



Задача №3: «Трансмутация»
Команда: «Карбораны»

Условие задачи:

Если поместить медную монету в раствор сульфата цинка, **добавить туда цинковых гранул** и полученную смесь нагреть, то через какое-то время монета покроется слоем цинка. От каких **факторов** будет зависеть толщина цинкового покрытия, получаемого таким способом, и почему? Какую **максимальную толщину слоя цинка** можно получить таким методом? Можно ли аналогичным образом покрыть цинком стальной гвоздь чтобы защитить его от коррозии?

Цель: Объяснить наблюдаемое явление оцинкования и выявить факторы от которых оно зависит.

Задачи:

1. Выявить факторы, влияющие на толщину цинкового покрытия, получаемого таким образом и объяснить, почему они влияют.
2. Определить максимальную толщину цинкового покрытия, получаемого таким методом.
3. Определить, можно ли покрыть аналогичным методом стальной гвоздь для защиты его от коррозии.

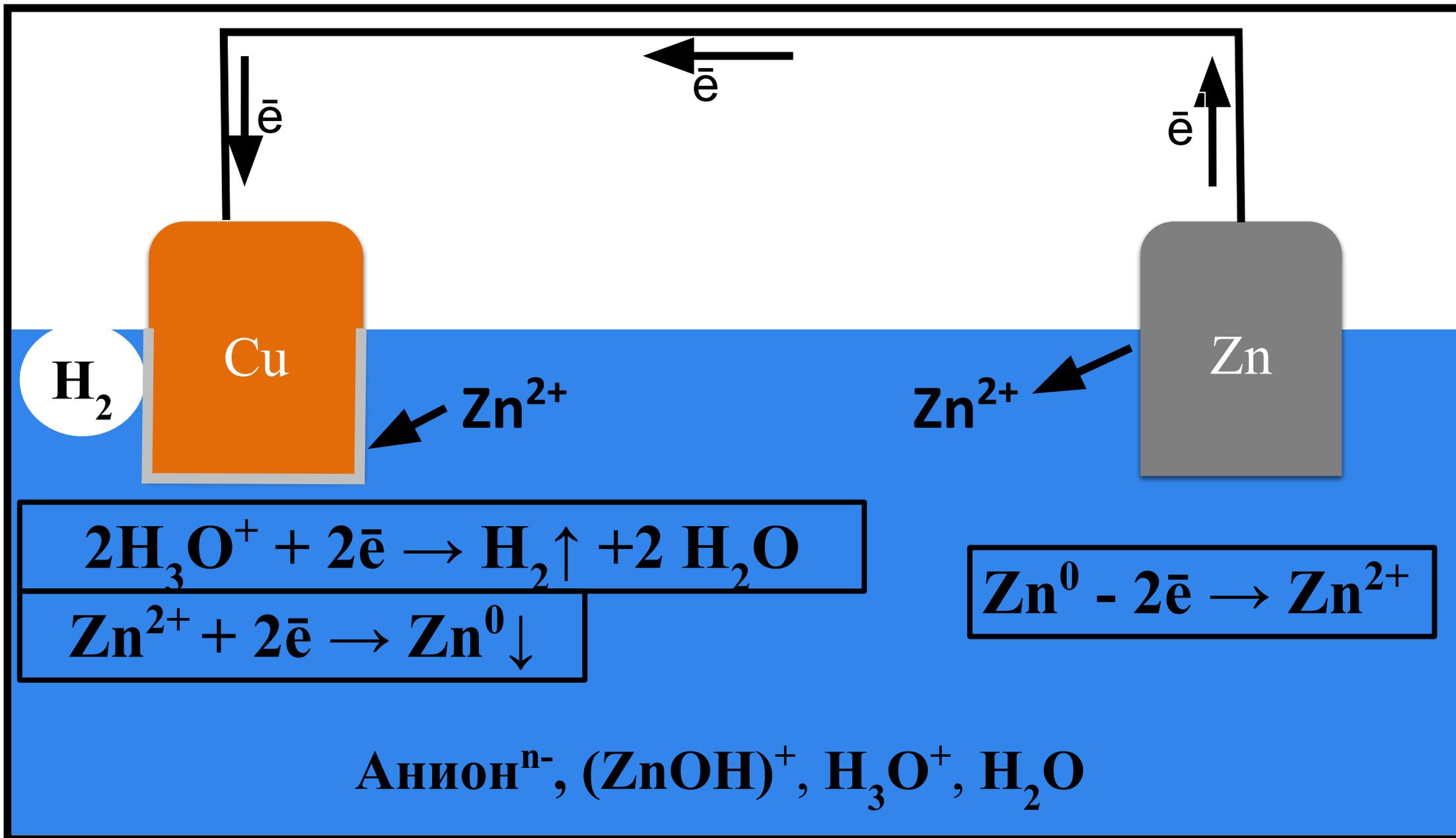
Ограничения

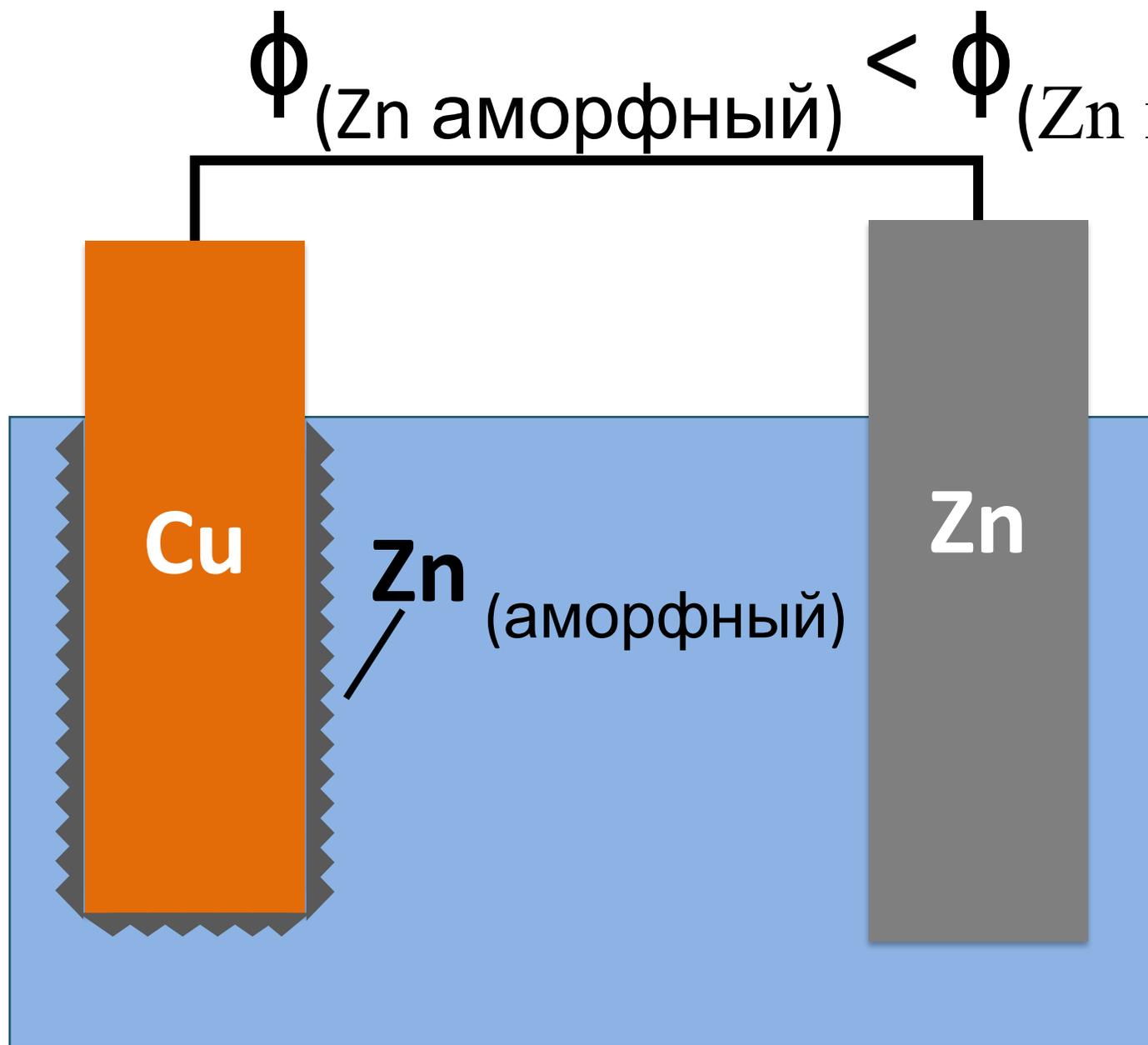
1. Покрытие цинком в объяснении процесса будем считать сплошным [1]
2. Мы покрываем цинком монокристалл меди.
3. Медная монета = чистая медь
4. Сталь = чистое железо.

[1] Покрытие - относительно тонкий **сплошной** слой материала, наносимого с целью предотвращения коррозии, противодействия высокотемпературному воздействию, сопротивления износу для смазки или других целей.

«Металлы и сплавы. Справочник.» Под редакцией Ю.П. Солнцева; НПО "Профессионал", НПО "Мир и семья"; Санкт-Петербург, 2003 г.

Причина выделения цинка на меди





Вывод: процесс не идет

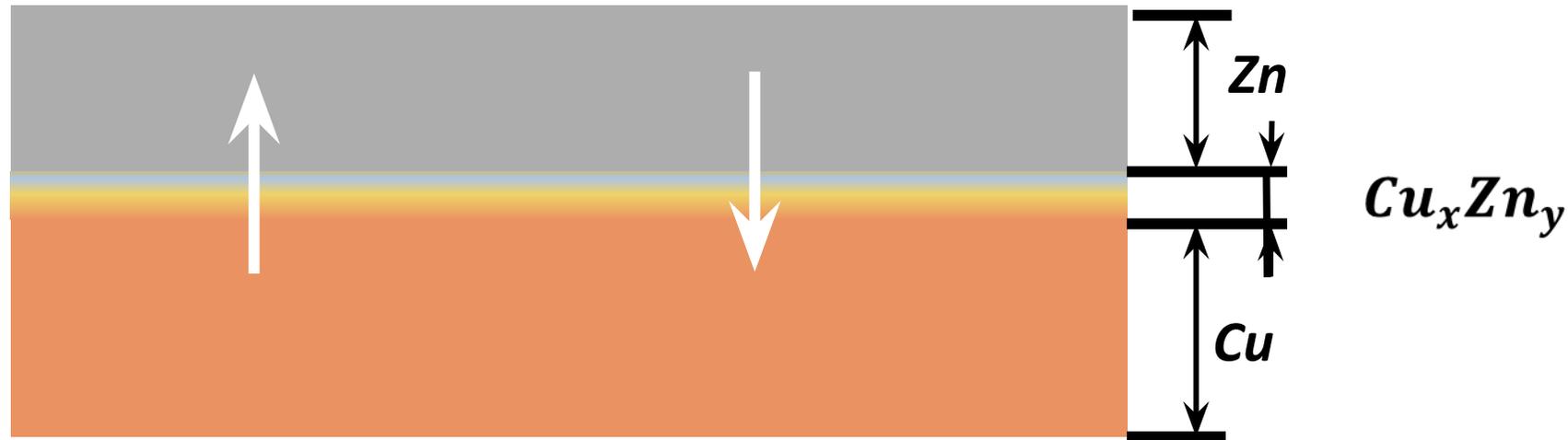
Противоречие:

| Кажется | Реально наблюдаем | Доказываем | Вывод |
|--------------|----------------------------|----------------------|-------------|
| Цинк на меди | Серебристый цвет электрода | Цинк фаза | ЭТО НЕ ЦИНК |

Максимальная толщина
ЦИНКОВОГО покрытия
равна

0!

Диффузионная модель



За время $t \approx 47,6$ мин количество цинка равное $6,17637 \times 10^{-5}$ моль продиффундирует на глубину равную 10^{-7} м, через площадь равную 1 м^2 . [3]

Факторы, влияющие на выделение цинка

1. $\vartheta_{\text{процесса}} = f(C_{\text{Zn}^{2+}} \text{ в р-ре})$

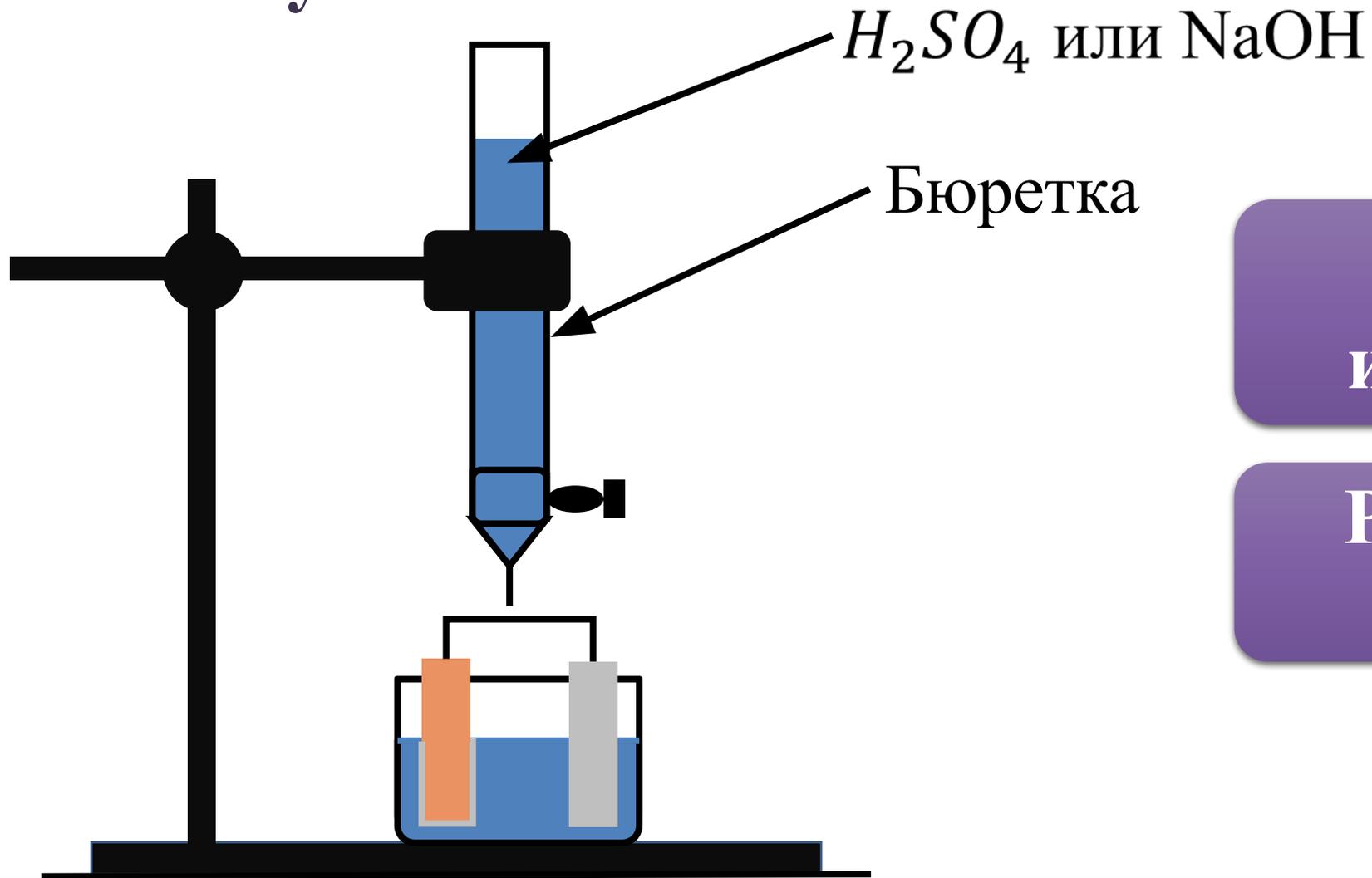
2. $\vartheta_{\text{процесса}} = f(T),$

где $T \in [T_{\text{кристаллизации}}; T_{\text{кипения р-ра}}]$

3. $\text{Возможность процесса} = f(\text{pH})$

Практическая часть

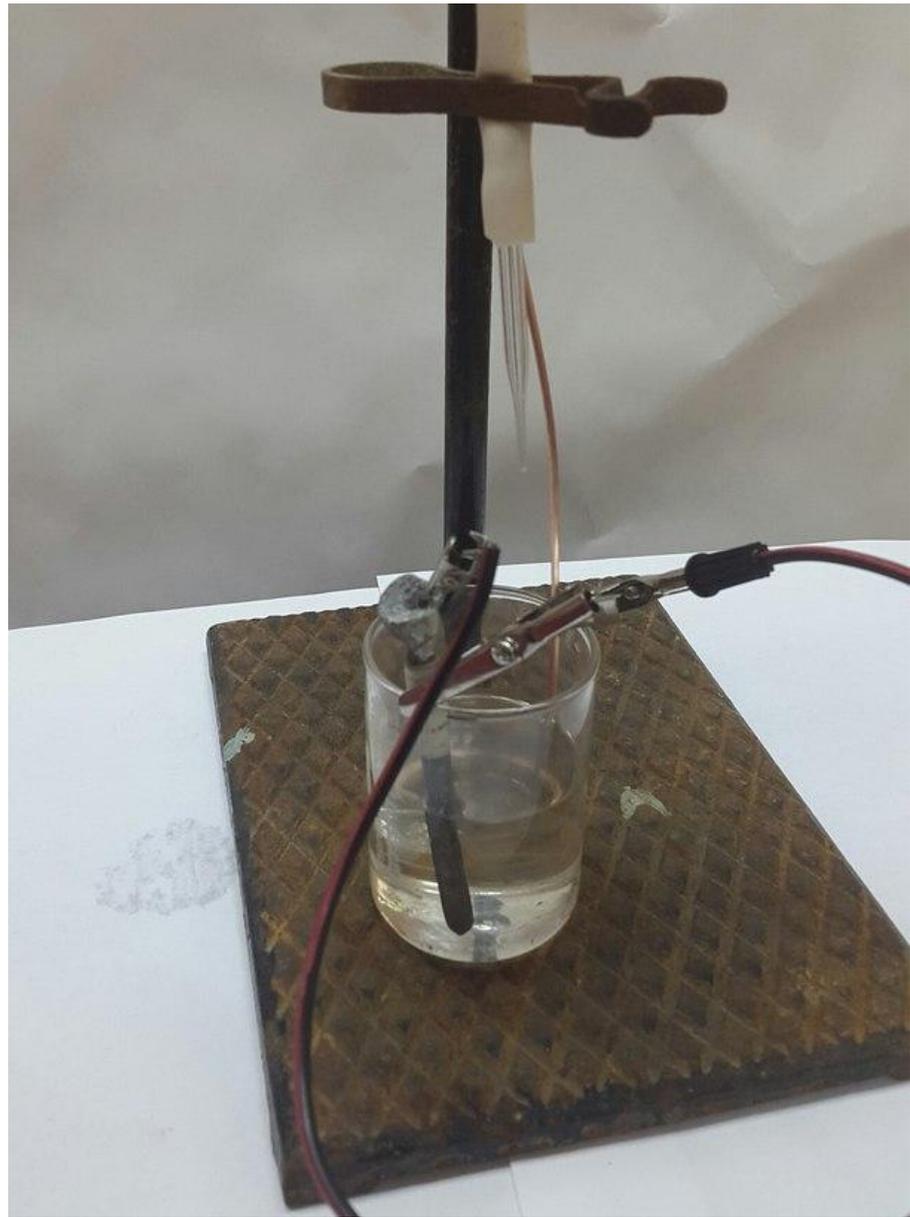
Схема установки:



Прибор для
измерения pH

PASCO Sensor

PS - 2102



Возможность процесса = f(pH)

Методика опыта

1. $C(\text{ZnSO}_4) = 3,39$ моль/л – насыщенный раствор сульфата цинка при $25\text{ }^\circ\text{C}$;
2. $t_{\text{p-ра}} = 68-70\text{ }^\circ\text{C}$; $V = 25$ мл
3. $pH_{\text{p-ра начальный}} = 2,4$

Возможность процесса = f(pH)

Первый эксперимент

$C(\text{ZnSO}_4) = 3,39$ моль/л – насыщенный
раствор сульфата цинка при 25 С°;

$pH_{p-ra} = 2,4$ при $t = 70^{\circ}\text{C}$ (в результате гидролиза)

Результат: Процесс идет.

Возможность процесса = f(pH)

Второй эксперимент

$C(\text{ZnSO}_4) = 3,39$ моль/л – насыщенный
раствор сульфата цинка при 25 С°;

$pH_{p-ra} = 0,8$ (добавляем H_2SO_4 92%)

Результат: Процесс идет.

Возможность процесса = f(pH)

Третий эксперимент

$C(\text{ZnSO}_4) = 3,39$ моль/л – насыщенный
раствор сульфата цинка при 25 С°;

$$pH_{p-ra} = 0$$

Результат: Процесс идет.

Покрытие меди кадмием методом, предложенным в задаче Cd/Cu

Используемые реактивы:

CdCl_2 — раствор

$\text{Cu}_{\text{мет.}}$ — электрод

$\text{Cd}_{\text{мет.}}$ — электрод



Покрытие меди кадмием методом, предложенным в задаче Cd/Cu

Результат:



Покрытие меди свинцом методом, предложенным в задаче

Pb/Cu

Используемые реактивы:

$\text{Pb}(\text{Ac})_2$ – концентрированный
раствор

$\text{Cu}_{\text{мет.}}$ – электрод

$\text{Pb}_{\text{мет.}}$ – электрод



Покрытие меди свинцом методом, предложенным в задаче Pb/Cu

Результат:

Pb



Цинк на железе не выделяется вообще!

1. $\Delta\phi_{\text{Fe/Zn}} < \Delta\phi_{\text{Cu/Zn}}$



Выводы

Максимальная толщина цинкового покрытия на меди = 0

Максимальная толщина цинкового покрытия на железном гвозде = 0 \Rightarrow таким способом оцинковать невозможно

Литература

1. А.А. Караванова, М.М. Криштал, А.А. Еремичев, И.С. Ясников, В.В. Окулов – Механизм образования слоистой структуры цинкового покрытия при гальваническом цинковании стальных изделий в нестационарном режиме, Вектор науки ТГУ. № 3(13), 2010 – с.4
2. И. М. Ковенский, В. В. Поветкин Металловедение покрытий: Учебник для вузов / М54 — М.: «СП Интермет Инжиниринг», 1999. - 296 с.
3. А.А. Попов, С.В. Гриб. Взаимная диффузия в двойных системах: учебно-методическое пособие по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Физическое материаловедение» / Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2006. 23 с. П 58
4. Шрейдер Х. Осаждение окисных слоев из органических растворов. Физика тонких пленок. под ред. Г.Хасса и Р. Туна М.:Мир. 1970.
5. Э. Ф. Штапенко, В. А. Заблудовский, В. В. Дудкина – Диффузия на границе “пленка–подложка” при электрокристаллизации цинка на медной подложке - Научный журнал: Физика металлов и материаловедение, том 116, № 3, с. 1–6, 2015

Покрытие серебра медью методом, предложенным в задаче

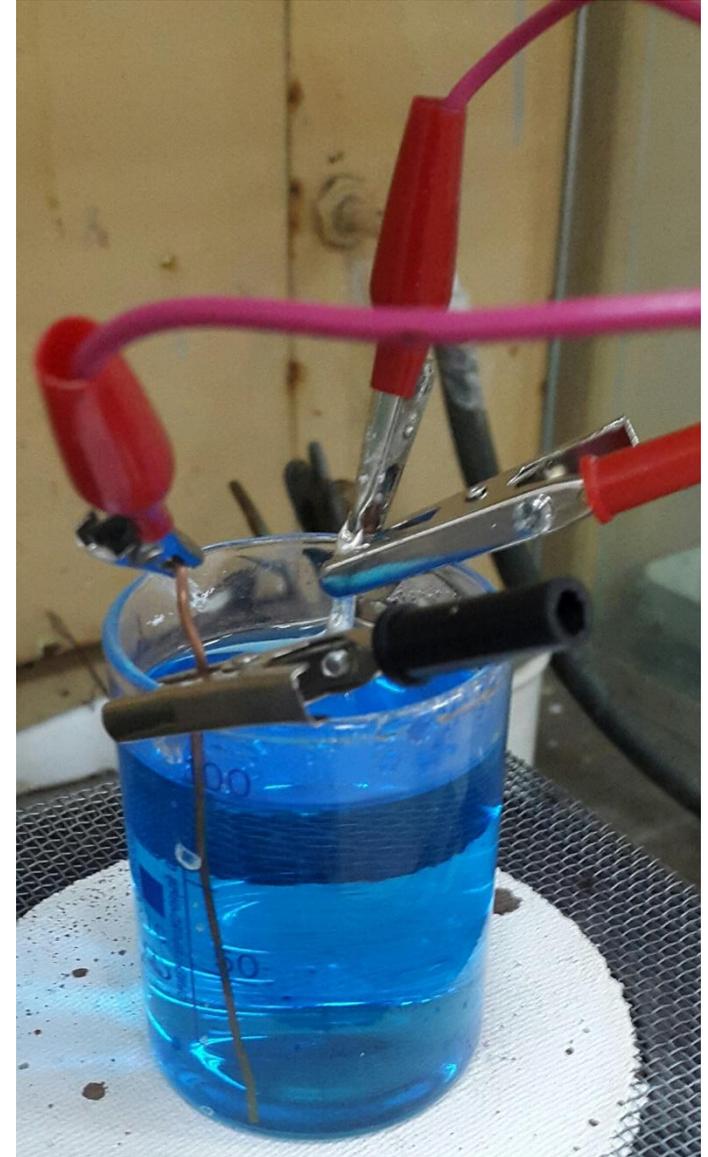
Cu/Ag

Используемые реактивы:

CuSO_4 – раствор 1 молярный

$\text{Cu}_{\text{мет.}}$ – электрод

$\text{Ag}_{\text{мет.}}$ – электрод



Покрытие серебра медью методом, предложенным в задаче

Cu/Ag

Результат:



Происходящие в растворе процессы

Диссоциация
 ZnSO_4



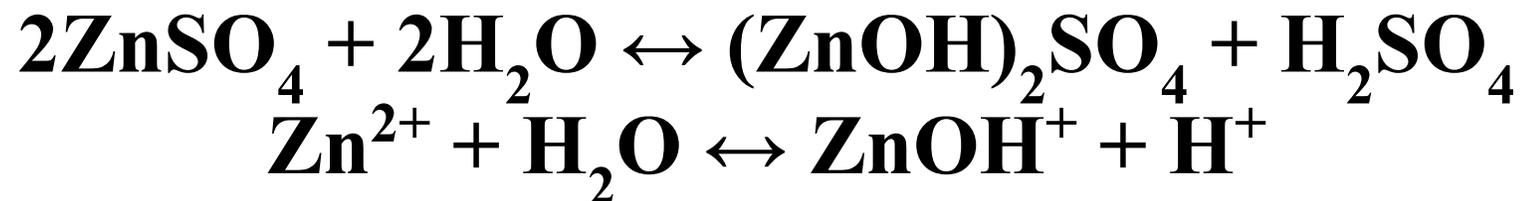
Автопротолиз
ВОДЫ



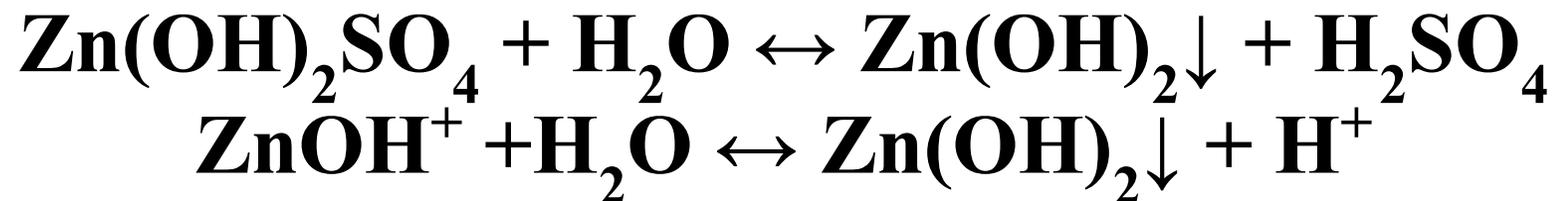
Гидролиз
 ZnSO_4

$\text{pH} < 7$

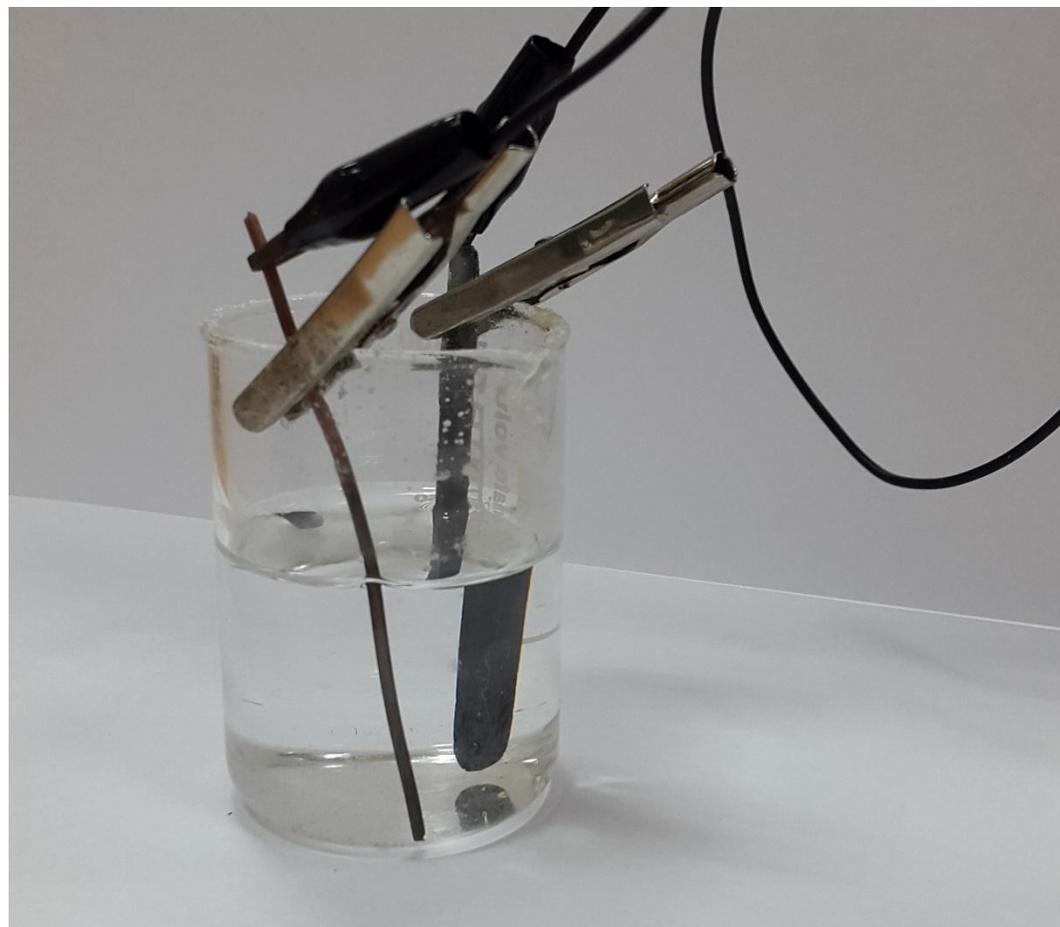
1 ступень



2 ступень



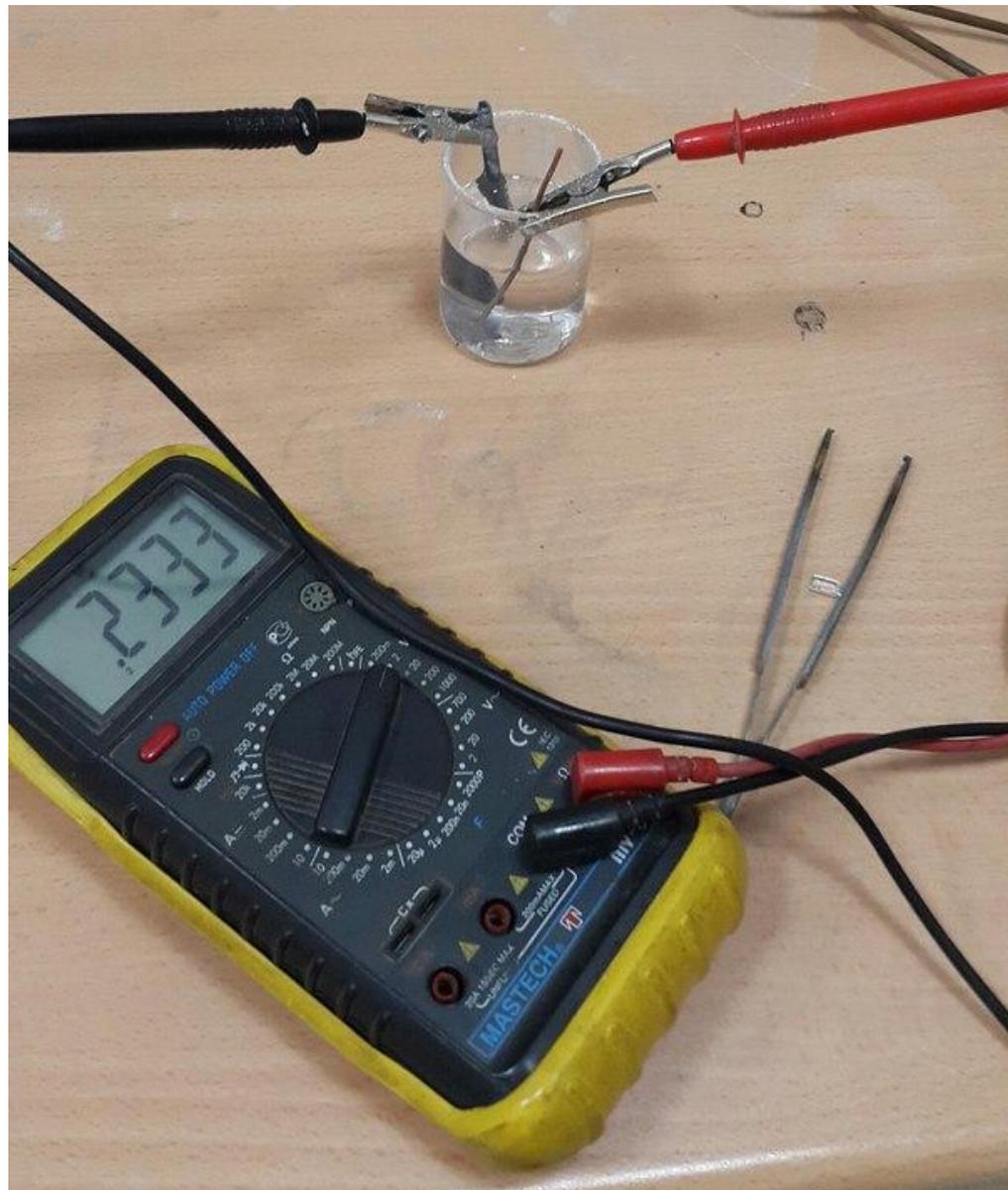
Практическая часть



Практическая часть



Практическая часть



Практическая часть



Практическая часть

Результаты

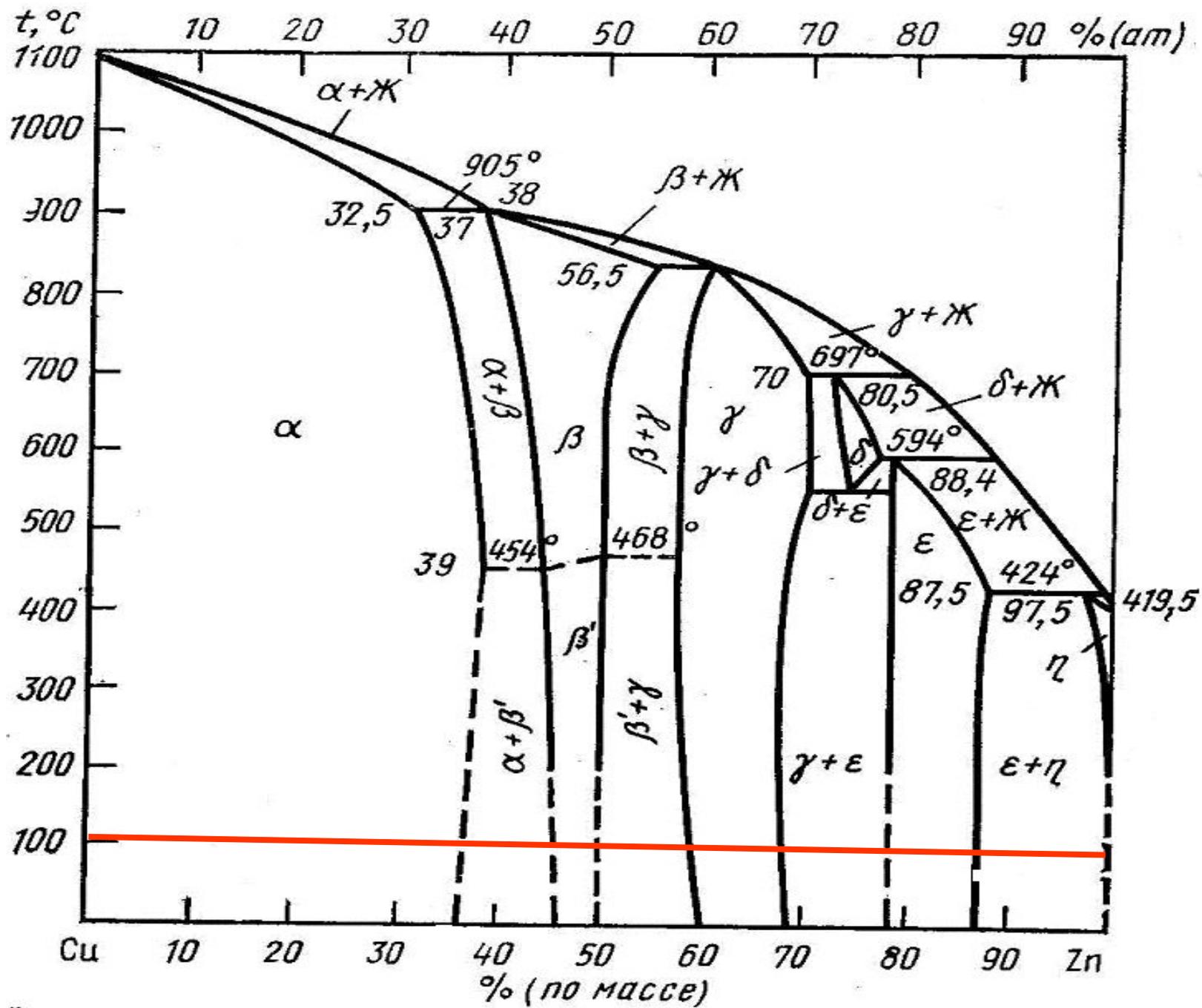
Начальный рН=2,7

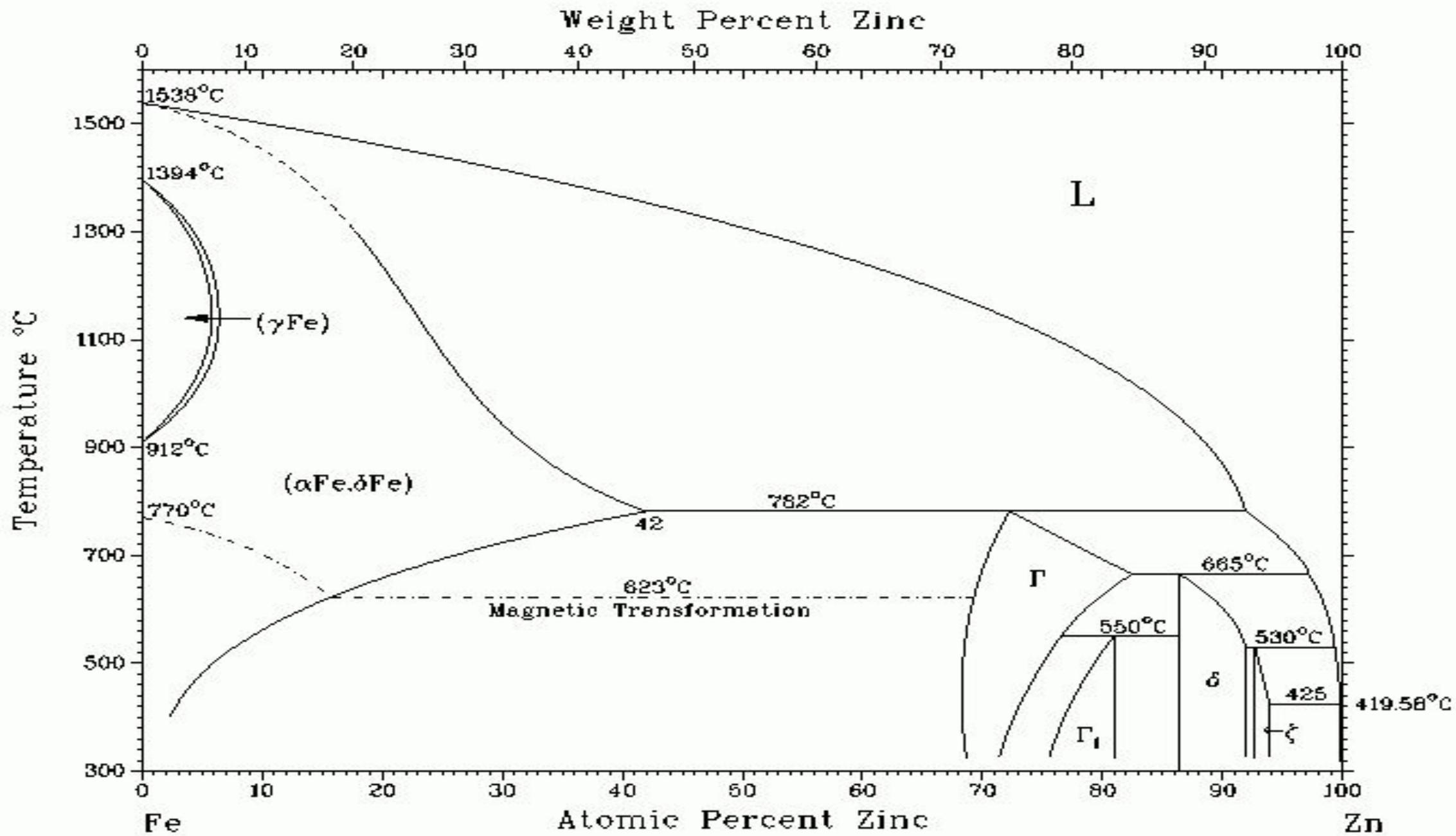
Цинковое покрытие исчезает при следующем рН:

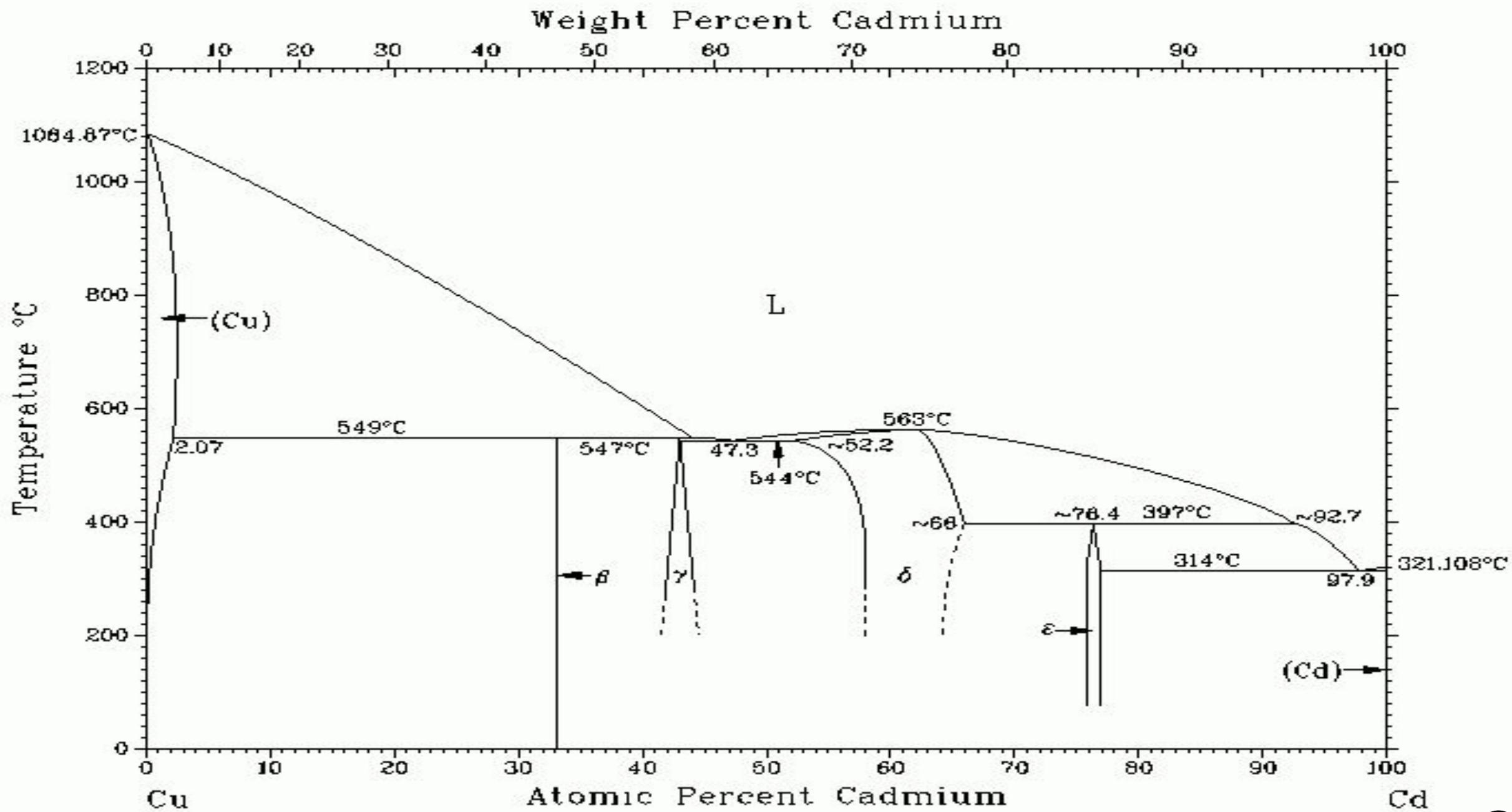
После добавления кислоты до рН=1,4

После добавления щелочи до рН=10,3



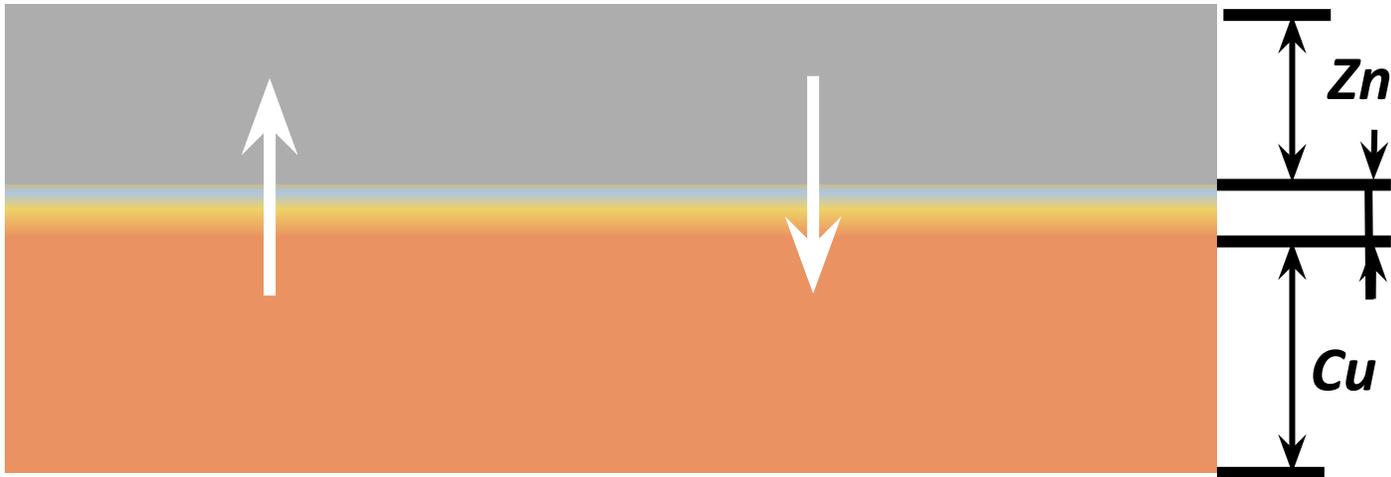






Диффузионная модель

$$D = 1.75 \times 10^{-15} \text{ м}^2/\text{с}$$

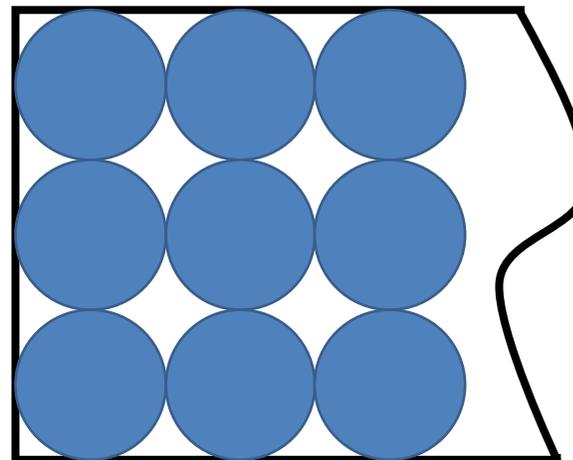
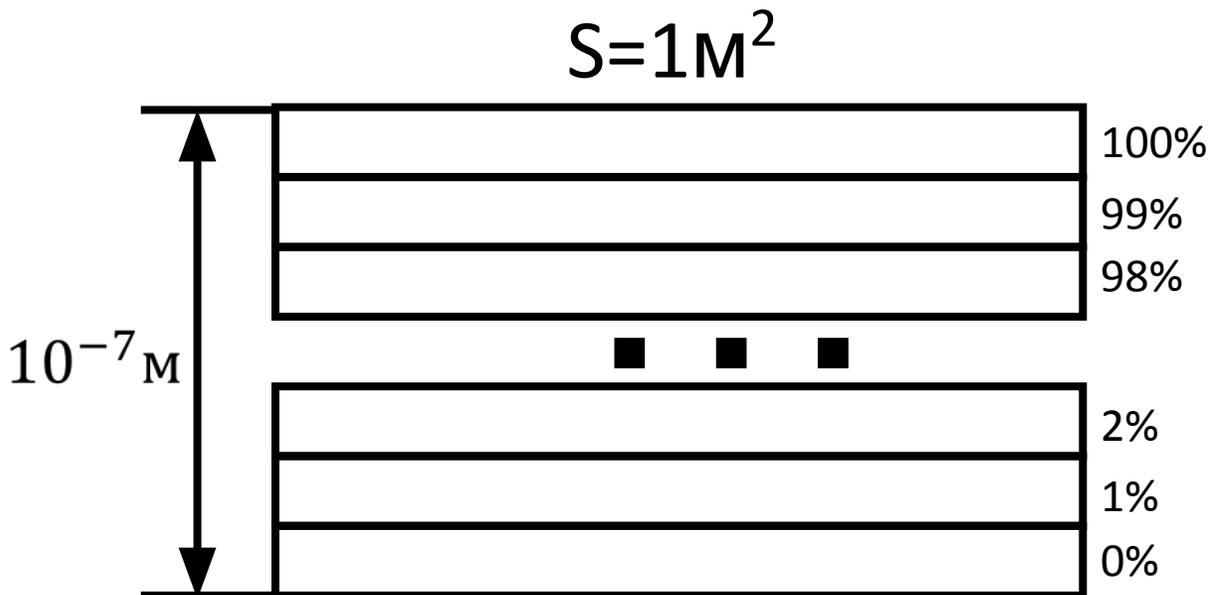


$Cu_x \times Zn_y$
Скорость диффузии:

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = -DS \frac{dC}{dx}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = -1,080 \times 10^{-2} \text{ моль/с}$$

$$t \approx 47,6 \text{ мин}$$



$N_{\text{(атомов в одном слое)}} \approx 3,52$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = -DS \frac{dC}{dx}$$

$Da(\text{Zn}) = 2,84 \times 10^{-10} \text{ M}$
 $Da(\text{Cu}) = 2,90 \times 10^{-10} \text{ M}$
 $Da(\text{Zn}) \approx D(\text{Cu}) \approx 2,84 \times 10^{-10} \text{ M}$

$$C = \frac{n(\text{Zn}_{\text{(в первом слое)}}) - n(\text{Zn}_{\text{(в последнем слое)}})}{h \times s} = \frac{6,17637 \times 10^{-5} \text{ моль}}{10^{-7} \text{ M} \times 1 \text{ M}^2} = 6,17637 \times 10^2 \frac{\text{моль}}{\text{M}^3}$$

$x = h = 10^{-7} \text{ M}$

$$n(\text{Zn}_{\text{(в первом слое)}}) = \frac{N}{N_a} = \frac{3 \left(\frac{l}{Da}\right)^2}{N_a} = \frac{3 \left(\frac{1 \text{ M}}{2,84 \times 10^{-10} \text{ M}}\right)^2}{6,0221412927 \times 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}} = 6,17637 \times 10^{-5} \text{ моль}$$

$n(\text{Zn}_{\text{(в последнем слое)}}) = 0$

Подставим необходимые величины в уравнение:

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = -DS \frac{dC}{dx} = - \left(1.75 \times 10^{-15} \text{ м}^2/\text{с} \times 1 \text{ м}^2 \times \frac{6,17637 \times 10^2 \frac{\text{моль}}{\text{м}^3}}{10^{-7} \text{ м}} \right) =$$
$$= - 1,080 \times 10^{-6} \text{ моль/с}$$

$$n = \frac{(n(\text{Zn}_{(\text{в первом слое})}) + n(\text{Zn}_{(\text{в последнем слое})})) \times 100}{2} =$$
$$= 3,088 \times 10^{-3} \text{ моль}$$

$$t = \frac{\Delta n}{\left| -DS \frac{dC}{dx} \right|} = \frac{3,088 \times 10^{-3} \text{ моль}}{\left| - 1,080 \times 10^{-6} \text{ моль/с} \right|} \approx 47,6 \text{ мин}$$