
Прикольная цитология
Ярослав Золотарев

Ярослав Золотарёв
Прикольная цитология

https://litres.ru/74931077
SelfPub; 2026

Аннотация

Почему старый школьный микроскоп не покажет вирус, сколько линз ни вкручивай? Летом на даче Петровича с чердака достают микроскоп, и садовое товарищество превращается в лабораторию. Внучка Даша считает и объясняет, тёща записывает всё в тетрадь, сосед Кузьмич спорит, а пятилетний Сёмка разговаривает с амёбой Протеей из пруда, которая знает о клетке всё изнутри.

32 главы ведут от пробки Гука к митохондриям, мейозу и вирусам: вода и белок, ферменты и ДНК, мембрана и осмос, дыхание, фотосинтез, деление клетки и её запрограммированная гибель. В каждой главе домашний опыт с луком, дрожжами, картошкой или солёным огурцом, разбор с числами, школьные мифы, задачи с ответами и словарик. Явления названы научными терминами, с английскими в скобках, чтобы их легко было найти в учебнике.

Пятая книга серии «Прикольная наука». Для школьников, родителей и всех, кто хочет понять, как устроена живая клетка.

Содержание

Часть 1. Как увидели клетку 6
Глава 1. Микроскоп 6
Опыт 9
Увеличение и разрешающая способность (magnification, resolution) 11
Разбор 12
Как это ломается 15
Задачи 17
Словарик 18
Глава 2. Пробка 21
Опыт 23
Клетка и клеточная теория (cell, cell theory) 24
Разбор 25
Как это ломается 28
Задачи 29
Словарик 30
Глава 3. Луковая кожица 33
Опыт 35
Растительная клетка (plant cell) 37
Разбор 37
Как это ломается 40
Задачи 41
Словарик 43

Глава 4. Капля из пруда 45
Опыт 48
Одноклеточные организмы (unicellular organisms) 49
Разбор 50
Как это ломается 52
Задачи 54
Словарик 55
Глава 5. Сколько их 58
Опыт 59
Счёт клеток и отношение площади к объёму (cell counting, surface-to-volume ratio) 61
Разбор 61
Как это ломается 64
Задачи 64
Словарик 66
Часть 2. Из чего сделана клетка 68
Глава 6. Вода 68
Опыт 69
Вода в клетке, гидрофильные и гидрофобные вещества (water, hydrophilic, hydrophobic) 70
Разбор 70
Как это ломается 73
Задачи 73

Словарик 75
Глава 7. Крахмал 77
Опыт 78
Углеводы: сахара, крахмал и целлюлоза (carbohydrates: sugars, starch, cellulose) 80
Разбор 80
Конец ознакомительного фрагмента. 81

Ярослав Золотарёв
Прикольная цитология

Часть 1. Как увидели клетку

Глава 1. Микроскоп

Петрович полез на чердак за банками под огурцы, а спустился с деревянным ящиком. Ящик был тяжёлый, с медными уголками и крючком вместо замка. Под крышкой, в гнезде из выцветшего сукна, лежал микроскоп: чёрный, с косой трубкой наверху и круглым зеркальцем внизу.

— Это откуда? — спросила Даша.

— Из школы, — ответила тёща раньше Петровича. — Когда в соседней деревне школу закрывали, всё списали, а этот твой дед прибрал. Сказал, в хозяйстве завсегда сгодится. Тридцать лет сгождается.

— Не прибрал, а спас, — поправил Петрович. — Его бы в металлолом сдали. А тут вещь, стекло, латунь.

Кузьмич уже висел на заборе. У Кузьмича был нюх на всё, что достают из ящиков.

— Подзорная труба? — спросил он. — На звёзды смотреть?

— На то, что меньше блохи, — сказала Даша. — Это микроскоп. Школьный, световой.

Сёмка пролез под смородиной и оказался у ящика раньше деда.

— А микробов в него видно? На кошке?

— Кошку не трогай, — сказал Петрович. — Она в препарат не полезет.

Он поставил микроскоп на стол на веранде, сдул пыль и надел очки, чтобы читать цифры. На верхней трубке стояло «10». Внизу, на крутящейся головке, сидели три короткие трубочки с цифрами «4», «10» и «40».

— Сорок на десять, — прикинул Петрович, — четыреста. Маловато. Я в райцентре в магазине видел: тысяча шестьсот на коробке написано. Детский, пластмассовый, а тысяча шестьсот!

— А ты вкрути верхнюю трубку посильнее, — посоветовал Кузьмич. — У меня от бинокля линза лежит. Будет тебе десять тысяч.

— Будет, — согласилась Даша. — Только ничего нового вы не увидите. Это как фотографию председателя с доски объявлений увеличить до размера сарая. Председателя будет много, а родинок не прибавится.

— Председателя и так много, — сказал Кузьмич. — Он нам опять счёт за дрова повесил.

Счёт за дрова и пошёл в дело. Даша сходила к доске объявлений, оторвала уголок с подписью «Председатель товари-

щества» и вырезала одну букву «е». В ящике нашлись стопка предметных стёкол и коробочка крошечных покровных, тонких, как луковая шелуха.

Петрович приник к окуляру, крутил винт, сопел и вдруг сказал:

— Вверх ногами.

— Кто?

— Буква. Вверх ногами и задом наперёд. Я стёклышко вправо двигаю, а она влево уезжает.

— Микроскоп с подвохом, — удовлетворённо сказал Кузьмич. — Как всё, что с председателем связано.

— С вашим председателем связана только буква, — сказала Даша. — А переворачивает линза. Любая. Посмотрите в столовую ложку — там тоже всё вверх ногами.

Тёща посмотрела в ложку, потом в окуляр, потом снова в ложку и записала в тетрадь: «Всё вверх ногами. И в ложке тоже».

— Баско, — сказала она. — Буква-то лохматая, как валенок.

* * *

Дальше захотели посмотреть на что-нибудь живое. Сёмка снова предложил кошку, и ему снова отказали.

— Волос давайте, — сказала Даша. — Чей-нибудь.

Кузьмич вздохнул, снял кепку и выдернул один из последних.

— С умом тратьте, — сказал он. — У меня их не тысяча

шестьсот.

Волос в микроскопе оказался толстым, как бревно, с чешуйками по краю, как у еловой шишки. Петрович повернул головку на сороковой объектив, и бревно заняло добрую часть круга.

— Вот, — сказал он. — Уже дело. А теперь бы ещё раз в десять, и микробы бы вылезли.

— Не вылезут, — сказала Даша. — У него предел не в цифре на трубке. У него предел в самом свете.

Петрович посмотрел на лампу так, будто она его обманула.

— В свете, — повторил он. — И свет ещё виноват.

— Не виноват, а толстоват, — сказала Даша. — Сейчас посчитаем, насколько.

Сёмка тем временем смотрел в сторону пруда. Микробов, по его сведениям, больше всего было там.

Опыт

Что нужно: школьный микроскоп, предметное и покровное стёкла, клочок газеты с мелким шрифтом, ножницы, прозрачная линейка с миллиметровыми делениями, один волос, настольная лампа или светлое окно.

Предметные и особенно покровные стёкла тонкие и ломаются с острыми краями. Берите их за рёбра, а осколки сметайте веником, не рукой.

Буква из газеты.

Поставьте микроскоп у окна или под лампу и поверните зеркальце так, чтобы в окуляре стало ровно светло. Солнце зеркальцем не ловите никогда: микроскоп соберёт его в пучок прямо в глаз.

Вырежьте из газеты одну строчную букву «е» и положите на предметное стекло так, как вы её читаете. Накройте покровным стёклышком.

Поверните головку с объективами так, чтобы вниз смотрел самый короткий, с цифрой «4». Глядя сбоку, опустите его винтом почти до стекла.

Теперь смотрите в окуляр и медленно поднимайте объектив, пока буква не станет резкой. Опускать, глядя в окуляр, нельзя: так давят стёкла.

Подвиньте стекло вправо, потом от себя.

Поставьте край буквы в середину круга и только потом переключите объектив «10», затем «40». На каждом подправляйте резкость маленьким винтом, если он есть.

Что видно. Буква стоит вверх ногами и задом наперёд, как будто её повернули на полоборота. Стекло едет вправо, а буква влево. Сплошная чёрная линия оказывается лохматой: краска лежит на серых волокнах бумаги, а при объективе «10» волокна видны по отдельности, как солома в стоге. При самом сильном объективе в круг помещается уже не буква, а её кусочек.

Линейка и волос.

Положите на столик прозрачную линейку и наведите резкость на миллиметровые штрихи при объективе «4».

Посчитайте, сколько миллиметров укладывается поперёк светлого круга. Это поле зрения. У школьных микроскопов оно обычно около четырёх с половиной миллиметров.

Запишите число. На объективе «10» поле станет в два с половиной раза уже, на «40» — в десять раз уже, чем на «4». Штрихи линейки там уже не поместятся, поэтому поле для сильных объективов считают, а не меряют.

Теперь положите вместо линейки волос под покровное стёкло и прикиньте на объективе «40», какую долю поля он занимает.

Что видно. При четырёхсоткратном увеличении поле зрения — около полмиллиметра, и волос занимает десятую часть круга или чуть больше. Значит, его толщина — сотые доли миллиметра. По краям видны чешуйки, налегающие друг на друга, как черепица. Теперь у вас есть линейка в самом микроскопе: всё, что в следующих главах попадёт в круг, можно мерить «в волосах» и «в полях».

Увеличение и разрешающая способность (magnification, resolution)

У микроскопа два разных числа, и путают их все, начиная с продавцов. **Увеличение** показывает, во сколько раз картинка больше предмета. **Разрешающая способность —**

это самое маленькое расстояние между двумя точками, при котором они ещё видны раздельно. Именно она решает, что вы увидите.

Разбор

Как устроен микроскоп. Свет от зеркальца или лампочки идёт снизу вверх, сквозь отверстие в предметном столике и сквозь препарат. Поэтому препарат должен быть тонким и прозрачным: картошку целиком не просветить. У хороших микроскопов под столиком стоит ещё **конденсор** — линза, которая собирает свет на препарат. Над препаратом стоит **объектив**. Он строит внутри трубки-тубуса увеличенную перевёрнутую картинку. Сверху стоит **окуляр**: он рассматривает эту картинку, как лупа, и увеличивает ещё раз. Увеличения перемножаются: объектив «40» с окуляром «10» дают увеличение в 400 раз. У героев три объектива и один окуляр, значит, три увеличения: в 40, в 100 и в 400 раз.

Картинка перевёрнута не из вредности. Собирающая линза скрещивает лучи: то, что было слева, приходит справа, а то, что было сверху, оказывается снизу. Окуляр картинку обратно не переворачивает. В подзорной трубе и бинокле для этого ставят особые призмы, а в микроскопе обычно не ставят: клетке всё равно, где у неё верх.

Почему глазу нужна помощь. Невооружённый глаз различает две точки, если между ними не меньше одной де-

сятой миллиметра, то есть 100 микрометров. Микрометр — тысячная доля миллиметра, нанометр — тысячная доля микрометра. В этой книге обе единицы встретятся на каждой странице. Волос человека толщиной около 50 микрометров, и глаз видит его целиком, а чешуйки на нём — уже нет.

Предел света. Свет — это волна, и точку меньше его волны он очертить не может: каждая точка предмета в микроскопе расплывается в маленькое пятнышко. Два соседних пятнышка сливаются в одно, и никакое увеличение их уже не разделит. Расчёт даёт простое правило: самая мелкая деталь равна 0,61 длины волны света, делённой на **числовую апертуру** объектива (numerical aperture). Апертура показывает, как широко объектив собирает лучи. Её пишут на самом объективе второй цифрой, через дробь: «40/0,65».

Видимый свет имеет длину волны от 400 до 700 нанометров, середина, зелёный, — около 550. Для школьного объектива «40/0,65» выходит около 500 нанометров, то есть полмикрометра. Лучшие объективы собирают лучи шире, а чтобы свет не терялся на пути, их опускают в каплю особого масла на препарате. Это называется **иммерсией**. Но и с ней предел светового микроскопа — от 0,2 до 0,35 микрометра. Это примерно в тысячу раз лучше глаза, и лучше не будет: тут кончается сам свет, а не стекло. Ультрафиолетовый свет с более короткой волной даёт около 0,13 микрометра, но глаз его не видит, приходится снимать.

Полезное и пустое увеличение. Увеличение нужно

ровно для того, чтобы самую мелкую деталь растянуть до той десятой миллиметра, которую видит глаз, и немного с запасом. Оптики пользуются правилом: полезное увеличение лежит между 500 и 1000 апертурами объектива. Для «40/0,65» это от 325 до 650 раз. Школьные 400 честно укладываются в эти рамки. А тысяча шестьсот с коробки из райцентра — **пустое увеличение** (empty magnification): пятно растёт, деталей не прибавляется, всё становится тусклым и дрожит. Именно поэтому у больших лабораторных микроскопов тысяча раз бывает только с иммерсионным объективом: у него апертура больше единицы.

Кто влезает в круг. Предел дачного микроскопа — полмикрометра. С ним можно сравнить то, что пойдёт в следующих главах:

волос человека — около 50 микрометров: виден с чешуйками;

эритроцит, красная клетка крови, — 7–8 микрометров: виден хорошо, хотя кровь в этой книге показана только на фотографиях;

кишечная палочка, типичная бактерия, — около одного микрометра в толщину и двух в длину: чёрточка на самом пределе, без подробностей;

рибосома, фабрика белка, — около 20 нанометров: в 25 раз меньше предела, не видна;

мембрана клетки — около 4 нанометров в толщину: не видна, видна только граница, где одно вещество сменяется

другим.

Теперь то же самое в дачных мерках. Пусть типичная клетка человека в десять микрометров выросла до размера дачного домика в шесть метров. Это увеличение в 600 тысяч раз. Тогда рибосома станет горошиной в 12 миллиметров, мембрана — стенкой толщиной с картонку, два с половиной миллиметра. А предел школьного микроскопа вырастет до 30 сантиметров. В таком домике вы разглядите вёдра и табуретки, но не горох и не обои.

Рибосомы и мембраны видят в **электронный микроскоп**: там вместо света поток электронов с гораздо более короткой волной. На чердаке такой не найдёшь: он размером со шкаф и работает в вакууме. О нём и других способах изучать клетку — в последней главе книги.

Как это ломается

«Чем больше цифра, тем лучше микроскоп». Главный миф магазинов. Возможности микроскопа задаёт объектив, а у объектива — апертура. Окуляр посильнее ничего не добавляет, если объектив уже выжал из света всё, что мог. Линза от бинокля Кузьмича даст пустое увеличение и, скорее всего, кривую картинку.

«В школьный микроскоп видны вирусы и ДНК». Нет. Вирусы обычно в десятки и сотни нанометров, двойная спираль ДНК в толщину около двух нанометров. До предела

света им далеко. Хромосомы в делящейся клетке видны, но только потому, что ДНК в них уложена в толстые жгуты.

Раздавленное стекло. Самая частая поломка. Сороковой объектив в фокусе стоит в долях миллиметра от стекла. Кто опускает его, глядя в окуляр, тот давит покровное стёклышко и царапает линзу. Правило одно: опускать, глядя сбоку, поднимать, глядя в окуляр.

«На сороковом ничего не видно». Поле зрения там в десять раз уже, чем на слабом, и предмет просто не попал в круг. Начинайте всегда со слабого объектива, ставьте нужное место в середину и только потом переключайте. Ещё причина — толстый препарат: сильный объектив видит резко лишь тончайший слой, а всё остальное расплывается.

Пузырьки воздуха вместо клеток. Новички гордо считают их круглыми клетками. Пузырёк идеально круглый, с толстым тёмным ободком и светлым пятном посередине. У клетки внутри есть содержимое, а край тонкий.

Пятно, которое всёгда на месте. Если нечто тёмное не двигается вместе со стеклом, это не открытие, а пыль на окуляре. Проверка: поверните окуляр в трубке. Пятно повернулось вместе с ним — значит, протирать надо окуляр.

Солнце в зеркале. Микроскоп собирает свет, как увеличительное стекло, которым выжигают на доске. Прямое солнце в окуляре опасно для глаз. Зеркальце наводят на светлое небо, на белую стену или на матовую лампу.

«Микроскоп врёт, буква перевёрнута». Не врёт, а

поворачивает на полоборота, и это надо учитывать. Чтобы предмет уехал влево, стекло двигают вправо. Первые полчаса руки путаются у всех, потом привыкают.

Задачи

Задача 1. На объективе написано «10», на окуляре «15». Во сколько раз увеличивает микроскоп?

Ответ. В 150 раз: увеличения объектива и окуляра перемножаются.

Задача 2. Петрович вставил окуляр «25» к объективу «40/0,65». Какое получилось увеличение и увидит ли он новые детали?

Ответ. Увеличение в 1000 раз. Полезное увеличение для апертуры 0,65 — не больше 650 раз, так что увеличение пустое. Картинка станет крупнее и тусклее, а самая мелкая деталь останется прежней, около полмикрометра.

Задача 3. При объективе «4» поле зрения — четыре с половиной миллиметра. Какое оно при объективе «40» с тем же окуляром? Сколько эритроцитов поперечником семь с половиной микрометра уложатся в ряд поперёк поля?

Ответ. Объектив в десять раз сильнее, поле в десять раз уже: 0,45 миллиметра, то есть 450 микрометров. Эритроцитов в ряд — 450, делённое на 7,5, то есть 60.

Задача 4. Кишечная палочка длиной два микрометра и толщиной один микрометр увеличена в 400 раз. Какого раз-

мера она кажется глазу и почему внутри неё ничего не разглядеть?

Ответ. Длина 800 микрометров, то есть 0,8 миллиметра, — глаз её видит. Но толщина палочки всего вдвое больше предела в полмикрометра. Поперёк неё помещаются лишь два «пятнышка» размытия, и вместо подробностей видна тёмная чёрточка.

Задача 5. В разборе клетку увеличили до дачного домика, в 600 тысяч раз. Какой толщины стал бы при таком увеличении волос Кузьмича в 50 микрометров?

Ответ. 50 микрометров умножить на 600 тысяч — 30 миллионов микрометров, то есть 30 метров. Один волос стал бы толще десятиэтажного дома, и дача Петровича поместилась бы у него на одной чешуйке.

Словарик

Световой микроскоп (light microscope) — микроскоп, в котором препарат просвечивают светом, а изображение строят стеклянные линзы.

Объектив (objective) — нижняя система линз над препаратом; главная часть микроскопа.

Окуляр (eyepiece) — верхняя линза, в которую смотрит глаз.

Конденсор (condenser) — линза под столиком, собирающая свет на препарат.

Предметное стекло — стеклянная пластинка, на которую кладут препарат; **покровное стекло** — тонкое стёклышко, которым препарат накрывают.

Увеличение (magnification) — во сколько раз изображение больше предмета; равно произведению увеличений объектива и окуляра.

Разрешающая способность (resolution) — наименьшее расстояние между двумя точками, при котором они видны раздельно.

Числовая апертура (numerical aperture) — число на объективе, показывающее, как широко он собирает лучи; чем оно больше, тем мельче видимые детали.

Иммерсия (immersion) — капля особого масла между объективом и препаратом, чтобы увеличить апертуру.

Пустое увеличение (empty magnification) — увеличение сверх полезного: картинка растёт, новых деталей нет.

Поле зрения (field of view) — участок препарата, который виден в окуляре целиком.

Микрометр — тысячная доля миллиметра; **нанометр** — тысячная доля микрометра.

Электронный микроскоп (electron microscope) — прибор, где вместо света работает поток электронов; видит рибосомы и мембраны.


Окуляр
Тубус
Объектив
Предметный столик
Зеркало
Винт
40 · 100 · 400

Глава 2. Пробка

Наутро тёща поставила на стол кастрюлю с картошкой и подсунула под неё круглую пробковую подставку. Подставка была старая, с тёмным кругом от днища и обкусанным краем.

— Вот с неё всё и началось, — сказала Даша.

— Картошка? — не понял Петрович.

— Пробка. Один англичанин положил тонкий ломтик пробки под микроскоп и увидел там маленькие комнатки. И назвал их клетками. С тех пор и пошло.

— Клетками, — повторил Петрович и посмотрел в сторону курятника. — Кур сажать?

— По-английски он написал «cell». Это от латинского слова «комнатка», оттуда же наша «келья». А у нас перевели как сумели.

— Ну и правильно, — сказал Кузьмич с той стороны забора. Он пришёл спросить про вчерашний волос и задержался. — Клетка — она и есть клетка. Стенки есть, внутри кто-то сидит.

— В пробке никто не сидит, — сказала Даша. — В пробке одни стенки. Клетки там давно умерли, остались пустые коробочки с воздухом. Потому пробка и лёгкая, и тепло держит.

— Это сарай мой, — сказал Петрович. — Стенки есть,

жизни нет, а тепло держит.

— Сарай тепло не держит, — сказала тёща. — Сарай сквозит. Намедни курица в щель ушла.

Сёмка потрогал подставку пальцем.

— А кто их убил?

— Никто не убивал. Пробку делают из коры пробкового дуба. Дуб сам так устроен: снаружи у него слой из мёртвых клеток, как шуба. С дуба её сдирают, а лет через девять-десять вырастает новая.

— Как с овцы, — сказал Кузьмич с уважением.

— Как с овцы, только реже.

* * *

После завтрака Петрович сам принёс нож для бумаги с выдвижным лезвием. Тёща посмотрела на нож, на подставку и на Петровича.

— Режь с краю, — сказала она. — Посередине ещё ставить.

Петрович строгал обкусанный край долго. Первые стружки выходили толстыми, как галеты, и в микроскопе были просто чёрными. Шестая вышла прозрачной на краю, как лепесток.

— Соты, — сказал Петрович, глядя в окуляр. — Как у Кузьмича в улье.

Кузьмич сразу перелез через забор: про ульи он слушал всегда.

— У меня шестиугольники, — сказал он, посмотрев. —

А тут кто как хочет. Пчёлы аккуратнее строят.

— Пчёлы строят снаружи, а клетки растут и толкаются, — сказала Даша. — Как люди в автобусе до райцентра.

Тёща тоже посмотрела и записала в тетрадь: «Пробка — пустые клетки. Дуб стригут раз в десять лет».

— А ваш англичанин, — спросил Петрович, — он понял, что и мы из таких комнаток?

— Нет, — сказала Даша. — На это ушло ещё почти двести лет. И понадобился один суконщик из Голландии, который разглядывал воду из луж.

Сёмка снова посмотрел в сторону пруда. Вода из луж ему нравилась больше дубовой коры.

Опыт

Что нужно: пробковая подставка под горячее или пробковая доска для записок, нож для бумаги с свежим лезвием, предметное и покровное стёкла, пипетка или чайная ложка с водой, микроскоп.

Режет взрослый или при взрослом. Лезвие ведут от себя, подставку держат на столе, а не в руке. Стёкла берут за рёбра.

На краю подставки сделайте ровный срез, чтобы убрать грязь и обкусанность.

Снимайте с него стружки как можно тоньше, одну за другой. Годна та стружка, чей край просвечивает на свет. Пусть она будет толстой посередине: смотреть всё равно будете

край.

Положите стружку на сухое стекло и посмотрите при объективе «4», потом «10».

Капните воды, накройте покровным стёклом и посмотрите ещё раз.

Что видно. На тонком краю — сетка из мелких ячеек с светлыми дырками и тёмными стенками. Ячейки без строгой формы: пяти-, шестиугольные, чуть вытянутые. Под объективом «10» в поле зрения их десятки. Внутри пусто: ни ядра, ни зёрнышек. В воде часть ячеек продолжает сиять серебром и темнеет по краям: в них заперт воздух, и вода туда не проходит. Это тот самый воздух, из-за которого пробка не тонет.

Подставки и доски часто делают из пробковой крошки на клею. Тогда сетка видна кусками, по зёрнышку, а между зёрнами — бесформенный клей. Ищите зёрна покрупнее.

Клетка и клеточная теория (cell, cell theory)

Клетка — элементарная единица живого: самая маленькая часть, которая живёт сама по себе. **Клеточная теория** утверждает, что всё живое состоит из клеток, что клетки растений и животных устроены сходно и что новая клетка берётся только из другой клетки.

Разбор

Гук и пробка. Англичанина из сценки звали Роберт Гук (Robert Hooke, 1635–1703). Он был физиком, архитектором и изобретателем; закон Гука про пружину тоже его. В 1665 году он выпустил книгу «Микрография» (Micrographia) с рисунками того, что увидел в микроскоп: блоху, вошь, жало пчелы, кончик иглы. Там же был срез пробки. Пробка оказалась разделённой на ячейки, и Гук назвал их cells — от латинского cella, «комнатка, келья».

Гук мыслил как физик и сразу взялся считать. На одну восемнадцатую часть дюйма у него пришлось около шестидесяти ячеек в ряд. Отсюда он получил больше миллиарда ячеек в кубическом дюйме пробки и сам удивился такому числу. Проверить его счёт можно в задачах к этой главе.

Увидел Гук стенки мёртвых клеток. Живое содержимое из пробки давно ушло, и о нём он не догадался. В 1671 году итальянец Марчелло Мальпиги и англичанин Неемия Грю показали, что из таких «пузырьков» и «мешочков» состоят все части растения, а не одна пробка.

Левенгук и вода из луж. Антони ван Левенгук (Antonie van Leeuwenhoek, 1632–1723) торговал сукном в голландском городе Делфт и учёным не был. Микроскопы он делал сам: одна крошечная линза в металлической пластинке размером с ладонь. Глаз прижимали почти вплотную. Лучшие

его линзы увеличивали в несколько сотен раз — почти как сороковой объектив Петровича. Левенгук смотрел всё подряд: воду из луж, зубной налёт, кровь. Он первым увидел одноклеточных, которых назвал «зверьками» (анималькулями), и первым увидел клетки животных — эритроциты. О своих наблюдениях он писал письма в Лондонское королевское общество и писал их полвека. Как именно он шлифовал линзы, он держал в секрете.

От стенки к содержимому. Долгое время главным в клетке считали стенку — ведь именно её увидел Гук. В начале XIX века микроскопы стали гораздо лучше, и взгляд сменился. В 1830 году чех Ян Пуркинье признал главным содержимое клетки, **протоплазму**. В 1833 году шотландец Роберт Броун описал в ней постоянную часть — **ядро** (nucleus). Это тот самый Броун, в честь которого названо броуновское движение из учебника физики.

Шлейден и Шванн. В 1838–1839 годах два немца свели наблюдения вместе. Ботаник Маттиас Шлейден утверждал, что каждое растение состоит из клеток с ядрами. Зоолог Теодор Шванн показал, что то же верно для животных: хрящ, мышцы и нервы тоже сложены из клеток, и эти клетки в главном сходны с растительными (гомологичны). Позже о Шванне сказали так: он не открыл клетки, а научил понимать их значение.

Вирхов: клетка от клетки. Откуда берутся новые клетки, Шлейден и Шванн объясняли неверно. Они думали, что

клетки сами собираются из зернистой массы, как кристаллы из раствора. Немецкий врач Рудольф Вирхов в 1858 году настоял на другом и сказал это по-латыни: Omnis cellula e cellula, «всякая клетка от клетки». Теперь это биологический закон: клетки размножаются только делением, а перед делением удваивается их ДНК. Вирхов сравнивал тело с государством, где каждая клетка живёт и работает сама, а вместе они составляют одно целое. Петрович сказал бы «садовое товарищество».

Клеточная теория сегодня. В современном виде у неё четыре главных положения.

Клетка — элементарная единица живого. Вне клетки жизни нет.

Клетка — единая система из связанных частей, органелл (в школьных учебниках — «органоидов»).

Клетки всех живых существ сходны по строению и главным свойствам.

Клетки размножаются делением исходной клетки после удвоения её ДНК: клетка от клетки.

В университетском учебнике цитолога Юрия Сергеевича Ченцова, много лет заведовавшего кафедрой клеточной биологии и гистологии Московского университета, «Введение в клеточную биологию» (2004), положений шесть: ещё про многоклеточный организм как ансамбль клеток и про то, что все клетки одного организма несут одни и те же гены, но используют их по-разному. До этих двух книга дойдёт в части

про деление и судьбу клеток.

Как это ломается

«Гук открыл клетку». Так пишут в каждом кроссворде, и это правда наполовину. Гук дал имя и увидел стенки, но считал ячейки пустыми сосудами для соков. Что клетка живая и что из неё состоит всё живое, поняли только в XIX веке.

«Левенгук изобрёл микроскоп». Нет. Микроскопы из двух линз, как у Гука и на чердаке у Петровича, появились раньше, в начале XVII века. У Левенгука была одна линза, зато такая чистая и маленькая, что она обгоняла тогдашние двухлинзовые приборы. Старые линзы давали цветные каймы и размытость, и каждая лишняя линза добавляла свои.

«Клетки зарождаются сами». Так думали даже авторы клеточной теории. По их версии, клетка вырастает из зернистого вещества, как соль из рассола. Эту ошибку исправил Вирхов, и теория от этого только окрепла. Хорошая теория не обязана родиться сразу верной во всех мелочах.

«Пробка — живая ткань». В пробке только клеточные стенки, пропитанные воскообразным веществом, и воздух. Именно поэтому она не пропускает воду, не гниёт и держит тепло. Дубу она нужна как шуба от жары и пожаров, а живые клетки дерева находятся глубже. Живые клетки с ядром и содержимым — в следующей главе, в луковой кожице.

«Соты и клетки — одно и то же». Похожи они только с виду. Соты пчёлы лепят из воска снаружи, по мерке. Клетки растут и делятся сами, прижимаясь друг к другу, поэтому форма у них неровная.

«Клетки видны в любом срезе». Толстая стружка света не пропускает, и в микроскопе она чёрная. Срез нужен в один-два слоя клеток. На неудачных срезах также сливаются несколько слоёв, и вместо сетки получается каша.

Задачи

Задача 1. Гук насчитал около 60 ячеек пробки в ряд на одну восемнадцатую часть дюйма. Дюйм — это 25,4 миллиметра. Каков размер одной ячейки?

Ответ. На целый дюйм приходится 60, умноженное на 18, то есть 1080 ячеек. 25,4 миллиметра, делённые на 1080, — это примерно 0,0235 миллиметра, или около 23 микрометров. Это в два раза тоньше волоса Кузьмича.

Задача 2. Проверьте Гука: сколько ячеек в кубическом дюйме пробки, если в ряд их 1080?

Ответ. В кубике 1080 рядов в длину, в ширину и в высоту. 1080 умножить на 1080 и ещё раз на 1080 — около 1 миллиарда 260 миллионов. Гук посчитал верно: больше миллиарда.

Задача 3. При объективе «10» поле зрения школьного микроскопа — около 1,8 миллиметра. Сколько ячеек проб-

ки по 23 микрометра уложится в ряд поперёк поля?

Ответ. 1,8 миллиметра — это 1800 микрометров. 1800, делённое на 23, — примерно 78 ячеек. Вот почему Петрович увидел соты, а не отдельные комнаты.

Задача 4. Сколько лет прошло от «Микрографии» Гука до обобщений Шванна и до формулы Вирхова?

Ответ. От 1665 до 1838 года — 173 года, до 1858 года — 193 года. Увидеть клетку было легче, чем понять.

Задача 5. В прошлой главе клетку увеличивали до дачного домика, в 600 тысяч раз. Какой станет при таком увеличении ячейка пробки в 23 микрометра?

Ответ. 23 умножить на 600 тысяч — около 14 миллионов микрометров, то есть 14 метров. Вышел бы амбар раза в два длиннее домика — пустой, с одними стенами. Примерно такой сарай, о котором говорил Петрович, только без щелей.

Словарик

Клетка (cell, от лат. cella, «комнатка») — элементарная единица живого.

Клеточная стенка (cell wall) — прочная оболочка снаружи клетки растений, грибов и бактерий; у клеток животных её нет.

Пробка (феллема, cork) — наружная ткань коры из мёртвых клеток с пропитанными стенками и воздухом внутри.

Протоплазма (protoplasm) — живое содержимое клетки;

старый термин, сейчас говорят о цитоплазме и ядре.

Ядро (nucleus) — постоянная часть клетки растений, животных и грибов, в которой хранится ДНК.

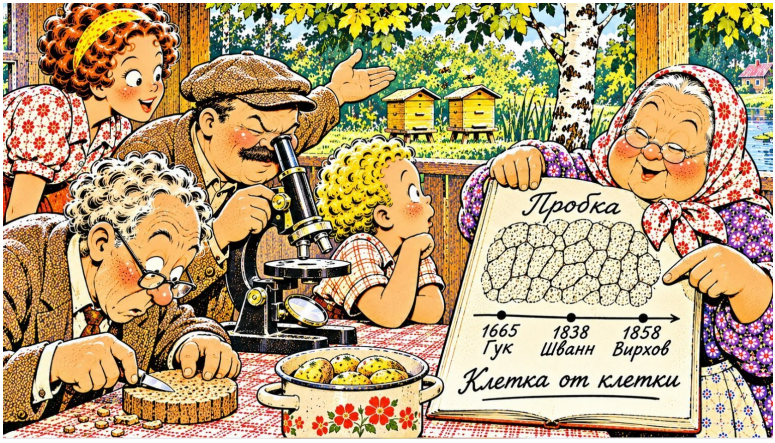
Клеточная теория (cell theory) — учение о том, что все живые существа состоят из сходных клеток, а клетки берутся только из клеток.

Гомологичность клеток — сходство их строения и главных свойств у всех живых существ.

Органеллы (organelles; в школе — органоиды) — постоянные части клетки со своей работой.

Omnis cellula e cellula — «всякая клетка от клетки», формула Вирхова.

Анималькули — «зверьки» Левенгука: одноклеточные организмы из воды и налёта.


Пробка
1665
Гук
1838
Шванн
1858
Вирхов
Клетка от клетки

Глава 3. Луковая кожица

Тёща резала лук для огурцов, и на веранде плакали все. Петрович вытирал глаза рукавом. Кузьмич за забором моргал и делал вид, что ему солнце в глаза. Одна тёща резала спокойно.

— Вы чего не плачете? — спросила Даша.

— А я нож в холодной воде держу, — сказала тёща. — И луковицу намедни в погреб ставила. Холодный лук смирнее.

— Это он за клетки мстит, — сказала Даша. — В целой луковице вещества лежат по разным отсекам клетки и не встречаются. Нож разрезает клетки, всё смешивается, и получается летучее вещество, которое ест глаза. Холод это замедляет.

Сёмка посмотрел на доску с нарезанными кольцами с уважением.

— Значит, клетки плачут?

— Клетки не плачут. Клетки заставляют плакать нас.

— Вчера пробка была мёртвая, — напомнил Петрович. — А лук, выходит, живой?

— Живее вас, — сказала тёща. — Положи луковицу на подоконник, она тебе к маю перо выгонит.

Даша взяла из миски толстую чешую луковицы и подцепила ногтем с вогнутой стороны. С чешуи снялась плёнка — тонкая, как паутина, и мокрая.

— Вот она, — сказала Даша. — Кожица. В ней один слой

клеток, и все живые. Лучше препарата не придумаешь: ни резать, ни строгать не надо.

Петрович обиделся за вчерашнюю пробку, но микроскоп принёс.

* * *

Первым смотрел Кузьмич.

— Кирпичи, — сказал он. — Длинные кирпичи, кладка вперевязку. И пустота внутри. Как вчера.

— Не как вчера, — сказала Даша и капнула с края стекла разведённого йода. С другого края она приложила клочок салфетки, и жёлтая вода поползла под покровное стёкло. — Теперь смотрите.

Кузьмич снова приник к окуляру и долго молчал.

— В каждом кирпиче по горошине, — сказал он наконец. — Жёлтой. Прячутся сбоку.

— Это ядра, — сказала Даша. — Правление клетки. А пустота в середине не пустая. Это вакуоль, мешок с клеточным соком. Она занимает почти всю клетку и отжимает всё остальное к стенкам.

— Как в автобусе до райцентра, — сказал Петрович. — Посередине чья-то большая сумка, а люди по стенкам.

Тёща долго смотрела в окуляр и записала: «Лук живой. В каждой клетке ядро и мешок с соком».

— А красный лук есть? — спросила Даша.

Красный лук нашёлся у Валентины Ивановны. Она принесла одну луковицу, а заодно три своих перца: без перцев

она никуда не ходила. В красной кожице каждая клетка светилась розово-лиловым, как окошко с занавеской.

— Баско, — сказала Валентина Ивановна тёщиным словом. — А перец так можно?

— Можно, — сказала Даша. — Только у перца краска другая и лежит в других местах. Это уже другая история.

Перцы съели без микроскопа.

Опыт

Что нужно: репчатый лук, а лучше ещё и красный; пинцет или ноготь; предметное и покровное стёкла; вода; аптечный йод — пять-шесть капель на полстакана воды, до цвета слабого чая; клочок бумажной салфетки; микроскоп.

Йод не пьют и не пробуют, и он оставляет пятна на скатерти и пальцах. Раствор готовит взрослый, после опыта его выливают.

Препарат.

Капните на середину предметного стекла одну каплю воды.

Разрежьте луковицу и возьмите одну сочную чешую из середины. С вогнутой, внутренней стороны подцепите пинцетом тонкую прозрачную плёнку и оторвите кусочек размером с ноготь мизинца.

Положите кусочек в каплю и расправьте пинцетом, чтобы он не складывался.

Поставьте покровное стёкло ребром на край капли и медленно опустите, как крышку на петлях. Так вода вытеснит воздух, и пузырей будет меньше.

Рассмотрите препарат при объективах «4», «10», «40». Свет зеркальцем лучше немного пригасить: живая кожица почти прозрачна, и в ярком свете детали тонут.

Окраска.

Капните разведённого йода у одного края покровного стёкла, не снимая его.

К противоположному краю приложите клочок салфетки. Она втянет воду, и йод протечёт под стёклышком. Этот приём называется протягиванием.

Подождите минуту-две и снова посмотрите.

Красный лук. Снимите кожицу с выпуклой, наружной стороны чешуи красного лука: там она цветная. Приготовьте препарат так же, но без йода. Этот препарат ещё пригодится в главе про солёный огурец.

Что видно. При объективе «10» — кладка из вытянутых клеток, длинных и узких, плотно прижатых друг к другу. Между ними нет промежутков, только тонкие тёмные линии стенок. До окраски клетки кажутся пустыми, только в некоторых угадывается сероватый кружок. После йода в каждой клетке проступает жёлто-бурое ядро, чаще всего у боковой стенки. При объективе «40» в ядре видны одно-два тёмных зёрнышка — ядрышки. Вдоль стенок тянется тонкий зернистый слой цитоплазмы, а середину занимает прозрачная ва-

куоль. В красном луке окрашена именно вакуоль: клетка светится розово-лиловым целиком, а стенки остаются бесцветными.

Растительная клетка (plant cell)

Живая клетка растения — это не пустая комнатка Гука, а жилая. Снаружи у неё **клеточная стенка**, под стенкой — **плазматическая мембрана**, внутри — **цитоплазма** с **ядром** и большая **вакуоль** (vacuole) с клеточным соком.

Разбор

Почему именно лук. Внутренняя кожица луковой чешуи — это один слой клеток, прозрачный и прочный. Его не надо резать: природа сама сделала срез толщиной в одну клетку. Клетки крупные: в длину обычно две-три десятых миллиметра, в ширину в несколько раз меньше. Хлоропластов в них нет: луковица растёт под землёй и не фотосинтезирует. Зелёные клетки будут дальше, в листе элодеи.

Клеточная стенка. Это наружный скелет растительной клетки. Её строит сама клетка и выкладывает наружу, как паук паутину. Устроена стенка как железобетон. Арматура — нити **целлюлозы** (cellulose), длинные цепочки из сотен и тысяч молекул глюкозы. Цепочки собраны в пучки-микрофибриллы толщиной до 25 нанометров. Бетон — водянистое

желе из других сахаров, гемицеллюлоз и пектинов. Пектин тот самый, из-за которого застывает яблочный мармелад. В молодой стенке на целлюлозу приходится около трети сухого веса, а желе занимает больше двух третей.

Зачем стенка нужна, видно из простого опыта, который делают цитологи. Клетка животного, помещённая в чистую воду, набухает и лопается: в ней солей больше, чем снаружи, и вода идёт внутрь. Клетка лука в воде только туго наливается. Стенка не даёт ей раздуться, и внутри возникает давление — **тургор** (turgor). Именно тургор держит свежий лук хрустящим, а свежий укроп торчащим. Те, кто живёт в пресной воде без стенки, выходят из положения иначе: они постоянно откачивают лишнюю воду внутренним насосом. С такими жильцами пруда встретится следующая глава.

Стенки соседних клеток не глухие. Их пронизывают тонкие канальцы цитоплазмы — **плазмодесмы** (plasmodesmata), по которым соседи обмениваются веществами. В школьный микроскоп их не видно.

Плазматическая мембрана (plasma membrane), или плазмолемма, прилегает к стенке изнутри. Именно она, а не стенка, решает, что пускать внутрь. Стенка пропускает воду и растворы почти как сито. Мембрана толщиной около 4 нанометров, и в микроскоп она невидима. В кожице она ещё и вплотную прижата к стенке. Отлепить её от стенки и увидеть косвенно можно солью: это опыт для главы про солёный огурец.

Цитоплазма (cytoplasm) — всё живое содержимое клетки, кроме ядра. В луковой кожице она лежит тонким слоем вдоль стенок. Зёрнышки в ней — мелкие органеллы на пределе разрешения, и что именно есть что, в школьный микроскоп не разобрать.

Ядро (nucleus) — самая заметная органелла и хранилище ДНК. Из-за вакуоли оно не посередине, а отжато к боку. Йод окрашивает белки в жёлто-бурый цвет, а в ядре белка и ДНК густо, и оно темнеет сильнее всего. Тёмные зёрна в ядре — **ядрышки** (nucleoli). Это цеха, где собираются рибосомы; про них будет четвёртая часть книги.

Вакуоль. У большинства растительных клеток почти весь объём занимает одна большая вакуоль, а цитоплазма и ядро оттеснены к краям. Вакуоль одета своей мембраной и наполнена **клеточным соком**: водой с сахарами, солями, кислотами и красками. Сок кислее цитоплазмы. В цитоплазме среда почти нейтральная, с кислотностью (pH) около 7, а в вакуоли pH от 5,5 до 6,5. Клетка сама накачивает туда лишнюю кислоту, чтобы в цитоплазме было спокойно. Краска красного лука тоже растворена в клеточном соке. Поэтому клетка цветная целиком, а стенка и тонкий слой цитоплазмы бесцветны.

Отделение вакуоли от цитоплазмы объясняет и луковые слёзы. Фермент лука хранится в вакуоли, а вещество, которое он разбивает, — в цитоплазме. Пока клетка цела, они не встречаются. Нож разрывает мембраны, фермент берётся

за работу, и через несколько секунд в воздухе летает едкое вещество. Это защита лука от тех, кто его грызёт. Холод замедляет работу фермента и испарение, и тёщин способ из погреба работает.

Чем клетка лука отличается от клетки человека. У клеток человека нет клеточной стенки и большой центральной вакуоли, а у зелёных частей растений есть ещё хлоропласты. Зато ядро, мембрана и цитоплазма с органеллами устроены так сходно, что Шванн оказался прав: клетки лука и человека гомологичны.

Как это ломается

«Йод окрашивает в синий». Синим или фиолетовым йод становится только с крахмалом. В луке запасы хранятся в виде сахаров, а не крахмала, поэтому кожица становится жёлтой с бурыми ядрами. Синие зёрна появятся в главе про крахмал, на срезе картошки.

Слишком крепкий йод. Из флакона без воды йод красит всё в один бурый цвет, и ядро сливается с фоном. Кроме того, крепкий раствор быстро убивает клетки. Нужен цвет слабого чая.

Сухая шелуха вместо кожицы. Наружная золотистая шелуха — это засохшие чешуи, и клетки в них мёртвые, как в пробке. Ядра и вакуоли видны только в кожице сочной чешуи.

Складки и пузыри. Кожица любит скручиваться. Где она сложилась вдвое, идут тёмные полосы и двойная сетка стенок. Круглые чёрные кольца — пузырьки воздуха из первой главы. Смотрите там, где кожица лежит ровно и в один слой.

Высохший препарат. За десять-пятнадцать минут под лампой капля испаряется, и под стёклышко забирается воздух. Воду подливают каплей с края, не снимая стёклышка.

«Ядро всегда в центре клетки». Так рисуют на схемах из удобства. В живой растительной клетке с большой вакуолью ядро обычно прижато к стенке. Иногда оно висит посередине на тяжах цитоплазмы, как паук в паутине.

«Клеточная стенка и мембрана — одно и то же». Нет. Стенка прочная, толстая и пропускает почти всё. Мембрана тончайшая, жидкая и строго выбирает, что пустить. В пробке стенка осталась, а мембран давно нет. Поэтому пробка и мёртвая.

Задачи

Задача 1. При объективе «10» поле зрения — 1,8 миллиметра. Клетка луковой кожицы в длину 0,25 миллиметра. Сколько клеток уложится вдоль поля?

Ответ. 1,8, делённое на 0,25, — примерно 7. Кузьмич видел кладку из семи кирпичей в ряд.

Задача 2. Даша представила клетку кожицы кирпичиком

250 на 50 на 50 микрометров. Цитоплазма лежит вдоль всех стенок слоем в 2 микрометра, всё остальное — вакуоль. Какую долю объёма занимает вакуоль?

Ответ. Вся клетка: 250 на 50 на 50 — 625 тысяч кубических микрометров. Слой отнимает по 2 микрометра с каждой стороны, и вакуоль выходит 246 на 46 на 46 — около 521 тысячи. 521, делённое на 625, — это примерно 83 процента. Если слой тоньше, в 1 микрометр, вакуоль займёт уже около 91 процента. Тонкий слой на большой площади съедает больше объёма, чем кажется.

Задача 3. Какой длины кажется глазу клетка в 0,25 миллиметра при увеличении в 400 раз? Уложится ли она целиком в поле зрения в 0,45 миллиметра?

Ответ. 0,25 умножить на 400 — 100 миллиметров, с ладонь. В поле она уложится, но займёт больше половины круга: 0,25 из 0,45. Поэтому на сороковом объективе смотрят одну клетку и её ядро, а не кладку.

Задача 4. В полстакана воды, 100 миллилитров, капнули 5 капель йода. Одна капля — примерно 0,05 миллилитра. Во сколько раз разведён йод?

Ответ. 5 капель — это 0,25 миллилитра. 100, делённое на 0,25, — 400. Йод разведён примерно в 400 раз, как раз до цвета слабого чая.

Задача 5. Мысленный опыт: в стакан чистой воды положили кусочек луковой кожицы и красные клетки крови. Что станет с теми и другими и почему?

Ответ. Вода пойдёт в обе клетки, ведь внутри солей и сахаров больше, чем снаружи. Клетки крови набухнут и лопнут: клеточной стенки у них нет. Клетки лука только туго нальются — стенка удержит их, и появится тургор.

Словарик

Растительная клетка (plant cell) — клетка с клеточной стенкой, большой вакуолью и, в зелёных частях, хлоропластами.

Кожица (эпидермис, epidermis) — наружный слой клеток, покрывающий части растения.

Целлюлоза (cellulose) — линейный полимер глюкозы, арматура клеточной стенки.

Пектины и гемицеллюлозы (pectins, hemicelluloses) — водянистое «желе» клеточной стенки, в которое вложена целлюлоза.

Плазматическая мембрана, плазмолемма (plasma membrane) — тонкая граница живой клетки, которая решает, что пропускать внутрь.

Цитоплазма (cytoplasm) — живое содержимое клетки без ядра.

Ядрышко (nucleolus) — плотное тельце в ядре, где собираются рибосомы.

Вакуоль (vacuole) — пузырь с клеточным соком в собственной мембране; в растительной клетке занимает боль-

шую часть объёма.

Клеточный сок — содержимое вакуоли: вода с сахарами, солями, кислотами и красками.

Тургор (turgor) — давление содержимого клетки на стенку; делает растение упругим.

Плазмодесмы (plasmodesmata) — тонкие канальцы цитоплазмы сквозь стенки соседних растительных клеток.

Протягивание — способ сменить жидкость под покровным стеклом: капля с одного края, бумага с другого.



Глава 4. Капля из пруда

Сёмка ждал три дня и на четвёртый пришёл с банкой. Банка была полулитровая, из-под смородинового варенья, и чисто вымытая.

— Дед сказал, если пруд, то со взрослым, — сообщил он. — А дед с пчёлами.

За взрослого пошла Даша. У пруда она не стала черпать чистую воду с мостка, а присела у берега, где мелко и тёпло. Там она провела банкой по дну, зачерпнула немного ила, сорвала пучок водорослей и сунула туда же пару прелых листьев.

— Грязно, — сказал Сёмка.

— В грязи все и живут. В чистой воде есть нечего.

Дома банку поставили на подоконник, чтобы муть осела. Тёща посмотрела на банку, на ил и на свой чистый подоконник.

— Руки мыть, — сказала она. — Завсегда. И не пить.

— Кто ж это пить будет, — сказал Петрович и на всякий случай убрал свою кружку с чаем подальше.

Даша взяла пипеткой каплю самого дна, оттуда, где ил соприкасался с листом. В микроскопе капля оказалась не каплей, а базаром в райцентре. Прозрачные туфельки носились туда-сюда и кувыркались. Зелёные веретёнца плыли строго вперёд, точкой красного глазка на носу. Что-то с крутящи-

мися колёсиками на голове засасывало всё вокруг.

— Они живые! — сказал Сёмка. Из всего товарищества он всегда первым замечал самое главное.

Тёща посмотрела и записала в тетрадь: «В пруду народу больше, чем на собрании».

* * *

На третьей капле Сёмка долго смотрел в одно место. Там лежала серая клякса, крупная, с зёрнышками внутри и без всякой формы. Клякса не плыла. Она медленно вытягивала из себя один отросток, потом второй, и перетекала в них, как тесто по столу.

— Это амёба, — сказала Даша. — Крупная. Повезло.

— Она сказала «не толкайся», — сообщил Сёмка.

Все помолчали.

— Всех толкает та туфелька, — продолжил Сёмка, не отрываясь от окуляра. — А она её сейчас съест. Говорит, её зовут Протея.

Петрович посмотрел на Сёмку, потом на Дашу и снова на Сёмку.

— Это от наклона, — сказал он. — Кровь к голове приливает.

— Она ещё сказала, — не сдавался Сёмка, — что её назвали в честь какого-то морского старика. Он тоже всё время форму менял. И что у неё одно ядро, а у деда их тридцать семь триллионов, и всё равно он не понимает, где у неё перед.

Даша посмотрела в окуляр. Амёба как раз обтекала туфельку двумя отростками с двух сторон. Переда у неё и правда не было: передом становилось то, куда она ползла.

— Протей — это греческий морской бог, — медленно сказала она. — Умел принимать любой облик. И амёбу эту полатыни правда зовут Амёба протей. Сёма, ты это откуда знаешь?

— Она сказала.

Кузьмич, пришедший за внуком, долго смотрел в окуляр и долго слушал.

— Молчит, — сказал он. — Со мной молчит.

— Она говорит, что вы ей свет загородили кепкой, — перевёл Сёмка.

Туфелек, эвглен и весь остальный базар вечером вылили обратно в пруд. Амёбу оставили. Сёмка сказал, что она сама попросилась пожить на даче до конца лета: в пруду ей скучно, а тут микроскоп. Даша перелила её в чистую банку с прудовой водой, добавила туда водорослей и два рисовых зерна. Банку поставили на подоконник, но не на солнце. На банке тёща написала: «Протея. Не пить».

— В сентябре отпустим, — сказала Даша. — Поняла, Протея?

— Она сказала, посмотрим, — сказал Сёмка.

Опыт

Что нужно: чистая стеклянная банка, пипетка, предметные и покровные стёкла, несколько волокон ваты, микроскоп.

Ходите к воде только со взрослым и набирайте воду с берега, на мелком месте. Прудовую воду не пьют, после опыта моют руки с мылом, стёкла и пипетку тоже моют. Всех жильцов после опыта выливают обратно в тот же пруд.

Наберите в банку воды у берега вместе с небольшим количеством ила, пучком водорослей и парой прелых листьев со дна.

Дома дайте банке постоять час на свету, но не на солнце. Муть осядет, а жильцы соберутся у дна, у стенок и на листьях.

Возьмите пипеткой каплю с поверхности ила или с листа. Капните на стекло и накройте покровным.

Ищите жильцов при объективе «4», рассматривайте при «10», подробности — при «40».

Если туфельки носятся слишком быстро, положите в новую каплю несколько волокон ваты. В этом лесу они будут застревать и стоять на месте по несколько секунд.

Смотрите не дольше десяти-пятнадцати минут. Капля греется от лампы и высыхает, а жильцам такое не нравится. Хотите смотреть дальше — берите новую каплю.

Что видно. Кто именно попадётся, зависит от пруда и погоды, но чаще всего встречаются вот кто:

инфузории — прозрачные, быстрые, покрытые дрожащими ресничками; самая известная — туфелька, по форме, правда, как подошва;

эвглены — зелёные веретёнца с красной точкой спереди; плывут вперёд, виляя, а иногда сжимаются и переливаются;

амёбы — серые кляксы без постоянной формы; ищите их на дне капли среди ила, и не сразу — сначала они притворяются комками грязи;

диатомовые водоросли — жёлто-бурые лодочки в стеклянных панцирях, медленно скользят по стеклу;

коловратки — с двумя «колёсиками» из ресничек на голове, с хвостом-ножкой;

дафнии — прыгающие рачки в прозрачном панцире, видны и без микроскопа как скачущие точки; в каплю под стекло не помещаются, и давить их не надо.

Внутри амёбы и туфельки видны светлые пузырьки. Один из них то помаленьку растёт, то вдруг схлопывается и исчезает. За этим стоит последить с часами — что это за пузырь, сказано в разборе.

Одноклеточные организмы (unicellular organisms)

Одноклеточный организм целиком состоит из одной клет-

ки. Эта клетка сама ест, двигается, избавляется от лишнего, чувствует свет и делится. Амёба, инфузория и эвглена — это одноклеточные с ядром, их называют **простейшими** (protists).

Разбор

Зверьки Левенгука. Именно этих жильцов из луж и прудов Левенгук видел в свою линзу и назвал анималькулями. Школьный микроскоп увеличивает почти так же, так что читатель сейчас повторяет его открытие. Только в той же капле плавают ещё и бактерии. Они в сотни раз мельче, и при четырёхсоткратном увеличении они видны в лучшем случае как дрожащие точки. У бактерий нет настоящего ядра, и про них будет отдельный разговор в конце книги.

Амёба. Прудовая амёба протей (Amoeba proteus) — крупная клетка: до полумиллиметра в длину, и в банке её можно разглядеть глазом как белую пылинку. Клеточной стенки у неё нет, только мембрана, поэтому форма у неё такая, какую она себе сама сделает. Амёба выпускает отростки — **ложноножки** (pseudopodia) — и перетекает в них. Как это устроено изнутри, книга разберёт в главе про цитоскелет. Ест амёба так же: обтекает добычу двумя ложноножками, смыкает их, и добыча оказывается внутри в пузырьке — пищеварительной вакуоли. Об этом подробно расскажет глава «Амёба обедает».

Пузырь, который схлопывается. Это **сократительная вакуоль** (contractile vacuole) — тот самый «внутренний насос» из прошлой главы. В амёбе солей больше, чем в прудовой воде, и вода всё время просачивается внутрь. Стенки, как у лука, нет, и если ничего не делать, амёба раздуется и лопнет. Поэтому она собирает лишнюю воду в пузырь, и когда тот наполнится, выплёскивает его наружу. И так без перерыва всю жизнь. У морских одноклеточных такого насоса обычно нет: в море соли и снаружи хватает.

Ядро амёбы. У амёбы одно ядро, и именно на амёбах цитологи доказали, кто в клетке главный. Тончайшими стеклянными иглами и крючками они пересаживали ядро одной амёбы в другую, с другими привычками. После пересадки клетка начинала вести себя так, как вела себя амёба — хозяйка ядра. Из одной амёбы делением получаются две примерно за полторы суток. Так что гостья дачи до сентября вполне может стать не одной.

Инфузория-туфелька (Paramecium) — полная противоположность амёбы. Форма у неё постоянная: под мембраной лежит упругая оболочка, **пелликула**. Всю поверхность покрывают тысячи **ресничек** (cilia), которые гребут волнами, как ветер по пшенице. Поэтому туфелька носится и всё время вращается вокруг своей оси. У неё два ядра: большое, макронуклеус, для повседневной работы, и маленькое, микронуклеус, для наследственности. Делится туфелька быстрее амёбы: от деления до деления проходит от 10 до 20 часов.

Эвглена (Euglena) сидит сразу на двух стульях. В ней есть хлоропласты, и на свету она кормит себя сама, как растение. В темноте она всасывает растворённую еду из воды. Плывёт она на одном длинном **жгутике** (flagellum), а красное пятно спереди — светочувствительный глазок, стигма. С ним эвглена находит свет. Пелликула у эвглены гибкая, и она умеет переливаться из формы в форму.

Кто в капле не одноклеточный. Размер здесь ничего не решает. Коловратка бывает меньше Протеи, но состоит из сотен клеток. У неё есть рот, желудок, мышцы и нервы — это настоящее животное, только крошечное. Дафния — рачок, родственник раков и креветок, с сердцем и глазом. Диатомовые же водоросли состоят из одной клетки, хоть и прячут её в кремнезёмную шкатулку из двух створок, как мыльница.

Одноклеточные — не черновики многоклеточных. Одна клетка туфельки делает всё, что у коловратки раздано сотням клеток. Туфелька сама себе и гребец, и повар, и дворник с вёдром.

Как это ломается

«В капле никого нет». Чаще всего воду взяли слишком чистую: с глубины, из бочки с дождевой водой или из-под крана. Жизнь собирается у дна, на иле и на растениях. Вторая причина — каплю взяли с поверхности банки, а там пу-

сто.

Жильцы замерли и расплылись. Капля перегрелась от лампы или высохла с краёв. Одноклеточные очень чувствительны к теплу и солёности. В пересыхающей капле соли становится больше, и даже сократительная вакуоль тут не спасает.

«Дафния и коловратка — одноклеточные, раз их видно только в микроскоп». Нет. Маленький размер не означает одной клетки. Признак многоклеточного — органы: глаз, сердце, кишка, ноги из члеников.

«Амёба — это микроб, вроде бактерии». Амёба ближе к клеткам человека, чем к бактерии. У неё есть настоящее ядро и органеллы, а по длине она в сотни раз больше кишечной палочки. Бактерии для неё — еда.

«Раз амёба живая, её можно вырастить на кусочке мяса или на чашке с бульоном». Так вырастят не амёбы, а бактерии и плесень, и среди них бывают вредные. В этой книге никто ничего так не выращивает. Протея живёт в своей же прудовой воде с водорослями. Два зерна риса нужны для того, чтобы в банке держались мелкие жильцы, которыми она кормится.

«Можно собрать всех и держать на окне сколько угодно». В закрытой банке на солнце вода перегревается, а кислород кончается. Банку держат открытой или накрытой тканью, в светлом месте без прямого солнца. Испарившуюся воду доливают из того же пруда. А вот держать живность не

дольше, чем нужно для наблюдения, — дело приличия.

«Амёбы разговаривают». Нет. У одной клетки нет ни голоса, ни нервной системы. Клетки всё же обмениваются сигналами, только химическими. Про Протею правы взрослые, а не Сёмка. Но Сёмке этого лучше не говорить.

Задачи

Задача 1. Туфелька делится раз в 12 часов. Сколько туфелек получится из одной за трое суток, если еды хватает и никто не гибнет?

Ответ. За трое суток, 72 часа, будет 6 делений. Каждое удваивает число: 2, 4, 8, 16, 32, 64. Получится 64 туфельки.

Задача 2. Протея делится раз в полторы суток. Сколько протей окажется в банке через 15 суток? А через 30, если бы еды и места было сколько угодно?

Ответ. За 15 суток будет 10 делений, и 2 в 10-й степени равно 1024. За 30 суток — 20 делений и больше миллиона амёб. На деле так не бывает: еда и место в банке кончаются намного раньше. Как рост тормозится, книга разберёт в главе про дрожжи.

Задача 3. Протея длиной полмиллиметра, а кишечная палочка — два микрометра. Во сколько раз Протея длиннее? И примерно во сколько раз больше по объёму, если считать форму одинаковой?

Ответ. Полмиллиметра — 500 микрометров, 500, делён-

ное на 2, — в 250 раз длиннее. Объём растёт как куб длины: 250 умножить на 250 и ещё раз на 250 — около 16 миллионов раз. Формы на самом деле разные, поэтому это оценка по порядку величины. В одну Протею поместились бы миллионы бактерий.

Задача 4. При объективе «4» поле зрения — четыре с половиной миллиметра. Какую часть поля займёт Протея, и стоит ли искать её на сороковом объективе, где поле 0,45 миллиметра?

Ответ. 0,5 из 4,5 — девятая часть поля, её хорошо видно сразу. На сороковом объективе она больше всего поля, и искать её там бесполезно. Сначала находят на слабом объективе, а на сильном смотрят только край ложноножки или вакуоль.

Задача 5. Туфелька плывёт со скоростью около миллиметра в секунду. За сколько секунд она пересечёт поле зрения при объективе «10», 1,8 миллиметра?

Ответ. Примерно за две секунды. Поэтому её и ловят ватными волокнами. В пересчёте на её длину, примерно четверть миллиметра, это четыре длины тела в секунду. А пловец-чемпион проплывает примерно одну свою длину в секунду.

Словарик

Одноклеточный организм (unicellular organism) — ор-

ганизм из одной клетки.

Простейшие (protists) — одноклеточные с ядром: амёбы, инфузории, эвглены и другие.

Ложноножки (pseudopodia) — временные выросты цитоплазмы, на которых амёба ползёт и которыми захватывает еду.

Пищеварительная вакуоль — пузырёк с проглоченной добычей внутри клетки.

Сократительная, или пульсирующая, вакуоль (contractile vacuole) — пузырь, который собирает и выбрасывает из клетки лишнюю воду.

Пелликула (pellicle) — упругая оболочка под мембраной инфузорий и эвглен, держит форму клетки.

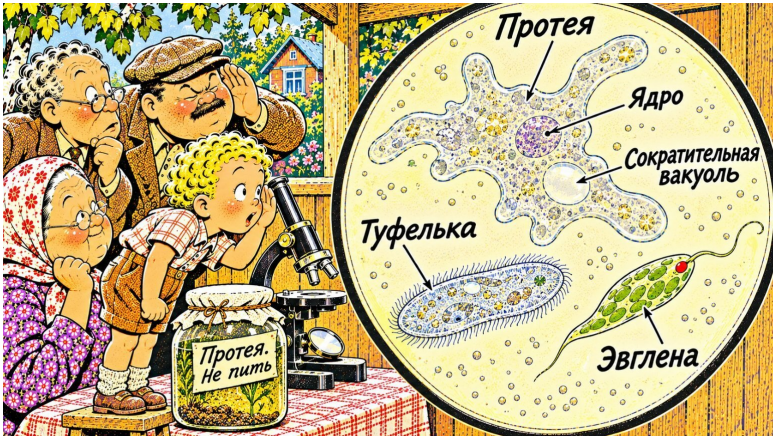
Реснички (cilia) — короткие многочисленные выросты, которыми клетка гребёт.

Жгутик (flagellum) — длинный одиночный вырост, которым клетка плывёт.

Макронуклеус и микронуклеус — большое «рабочее» и малое «наследственное» ядра инфузории.

Стигма — красный светочувствительный глазок эвглены.

Многоклеточный организм (multicellular organism) — организм из многих клеток с разделением труда, даже если сам он меньше амёбы.


Протея
Ядро
Сократительная вакуоль
Туфелька
Эвглена
Протея. Не пить

Глава 5. Сколько их

Председатель повесил на доску новое объявление: «Перепись домашней птицы. Сдать до субботы». Сёмке поручили посчитать кур Кузьмича. Он считал трижды и получил семь, девять и двенадцать.

— Они бегают, — объяснил он. — Одну посчитаешь, а она обежит сарай и опять приходит.

— Кур восемь, — сказал Кузьмич. — И петух. Я их по лицам знаю.

— А если кур миллион? — спросила Даша. — По лицам не выйдет.

В это время Валентина Ивановна ставила тесто на пироги с перцами — других пирогов у неё не бывало. На подоконнике у неё пенилась кружка с дрожжами в сладкой воде. Даша попросила каплю.

— Дрожжи — это куры, которых миллион, — сказала она. — Каждая дрожжинка — одна клетка, грибок. Сейчас посчитаем, сколько их в кружке, не считая каждую.

Петрович хмыкнул: посчитать, не считая, умел только председатель, когда выставлял счёт за дрова.

Даша развела каплю из кружки в стакане воды, набрала пипеткой ровно одну каплю и накрыла квадратным стёклышком. При объективе «40» в круге плавали овальные шарики. У некоторых сбоку сидел шарик поменьше, как голова

у снеговика.

— Двадцать три, — считала Даша. — Следующее поле. Тридцать. Следующее. Двадцать два.

Тёща записывала цифры столбиком. Сёмка в это время стоял у банки с Протеей.

— Она спрашивает, кого считают, — сообщил он. — Я сказал, дрожжи. Она говорит, дрожжи — мелкие и скучные, их не жалко считать пачками. А её считать надо только поштучно и с уважением.

— Её и считать нечего, — сказал Петрович. — Одна.

— Пока одна, — сказала Даша.

* * *

К вечеру Даша сосчитала десять полей, умножила, поделила и объявила, что в каждом миллилитре кружки около ста миллионов дрожжевых клеток. Плюс-минус несколько процентов.

— А в людях сколько? — спросила Валентина Ивановна.

— В вас — около тридцати семи триллионов. Это тоже оценка. Их тоже никто не считал поштучно.

Валентина Ивановна подумала и решила председателю этого не говорить, а то введёт взнос с клетки.

Опыт

Что нужно: щепотка сухих дрожжей, чайная ложка сахара, стакан тёплой воды, ещё один стакан чистой воды, пи-

петка из аптечного флакона, стёкла, измерительная линейка, микроскоп.

Растворите сахар и дрожжи в тёплой воде и оставьте на полчаса.

Перенесите одну каплю этой смеси во второй стакан и перемешайте. Иначе в поле зрения будет сплошная икра и считать нечего. Если и теперь тесно, разведите ещё раз.

Узнайте, сколько капель в миллилитре: накапайте пипеткой чайную ложку и сосчитайте капли. В чайной ложке около пяти миллилитров, и обычно выходит около 20 капель на миллилитр, то есть капля — 0,05 миллилитра.

Капните одну каплю разведённой смеси на стекло и накройте покровным стёклом. Линейкой измерьте сторону стёклышка. Часто она равна 18 миллиметрам. Капля должна растечься под всё стёклышко, но не вытекать из-под него.

При объективе «40» сосчитайте дрожжи в поле зрения. Потом сдвиньте стекло и сосчитайте в другом месте, и так десять полей. Почкующую клетку с маленькой дочерней считайте за одну.

Запишите все десять чисел и найдите среднее.

Что видно. Дрожжевые клетки — овальные, длиной около пяти микрометров, в семьдесят раз меньше поля. На некоторых сидят почки — так дрожжи размножаются. Числа в соседних полях разные, даже если смесь перемешана хорошо. Так и должно быть: о том, почему, — в разборе.

Счёт клеток и отношение площади к объёму (cell counting, surface-to-volume ratio)

Клетки не считают поштучно. Их считают в маленьком известном объёме и пересчитывают на весь. А размер клетки ограничен тем, что поверхность растёт медленнее объёма.

Разбор

Как считала Даша. Капля в 0,05 миллилитра — это 50 кубических миллиметров. Под стёклышком 18 на 18 миллиметров, площадью 324 квадратных миллиметра, она растекается слоем толщиной 50, делённое на 324, то есть около 0,15 миллиметра. Поле зрения при четырёхсоткратном увеличении — круг поперечником 0,45 миллиметра, площадью около 0,16 квадратного миллиметра. Значит, в одно поле попадает столбик жидкости объёмом 0,16, умноженное на 0,15, — около 0,025 кубического миллиметра. Если в среднем в поле 25 клеток, то в кубическом миллиметре их 25, делённое на 0,025, то есть 1000. В миллилитре их в тысячу раз больше, около миллиона. Остаётся учесть разведение и умножить на объём стакана.

В лабораториях для этого есть **счётная камера Горяева** (counting chamber, hemocytometer) — толстое стекло с вы-

гравированной сеткой и точно выверенной глубиной жидкости, обычно 0,1 миллиметра. Там не надо угадывать размер капли и стёклышка: сетка сама делит объём на квадратики. Дашин способ грубее, но на порядок величины он не ошибается.

Почему поля разные. Клетки рассеяны случайно, как дождевые капли по плитам дорожки. В одной плите семь капель, в соседней пять, хотя дождь одинаковый. При таком случайном раскладе разброс счёта примерно равен корню из числа насчитанного. Насчитали 25 — ошибка около 5, то есть 20 процентов. Насчитали за десять полей 250 — ошибка около 16, меньше 7 процентов. Поэтому Даша считала десять полей, а не одно. С курами тот же закон не сработает: куры не случайны, они бегают там, где корм.

Кто какого размера. Клетки бывают очень разными, но цитологи держат в голове три типичных размера. Бактерия кишечная палочка — около одного кубического микрометра объёма. Пекарские дрожжи — около тридцати кубических микрометров, длиной около пяти. Типичная клетка млекопитающего — около трёх тысяч кубических микрометров. Каждая ступенька — в сотню раз по объёму. У человека больше двухсот типов клеток. Эритроцит — 7–8 микрометров в поперечнике, зрелая яйцеклетка — около 120. Нейрон в толщину около десяти микрометров, а в длину может дотянуться от спины до ноги, больше чем на метр.

Сколько клеток в человеке. Самая надёжная оценка —

около 3,7 на 10 в 13-й степени, то есть тридцать семь триллионов, с погрешностью около восьми триллионов в обе стороны. Поштучно их никто не считал. Учёные сложили оценки по отдельным органам и тканям, примерно так же, как Даша складывала поля. В популярных книгах встречаются и «сто триллионов», и даже больше. Старые цифры получались грубым делением массы тела на массу «средней» клетки. Больше всего в теле мелких эритроцитов, и среднее из-за них сильно сдвигается.

Почему клетки не бывают с арбуз. Всё, что клетка ест и выбрасывает, проходит сквозь её поверхность. А нуждается в еде весь её объём. У кубика со стороной a площадь шести граней — 6 a в квадрате, объём — a в кубе, а их отношение — 6, делённое на a. Увеличьте клетку вдвое, и на каждую единицу объёма останется вдвое меньше «дверей». Вторая беда — дорога изнутри. Молекулы в клетке перемещаются диффузией, случайным блужданием. Время такого пути растёт как квадрат расстояния. Белок пересекает бактерию за сотые доли секунды, клетку человека — за секунды, а Протею во всю длину — за час с лишним. Поэтому большие клетки не полагаются на случай: они перемешивают цитоплазму и возят грузы по «рельсам». Эти рельсы — цитоскелет, про него будет отдельная глава.

Как это ломается

Считать одно поле. Одно поле даёт ошибку в десятки процентов, десять полей — в несколько процентов. И поля надо выбирать вслепую, а не там, «где побольше».

Клетки на дне стакана. Дрожжи тяжелее воды и оседают. Перед тем как набрать каплю, смесь перемешивают, иначе сверху будет «никого», а снизу «все».

Забытое разведение. Самая частая арифметическая ошибка в лаборатории. Развели в сто раз, насчитали, а умножить обратно забыли.

«Сто триллионов клеток в человеке». Завышенная цифра, которая до сих пор гуляет по книгам. Недавние оценки по органам дают близко к тридцати семи триллионам. Точного числа нет и быть не может: клетки каждую секунду рождаются и умирают.

«Дрожжи — это бактерии». Нет, это одноклеточные грибы. У них есть ядро, и по объёму они в десятки раз крупнее типичной бактерии.

Задачи

Задача 1. За десять полей Даша насчитала 260 дрожжевых клеток. Одно поле — 0,025 кубического миллиметра жидкости, а смесь была разведена в 100 раз. Сколько клеток

в миллилитре исходной смеси?

Ответ. В среднем 26 клеток на поле. 26, делённое на 0,025, — 1040 клеток в кубическом миллиметре и около миллиона в миллилитре. С учётом разведения в исходной смеси около ста миллионов клеток в миллилитре.

Задача 2. Какова ошибка счёта в задаче 1, если разброс равен корню из числа насчитанных клеток?

Ответ. Корень из 260 — примерно 16. 16 из 260 — это около 6 процентов. Значит, ответ — сто миллионов плюс-минус шесть. Впрочем, капля и стёклышко измерены грубее, и на деле ошибка больше.

Задача 3. Посчитайте отношение площади к объёму для кубических «клеток» со стороной 1, 10 и 500 микрометров. Кто есть кто?

Ответ. 6, делённое на сторону: 6; 0,6; 0,012 на микрометр. Первая — бактерия, вторая — клетка человека, третья — Протея. У Протеи на каждый кубический микрометр в 500 раз меньше поверхности, чем у бактерии. Отчасти поэтому она и всё время меняет форму и вытягивается ложноножками: плоское и вытянутое тело имеет больше поверхности, чем шар.

Задача 4. В человеке около 37 триллионов клеток. Сколько лет понадобилось бы, чтобы пересчитать их по одной в секунду, без сна и обеда? В году около 32 миллионов секунд.

Ответ. 37 триллионов, делённые на 32 миллиона, — около миллиона лет. Сёмке с его курами повезло больше.

Задача 5. Председатель хочет ввести взнос одна копейка с миллиарда клеток. Сколько заплатит Валентина Ивановна?

Ответ. 37 триллионов, делённые на миллиард, — 37 тысяч копеек, то есть 370 рублей. Ещё плюс-минус 80 рублей на погрешность оценки, и тут председатель, конечно, возьмёт плюс. Протея заплатит миллиардную долю копейки и будет спорить.

Словарик

Счётная камера Горяева (hemocytometer) — стекло с сеткой и заданной глубиной для подсчёта клеток в известном объёме.

Концентрация клеток — число клеток в единице объёма, например в миллилитре.

Разведение — уменьшение концентрации добавлением чистой воды; при расчёте его надо умножить обратно.

Ошибка счёта — случайный разброс при подсчёте; для случайно рассеянных клеток примерно равен корню из числа насчитанных.

Дрожжи (yeast) — одноклеточные грибы; пекарские дрожжи размножаются почкованием.

Почкование (budding) — размножение, при котором новая клетка вырастает бугорком на старой.

Отношение площади поверхности к объёму (surface-to-volume ratio) — сколько поверхности приходится на еди-

ницу объёма; у мелких клеток оно больше.

Диффузия (diffusion) — перемещение молекул за счёт их случайного теплового движения; время растёт как квадрат расстояния.



Часть 2. Из чего сделана клетка

Глава 6. Вода

После дождя на капустных листьях лежали капли — круглые, серебряные, как ртуть. Петрович тронул лист, и капли скатились, не оставив следа. А рядом, на газете с рассадой, дождь оставил серые мокрые пятна.

— Капуста воду не любит, — сказал Петрович. — А поливать просит каждый день. С характером овощ.

— Капуста воду любит внутри, — сказала Даша. — А снаружи на ней воск. Вода с воском не дружит и собирается в шарик, чтобы касаться его поменьше. А с бумагой дружит и впитывается.

Кузьмич через забор сообщил, что пчёлы после дождя тоже без характера не бывают. На этом про пчёл сказано было всё.

Сёмка тем временем доливал в банку Протеи прудовую воду — за неделю часть испарилась.

— Она говорит, что она почти вся из воды, — сообщил он. — И что дед тоже почти весь из воды, только спорит больше.

— Врёт твоя амёба, — сказал Кузьмич.

— Не врёт, — сказала Даша. — В клетках воды примерно две трети по массе. У вас тоже.

Кузьмич посмотрел на свои руки с недоверием, как на капустный лист.

* * *

Тёща налила стакан вровень с краями и поставила на стол.

— Сколько туда ещё влезет монет? — спросила она. Этот фокус ей показывали ещё в школе.

— Ни одной, — сказал Петрович. — Польётся.

Монет влезло двадцать две. Вода поднялась над краями стакана выпуклой шапкой и держалась. Двадцать третья монета её прорвала, и вода стекла на скатерть.

— Вода сама себя держит за руки, — объяснила Даша. — Из-за этого и капли круглые, и клетки без неё не обходятся.

Тёща вытерла скатерть и записала в тетрадь: «Вода держится за руки. Двадцать две монеты».

Опыт

Что нужно: капустный лист, лист бумаги, вода, подсолнечное масло, пипетка, стакан, горсть одинаковых монет, стеклянная банка с крышкой, капля пищевого красителя или крепкой заварки, капля средства для мытья посуды.

Капли. Капните воду на капустный лист и на бумагу. Рядом капните масло на тот же лист и на ту же бумагу.

Шапка над стаканом. Налейте стакан до краёв и опускайте в него монеты ребром, по одной, пока вода не перельётся. Смотрите на неё сбоку.

Масло и вода. Налейте в банку подкрашенную воду и столько же масла. Закройте и встряхните, потом подождите минуту. Добавьте каплю средства для посуды и встряхните ещё раз.

Что видно. На капусте вода собирается в шарики и скатывается, на бумаге расплывается и впитывается. Масло без труда растекается и по капусте, и по бумаге, но с бумаги оно не сохнет, а оставляет прозрачное пятно. Вода в стакане поднимается над краями заметной шапкой. В банке масло и вода после встряхивания расходятся на два слоя, масло сверху. С каплей средства для посуды смесь становится мутной и расслаивается гораздо медленнее.

Вода в клетке, гидрофильные и гидрофобные вещества (water, hydrophilic, hydrophobic)

Вода — самое массовое вещество клетки. **Гидрофильными** («любящими воду») называют вещества, которые с водой смешиваются и в ней растворяются. **Гидрофобные** («боящиеся воды») от неё сторонятся. Из этой недружбы потом соберутся мембраны и белки.

Разбор

Сколько воды. В большинстве клеток воды от 60 до 70

процентов массы: у дрожжей и эритроцитов поменьше, у бактерий побольше. Всё остальное — белки, сахара, жиры, ДНК и соли — цитологи называют **сухой массой**. Именно ей посвящена вся эта часть, но плавает сухая масса в воде. Протея права, Кузьмич тоже по большей части вода.

Почему вода держится за руки. Молекула воды H2O — атом кислорода и два атома водорода, сложенные уголком, как голова с ушами. Кислород сильнее тянет к себе электроны. Поэтому на нём небольшой отрицательный заряд, а на «ушах»-водородах — положительный. Такие молекулы называют **полярными** (polar). Водород одной молекулы притягивается к кислороду соседней, и между ними возникает **водородная связь** (hydrogen bond). Одна молекула может держать до четырёх соседей. Связи слабые, всё время рвутся и возникают снова, но их много. Оттого вода и держит шапку над стаканом, и собирается в круглые капли. Это поверхностное натяжение.

Из-за водородных связей вода ведёт себя странно и в другом. Разогревается она медленно, потому что часть тепла уходит на разрыв связей. Клетке это на руку: её температура не скачет. Лёд легче воды, потому что связи выстраивают молекулы в редкую решётку. Именно поэтому пруд промерзает сверху, и Протеины родственники зимуют подо льдом.

Кто с водой дружит. Заряженные и полярные вещества вода облепляет со всех сторон, и они растворяются. Так растворяются соль и сахар. Бумага сделана из целлюлозы, а у

целлюлозы полно полярных групп. Поэтому вода впитывается в бумагу, хотя целлюлоза в ней и не растворяется. В клетке вода — универсальный растворитель, в ней идут почти все реакции.

Кто не дружит. Молекулы масла и воска — длинные цепи из углерода и водорода без зарядов. Уцепиться за них воде нечем. Важная тонкость: масло воду не отталкивает, это вода держится своих. Вокруг капли масла молекулам воды приходится стоять теснее и аккуратнее, а им это невыгодно. Выгоднее собрать весь жир в одну кучу и касаться его поменьше. Это называют **гидрофобным эффектом** (hydrophobic effect). Он и собирает масло в слой над водой, а в клетке складывает мембраны и сворачивает белки. Капустный воск тоже гидрофобный. Растение покрывает им листья снаружи, чтобы вода не испарялась и не застаивалась на поверхности.

Мойщики между слоями. Молекула средства для посуды устроена как двуликий посредник. У неё есть гидрофильная головка, которая дружит с водой, и гидрофобный хвост, который лезет в масло. Такие молекулы обклеивают капельки масла, и те перестают сливаться. Мембрана клетки сложена из похожих двуликих молекул. Как именно — в главе про мыльный пузырь.

Как это ломается

«Масло тяжелее воды, раз оно густое». Густота и плотность — разные вещи. Подсолнечное масло гуще воды, но легче её и всплывает.

«Вода в клетке просто заполняет место». Вода участвует в реакциях: крахмал, белки и жиры расщепляются с её помощью. Она держит форму белков и мембран. А у растений именно вода в вакуолях даёт тургор, и на нём стоит лист.

«Тёплая вода растворит масло». Не растворит. Горячая вода лучше отмывает жир с сковородки потому, что жир размягчается и легче сходит. Растворяться он не начинает. Убирает жир всё равно моющее средство.

Монеты бросают сверху. Так вода переливается на третьей монете: удар рвёт плёнку. Монету подносят к воде вплотную и опускают ребром. И стакан должен быть чистым: капля жира или мыла на краю сильно ослабляет поверхностное натяжение.

Задачи

Задача 1. Кишечная палочка объёмом один кубический микрометр весит около одной триллионной доли грамма. Воды в ней 70 процентов. Сколько в ней молекул воды? В одном грамме воды около 3,3 на 10 в 22-й степени молекул.

Ответ. Воды — 0,7 триллионной доли грамма. Умножаем 0,7 на 10 в минус 12-й и на 3,3 на 10 в 22-й — получаем около 2,3 на 10 в 10-й, то есть 23 миллиарда молекул воды в одной бактерии. Белковых молекул в ней в десять тысяч раз меньше.

Задача 2. Сухая масса клетки — 30 процентов, и примерно половина её — белки. Сколько белка в ста граммах таких клеток?

Ответ. Сухой массы 30 граммов, белка половина — около 15 граммов. Остальные 70 граммов — вода.

Задача 3. Одна молекула воды в поперечнике около 0,3 нанометра. Сколько молекул воды уложится в ряд поперёк мембраны толщиной 4 нанометра?

Ответ. 4, делённое на 0,3, — около 13 молекул. Стена, которая держит клетку, всего в десяток молекул воды толщиной.

Задача 4. В стакан вровень с краями влезли 22 монеты по 3 грамма при плотности металла около 7,5 грамма на кубический сантиметр. Какой объём воды поднялся над краями стакана?

Ответ. Масса монет 66 граммов, объём 66, делённое на 7,5, — около 9 кубических сантиметров. Столько воды — почти две чайные ложки — держало над стаканом одно поверхностное натяжение.

Задача 5. Почему капля на капусте круглая, а на чистом стекле плоская?

Ответ. Стекло полярное, вода с ним дружит и растекается, чтобы касаться его побольше. Воск гидрофобный, и воде выгоднее держаться за себя. Шарик — форма с самой маленькой поверхностью при данном объёме.

Словарик

Сухая масса (dry mass) — всё, что остаётся от клетки без воды: белки, сахара, жиры, нуклеиновые кислоты, соли.

Полярная молекула (polar molecule) — молекула с частичными положительным и отрицательным зарядами на разных концах.

Водородная связь (hydrogen bond) — слабое притяжение атома водорода одной молекулы к кислороду или азоту другой.

Поверхностное натяжение (surface tension) — стремление жидкости уменьшить свою поверхность.

Гидрофильный (hydrophilic) — смешивающийся с водой, смачиваемый.

Гидрофобный (hydrophobic) — не смешивающийся с водой, несмачиваемый.

Гидрофобный эффект (hydrophobic effect) — стремление воды собрать гидрофобные вещества в кучу; складывает мембраны и белки.

Эмульсия (emulsion) — смесь из капель одной жидкости в другой, например масла в воде.


Кислород
Водород
Водородная связь

Глава 7. Крахмал

Петрович подкопал первый куст молодой картошки и принёс на веранду в кепке. Тёща в это время варила кисель из прошлогодней вишни и сыпала в кастрюлю белый порошок из бумажной пачки.

— Картофельный крахмал, — сказала она, не оборачиваясь. — Из твоей же картошки, только чужой.

— Это как? — не понял Петрович.

— Так. Картошку трут, промывают, а что осело на дно, сушат. Намедни в деревне сами делали.

Кисель стал густеть прямо на глазах. Даша разрезала молодую картофелину и капнула на срез йодом из раствора, оставшегося после лука. Срез почти сразу почернел синевой.

— Испортила, — огорчился Петрович. — Первая же картошка.

— Не испортила, а спросила, — сказала Даша. — Йод синеет только с крахмалом. Лук жёлтый был, помните? А картошка набита крахмалом.

Она капнула йодом на крошку хлеба — посинела и крошка. На чайную ложку сахара — сахар остался сахаром, лишь слегка пожелтел. Петрович посмотрел на сахар с некоторым уважением: сахар не сдался.

— А ведь сахар и крахмал — родня, — сказала Даша. — Крахмал собран из тех же сахаров, только нанизанных в

длинные бусы. И бумага тоже из них, и лист капусты.

Сёмка поднёс к банке с Протеей крошку крахмала на пальце, но не сыпал.

— Она говорит, ей крахмал ни к чему, — сообщил он. — Она не запасает, она ест тех, кто запасает.

— Удобно устроилась, — сказал Петрович, глядя на свои грядки.

* * *

Даша наскребла ножом со среза картофелины немного мутного сока, капнула на стекло и разбавила водой. В микроскопе плавали прозрачные зёрна, овальные, как речная галька, и на крупных были видны тонкие слои, как на срезе луковицы.

— Камушек, — сказал Кузьмич. — Как в печени. Врач сказал не есть картошку.

— Это не камушек, это кладовая, — сказала Даша. — Картофель каждый день накладывает новый слой и так делает запасы на весну. А про печень надо врача слушать, а не микроскоп.

С края стёклышка протек йод, и зёрна одно за другим стали сине-фиолетовыми. Тёща записала: «Крахмал — сахар бусами. От йода синеет. Сахар не синеет».

Опыт

Что нужно: сырая картофелина, кусочек хлеба, щепотка

сахара, кусочек лука, лист бумаги, разведённый йод из главы про луковую кожицу, нож, стёкла, микроскоп. Нарезает взрослый. Продукты, на которые капали йодом, не едят.

Проба на крахмал. Капните йодом на свежий срез картофеля, на хлеб, сахар, лук и бумагу. Запишите, кто посинел.

Зёрна. Ножом наскребите со среза картофеля немного сока. Капните на стекло, добавьте каплю воды и накройте покровным стёклом. Смотрите при объективах «10» и «40», свет зеркальцем пригасите.

Окраска. Протяните под стёклышко йод салфеткой, как с луковой кожицей.

Кисель. Разведите чайную ложку крахмала в стакане холодной воды. Взрослый нагревает половину в кастрюльке, помешивая, пока не загустеет. Сравните остывший кисель с холодной половиной и посмотрите каплю киселя в микроскоп.

Что видно. Картофель и хлеб синеют до черноты. Сахар, лук и обычная бумага желтеют или буреют. Иногда бумага всё же синеет: в неё при изготовлении добавляют крахмал. В микроскопе картофельные зёрна разного размера, от мелких до таких, что на объективе «40» занимают десятую часть поля. На крупных видны слои вокруг точки, смещённой к одному краю. От йода зёрна становятся синими или фиолетовыми. В киселе целых зёрен почти нет: они набухли и расплылись в желе.

Углеводы: сахара, крахмал и целлюлоза (carbohydrates: sugars, starch, cellulose)

Углеводы — сахара и всё, что из них собрано. Одна и та же глюкоза, сцепленная по-разному, даёт и пищевой **крахмал** (starch), и строительную **целлюлозу** (cellulose).

Разбор

Сахара. Главный сахар живого — **глюкоза** (glucose): шесть атомов углерода, двенадцать водорода и шесть кислорода, свёрнутые в колечко. В цепочке есть несколько групп с водородом и кислородом, как у воды. Поэтому глюкоза полярная, гидрофильная и легко растворяется. Сахар из сахарницы — **сахароза**: колечко глюкозы, сцепленное с колечком фруктозы. Для клетки глюкоза — главное топливо. Сжигает его клетка медленно и по ступенькам, об этом расскажет пятая часть.

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, купив полную легальную версию на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.