

# Тема: Электролиз расплавов и растворов

Учебный материал, задания с решением и для самостоятельной работы

Составитель: профессор Литвинова Т.Н.

## Теоретическая часть.

**Электролиз – совокупность окислительно-восстановительных реакций, протекающих под действием постоянного электрического тока на электродах, погруженных в раствор или расплав электролита.**

При электролизе химическая реакция осуществляется за счет энергии электрического тока, подводимой извне. Электролиз проводят в особых приборах – электролизерах. Это сосуд с раствором или расплавом электролита и опущенными в него электродами из металла или графита. К электродам прикладывают разность потенциалов от внешнего источника постоянного тока. Катод отдает электроны частицам вещества в электролите и восстанавливает их. Анод отбирает электроны от частиц в электролите, окисляя их.

При электролизе процессы окисления и восстановления протекают на различных электродах – аноде и катоде.

**Анод** – это электрод, на котором происходит процесс **окисления**. При электролизе анод заряжен **положительно**.

**Катод** – это электрод, на котором происходит процесс **восстановления**. При электролизе катод заряжен **отрицательно**.

На окислительно-восстановительные процессы, протекающие при электролизе, влияют различные факторы:

- Природа электролита и растворителя;
- Материал электродов;
- Режим электролиза (напряжение, сила тока, температура).

Различают 2 типа электролиза: электролиз расплава и электролиз растворов электролитов.

## Электролиз расплавов оксидов

**На катоде идет восстановление катионов металла:**  $Me^{n+} + n\bar{e} = Me^0$ , т.е. на катоде выделяется металл.

**На аноде окисляется кислород:**  $O^{-2} - 2\bar{e} = O_2$

Например, электролиз расплава оксида калия:  $2K_2O = 4K + O_2$

*При изучении алюминия, способов получения металлов, надо знать электролиз оксида алюминия.*

Металлический алюминий получают электролизом раствора глинозема  $Al_2O_3$  в расплавленном криолите  $Na_2AlF_6$  при 960–970°C.

Электролиз  $Al_2O_3$  можно представить следующей схемой:

в расплаве оксид алюминия диссоциирует:  $\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{Al}^{3+} + \text{AlO}_3^{3-}$ ,  
 на катоде восстанавливаются ионы  $\text{Al}^{3+}$ :  $\text{Al}^{3+} + 3\bar{e} \rightarrow \text{Al}^0$ ,  
 на аноде окисляются ионы  $\text{AlO}_3^{3-}$ :  $4\text{AlO}_3^{3-} - 12\bar{e} \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{O}_2$ .

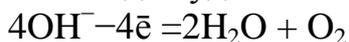
Суммарное уравнение процесса:  $2\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow 4\text{Al} + 3\text{O}_2$ .

Жидкий алюминий собирается на дне электролизера.

### Электролиз расплавов оснований

**На катоде** традиционно восстанавливается металл:  $\text{Me}^{n+} + n\bar{e} = \text{Me}^0$

**На аноде** будет окисляться кислород в составе гидроксид-группы:



### Электролиз расплавов солей

#### 1. Электролиз расплава бескислородной соли:

**На катоде** всегда восстанавливается металл:  $\text{Me}^{n+} + n\bar{e} = \text{Me}^0$

**На аноде** окисляется бескислородный анион:  $\text{A}^{n-} - n\bar{e} = \text{A}^0$

Например: Электролиз расплава NaCl:  $2\text{NaCl} = 2\text{Na} + \text{Cl}_2$

#### 2. Электролиз расплава кислородсодержащей соли (элемент аниона находится не в высшей степени окисления):

**На катоде** всегда восстанавливается металл:  $\text{Me}^{n+} + n\bar{e} = \text{Me}^0$

**На аноде** будет окисляться элемент аниона:  $\text{SO}_3^{2-} - 2\bar{e} = \text{SO}_3^0$

Например, электролиз расплава сульфита натрия:  $\text{Na}_2\text{SO}_3 = 2\text{Na} + \text{SO}_3$

Сера S в сульфите имеет степень окисления +4, при электролизе она окисляется до +6 ( $\text{SO}_3$ ).

#### 3. Электролиз расплава кислородсодержащей соли (элемент аниона в высшей степени окисления):

**На катоде** всегда восстанавливается металл:  $\text{Me}^{n+} + n\bar{e} = \text{Me}^0$

**На аноде:** т.к. элемент уже в высшей степени окисления, то окисляться будет кислород, например:  $2\text{CO}_3^{2-} - 4\bar{e} = 2\text{CO}_2 + \text{O}_2$

Например, электролиз расплава карбоната натрия:

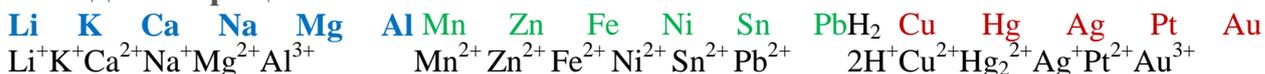


Важно понимать, что эти реакции не идут сами по себе. Их протекание возможно только при действии электрического тока.

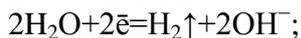
### Электролиз растворов

**На катоде** могут протекать следующие реакции восстановления.

**Катодные процессы:**



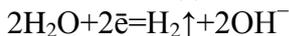
Восстанавливается вода:



$\text{M}^{n+}$  не восстанавливается

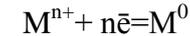
Восстанавливаются катионы

металла и вода:  $\text{M}^{n+} + n\bar{e} = \text{M}^0$



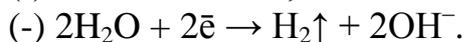
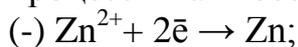
Восстанавливаются

катионы металла:

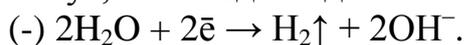


а) при электролизе растворов солей, содержащих ионы, расположенные в ряду напряжений **после водорода**, происходит выделение металлов на катоде:  $(-) \text{Cu}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Cu}$ .

б) при электролизе растворов солей, содержащих катионы, расположенные между алюминием и водородом, на катоде могут протекать конкурирующие процессы как восстановления катионов, так и выделения водорода:



в) если растворы солей содержат катионы, находящиеся в ряду напряжения до алюминия, то в водном растворе такие ионы восстановленными быть не могут, на катоде выделяется водород:



**Процесс на аноде** зависит от материала анода и от природы аниона.

**На аноде** протекают реакции **окисления**.

**Анодные процессы:**

<b>Кислотный остаток, <math>\text{Ac}^{\text{m-}}</math></b>	<b>Анод растворимый (медь, железо, цинк)</b>	<b>Анод нерастворимый (графит, золото, платина)</b>
бескислородный	<b>Окисляется металл анода</b>	<b>Окисление аниона, кроме фторида</b> Анионы серы, иода, брома, хлора (в этой последовательности) окисляются до простых веществ: $2\text{Cl}^- - 2e \rightarrow \text{Cl}_2^0$ $\text{S}^{2-} - 2e \rightarrow \text{S}^0$
кислородный	<b>Окисляется металл анода</b> сам анод за счёт окисления атомов металла посылает электроны во внешнюю цепь	<b>Анионы не окисляются</b> В кислотной и нейтральной средах: $2\text{H}_2\text{O} - 4\bar{e} = \text{O}_2\uparrow + 4\text{H}^+$ В щелочной среде: $4\text{OH}^- - 4\bar{e} = \text{O}_2\uparrow + 4\text{H}^+$

а) при электролизе растворов, содержащих в своем составе анионы  $\text{F}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , а также растворов щелочей окисляется вода и выделяется кислород:  $(+) 2\text{H}_2\text{O} - 4\bar{e} \rightarrow \text{O}_2\uparrow + 4\text{H}^+$ .

б) при окислении анионов  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{Cl}^-$  выделяется соответственно, сера, иод, бром, хлор.

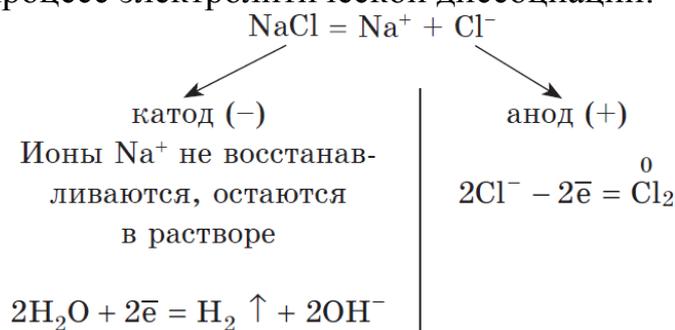
в) при окислении анионов органических кислот происходит процесс:  
 $2\text{R}-\text{COO}^- \rightarrow \text{R}-\text{R} + 2\text{CO}_2\uparrow.$

 **Правила электролиза надо выучить и закрепить при выполнении заданий.**

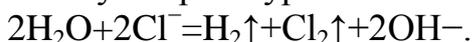
## Примеры заданий с решением

### 1) Анод *нерастворимый* (например, графитовый).

В растворе идет процесс электролитической диссоциации:



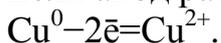
Суммарное уравнение:



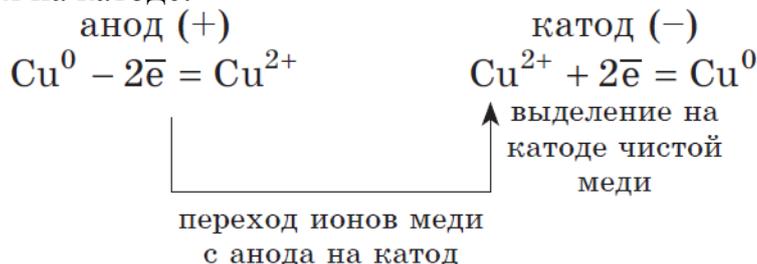
Учитывая присутствие ионов  $\text{Na}^+$  в растворе, составляем молекулярное уравнение:  $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{электролиз}} \text{H}_2 \uparrow + \text{Cl}_2 \uparrow + 2\text{NaOH}$  (щелочь образуется в катодном пространстве).

### 2) Анод *растворимый* (например, медный):

Если анод растворимый, то металл анода будет окисляться:

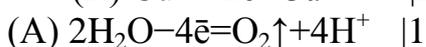
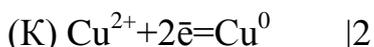


Катионы  $\text{Cu}^{2+}$  в ряду напряжений стоят после ( $\text{H}^+$ ), поэтому они и будут восстанавливаться на катоде:

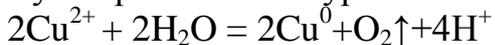


Концентрация  $\text{NaCl}$  в растворе не меняется,  $\text{NaCl} = \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$ .

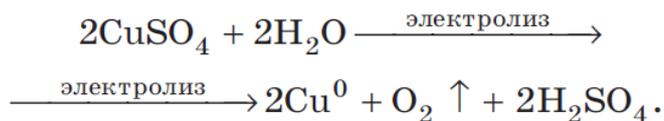
### 3) Электролиз раствора сульфата меди (II) на *нерастворимом* аноде:



Суммарное ионное уравнение:



Суммарное молекулярное уравнение с учетом присутствия анионов  $\text{SO}_4^{2-}$  в растворе:



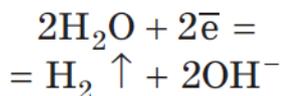
серная кислота образуется в анодном пространстве

### 4) Электролиз раствора гидроксида калия на *нерастворимом* аноде:

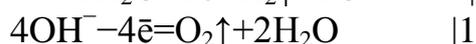
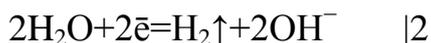
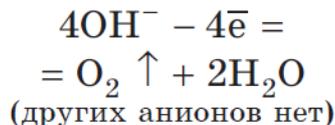


катод (-)

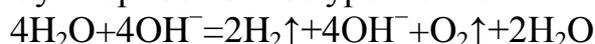
ионы  $\text{K}^+$  не восстанавливаются, остаются в растворе



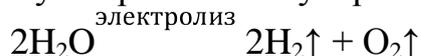
анод (+)



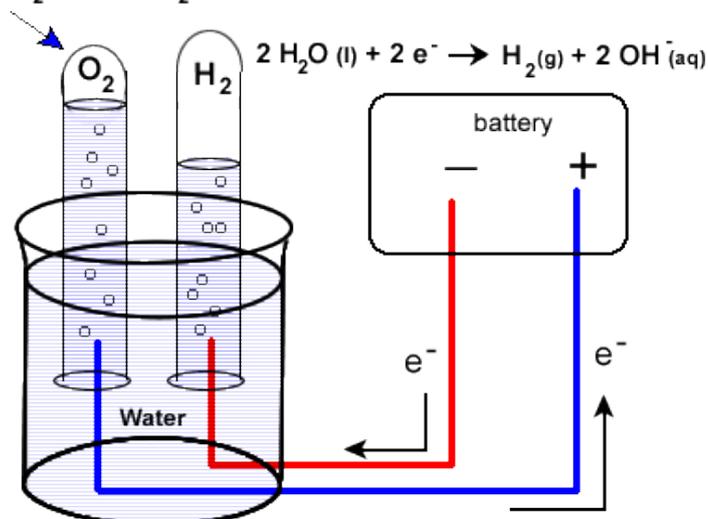
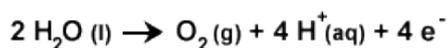
Суммарное ионное уравнение:



Суммарное молекулярное уравнение:

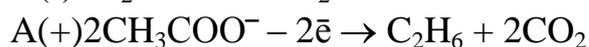
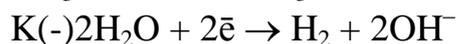
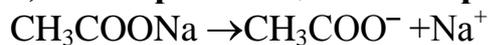


В данном случае идет только электролиз воды.

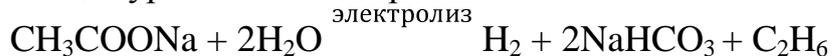


Аналогичный результат получим и в случае электролиза растворов  $\text{H}_2\text{SO}_4, \text{NaNO}_3, \text{K}_2\text{SO}_4$  и др.

**5) Электролиз ацетата натрия на нерастворимом аноде:**



Общее уравнение электролиза:



**6) Водный раствор NaF**



*Катод:* ионы  $\text{Na}^+$  – не окисляются



*Анод:* ионы  $\text{F}^-$  – не окисляются

$2\text{H}_2\text{O} - 4\bar{e} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+$ , среда кислая  
суммарное уравнение:  $2\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_2 \uparrow + \text{O}_2 \uparrow$

7) **Водный раствор**  $\text{FeCl}_2$



*Катод:*  $\text{Fe}^{2+} + 2\bar{e} \rightarrow \text{Fe}^0$



*Анод:*  $2\text{Cl}^- - 2\bar{e} \rightarrow \text{Cl}_2$ , среда нейтральная

$\text{H}_2\text{O}$  – не окисляется

Суммарное уравнение не приводится, так как на катоде протекают два параллельных процесса, и неизвестно, какое количество электричества затрачено на каждый из них.

### Тестовые задания с ответами

(номер правильного ответа выделен жирным шрифтом)

- Щёлочь – один из продуктов электролиза в водном растворе:  
1)  $\text{KCl}$     2)  $\text{CuSO}_4$     3)  $\text{FeCl}_2$     4)  $\text{AgNO}_3$
- При электролизе водного раствора нитрата калия на аноде выделяется:  
1)  $\text{O}_2$     2)  $\text{NO}_2$     3)  $\text{N}_2$     4)  $\text{H}_2$
- Водород образуется при электролизе водного раствора:  
1)  $\text{CaCl}_2$     2)  $\text{CuSO}_4$     3)  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$     4)  $\text{AgNO}_3$
- Реакция возможна между:  
1)  $\text{Ag}$  и  $\text{K}_2\text{SO}_4(\text{p-p})$     2)  $\text{Zn}$  и  $\text{KCl}(\text{p-p})$   
3)  $\text{Mg}$  и  $\text{SnCl}_2(\text{p-p})$     4)  $\text{Ag}$  и  $\text{CuSO}_4(\text{p-p})$
- При электролизе раствора иодида натрия у катода окраска лакмуса в растворе:  
1) красная    2) синяя    3) фиолетовая    4) жёлтая
- При электролизе водного раствора фторида калия на катоде выделяется:  
1) водород    2) фтороводород    3) фтор    4) кислород
- При электролизе водных растворов каких солей на аноде происходит окисление только молекул воды?  
1)  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{KCl}$     2)  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{BaI}_2$   
3)  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$     4)  $\text{K}_2\text{S}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$
- Металл, который **не может** быть получен электролизом водного раствора его соли, это:  
1)  $\text{Ca}$     2)  $\text{Zn}$     3)  $\text{Pb}$     4)  $\text{Ag}$
- Укажите металл, который может быть получен электролизом водного раствора его соли.  
1)  $\text{Ni}$     2)  $\text{Ba}$     3)  $\text{Ca}$     4)  $\text{Na}$
- Какова окраска лакмуса в растворе у анода при электролизе раствора иодида натрия?  
1) красная    2) синяя    3) фиолетовая    4) желтая

### Задания для самостоятельного решения

1. Установите соответствие между формулой соли и уравнением процесса, протекающего на аноде при электролизе её водного раствора.

#### ФОРМУЛА СОЛИ    УРАВНЕНИЕ АНОДНОГО ПРОЦЕССА

- |                      |  |
|----------------------|--|
| А) KCl               | 1) $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+$  |
| Б) AlBr <sub>3</sub> | 2) $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ |
| В) CuSO <sub>4</sub> | 3) $2\text{Cl}^- - 2\text{e} \rightarrow \text{Cl}_2^0$                    |
| Г) AgNO <sub>3</sub> | 4) $2\text{Br}^- - 2\text{e} \rightarrow \text{Br}_2^0$                    |
|                      | 5) $2\text{SO}_4^{2-} - 2\text{e} \rightarrow \text{S}_2\text{O}_8^{2-}$   |
|                      | 6) $2\text{NO}_3^- - 2\text{e} \rightarrow 2\text{NO}_2 + \text{O}_2$      |

2. Установите соответствие между формулой соли и продуктом, образующимся на инертном аноде при электролизе её водного раствора.

#### ФОРМУЛА СОЛИ    ПРОДУКТ, ОБРАЗУЮЩИЙСЯ НА АНОДЕ

- |                         |                          |
|-------------------------|--------------------------|
| А) RbSO <sub>4</sub>    | 1) метан                 |
| Б) CH <sub>3</sub> COOK | 2) сернистый газ         |
| В) BaBr <sub>2</sub>    | 3) кислород              |
| Г) CuSO <sub>4</sub>    | 4) водород               |
|                         | 5) бром                  |
|                         | 6) этан и углекислый газ |

3. Установите соответствие между формулой соли и уравнением процесса, протекающего на катоде при электролизе её водного раствора.

#### ФОРМУЛА СОЛИ    УРАВНЕНИЕ КАТОДНОГО ПРОЦЕССА

- |                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| А) Al(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> | 1) $2\text{H}_2\text{O} - 4\text{e} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+$  |
| Б) CuCl <sub>2</sub>                 | 2) $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ |
| В) SbCl <sub>3</sub>                 | 3) $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} \rightarrow \text{Cu}^0$                    |
| Г) Cu(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> | 4) $\text{Cu}^{2+} + 1\text{e} \rightarrow \text{Cu}^+$                    |
|                                      | 5) $\text{Sb}^{3+} + 3\text{e} \rightarrow \text{Sb}^0$                    |

4. Установите соответствие между названием вещества и способом его получения.

#### НАЗВАНИЕ ВЕЩЕСТВА    ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОЛИЗОМ

- |            |                               |
|------------|-------------------------------|
| А) литий   | 1) раствора LiF               |
| Б) фтор    | 2) расплава LiF               |
| В) серебро | 3) раствора MgCl <sub>2</sub> |
| Г) магний  | 4) раствора AgNO <sub>3</sub> |
|            | 5) расплава Ag <sub>2</sub> O |
|            | 6) расплава MgCl <sub>2</sub> |

5. Установите соответствие между формулой вещества и продуктами электролиза водного раствора этого вещества, которые образовались на инертных электродах: к каждой позиции, обозначенной буквой, подберите соответствующую позицию, обозначенную цифрой.

**ФОРМУЛА ВЕЩЕСТВА****ПРОДУКТЫ ЭЛЕКТРОЛИЗА**

- А)  $\text{Na}_2\text{S}$   
Б)  $\text{K}_2\text{SO}_4$   
В)  $\text{CuSO}_4$   
Г)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$

- 1)  $\text{H}_2, \text{O}_2$   
2)  $\text{Cu}, \text{O}_2$   
3)  $\text{H}_2, \text{S}$   
4)  $\text{Cu}, \text{S}$   
5)  $\text{H}_2, \text{NO}_2$

6. Установите соответствие между формулой соли и продуктом, образующимся на инертном аноде при электролизе её водного раствора.

**ФОРМУЛА СОЛИ****ПРОДУКТ НА АНОДЕ**

- А)  $\text{AlBr}_3$   
Б)  $\text{Rb}_2\text{SO}_4$   
В)  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$   
Г)  $\text{AuCl}_3$

- 1)  $\text{Cl}_2$   
2)  $\text{O}_2$   
3)  $\text{H}_2$   
4)  $\text{Br}_2$   
5)  $\text{SO}_2$   
6)  $\text{NO}_2$

7. Установите соответствие между названием вещества и продуктами электролиза его водного раствора.

**НАЗВАНИЕ ВЕЩЕСТВА****ПРОДУКТЫ ЭЛЕКТРОЛИЗА**

- А) бромид калия  
Б) сульфат меди (II)  
В) бромид меди (II)

- 1) водород, бром, гидроксид калия  
2) натрий, углекислый газ  
3) медь, оксид серы (IV)  
4) медь, кислород, серная кислота  
5) медь, бром

8. Установите соответствие между формулой соли и продуктом, образующимся на катоде при электролизе водного раствора этой соли.

**ФОРМУЛА СОЛИ****ПРОДУКТ НА КАТОДЕ**

- А)  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$   
Б)  $\text{Na}_2\text{SO}_4$   
В)  $\text{AgNO}_3$   
Г)  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$

- 1) кислород  
2) серебро  
3) водород  
4) ртуть  
5) натрий  
6) магний

9. Установите соответствие между формулой вещества и продуктами электролиза водного раствора этого вещества, которые образуются на

инертных электродах: к каждой позиции, обозначенной буквой, подберите соответствующую позицию, обозначенную цифрой. **ФОРМУЛА**

**ВЕЩЕСТВА**

**ПРОДУКТЫ ЭЛЕКТРОЛИЗА**

А)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

1) этан, углекислый газ, водород

Б)  $\text{NaCl}$

2) натрий, кислород

В)  $\text{CH}_3\text{COONa}$

3) метан, углекислый газ, водород

Г)  $\text{NaOH}$

4) хлор, водород

5) водород, кислород

**10.** Установите соответствие между формулой соли и продуктами электролиза водного раствора этой соли, которые выделились на инертных электродах: к каждой позиции, обозначенной буквой, подберите соответствующую позицию, обозначенную цифрой.

**ФОРМУЛА СОЛИ**

**ПРОДУКТЫ ЭЛЕКТРОЛИЗА**

А)  $\text{Na}_3\text{PO}_4$

1)  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$

Б)  $\text{KCl}$

2)  $\text{Cu}$ ,  $\text{O}_2$

В)  $\text{CuBr}_2$

3)  $\text{Cu}$ ,  $\text{Br}_2$

Г)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$

4)  $\text{H}_2$ ,  $\text{Cl}_2$

5)  $\text{Cu}$ ,  $\text{NO}_2$

**Желаю успехов**