

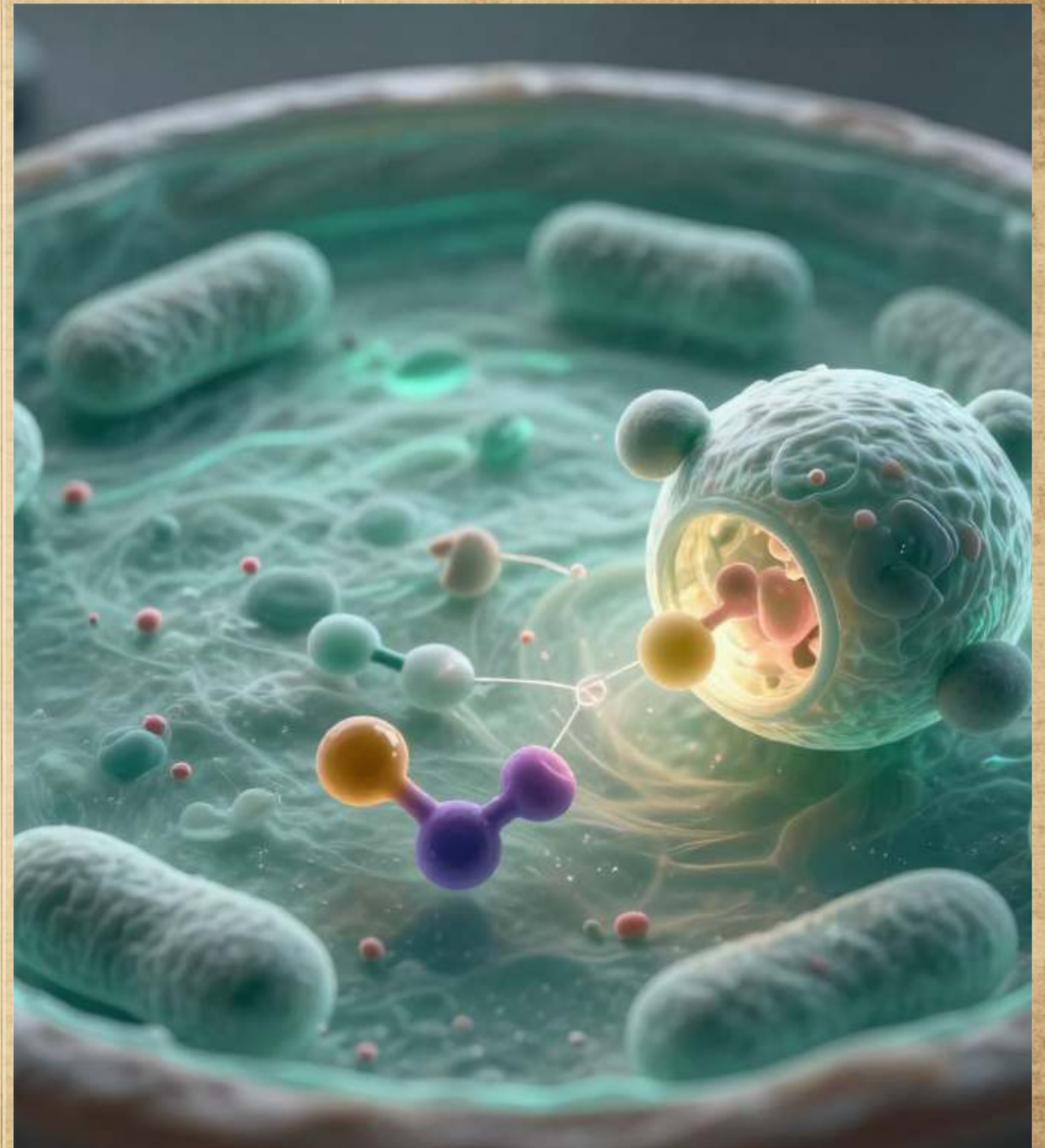
Ферменты — биологические катализаторы

Ускоряют реакции жизни, не расходуясь сами.



Зачем клеткам ферменты

В организме идут тысячи реакций, и без ферментов большинство из них было бы слишком медленным при обычной температуре. Эти белки поддерживают обмен веществ, получение энергии, синтез соединений и удаление продуктов распада, превращая биохимию в управляемый процесс.



Строение фермента и активный центр

Пространственная форма

Фермент работает не как линейная цепь аминокислот, а как точно свернутая молекула. Именно трехмерная структура определяет, какие субстраты смогут связаться и где пойдет реакция.

Активный центр

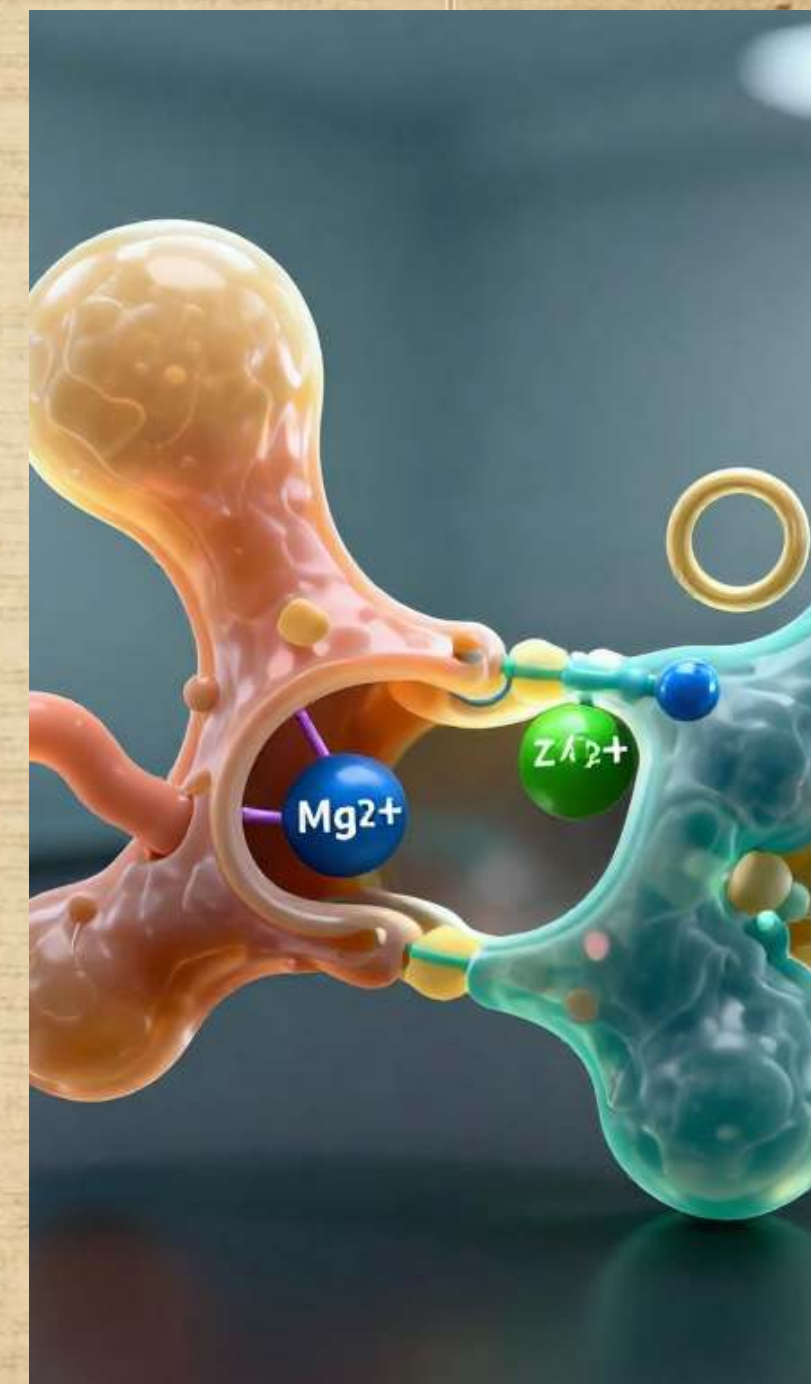
Это небольшой участок молекулы, где субстрат закрепляется и ориентируется для превращения в продукт. Форма и заряд активного центра обеспечивают избирательность действия фермента.

Кофакторы и коферменты

Некоторые ферменты проявляют активность только при наличии дополнительных компонентов. Ионы металлов, например Mg^{2+} или Zn^{2+} , а также органические коферменты помогают завершить каталитический цикл.

Модели взаимодействия

Связь фермента и субстрата часто объясняют моделями «ключ-замок» и «индуцированное соответствие». Первая подчеркивает точное совпадение форм, вторая — гибкость белковой молекулы.

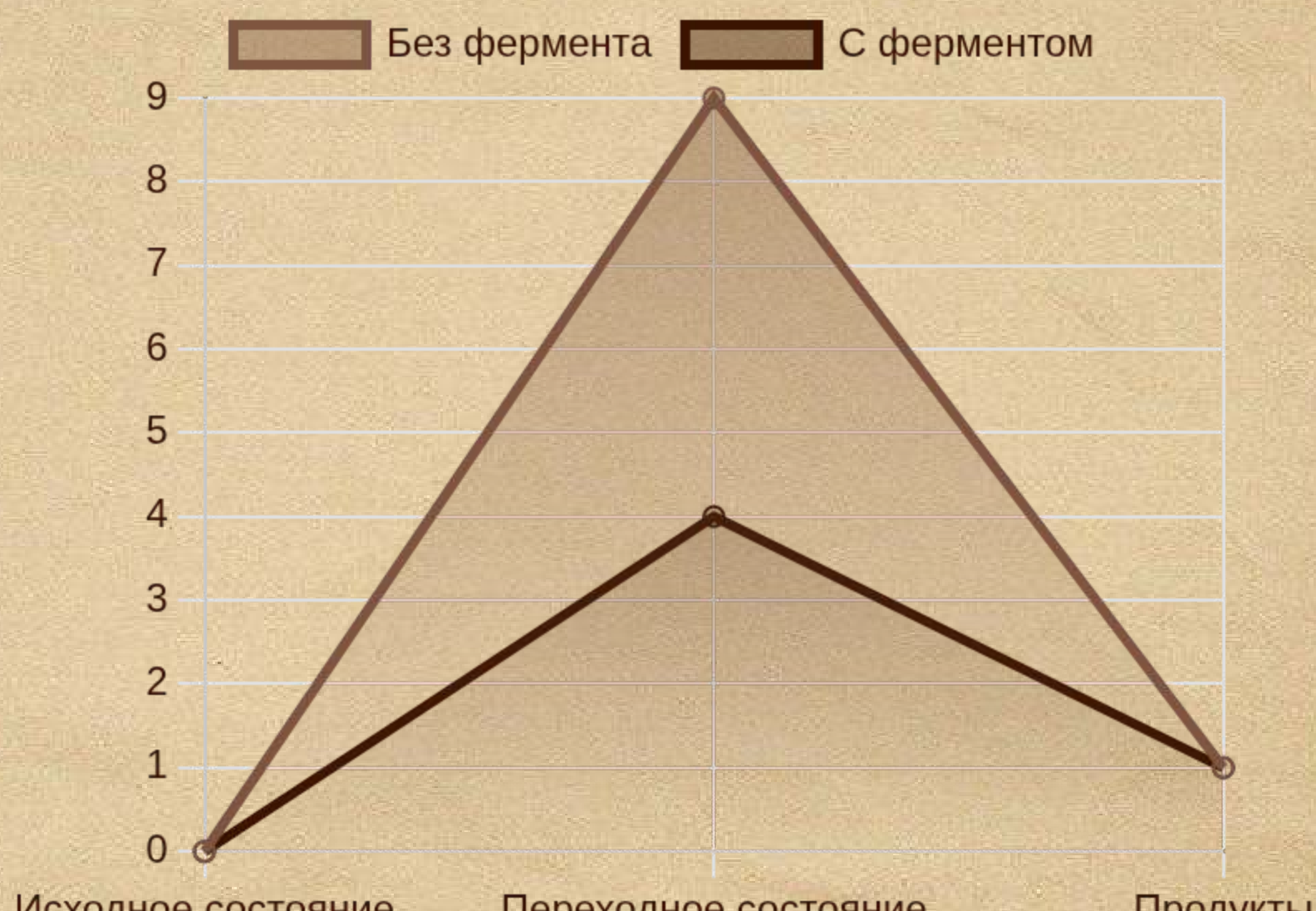


Как ферменты ускоряют реакции

Катализатор не меняет состав исходных веществ и продуктов, но делает путь превращения энергетически доступнее для клетки.

Снижение энергии активации объясняет ускорение реакции: фермент облегчает переход, не смещая химическое равновесие.

Учебная схема энергетического профиля реакции; обобщение данных школьной биохимии.



Основные свойства ферментов

1

Избирательность

Каждый фермент распознаёт определённый субстрат или тип химической связи. Благодаря этому реакции в клетке идут не хаотично, а строго по нужному биохимическому маршруту.

2

Зависимость от условий

Активность ферментов меняется при колебаниях температуры, pH и концентрации субстрата. Даже небольшое отклонение от оптимума может заметно замедлить процесс или полностью его остановить.

3

Уязвимость к перегреву

Большинство ферментов — белки, поэтому при сильном нагревании их пространственная структура нарушается. После денатурации активный центр теряет форму, и каталитическая функция исчезает.

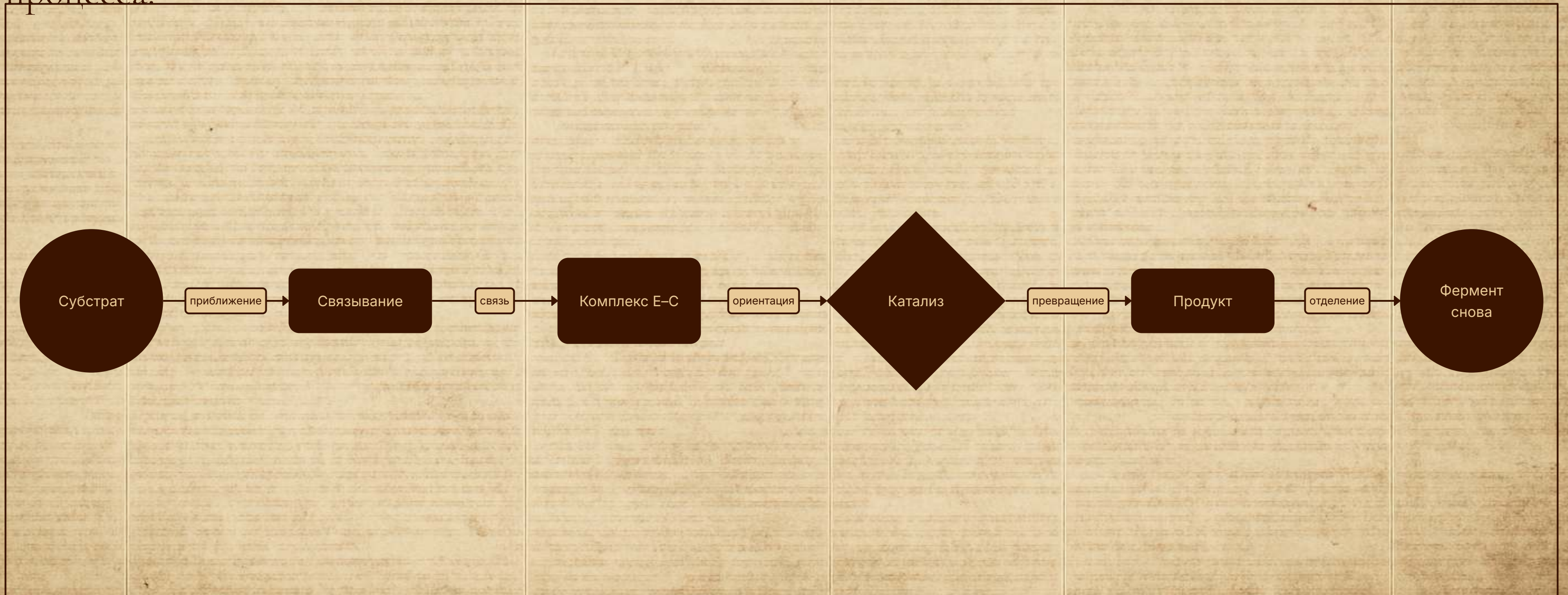
4

Роль дополнительных факторов

Для работы многих ферментов необходимы коферменты, ионы металлов, активаторы или отсутствие ингибиторов. Без этих компонентов молекула может оставаться неактивной, даже если сама белковая часть сохранена.

Путь ферментативной реакции

Схема отражает последовательность стадий и основные условия, влияющие на скорость процесса.



Классы ферментов и типы реакций

Шесть классов ферментов показывают, насколько разнообразны химические превращения в живой клетке.

Класс	Тип реакции
Оксидоредуктазы	ОВР
Трансферазы	Перенос групп
Гидролазы	Расщепление водой
Лигазы	Соединение молекул

Классификация строится по типу реакции, а не по источнику фермента, поэтому она удобна для описания метаболизма.

Международная классификация ферментов (ЕС), учебное обобщение

Ферменты пищеварения человека



Амилаза слюны
Начинает расщепление крахмала уже в ротовой полости, поэтому переваривание углеводов стартует до попадания пищи в желудок.



Пепсин желудка
Работает в кислой среде и расщепляет белки на более короткие фрагменты, подготавливая их к дальнейшей обработке в кишечнике.



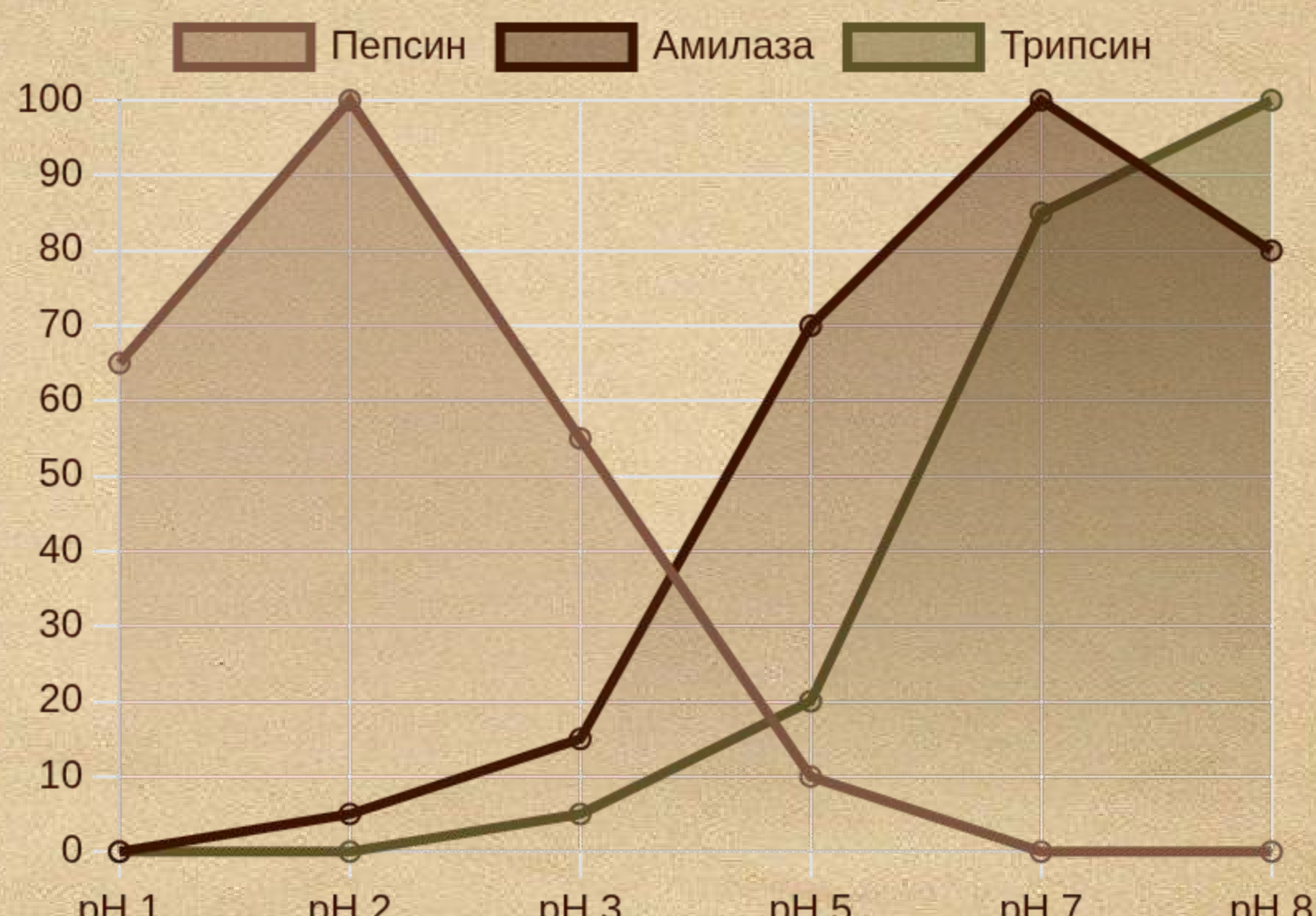
Трипсин поджелудочной железы
В тонкой кишке продолжает расщепление белков, а вместе с другими ферментами поджелудочного сока участвует в переваривании питательных веществ.



Липаза
Разрушает жиры до жирных кислот и глицерина, что делает возможным их всасывание и дальнейшее использование организмом.

Оптимум pH для разных ферментов

Диапазон pH влияет на заряд аминокислот в активном центре, поэтому один и тот же фермент может резко менять эффективность. У каждого фермента свой оптимум: он соответствует среде, в которой белок сохраняет нужную форму и максимальную активность. Учебные данные по зависимости активности ферментов от pH; обобщение для школьного курса биологии.



Специфичность ферментов на примерах

Лактаза и лактоза

Лактаза действует только на молочный сахар лактозу. Если этого фермента недостаточно, лактоза не расщепляется полностью, что приводит к непереносимости молока и связанным с ней симптомам.

Ферменты гликолиза

В клетке серия ферментов последовательно превращает глюкозу в пируват. Каждый этап выполняется своим белком, поэтому путь идёт строго по определённому механизму и обеспечивает получение энергии.



Announcement

Office

Office of the Secretary of the Department of the Interior, Washington, D.C. 20540. The Department of the Interior is pleased to announce that it is seeking applications for the position of Secretary of the Department of the Interior. The position is a full-time, permanent position and is responsible for the day-to-day operations of the Department. The successful candidate will be responsible for the management of the Department's budget, personnel, and administrative affairs. The position is a high-level position and requires a minimum of a Master's degree in a related field. The position is open to all qualified individuals, regardless of race, gender, or ethnicity. Applications should be submitted to the Department of the Interior, Office of the Secretary, Washington, D.C. 20540. The deadline for applications is 12:00 noon, December 15, 2023. For more information, please contact the Department of the Interior, Office of the Secretary, at (202) 245-5000.

Office of the Secretary of the Department of the Interior, Washington, D.C. 20540. The Department of the Interior is pleased to announce that it is seeking applications for the position of Secretary of the Department of the Interior. The position is a full-time, permanent position and is responsible for the day-to-day operations of the Department. The successful candidate will be responsible for the management of the Department's budget, personnel, and administrative affairs. The position is a high-level position and requires a minimum of a Master's degree in a related field. The position is open to all qualified individuals, regardless of race, gender, or ethnicity. Applications should be submitted to the Department of the Interior, Office of the Secretary, Washington, D.C. 20540. The deadline for applications is 12:00 noon, December 15, 2023. For more information, please contact the Department of the Interior, Office of the Secretary, at (202) 245-5000.

Office of the Secretary of the Department of the Interior, Washington, D.C. 20540. The Department of the Interior is pleased to announce that it is seeking applications for the position of Secretary of the Department of the Interior. The position is a full-time, permanent position and is responsible for the day-to-day operations of the Department. The successful candidate will be responsible for the management of the Department's budget, personnel, and administrative affairs. The position is a high-level position and requires a minimum of a Master's degree in a related field. The position is open to all qualified individuals, regardless of race, gender, or ethnicity. Applications should be submitted to the Department of the Interior, Office of the Secretary, Washington, D.C. 20540. The deadline for applications is 12:00 noon, December 15, 2023. For more information, please contact the Department of the Interior, Office of the Secretary, at (202) 245-5000.

Office of the Secretary of the Department of the Interior, Washington, D.C. 20540. The Department of the Interior is pleased to announce that it is seeking applications for the position of Secretary of the Department of the Interior. The position is a full-time, permanent position and is responsible for the day-to-day operations of the Department. The successful candidate will be responsible for the management of the Department's budget, personnel, and administrative affairs. The position is a high-level position and requires a minimum of a Master's degree in a related field. The position is open to all qualified individuals, regardless of race, gender, or ethnicity. Applications should be submitted to the Department of the Interior, Office of the Secretary, Washington, D.C. 20540. The deadline for applications is 12:00 noon, December 15, 2023. For more information, please contact the Department of the Interior, Office of the Secretary, at (202) 245-5000.

Office of the Secretary of the Department of the Interior, Washington, D.C. 20540. The Department of the Interior is pleased to announce that it is seeking applications for the position of Secretary of the Department of the Interior. The position is a full-time, permanent position and is responsible for the day-to-day operations of the Department. The successful candidate will be responsible for the management of the Department's budget, personnel, and administrative affairs. The position is a high-level position and requires a minimum of a Master's degree in a related field. The position is open to all qualified individuals, regardless of race, gender, or ethnicity. Applications should be submitted to the Department of the Interior, Office of the Secretary, Washington, D.C. 20540. The deadline for applications is 12:00 noon, December 15, 2023. For more information, please contact the Department of the Interior, Office of the Secretary, at (202) 245-5000.

Office of the Secretary of the Department of the Interior, Washington, D.C. 20540. The Department of the Interior is pleased to announce that it is seeking applications for the position of Secretary of the Department of the Interior. The position is a full-time, permanent position and is responsible for the day-to-day operations of the Department. The successful candidate will be responsible for the management of the Department's budget, personnel, and administrative affairs. The position is a high-level position and requires a minimum of a Master's degree in a related field. The position is open to all qualified individuals, regardless of race, gender, or ethnicity. Applications should be submitted to the Department of the Interior, Office of the Secretary, Washington, D.C. 20540. The deadline for applications is 12:00 noon, December 15, 2023. For more information, please contact the Department of the Interior, Office of the Secretary, at (202) 245-5000.

$\frac{1}{2} V_{max}$

достигается, когда
концентрация
субстрата равна K_m .

Уравнение Михаэлиса—Ментен;
учебная биохимия

Этот показатель удобен
для сравнения ферментов:
чем меньше K_m , тем сильнее
их сродство к субстрату.

laking
Ace

Making A

laking
Ace

laking
Ace

laking
Ace

laking
Ace

laking
Ace

laking
Ace

Bus

Trade Rev

They

Issue

THE PLAN

Факторы, влияющие на активность ферментов

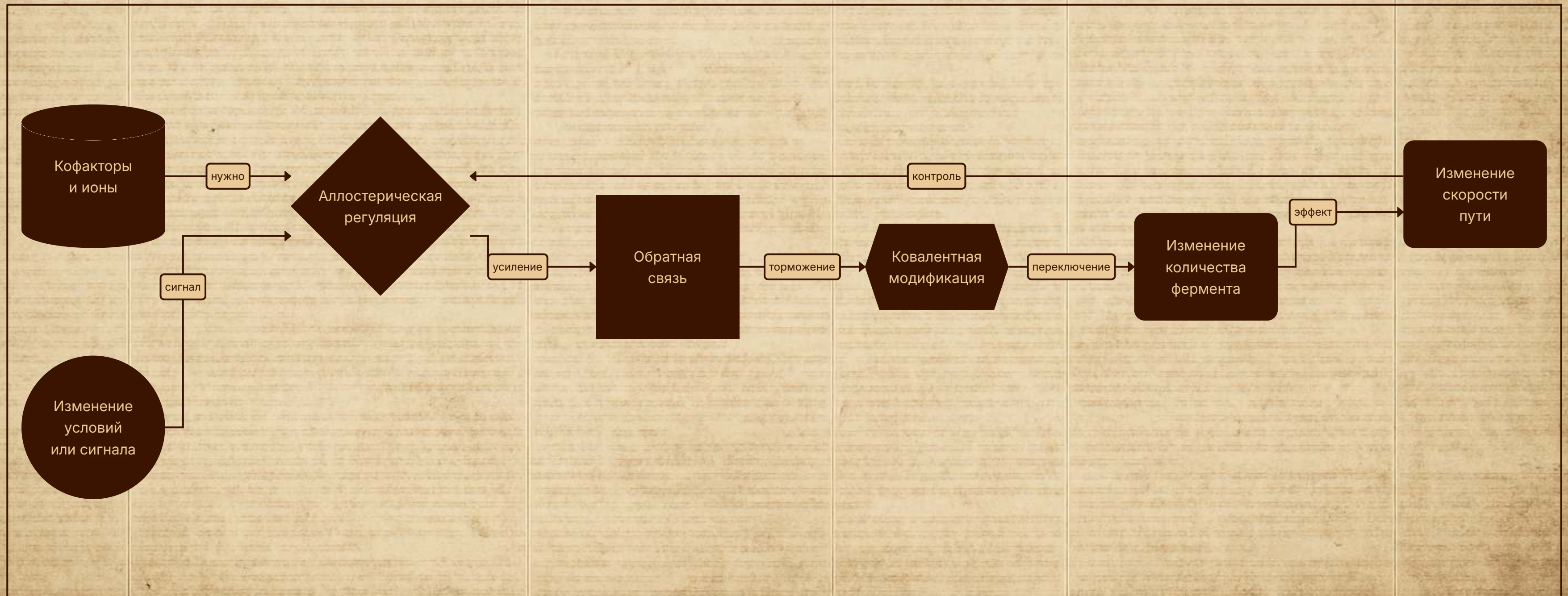
Фактор	Действие	Результат
Температура	Сначала ускоряет	При перегреве — денатурация
рН	Меняет заряд центра	Сдвиг снижает активность
Ингибиторы / активаторы	Связываются с ферментом	Торможение или усиление реакции

Основные условия среды могут как усиливать, так и резко снижать работу фермента.

Активность ферментов определяется не одним, а несколькими условиями сразу: температура и рН задают «рабочий диапазон», а ингибиторы, активаторы и кофакторы тонко регулируют скорость реакции.

Как регулируется работа ферментов в клетке

Схема отражает основные механизмы регуляции ферментативных путей в клетке.



Ингибирование ферментов и его значение



Конкурентное торможение

Молекула-ингибитор занимает активный центр и мешает субстрату присоединиться. Такой эффект особенно заметен при высокой концентрации субстрата, когда конкуренция за центр становится решающей.



Неконкурентное связывание

Ингибитор прикрепляется к участку вне активного центра и меняет форму фермента. В результате субстрат может не распознаваться или реакция идёт значительно медленнее.



Обратимые и необратимые формы

Часть ингибирования снимается после удаления вещества, а часть вызывает стойкое повреждение фермента. Это различие важно для понимания токсичности и механизма действия лекарств.



Значение

для медицины
Многие препараты работают именно как ингибиторы ферментов патогенов или человека. Такой подход позволяет точно влиять на биохимические пути и снижать нежелательные эффекты.

Температура и активность фермента

Температурная зависимость помогает объяснить, почему даже небольшое отклонение от нормы заметно влияет на обмен веществ и самочувствие организма. Для ферментов человека оптимум близок к температуре тела: при нагревании выше него активность падает из-за денатурации, а при охлаждении — временно снижается.

Схематизированная температурная зависимость активности ферментов человека; учебные данные



Ферменты в промышленности и быту

Стирка и чистящие средства

Протеазы, амилазы и липазы помогают удалять белковые, крахмальные и жировые загрязнения при более низкой температуре, сокращая расход энергии и уменьшая нагрузку на ткани.

1



Пищевая промышленность

Ферменты улучшают хлеб, сыр, соки и молочные продукты: ускоряют созревание, повышают выход сырья и помогают получать стабильный вкус без жёсткой химической обработки.

2



Биотехнология и экология

В технологических процессах ферменты работают мягко и избирательно, поэтому их использование часто экологичнее традиционных методов, а побочные продукты образуются в меньшем количестве.

3



Примеры ферментов и их биологические роли

Таблица показывает, что один фермент обычно связан с конкретной задачей в клетке или организме.

Ферменты обеспечивают ключевые этапы жизни клетки: защиту, копирование наследственной информации, реализацию генетической программы и получение энергии.

Фермент	Реакция	Значение
Каталаза	Разложение H_2O_2	Защита клетки
ДНК-полимераза	Синтез ДНК	Удвоение генома
РНК-полимераза	Синтез РНК	Реализация генов
АТФ-синтаза	Образование АТФ	Энергия клетки

Учебная биология; общепринятые функции ферментов

Наследственные заболевания, связанные с ферментами

Фенилкетонурия

При этом заболевании нарушается превращение фенилаланина, поэтому его избыток опасен для нервной системы. Ранняя диагностика особенно важна, так как питание помогает предотвратить тяжёлые последствия.

Лактазная недостаточность

Недостаток лактазы затрудняет расщепление лактозы, из-за чего после молочных продуктов могут появляться вздутие, боли и диарея. Симптомы уменьшаются при ограничении лактозы.

Болезнь Тея–Сакса

Наследственный дефект фермента приводит к накоплению липидов в нервных клетках. Это тяжёлое заболевание демонстрирует, насколько одна нарушенная реакция может повлиять на работу целой системы.

Диагностика и помощь

Для выявления ферментных нарушений используют анализы крови, биохимические тесты и генетические исследования. Лечение нередко включает диету, ферментную или заместительную терапию.

Ферменты в современной науке и медицине



ПЦР и амплификация
ДНК-полимеразы позволяют многократно копировать нужный фрагмент ДНК. Благодаря этому ПЦР стала одним из главных инструментов диагностики, генетического анализа и криминалистики.



Рестриктазы
Эти ферменты разрезают ДНК в строго определённых участках. Их используют в генной инженерии, чтобы собирать рекомбинантные молекулы и изучать структуру генома.



Диагностика заболеваний
Ферментативные реакции лежат в основе многих лабораторных тестов и биосенсоров. Они помогают выявлять вещества в малых концентрациях и быстро оценивать состояние организма.



Сельское хозяйство и биотехнология
Ферменты применяют для отбора и анализа наследственного материала, улучшения технологий производства и контроля качества. Это делает биотехнологические процессы более точными и эффективными.



Ферменты: невидимые механизмы жизни

Ферменты обеспечивают скорость, точность и управляемость биохимических процессов, без которых невозможны обмен веществ, рост и наследственность. Их изучение соединяет биологию, медицину и современные технологии.

THE PLAN