

Шакиров А.Л.

**Модель оптического
микроскопа с составным
объективом**

Цель исследования – разработка модели оптического микроскопа с составным объективом, состоящим из двух относительно короткофокусных объективов. Была разработана теоретическая модель микроскопа, включающая построение оптической схемы, хода лучей в ней и расчет ее линейного увеличения. Проводилось сравнение предложенной модели с моделью классического микроскопа. Были сконструированы два действующих макета и отработана методика работы на них. Получен ряд качественных изображений научных препаратов. Были продемонстрированы возможности рассматривания прямого изображения, плавного изменения степени увеличения и дистанцирования от объекта исследования. Модель может найти самое широкое применение в научных исследованиях.

Ключевые слова: микроскоп, объектив, окуляр, препарат.

Shakirov A.L.

**Model of optical microscope with
convertible lens**

The aim of the study is to develop an optical microscope model with a convertible lens, consisting of two relatively short-focus lenses. A theoretical model of the microscope including the construction of optical scheme, the course of beams in that and calculation of its linear magnification was developed. The comparison of the suggested model with the model of classical microscope was conducted. Two working dummies were constructed and the method of work was tested. A number of high quality images of specimens and other objects was obtained. The possibility of observing the image directly as well as of steeples changing the scale of the image both for magnifying and diminishing that was demonstrated. This model may be widely used in scientific research.

Key words: microscope, lens, ocular, specimen.

Шакиров А.Л.

**Құрамалы объективті
оптикалық микроскоптың
моделі**

Жұмыстың мақсаты – екі салыстырмалы қысқафокусты объективтен тұратын құрамалы объективті оптикалық микроскоптың моделін жасап шығару. Оптикалық сызбасы құрастырылған және одан сәуленің өтуі мен оның сызықтық ұлғаюының микроскоптық теориялық моделі жасалды. Екі макет пен оның жұмыс істеу әдістемесі қарастырылды. Ғылыми препараттарға қажетті бірнеше сапалы кескіндер алынды. Зерттеу нысанынан қашықтату мен дәрежелік ұлғаюының біртіндеп өзгерісінің тікелей кескінінің демонстрациялану мүмкіндіктері қарастырылды. Бұл модель қолданбалы табиғатта және ғылыми зерттеулерде кең қолданысқа ие болуы мүмкін.

Түйін сөздер: микроскоп, объектив, окуляр, препарат.

**МОДЕЛЬ
ОПТИЧЕСКОГО
МИКРОСКОПА
С СОСТАВНЫМ
ОБЪЕКТИВОМ****Введение**

С момента своего изобретения микроскопы постоянно претерпевали техническую эволюцию и к настоящему времени достигли высокой степени совершенства. Однако традиционной оптической схеме микроскопа присущи некоторые недостатки – перевернутость изображения, невозможность плавного изменения степени увеличения и близость объектива к препарату. Последнее обстоятельство затрудняет проведение манипуляций с препаратом при помощи различных зондов, а также может привести к повреждению препарата при грубой фокусировке. В данной работе предлагается новая модель микроскопа с составным объективом, в которой устранены недостатки, присущие традиционной модели микроскопа.

В источнике [1] приведено описание прибора “Универсальный исследовательский микроскоп МБИ-11”. Столик этого микроскопа перемещается по вертикали с помощью соосных рукояток грубой и микрометрической фокусировок. Кроме того, столик микроскопа имеет поворот на 180° , центрируется и имеет механизм для перемещения препарата в двух взаимно-перпендикулярных направлениях с помощью рукояток, размещенных на одной оси. Благодаря этим устройствам можно определять размеры микрообъектов с высокой точностью. Микроскоп снабжен съемной бинокулярной насадкой. Этот микроскоп широко используется в ядерной физике при исследованиях толстослойных фотоэмульсий. В этом методе проводится микроскопическое исследование треков в толще фотоэмульсии в виде центров почернения, оставаемых быстрыми частицами. А так как расстояние от поверхности стеклянной фотопластинки до объектива при больших увеличениях очень невелико (порядка долей миллиметра), при грубой фокусировке легко можно раздавить ценную фотопластинку, что часто и случается. Кроме того, на фотослое нанесена координатная сетка, в которой узлы обозначены цифрами. При наблюдении в микроскоп пользователь наблюдает перевернутое изображение цифр, что также вносит определенное неудобство.

В источнике [2] предлагается модель зрительной трубы с составным объективом, состоящим из двух относительно короткофокусных объективов.

Приводится теоретическая модель устройства, которая сравнивается с классической схемой зрительной трубы. По сравнению с классической моделью зрительной трубы модель с составным объективом имеет ряд существенных преимуществ – можно рассматривать прямое изображение, менять увеличение в широких пределах, рассматривать близкорасположенные предметы и существенно уменьшить габариты трубы. В экспериментальной части приводятся фотографии действующих макетов зрительных труб с составными объективами.

Принцип работы микроскопа с составным объективом

На рисунке 1 приводятся оптическая схема микроскопа с составным объективом и ход лучей в ней. Здесь основной объектив **1** с фокусом f_1 и окуляр **2** с фокусом f_2 образуют оптическую схему классического микроскопа. Однако в эту классическую схему вводится дополнительный объектив **3** с фокусом f_3 . Совокупность основного объектива **1** с дополнительным объективом **3** образуют составной объектив. Дополнительный объектив **3** создает O_2 – действительное перевернутое изображение объекта O_1 . И, таким образом, рассматривается уже не сам объект, а его изображение, создаваемое дополнительным объективом. Другими словами, основной объектив **1** формирует действительное изображение объекта O_3 , которое рассматривается при помощи окуляра **2**. Здесь O_4 – мнимое изображение объекта, даваемое окуляром. Схема с составным объективом дает прямое мнимое изображение объекта и имеет три ступени увеличения.

Расчет линейного увеличения составного объектива микроскопа

Для расчета линейного увеличения системы двух объективов сделаем построение, приведенное на рисунке 2.

Из подобия треугольников можем составить следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \frac{h_1}{L_1} = \frac{h_2}{L_2} \\ \frac{h_2}{L_3} = \frac{h_3}{L_4} \end{cases} \quad (1)$$

Перепишем уравнения в другом виде:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{L_2}{L_1} = \Gamma_o \quad (2)$$

– уравнение линейного увеличения дополнительного объектива;

$$\frac{h_3}{h_2} = \frac{L_4}{L_3} = \Gamma_o \quad (3)$$

– уравнение линейного увеличения основного объектива.

Результирующее линейное увеличение двух объективов обозначим как $\frac{h_3}{h_1} = \Gamma_p$

Решая систему уравнений (1) относительно этой дроби, получим:

$$\frac{h_3}{h_1} = \frac{L_2 L_4}{L_1 L_3} \quad (4)$$

Из этих уравнений следует, что результирующее линейное увеличение составного объектива равно произведению линейных увеличений дополнительного и основного объективов.

$$\Gamma_p = \Gamma_o \Gamma_o \quad (5)$$

А поскольку линейное увеличение Γ_o может меняться в очень больших пределах, что следует из формулы тонкой линзы,

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2},$$

где f – фокусное расстояние дополнительного объектива.

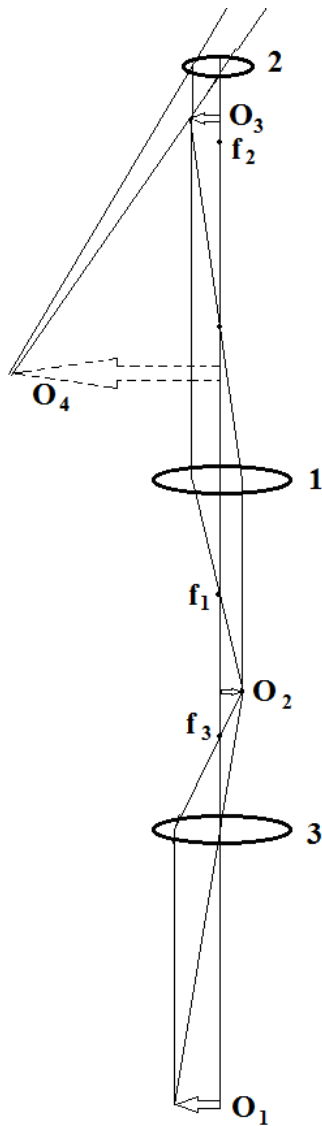


Рисунок 1 – Оптическая схема микроскопа с составным объективом

1 – основной объектив; 2 – окуляр;
 3 – дополнительный объектив;
 f_1 – фокус основного объектива;
 f_2 – фокус окуляра; f_3 – фокус дополнительного объектива; O_1 – объект; O_2 – изображение объекта, даваемое дополнительным объективом;
 O_3 – изображение объекта, даваемое основным объективом; O_4 – мнимое изображение объекта, даваемое окуляром

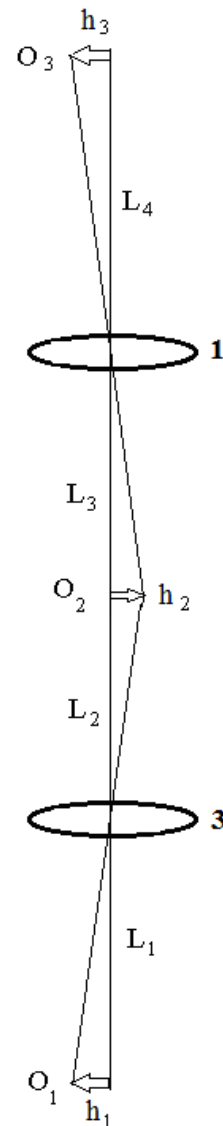


Рисунок 2 – Построение изображения объекта в системе двух объективов, выполненное для расчета результирующего линейного увеличения

1 – основной объектив; 3 – дополнительный объектив;
 O_1 – объект; O_2 – действительное изображение объекта, даваемое дополнительным объективом;
 O_3 – действительное изображение объекта, даваемое основным объективом; h_1 – высота объекта, L_1 – расстояние от объекта до дополнительного объектива, h_2 – высота изображения объекта, L_2 – расстояние от дополнительного объектива до изображения объекта, L_3 – расстояние от изображения объекта до основного объектива, h_3 – высота изображения объекта, L_4 – расстояние от основного объектива до изображения объекта

Можно сделать следующие выводы:

1. Путем перемещения дополнительного объектива относительно основного можно плавно менять результирующее увеличение в широких пределах как в сторону его увеличения, так и в сторону уменьшения.

2. Можно рассматривать даже сколь угодно удаленные объекты при $L_2 \rightarrow \infty$, что превращает данную схему микроскопа в универсальный прибор (зрительную трубу или телескоп). Это делает схему микроскопа более гибкой и увеличивает сферу его применения.

Для проверки работоспособности предложенной оптической схемы было изготовлено два рабочих макета микроскопа.

Описание первого макета микроскопа

Фотография первого макета приведена на рисунке 3.

Здесь на станине 1 с возможностью наклона на необходимый угол установлена оптическая часть макета. Она включает сменный окуляр 2 с наглазником, закрепленный на внутреннем тубусе 3. В нижней части тубуса 3 установлен основной объектив (не виден, т.к. расположен внутри тубуса). Внутренний тубус 3 помещен внутри внешнего тубуса 4 с возможностью перемещения внутри него и торможения при помощи силы трения.

В нижней части внешнего тубуса 4 установлен дополнительный сменный объектив 5. Предметный зажим 6 служит для крепления на него объекта наблюдения (например, предметного стекла или другого препарата) и может перемещаться в необходимых пределах в трех плоскостях при помощи подвижек 7, 8 и 9. Зажим 6 может вращаться вокруг оси. Подвижка 10 имеет значительный запас хода, это необходимо для реализации преимуществ данной схемы. Осветители 10 и 11 служат для освещения предмета наблюдения на отражение и на просвет соответственно. Предусмотрена возможность установки перед осветителями цветных светофильтров. По-видимому, может быть разработана такая конструкция микроскопа, в которой узел, включающий объектив 3 с юстировками,

может быть выполнен в виде вспомогательного съемного блока.

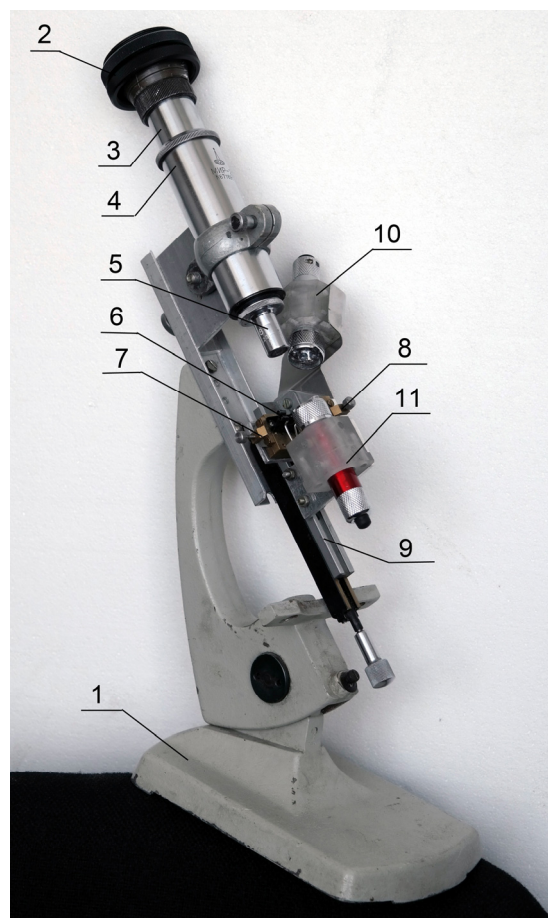


Рисунок 3 – Фотография первого макета

- 1 – станина; 2 – окуляр с наглазником;
- 3 – внутренний тубус с основным объективом;
- 4 – внешний тубус; 5 – дополнительный объектив;
- 6 – предметный зажим; 7 – подвижка влево – вправо;
- 8 – подвижке вверх – вниз; 9 – подвижка вперед – назад;
- 10 – осветитель на отражение; 11 – осветитель на просвет

Описание второго макета микроскопа

На рисунке 4 приведена фотография второго макета, который имеет большие возможности, чем первый и имеет несколько иную оптическую схему.

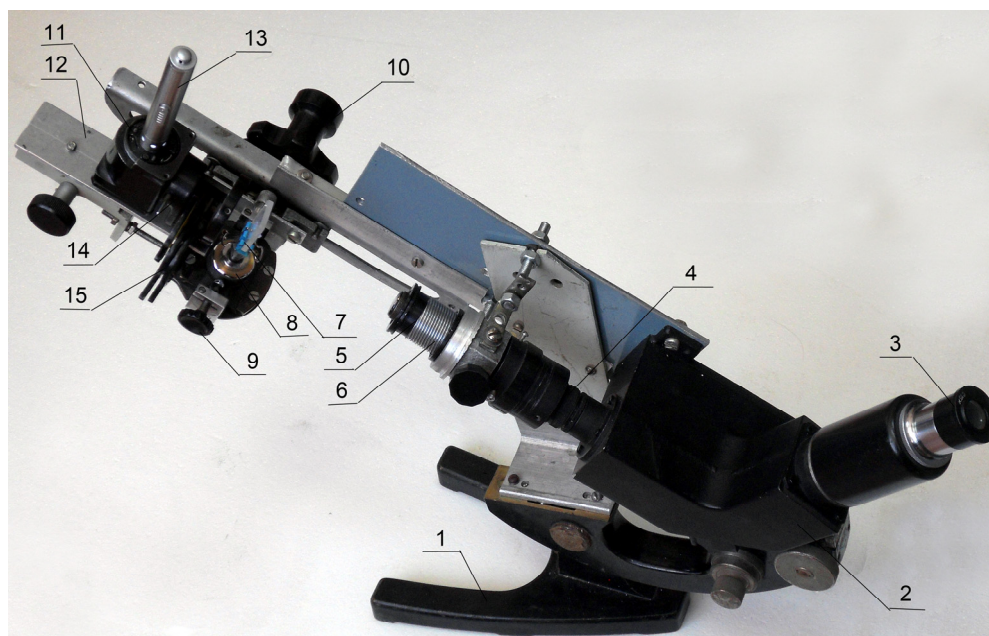


Рисунок 4 – Фотография второго макета

1 – станина; 2 – корпус; 3 – окуляр; 4 – основной объектив; 5 – дополнительный объектив;
 6 – многозаходная резьба; 7 – предметный зажим; 8 – подвижка вверх – вниз;
 9 – подвижка влево – вправо; 10 – подвижка вперед – назад; 11 – корпус осветителя; 12 – кремальера;
 13 – светодиодный осветитель; 14 – диафрагма; 15 – набор сменных светофильтров

На станине 1 макета с возможностью наклона на необходимый угол закреплен корпус 2, внутри которого установлено поворотное зеркало. Сменный окуляр 3 установлен в правой части корпуса 2, в левой части корпуса установлен основной сменный объектив 4. Элементы 2–4 образуют оптическую схему классического микроскопа. Дополнительный объектив 5 установлен перед основным объективом 4 с возможностью перемещения вперед – назад при помощи многозаходной резьбы 6. Левее расположен предметный столик, включающий зажим 7, закрепленный с возможностью поступательного перемещения при помощи подвижек 8–10. Подвижка 10 также имеет значительный запас хода, больший, чем на первом макете. Зажим имеет также возможность поворота вокруг оси. Левее расположен осветитель 11, закрепленный к предметному столику посредством кремальеры 12 с возможностью перемещения вперед – назад и с возможностью быстрого снятия. Светодиодный осветитель 13 установлен вертикально, его луч отклоняется перпендикулярно посредством зеркала, находящегося внутри корпуса осветителя и попадает на матовую линзу. Далее луч

проходит через ирисовую диафрагму 14 и набор сменных светофильтров 15. Набор включает светофильтры желтого, синего и зеленого цветов. Из рисунка видно, насколько сильно разнесены друг относительно друга дополнительный объектив 5 и предметный зажим 7.

Макеты могут быть использованы для работы в режиме микрофотографирования. Для этого с него снимается окулярный узел, а на его место устанавливается фотоприставка, состоящая из цифрового фотоаппарата марки никон и фотографического окуляра, имеющего расширенное поле зрения. При помощи этой фотоприставки был сделан ряд микрофотографий, две из которых представлены ниже.

Образцы микрофотографий

Здесь приводятся микрофотографии луковой кожицы, выполненные при помощи второго макета. Ядра клеток стали видны после обработки препарата йодом.

Изменение масштабов изображения в рисунках 5 и 6 достигнуто без смены объективов и окуляра простым перемещением препарата и дополнительного объектива.

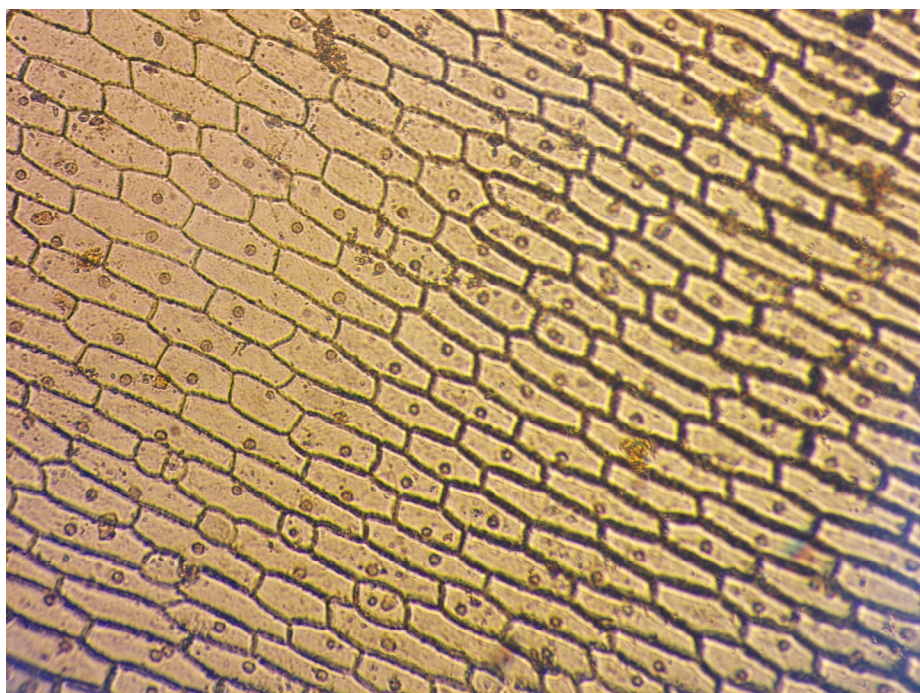


Рисунок 5 – Фотография клеток луковой кожицы при незначительном увеличении

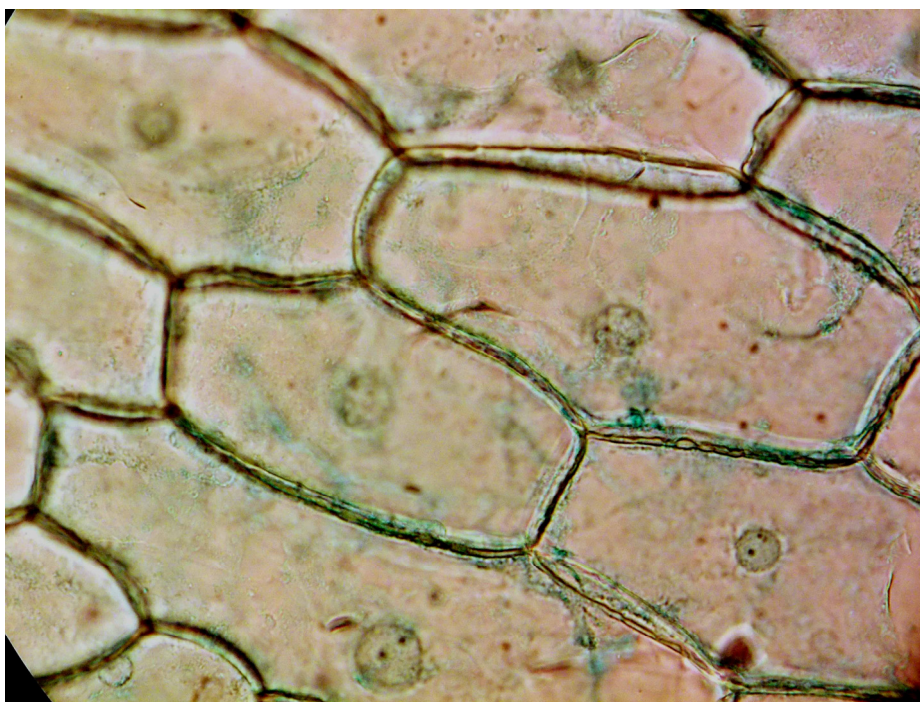


Рисунок 6 – Фотография клеток луковой кожицы при большом увеличении

Заключение

На основании проведенной работы можно сделать следующие выводы:

По сравнению с классической моделью микроскопа модель с составным объективом имеет ряд существенных преимуществ – можно рассматривать прямое изображение, плавно менять увеличение в самых широких пределах, рассматривать далеко расположенные предметы.

Безусловно, лишний объектив вносит дополнительные оптические aberrации, однако в современных объективах эти aberrации очень малы, и можно надеяться на дальнейшее улучшение их качества. Микрофотографии, полученные с помощью макетов, имели качество не худшее, чем качество микрофотографий, полученных традиционным способом. Модель микроскопа с составным объективом может найти применение в научных исследованиях.

References

- 1 <http://www.laboratorium.dp.ua/item/64>
- 2 Shakirov A.L. Model zritel'noy trubki s sostavnym obektivom // Vestnik KazNU, seriya fizicheskaya. – 2014. – №2(49). – P.77-82.