



Урок 59. Кривая титрования

Листы ученика. Ответы и примечания учителю — в отдельной части.

Естественно-научный эксперимент · 9 класс

Урок 59 из 64 · 45 минут · Модуль «Количественный химический анализ»

Уровень: Исследовательский для 9 класса: строим модель, проверяем расчёт и объясняем границы вывода. Нужны проценты, среднее и чтение таблиц; новые понятия разобраны на примере.

Вся программа курса

Индикатор уже сменил цвет. Означает ли это, что реагенты смешаны точно в стехиометрическом отношении?

Проверяемый результат:

По учебной кривой выбрать индикатор для заданного допуска объёма и отличить точку эквивалентности от наблюдаемой конечной точки.

01. Проблемная ситуация

0-5 минут · Вопрос и проверяемое предположение

Для учебного титрования известен расчётный объём эквивалентности 20,00 мл. Два индикатора закончили переход при 19,60 и 20,10 мл. За 2 минуты выберите более близкий результат, за 3 объясните, почему наблюдение цвета и расчётная эквивалентность имеют разные определения.

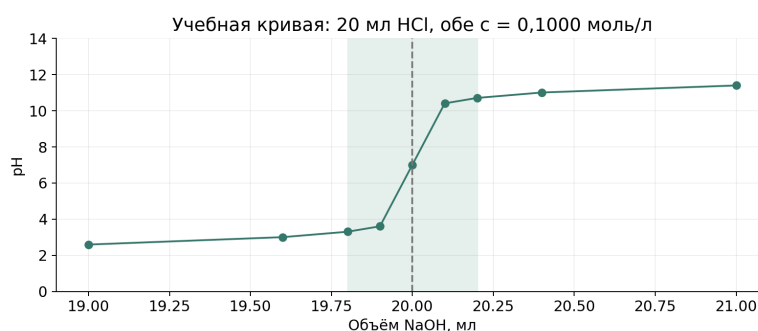
02. Объяснение и разобранный пример

5-14 минут · Понятия, расчёт и ограничения

Точка эквивалентности определяется количеством реагентов и уравнением реакции. Конечная точка - наблюдаемый признак остановки, например заданная окраска индикатора. Разница их объёмов создаёт индикаторную ошибку. pH 7 не является универсальной точкой эквивалентности: это подходит данной идеальной системе сильной кислоты и сильного основания при 25 °С.

Здесь 20,00 мл HCl с $c = 0,1000$ моль/л титруют NaOH той же c ; реакция $\text{HCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$, отношение 1:1. Эквивалентность при 20,00 мл. При 19,80 мл избыток кислоты 0,020 ммоль в 39,80 мл раствора, pH около 3,30. После 20,20 мл избыток основания 0,020 ммоль в 40,20 мл, pH около 10,70. Скачок не означает мгновенный переход всей шкалы при одном отсчёте.

Пример выбора: если допустимый объём остановки 19,80-20,20 мл, индикатор с переходом pH 4-8 меняет окраску внутри скачка. Для оценки используем все точки, границы перехода и выбранный признак остановки; нельзя выбирать только по цвету.



Идеализированная кривая HCl-NaOH при 25 °С. Вертикальная линия - эквивалентность 20,00 мл; выделенный интервал объёма 19,80-20,20 мл - учебный допуск. Точки взяты из таблицы.



03. Практика 1: данные и доказательство

14-25 минут · Первая серия

V NaOH, мл	pH
19,00	2,59
19,60	3,00
19,80	3,30
19,90	3,60
20,00	7,00
20,10	10,40
20,20	10,70
20,40	11,00
21,00	11,39

Условные индикаторы: I - переход pH 2-3; II - 4-8; III - 9-10. Допуск по объёму 19,80-20,20 мл. За 3 минуты нанесите данные, за 3 отметьте интервалы индикаторов, за 3 выберите подходящие, за 2 обоснуйте исключение. Между соседними точками считайте изменение монотонным; точный объём без дополнительных точек не вычисляйте.

04. Практика 2: перенос на новые условия

25-33 минуты · Самостоятельный перенос

Для той же кривой допуск ужесточили до 19,95-20,05 мл. За 3 минуты проверьте, достаточно ли прежней таблицы для гарантированного выбора, за 3 перечислите дополнительные объёмы измерения, за 2 сформулируйте, что можно и нельзя заключить. Продукт - план уточнения из двух точек и критерий.

05. Обсуждение: аргумент и альтернатива

33-40 минут · Аргумент и обоснованный вывод

Команда предлагает заменить индикатор датчиком pH и объявить анализ безошибочным. За 2 минуты найдите слишком сильное слово, за 3 назовите две оставшиеся причины ошибки, за 2 предложите контроль. Опирайтесь на объёмные отсчёты и калибровку датчика.

06. Индивидуальная проверка

40-45 минут · Собственное решение

Эквивалентность 20,00 мл, конечная точка 20,10 мл. Найдите разность объёмов и относительное отклонение от 20,00 мл; определите знак ошибки рассчитанной концентрации кислоты при использовании 20,10 мл и назовите различие двух точек. 5 минут; 4 балла.



Ответы, критерии и примечания учителю

Учителю: подготовка и план на 45 минут

Готовая таблица pH, схема кривой, интервалы перехода трёх условных индикаторов, калькулятор. Предпосылки: кислота, основание, чтение графика. pH вводится как шкала среды; логарифмические вычисления не требуются. Реальных кислот и индикаторов нет. Данные - идеализированная серия титрования сильной кислоты сильным основанием при 25 °С.

Минуты	Работа	Проверяемый продукт
0-5	Проблемная ситуация	Вопрос и проверяемое предположение
5-14	Понятия и разобранный пример	Пояснение величин и метода
14-25	Практика 1	Расчёт, схема или протокол по данным
25-33	Практика 2	Решение на новых условиях
33-40	Обсуждение	Аргумент, альтернатива и вывод
40-45	Индивидуальная проверка	Самостоятельный ответ и исправление

Все тексты, рисунки и данные включены. Без регистрации: распечатайте учебную часть PDF или используйте доску. Ответы открывайте после самостоятельной попытки. Минуты включают чтение, записи и переходы. В конце соберите индивидуальную работу. 0-1 балл: разобрать пример повторно; 2-3: уточнить пропущенное звено; 4: объяснить ограничение модели. Это обратная связь, не обязательная школьная отметка.

Разбор практики 1 и критерии

II и III полностью переходят в пределах заданного допуска. II лежит между pH 3,60 при 19,90 мл и 10,40 при 20,10 мл; III - между 20,00 и 20,10 мл. I завершает переход уже около 19,60 мл, раньше допустимого. По редким точкам нельзя установить точные объёмы начала и конца каждого перехода; достаточно локализовать интервалы.

Ответ и объяснение практики 2

Прежней таблицы недостаточно, чтобы по ней гарантировать весь переход II или III внутри нового допуска: соседние измерения 19,90 и 20,10 мл шире его. Нужны pH при 19,95 и 20,05 мл, а для точного правила остановки - измерения вокруг нужной окраски. Если pH на нижней границе ниже начала перехода, а на верхней выше его конца, весь переход локализован внутри при монотонности. Это не утверждение, что индикатор физически непригоден; не хватает разрешения данных.

Опора для обсуждения

Датчик может уточнить кривую, но остаются калибровка pH, объёмная погрешность, шаг добавления, перемешивание и время установления показаний. Контроль: проверка датчика по буферам и согласованный шаг в области скачка, повторные титрования. Метод меняет характер ошибок, а не отменяет их.

Ключ и критерии индивидуальной работы

Разность +0,10 мл; относительное отклонение +0,50%. При известной с основания расчётная с кислоты будет завышена на 0,50% в модели 1:1. Эквивалентность - стехиометрия, конечная точка - наблюдаемый критерий остановки.



07. Соответствие исходной программе

Пункт программы → действие ученика → проверяемый результат

Пункт программы	Действие ученика	Проверяемый результат
Кисотно-основное титрование в водном растворе	Прочитать кривую и локализовать скачок	Различить эквивалентность и остановку
Индикаторы кислотно-основного титрования	Сопоставить переход с допуском	Выбор с указанием разрешения данных

Опора - раздел «Количественный химический анализ» опубликованной программы на 64 часа. Это самостоятельный урок на 45 минут. Подробный сценарий, распределение времени и учебные числовые серии - методическая разработка. Предоставленные данные не выдаются за опыт, проведённый авторами или этим классом.

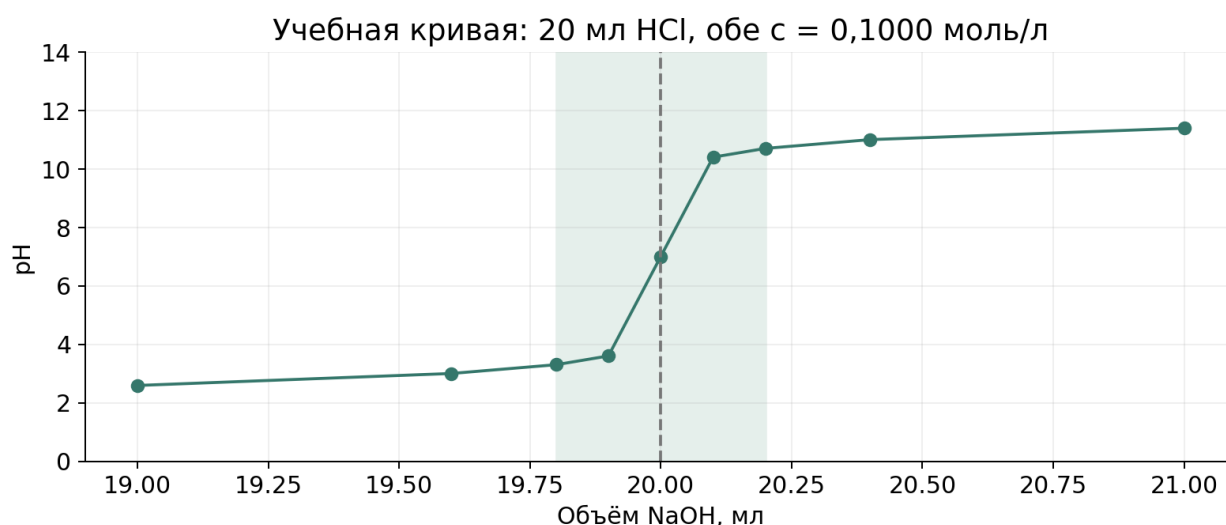
[Исходная программа](#)

Источники и права на изображения

[OpenStax: кривые кислотно-основного титрования](#)

Источники проверены 16.10.2026. Числовые наборы - учебные данные, не результаты проведённых авторами опытов. Схемы и графики подготовлены порталом «Школы России». Ответы и примечания учителю в PDF выделены отдельно.

Иллюстрация: увеличенная копия для печати



Идеализированная кривая HCl-NaOH при 25 °С. Вертикальная линия — эквивалентность 20,00 мл; выделенный интервал объёма 19,80–20,20 мл — учебный допуск. Точки взяты из таблицы.