

一、实验目的

- 1. 通过实验对描图纸(硫酸纸)遇水卷曲的现象构建基本认知
- 2. 对描图纸(硫酸纸)遇水卷曲的物理原理进行分析

二、实验器材

描图纸、秒表、水槽

三、实验内容和数据记录

(1) 观察描图纸表面，发现描图纸上有细密的纹理（见图一），描图纸两面没有明显区别。为了方便，将其中一面称为 A 面，另一面称为 B 面。

(2) 标记好 AB 面和纸张的纹理方向后，将描图纸剪成方形、圆形三角形等不同形状，将其轻轻置于水面上，使得纸的下表面接触液面但上表面不被浸润。可以观察到，不论是 A 面接触水面还是 B 面接触水面，描图纸总是先向远离液面的方向弯曲，持续一段时间后恢复原状。并且，不论描图纸的形状如何，描图纸弯曲的方向总是与纹理方向垂直(见图二)。如果将描图纸置于水面上，同时使得纸的上表面也被浸润，则描图纸弯曲的现象变得不明显。

(3) 造成水面上描图纸先弯曲后恢复的现象有两种可能：描图纸发生了变化和水发生了变化。下面构建实验来区分这两种因素。① 将（2）中已经恢复平直的描图纸从水中取出，擦干其表面残留的水，置于未放置过描图纸的洁净水中，描图纸不再弯曲；② 取新的描图纸放到已经放置过描图纸的水面上，还能观察到描图纸先弯曲后恢复的现象。得出初步结论：现象是描图纸在水面上发生的某种变化引起的。

(4) 将（2）中已经恢复平直的描图纸从水中取出，完全晾干（注意与之前仅仅擦干其表面的区别），再置于水面上，还能观察到描图纸先弯曲后恢复的现象。所以描图纸在水面上发生的变化是可逆的。

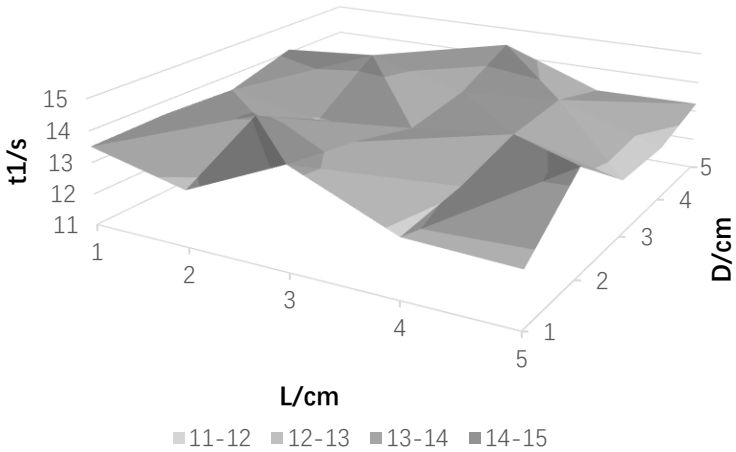
(5) 测量弯曲程度达到最大与开始恢复平直的所需时间与纸张参数的关系。将描图纸剪成长方形，并且使长方形的其中一对边与纹理方向平行。将长方形纸张沿纹理方向的长度记为 L,垂直于纹理方向的长度记为 D，将纸张放入水中的时刻记为 0，记录不同（L，D）对应的弯曲时刻和开始恢复平直的时刻，记录数据如下表：

表一：描图纸弯曲程度达到最大所需时间和纸张长宽关系数据表

D\L(单位 cm)	1	2	3	4	5
1	13.51	12.79	14.21	12.83	12.71

2	13.57	14.07	13.82	13.09	14.32
3	13.47	12.96	13.24	13.63	12.79
4	14.1	14.36	13.53	13.79	12.74
5	12.86	12.83	14.4	13.21	13.26

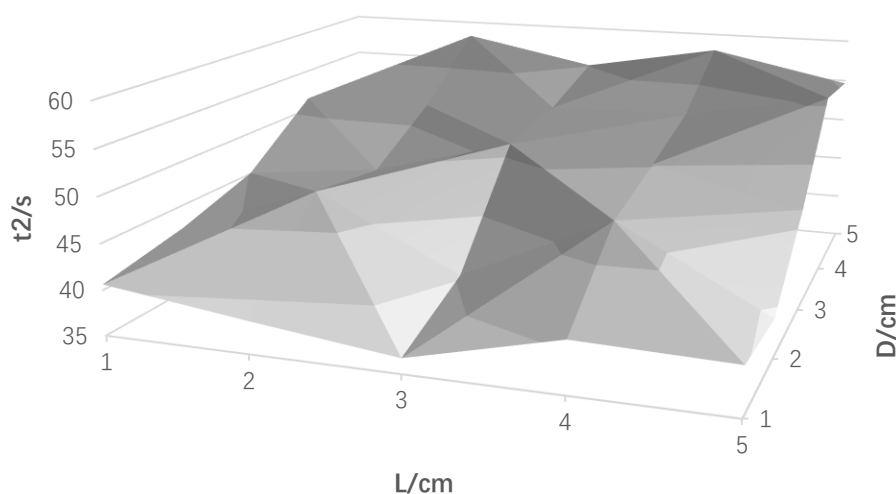
图1：描图纸弯曲程度达到最大所需时间和纸张长宽关系图



表二：描图纸开始恢复平直所需时间和纸张长宽关系数据表

D\L(单位 cm)	1	2	3	4	5
1	40.61	38.56	36.66	40.59	40.17
2	42.39	48.08	40.28	47.87	39.27
3	45.08	46.77	51.19	50.12	46.38
4	51.4	51.58	52.37	52.61	55.71
5	50.34	58.16	55.07	57.97	54.66

图2：描图纸开始恢复平直所需时间和纸张长宽关系图



数据的主要误差来自于对弯曲程度达到最大时刻和开始恢复平直时刻的判断

(6) 测量完全恢复平直所用时间与纸张参数的关系。由于实验条件限制，纸张在恢复平直的过程中频繁出现不对称恢复的现象，导致完全恢复平直的具体时刻难以判断。所以这里仅给出定性的结论：完全恢复平直所用时间与纸张参数没有明显关系，所用的所有样品纸张都在 100s~120s 后完全恢复平直。

## 四、分析与讨论

### (1) 实验原理分析

描图纸的主要成分为经过硫酸处理的植物纤维，其纹理方向就是纤维排列的大致方向。纤维之间的主要作用力来自纤维素上的羟基之间形成的氢键  $\text{CH-OH}\cdots\text{OH-CH}$ ，氢键将链状的纤维连接形成网状结构，构成描图纸的骨架。

当纤维遇水，纤维素上的羟基改与水分子形成氢键（形成结合水），破坏了原本纤维素之间的氢键，使得纤维之间的主要作用力大幅减弱，因此垂直于纸张纹理方向的张力大幅减弱。

这解释了描图纸总是先向远离液面的方向弯曲，持续一段时间后恢复原状的现象。描图纸接触水面之初，纸张接触水的部分垂直于纹理方向的张力大幅减弱，但水还没有渗透到纸张上层远离水的部分，那里的张力没有改变。因此，纸张上下层的张力差使得纸张沿垂直纹理的方向弯曲，直至纸张的弹性形变产生足够的应力与该张力差抵消，此时形变达到最大。一段时间后，纸张上层被水渗透，张力也减小，张力差消失，纸张恢复平直。

因此，三（3）的操作中将恢复平直的描图纸擦干后放入水中，描图纸内的结合水还没有去除，也就不会弯曲；而将描图纸完全晾干，就去除了结合水，就能重新观察到先弯曲

后恢复的现象。

因为水的渗透速率与纸的长宽无关，描图纸弯曲程度达到最大所需时间和纸张长宽没有明显关系，如图一所示。图二展示的描图纸开始恢复平直所需时间和纸张垂直纹理方向长度  $D$  成正相关，原因是  $D$  较大时描图纸弯曲成圆筒状，导致很大一部分面积与水脱离接触，使水的渗透更慢。

(2)思考：为什么要使用描图纸（硫酸纸）？

描图纸经过硫酸处理，空隙较小，水的渗透较慢，更容易观察到先弯曲后恢复的现象

本人参加 CUPT 校赛

我愿意证明鲁祚汀同学在 2023 年 10 月 2 日下午 13:00 ~ 16:00  
与我一起做了物理应用与实践的实验。

证明人：管博皓

被证明人：鲁祚汀