**ВОСЕМЬ ДОКАЗАТЕЛЬСТВ АНИЗОТРОПИИ ФИЗИЧЕСКИХ**

**СВОЙСТВ ОФИСНОЙ БУМАГИ**

Мадонова З.А., Ревенко А.К.

*МОУ Гимназия г.Фрязино Московской области, г.Фрязино, Россия*

[*sergkar1@list.ru*](mailto:sergkar1@list.ru)

Анизотропией называется зависимость физических параметров изучаемого материала от направления в пространстве. Как правило, если в материале наблюдается анизотропия одной группы физических свойств, например, механических, то следует ожидать и анизотропии других свойств (электрических, термодинамических, оптических). Наиболее доступным для исследования в условиях школьной лаборатории анизотропным материалом является офисная бумага. Причиной ее анизотропии являются технологические особенности процесса производства. Целью данной исследовательской работыявляется создание методики проведения школьных экспериментов, иллюстрирующих анизотропию бумаги, демонстрация возможности измерения модуля Юнга в условиях школьного кабинета физики, а также разработка методов исследования свойств бумаги с использованием офисного сканера.

1. Если на поверхность бумаги нанести каплю жидкости, то скорость ее проникновения вдоль волокон (машинное направление) превышает скорость проникновения поперек волокон. Пятно, оставленное на бумаге добавленными в жидкость красителями, имеет форму, похожую на эллипс. Для оценки формы эллипсов используется величина, называемая эксцентриситет. Эксперименты, проведенные в данной работе, показали, что эксцентриситет растекания спиртовых растворов йода и зеленки на бумаге торговой марки «SvetoCopy» составляет величину порядка (0,50). Вода для подобных экспериментов не подходит. Капля воды на поверхности бумаги довольно долго сохраняет сферическую форму и не успевает растекаться вплоть до полного испарения.

2. Высыхание капель спиртосодержащих жидкостей приводит к деформации бумаги, образованию на ней продолговатых углублений или выступов, направленных вдоль одной прямой. Для изучения особенностей возникающего рельефа предлагается использовать канцелярский сканер с последующей обработкой полученного изображения цифровыми методами [1]. Преимущество такого способа визуализации деформаций обусловлено тем, что подсветка в сканере осуществляется под большим углом, благодаря чему удается выявить не только топологию неровностей, но и наблюдать изменение отражающих свойств поверхности.

3. Наиболее ярко анизотропия офисной бумаги проявляется при изучении физических величин, характеризующих ее упругие свойства. В данной работе выполнено два эксперимента. В первом исследовалась зависимость деформации бумажных колец от величины сжимающей их силы. Если ввести коэффициент жесткости кольца *k*, аналогичный коэффициенту жесткости пружины, то для кольца из полосы, вырезанной вдоль машинного направления бумаги, он оказывается равным *k*1 = 1,81 Н/м. Для кольца из полосы, вырезанной в поперечном направлении, *k*2 = 0,62 Н/м. Таким образом, коэффициенты жесткости для двух колец отличаются в 2,9 раза. Эксперимент проводился по методике, описанной в работе [2]. Там же приведена формула для расчета модуля Юнга. По результатам наших экспериментов для бумаги «SvetoCopy» модуль Юнга в машинном направлении (вдоль волокон) = 8500 МПа, а в поперечном направлении = 2900 МПа. Полученные результаты по порядку величины хорошо совпадают с литературными данными [3].

4. В эксперименте «Прогиб полоски» измерялось провисание края полоски относительно горизонтальной плоскости стола в зависимости от длины *L* свисающей части. По результатам графической обработки полученных зависимостей найдено, что для бумаги «SvetoCopy» модули Юнга для двух перпендикулярных направлений равны *E*продольный = 6700 МПа и Eпоперечный = 3300 МПа. Этот результат несколько отличается от значений модуля Юнга, полученных в опытах по деформации бумажных колец, но совпадает с теми результатами по порядку величины. Для выяснения причины полученных расхождений требуется проведение дополнительных исследований.

5. В данной работе наблюдалось существенное различие частот собственных колебаний свисающих со стола полосок бумаги одинаковой длины и ширины, вырезанных в различных направлениях. Для плоски, вырезанной в машинном направлении, резонансная частота равнялась fпрод = 8,5 Гц, а для полоски, вырезанной в поперечном направлении, fпопер = 5,5 Гц.

6. Если две одинаковые полоски офисной бумаги, вырезанные в различных направлениях, опустить в жидкость на одинаковую глубину, то их смачивание произойдет на разную высоту *h*. Если *h* отсчитывать от уровня жидкости в сосуде, то в наших экспериментах для машинного направления *h*машинное = 28 мм, а для поперечного направления *h*поперечное = 24 мм. Таким образом, разница в уровнях намокания составляет примерно 15%.

7. Одним из оперативных методов определения машинного и поперечного направлений бумаги является ее сгиб, усиленный протаскиванием через плотно сжатые острые поверхности. При сгибе вдоль поперечного направления возникает волнистая деформация с определенной периодичностью. Эта деформация наблюдалась как с помощью оптического микроскопа, так и с помощью сканера, подсветка в котором, как отмечалось выше, контрастно выявляет неровности поверхности.

8. В заключительном эксперименте наглядно продемонстрирована причина анизотропии физических свойств офисной бумаги. Она обусловлена преимущественной ориентацией волокон в машинном направлении из-за вытяжки бумажного полотнана бумагоделательной машине. Структуру волокон удается наблюдать непосредственно с помощью оптического микроскопа на краю бумаги, образованном при ее разрыве по сгибу. В одном случае продольные волокна слегка вытягиваются из объема и весьма хаотично располагаются под некоторым углом к линии разрыва. В другом случае основные волокна ориентированы перпендикулярно разрыву и располагаются практически параллельно друг другу, как будто их специально распрямили какой-то гребенкой.

Проведено восемь экспериментов, подтверждающих наличие анизотропии физических свойств офисной бумаги. Большинство из этих экспериментов могут использоваться в качестве демонстраций на уроках физики при объяснении явления анизотропии, а также других физических явлений (упругости, колебаний, капиллярных явлений).

1. Ю.Д. Лучеёва/ *Международная научная конференция школьников «Сахаровские чтения»,* 2012, 16.
2. А.В. Гуденко. *48-я Всероссийская олимпиада школьников по физике, региональный этап, экспериментальный тур,* 2013-2014, 8.
3. Я.В. Казаков , О.Я. Казакова , Т.Н. Манахова , А.В. Малков. *Заводская лаборатория.*

*Диагностика материалов*. 2015, **81(8)**, 53-58.