

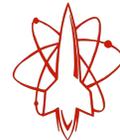
*Election Round 2*

# *Vacuum Bazooka*

**CUPT2017 Reporter.ZYX**



**西安交通大学**  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY



**物理试验班**  
P.H.E.C

# Vacuum Bazooka

## 实验前准备

(寻找切入点)

## 第一次实验

(初步建立模型)

## 第二次实验

(修正模型)

## 拓展性实验

(寻找其它参量&验证模型通用性)

**And.More**

小球被吸入管道后，依靠气压差加速。

当速度达到最大后（即到达三岔口的位置后），  
小球凭借自己积累的动能，继续前进，飞出管道。

由于两侧管道不等长，且较短的一侧（出口侧）  
被轻小物体堵住，所以小球可以在飞出后保留大部分动能。

其中，气压差是小球的能量来源，而管道的合理设计则保证了小球在飞出后保有尽可能大的动能。



# 实验成功的必要条件

- 1、管道内壁与小球应该存在适当的空隙。
- 2、小球的质量不能太轻，也不能太重。  
太轻则无法存储足够的动能；太重则难以充分加速。
- 3、管道出口侧必须有合适的轻小物体阻挡气流。  
(否则加速效果大大降低)
- 4、选取合适的动力源



## 理论部分

管道内部各点在稳定状态下的气压分布情况

出/入口气流状态 (是否混沌)

快速变化的气压导致气体的热力学状态变化 (不可忽略)

炮弹理论最大速度与声速的关系

球体与内管缝隙的最优值, 以及缝隙内气流的流动状态。

粗糙表面与光滑表面在流体力学上的差异。

球体是否在气流中自旋。

## 实验部分

影响实验结果的变量:

吸力 (即管内空气流速)

球体表面积与质量的比例

球体与管道内壁的空隙大小

(即管道内径与球直径之比)

球体表面粗糙程度

两侧管道的长度

需要屏蔽的干扰因素:

测量误差

外界气压变化

小球进入管口的初速度

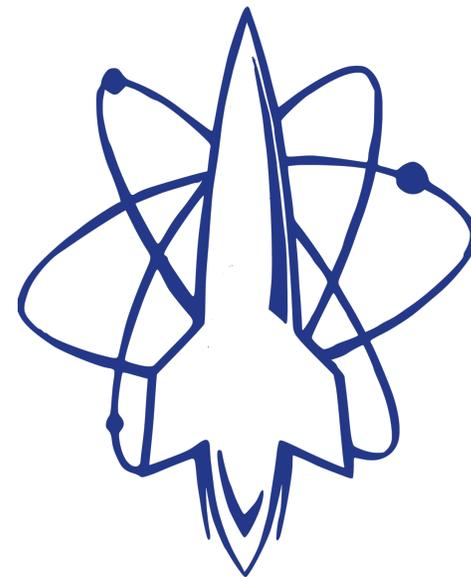
# 第一次实验

理论准备

器材搭建

实验过程

数据处理



西安交通大学  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY



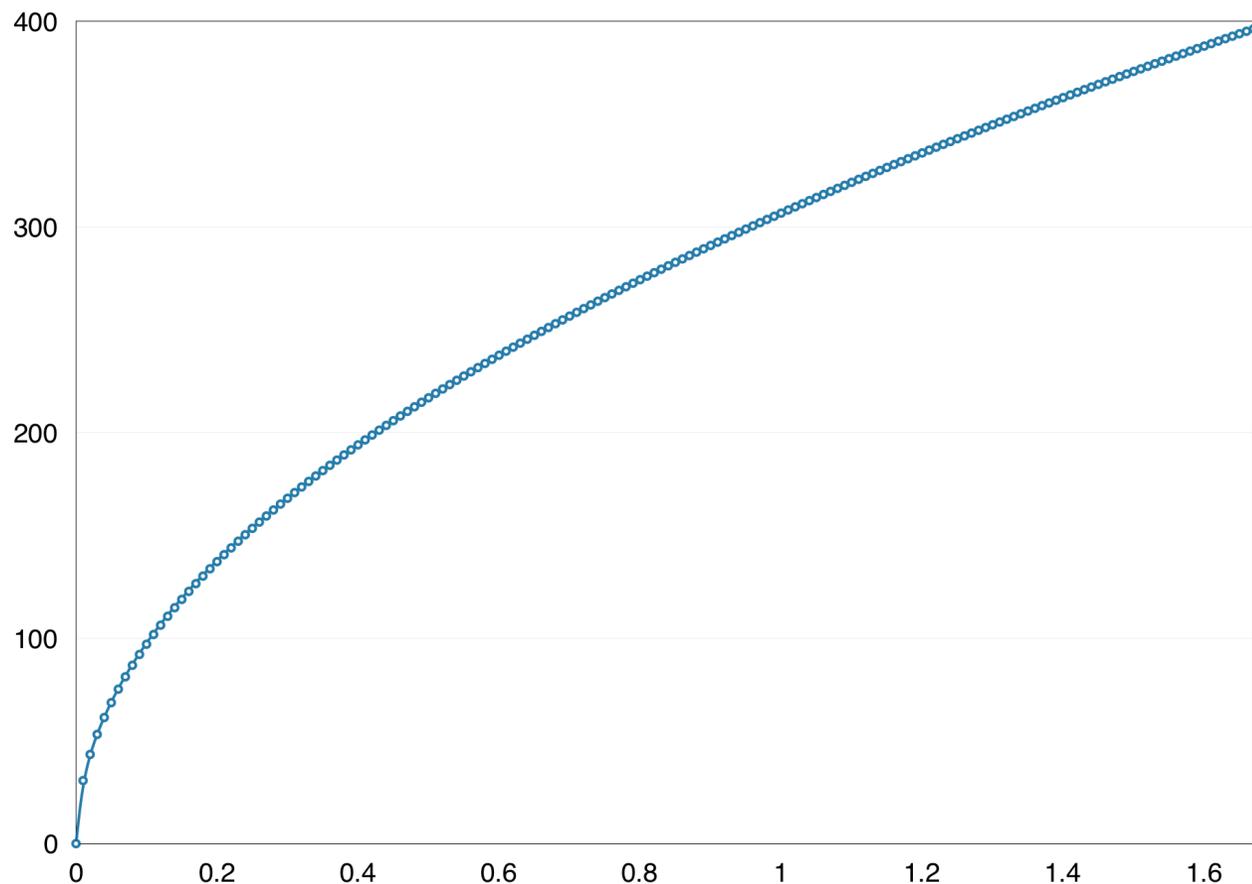
物理试验班  
P.H.E.C

# 理论准备

## 首先，从理想情况入手：

- 不考虑紊流以及紊流导致的小球自旋
- 不考虑高速运动过程中管道内气体的热力学变化
- 不考虑小球与管道的空隙中的气流的影响
- 认为气压差传播的速度为声速（取340m/s）
- 认为管道每个截面内的气压平均分布
- 认为吸尘器（或其它动力源）提供的气压差恒定不变

可初步建立小球的运动模型



最简模型：

认为小球两侧压力差恒定

则：

$$F = (P_2 - P_1)S$$

则：

$$v = \sqrt{\frac{2S \cdot (P_2 - P_1)}{x}}$$

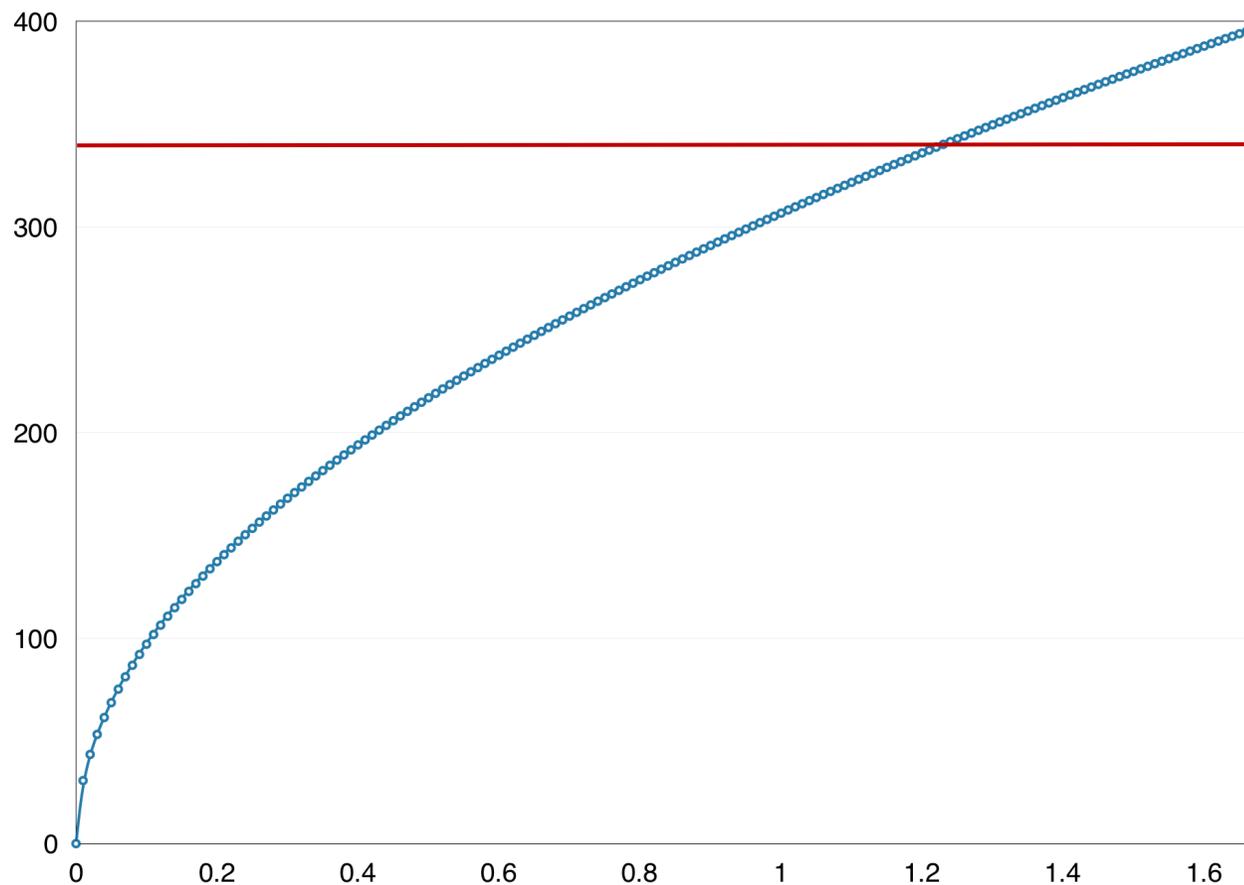
代入乒乓球的数据：

$$D = 0.004m$$

$$S = 0.001257m^2$$

$$m = 0.0027kg$$

即可作出速率-位移曲线



340m/s

缺陷:

这套模型预测的小球的速度可以无限增大，甚至可以超越声速。

# 理论准备

更改考虑方向：

当小球进入管道后，气压差不但推动了小球，也推动了小球到管口这一段空气柱——它们共同加速。

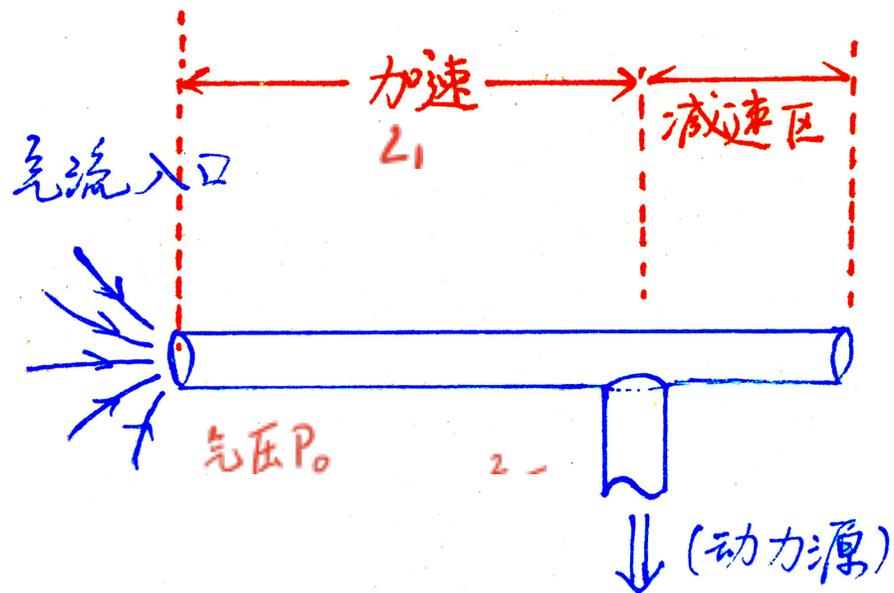
写出运动状态方程：

$$(P_2 - P_1)S = \frac{d[(m + m')v]}{dt}$$

其中， $m'$ 是空气柱质量关于 $x$ 的函数：

$$m' = \rho Sx$$

据此，可以求得微分方程的解函数



发射方向  
不在  $P_1$

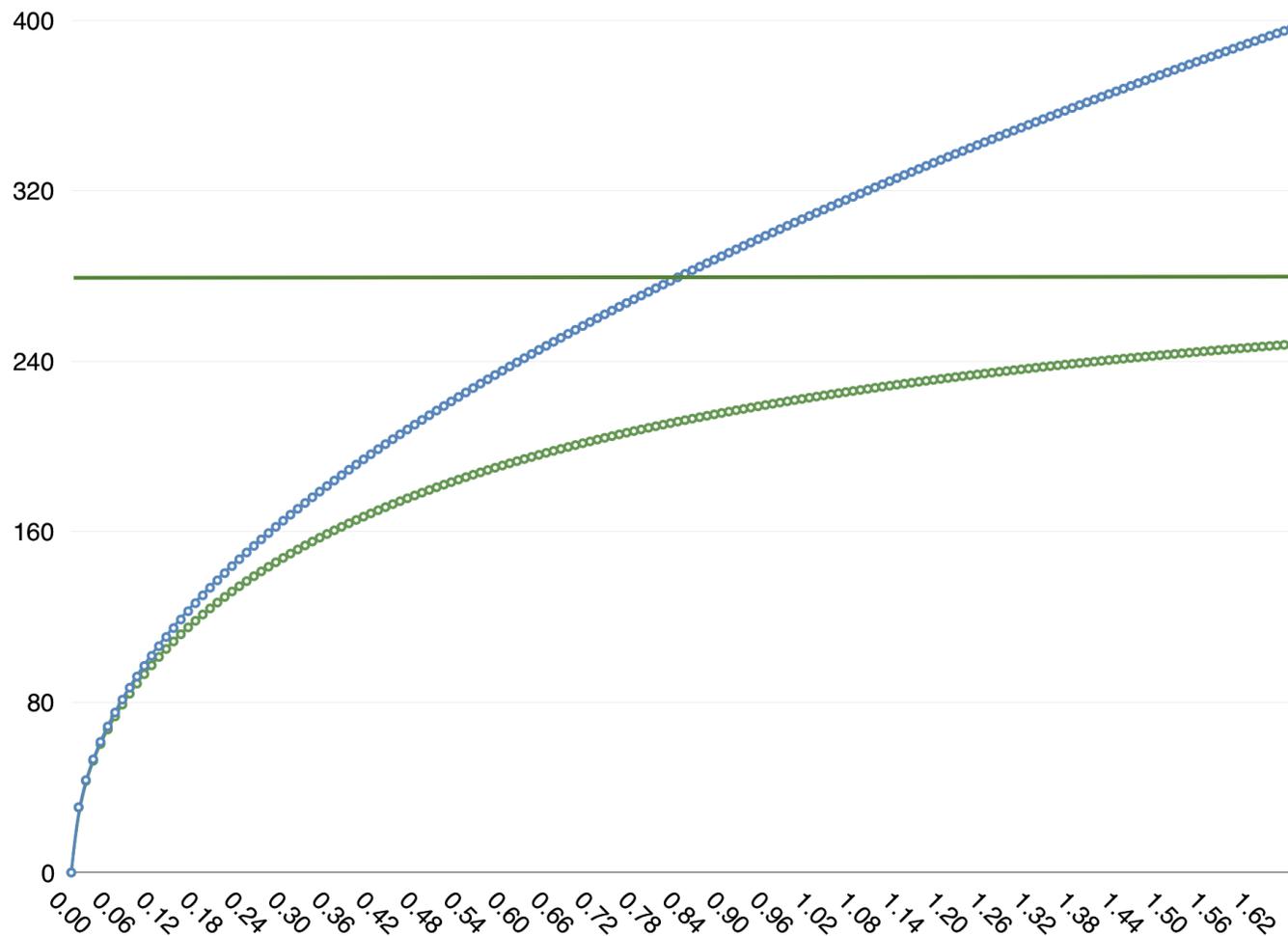
由此得出的解函数：

$$V = \sqrt{(P_2 - P_1)S \cdot \frac{(\rho Sx + 2m) \cdot x}{(\rho Sx + m)^2}}$$

# 第一次实验

$$V = \sqrt{(P_2 - P_1)S \cdot \frac{(\rho Sx + 2m) \cdot x}{(\rho Sx + m)^2}}$$

# 理论准备



理论极限速率

**289.5m/s**

参考常数：

$$\rho^{293K,101KPa} = 1.205kg/m^3$$

$$S^{typical PPB} = 12.566cm^2$$

$$m^{typical PPB} = 0.0027kg$$

# 器材搭建 & 实验过程

## 主要器材

有机玻璃管和木板

碳纤维薄片 (用于堵住出口)

大功率涵道电机

乒乓球

以及其它必要部件

## 测量方法

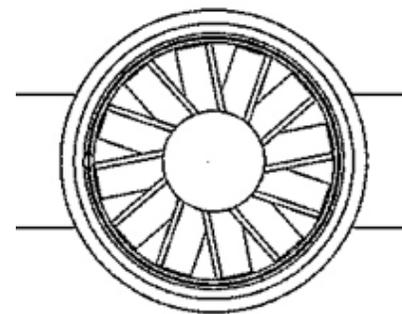
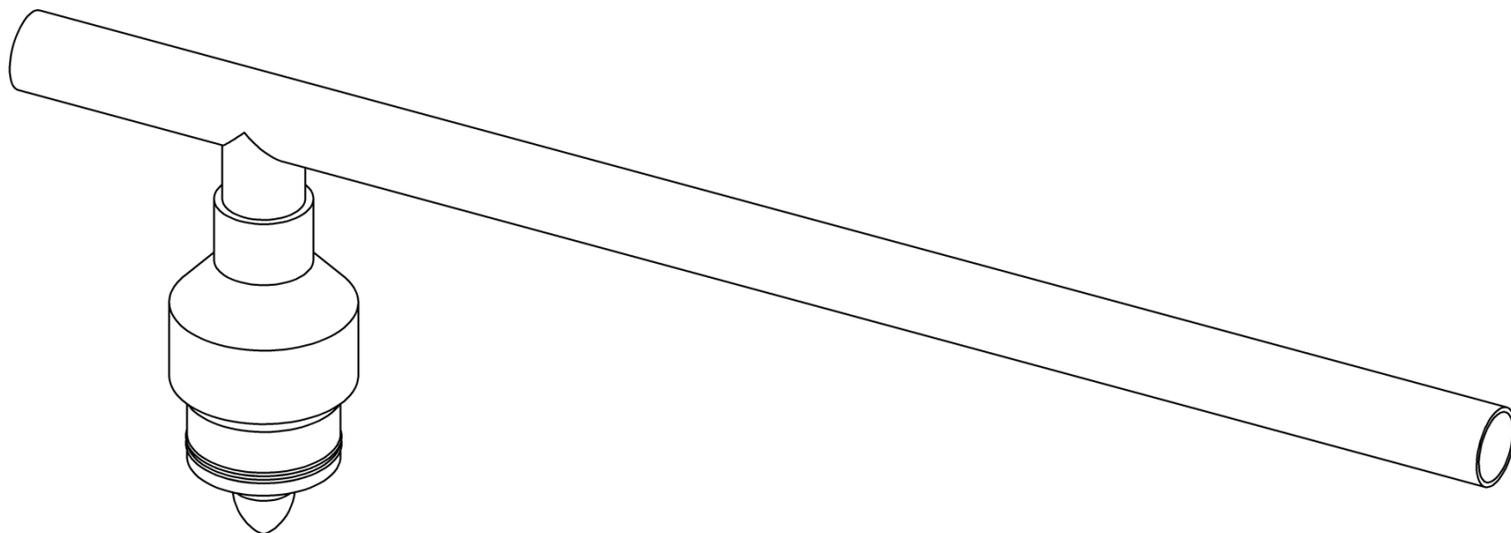
**摄像机逐帧分析法：**

摄像机录像的帧率是固定的，它本身就是比较优秀的计时工具。本次实验采用帧率为120fps的摄像系统，可以对小球的状态进行连续追踪。

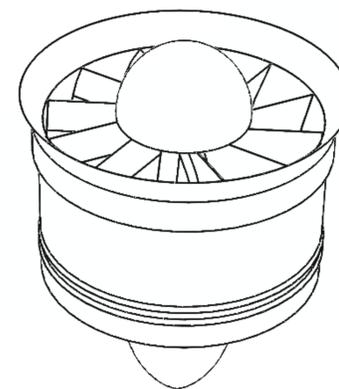
同时，在透明管道上标注刻度，方便通过摄制的画面直接读取数据。

另外，采用两束不同颜色的烟雾，对气流状态进行动态采集。

# 器材搭建



涵道电机-动力源



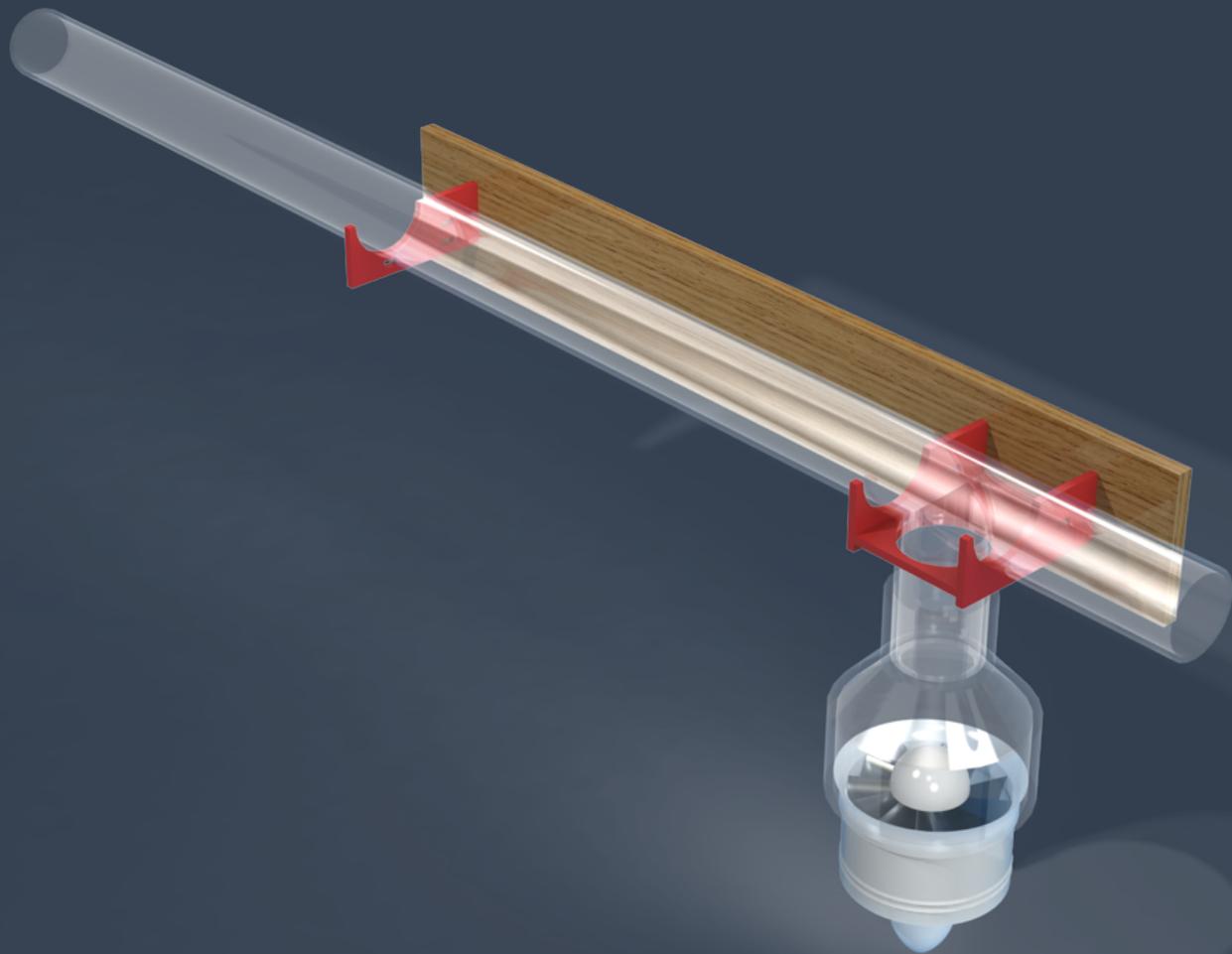


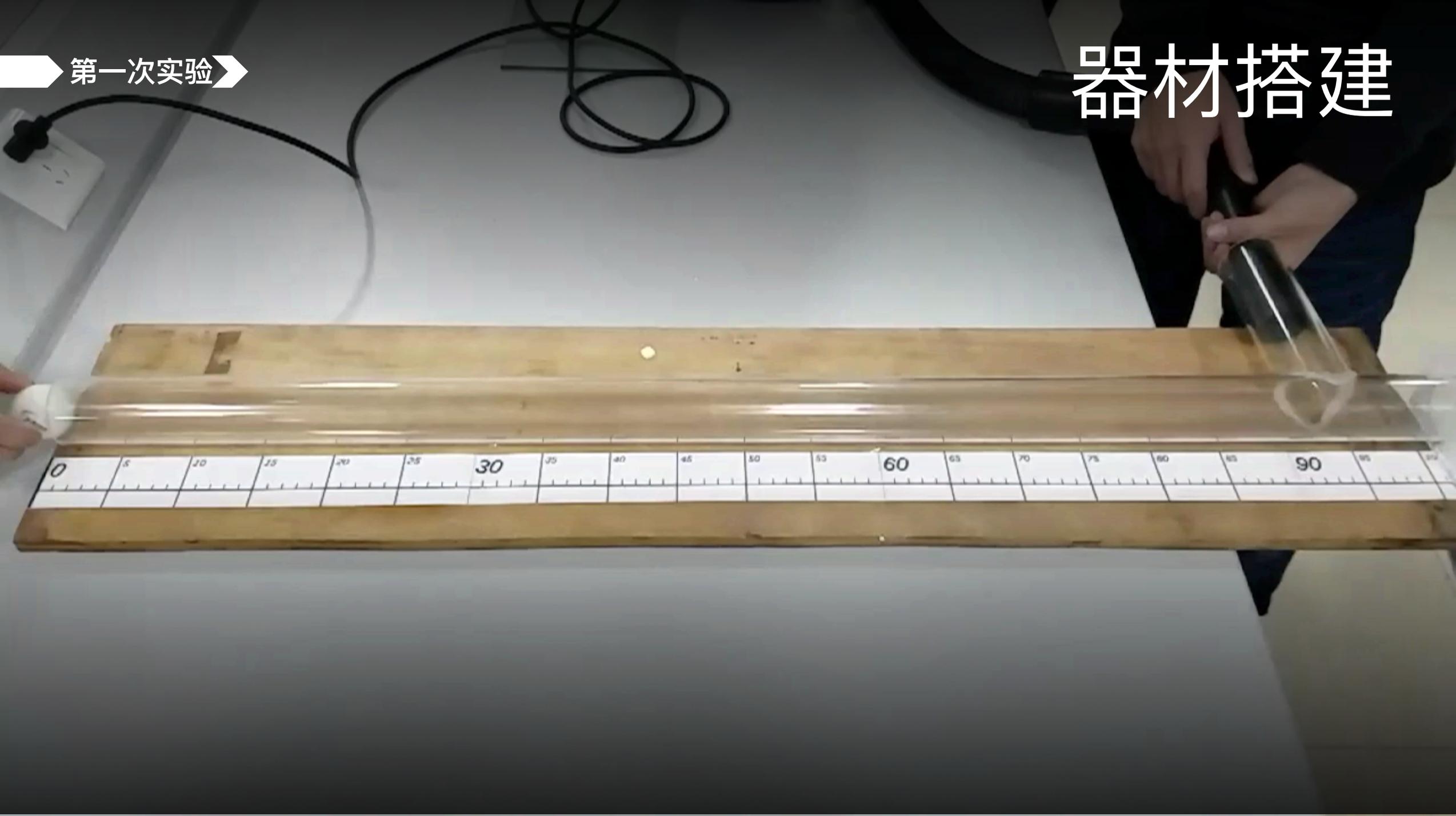
## 选用涵道电机的原因

功率很大，可以制造近似真空的环境

吸力可控，可以方便地调节气压差

与吸尘器的实验原理相同





## 多次实验 & 屏蔽干扰

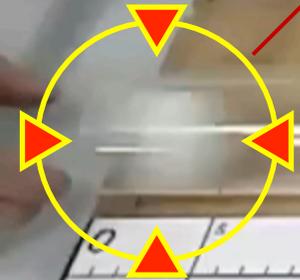
$X=0$

$t=0$



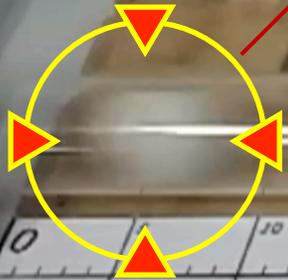
**$X=3$**

**$t=0.03$**



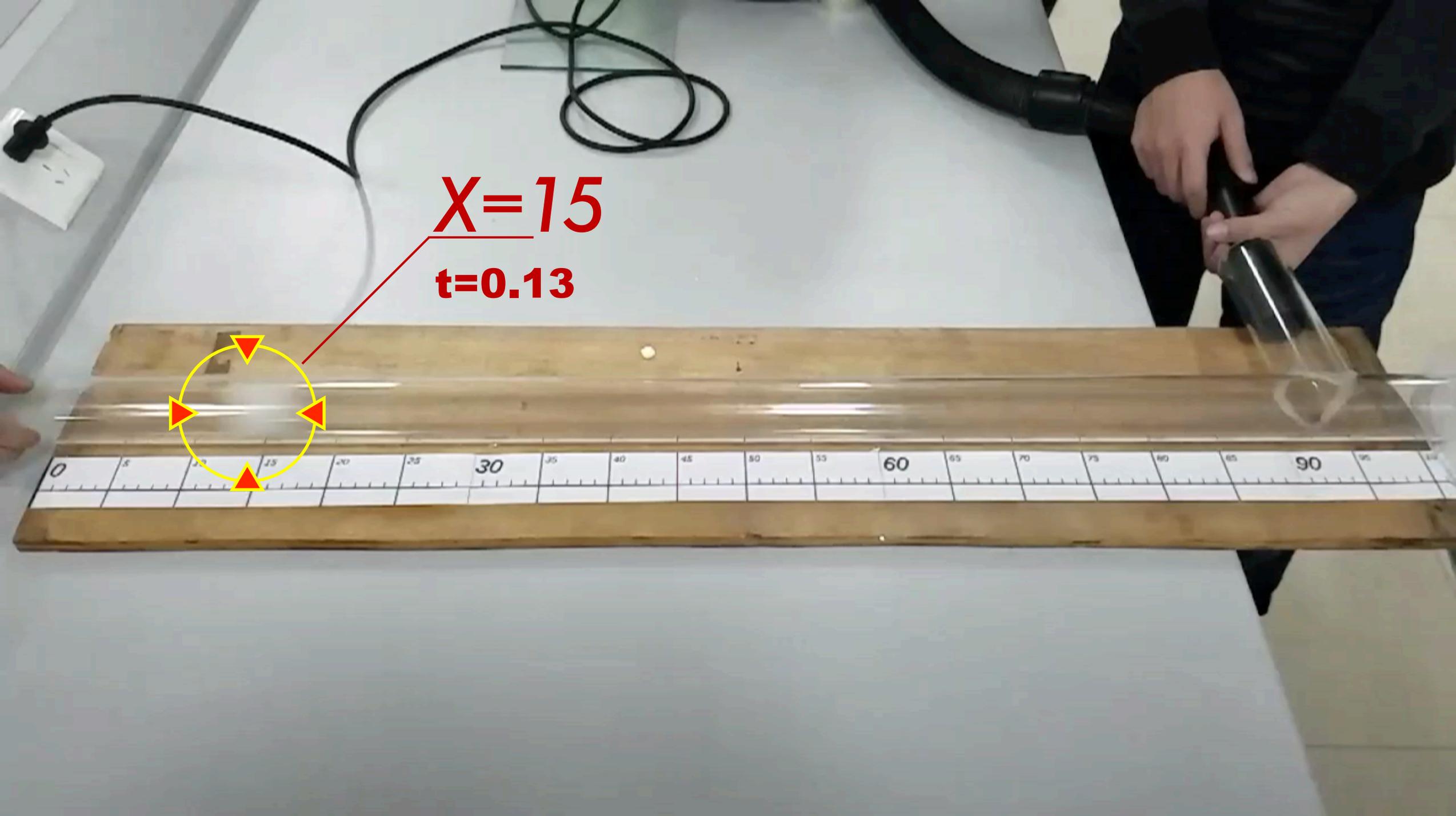
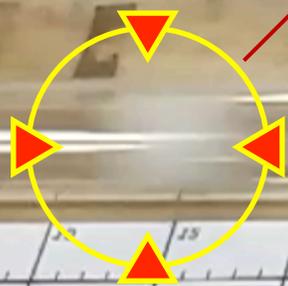
**$X=5$**

**$t=0.07$**



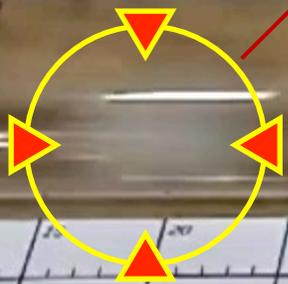
**$X=15$**

**$t=0.13$**



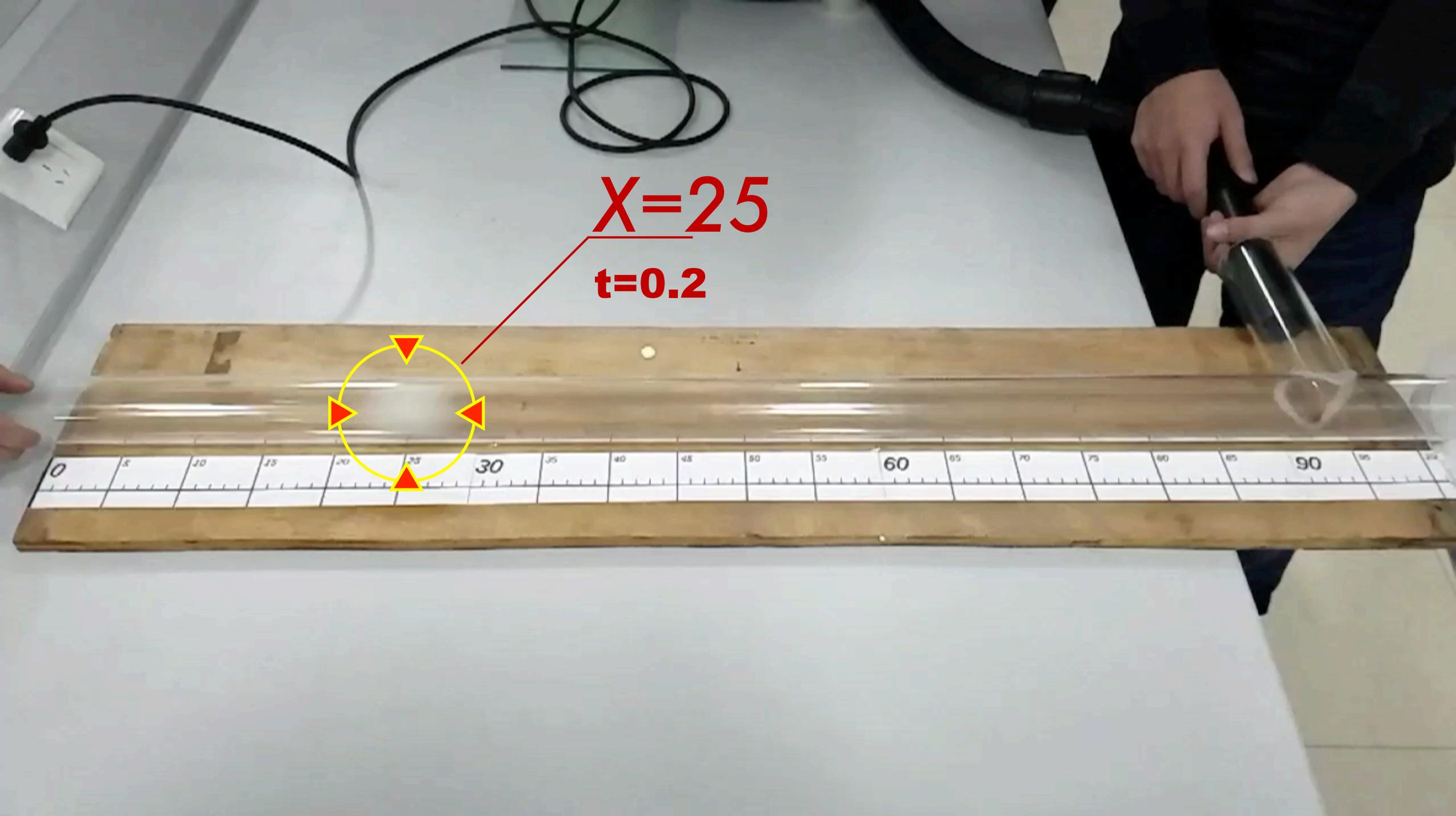
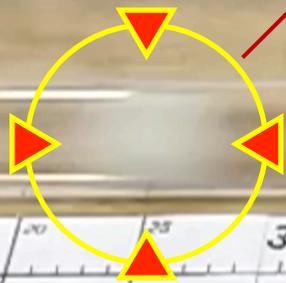
**$X=20$**

**$t=0.17$**



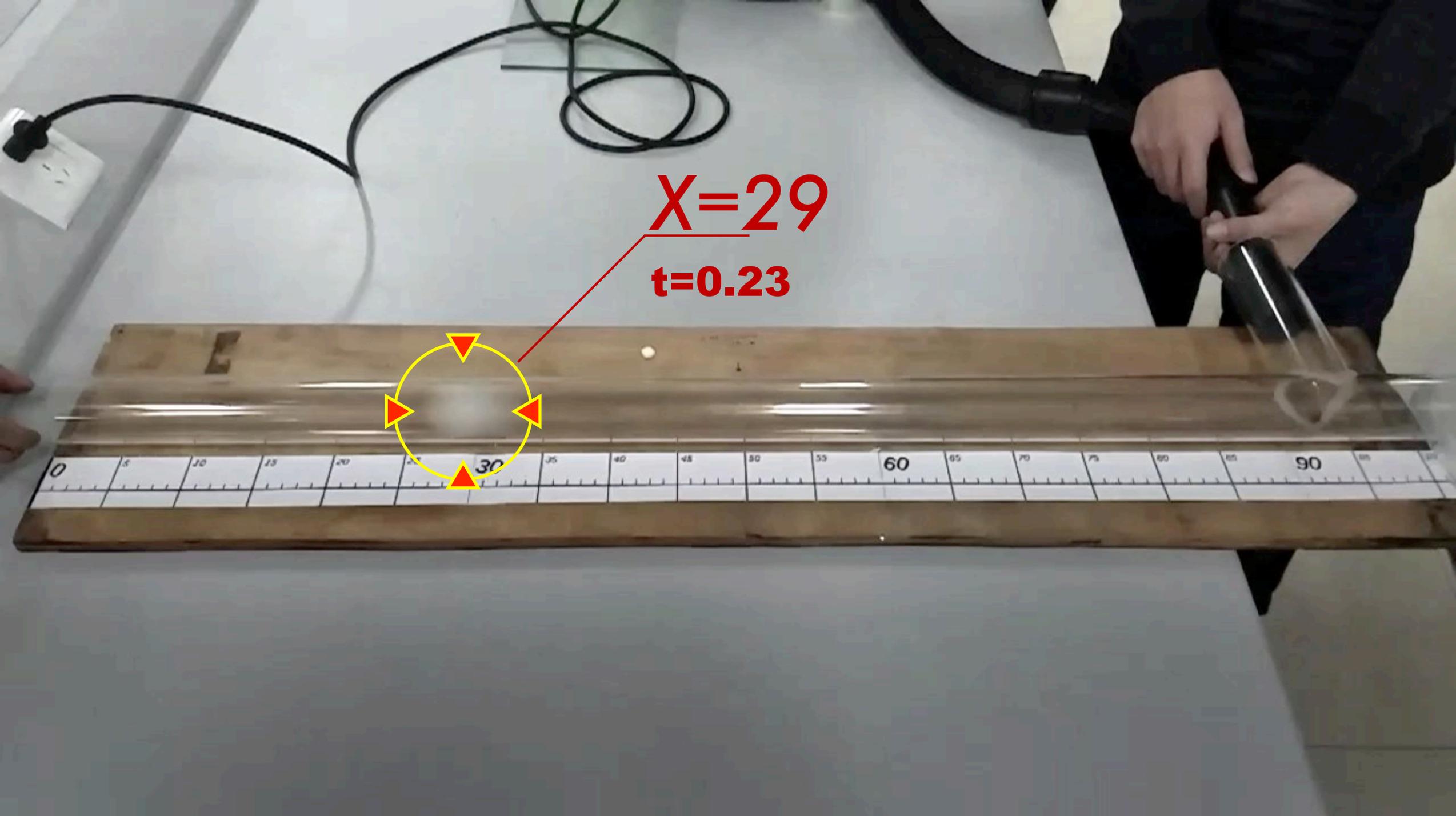
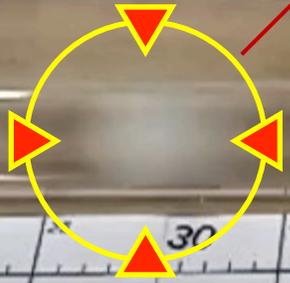
**$X=25$**

**$t=0.2$**



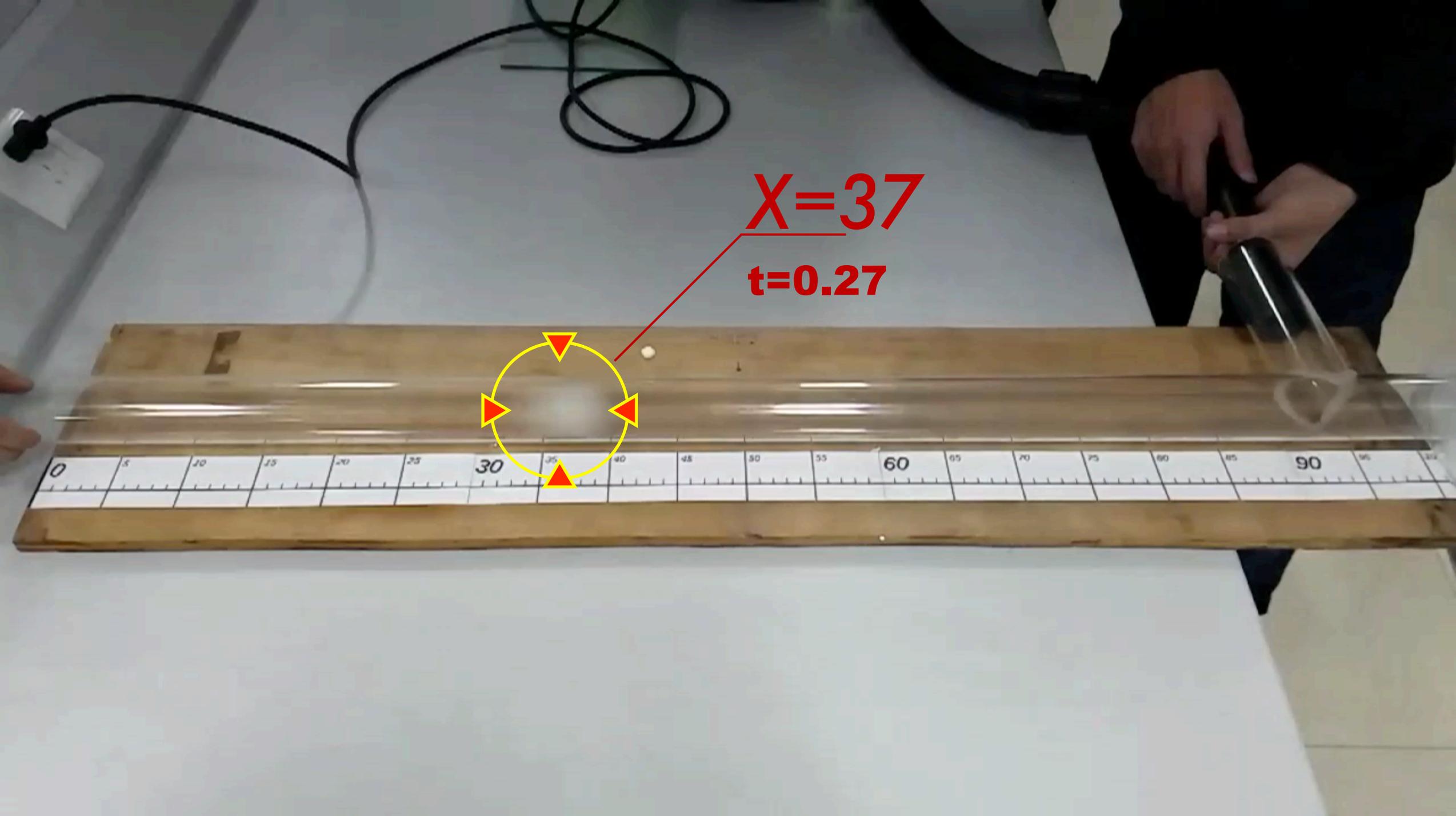
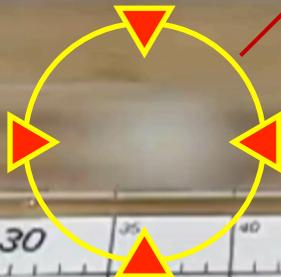
**$X=29$**

**$t=0.23$**



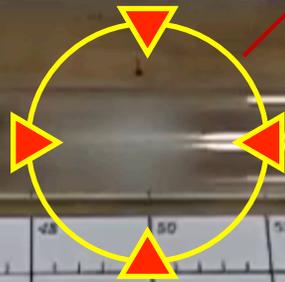
**$X=37$**

**$t=0.27$**



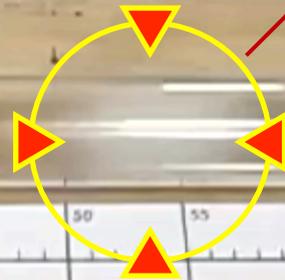
$X=50$

$t=0.33$

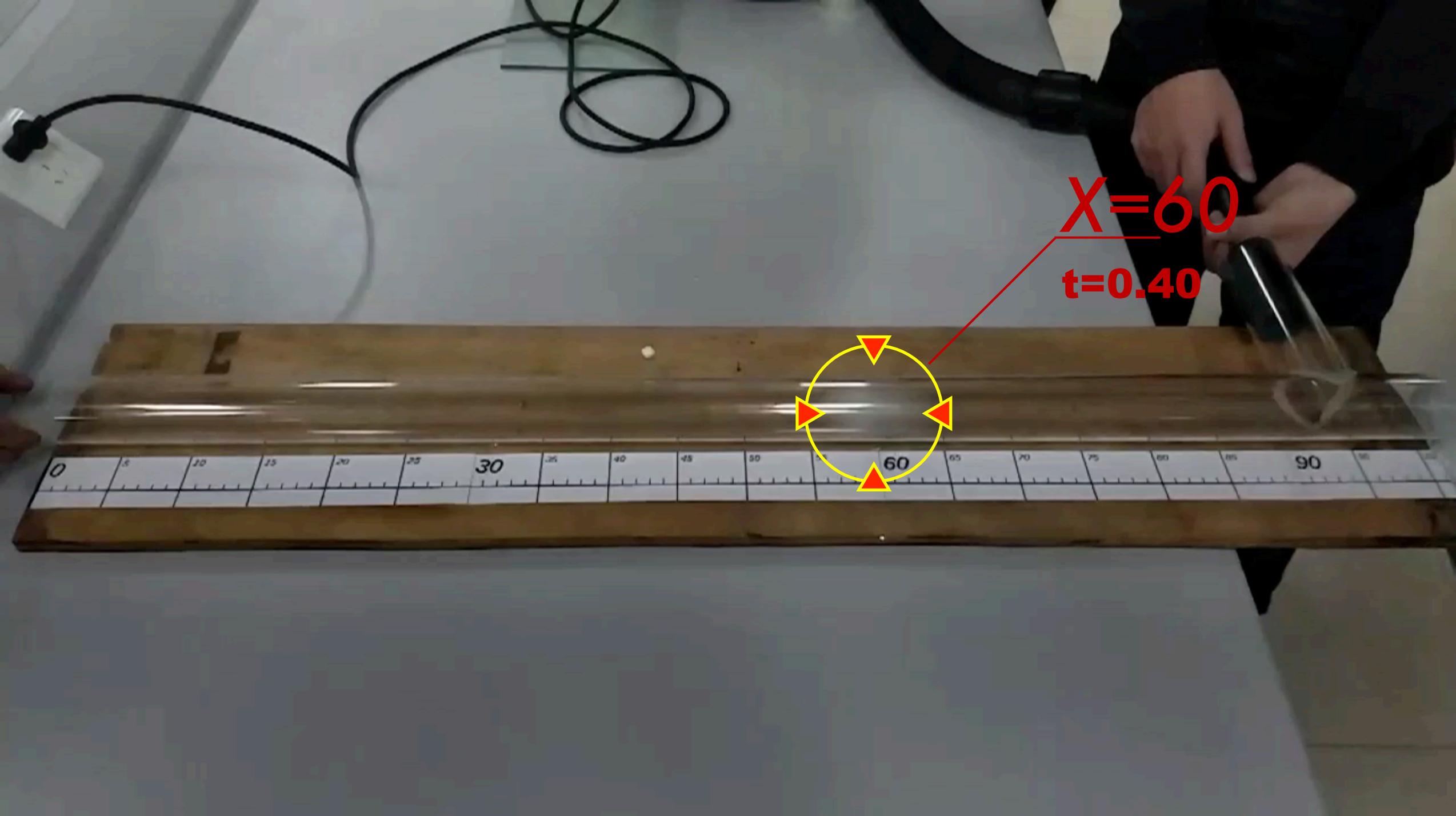
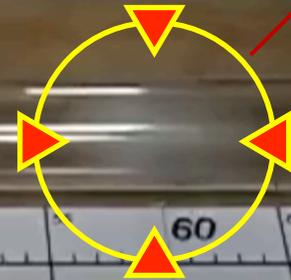


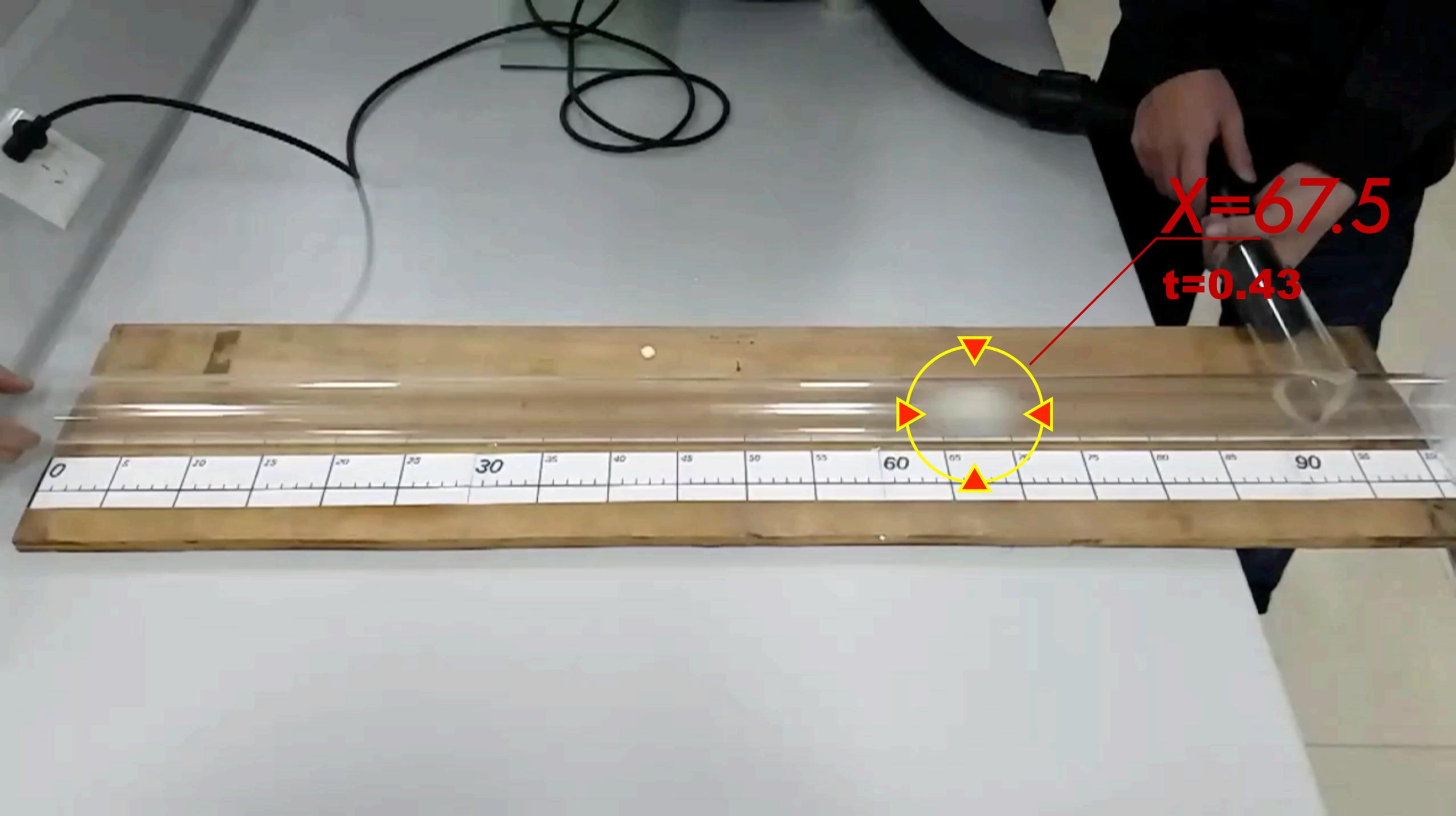
**$X=53.5$**

**$t=0.37$**

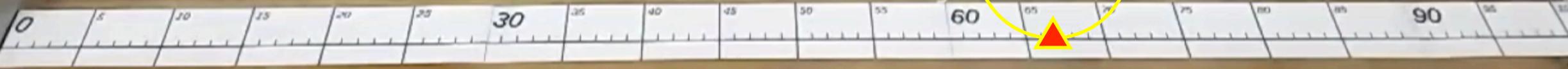
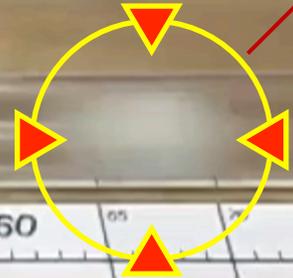


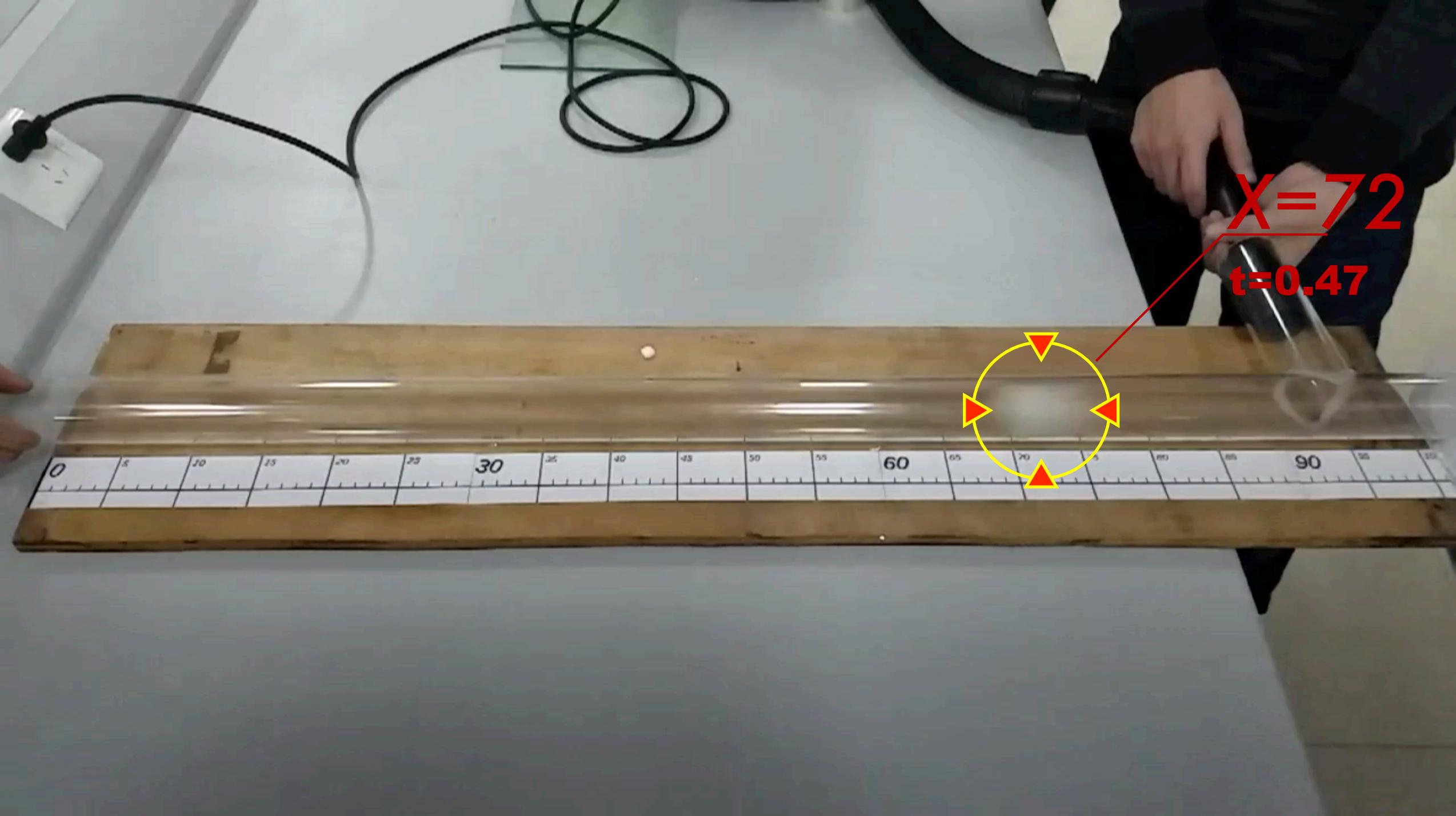
$X=60$   
 $t=0.40$



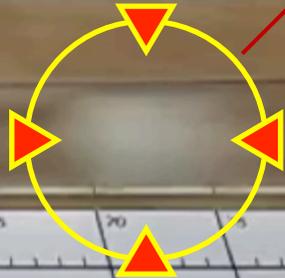


$X=67.5$   
 $t=0.43$



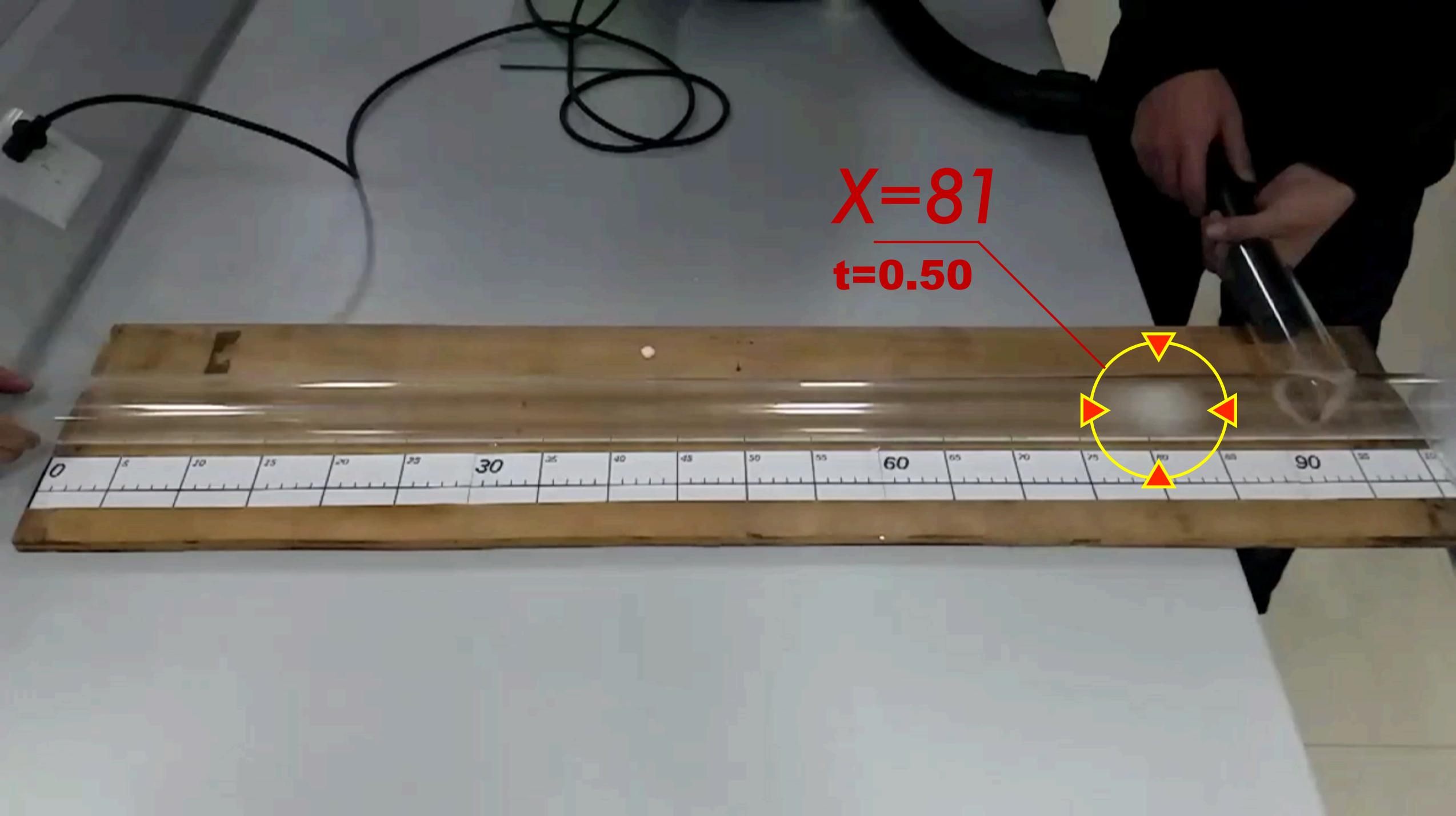
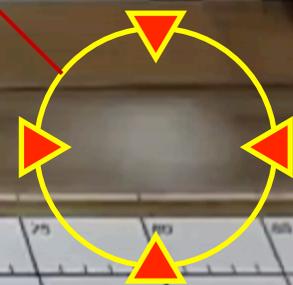


$X=72$   
 $t=0.47$



**$X=81$**

**$t=0.50$**





0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100

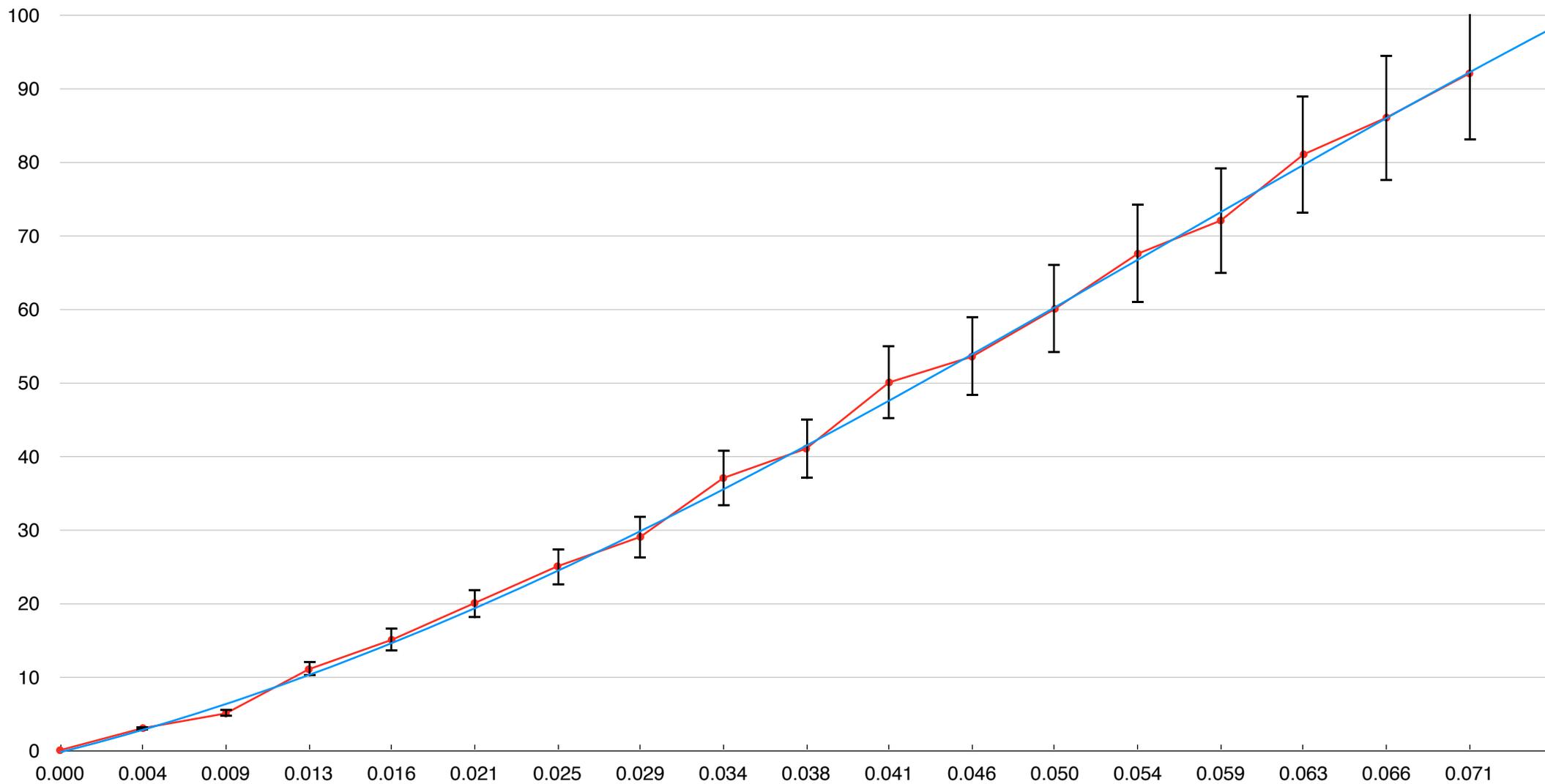


# 数据处理

# 第一次实验

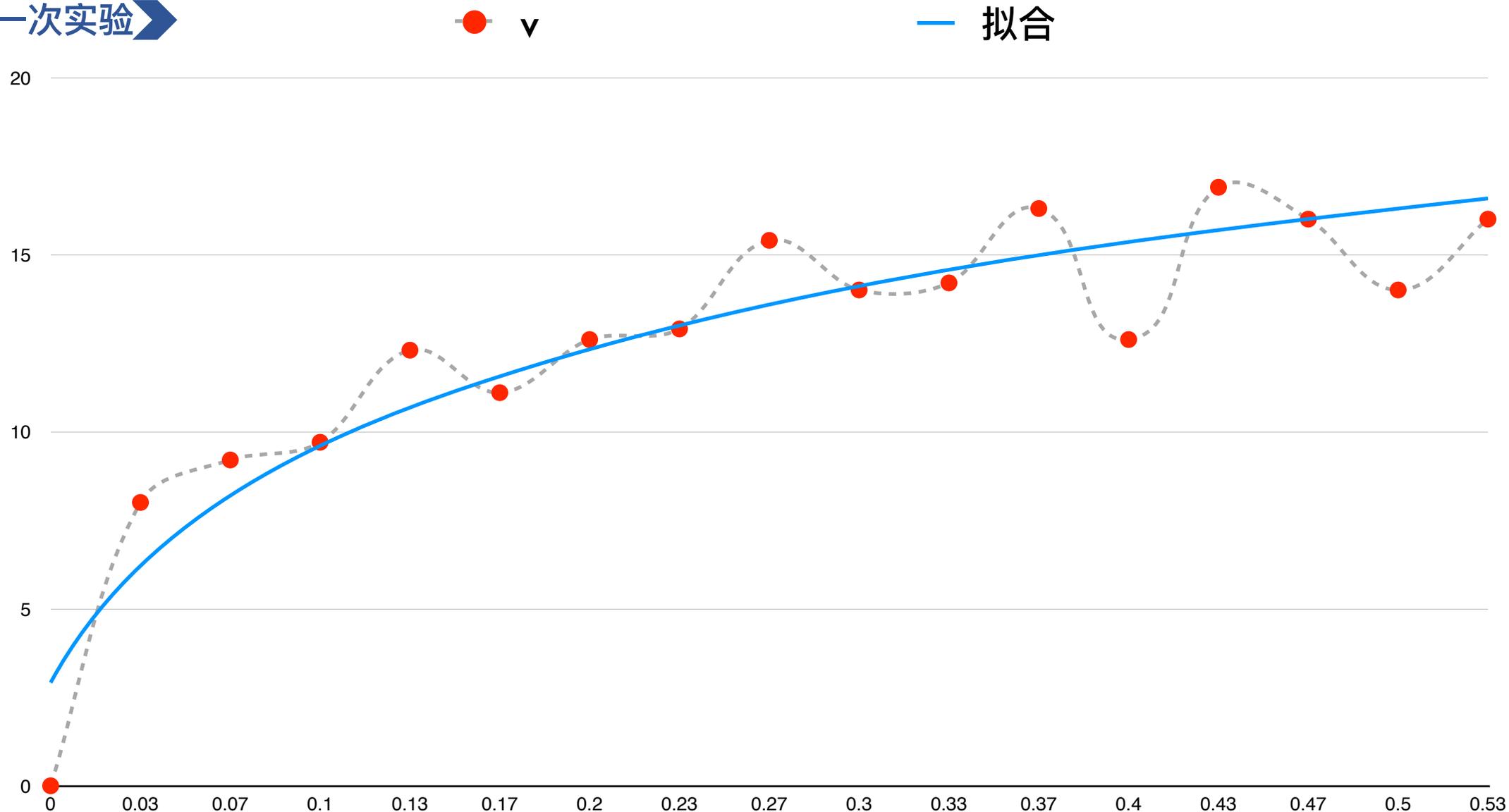
○ Position/cm

— 拟合



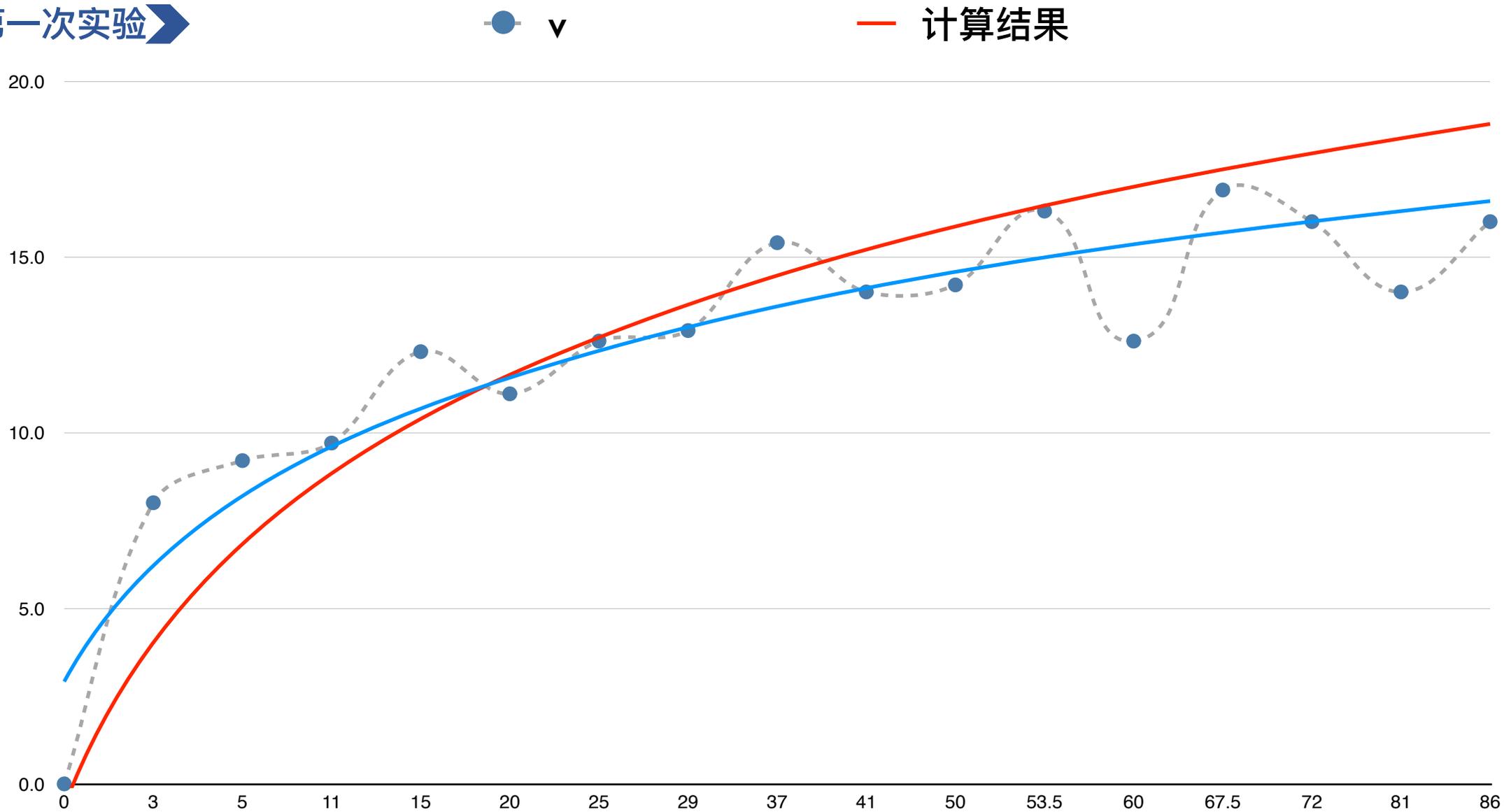
实验测得的位移—时间关系

# 第一次实验



实验测得的速度—时间关系

# 第一次实验



实验结果和计算结果的对比

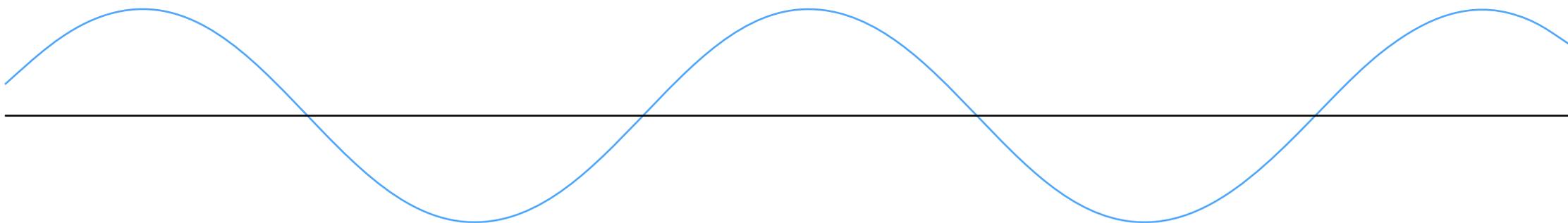
## 测量正负偏差较大的原因分析：



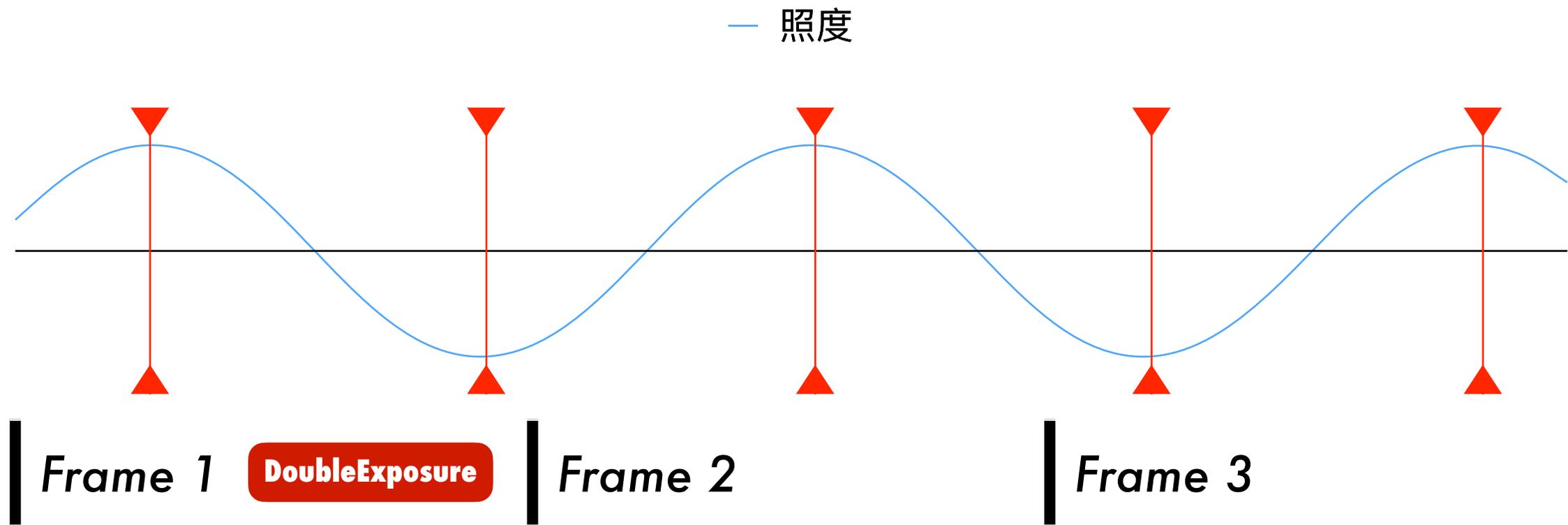
日光灯频闪

## 测量正负偏差较大的原因分析：

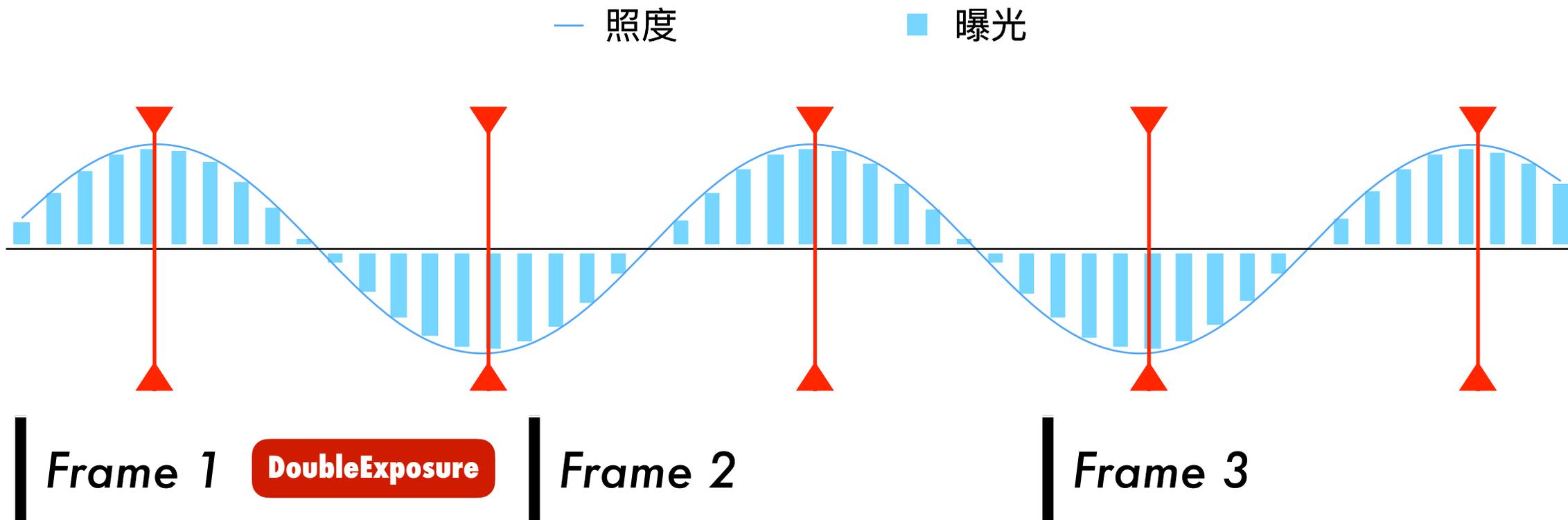
— 照度



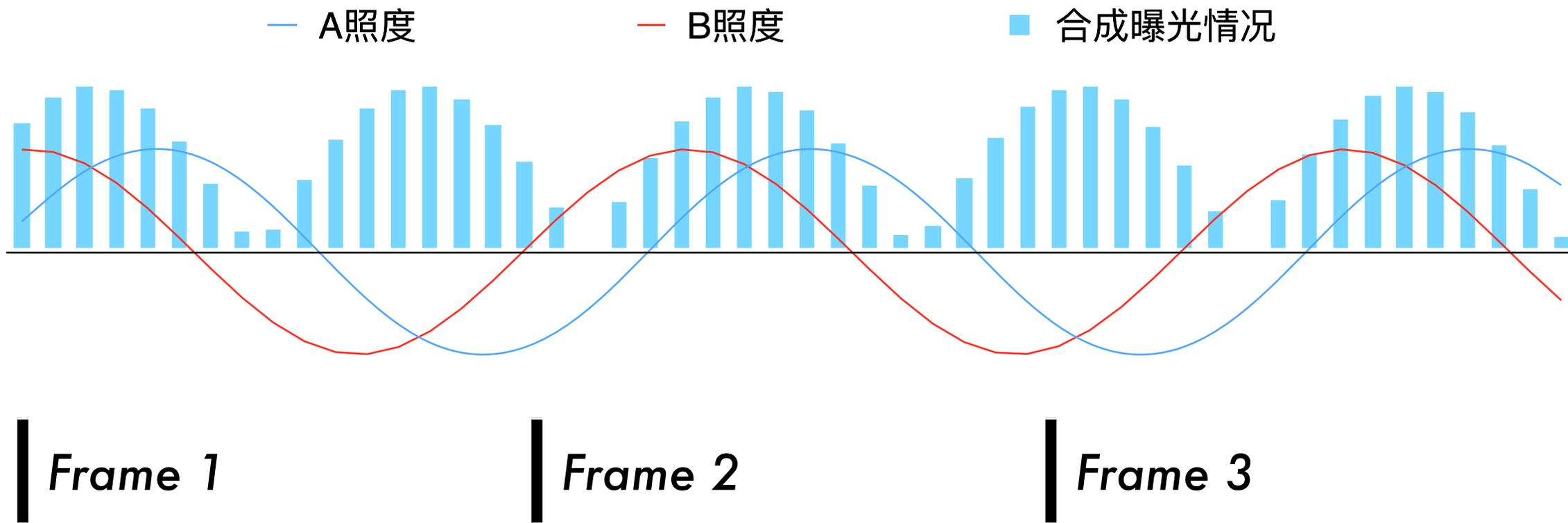
## 测量正负偏差较大的原因分析：



## 测量正负偏差较大的原因分析：

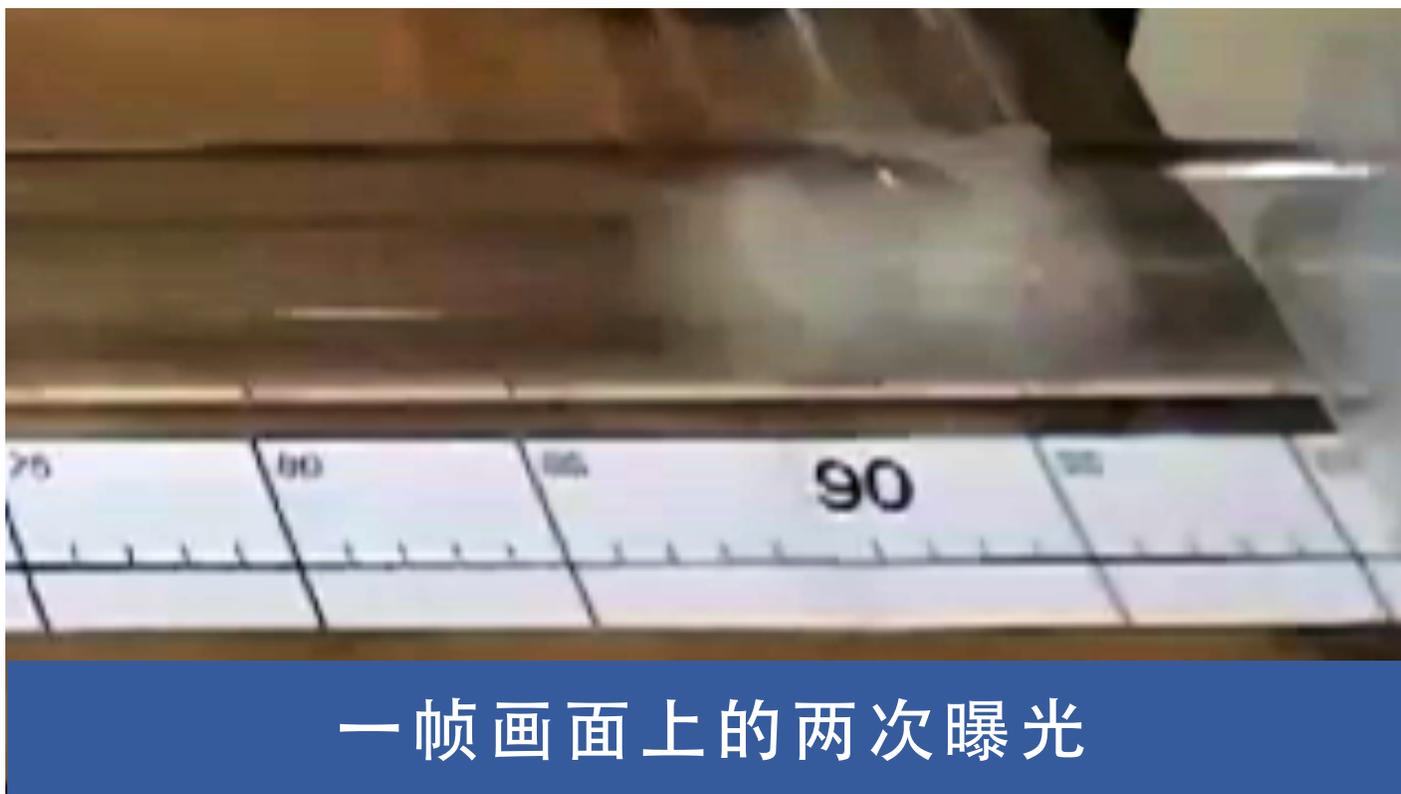


## 测量正负偏差较大的原因分析：



日光灯频闪导致曝光时间不是等间距的

## 测量正负偏差较大的原因分析：



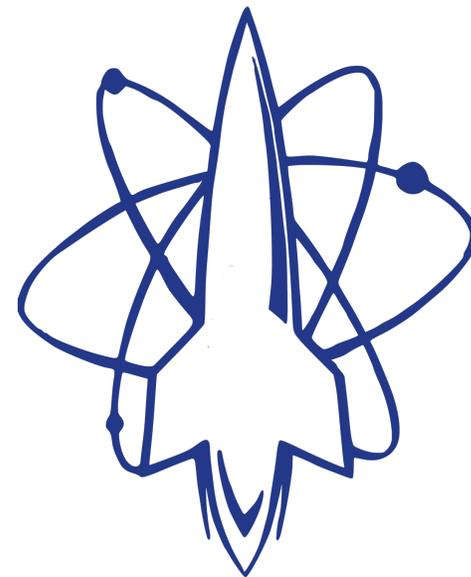
日光灯频闪导致曝光时间不是等间距的

## 改进方案

使用频闪频率远高于摄像机帧率的光源

# 第二次实验

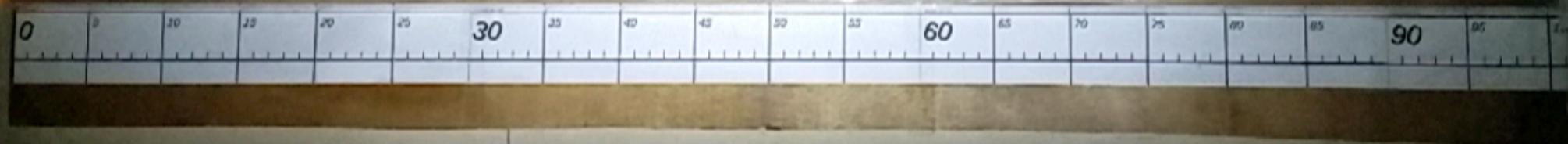
器材搭建  
实验过程  
数据处理



西安交通大学  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY



物理试验班  
P.H.E.C



使用了便携LED探照灯



## LED光源特点

频闪频率高，与相机帧率差距足够大

单光源发光，频闪效应不会因叠加而放大

亮度足够，适合高速摄像

# 实验过程

## 实验过程

$V=0.0\text{m/s}$



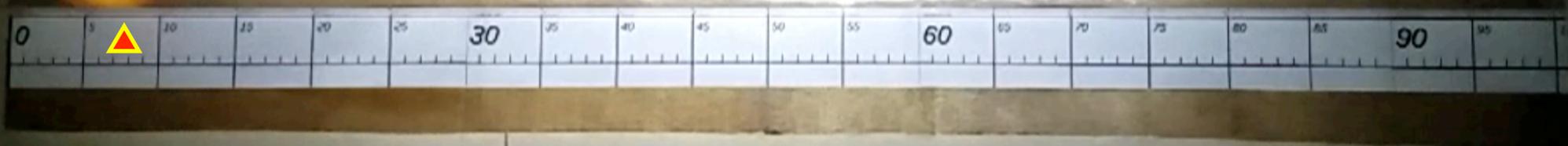
00:00:00.00

$V=2.7\text{ m/s}$



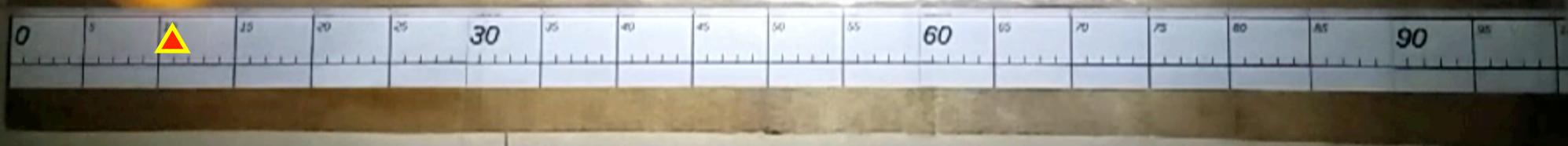
00:00:00.03

$V=8.0\text{m/s}$



00:00:00.10

$V=9.8\text{m/s}$



00:00:00.13

$V = 10.5 \text{ m/s}$



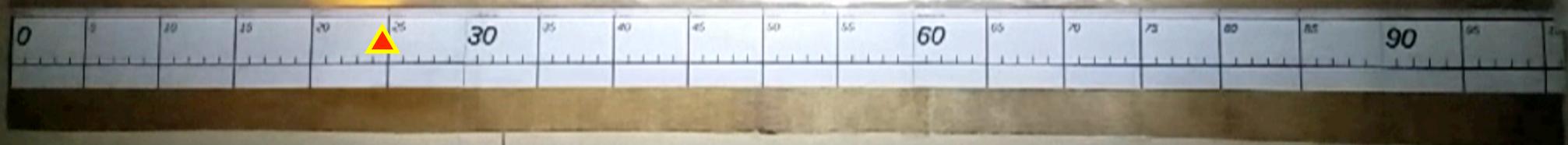
00:00:00.17

$V=10.9\text{m/s}$



00:00:00.20

$V=11.7\text{ m/s}$



00:00:00.23

$V=12.7\text{m/s}$



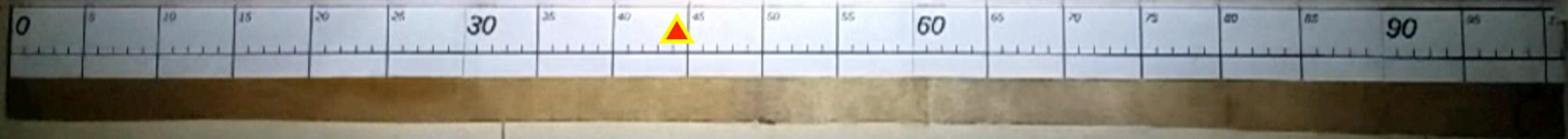
00:00:00.27

$V = 13.3 \text{ m/s}$



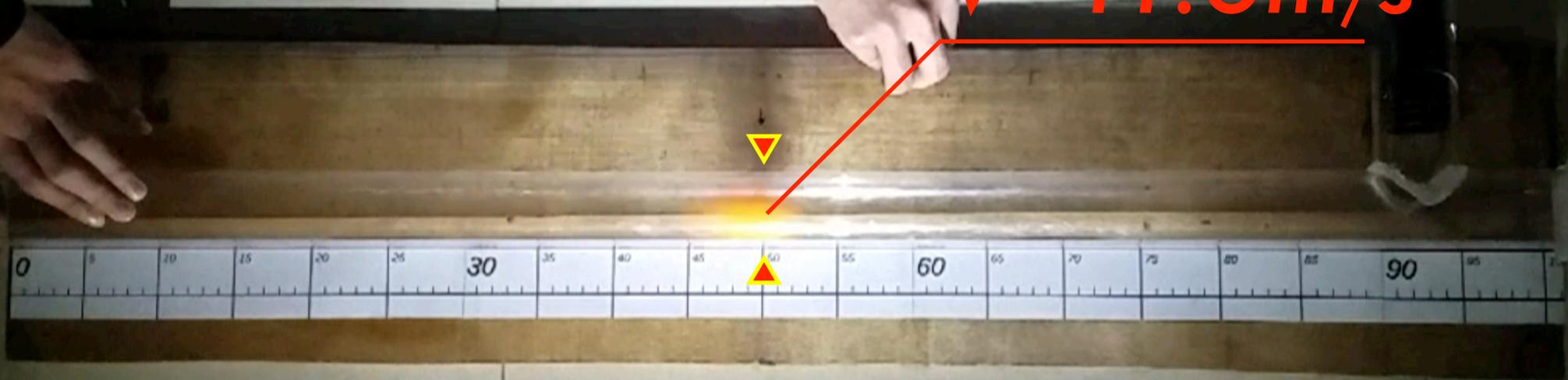
00:00:00.30

$V = 10.8 \text{ m/s}$



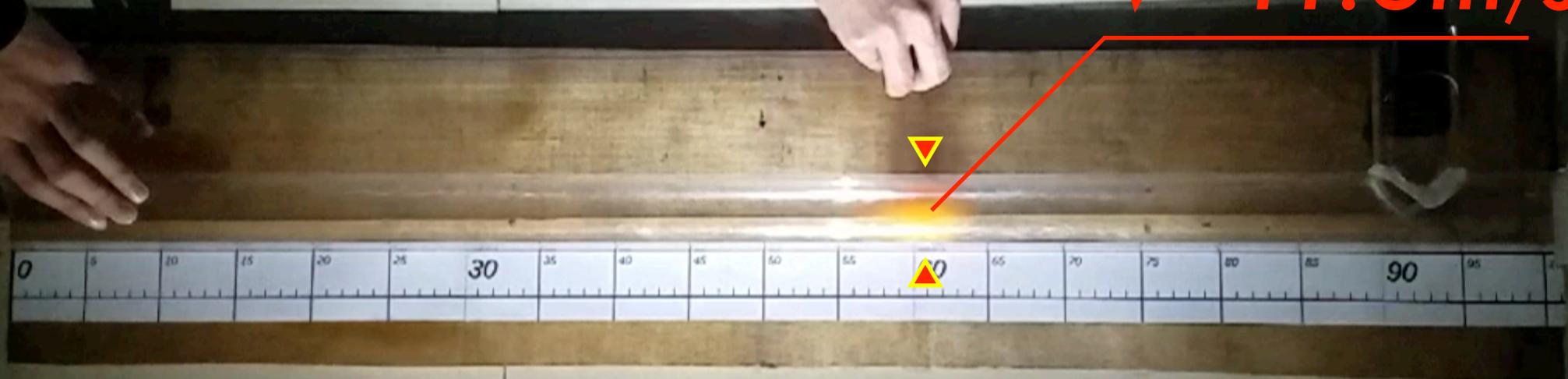
00:00:00.37

$V=11.6\text{m/s}$



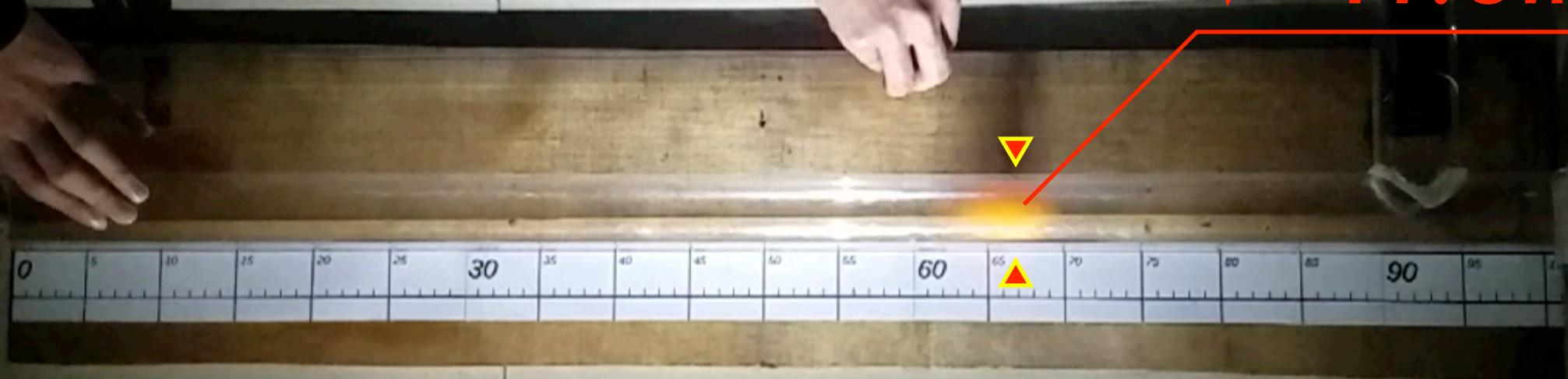
00:00:00.40

$V=11.6\text{m/s}$



00:00:00.50

$V = 11.6 \text{ m/s}$



00:00:00.52

$V = 12.8 \text{ m/s}$



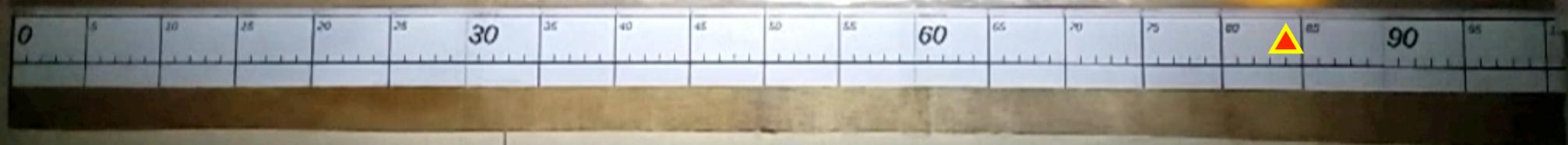
00:00:00.55

$V = 15.2 \text{ m/s}$



00:00:00.58

$V=13.7\text{ m/s}$



00:00:00.62



0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95

00:00:00.65



00:00:00.68



0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95

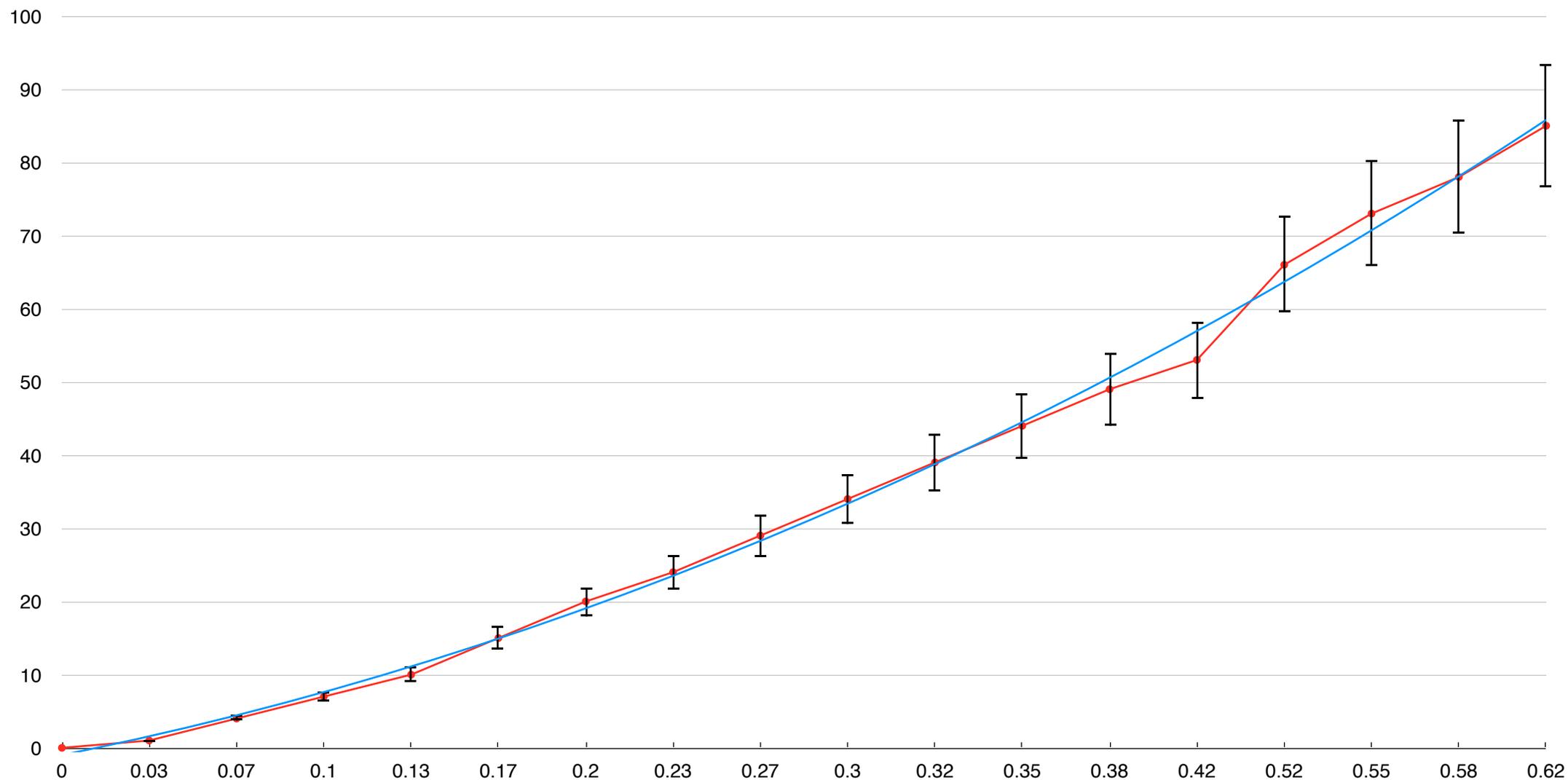
00:00:00.70

# 数据处理

## 第二次实验

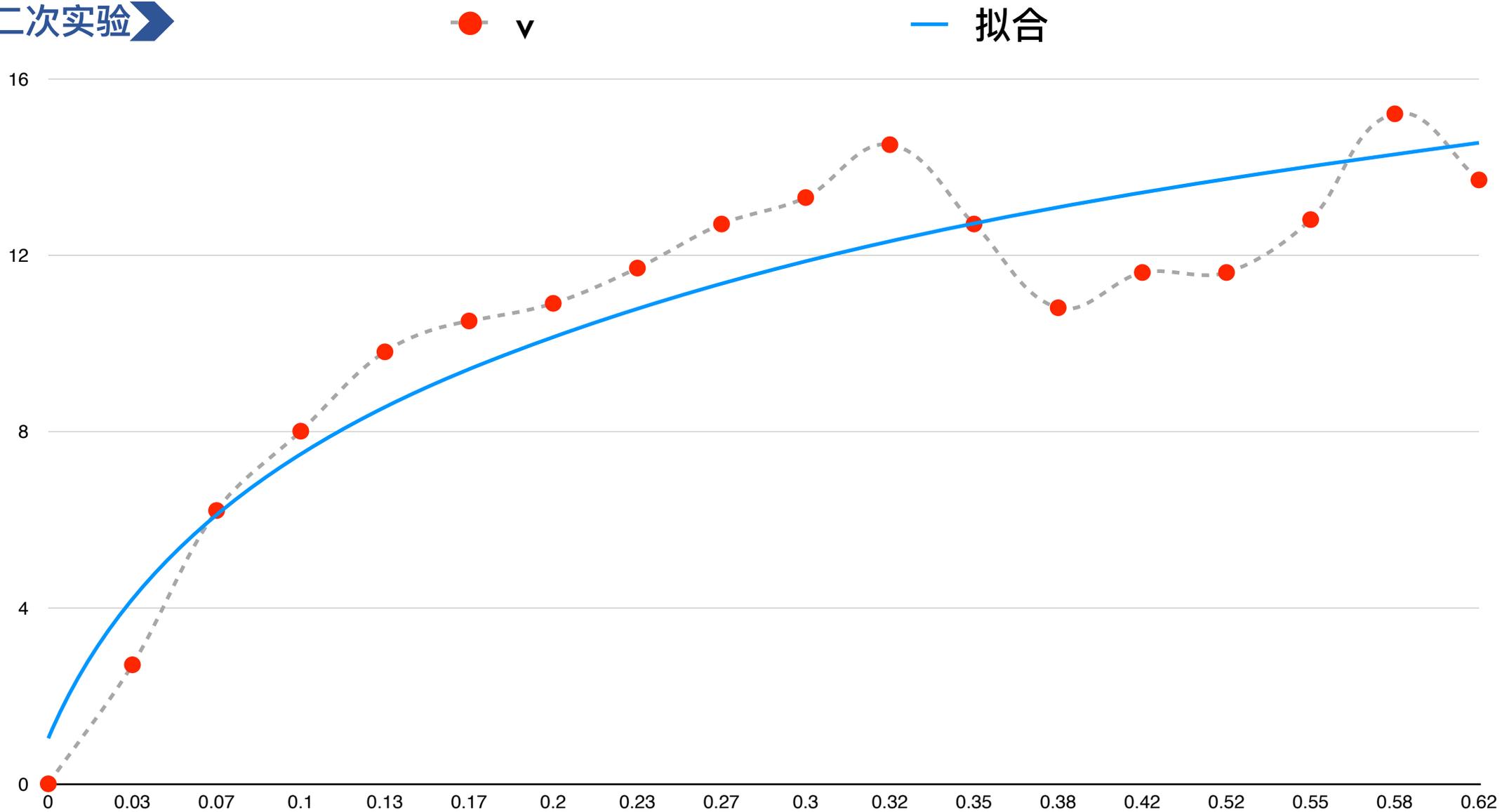
○ Position/cm

— 拟合



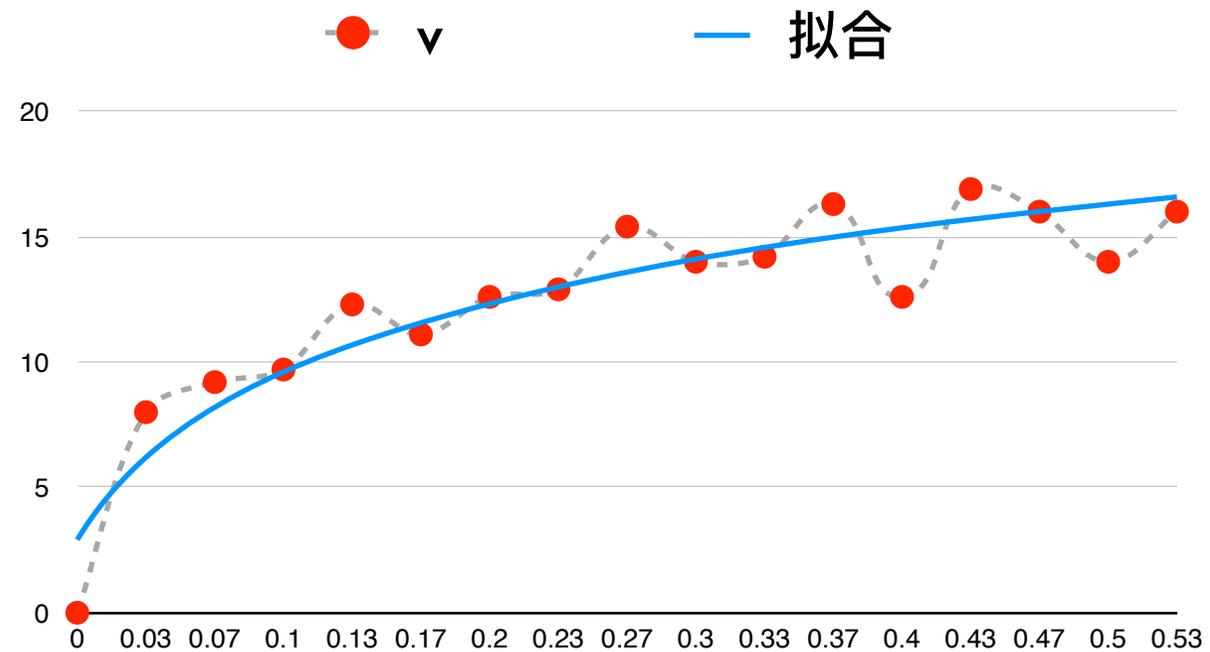
实验测得的位移—时间关系

## 第二次实验

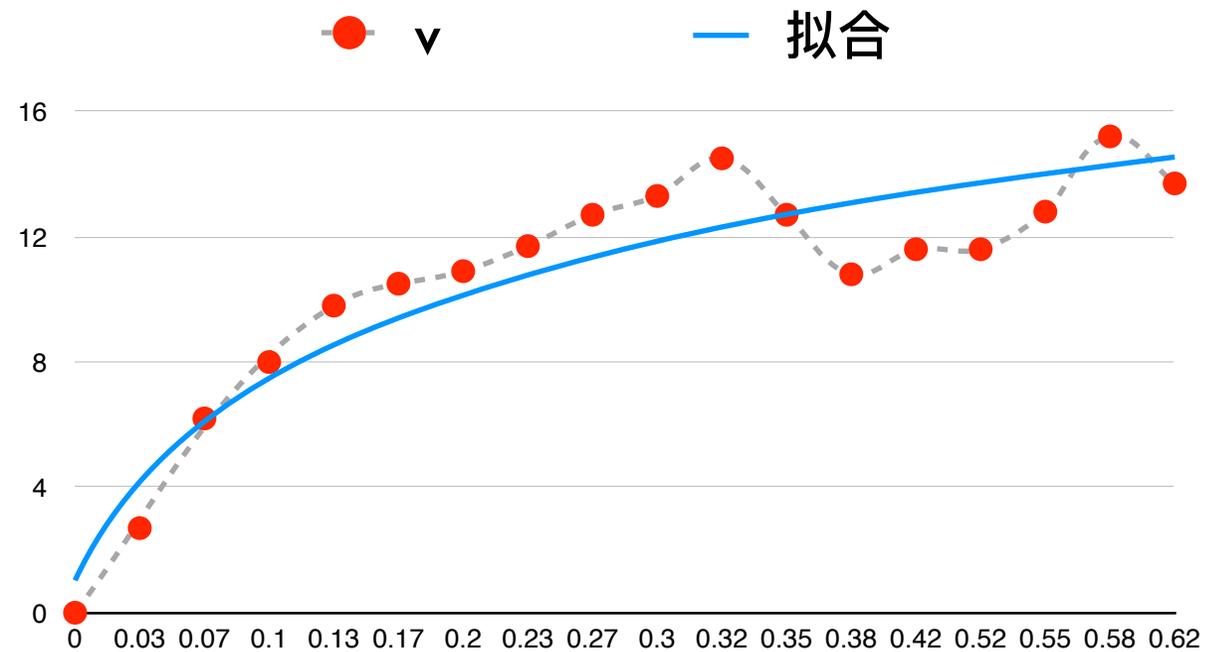


实验测得的速度—时间关系

## 第二次实验

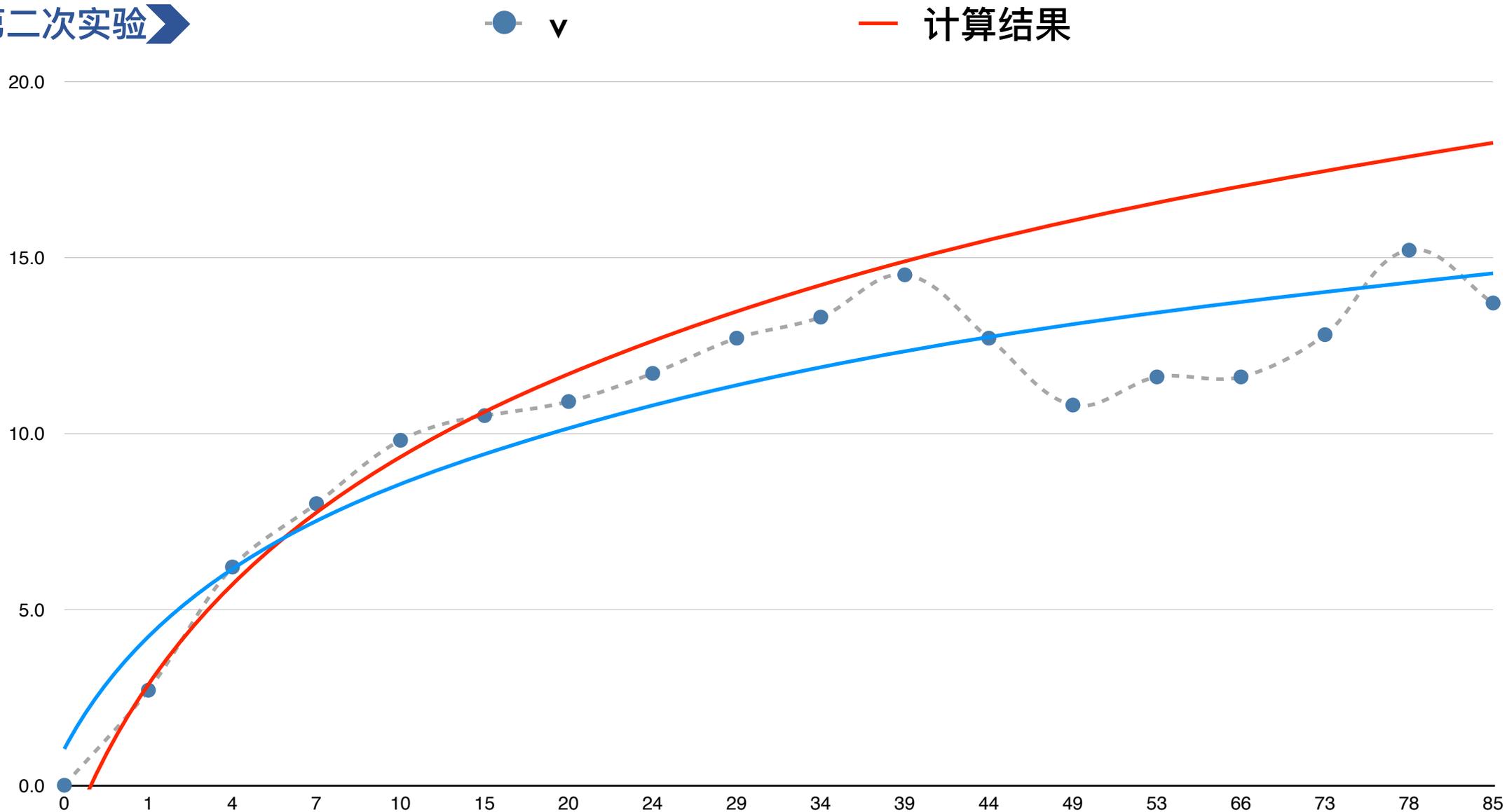


### 第一次实验



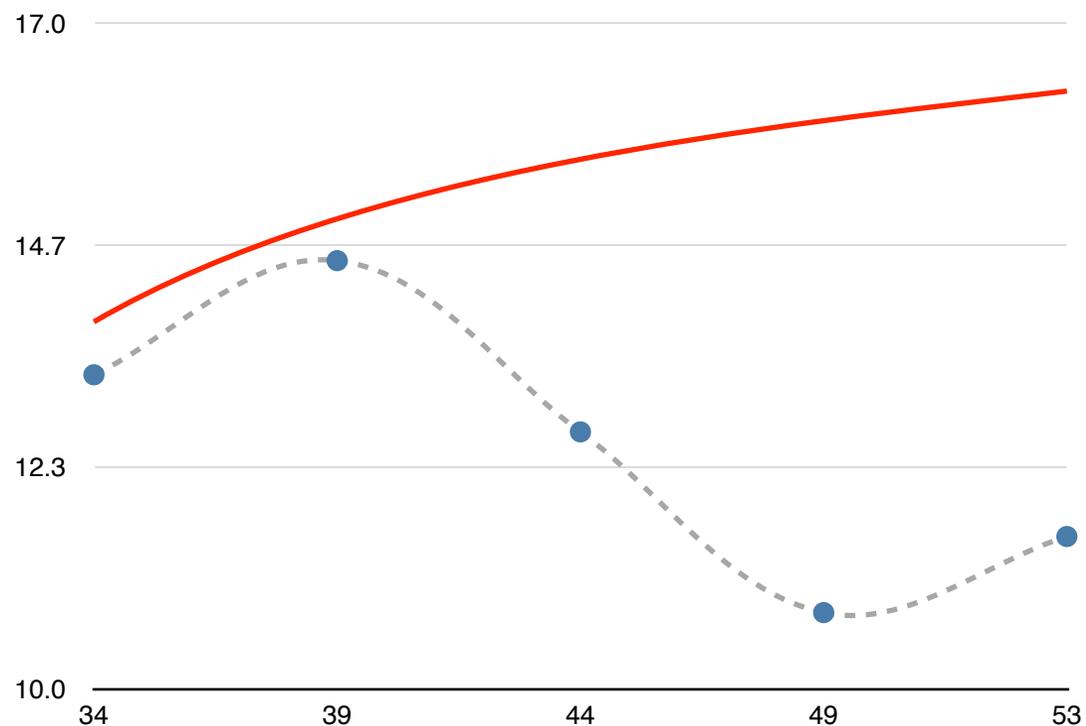
### 第二次实验

## 第二次实验



实验结果和计算结果的对比

## 速度突然减慢的原因探究：



**猜测：**

可能是乒乓球和管壁的碰撞导致了速度突然减慢。

## 探究方案

使用柱状炮弹探究碰撞影响速度的可能性









0 30 60 90



06 09 30 0





























0 30 60 90





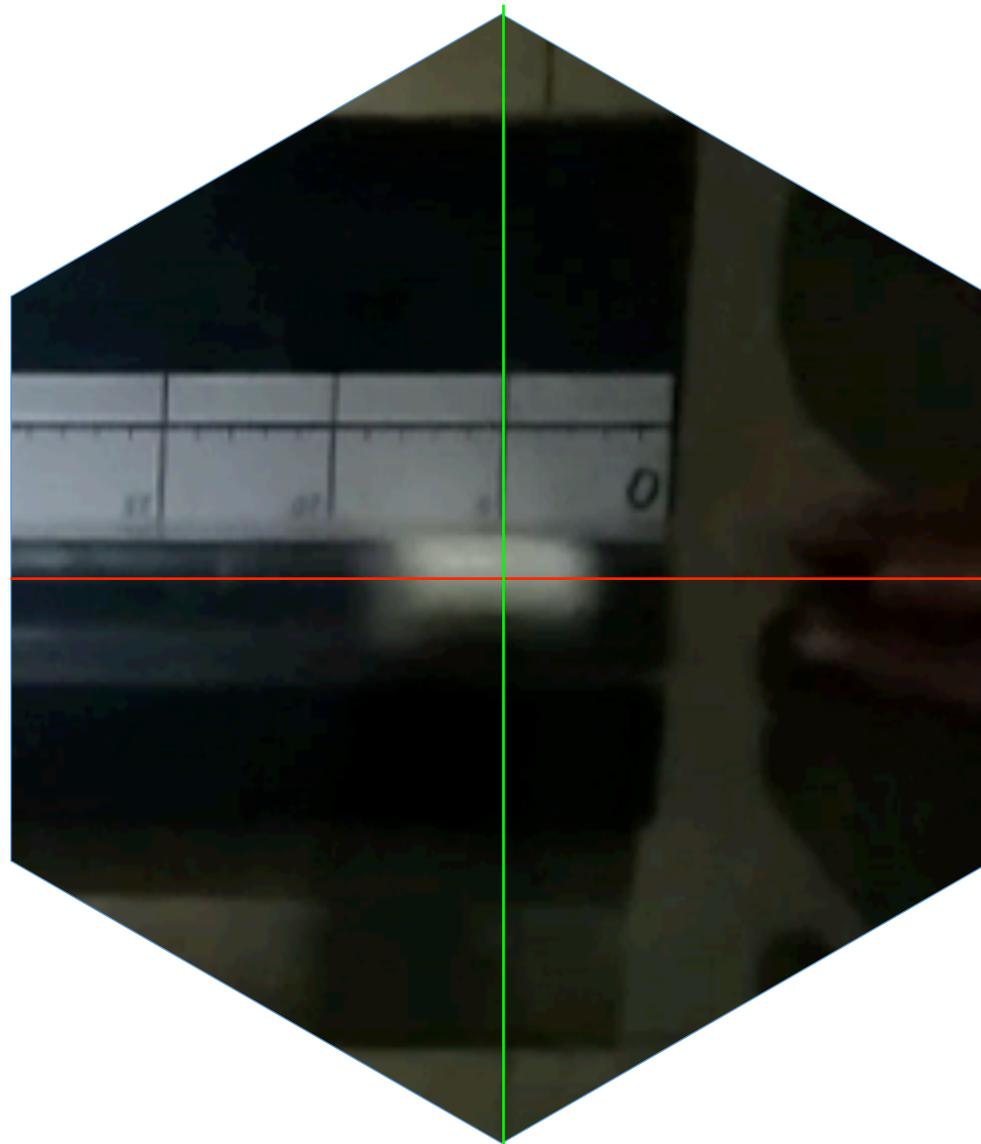
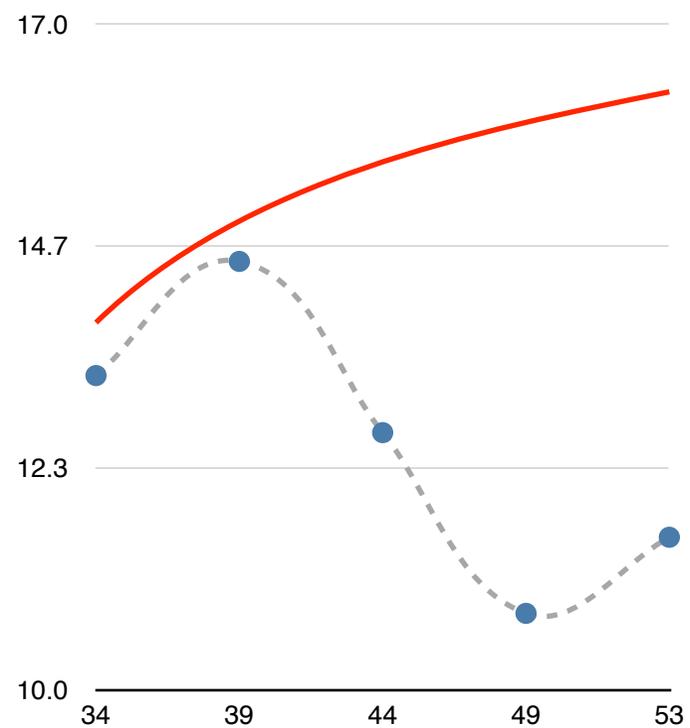
06 60 30 0



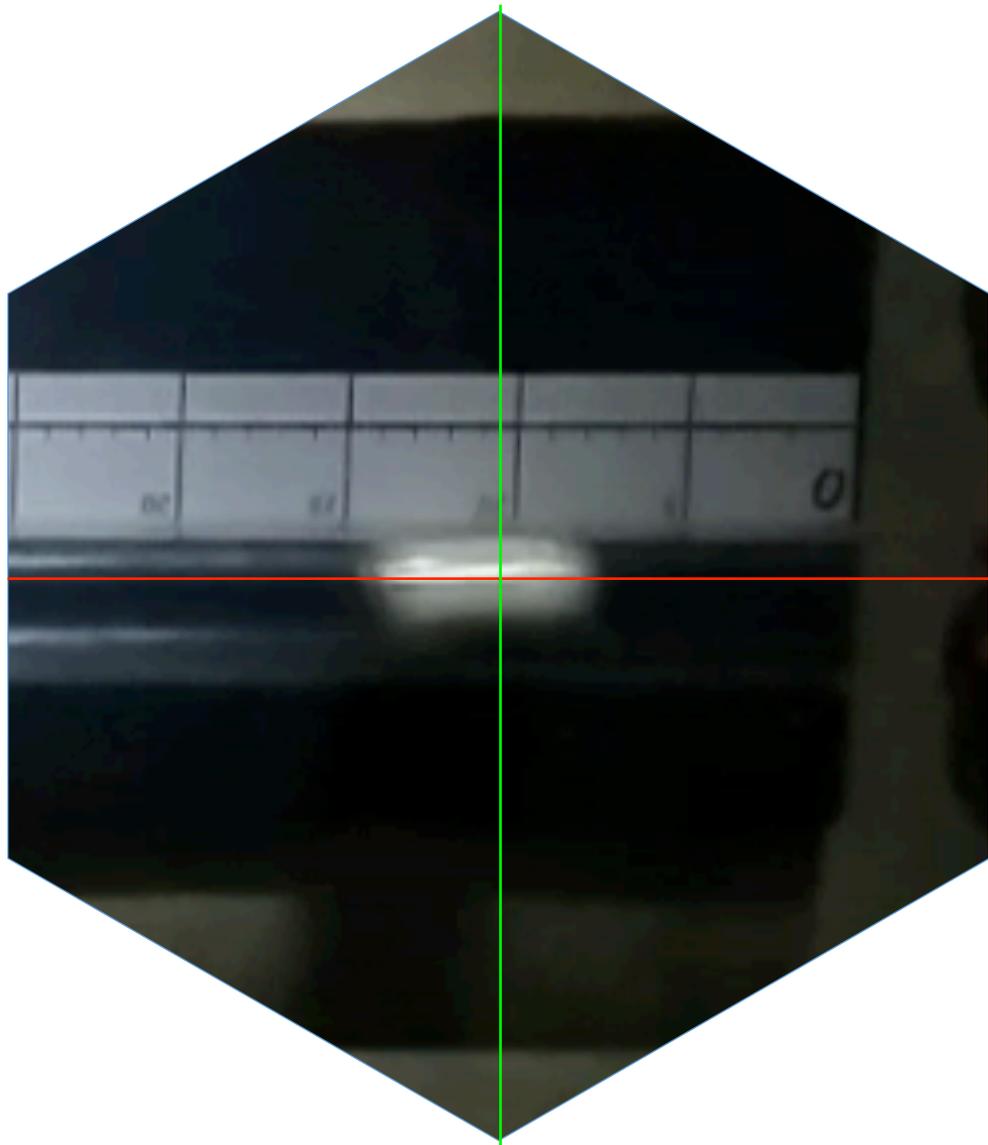
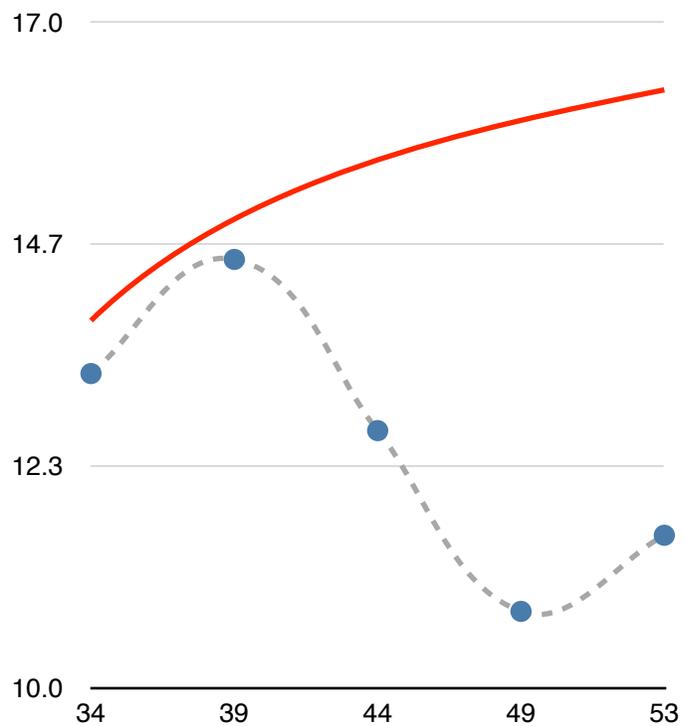


聚焦回放

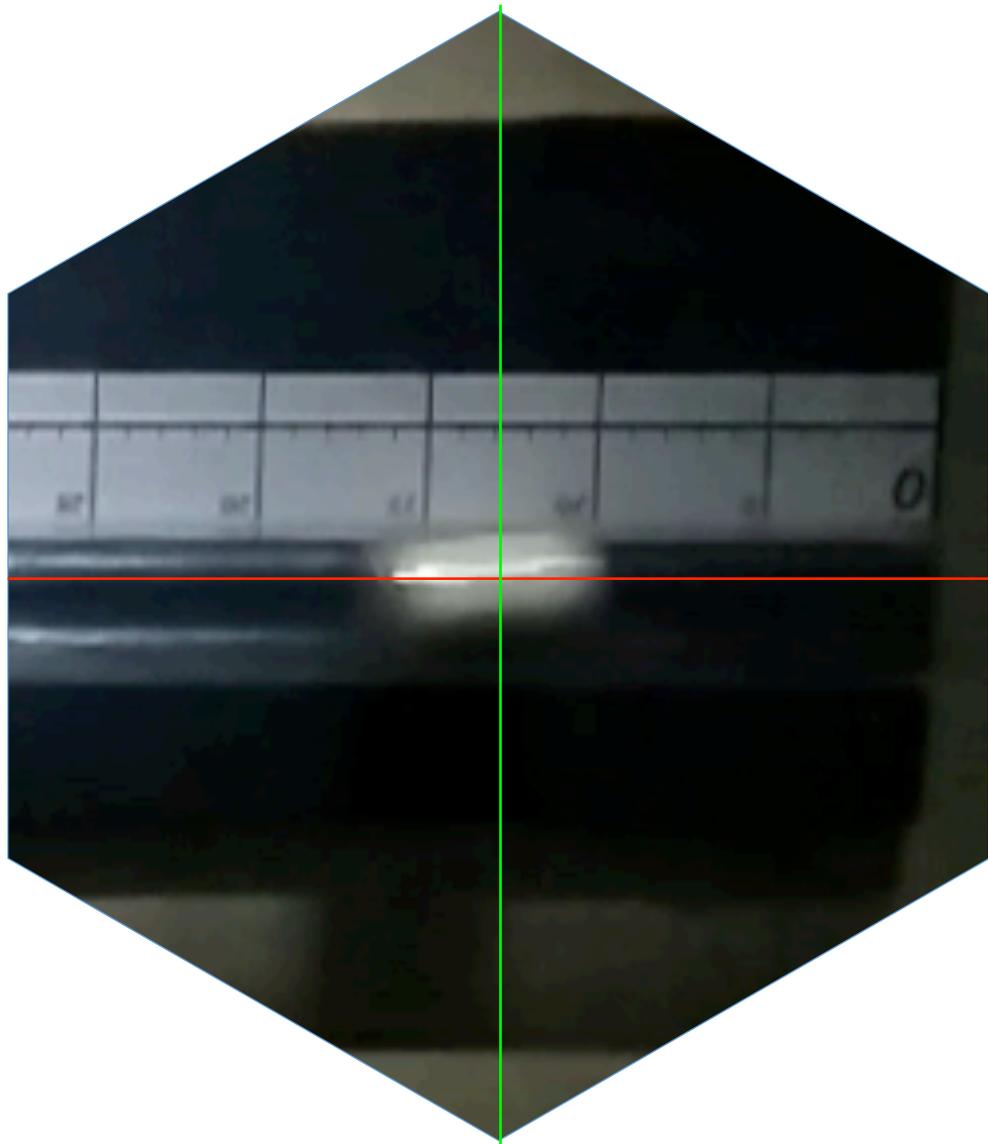
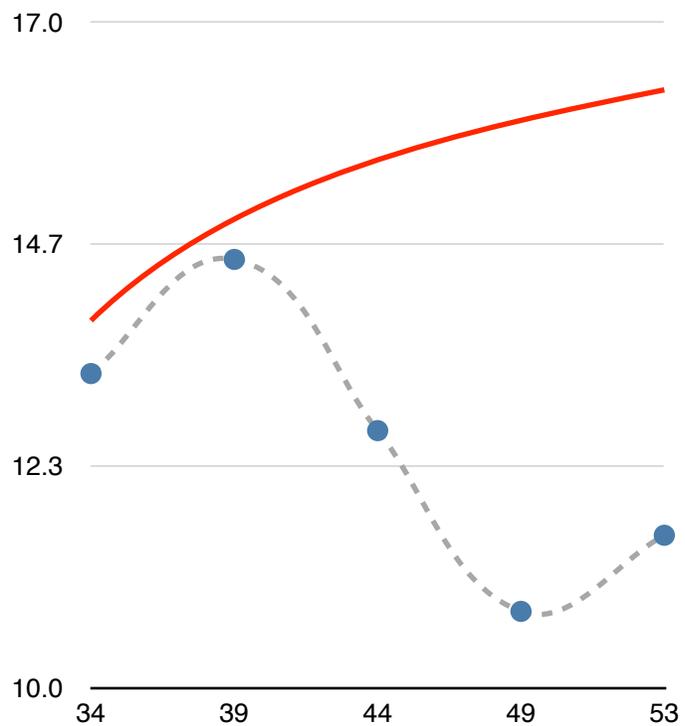
# 聚焦回放



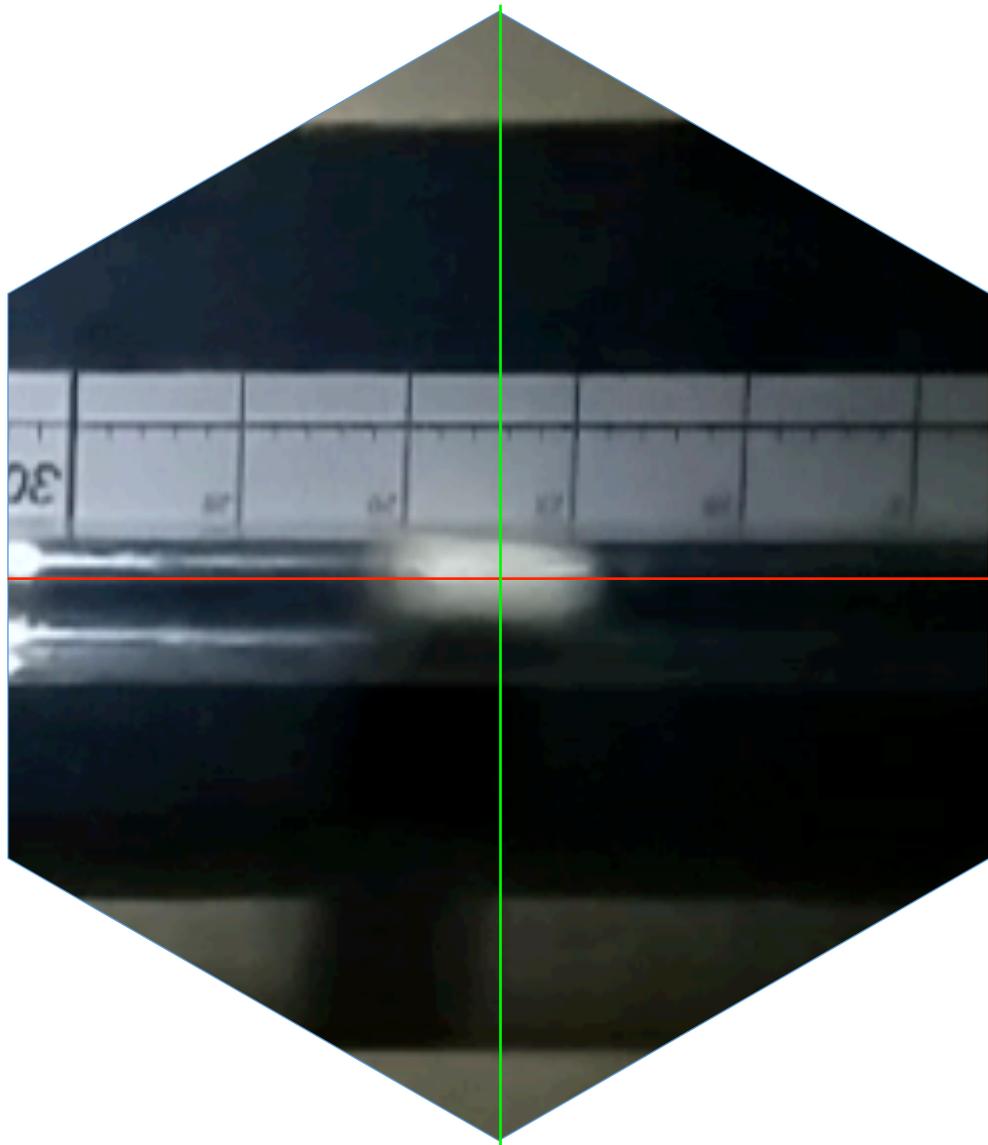
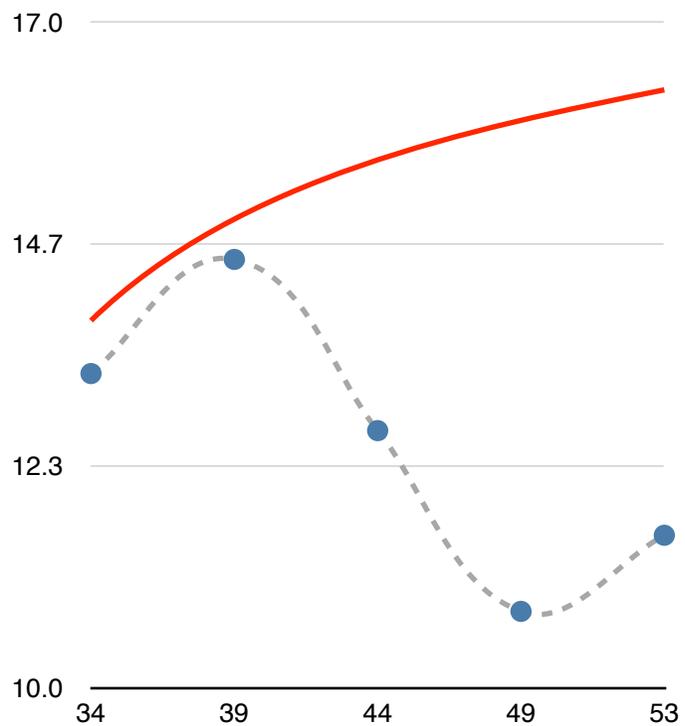
# 聚焦回放



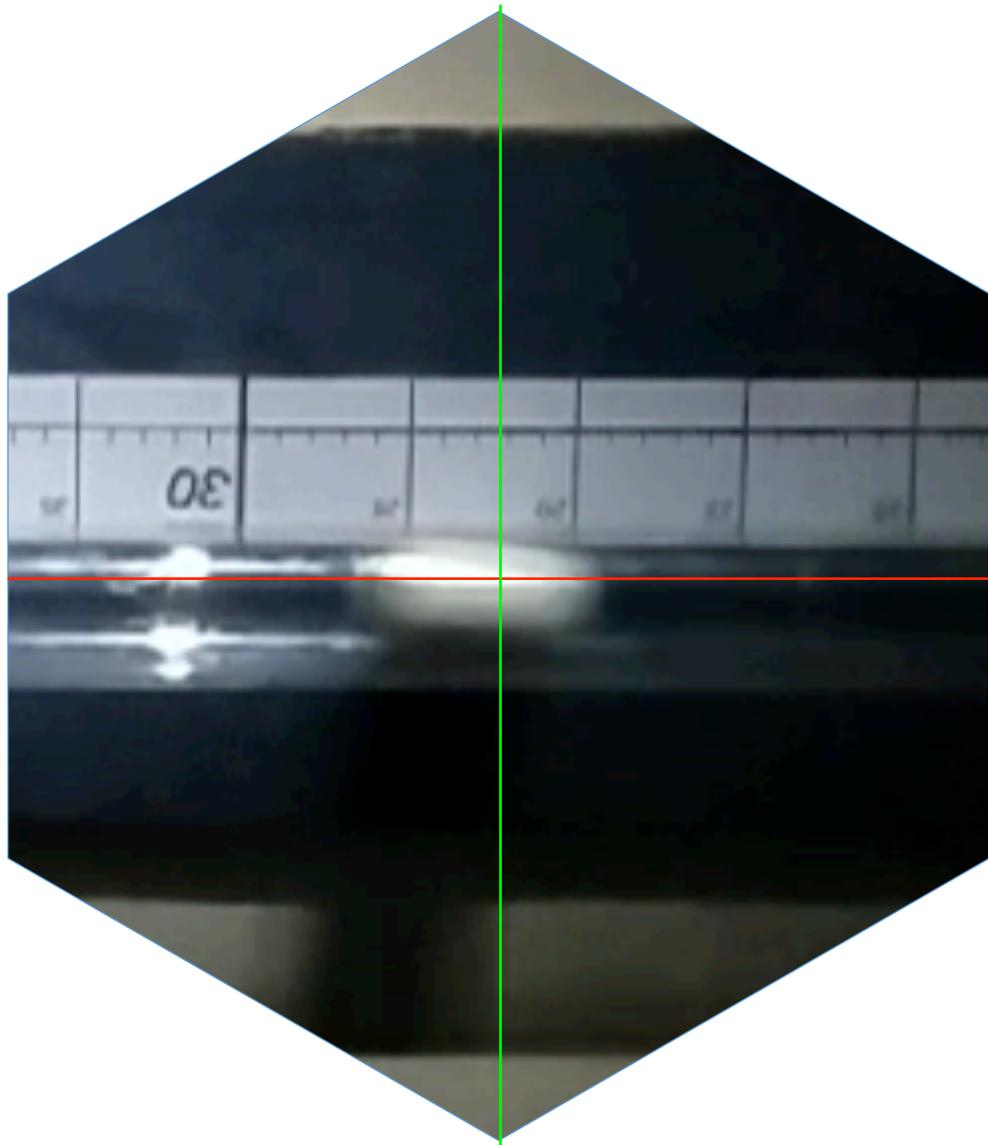
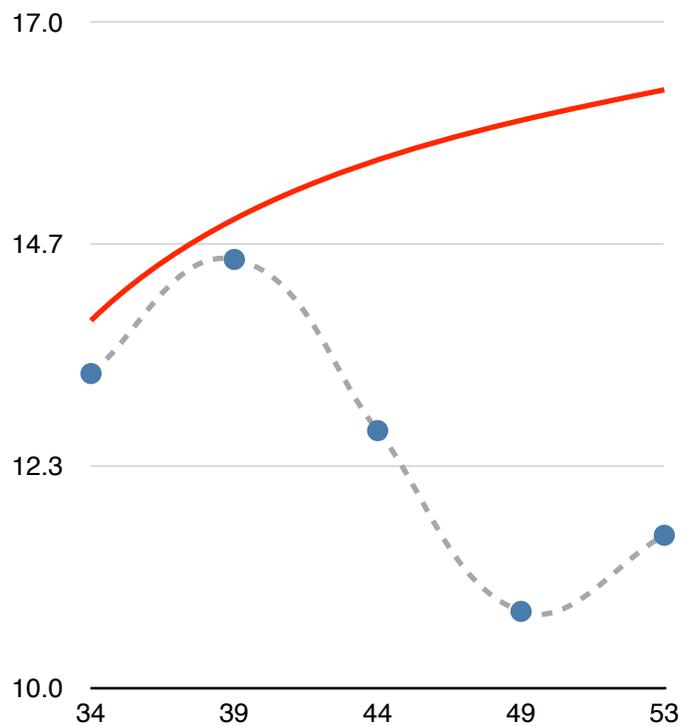
# 聚焦回放



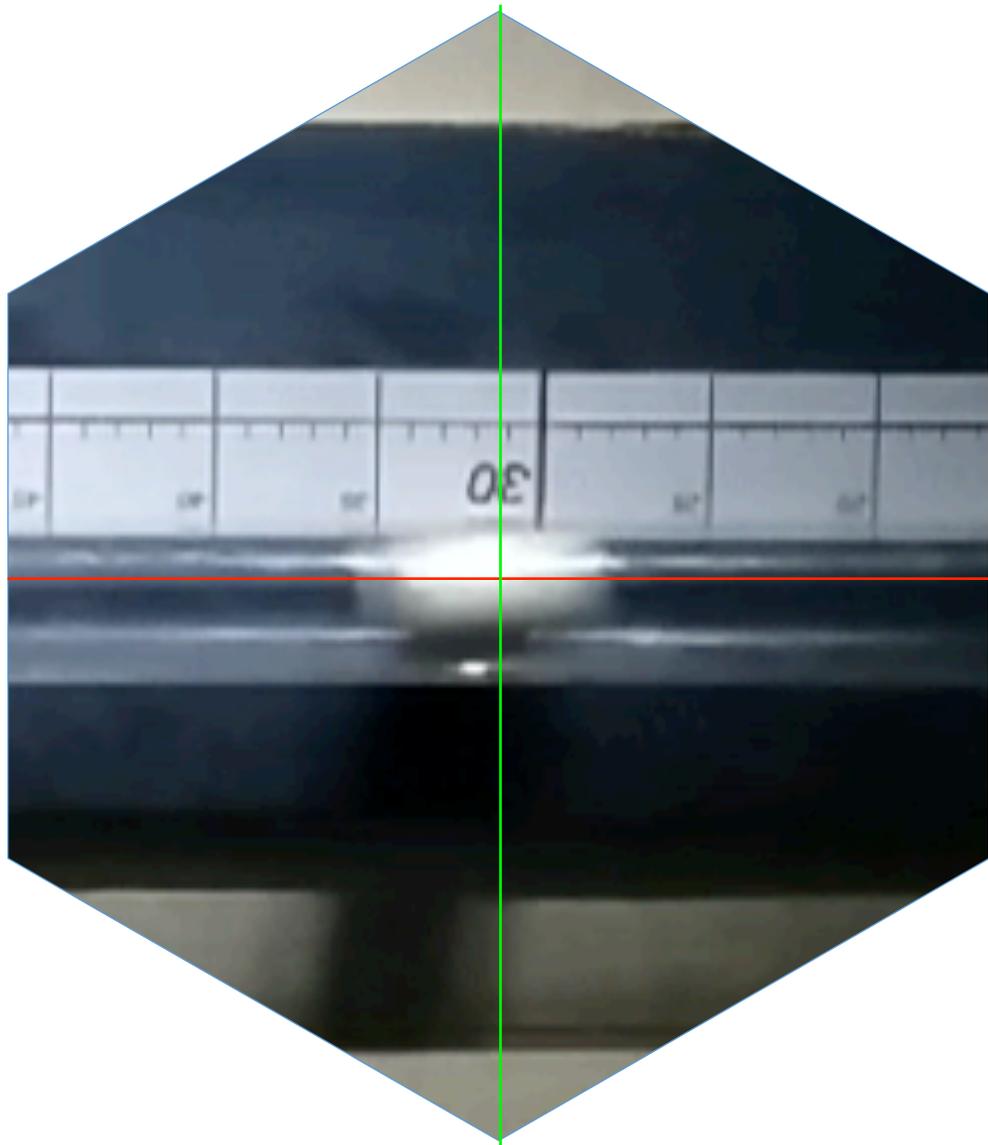
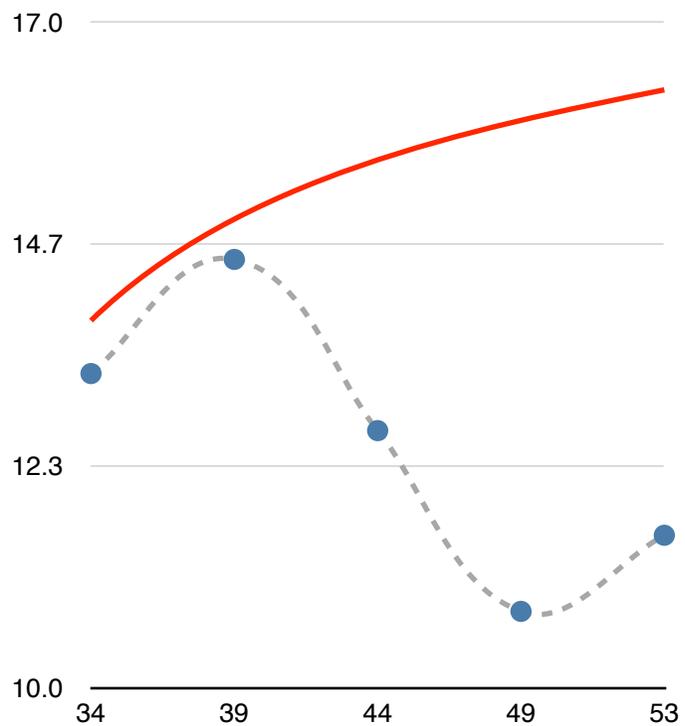
# 聚焦回放



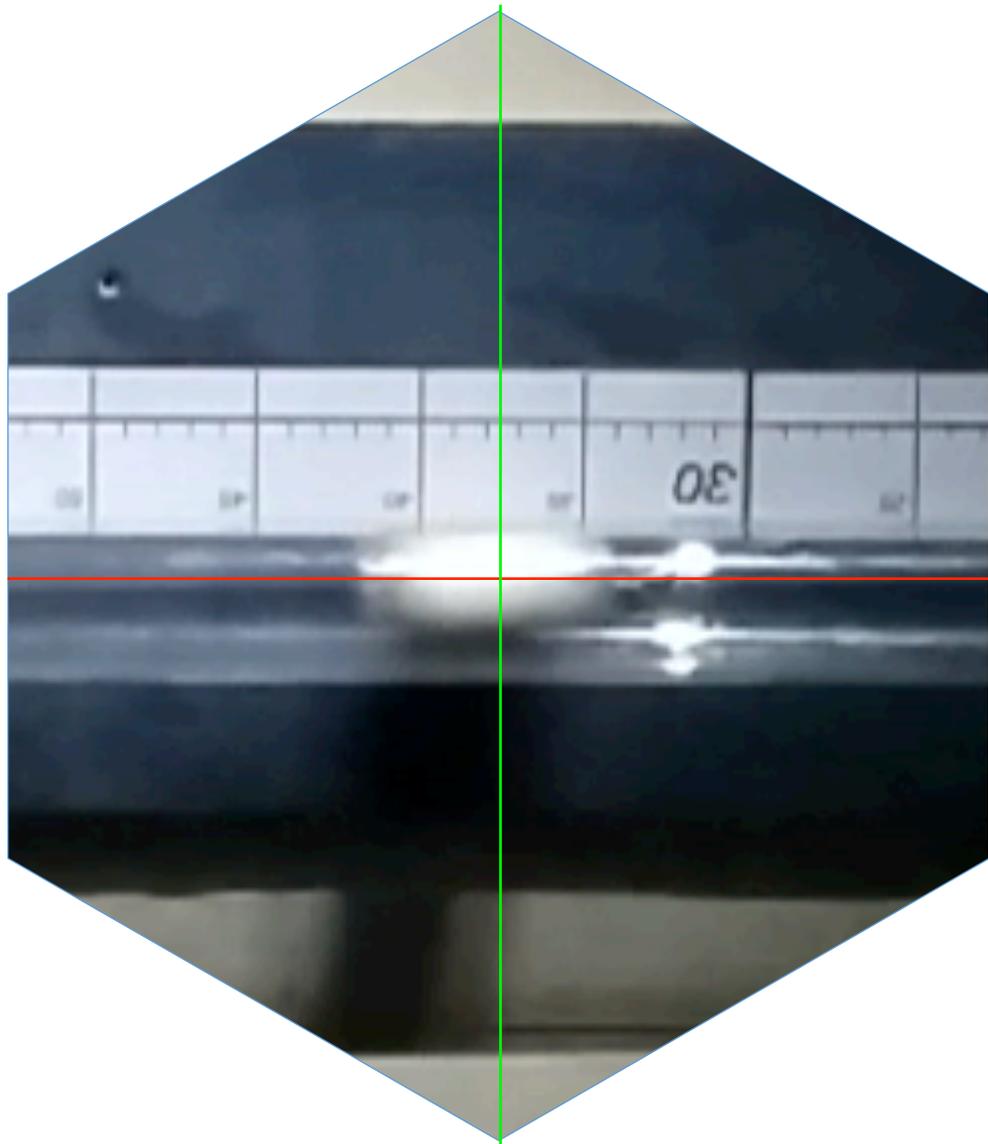
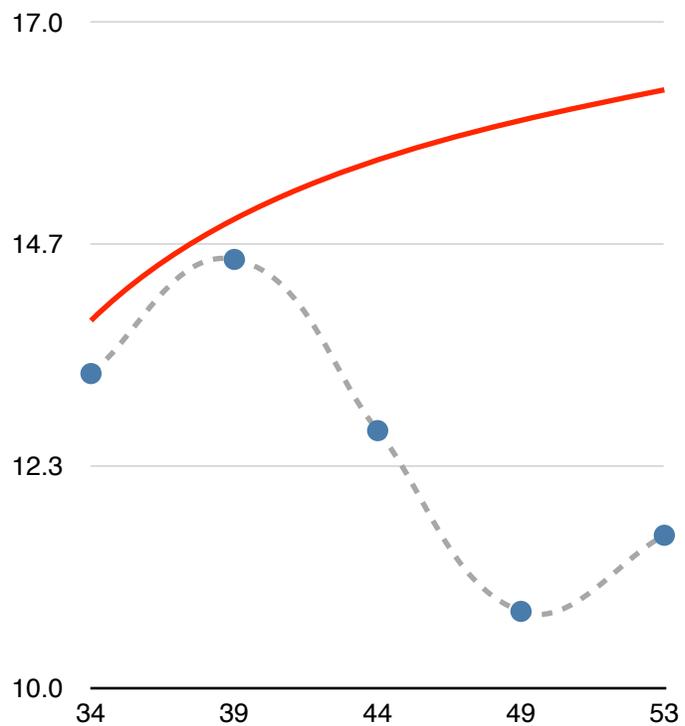
# 聚焦回放



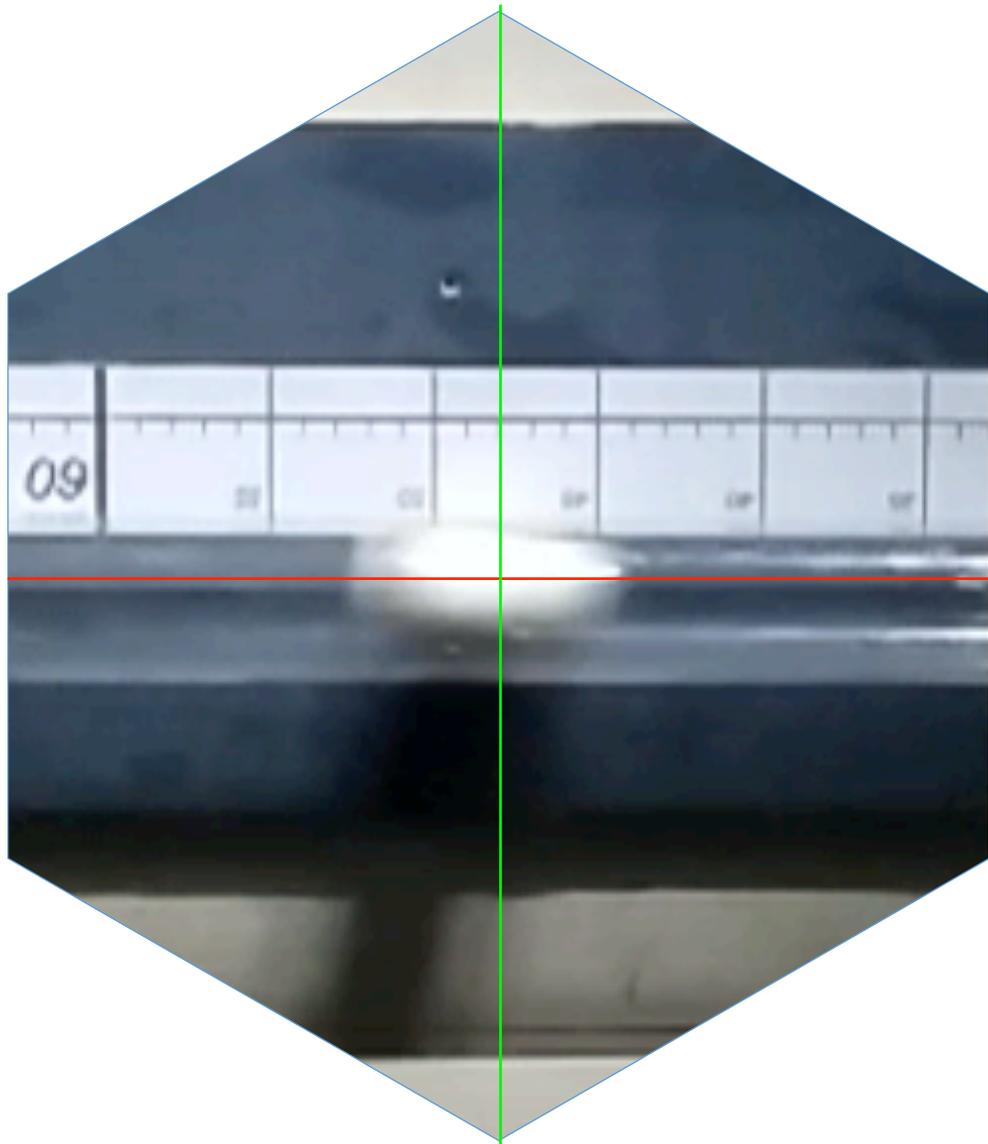
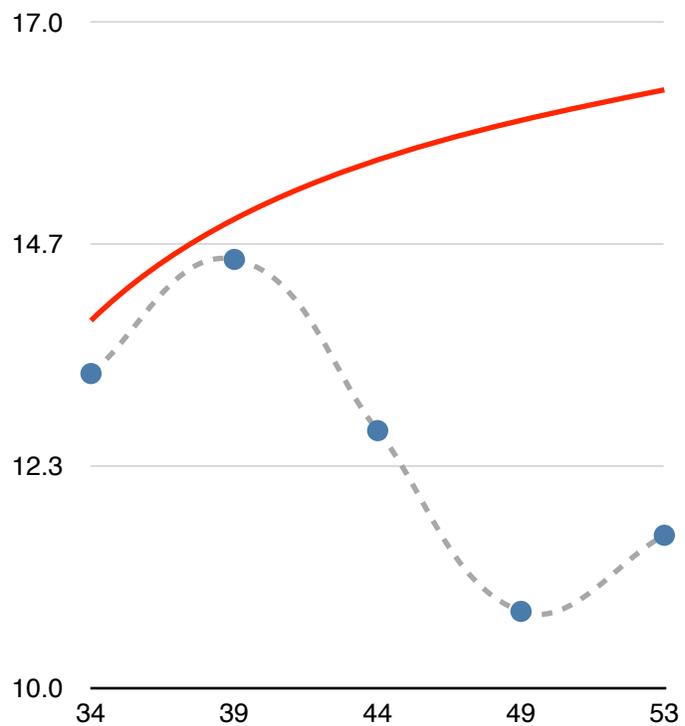
# 聚焦回放



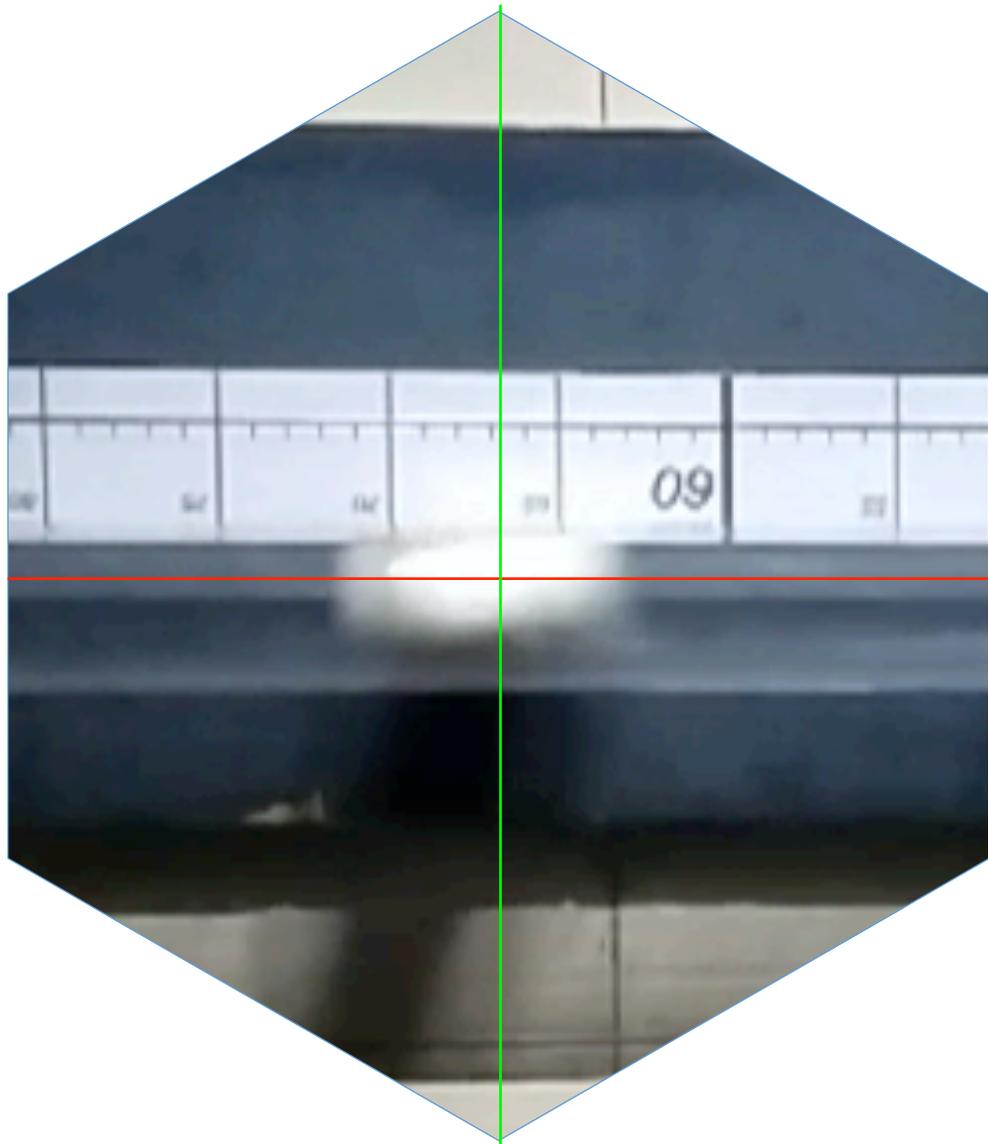
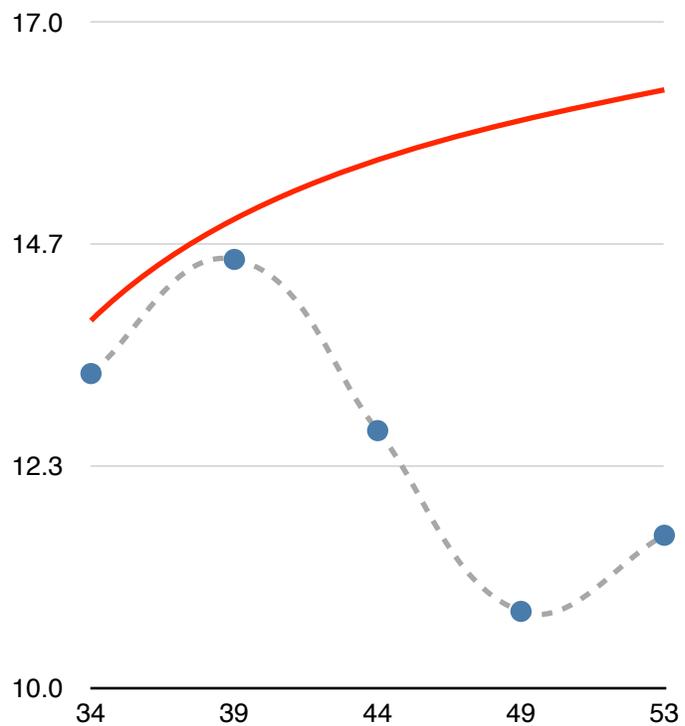
# 聚焦回放



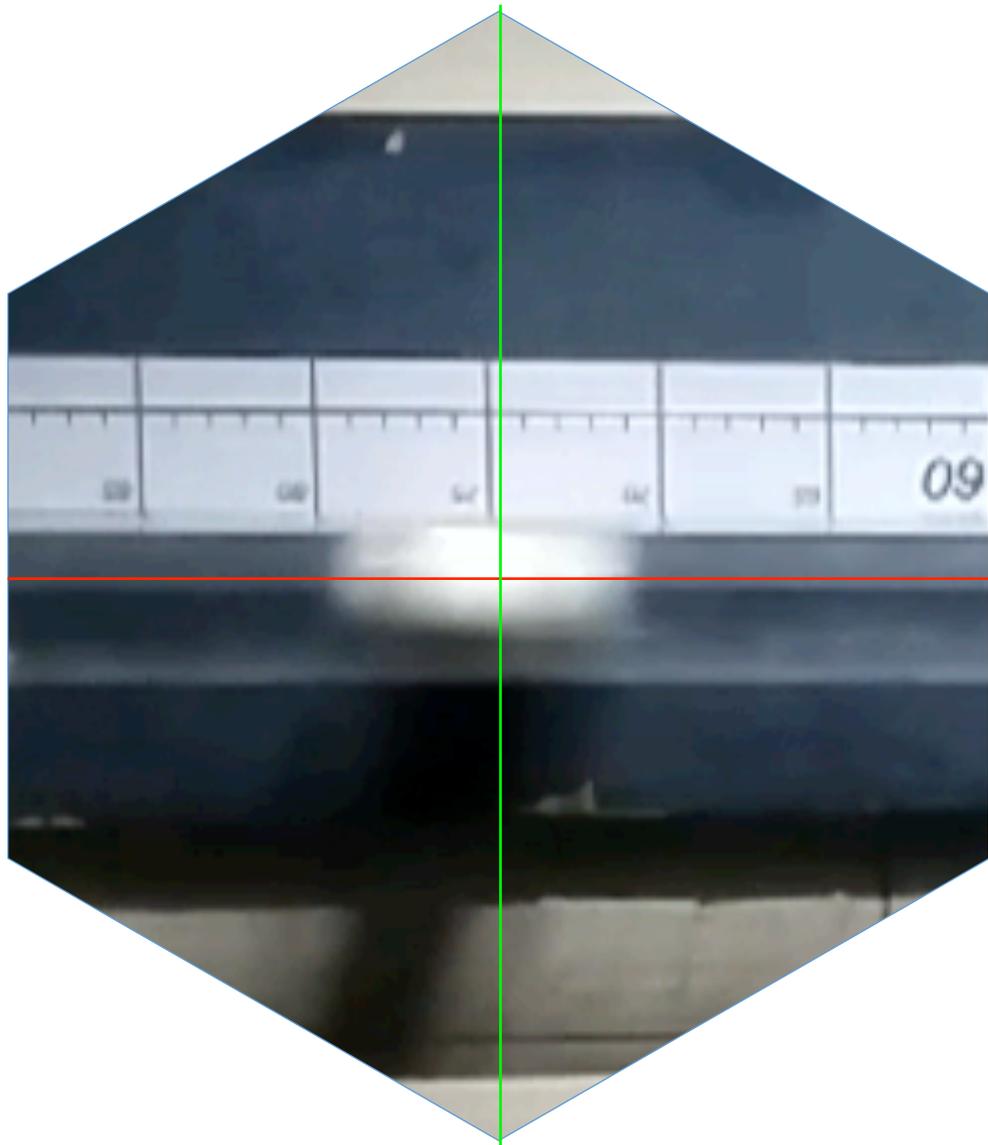
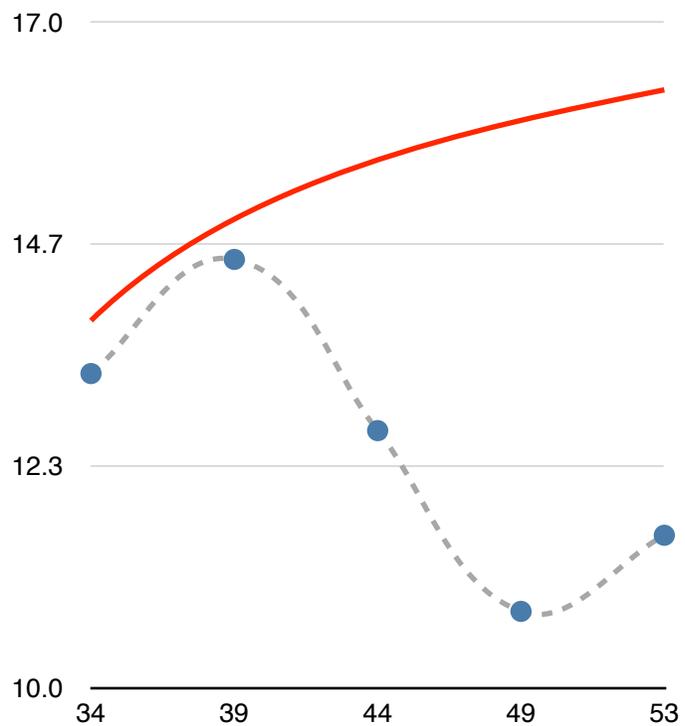
# 聚焦回放



# 聚焦回放



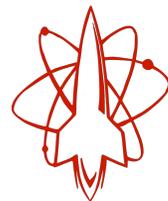
# 聚焦回放



AND.More



西安交通大学  
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY



物理试验班  
P.H.E.C

*Presented By Z.Y.X*