

1.实验

在进行了理论推导后，作者进行了严格的实验以进行放大率与分辨率的测量，并借由该实验验证不同因素是否会对水滴的放大率与分辨率造成影响。

1.1 实验设计描述

在实验中，作者创建了由水滴制成的透镜，用于放大智能手机/平板电脑屏幕上的像素。简而言之，我们在一个平坦的表面上放置了一台 iPad Pro（第三代，型号 MTJ92CH/A），并将其屏幕朝上。在 iPad 屏幕上放置水滴之前，先打开一个应用程序（例如 GoodNotes），以生成均匀的白色背景。作者在靠近水滴的位置防止了一个带有刻度的尺子（Fig. 1.中的透明尺子）。这个尺子是为了在后续分析中估算和校准图片的像素大小（Fig. 2.）。

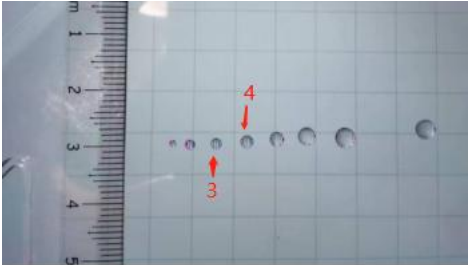


Fig. 1. 不同体积的水滴在 iPad 屏幕上的照片示例。

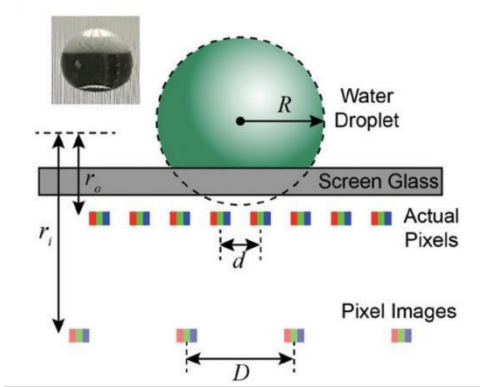


Fig. 2. 通过水滴放大屏幕像素。插图：水滴的侧视图[1]

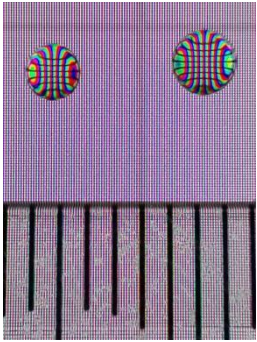


Fig. 3. Fig. 1.中红色箭头所指的水滴 3 与水滴 4 的放大视图

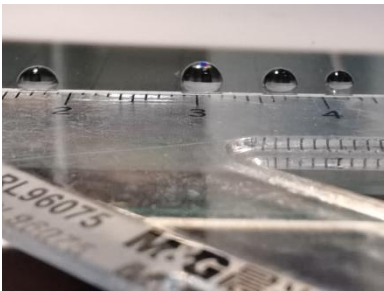


Fig. 4. 实验侧视图，左 1 为对照水滴 X，其与平面的夹角较小，右侧为半圆形水滴。

使用一次性医用无菌注射器（配套注射针 0.6*25TWLB，单位为 mm）将不同体积的水滴添加到 iPad 屏幕上，并通过多次少量滴加使得水滴在侧面相机中接近于圆球形（Fig. 4.）。由于水滴透镜的存在，作者观察到 iPad 屏幕的实际像素(d)形成了虚拟图像(D)(Fig. 1.与 Fig. 2.)。这一观察由智能手机（HUAWEI mate 30，型号 TAS-AN00）的

摄像头记录为照片。在获取的照片中，仔细观察单个水滴的图像清楚地显示了 iPad 屏幕的像素图像 (Fig. 3.)。然后，获取的照片被传输到计算机进行定量分析。因为获取的照片的像素大小取决于智能手机的高度，所以对水机的相对高度进行了固定，以提高不同照片中不同体积水滴之间的一致性。

1.2 实验分析

为了确定水透镜的放大倍数，作者采用了两种方法。

1.3 方法 1：直接测量法

1.3.1 方法描述首先用 tracker 的矢量长度标记水滴的长度(L)与宽度(W)及经过水滴成像的三色 OLED 灯的长度(l)，根据 iPad 的规格计算 OLED 灯实际长度并计算放大倍数(M)。用 origin 将数据可视化点线图后尝试利用软件进行一次与二次拟合，并推测水滴直径(R ，简化为长度与宽度的算术平均值)或水滴面积(S)与三色 OLED 灯的长度(l)的关系。同时尝试通过拟合曲线判断水滴与平面的夹角(θ)是否会对水滴成像情况造成影响。

1.3.2 数据展示（图片下方标注同一为长*宽）：



Fig. 5.(a) 水滴 1

0.1360161cm*0.1472296cm

OLED 成像：0.02327342cm，放大倍率约 2.42 倍【单张照片】

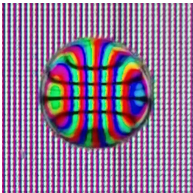


Fig. 5.(b) 水滴 2

0.1828895cm*0.1859759cm

OLED 成像：0.02259666cm，放大倍率约 2.35 倍【单张照片】

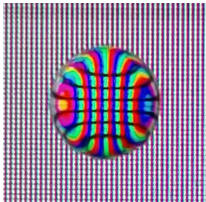


Fig. 5.(c) 水滴 3

0.2084444cm*0.2115833cm

OLED 成像：0.02123801cm，放大倍率约 2.21 倍【单张照片】

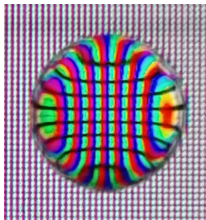


Fig. 5.(d) 水滴 4

0.2498845cm*0.2480194cm

OLED 成像：(0.01960965cm+0.01856475cm)/2，放大约 1.988 倍【两张照片取平均值】

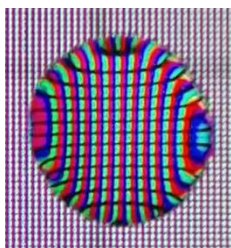


Fig. 5.(e) 水滴 5

0.2630119cm*0.2564221cm

OLED 成像: $(0.01573764\text{cm}+0.01601656\text{cm})/2$, 放大约 1.65 倍【两张照片取平均值】

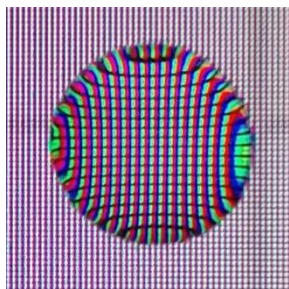


Fig. 5.(f) 水滴 6

0.3143624cm*0.3215835cm

OLED 成像: 0.01463121cm, 放大约 1.52 倍【两站照片的值近似】

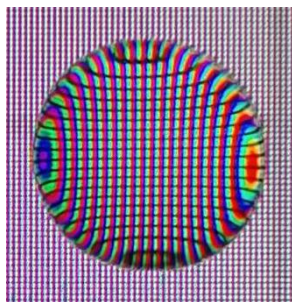


Fig. 5.(g) 水滴 7

0.3708722cm*0.3793930cm

OLED 成像: 0.01441927cm, 放大约 1.5 倍【单张照片】

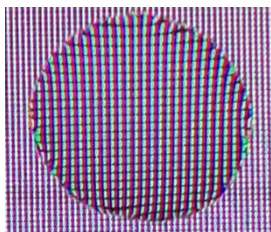


Fig. 5.(h) 水滴 X

0.3249662cm*0.3578942cm

OLED 成像: 0.01332648cm, 放大约 1.388 倍【单张照片】

1.3.3 实验结论:

a)显然水滴放大倍率(M)与水滴直径(R)存在负相关性。

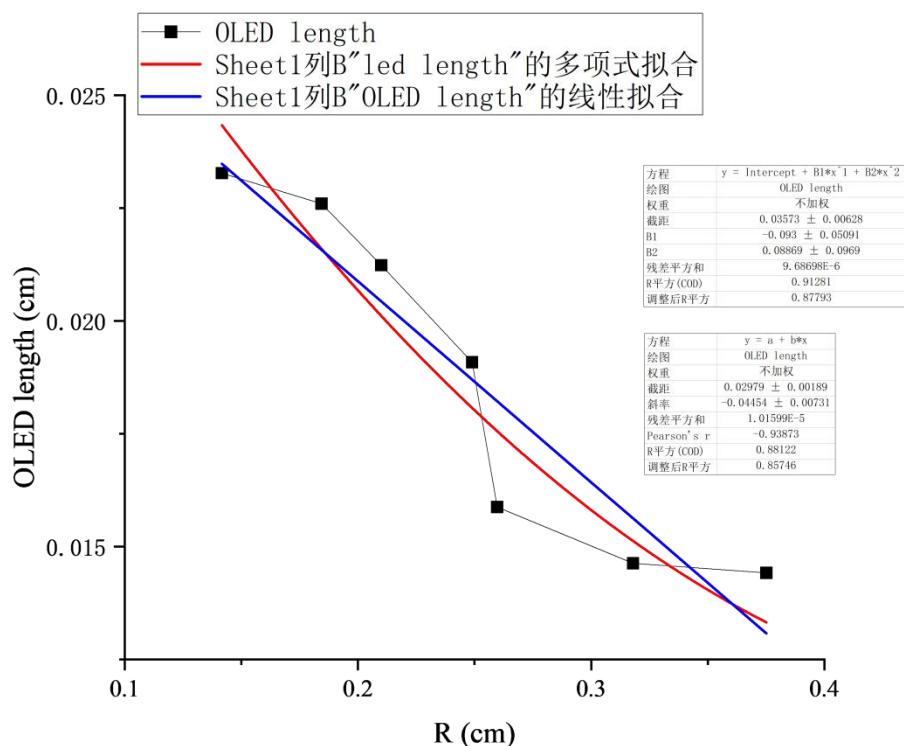


Fig. 6. 尝试对水滴直径(R)相对 OLED 灯的长度(l)的函数进行拟合, 显然线性拟合与二次多项式拟合均拟合较好
b)显然水滴与平面的夹角(θ)会对水滴成像情况造成影响。

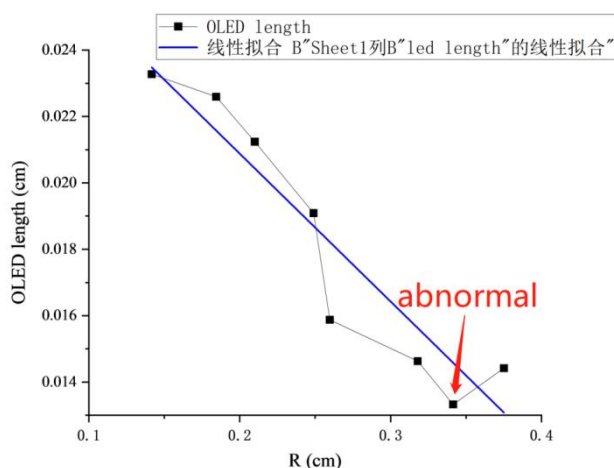


Fig. 7. 红色箭头指出异常值, 该异常值的数据来源即为水滴 X

1.4.方法二：间接测量法

1.4.1 方法描述

首先在 Image J 中量化拍摄照片的像素大小。在提取一个单一的颜色通道（作者采用 red 通道）后，然后沿着尺子上的标记画出一条线(Fig. 8.中的黄线), 并确定强度剖面, 从中观察到明显的周期性模式(Fig. 9.)。接下来从 Image J 中读取周期数（以像素为单位），结合 5 张在同样高度以同样倍率拍摄的照片统计后呈现出一个左偏的单峰分布，峰值位于 296-300mm 处 (Fig. 11.)。在去掉数据两端的极值后计算得平均值约为 300mm。由于周期性模式对应着尺子上的毫米标记，因此在拍摄的照片中，一个像素的估计值 $\approx 1/300 \text{ mm}$ （即换算因子 $k \approx 1/300 \text{ mm/px}$ ）

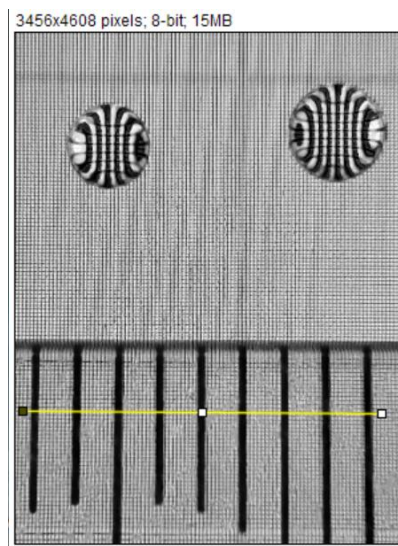


Fig. 8. 包含水滴 3 与水滴 4 的照片 1 中的尺子

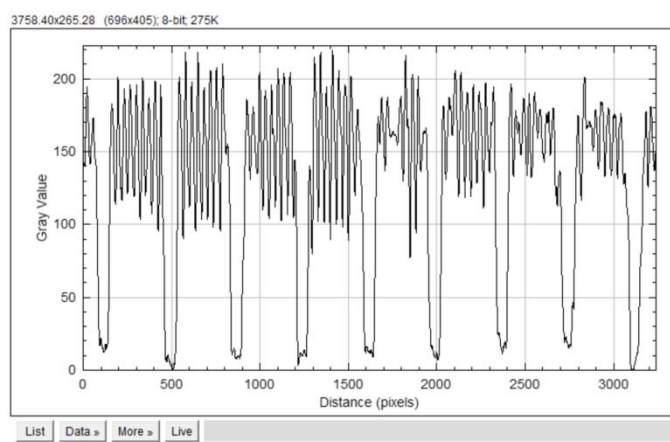


Fig. 9. 沿着 Fig. 8.中黄线的强度剖面

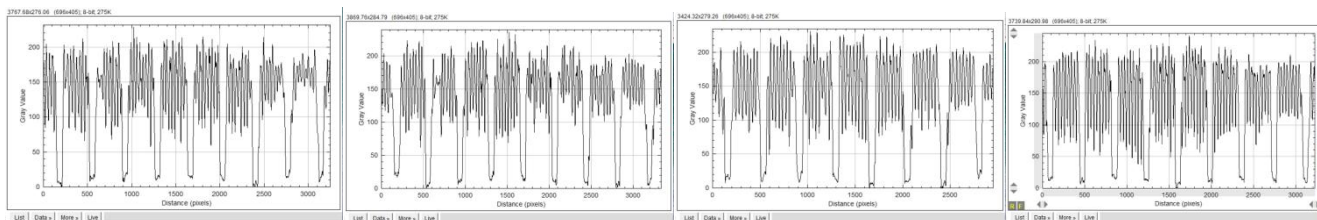


Fig. 10. 其他 4 张照片的强度剖面

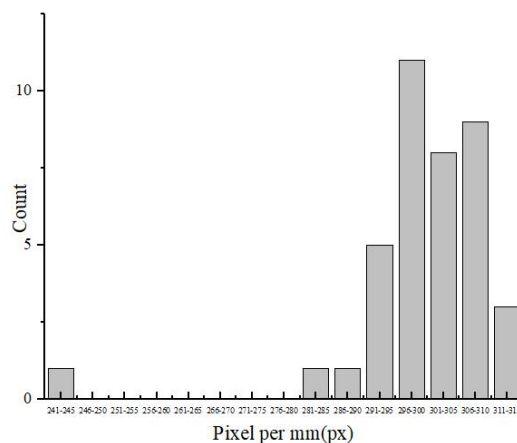


Fig. 11. 5 张照片中尺子上毫米标记之间像素数量的分布

在确定了转换因子后，再次反转水滴的灰度图像（单一颜色通道）并沿着水平或垂直方向绘制黄线（Fig. 12.），从强度剖面中读取峰值到峰值的距离 L_{pp} （以像素为单位）（Fig. 13.），iPad 屏幕像素的放大距离(D)即为 $L_{pp} * k$ 。

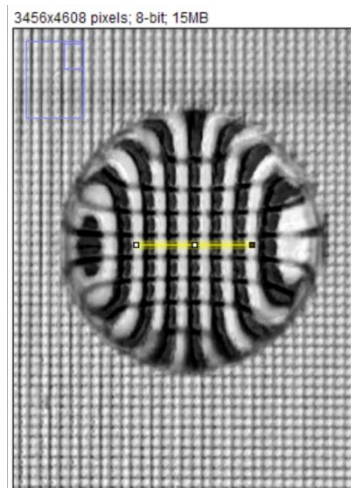


Fig. 12. 水滴 3 的反转图片

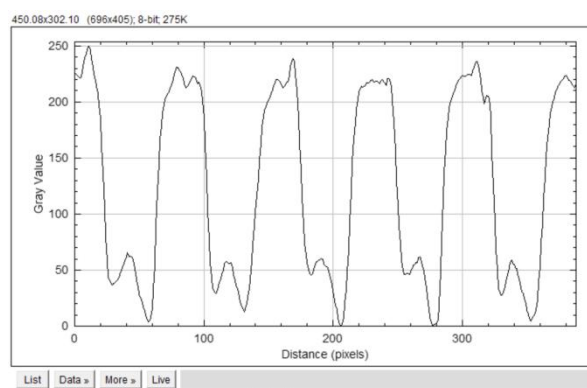


Fig. 13. 沿着 Fig. 12.中黄线的强度剖面

1.4.2 结论

与结论 1.3.3a 相同。

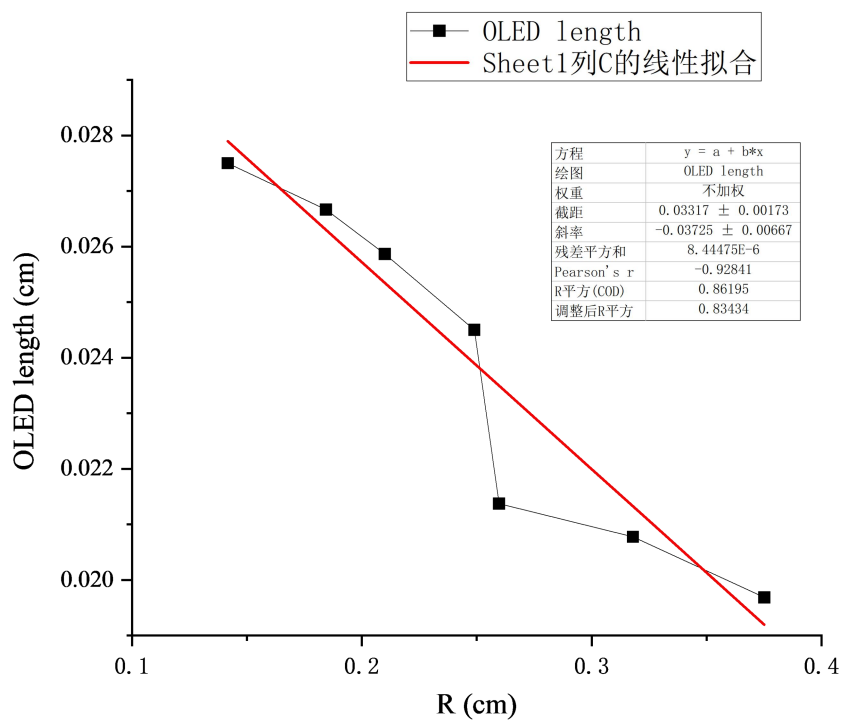


Fig. 14. 在第二种研究方法下尝试对水滴直径(R)相对 OLED 灯的长度(l)的函数进行拟合，线性拟合拟合较好。

1.5 实验总结

两种实验方法取得的结果类似，函数图像同样相似，实验结论得以被完全确认。

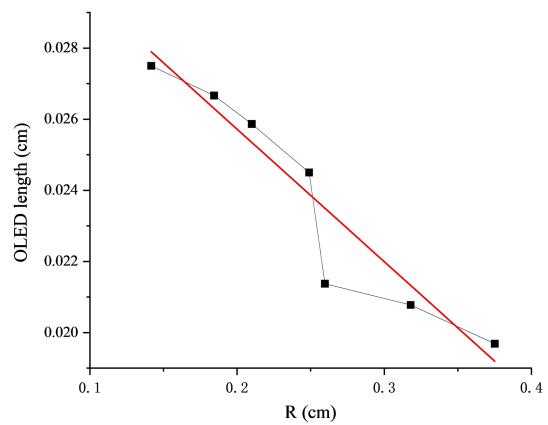
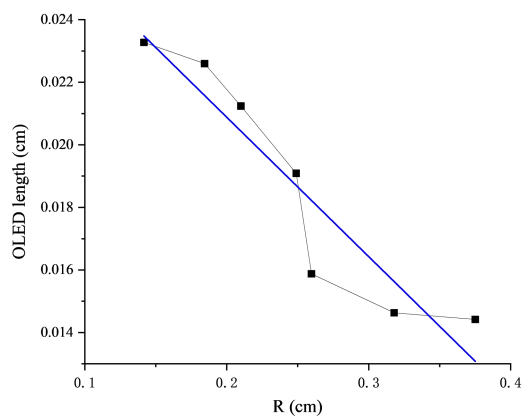


Fig. 6 与 Fig. 14 的对照