

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Академик Д. С. РОЖДЕСТВЕНСКИЙ

ОСВЕЩЕНИЕ МИКРОСКОПА

1. С микроскопом работают сотни тысяч людей, не имеющих времени глубоко проникать в тайны оптики. Поэтому всякое приспособление в микроскопе, которое облегчает использование всех его оптических возможностей, имеет большое значение. Внутренние качества микроскопа доведены Аббе и его последователями почти до мыслимого предела совершенства и простоты. Однако освещение микроскопа пока поставлено очень несовершенно.

а) Освещение небом неудовлетворительно, так как яркость неба (1 стильб) слишком мала. Источник света проектируется на препарат, и исключительно только яркость источника—не его размеры—определяет яркость изображения в глазу. Практики микроскопии знают, что, даже гоняясь за самым ярким облаком на небе, нельзя осветить препарат достаточно ярко при больших увеличениях, особенно если нужно значительно сократить апертуру освещающего пучка при наблюдении прозрачного объекта.

б) Нить обычной лампы в сотни раз ярче неба (сотни стильбов), но, проектируя конденсором нить в препарате, мы уменьшаем ее настолько, что поле зрения становится слишком малым. А проекция короткофокусным конденсором необходима для того, чтобы получить освещающий пучок не только яркий, но и очень большой апертуры, равной апертуре объектива.

в) Если перед лампой поставить матовое стекло, то оно само становится широким источником света, но яркость его падает в сотни раз и становится недостаточной.

г) Затрачивая большое количество энергии (около 50 W), можно создать источник света гораздо более широкий (несколько миллиметров), чем нить лампы, и проектировать его на препарат. Такие осветители существуют (раскаленная током полоска вольфрама или «пойнтолит»—раскаленный дугой в вакууме шарик вольфрама). Они изготовляются фирмами с системой линз (коллектор), которая вместе с конденсором проектирует источник света на объект (правильнее освещать по методу Келера). В оптическом отношении они вполне совершенны, в конструктивном же они имеют 3 недостатка: 1) большой раскаленный источник света должен быть помещен очень близко к линзе коллектора и вообще вблизи микроскопа; 2) оптическая система очень длинна (несколько дециметров); 3) нужна большая мощность для накала (~ 50 ватт). Поэтому нельзя эту систему вработать в систему микроскопа и сделать с ним одно целое, дать неоптику-микроскописту то же удобство и автоматизм в употреблении, какое он имеет в верхней части микроскопа.

Это весьма существенный и практический недостаток, он уменьшает достижения микроскопистов в 2—3 раза. Лучшие из них (см. напр. J. Belling, *The use of the microscope*, 1930) все же еще далеки от правильного освещения.

2. Правильное направление для усовершенствования освещения в микроскопе—далее будет видно, что оно повлечет за собой еще более важные усовершенствования,—основано на том, что количество энергии, нужное, чтобы залить микроскоп светом в самых трудных случаях, ничтожно и измеряется десятками долями ватта. Оно может быть в 500 раз меньше, чем указано выше в п. „г“.

Возьмем самый трудный для микроскописта случай наибольшего увеличения объективом $90\times$ и апертуры 1.25 при окуляре $15\times$, когда освещенное поле зрения достигает диаметра 0.1 мм. Чтобы получить всю яркость накаливаемого до предела вольфрама во всем поле зрения, с избытком достаточно спроектировать в объект без уменьшения или с малым уменьшением отрезок нити лампы порядка 0.2 мм ширины и 0.2 мм длины. Раскал такого отрезка—звездочки—потребуется в 3 раза меньше энергии, чем раскал нити ручного фонарика, которая нагревается током маленькой динамо, работающей при 0.3 ватта от сжатия руки, а это накаленная до предела и до максимально возможной яркости нить вольфрама. Таким образом, мы возвращаемся к п. „б“ предыдущего параграфа, но требуем, чтобы проекция была (почти) без уменьшения. Кроме того в изображении звездочки на месте предмета она должна иметь (в масле) апертуру лучеиспускания 1.25. Следовательно такую же (или почти такую же) апертуру нужно забрать от самой звездочки.

Ясно, что проектирующая система должна в принципе состоять из двух частей: части, забирающей от малого источника света лучи с большой апертурой, и части, вновь проектирующей малое изображение, опять с большой апертурой. Последняя часть может быть обернутым объективом, таким же по увеличению ($90\times$) и апертуре (1.25), как и наблюдающий. Первая часть должна несколько отличаться, так как, во-первых, апертура ее не может превосходить единицы (источник света не в масле, как его изображение), во-вторых, раскаленная звездочка должна найти место перед ней. Поэтому это должен быть объектив неиммерсионный, но все же с возможно большей апертурой, а главное с возможно большим расстоянием объекта от первой линзы. Так как расстояния объекта от первой линзы вообще очень малы (порядка доли миллиметра), то весь первый объектив во всех своих частях должен быть пропорционально увеличен в 6—7 раз. Увеличится во столько же раз и расстояние объекта от первой линзы. Но в таком случае во столько же раз должен быть увеличен и второй объектив. При этом свободное расстояние изображения после второго объектива (в масле) увеличится настолько, что оно будет над предметным стеклом. Иногда пользуются, как оптически очень хорошим конденсором, объективом, не увеличивая все его размеры. Однако тогда изображение настолько близко к передней его линзе, что объект можно класть только на покровное стекло, в 6 раз более тонкое. Технически это недопустимо. Увеличением всех размеров объектива, проектирующего изображение источника света, указанный недостаток устраняется.

Этим и заканчивается принципиальная сторона всей проектирующей системы.

3. Техническое ее выполнение тем лучше, чем дальше источник света от первой линзы. Выбирая среди существующих неиммерсионных объективов с апертурой 0.85, можно найти, увеличив все размеры объектива в 7 раз, такой, что расстояние источника света до первой линзы будет равно 3.5 мм, что уже технически делает задачу возможной. На таком расстоянии

от стекла, не портя его, может уже находиться микроскопическая раскаленная звездочка. При этом изображение источника света уменьшается в отношении апертур, т. е. в $\frac{1.25}{0.85} = 1.5$ раза.

Г. Д. Рабинович, специалист по вычислительной микроскопии, предложил еще лучшее решение: взять в качестве первого объектива тот же объектив 90×1.25 , но в нем только первую фронтальную линзу (в масле) заменить мениском Амичи (в воздухе). Тогда апертура падает автоматически до 0.83, а так как мениск вогнутый, то расстояние от источника света до стекла мениска растет до 5 мм при соответствующем увеличении всех размеров объектива.

Источник света должен находиться в центре первой (сферической) поверхности мениска Амичи. При обдумывании технического осуществления источника света это оказалось неожиданным большим плюсом. Легко выдуть на стенке лампы по форме сферу, концентрическую сфере мениска (радиуса 3 мм), и сравнительно легко под контролем микроскопа поставить звездочку в центр сферы лампы, а затем установить всю лампу так, чтобы звездочка оказалась в центре сферы мениска. Тогда стенки лампы не испортят изображения ее через всю систему.

Весьма возможно, что дальнейшие вычисления дадут еще больший простор для технической конструкции лампы, так как вся проекционная система не должна быть оптически столь совершенной, как объективы микроскопа, и все усилия вычислитель должен обратить на то, чтобы удалить звездочку от первой линзы. Но первая линза в виде вогнутого мениска Амичи, вероятно, сохранится как техническая находка.

4. Таким образом, весь осветитель состоит из яркой звездочки в фокусе одного объектива, причем другой объектив проектирует эту звездочку в объект на предметном стекле. Оба объектива во всех своих размерах увеличены в 6—7 раз.

Вся система должна быть сильно упрощена для ходовых микроскопов. Кроме того должна быть применена система освещения Келера, что можно сделать без труда. Наконец панкратическая система должна обеспечить переход от освещения малых полей зрения с большой апертурой к освещению больших полей с малой апертурой, как в панкратическом осветителе Цейсса. Последний представляет половинчатое решение по намеченному здесь пути: полуматовое стекло и потерю энергии в 40 раз (4-ваттная лампа), но уже не в 500 раз.

Решение задачи, здесь поставленной, до конца может дать достижения, большие, чем это кажется на первый взгляд:

а) всегда правильно установленный осветитель с избытком света;
б) этот избыток дает возможность пользоваться окулярами большого увеличения. До сих пор даже опытные микроскописты считали, что такие окуляры портят зрение; на самом деле всегда портит зрение недостаток света, неизбежный при больших увеличениях с плохими осветителями.

в) Даже теоретики были побеждены этим подчинением голодной норме в смысле силы света, и до сих пор они ограничивают увеличение микроскопа четырехкратной величиной разрешающей способности глаза. Между тем простой пример показывает, что глаз требует большего. Он разрешает одну минуту, т. е. на расстоянии 10 м $3.10^{-4} \cdot 10 \cdot 100 = 0.3$ см, но если лектор на доске будет писать буквами шириной в 1.2 см (ширина относится к светлым промежуткам между штрихами; отдельный штрих в 2—3 мм ширины согласно опыту, виден еще на расстоянии 40 м), то слушатели, на расстоянии 10 м, правда, разберут их, но придут в отчаяние от того напряжения, которому подвергнут их внимание. То же и в микроскопии. Окуляр-

ные увеличения можно и должно сильно поднять. Практика показывает это очень отчетливо. Исторически только недостаток яркости неба помешал этому.

г) Избыток света должен повести к одному весьма важному усовершенствованию микроскопа. При больших увеличениях наблюдатель теряет ориентировку, какую именно точку препарата он рассматривает. Как в кинематографии, нужно иметь возможность видеть и крупный (очень крупный) план и мелкий, но видеть их одновременно, произвольно затеняя то тот, то другой, например видеть одновременно в увеличении 90 и 3000. Это можно сделать, если в окулярном конце раздвоить луч и снова свести его, в промежутке подвергнув оба различным увеличениям.

д) Можно (и нужно) совершенно откинуть освещение небом. В городской установке свет можно брать от штепселя. Большое преимущество такого осветителя в том, что вне города и в экскурсии ничтожная игрушечная пружинная динамо, вработанная в самый микроскоп, даст такое же блестящее освещение, как и в городе.

е) Полный отказ от неба изменит вид микроскопа, даст ему более рациональное устройство под предметным столиком.

ж) При избытке света и современных лампах накаливания, дающих яркость в тысячи стильбов (как вольтова дуга), возможно самое широкое и разнообразное применение фотографии при всегда безупречно регулируемом освещении.

Повидимому намеченный здесь путь стоит того, чтобы на него затратить много сил изобретателей, вычислителей и конструкторов. В значительной мере на этот путь уже стал Государственный оптический институт.

Физический институт
Ленинградского государственного университета
Государственный оптический институт
Ленинград

Поступило
7 VIII 1939