

*№4 дәріс.*

*Электрқозушылық түсінігі.  
Тыныштық потенциалы. Әсер  
потенциалы.*

*Потенциалдар айырымы – бұл әр түрлі таңбадағы электр зарядтарының кеңістіктік бөлінуі болып табылады.*

**Тірі ағза жасушаларында,  
ұлшаларында пайда болатын  
потенциал айырмасын –  
биоэлектрлік потенциал д.а.**

**Тірі ағзада биоэлектрлік  
потенциалдардың пайда болуы  
жасуша мембранасында әр түрлі  
*физика - химиялық*  
*градиенттердің болуына*  
*байланысты.***

Медицинада электр өрісін зерттеуде ұлпалар мен мүшелердің биопотенциалдарын тіркеуге негізделінген диагностикалық әдістер: электрокардиография, электроэнцефалография, электромиография.

# Ерітінділерде пайда болатын потенциалдар:

```
graph TD; A[Ерітінділерде пайда болатын потенциалдар:] --> B[электронды]; A --> C[ионды];
```

электронды

ионды

- **Электронды типтегі потенциалдар** — еркін электрондардың,
- **Ион типтегі потенциалдар** — иондардың болуынан пайда болады.

# Ион типті потенциалдар

Диффузиялық

Мембраналық

Фаза аралық



*Диффузия* құбылысында  
пайда болатын, араласатын  
ерітінділерді аламыз.

Концентрациясы көптен  
азға қарай жүреді

**Фаза (күй, екі түрлі) аралық  
потенциалдар  
араласпайтын екі сұйықтың  
шекарасында пайда болады.**



Ағзада тіркелетін  
биопотенциалдар –  
мембраналық потенциал.

Осыған байланысты мембрананың сыртқы және ішкі беттеріндегі потенциалдар айырымын - мембраналық потенциал д. а.

$$\Delta\varphi_M = \varphi_{ішкі} - \varphi_{сырт}$$

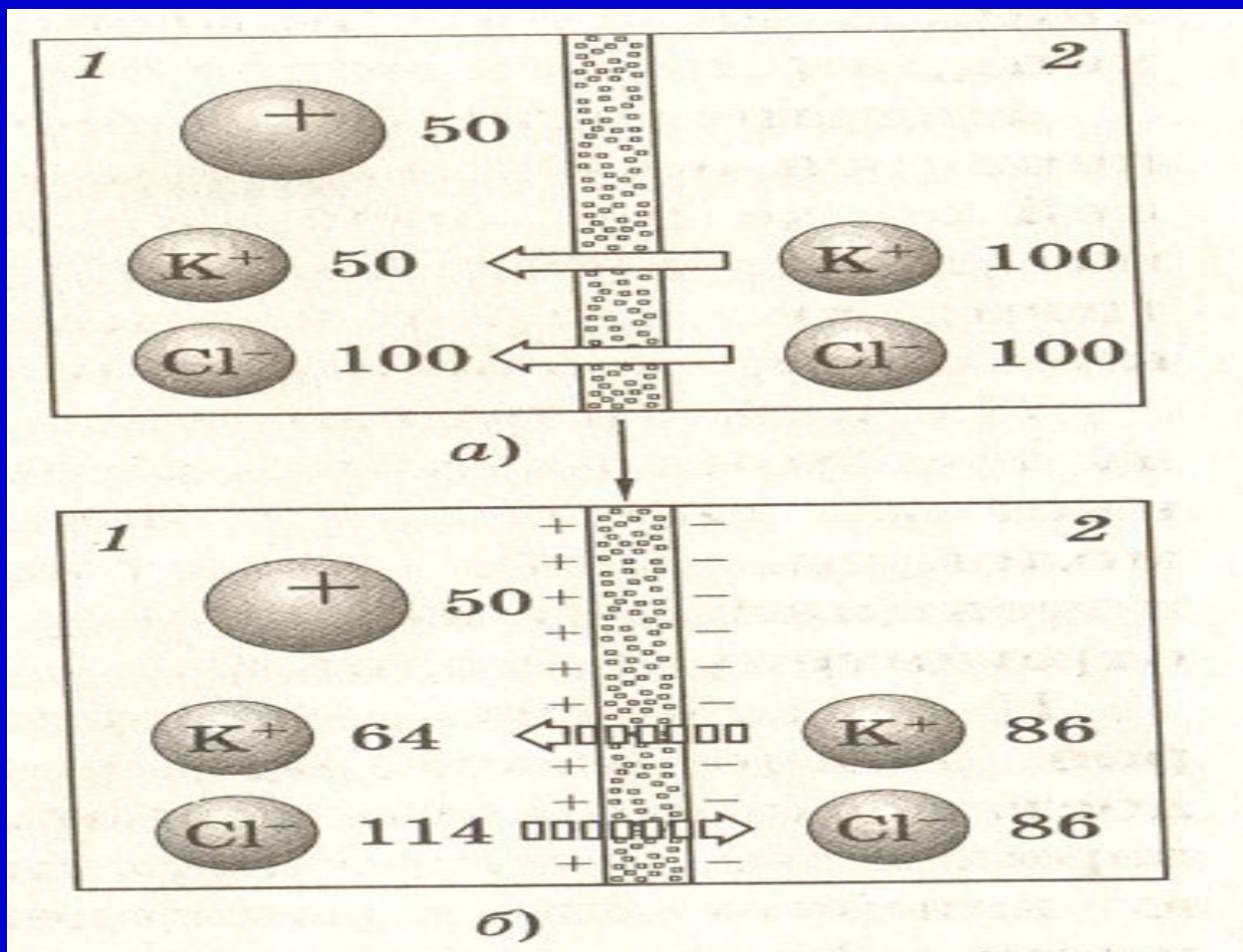
# *Мембраналық потенциал*

- **Тыныштық күй** (қозғалыс жоқ кезде пайда болады)
- **Әрекет** болып екіге бөлінеді

- I. Жасушаның беттік (сыртқы) мембранасының өткізгіштігі түрлі иондар үшін бірдей емес (таңдайды)
- II. Мембрананың екі жағындағы белгілі бір иондардың концентрациясы әртүрлі

Аталған екі фактордың нәтижесінде жасушадағы цитоплазма мен қоршаған орта арасында потенциалдар айырымы пайда болады, оны тыныштық күй потенциалы (ТКП) д.а.

# Мембрананың сыртқы және ішкі жағы (моделдік жүйесі)



*Иондар үшін тепе-теңдік күйге  
сәйкес келетін  
Нернст теңдеуі:*

$$\Delta\varphi = \varphi_M = \frac{RT}{ZF} \ln \frac{[c_2]}{[c_1]}$$



- Мұндағы  $R$  – универсаль газ тұрақтысы,
- $T$ - абсолютті температура,
- $F$  – Фарадей саны,
- $[C_2]$  және  $[C_1]$  - мембрананың екі жақ шетіндегі иондар концентрациясы
- $Z$ - ион заряды .

Потенциалдың мембраналық теориясының негізін қалаушы *1902* жылы *Бернштейн* болды. Яғни калий иондарының өту диффузиясымен түсіндіріледі.

Тірі жасушаларда *калий иондары* жасуша аралық сұйықтарға қарағанда біраз есе көп.

Нернст теңдеуімен есептелінген *потенциалдар айырымы* тәжірибеде жасалынған өлшеу нәтижелеріне біршама жуық .

## ТКП-ның болуына

$Na^+$ ,  $K^+$  және  $Cl^-$

иондары себеп болады. Бұл иондар  
ағынының қосындылық  
тығыздығы:

$$J = J_{Na^+} + J_{K^+} - J_{Cl^-}$$

$$J = J_{Na^+} + J_{K^+} - J_{Cl^-}$$

$$\varphi_M = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_{Na} [Na^+]_i + P_K [K^+]_i + P_{Cl} [Cl^-]_o}{P_{Na} [Na^+]_o + P_K [K^+]_o + P_{Cl} [Cl^-]_i}$$

**Гольдман-Ходжкин-Катц тендеуі**

Иондар өтімділігі ағзаның күйіне байланысты болады. *ТК-гі* физиологиялық шарттарға байланысты түрлі иондардың өтімділік коэффициенттерінің қатынастары төмендегідей:

$$P_k : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0.04 : 0.45$$

**ТҚП-на тек ғана К және Na  
иондары ғана үлестерін қосады.  
Мысалы, 30 град.С-ғы потенциал  
шамасы:**

$$\varphi_M = \frac{8,3 \cdot 303}{9,6 \cdot 10^4} \ln \frac{340 + 0,45 \cdot 592}{10,4 + 0,45 \cdot 114} \approx 59,7 \text{ мВ}$$

*Гольдман-Ходжкин-Катиц*

**формуласымен есептелінген**  
*тыныштық күй потенциалы*  
**60 мВ болды.**

*Гольдман* **теңдеуімен есептелінген**  
**мембраналық потенциал мәні**  
*Нернст* **теңдеуімен есептелінген**  
**потенциалдан біршама аз.**



*Нернст және Гольдман теңдеулерінде иондардың мембрана арқылы активті тасмалдануы ескерілмеген. Мембраналық потенциалды есептеуде электрогендік иондық насостың жұмысы есебімен 1972 ж. Томас теңдеуі алынды:*

$$\varphi_M = -\frac{RT}{F} \ln \frac{mP_k [K^+]_i + P_{Na} [Na^+]_i}{mP_k [K^+]_o + P_{Na} [Na^+]_o}$$

Мұндағы  $m$  – мембрана арқылы иондық насоспен тартылған натрий иондары мөлшерінің калий иондарының мөлшеріне қатынасын көрсетеді.

*m* > 1 мембраналық потенциалды құруда калий концентрациясы градиентінің енгізілуін күшейтеді.

Сондықтан *Томас теңдеуімен* есептелінген мембраналық потенциалдың мәні *Гольдман теңдеуі* бойынша есептелінген потенциалдан үлкен және оның мәні ұсақ жасуша үшін жүргізілген тәжірибе мәніне жуық.

**Жасушадағы биоэнергетикалық процесстердің және  $Na^+$ ,  $K^+$  насосының жұмысының бұзылуы потенциалдың азаюуына ықпал етеді. Мұндай жағдайда мембраналық потенциал *Гольдман* теңдеуімен сипатталады.**

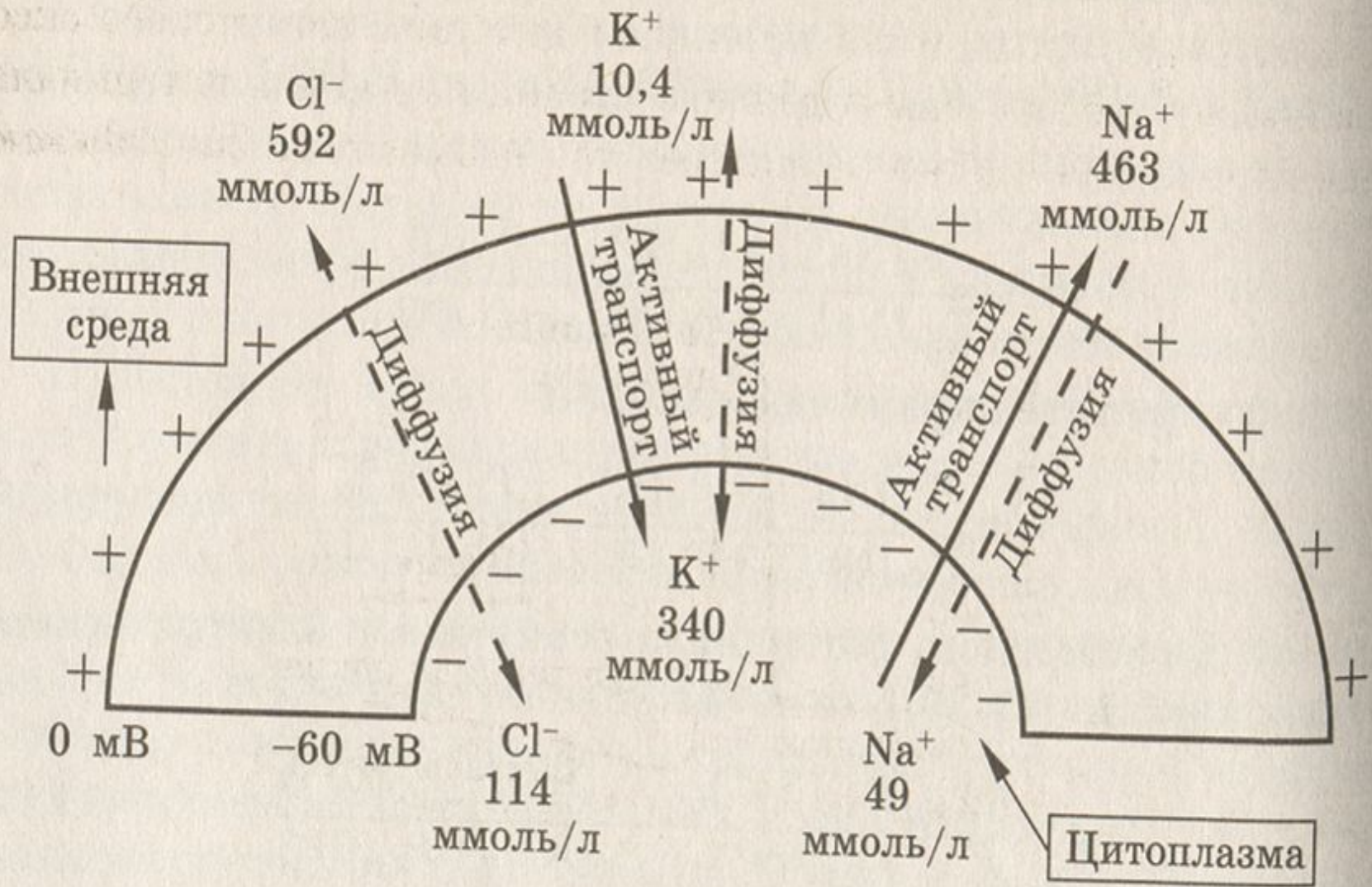


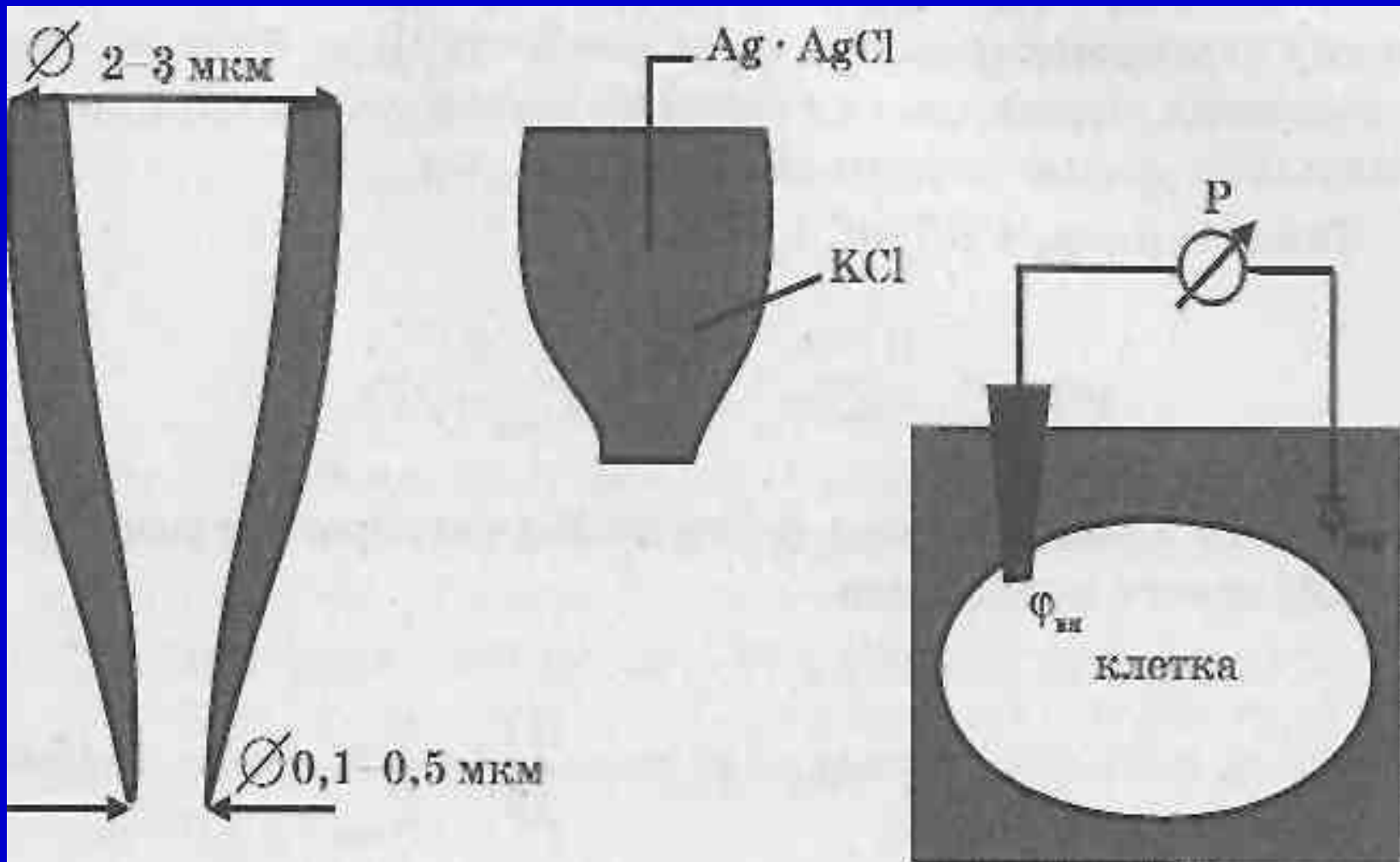
Рис. 11.10

ИОН	1кг $H_2O$ құрамындағы м*моль	
	Жасуша ішінде	Жасушаның сыртында
$K^+$	340	10,4
$Na^+$	49	463
$Cl^-$	114	592

# Мембраналық биопотенциалдарды

## зерттеу:

1. Микроэлектрод әдісімен жасуша ішілік потенциалды өлшеу.
2. Биопотенциалды күшейткіш
3. Зерттеу объектісі ретінде ірі жасушалы қалмар аксоны алынады
4. Қалмар аксонына микроэлектрод салынады.
5. Шыны микроэлектрод өте жіңішке ұштары бар микропипеткадан тұрады.



**Биопотенциалды өлшеу микроэлектрод әдісі**

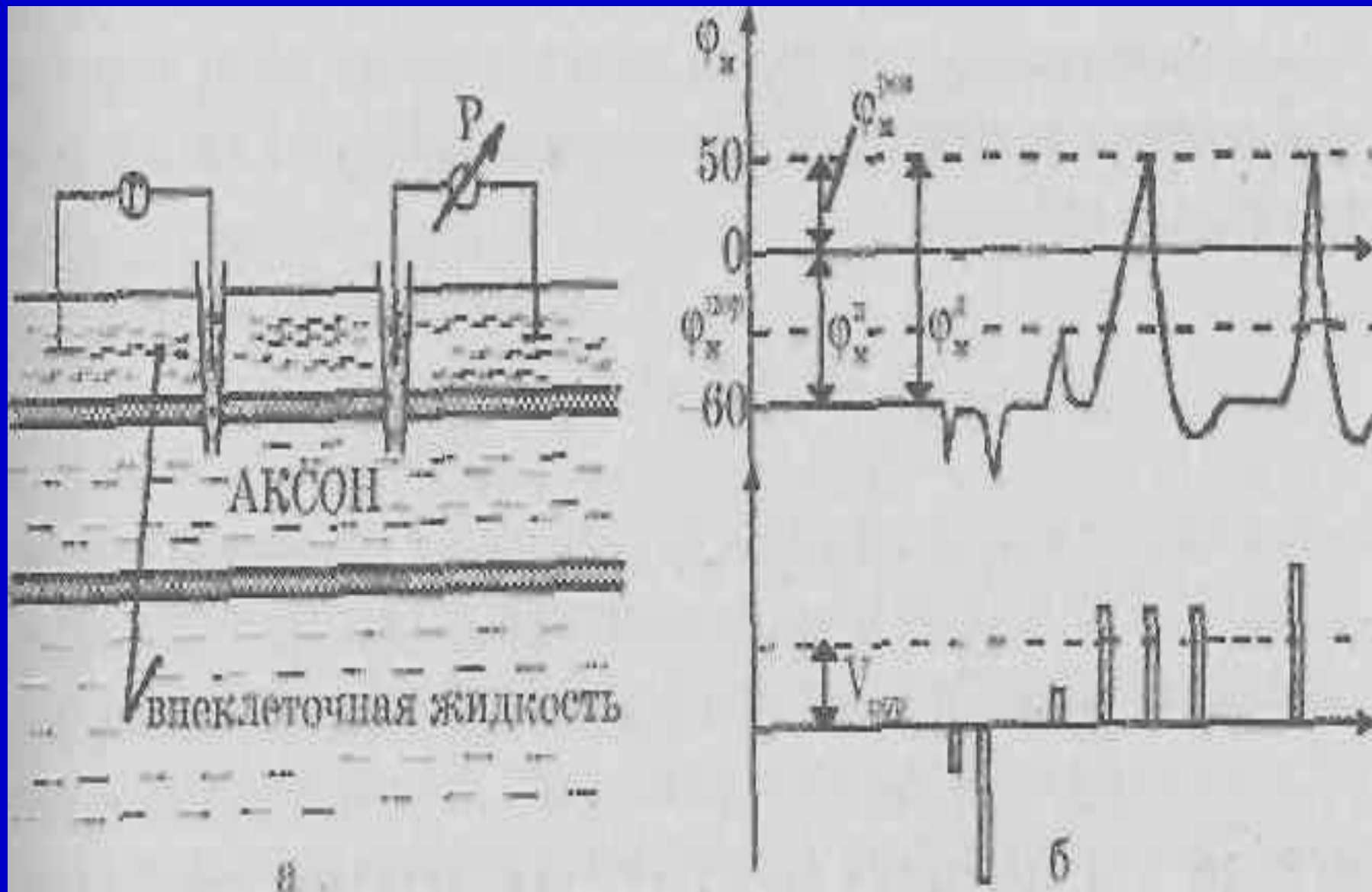


## Әрекет потенциал

Қозу жағдайында жасуша мен қоршаған орта арасындағы потенциал айырымы өзгереді. Осы кезде ӘП пайда болады.



**ӘП конденсатордың  
зарядталуы мен разрядталуы  
кезіндегі апериодтық  
(периодтық емес) үрдістер  
тәріздес болады.**



*1 сурет . Әрекет потенциалды зерттеу*

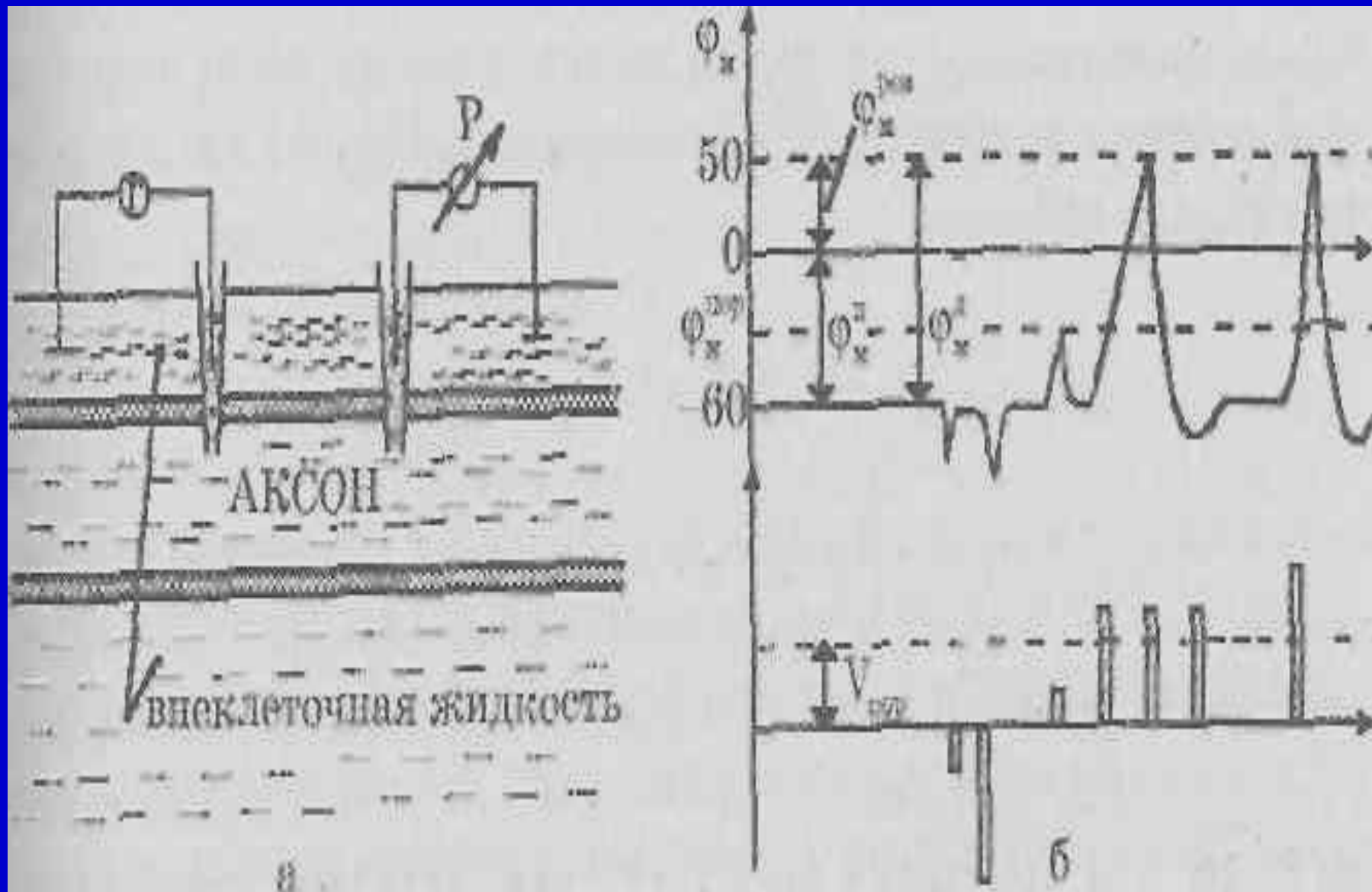
**Нерв талшықтарында және қаңқа бұлшық еттерінде әрекет потенциалдың ұзақтығы 1 мс шамасында болады. (жүрек бұлшық еттерінде 300 мс шамасындай). Қозу аяқталғаннан кейін де 1-3 мс мембранада қалдық құбылыстар байқалады, яғни мембрананың рефрактерлік кезеңі (қозбаған күйі).**

Әрекет потенциалдың негізгі қасиеттері:

**Деполаризация потенциалының  
табалдырық мәнінің болуы**

**Егер деполяризация потенциалы  
табалдырық мәнінен үлкен болса,  
онда әрекет потенциал п.б.**

**Егер деполяризация потенциалының  
амплитудасы қозу табалдырығынан  
кіші болса, онда әрекет потенциалы  
болмайды.**



*1 сурет . Әрекет потенциалды зерттеу*

Рефрактерлік период, әрекет потенциалдың пайда болу уақытындағы мембрананың қозбаған кезеңі және қозудан кейінгі қалдық құбылыстар.

Қозу кезеңінде мембрана кедергісі кемиді (тыныштық күйде кальмар аксонында 0,1 Ом -нен қозу кезеңінде 0,0025 Ом м<sup>2</sup> –ге дейін).



**Қозу кезінде натрий иондары үшін мембрананың өтімділігі күрт артады.**

**Тыныштық потенциал кезінде әр түрлі иондар үшін мембрананың өтімділік коэффициенттері:**

$$P_k : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0.04 : 0.45$$

**Қозу кезеңінде**

$$P_k : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 20 : 0.45$$

*ӘП бірнеше фазадан тұрады:  
потенциал оң бағытқа қарай тез  
артады. Арту барысында  
жасушалық мембрана өзінің  
қалыпты зарядын  
(поляризациясын) жоғалтады-  
деполяризация фазасы.*

*Деполаризация қисығы нолдік сызықтан өтіп, мембраналық потенциал оң болады.*

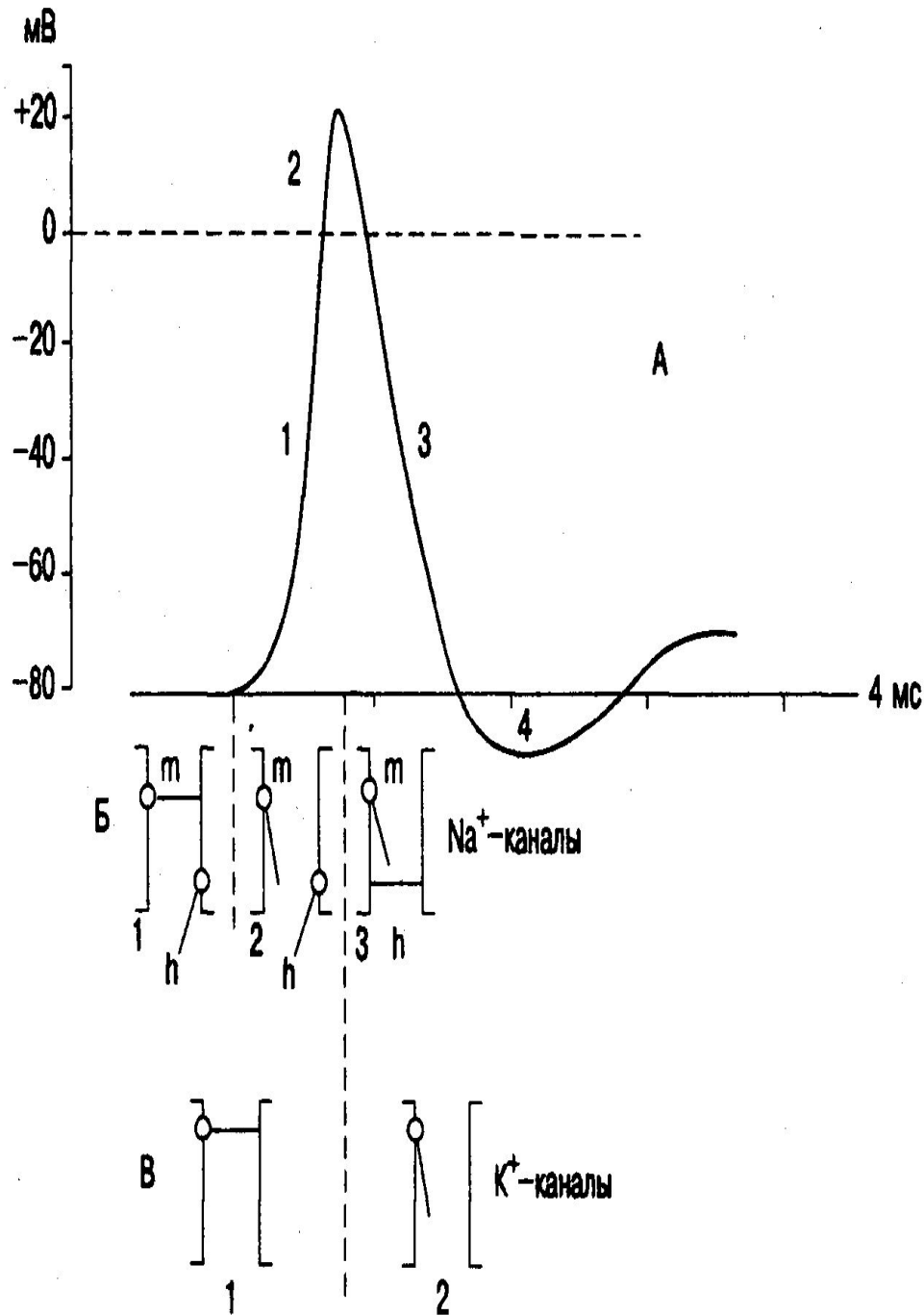
*Осы оң фазаны ӘП –ң инверсиясы деп аталады.*

*Әрекет потенциалының максимал мәні 30...40 мВ – ге жетеді.*

*Әрекет потенциалдың төмендеп, бастапқы қалпына келуін реполаризация кезеңі деп атайды.*

*Нерв талшықтарында әрекет потенциалдың реполяризация кезеңінде «іздік» потенциалдары байқалады.*

*Реполяризация кезеңінің соңында потенциалдың күшеюін гиперполяризация деп атайды.*



## Қозу үрдісі

ӘП және оның фазалары:

1 —  
деполяризация,  
2 — инверсия,  
3 —  
реполяризация,  
4 — іздік  
поляризация.

Б — натрий каналдарының қақпасы (m және h).

В — калий каналдарының қақпасы және олардың ӘП әр кезеңіндегі болу шарттары

*Электрон потенциалының кезеңдері*



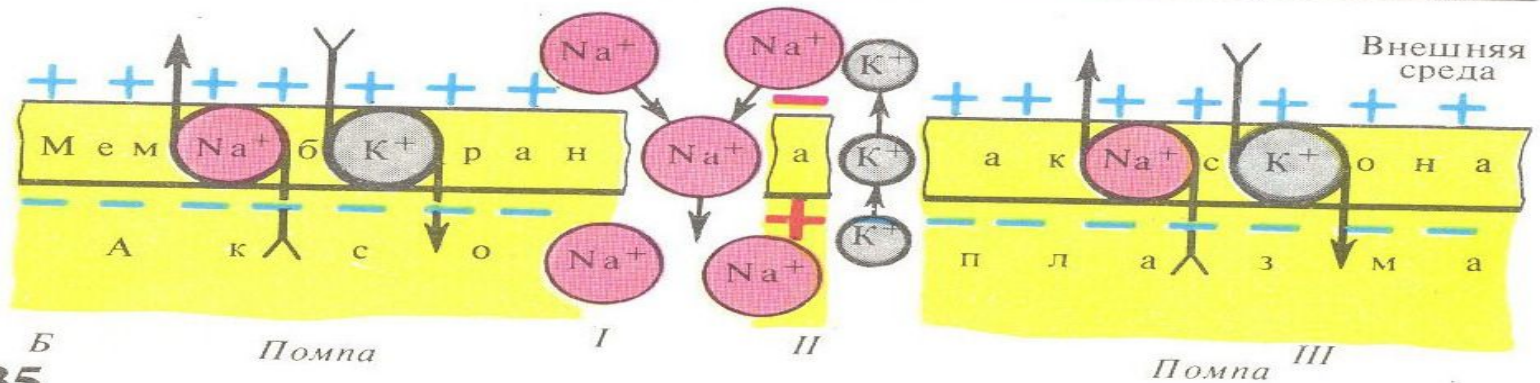
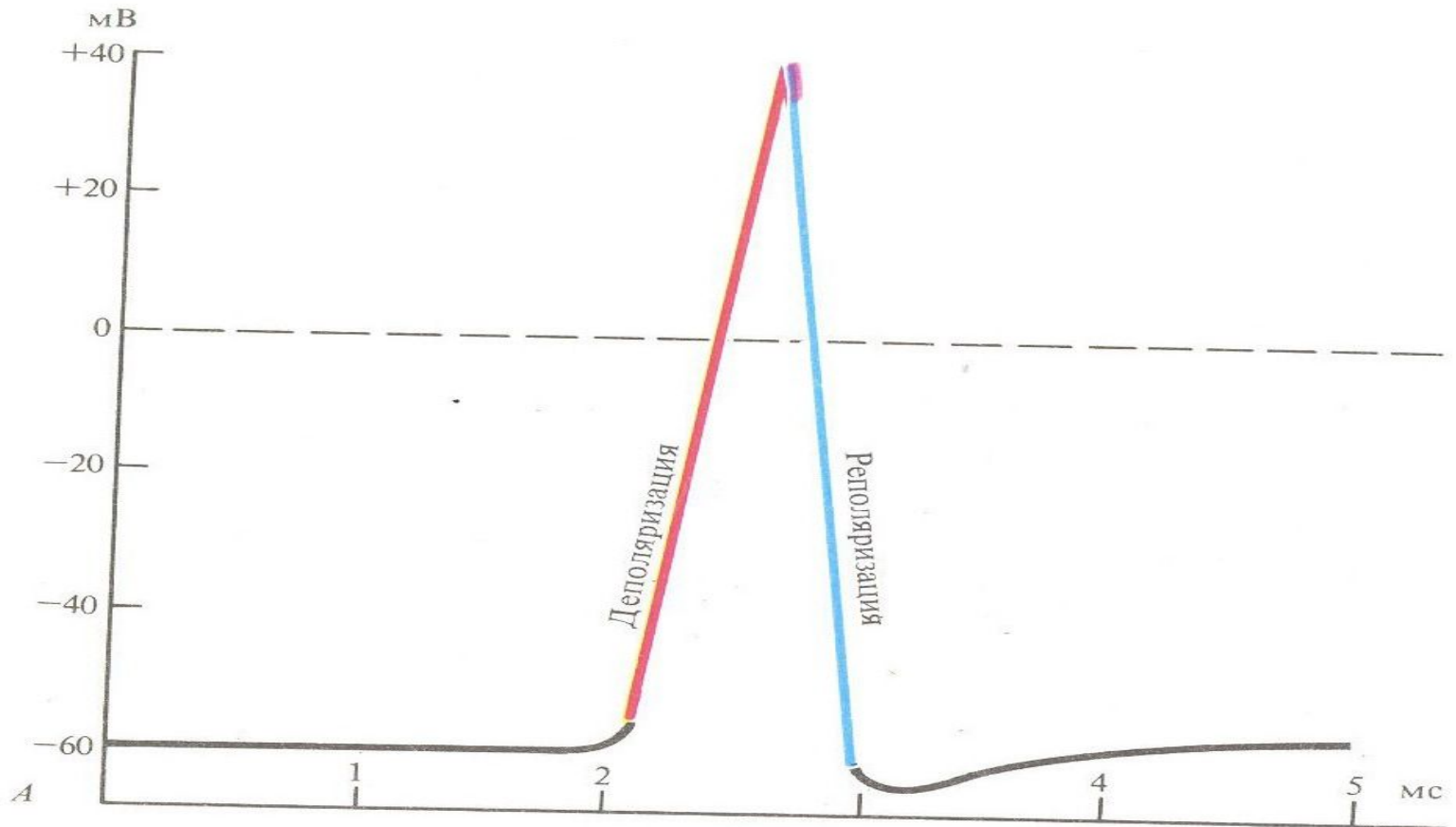
*1. Жергілікті жауап*

*2. Деполяризация.*

*3. Реполяризация.*

*4. Теріс потенциал.*

*5. Оң потенциал.*



Мембрана қозуы Ходжкин -Хаксли  
тендеуімен сипатталады.

$$I_M = C_M \frac{d\varphi}{dt} + \sum I_i$$

$I_M$  - мембрана арқылы өтетін ток,  $C_M$  - мембрананың сыйымдылығы,  $\sum I_i$  - мембрана арқылы өтетін иондар тогының қосындысы.



# *Әдебиеттер:*

1. Арызханов Б., Биологиялық физика, 1990 ж.
2. Кошенов Б.К. Медициналық биофизика, 2011г.
3. Тиманюк В.А., Животова Е.Н. Биофизика, Киев, 2004г с..
4. Ремизов А.М. Медицинская и биологическая физика, М., 2010г.
5. Антонов В.Ф. Биофизика, М., 2006 г.

## *Бақылау сұрақтары (кері байланыс):*

1. Тыныштық потенциалының пайда болуының механизмі қандай?
2. Мембраналық потенциалдарды өлшеу әдістері қандай?
3. Әрекет потенциалының пайда болуының механизмі қандай?