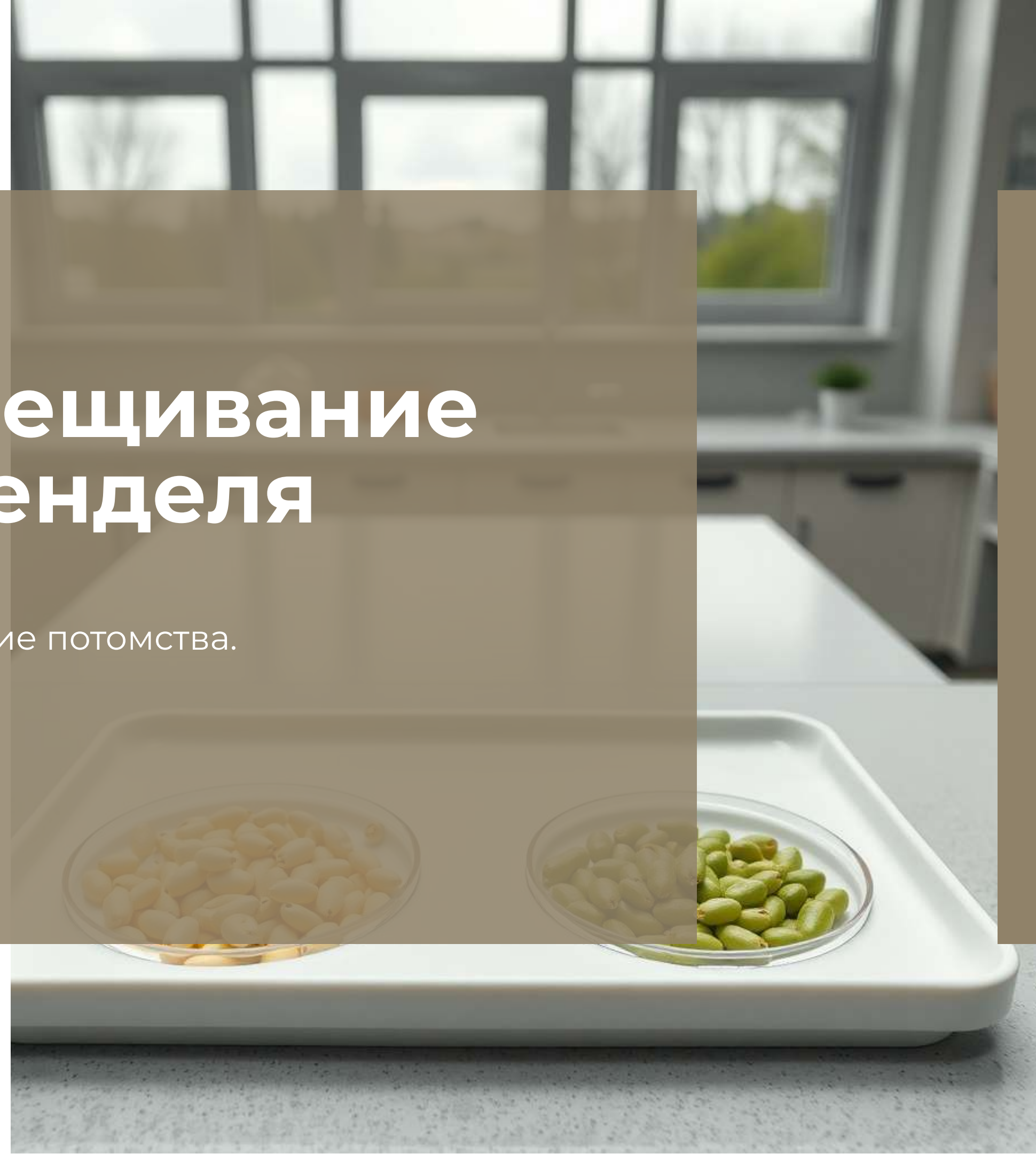


Дигибридное скрещивание и третий закон Менделя

Два признака, один закон, точное предсказание потомства.



От опытов Менделя к школьным задачам

Законы наследования Мендель сформулировал на опытах с горохом, а позже они стали фундаментом классической генетики. Сегодня третий закон помогает разбирать комбинированное наследование и решать задачи о независимом распределении признаков.



Что изучает дигибридное скрещивание

01

Два признака сразу

Дигибридное скрещивание рассматривает наследование двух пар альтернативных признаков одновременно, например форму и цвет семян. Это позволяет увидеть, как два гена сочетаются в одном потомстве.

03

F1 и F2

Сравнивая первое и второе поколения, можно проследить, какие признаки сохраняются, какие проявляются в гибридов, и как изменяется распределение фенотипов после самоопыления или скрещивания гибридов.

02

Буквенная запись

Для обозначения аллелей обычно используют пары символов, например A/a и B/b. Такая запись делает генетическую схему компактной и удобной для анализа родительских генотипов и потомков.

04

Проверка наследования

Дигибридное скрещивание показывает, наследуются ли два признака независимо или между ними есть связь. Именно поэтому этот тип задач особенно важен для проверки третьего закона Менделя.

Основные понятия, необходимые для решения задач

○ Ген и аллели

Ген — участок ДНК, отвечающий за конкретный признак. Аллели — это разные варианты одного и того же гена, которые могут определять альтернативные проявления признака.

○ Генотип и фенотип

Генотип описывает набор аллелей организма, а фенотип — наблюдаемое внешнее проявление признаков. Один и тот же генотип в разных условиях обычно даёт один и тот же фенотип.

○ Доминантность

Доминантный аллель проявляется уже в гетерозиготе, а рецессивный — только в гомозиготном состоянии. Это различие лежит в основе большинства школьных генетических задач.

○ Гомо- и гетерозиготы

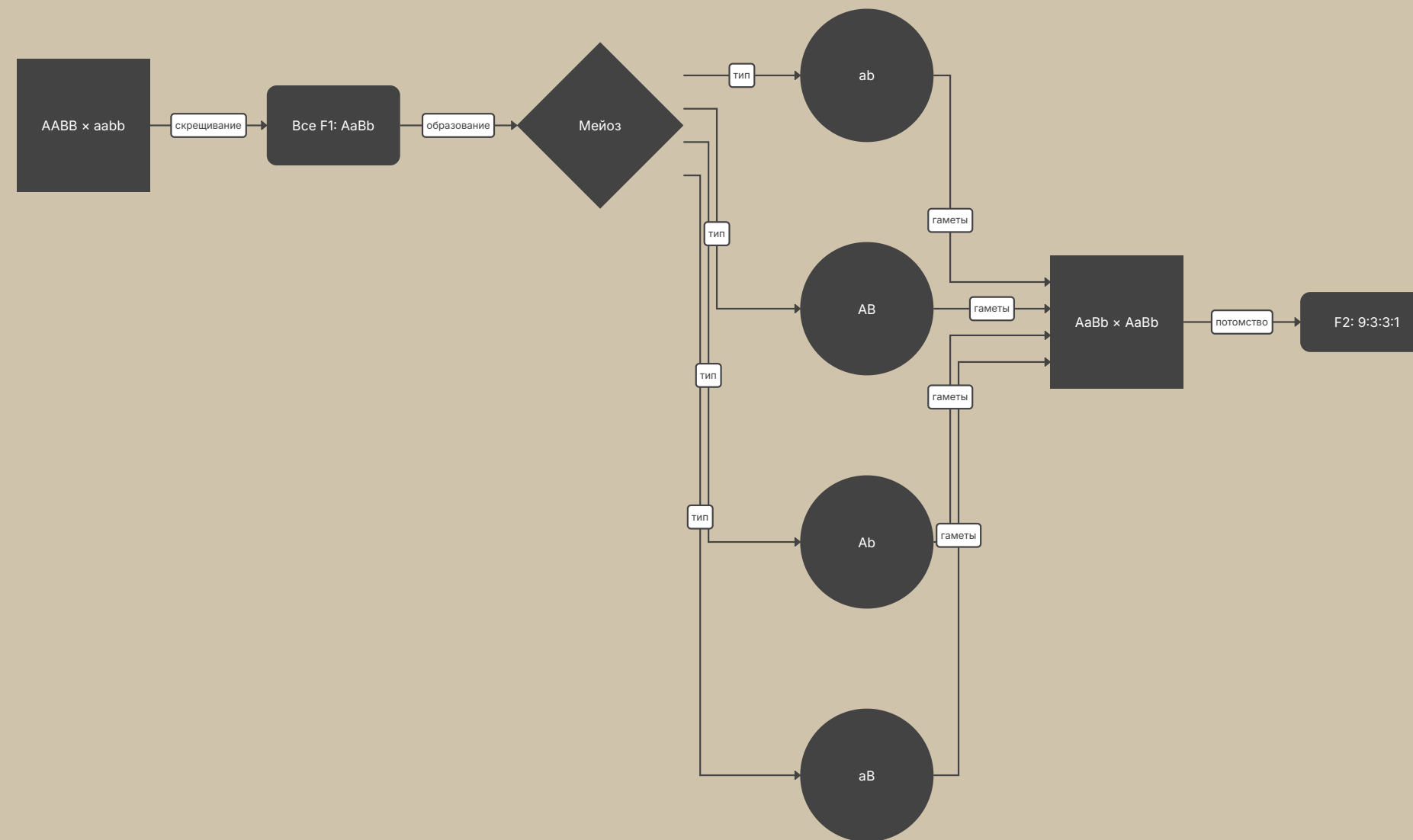
Для анализа особенно важны дигетерозигота и дигомозигота. Первая несёт по две разные аллельные формы двух генов, вторая — одинаковые аллели по обоим генам.

○ Независимое расхождение

Третий закон Менделя опирается на независимое распределение аллелей разных генов при образовании гамет. Именно это объясняет появление новых сочетаний признаков у потомства.

Классический опыт Менделя по дигибридному скрещиванию

Схема показывает переход от родительских форм к гибридам F2 и итоговому расщеплению.



Как образуются гаметы у дигетерозиготы

О Один ген — одна пара

У генотипа AaBb каждая аллельная пара расходится при образовании гамет отдельно от другой. Поэтому в гамету попадает только по одному аллелю от каждого гена.

О Связь с мейозом

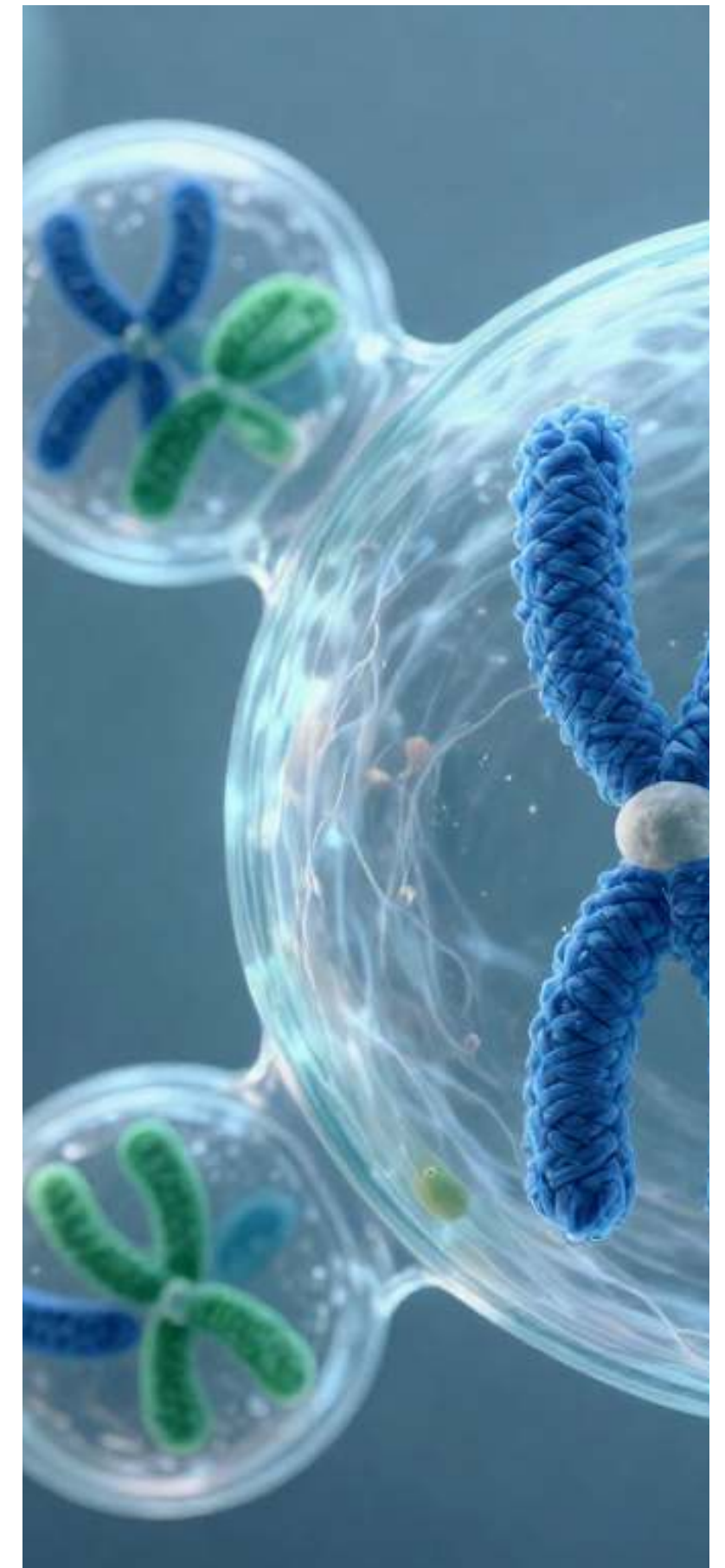
Такое распределение связано с поведением гомологичных хромосом в мейозе. Их случайное расхождение создаёт новые сочетания аллелей, увеличивая наследственную изменчивость.

О Четыре комбинации

В результате формируются четыре типа гамет: AB, Ab, aB и ab. Они возникают в равных долях, если гены наследуются независимо и не сцеплены.

О Что показать на схеме

На иллюстрации удобно изобразить клетку с двумя парами хромосом и четырьмя возможными вариантами гамет. Это помогает визуально понять источник комбинаций.



Генотипы и фенотипы потомства во втором поколении

Таблица показывает, как из скрещивания $AaBb \times AaBb$ возникают разные генотипические классы и соответствующие фенотипы.

Генотипов больше, чем фенотипов, но итоговое фенотипическое расщепление сохраняется как 9:3:3:1.

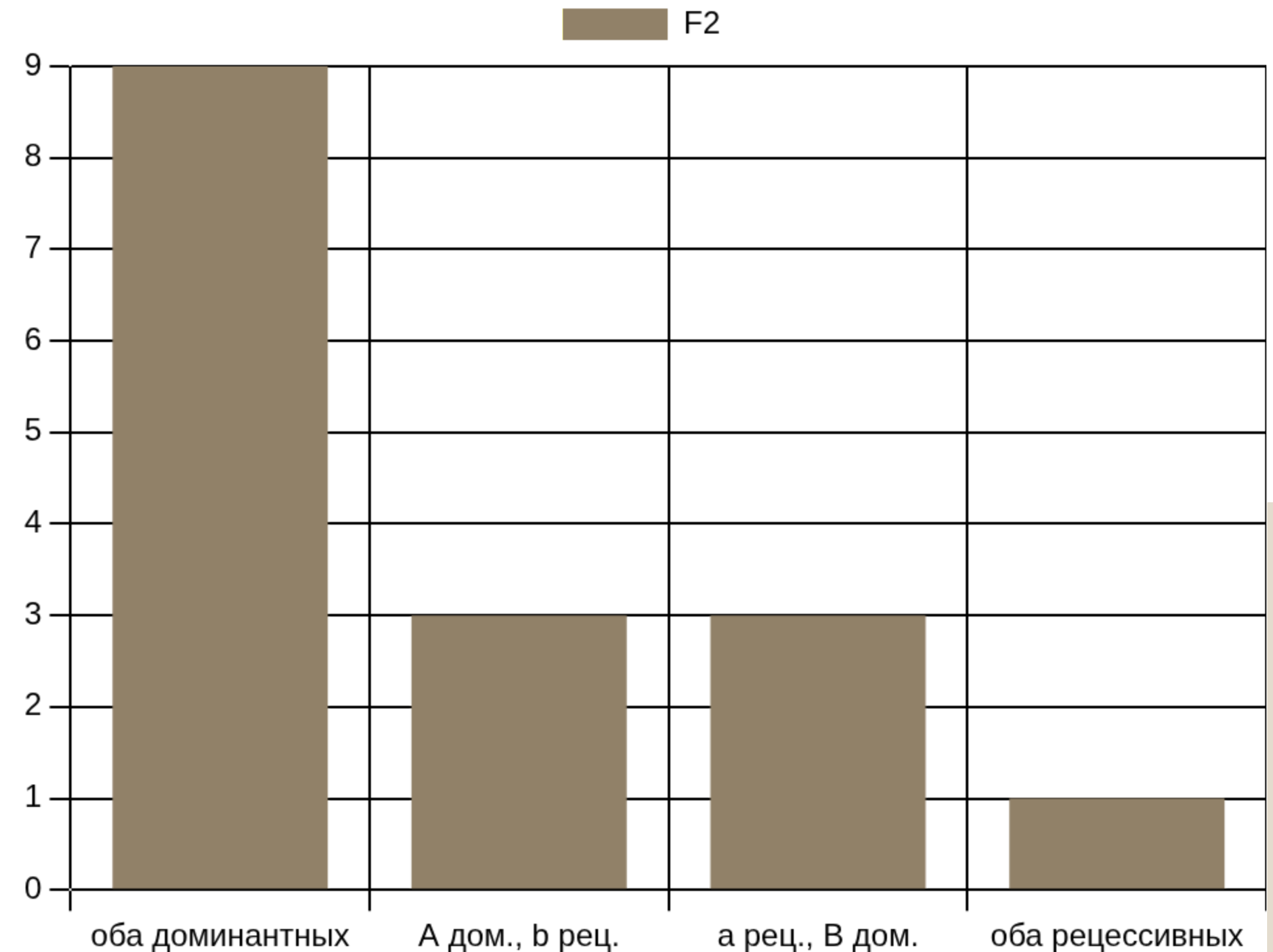
Генотип	Фенотип	Доля
AABB	оба доминантных	1
AABb, AaBB, AaBb	оба доминантных	7
AAbb, Aabb	А дом., b рец.	3
aaBB, aaBb	a рец., В дом.	3
aabb	оба рецессивных	1

Классическая схема дигибридного скрещивания $AaBb \times AaBb$

Фенотипическое расщепление 9:3:3:1

Диаграмма наглядно показывает, что большая часть потомства сочетает оба доминантных признака, а остальные группы встречаются реже и возникают как новые комбинации.

Соотношение 9:3:3:1 подтверждает независимое наследование двух несцепленных генов в F2.



Теоретическое распределение при скрещивании $AaBb \times AaBb$

Правило вероятностей при независимом наследовании

1

Считаем каждый признак отдельно

Сначала определяют вероятность по каждому гену отдельно, как при моногибридном скрещивании. Для схемы $Aa \times Aa$ это $\frac{3}{4}$ для доминантного фенотипа и $\frac{1}{4}$ для рецессивного.

2

Затем перемножаем

Вероятности независимых событий перемножают. Так получают долю каждого фенотипа: $\frac{3}{4} \times \frac{3}{4}$, $\frac{3}{4} \times \frac{1}{4}$, $\frac{1}{4} \times \frac{3}{4}$ и $\frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$.

3

Быстрый расчёт

Этот способ особенно удобен, когда нужно не строить полную решётку Пеннета, а сразу найти нужную комбинацию признаков. Он экономит время и уменьшает число ошибок.

4

Проверка результата

Если итог совпадает с теоретическими значениями, вероятно, гены наследуются независимо. Сильные отклонения заставляют искать сцепление, малую выборку или другие причины.

16

сочетаний генотипов содержит
решётка 4×4 при скрещивании $AaBb \times AaBb$.

Полная таблица помогает увидеть
все возможные комбинации гамет
и быстро определить и фенотипы,
и генотипы потомства.

Классическая схема решётки Пеннета
для дигибридного скрещивания

Классический пример: признаки гороха Менделя



Семена как наглядная модель

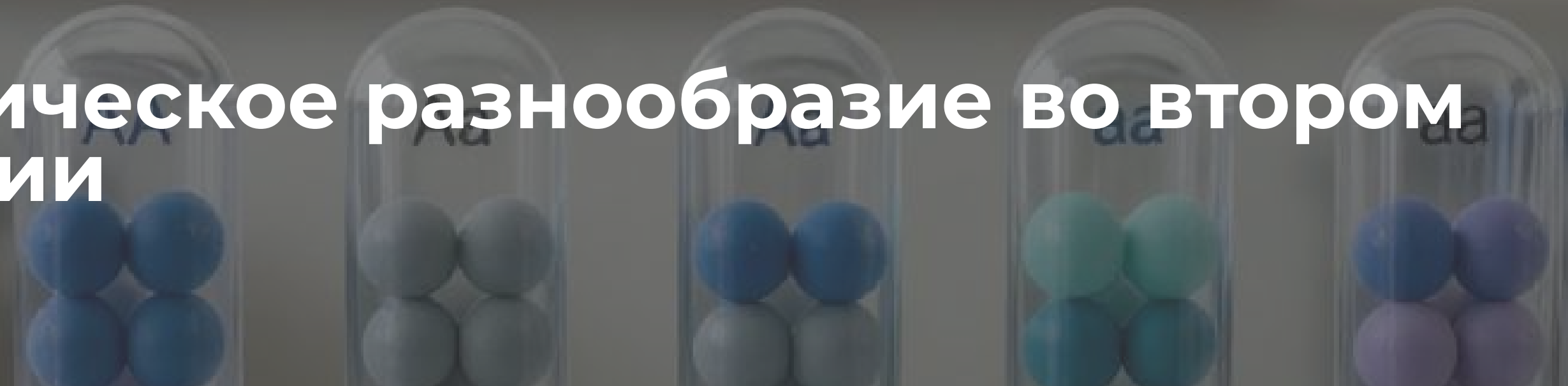
Мендель выбрал горох не случайно: у него легко различимы наследуемые признаки, а самоопыление позволяет получать чистые линии. На иллюстрации можно показать гладкие и морщинистые семена, а также жёлтые и зелёные варианты.



От единообразия к разнообразию

При скрещивании чистых линий все гибриды первого поколения были одинаковыми и проявляли доминантные признаки. Во втором поколении появились сразу четыре фенотипические комбинации, что стало важным доказательством независимого наследования двух признаков.

Генотипическое разнообразие во втором поколении



01

Всего девять генотипов

При скрещивании $AaBb \times AaBb$ во втором поколении возникает девять генотипических классов. Они отличаются сочетаниями аллелей, хотя часть из них может давать одинаковый фенотип.

02

Два аллеля — два уровня вариации

Для каждого гена возможны три варианта сочетаний: доминантная гомозигота, гетерозигота и рецессивная гомозигота. Комбинируясь между собой, они образуют множество наследственных вариантов потомства.

03

Почему фенотипов меньше

Разные генотипы нередко ведут к одному внешнему проявлению признака, если присутствует хотя бы один доминантный аллель. Поэтому число фенотипических групп оказывается меньше, чем число генотипических.

04

Значение для задач

Понимание генотипического разнообразия помогает не только подсчитывать потомство, но и видеть скрытую генетическую структуру популяции. Именно это требуется при решении школьных задач на дигибридное скрещивание.

Когда третий закон Менделя не выполняется

○ Сцепление генов

Если гены расположены близко в одной хромосоме, они чаще наследуются совместно. В таких случаях ожидать классическое расщепление 9:3:3:1 нельзя, потому что признаки передаются не независимо.

○ Роль кроссинговера

Кроссинговер может разрывать сцепление и создавать новые сочетания аллелей. Однако чем ближе гены друг к другу, тем реже происходит такой обмен участками и тем сильнее отклонение от закона

○ Влияние летальных аллелей

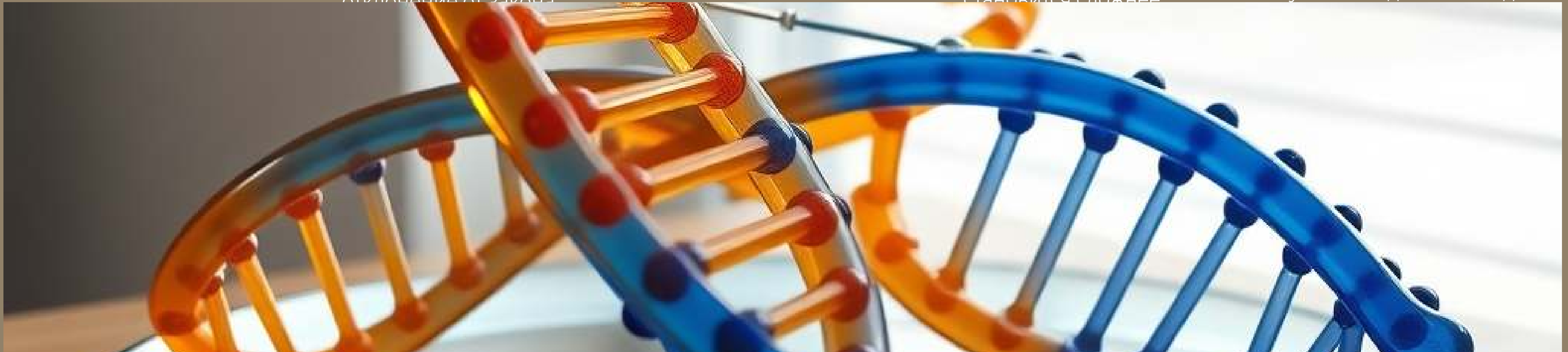
Иногда часть генотипов не доживает до наблюдаемого этапа развития из-за летальных сочетаний аллелей. Тогда соотношения потомства искажаются, хотя сами гены могут наследоваться по обычным правилам.

○ Взаимодействие генов

Один признак может зависеть сразу от нескольких генов, которые изменяют или маскируют действие друг друга. В этом случае фенотипическое расщепление становится сложнее

○ Практический вывод

Отклонение от ожидаемого результата не означает ошибку в задаче автоматически. Сначала нужно проверить сцепление, летальность и взаимодействие генов, а уже затем делать вывод



Мейоз как основа независимого расхождения

Профаза и подготовка

Перед делением хромосомы уже удвоены, а каждая пара гомологов содержит материнский и отцовский варианты генов. Это создаёт материальную основу для последующего независимого распределения.

Анафаза I и результат

Гомологичные хромосомы расходятся к полюсам, а затем после завершения мейоза образуются клетки с новыми комбинациями признаков. Так увеличивается наследственная изменчивость потомства.

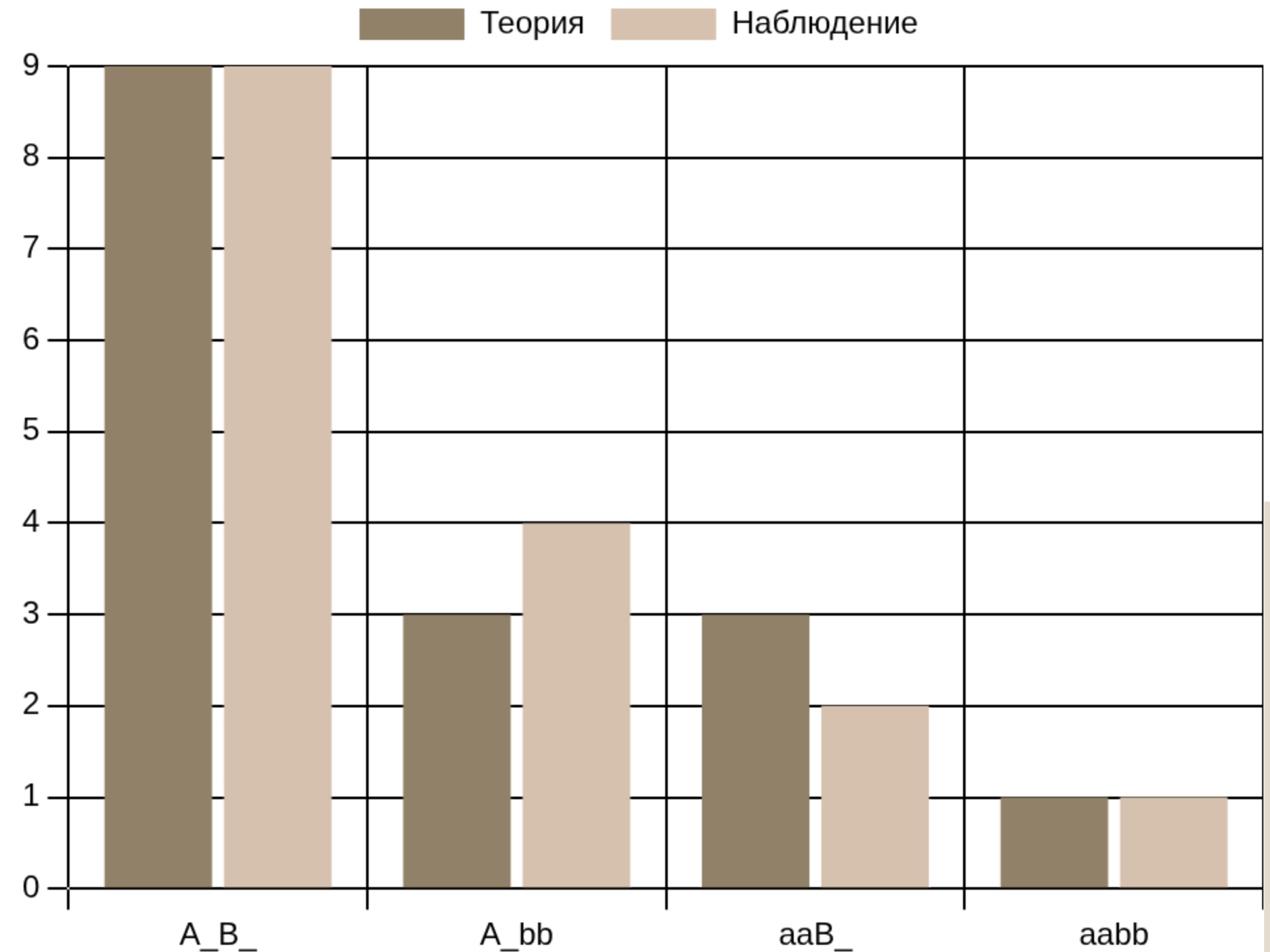
Метафаза I

Гомологичные хромосомы выстраиваются на экваторе клетки случайным образом. Именно эта случайность определяет, какие сочетания аллелей попадут в будущие гаметы.

Сравнение теоретического и наблюдаемого результата

Диаграмма показывает, как реальные данные могут немного отклоняться от идеального соотношения. Такие расхождения особенно заметны при небольшом числе особей или при скрытом сцеплении генов.

Близость столбцов подтверждает закон, а заметные различия требуют проверки условий скрещивания и качества выборки.



Схематические данные по модели дигибридного скрещивания $AaBb \times AaBb$

Типичные ошибки при решении задач на дигибридное скрещивание

Ошибка	Что делать
Генотип $\neq$ фенотип	Разделять понятия
Мало гамет	Проверять 4 типа
Нет умножения	Применять правило
Путают типы	Сначала выбрать модель
Сбитая решётка	Заполнять по шагам

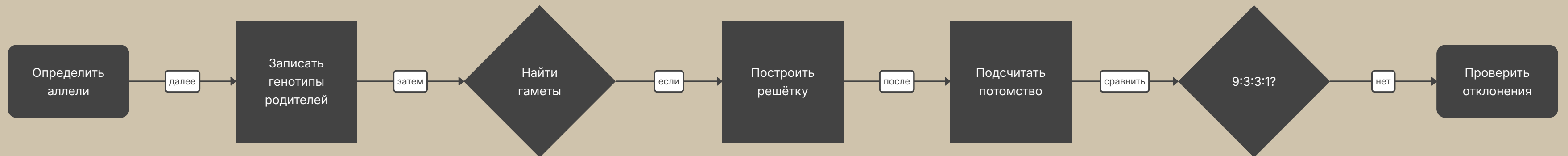
Таблица помогает быстро увидеть, где чаще всего ошибаются при анализе наследования двух признаков, и как выстроить рассуждение без потери логики.

Большинство ошибок связано не с вычислениями, а с неверной постановкой задачи и смешением генотипических и фенотипических уровней.

Обобщение типичных ошибок при решении школьных генетических задач

Алгоритм решения задачи на дигибридное скрещивание

Последовательность действий при анализе наследования двух признаков

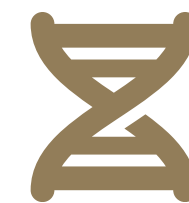


Практическое значение закона независимого наследования



Селекция растений

Закон помогает сочетать в одном потомстве полезные признаки, например урожайность, устойчивость к болезням и качество плодов. Это делает отбор родительских форм более осмысленным и результативным.



Прогноз потомства

Зная генотипы родителей, можно заранее оценить, какие комбинации признаков появятся у потомков. Такой прогноз экономит время и позволяет планировать скрещивания без лишних экспериментов.



Селекция животных

В животноводстве независимое наследование используют при подборе пар, чтобы совместить желательные свойства: продуктивность, выносливость, качество шерсти или потомства. Это повышает ценность разведения.



Учебные и научные задачи

Принцип лежит в основе многих школьных расчётов и служит отправной точкой для более сложного генетического анализа. Он учит видеть закономерность там, где случайность лишь кажется хаотичной.

Значение третьего закона Менделя для современной генетики

○ База классической генетики

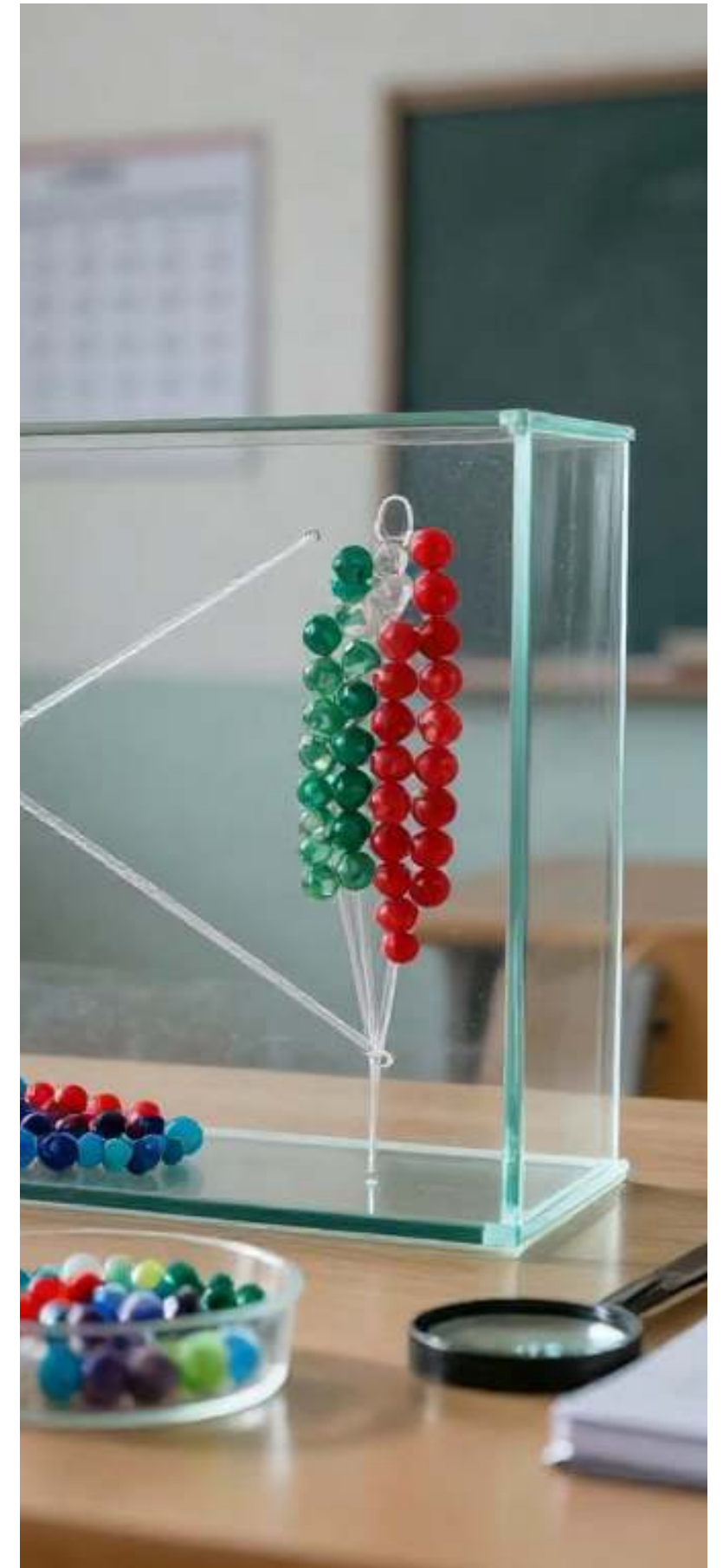
Третий закон Менделя остаётся удобной моделью для анализа наследования, когда гены расходятся независимо. Он помогает объяснять закономерности потомства и строить вероятностные прогнозы.

○ Применение в биологии человека

При изучении наследственных признаков человека закон используют как теоретическую основу для понимания передачи отдельных свойств. Он помогает интерпретировать результаты генетического анализа без упрощения реальных процессов.

○ Критерий для сравнения

Закон позволяет отличать независимое наследование от сцепленного. Если ожидаемое расщепление не подтверждается, исследователь ищет связь генов, кроссинговер или иные биологические причины.



Дигибридное скрещивание: ключ к пониманию наследования

Дигибридное скрещивание показывает, как два признака наследуются независимо и почему во втором поколении возникает соотношение 9:3:3:1. Этот закон делает генетику предсказуемой и помогает объяснять разнообразие живых организмов.