样的定量关系，却得出了错误结论。历史走过了一千多年，在 1620 年前后由荷兰科学家斯涅耳总结出正确的定量关系。斯涅耳当时用的是入射角与折射角的余割的比值来表示，现代人改用正弦表示，即 ，这一比值称为折射率。

3．从哲学的角度思考，一个变化过程是由外部因素和内部因素共同决定的，对于物体受力而发生运动状态的改变来说，外因是力（称为外力），内因则是物体本身的质量。对于同一个物体，即保持质量 *m* 不变的情况下，运动状态的变化率（加速度 *a*）随力 *F* 而变化，而力 *F* 与加速度 *a* 的比值，则反映了该物体本身的性质，即惯性的大小。再进一步说，物体的质量 *m* 由物质的密度 *ρ* 和物体的体积 *V* 决定（*m* = *ρV*）。

这样的例子比比皆是。例如，电学中对于导体中有电流通过的情况，两端的电压是外因，而导体的电阻是内因，对于同一段导体，其两端电压 *U* 与通过它的电流 *I* 成正比，而它们的比值 *U*/*I* 则是反映该导体本身性质的物理量（*U*/*I* = *R*）。再进一步讨论，导体的电阻与导体的材料以及它的长度和横截面积有关，具体关系是 *R* = *ρ*，其中 *ρ* 称为电阻率，是反映物质的电学特性的物理量，而导体的长度 *l* 与横截面积 *S* 是描述导体本身的物理量。

又如，热学中物体吸热温度要升高，这里外界提供的热量 *Q* 是外因，对于同一个物体，它温度升高的值 Δ*T* 随吸收的热量 *Q* 而变化，它们的比值 Δ*Q*/Δ*T* 反映了该物体本身的性质，该比值称为物体的热容量，即 *cm*（*c* 是组成该物体的物质的热学性质，称为比热容，简称比热；*m* 是该物体的质量，它是物体本身的性质）。