

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Զ Ե Կ Ո Ւ Ց Ց Ն Ե Ր
Д О К Л А Д Ы

LIII, № 1

1971

Խմբագրական կոլեգիա

Редакционная коллегия

Է. Գ. ԱՅՐԻԿՅԱՆ, կենսաբանական գիտությունների բնական, Ա. Ք. ԲԱՐՍՅԱՆ, շՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Ա. ՔԱԼԱՆՅԱՆ, շՍՍՀ ԳԱ բզրակից-անդամ, Վ. Մ. ՔԱՌԱՅԱՆ, շՍՍՀ ԳԱ բզրակից-անդամ, Վ. Հ. ՀԱՄԲԱՐՉՈՒՄՅԱՆ, ակադեմիկոս, Վ. Հ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, շՍՍՀ ԳԱ բզրակից-անդամ (պատ. խմբագրի տեղակալ), Ա. Հ. ՄԻՐՋՈՅԱՆ, շՍՍՀ ԳԱ բզրակից-անդամ, Ս. Ս. ՄԿՐՏՅՅԱՆ, շՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Կ. ՆԱԶԱՐՈՎ, շՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս (պատ. խմբագիր), Ս. Մ. ՍԱԳՈՆՉՅԱՆ, շՍՍՀ ԳԱ բզրակից-անդամ, Մ. Լ. ՏԵՐ-ՄԻՔԱՅԵԼՅԱՆ, շՍՍՀ ԳԱ բզրակից-անդամ:

В. А. АМБАРЦУМЯН, академик, Э. Г. ЛФРИКЯН, кандидат биологических наук, А. Т. БАБАЯН, академик АН АрмССР, В. О. КАЗАРЯН, чл.-корр. АН АрмССР (зам. отв. редактора), С. А. МИРЗОЯН, чл.-корр. АН АрмССР, С. С. МКРТЧЯН, академик АН АрмССР, А. Г. НАЗАРОВ, академик АН АрмССР (отв. редактор), О. М. САПОНДЖЯН, чл.-корр. АН АрмССР, А. А. ТАЛАЛЯН, чл.-корр. АН АрмССР, В. М. ТАРАЯН, чл.-корр. АН АрмССР, М. Г. ТЕР-МИКАЕЛЯН, чл.-корр. АН АрмССР.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՀՐԱՏԱՐԱԿԳՈՒԹՅՈՒՆ

Ե Ր Ի Վ Ո Ն

Е Р Е В А Н

Բ Ո Վ Ա Ն Գ Ա Կ Ո Ւ Ք Յ Ո Ւ Ն

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

Ա. Գ. Իսախանյան — Միջավայրի շարժման ու զծային հավասարումների որոշումը
կառավարիչի մաս 1

ՖԻԶԻԿԱ

Յ. Ռ. Հաբուսյան, Ա. Հ. Նազարյան, Գ. Բ. Բորզումյան, Ա. Ա. Նրանգյան, Գ.
Ա. Հեֆթյան — Գերբարձր էներգիաներով մասնիկների դետեկտոր. հիմնված շերտավոր
միջավայրում առաջված նառաջաթման օգտագործման վրա 11

Ե. Ս. Սարգսյան — Ցտորագման պատկերի միակերպության իմպուլսի լիցքի դիս-
պերսիայի շափումը 16

Խ. Կ. Մելիք-Քաթարյան — Նիսեռիկ հավասարում թույլ ստատիկ դաշտերում
զանվող գերհաղորդիչ համաձուլվածքների համար 21

ՍԵՑՏՄՈՂՈԳԻԱ

Ա. Գ. Նազարյան — Ծրկրաշարժների կանխագուշակման պրոբլեմի մասին 26

ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՔԻՄԻԱ

Ն. Մ. Բեյլերյան, Ռ. Գ. Մելիքսեբյան, Հ. Հ. Զալբիկյան — Ջրային լուծույթում
Ռ-պիպերիդիլիթանոլ-պերսուլֆատ ռեակցիայի տարրական ակտերի հաստատունների մա-
սին 32

ՀԱՆՎԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Ա. Հ. Կոչյան, Ս. Ս. Մկրտչյան — Արձևատական սֆայերիտների լյումինեսցեն-
ցիայի մասին 37

ԲԻՈՖԻԶԻԿԱ

Ս. Մ. Մարտիրոսով — Նատրիումային պոմպի մեխանիզմի մասին 41

ԻՌՈՅԻՄԻԱ

Մ. Ա. Տեր-Նաբատյան, Վ. Կ. Զանիրեկովա, Ս. Գ. Հովհաննիսյան — Խմորասեկա-
յին բլբլի մի Լանի բիոֆիզիկական ցուցանիշների փոփոխումը DL-վալիերի նկատմամբ
ադապտացման պրոցեսում 47

ԲՈՒՅՍՆԵՐԻ ՖԻԶԻԿԱ

Վ. Ն. Նազարյան, Գ. Ա. Խուրշուդյան, Կ. Կ. Գաբրիելյան — Բարդու արմատների
պերոքսիդազային և պոլիֆենոլօքսիդային ակտիվության գրադիենտի փոփոխության մա-
սին՝ կապված հողի ջրային ռեժիմի հետ 53

ԳԵՂԱԿՈՐԾՈՒԹՅՈՒՆ

Է. Ա. Ամբոյան — Ուղեղ-աղնուղեղային հեղուկի և զարկերակային արյան թթվա-
հիմնային հավասարակշռության մասնակցությունը ուղեղային շրջանառության վրա պա-
պավերինի ներգործության մեխանիզմում 58

СОДЕРЖАНИЕ

МЕХАНИКА

- А. Г. Багдоев* — Определение нелинейных уравнений движения среды вблизи каустики 3

ФИЗИКА

- Ф. Р. Арутюнян, А. А. Назарян, Г. Б. Торгомян, А. А. Франгян, Г. А. Экимян* — Детектор частиц сверхвысоких энергий, основанный на принципе использования излучения чветиц в слоистой среде 11

- Е. С. Саркисян* — Измерение дисперсии тариза одноэлектронного импульса фотоумножителя 15

- Г. К. Мелик-Бархударов* — Кинетическое уравнение для сверхпроводящих сплавов, находящихся в слабых статических полях 21

СЕЙСМОЛОГИЯ

- А. Г. Назаров* — К проблеме прогноза землетрясений 26

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

- Н. М. Бейлерян, Р. П. Меликсетян, О. А. Чалтыкян* — О константах элементарных актов реакции персульфата калия с β -пиперидилэтанолем в водных растворах 32

МИНЕРАЛОГИЯ

- А. А. Коджоян, Св. С. Мкртчян* — О люминесценции искусственных сфалеритов 37

БИОФИЗИКА

- С. М. Мартиросов* — О механизме натриевого насоса 41

БИОХИМИЯ

- М. А. Тер-Карапетян, В. Г. Джанибекова, С. П. Огансян* — Изменение некоторых биохимических показателей дрожжевой клетки в процессе адаптации к DL-валину 47

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

- В. О. Казарян, П. А. Хуршудян, Г. Г. Габриелян* — Об изменении градиента пероксидазной и полифенолоксидазной активности корней тополей в зависимости от водного режима почвы 51

ФАРМАКОЛОГИЯ

- Э. А. Амроян* — Об участии кислотно-щелочного равновесия цереброспинальной жидкости и артериальной крови в механизме действия папаверина на мозговое кровообращение 58

УДК 533.6

МЕХАНИКА

А. Г. Багдоев

Определение нелинейных уравнений движения среды вблизи каустики

(Представлено академиком АН Армянской ССР С. А. Амбарцумяном 11/II 1971)

Рассматривается задача определения упрощенных нелинейных уравнений движения сжимаемой среды вблизи фронта слабой ударной волны.

Пусть движение среды описывается системой нелинейных уравнений гиперболического типа

$$A_{ij}^{(k)}(U, x) \frac{\partial U_j}{\partial x_k} + \Phi_i(U, x) = 0, \quad (1)$$

где $x = |x_k|$ есть радиус-вектор точки в $(n+1)$ -мерном пространстве, причем x_0 подразумевается время t , под x_i понимаются пространственные координаты ($i = 1, \dots, n$), $U = \{U_i\}$ есть m -мерный вектор, координаты которого дают искомые параметры движения, $\Phi = \{\Phi_i\}$ — m -мерный вектор, $A_{ij}^{(k)}$ — элементы матриц, $i, j = 1, \dots, m$.

Пусть невозмущенное движение среды впереди волны задается вектором $V = \{V_i\}$, причем $V_i(x_i)$ есть заданная функция координат.

Тогда, поскольку возмущения, вносимые волной, малы, можно полагать за волной

$$U = V + u, \quad (2)$$

где $|u| \ll |V|$, $|u| \sim \varepsilon$, $\varepsilon \ll 1$, причем ε задает интенсивность ударной волны. Кроме того, предполагается, что параметры возмущенного движения u_i быстро меняются в малой окрестности волны, поэтому $|\text{grad } u_i| \gg |u_i|$. Подставляя (2) в (1) и учитывая, что V также удовлетворяет (1), можно, оставляя в нелинейных частях (1) лишь слагаемые, содержащие производные u_i , получить систему уравнений для u_i :

$$a_{ij}^{(k)} \frac{\partial u_j}{\partial x_k} + t_{il} u_l = - \frac{\partial A_{ij}^{(k)}}{\partial V_l} u_l \frac{\partial u_j}{\partial x_k}, \quad (3)$$

где

$$a_{ij}^{(k)} = A_{ij}^{(k)}(V, x), \quad t_{il} = \frac{\partial A_{ij}^{(k)}}{\partial V_l} \frac{\partial V_j}{\partial x_k} + \frac{\partial \Phi_i}{\partial V_k} \delta_{lk}, \quad \delta_{lk} = \begin{cases} 1 & l = k \\ 0 & l \neq k \end{cases}$$

Левая часть уравнений (3) представляет линейный оператор $L(u)$, уравнение характеристических поверхностей $F(x_i, t) = 0$, для которого представляет уравнение линейных характеристик для системы уравнений (1), и имеет вид (1)

$$\Delta(\xi_i, x) = \det(a_{ij}^{(k)} \xi_k) = 0, \quad (4)$$

где $\xi_i = \frac{\partial F}{\partial x_i}$ есть компоненты вектора нормали \bar{k} к поверхности волны $F = 0$, $\xi_0 = \frac{\partial F}{\partial t}$.

Уравнение бихарактеристик для $L(u)$ или лучей имеет вид (1)

$$\frac{dx}{ds} = \text{grad}_i \Delta, \quad \frac{dx_i}{ds} = \Delta_{\xi_i}, \quad \frac{dt}{ds} = \Delta_{\xi_0}, \quad (5)$$

где $\Delta_{\xi_i} = \frac{\partial \Delta}{\partial \xi_i}$. s — длина дуги луча. Поскольку Δ есть однородная функция ξ_i степени m , можно принять

$$\Delta(\xi_i) = (-\xi_0)^m \Delta(x_i, -1), \quad a_i = \frac{\xi_i}{-\xi_0} \quad (6)$$

и, полагая $\xi_0 = -1$, можно найти

$$\Delta_{\xi_i} = \Delta_{a_i}, \quad \Delta_{\xi_0} = a_i \Delta_{a_i}, \quad a_i = \xi_i. \quad (7)$$

Тогда (5) запишется в виде

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{\Delta_{\xi_i}}{\xi_i \Delta_{\xi_i}}, \quad \frac{dt}{ds} = \xi_i \Delta_{\xi_i}. \quad (8)$$

Пусть лучи (8) уравнения $L(u) = 0$ имеют огибающую поверхность, называемую каустикой, на которой лучевое решение имеет особенность (1, 2). Для волнового уравнения решение вблизи каустики найдено в (2-5), для произвольной системы линейных уравнений $L(u) = 0$ в гармонической по времени задаче решение найдено в (6), упрощенные нелинейные уравнения вблизи каустики получены в (4, 7-10) для сжимаемой неэлектропроводящей жидкости, а для однородной электропроводящей жидкости в магнитном поле в (11). Здесь ставится задача получения упрощенных уравнений вблизи линии пересечения волны с каустикой для общих уравнений (1) или (3).

В момент t фронт волны пересекается с каустикой по некоторой линии. Выбирая некоторый луч (8) и обозначая через $x^{\circ}(t) = \{X_i\}$ координаты точки A касания луча с каустической поверхностью, можно записать для точки A по (8)

$$\frac{dx_i}{dt} = \frac{\Delta_{a_i}}{a_i \Delta_{a_i}}, \quad (9)$$

где через x_i обозначены значения \bar{x}_i в A . Из линейного решения видно (см. (11)), что в основном порядке по y_1 решение задачи зависит от двух переменных

$$\bar{x}_1 = (x - x^0) \bar{k}, \quad y_1 = (x - x^0) \bar{N}. \quad (10)$$

Здесь $\bar{k} = (k_i)$ есть нормаль к волне в точке A (рис. 1), \bar{N} — единичный вектор нормали к каустике в A , причем $x_1 = 0$ дает касательную к волне в A , $y_1 = 0$ — касательную к каустике. Поскольку y_1 характеризует расстояние точки (x_i) от каустики, а x_1 время пробега волны вдоль луча до (x_i) , можно в основном порядке рассматривать движение в плоскости векторов \bar{N} и $\text{grad}_i \Delta$, то есть нормали к каустике и луча, которая условно изображена на фиг. 1 как плоскость X, Y .

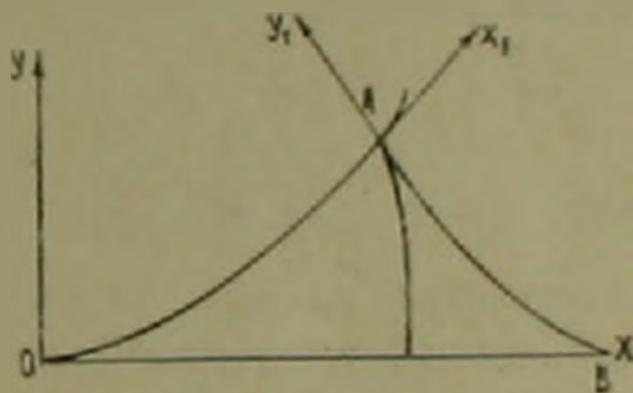


Рис. 1.

Из линейного решения известны порядки малости

$$\bar{x}_1 \sim y_1^{\frac{2}{3}}. \quad (11)$$

С учетом указанных соображений из (10) получится

$$x - x^0 = y_1 \bar{N} - y_1 \frac{\alpha_i N_i}{\alpha_i \Delta \alpha_i} \text{grad}_i \Delta, \quad (12)$$

где отброшено слагаемое $\frac{\bar{k}}{|\bar{k}|^2} \bar{x}_1$ в силу (11).

Учитывая, что в силу (11)

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_1} \gg \frac{\partial u_i}{\partial y_1} \gg u_i \quad (13)$$

выражая в правой части (3) все производные через $\frac{\partial}{\partial x_1}$ и заменяя в ней все u_i через $u_i = P$ с помощью условий совместности на вол-

не (12) $u_i^{(2)} u_i \xi_2 = 0$, можно нелинейное слагаемое в (3) представить в виде

$$k_i u_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = \bar{k} P \frac{\partial P}{\partial x_i}, \quad (14)$$

где $\bar{k} = [k_i]$ — известный вектор.

Следуя методу, примененному в (11) при получении уравнений вблизи каустики в магнитной газодинамике, можно разрешить (3) относительно $u_i = P$ и получить уравнение

$$\Delta(p_i) P = A_{ii}(p_i) \left(k_i P \frac{\partial P}{\partial x_i} - t_{ii}(u_i) \right), \quad (15)$$

где $\Delta(p_i)$ есть характеристический определитель (4), A_{ii} — алгебраические дополнения в Δ элементов, содержащих u_i . Здесь обозначено

$$p_i = \frac{\partial}{\partial x_i}, \quad \rho_i = \frac{\partial}{\partial t}, \quad \text{причем по (10)}$$

$$\rho_i = \alpha_i \frac{\partial}{\partial x_i} + N_i \frac{\partial}{\partial y_i}, \quad \rho_i = \frac{\partial \bar{x}_i}{\partial t} \frac{\partial}{\partial \bar{x}_i} + \frac{\partial y_i}{\partial t} \frac{\partial}{\partial y_i}. \quad (16)$$

Согласно (10)

$$\frac{\partial \bar{x}_i}{\partial t} = -1 + (x - x^0) \frac{\partial \bar{k}}{\partial t}, \quad \frac{\partial y_i}{\partial t} = (x - x^0) \frac{\partial \bar{N}}{\partial t} \quad (17)$$

и второе слагаемое в ρ_i можно отбросить.

Для оператора Δ можно записать ряд по степеням операторов

$$\frac{\partial}{\partial y_i} \ll \frac{\partial}{\partial \bar{x}_i}, \quad \left(1 + \frac{\partial \bar{x}_i}{\partial t} \right) \frac{\partial}{\partial \bar{x}_i} \ll \frac{\partial}{\partial \bar{x}_i}. \quad (18)$$

Оставляя слагаемые лишь основного порядка, содержащие старшие производные, в которых действие операторов на коэффициенты в Δ при ρ_i, ρ_i не учитывается, можно найти

$$\begin{aligned} \Delta(p_i, \rho_i, x) = & \left(\frac{\partial}{\partial \bar{x}_i} \right)^{m-1} (\alpha_i \Delta_{\alpha_i}) (x - x^0) \frac{\partial \bar{k}}{\partial t} \frac{\partial}{\partial \bar{x}_i} + \\ & + \left(\frac{\partial}{\partial \bar{x}_i} \right)^m \frac{\partial \Delta}{\partial y_i} y_i + \left(\frac{\partial}{\partial \bar{x}_i} \right)^{m-2} \frac{\Delta_{\alpha_i \alpha_i} N_i N_i}{2} \left(\frac{\partial}{\partial y_i} \right)^2. \end{aligned} \quad (19)$$

Здесь учтены условия в точке А

$$\Delta(\alpha_i, -1, x^0) = 0, \quad \Delta_{\alpha_i} N_i = 0 \quad (20)$$

и однородность Δ по ξ_i , $\Delta\left(-\frac{\partial}{\partial x_1}, \alpha_i \frac{\partial}{\partial x_1}\right) = \left(-\frac{\partial}{\partial x_1}\right)^m \Delta(-1, \alpha_i)$.

Тогда, учитывая еще, что A_{ij} есть однородная функция ξ_i степени $m-1$, можно найти из (13)

$$\lambda y_1 \frac{\partial^2 P}{\partial x_1^2} + \frac{\Delta_{\alpha_i \alpha_j} N_i N_j}{2} \frac{\partial^2 P}{\partial y_1^2} = \frac{\partial}{\partial x_1} A_{ij}(\alpha_i) \left(k_i P \frac{\partial P}{\partial x_1} - t_{ij} u_i \right). \quad (21)$$

где обозначено

$$\lambda y_1 = \frac{\partial \Delta}{\partial y_1} y_1 + (\alpha_i \Delta_{\alpha_i}) (x - x^0) \frac{\partial k}{\partial t}, \quad (22)$$

причем $x - x^0$ выражается через y_1 по (12). Слагаемое $\frac{\partial}{\partial x_1} (t_{ij} u_i)$ в

(21) значительно меньше его левой части, в силу (11), (18), и его можно отбросить. Для скачкообразной (вдали от каустики) волны AB

имеют место порядки (4.7.11) $\frac{\partial \varphi}{\partial x_1} = P \sim \gamma^{\frac{1}{2}} \sim y_1$, $x_1 \sim \gamma^{\frac{6}{5}}$, $\epsilon = \gamma^{\frac{4}{5}}$,

где γ есть интенсивность AB вдали от A , и левая часть в (21), а также нелинейное слагаемое в правой части имеют порядок $\gamma^{\frac{3}{2}}$.

Во всех задачах, в которых существенна нелинейность, вводя переменную (*)

$$P = -y_1 \left(\frac{2\lambda}{N_i N_j \Delta_{\alpha_i \alpha_j}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

можно из (21) получить уравнение $u_i = \frac{\partial \varphi}{\partial x_1}$,

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y_1^2} - \mu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_1^2} = \frac{2^{\frac{3}{2}}}{(N_i N_j \Delta_{\alpha_i \alpha_j})^{\frac{1}{2}} \lambda^{\frac{3}{2}}} A_{ij}(\alpha_i) k_i \frac{\partial \varphi}{\partial x_1} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_1^2}. \quad (24)$$

Левая часть (24) должна удовлетворяться линейным решением (*), откуда, сопоставляя со значением μ в (*)

$$P = y_1 \cdot \left(\frac{2\ddot{y}_1}{\Delta_{F_{y_1} F_{y_1}}} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad F_{y_1} = \frac{\partial F}{\partial y_1}, \quad (25)$$

где вдоль лучей (8) $\ddot{y}_1 = \frac{d^2 y_1}{ds^2}$, $\Delta_{F_{y_1} F_{y_1}} = \frac{\partial^2 \Delta}{\partial F_{y_1}^2}$, можно найти соот-

ношение

$$-\frac{\lambda}{N_l N_l \Delta_{a_1 a_1}} = \frac{\frac{d^2 y_1}{ds^2}}{\left(\frac{\partial^2 \Delta}{\partial F_{y_1}^2}\right)} \quad (26)$$

Согласно (10) вдоль луча (8) (при фиксированной точке A)

$$\frac{\partial \Delta}{\partial F_{y_1}} = \frac{dy_1}{ds} = \frac{dx}{ds} \bar{N} = \Delta_{\xi_l} N_l, \quad \bar{N} = \bar{N}(t) \quad (27)$$

Отсюда

$$\frac{\partial^2 \Delta}{\partial F_{y_1}^2} = \frac{\partial \Delta_{\xi_l}}{\partial F_{y_1}} N_l = \Delta_{\xi_l \xi_l} \frac{\partial \xi_l}{\partial F_{y_1}} N_l, \quad (28)$$

причем в точке A $\frac{\partial \Delta}{\partial F_{y_1}} = 0$, как и в (*). С учетом равенств

$$\Delta(\xi_l) = 0, \quad \Delta_{\xi_l} \frac{\partial \xi_l}{\partial F_{y_1}} = 0 \quad (29)$$

предполагая, как и при получении (12), что основное движение происходит в плоскости векторов \bar{N} и $\text{grad} \Delta$, можно найти из (29) равенства

$$\bar{k} = |\xi_l|, \quad \frac{\partial \bar{k}}{\partial F_{y_1}} = \mu \bar{N}. \quad (30)$$

Кроме того, согласно (10) можно найти для $F_{y_1} = \frac{\partial F}{\partial y_1}$,

$$F_{y_1} = \xi_l \frac{\partial x_l}{\partial y_1}, \quad \frac{\partial x_l}{\partial y_1} = \frac{x_l - X_l}{y_1}, \quad (31)$$

причем в A имеет место $\xi_l = a_l$, $F_{y_1} = 0$. Из (31) приближенно следует $1 = \frac{\partial \xi_l}{\partial F_{y_1}} \frac{\partial x_l}{\partial y_1}$ и, подставляя сюда (30) и (10), можно найти

$\mu = 1$. Следует отметить, что в приведенных соотношениях (12) не использовалось. Из (30) и (28) получится

$$\frac{\partial \xi_l}{\partial F_{y_1}} = N_l, \quad \frac{\partial^2 \Delta}{\partial F_{y_1}^2} = \Delta_{\xi_l \xi_l} N_l N_l. \quad (32)$$

Кроме того, по (*) выполняется соотношение

$$\frac{d^2 y_1}{ds^2} = -\frac{\partial^2 \Delta}{\partial F_{y_1}^2} \left(\frac{dF_{y_1}}{ds} + \frac{\partial \Delta}{\partial y_1} \right), \quad (33)$$

где по (31) и (8) $\frac{dF_{y_1}}{ds} = \frac{d\xi_l}{ds} \frac{\partial x_l}{\partial y_1} = \frac{d\xi_l}{dt} \frac{x_l - X_l}{y_1} (a_l \Delta_{a_l})$.

Подставляя (32), (33) в (26), можно убедиться, что оно удовлетворяется, что завершает сопоставление линейной части уравнения (24) с результатами (*). Разумеется, желательно более строгое рассмотрение указанного соответствия.

В плоской задаче $x_1 = x$, $x_2 = y$, и вышеприведенные соображения становятся более наглядными.

Обозначая $\xi_1 = \alpha$, $\xi_2 = \beta$, можно получить из (24)

$$\frac{\partial^2 \tau}{\partial \varphi^2} - \rho \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_1^2} = \frac{2^{\frac{1}{2}}}{\left(2 \frac{\partial \beta}{\partial t} - \beta \frac{\partial \alpha}{\partial t} + \frac{\partial \Delta}{\partial y_1}\right)^{\frac{1}{2}} k^{\frac{1}{2}}} A_{1j} k_j P \frac{\partial P}{\partial x_1}, \quad (34)$$

причем для однородной первоначально неподвижной среды можно получить соотношения (**)

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} = -\frac{\beta''(\alpha)}{R} \frac{1}{\beta - \alpha \beta'}, \quad \rho = -\frac{y_1}{\Delta_p} \left(\frac{2}{R}\right)^{\frac{1}{2}}, \quad R = -\frac{1}{k} \frac{\beta''^2}{(1 + \beta'^2)^{\frac{3}{2}}}$$

где $\beta(\alpha)$ находится из уравнения $\Delta(\alpha, \beta) = 0$, k есть кривизна каустики в A , и, подставляя в (34), можно получить уравнение, выведенное в (**) в задаче магнитной газодинамики.

Коэффициент при $P \frac{\partial P}{\partial x_1}$ может быть выражен через коэффициент пропорциональности A в формуле для скорости волны (***) $c_n + v_n = c_0 + v_0 + AP$ в виде $A_{1j} k_j = -\frac{x_j \Delta_{x_j}}{c_0 + v_0} A$, где $c_0 + v_0$ есть невозмущенная скорость волны, в чем можно убедиться, записав уравнение (15) для одномерной по τ задачи, где τ есть время пробега от волны BB_1 до точки x вдоль луча, что дает характеристическое уравнение $(\Delta_{\xi_i} \xi_i) \frac{\partial \tau}{\partial t} = -A_{1j}(\xi_i) k_j P$; для скорости характеристики (***) следует $c_n + v_n = (c_0 + v_0) \left(1 + \frac{\partial \tau}{\partial t}\right)$, причем из вышеуказанного уравнения для скорости $c_n + v_n$ характеристики (***) следует $\frac{\partial \tau}{\partial t} = \frac{AP}{c_0 + v_0}$, что подтверждает приведенное выше соотношение.

Միջավայրի շարժման ոչ գծային հավասարումների որոշումը
կաուստիկայի մոտ

Դիտարկվում է սեղմելի միջավայրի պարամետրների որոշման խնդիրը կաուստիկայի մոտ, որը գծային ալիքի ճառագայթների պարուրիչն է: Ստացված են պարզեցրած ոչ գծային հավասարումները կաուստիկայի և հարվածային ալիքի խախտման գծի (կամ կետի հարթ խնդրում) շրջակայքում: Կատարված է համեմատությունը նախորդ ուսումնասիրությունների հետ:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ P. Курант, Уравнения с частными производными. Изд. «Мир», М., 1965.
² Ю. Л. Газарян, Вопросы динамической теории, т. V, Л., 1961. ³ В. М. Бабич, Вопросы динамической теории, т. V, Л., 1961. ⁴ J. P. Guiraud, Comptes Rendus, t. 266, № 6 (1965). ⁵ А. Г. Багдоев, Г. Г. Оганян, ДАН АрмССР, № 2, т. XLIX, (1969).
⁶ D. Ludwig, Communications on Pure and Applied Mathematics, № 6, 1966.
⁷ А. Г. Багдоев, Некоторые нелинейные задачи движения сжимаемой жидкости. Ереван, 1967. ⁸ А. Г. Багдоев, ДАН АрмССР, т. XLV, № 5 (1967). ⁹ А. Г. Багдоев, ДАН АрмССР, т. XLVI, № 2 (1968). ¹⁰ А. Г. Багдоев, Известия АН АрмССР, т. XXII, № 1 (1969). ¹¹ А. Г. Багдоев, Известия АН АрмССР, т. XXIII, № 2 (1970). ¹² A. Jeffrey, T. Taniuti Nonlinear Wave propagation, New-York—London, 1964.

УДК 539.121.7

ФИЗИКА

Ф. Р. Арутюнян, А. А. Назарян, Г. Б. Тургомьян, А. А. Франгян, Г. А. Эвимиан

Детектор частиц сверхвысоких энергий, основанный на принципе использования излучения частицы в слоистой среде

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляном 25/XI 1970)

Пороговый характер излучения, возникающего при прохождении ультрарелятивистской частицы через периодическую слоистую среду (резонансное излучение) и резкая зависимость его интенсивности от энергии частицы, позволяет использовать это излучение для детектирования одиночных заряженных частиц высоких энергий ($E/mc^2 > 10^3 - 10^4$).

Детектор (за ним установлено название «РИД» — резонансного излучения детектор) аналогичен черенковскому счетчику, как в смысле выделения направления движения частицы, так и его пороговых свойств, но в отличие от последнего может работать в области больших значений E/mc^2 , где обычные черенковские счетчики не могут отличить одну энергию от другой.

Такой метод детектирования частиц был впервые предложен и экспериментально исследован нами ранее (1-4); детектировались μ -мезоны горизонтального потока космических лучей с энергией более $7 \cdot 10^2$ Гэв. В этом эксперименте эффективность регистрации μ -мезонов, усредненная по интервалу энергий $7 \cdot 10^2 - 6 \cdot 10^3$ Гэв, составляла 9%.

Исследования спектральных, энергетических и других характеристик резонансного излучения описаны в ряде работ (5-7).

Ниже приводятся результаты экспериментального исследования «РИД»-а для электронов с энергией 2,8 и 3,7 Гэв. Работа выполнена на синхрофазотроне ОИЯИ. Пучок π^- , e^- после прохождения через слоистую среду, отклоняется магнитом и далее проходит через газовый пороговый черенковский счетчик (СГ) и черенковский счетчик полного поглощения (СП). С помощью последних электроны выделяются из пучка π^- -мезонов. Число электронов составляет 0,7—1,0% от числа π^- -мезонов. Измерения проводились для нескольких сред (n — число слоев, l_1 — толщина слоя (бумага или органическая пленка), $2 \cdot l_1$ — расстояние между слоями, L — полная длина слоистой среды).

Излучение, образованное в слоистой среде, детектируется в направлении первоначального движения электрона двумя методами. В первом методе, кванты резонансного излучения детектируются γ -спектрометром полного поглощения, состоящим из сцинтилляционного кристалла NaI(Tl).

На рис. 1 показана зависимость среднего числа квантов (N) с энергией выше 15 и 35 кэв на электрон от энергии электрона E (результаты для электронов с энергией до 0,6 Гэв были получены ранее (^{1,6})). Данные соответствуют непосредственно выходу из слоистой среды.

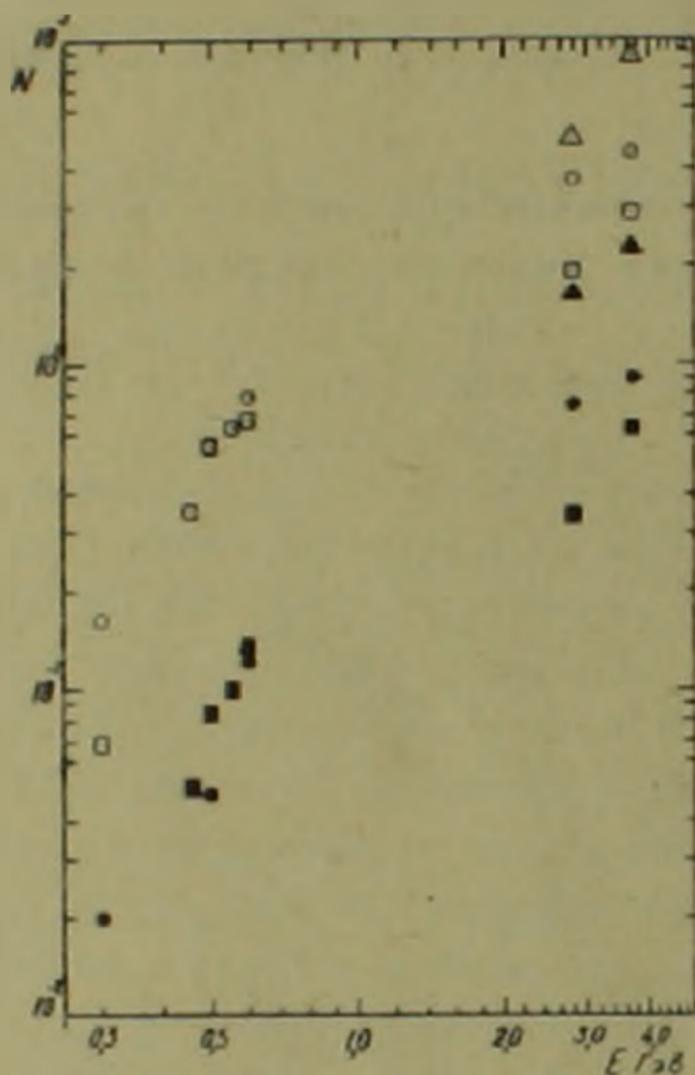


Рис. 1. \circ , \blacksquare — $l_1 = 2,83 \cdot 10^{-3}$ см (бумага), $\alpha = 18,8$, $n = 1050$, $L = 58$ см.
 \square , \blacksquare — $l_1 = 2,43 \cdot 10^{-3}$ см (бумага), $\alpha = 11,1$; $n = 300$, $L = 40$ см.
 \triangle , \blacktriangle — $l_1 = 1,4 \cdot 10^{-1}$ см (орг. пленка), $\alpha = 200$, $n = 950$, $L = 270$ см.
 \circ , \square , \triangle — $h_{\omega} > 15$ кэв. \bullet , \blacksquare , \blacktriangle — $h_{\omega} > 35$ кэв

Во втором методе (метод характеристического излучения (¹⁻⁴)) кванты, образованные электроном в слоистой среде, проходят через тонкостенный цилиндрический контейнер (диаметр—6 см, длина—10 см), наполненный ксеноном при атмосферном давлении. Контейнер с ксеноном располагается внутри сквозного бокового отверстия, имеющегося в кристаллическом сцинтилляторе NaI(Tl), цилиндрической формы, диаметр и высота которого равны 10 см. Свет сцинтиллятора собирается с обоих его торцов. Фотоны резонансного излучения с энергией равной и большей энергии связи электронов К-оболочки атомов ксенона вызывают фотоэффект; ксенон при этом испускает изотропное по углам характеристическое излучение с энергией фотонов $l_2 = 35$ кэв, которое регистрируется сцинтиллятором.

На рис. 2 показаны спектры характеристического излучения ксенона.

индуцированные резонансным излучением. Там же приводится спектр линии 33 кэв Cs^{137} . Из рисунка следует, что среднее число характеристических квантов, приходящихся на электрон, в условиях настоящего эксперимента составляет $(1,41 \pm 0,08) \cdot 10^{-1}$ и $(1,34 \pm 0,07) \cdot 10^{-1}$ для электронов с энергией 3,7 и 2,8 Гэв соответственно. Аналогичные измерения были проведены для пластинки, толщина которой равна количеству вещества слонстой среды. В этом случае полное число характеристических квантов на электрон оказалось равным $(3 \pm 1) \cdot 10^{-2}$.

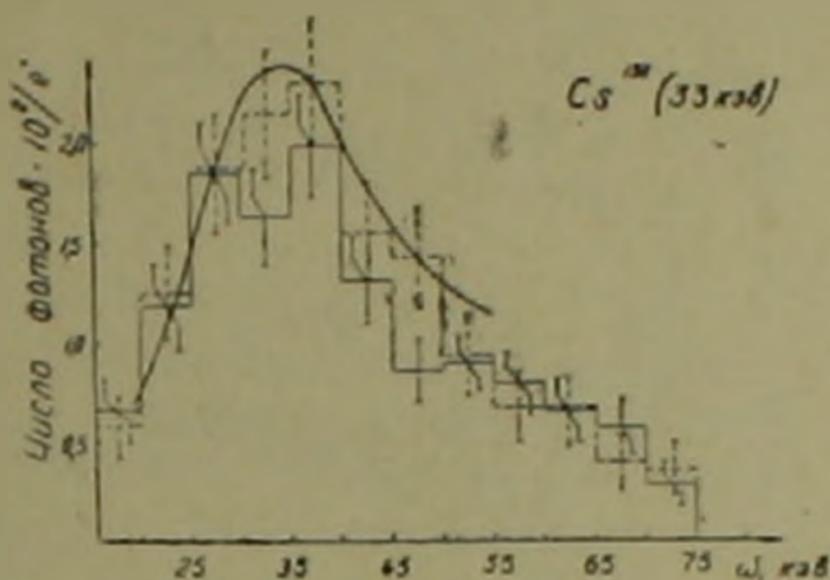


Рис. 2. Спектры характеристического излучения ксенона, индуцированные резонансным излучением электронов с энергиями 2,8 (сплошные линии) и 3,7 Гэв (пунктирные линии) в слонстой среде бумага—воздух; $t_1 = 2,83 \cdot 10^{-3}$ с.м, $\tau = 18,8$, $n = 2100$, $l = 116$ с.м

Полученное в эксперименте среднее число квантов на электрон соответствует эффективности детектора $\sim 13\%$. Однако в условиях имеющейся геометрии детектируется не все излучение, образуемое электроном в слонстой среде. Измеренные угловые распределения излучения показывают, что используется только 36% полного излучения. С учетом этого обстоятельства, эффективность детектора равна 31% .

Работа обоих детекторов была проверена на конкретном эксперименте по выделению электронов из пучка π^- -мезонов с импульсом 2,8 Гэв/с. При этом с телескопом (С тел.), выделяющим заряженную частицу, и черенковским счетчиком полного поглощения, вместо газового черенковского счетчика, включался «РИД». Измерялся спектр импульсов черенковского счетчика полного поглощения. Данные приведены на рис. 3 (3 (2)—3 (5) относятся к первому методу, 3 (7)—3 (10)—ко второму). Импульс управления анализатором для каждого случая указан вверху соответствующей гистограммы. Данные рисунков 3 (2)—3 (4) и 3 (7)—3 (9) получены с подключенным газовым черенковским счетчиком при различных давлениях газа в нем.

Результаты этих измерений показывают, что с помощью «РИД»-а электроны так же хорошо выделяются из пучка π^- -мезонов, как и с помощью газового черенковского счетчика (выбросы в левой части спектров 3 (5) и 3 (10) обусловлены применением в случае «РИД»-а сравни-

тельно медленной электроники, что диктуется большим временем высвечивания кристаллов). Разница заключается лишь в эффективности, которая для первого метода составляет $\sim 50\%$, для второго — 12% . Малая по сравнению с данными рис. 2 эффективность первого метода обусловлена наличием между слоистой средой и π -спектрометром поглощающих элементов (сцинтилляторы и т. п.).

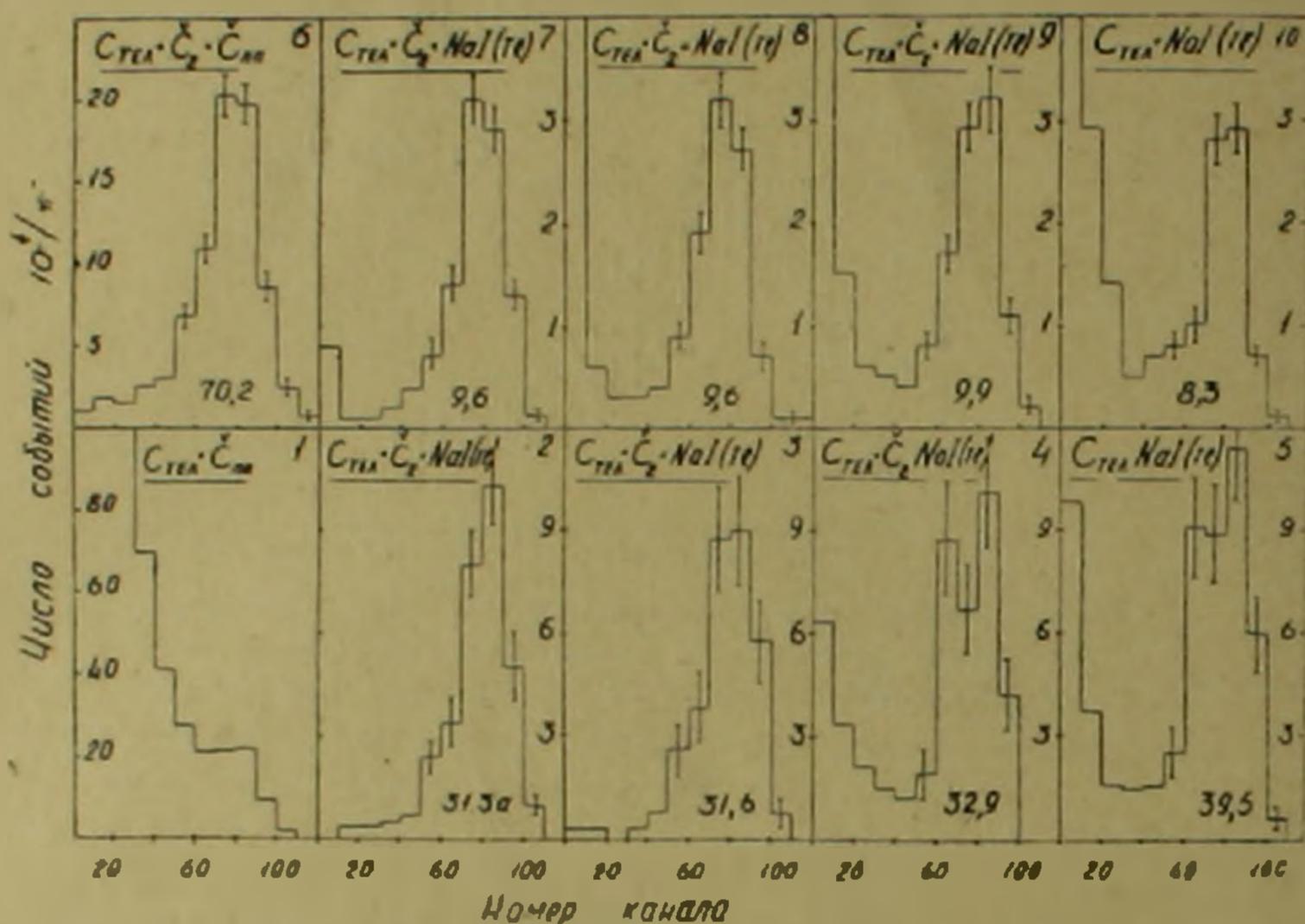


Рис. 3. Спектры импульсов черенковского счетчика полного поглощения

В заключение отметим возможности совершенствования вышеописанных детекторов, которые могут привести практически к 100% эффективности регистрации одиночных частиц. К ним помимо отмеченного выше увеличения поперечных размеров сцинтиллятора и объема газа-поглотителя, можно отнести увеличение числа слоев, размещение детектирующей части непосредственно за слоистой средой, установление нескольких таких комбинаций друг за другом, уменьшение энергии квантов, выше которой они регистрируются, помещение слоистой среды непосредственно в газ-поглотитель и детектирование фотонов с боковых сторон. Отметим также, что более перспективным является метод характеристического излучения, который может применяться для детектирования частиц сверхвысоких энергий, где использование отклоняющих частицу магнитов исключено.

Авторы считают приятным долгом выразить благодарность руководству ЛВЭ ОИЯИ за предоставление возможности проведения экспериментов, а также Г. М. Айрапетяну и В. П. Кишилевскому за непосредственную помощь в работе.

Институт физических исследований
Академии наук Армянской ССР

Փերաբոսը կենդանիների մասնիկների դետեկտոր, հիմնված շերտավոր միջավայրում առավել ճանաչարման օգտագործման վրա

Ռեզոնանսային ճառագայթման օգնությամբ դետեկտվել են 2,8 և 3,7 Գէվ-
լներգիաներով էլեկտրոնները

Դետեկտորը նման է շերենկովյան հաշվիչին, ինչպես մասնիկի ուղղությունը որոշող հատկությամբ, այնպես էլ իր շեմայնությամբ, բայց ի տարբերություն նրանից կարող է աշխատել $E \cdot mc^2$ -ի մեծ արժեքների տիրույթում, որտեղ սովորական շերենկովյան հաշվիչները չեն կարող տարբերել մեկ էներգիան մյուսից:

էլեկտրոնների ճառագայթումը դետեկտվել է երկու եղանակով՝ լրիվ կլանման սպեկտրոմետրով և բնութագրիչ ճառագայթման եղանակով: Առաջին եղանակով մեկ էլեկտրոնից ստացված քվանտների թիվը հասնում է տասնյակի, որը համապատասխանում է դետեկտորի 100% էֆեկտիվությանը: Երկրորդ եղանակով էֆեկտիվությունը ~30% է, եթե օգտագործվի ամբողջ ճառագայթումը:

Երկու դետեկտորների աշխատանքն էլ ստույգված է 2,8 Գէվ /c իմպուլսով π -մեզոնների փնջից էլեկտրոնների անջատման փորձի ժամանակ: Չափումների արդյունքները ցույց են տալիս, որ էլեկտրոնները π -մեզոնների փնջից դետեկտորով անջատվում են նույնքան լավ, որքան և գաղային շերենկովյան հաշվիչի օգնությամբ: Սակայն, եթե շերենկովյան հաշվիչի էֆեկտիվությունը հասնում է 100%-ի, ապա դետեկտորի էֆեկտիվությունը առաջին եղանակով ~50%, իսկ երկրորդով 12% է:

Պետք է նշել, որ ավելի բարձր էներգիաների տիրույթում շերենկովյան հաշվիչը անկիրառելի է, իսկ տվյալ դետեկտորի էֆեկտիվությունը կարող է միայն աճել: Ըստ երևույթին գերբարձր էներգիաներով մասնիկների գրանցման համար կօգտագործվեն նման դետեկտորները:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- 1 Փ. Ր. Արությունյան, Կ. Ա. Իսպիրյան, Ա. Գ. Օգանեսյան, «Известия АН СССР», т. 28, 1864 (1964)
- 2 Փ. Ր. Արությունյան, Կ. Ա. Իսպիրյան, Ա. Գ. Օգանեսյան, Труды XII Международной конференции по физике Дубна, 1964
- 3 Փ. Ր. Արությունյան, Կ. Ա. Իսպիրյան, Ա. Գ. Օգանեսյան, «Известия АН СССР», т. 29, 1769 (1965)
- 4 Փ. Ր. Արությունյան, Կ. Ա. Իսպիրյան, Ա. Գ. Օգանեսյան, Ядерная физика, т. 1, 842 (1965)
- 5 Փ. Ր. Արությունյան, Կ. Ա. Իսպիրյան, Ա. Գ. Օգանեսյան, А. А. Франгян, Письма ЖЭТФ, т. 4, 277 (1966)
- 6 Փ. Ր. Արությունյան, Կ. Ա. Իսպիրյան, А. Գ. Օգանесян, А. А. Франгян, ЖЭТФ, т. 52, 1121 (1967)
- 7 Փ. Ր. Արությունյան, ДАН Арм. ССР, т. 48, № 1 (1969)

УДК 621.383

ФИЗИКА

Е. С. Саркисни

Измерение дисперсии заряда одноэлектронного импульса
 фотоумножителя

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляном 25/1 1971)

Развитая в (1) линейная методика определения фотоэлектронных статистик исключает «мертвое время» счетчика и упрощает требования к временным характеристикам детектора. Однако пользование такой методикой требует знания статистических параметров одноэлектронного (ОЭ) импульса фотодетектора (ФЭУ). В частности, для определения часто используемой в теории фотоэлектронных отсчетов дисперсии числа фотоэлектронов необходимо знание дисперсии Q_2^* заряда ОЭ импульса.

Статистические параметры ОЭ импульса могут быть определены из ОЭ зарядовых распределений, получаемых методикой (например, (2)), разработанной для амплитудных распределений с использованием конвертера заряд—амплитуда на выходе ФЭУ. Однако при этом нужно дополнительно к рабочей установке иметь достаточно сложную аппаратуру для получения ОЭ распределений. Если же использовать калиброванное по статистике излучение, то требуемые параметры ОЭ зарядового распределения могут быть определены на той же рабочей установке.

В данном сообщении приводятся результаты измерения дисперсии Q_2^* заряда (проквантованного многоканальным амплитудным анализатором) ОЭ импульса фотоумножителя типа ФЭУ-38, пригодного для работы в красной области. Измерения проводились без достижения ОЭ режима на установке, предназначенной для определения фотоэлектронных статистик линейным методом.

Также оценена вероятность, которую, в определенных ситуациях, можно приписывать попаданию нового аналогичного измерения Q_2^* в выделенный интервал значений.

Использовалась вторая из формул 3.10 работы (1), разрешенная относительно Q_2^* :

$$Q_2^* = \frac{\langle A^2 \rangle - Q_1^2 \langle n^2 \rangle}{\langle n \rangle} \quad (1)$$

* Приняты обозначения работы (1).

Здесь $\langle A^2 \rangle$ — средний квадрат номера канала анализатора. На вход анализатора поступают импульсы от устройства, интегрирующего анодный ток ФЭУ за временные интервалы длительности T .

Q_1 — средний номер канала распределения на анализаторе при записи в него одних лишь ОЭ импульсов; может быть представлен

$$Q_1 = \frac{Ke}{\delta},$$

где K — коэффициент умножения ФЭУ, e — заряд электрона, δ — цена канала анализатора в единицах заряда.

n — число фотоэмиссий за время T . Если обозначить постоянную слагающую анодного тока ФЭУ через I , то $\langle n \rangle$ может быть выражено

$$\langle n \rangle = \frac{IT}{Ke}.$$

Для экспериментально легко достижимого пуассоновского распределения чисел n

$$\langle n^2 \rangle = \langle n \rangle + \langle n \rangle^2 = \frac{IT}{Ke} + \left(\frac{IT}{Ke} \right)^2,$$

и (1) может быть переписано:

$$Q_2 = \frac{\langle A^2 \rangle Ke}{IT} - \left(\frac{Ke}{\delta} \right)^2 \left(1 + \frac{IT}{Ke} \right)^2. \quad (2)$$

В качестве источника излучения использовалась 2,5 вольтовая лампочка накаливания, питаемая стабилизированным источником постоянного тока. Нужный участок спектра выделялся фильтром типа КС-15.

Измерение K проводилось по методике, изложенной в (3), как не требующей дополнительных устройств.

Эксперимент проводился при $\delta = (2,4 \cdot 10^{-13} \pm 1,5\%)$ кулон/канал,

$$T = (2 \pm 10\%)^{-3} \text{ мксек } \mu\text{S}, \quad I = (4,75 \pm 1,5\%) \text{ мка } \mu\text{а}$$

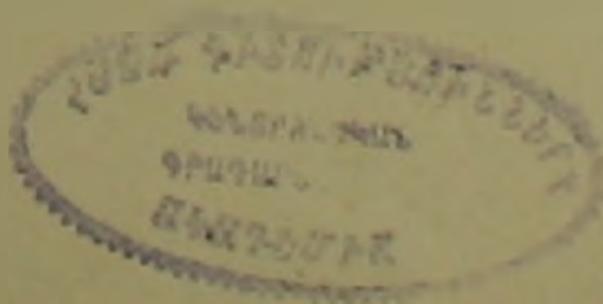
(вместе с неучитываемым темновым током в 0,2 мка). Напряжение питания ФЭУ — 2200 в; использовался делитель напряжения, предписываемый паспортом ФЭУ.

Было произведено десять измерений величин $\langle A^2 \rangle$ и K для указанного режима ФЭУ. Каждое измерение $\langle A^2 \rangle$ включало в себя примерно 6 тысяч (а K — 18 тысяч) записей в анализатор.

По формуле (2) были определены соответствующие значения Q_2 . По полученным первым пяти значениям Q_2 было вычислено среднее

$$\bar{Q}_2 = 462 \text{ канал}^2$$

* Пользуясь результатами раздела 3 работы (1), аналогичным образом можно выразить и моменты высших порядков.



и, далее, подсчитано, оказавшееся равным четырем, число значений Q_2 из оставшихся пяти, лежащих в $\pm 10\%$ окрестности \bar{Q}_2' .

Величина окрестности выбиралась из соображений, не зависящих от результатов вычислений Q_2 . Именно, она определялась (до того, как был поставлен описываемый эксперимент) интенсивностью некоторого другого подлежащего исследованию излучения.

Таким образом, в наперед заданный интервал значений в результате измерений Q_2' попало четыре значения из пяти.

В этой ситуации было заключено, что в последующих расчетах, связанных с измерениями на такой установке, содержащих параметр «вероятность нахождения значения Q_2' в отмеченном интервале при таком измерении»,

1) дающих более эффективные (выгодные) рассчитанные величины при больших значениях этого параметра,

2) зависящих линейно от этого параметра, в качестве последнего можно пользоваться величиной

$$\mu_2 = \frac{5}{7}.$$

Для обоснования этого заключения заметим, что в ситуации: «в n испытаниях некоторого (произвольного) эксперимента определяемое им случайное событие наступило m раз» и «вероятность p_0 этого события обуславливает эффект $f(p_0)$ » — разумно пользоваться средним для множества экспериментов, дающих эту ситуацию, эффектом и, поэтому, вероятностью p_0 наступления этого события, определяемой из соотношения

$$f(p_0) = \langle f(p) \rangle.$$

$\langle f(p) \rangle$ может быть подсчитано, если учесть, что для упомянутого множества плотность вероятности выбора эксперимента, определяющего событие вероятности p , прямо пропорциональна $C_n^m p^m (1-p)^{n-m}$. Следовательно,

$$f(p_0) = \langle f(p) \rangle = \frac{\int_0^1 p^m (1-p)^{n-m} f(p) dp}{\int_0^1 p^m (1-p)^{n-m} dp} \quad (3)$$

(ср. (*)).

Если бы выбранный интервал значений Q_2' был указан без предварительного экспериментирования, формула (3) была бы применима без оговорок и в приведенной конкретной ситуации (рассматривая попадание измеренного значения Q_2' в интервал как случайное событие).

* Функция $f(p)$ предполагается интегрируемой в $[0, 1]$, а обратная ей — однозначной.

Конкретная экспериментальная ситуация отличается от описанной выше тем, что кроме информации о числе наступлений случайного события—попадения измеренного значения Q_2 в отмеченный интервал—имеется еще дополнительная предварительная информация.

Однако истинность конечного суждения о вероятности рассматриваемого события не зависит от порядка, в котором поступает информация о нем. И, так как нет причин считать менее вероятным попадание измеренного значения некоторой величины в некоторый интервал, если оказывается, что уже были проведены измерения этой величины, давшие значения, среднее которых совпадает с центром этого интервала^{*}, формула (3) вновь может быть использована для оценок при выполнении условия (1).

Приведенное значение p' и есть рассчитанное по формуле (3) для $f(p)$ — линейной функции.

Особо следует оговорить случай $m=0$. Формула (3) написана для множества экспериментов, дающих наступление рассматриваемого события с отличной от нуля вероятностью. Если в результате измерений получается $m=0$, нельзя утверждать (не в пример $m \neq 0$), что выбранный эксперимент принадлежит к указанному множеству и, следовательно, что формула (3) применима.

Автор признателен Э. Е. Маркарян и В. Г. Маркарян за помощь при обработке экспериментальных данных.

Институт физических исследований
Академии наук Армянской ССР

Ե. Ի. ՍԱՐԿԻՅԱՆ

Ֆոտոբազմապատկիչի միաէլեկտրոնային իմպուլսի լիցքի վիսպեցսիայի չափումը

Չափված է ֆոտոբազմապատկիչի միաէլեկտրոնային իմպուլսի լիցքի դիսպերսիան արագականալ անալիզատորի կանալ քառակուսի՝ միավորներով, որը անհրաժեշտ է ֆոտոէլեկտրոնների ստատիստիկան գծային մեթոդիկայով որոշելիս:

Չափումը կատարված է առանց միաէլեկտրոնային ռեժիմ իրագործելու, որպես աղբյուր օգտագործելով ֆոտոէլեկտրոնների թվի հայտնի քաշխում ունեցող ջերմային ճառագայթումը: Հաշվարկը կատարված է առանց մթնային հոսանքը հաշվի առնելու:

Կնահատված է մի նոր ալգորիտի չափման արդյունքը առանձնացված տիրույթում ստանալու հավանականությունը՝ որոշ պայմանների առկայության դեպքում:

* Кривая плотности вероятности значения „шума“ в эксперименте предполагается одногорбой и симметричной относительно оси ординат.

ЛИТЕРАТУРА — ФРЦЦКЪ ПРЪЗ ПРЪ

¹ F. T. Arecchi, Photocount Distributions and Field Statistics, Lectures given at the International School of Phys. „Enrico Fermi“ XLII Course, 1967—Varenna, Italy. CISE—Documentation Service, Segrate (Milano) December 1967. ² А. И. Перцев, А. И. Писаревский, Л. Д. Сошин, ПТЭ, № 3, 1964. ³ В. Б. Гахалов, Е. С. Саркисян, ПТЭ, № 5, 1970. ⁴ В. Феллер, Введение в теорию вероятностей и ее приложения, 2, т. стр. 70, изд. „Мир“, М., 1968.

УДК 531.312.62

ФИЗИКА

Т. К. Мелик-Бархударов

Кинетическое уравнение для сверхпроводящих сплавов, находящихся
 в слабых статических полях

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР М. Л. Тер-Микаеляном 10/11 1971)

В настоящее время кинетические процессы в сверхпроводящих сплавах изучаются главным образом с помощью техники функций Грина (¹). Этот метод обладает недостатком, связанным с усложненностью его математического аппарата. Последняя проявляется в особенности при рассмотрении задач, отличающихся друг от друга конкретным видом потенциала возмущения или граничными условиями. Для каждой такой задачи необходимо выполнить нетривиальную процедуру усреднения по положениям примесей, производя таким образом в некотором смысле одну и ту же операцию.

В нормальном сплаве упомянутая трудность может быть преодолена использованием кинетического уравнения для функции распределения. Интересно поэтому выяснить вопрос о его существовании для сверхпроводящего сплава. Имеющиеся способы вывода его не связаны с техникой (¹) и не могут считаться удовлетворительными, так как последняя пока является единственно последовательным методом изучения кинетики сверхпроводящих сплавов. Ниже интересующий вопрос рассматривается для простого случая сверхпроводящего сплава, находящегося в слабом статическом поле.

Статистический оператор ρ , значение которого позволяет решить кинетическую задачу, удовлетворяет уравнению

$$[H, \rho]_- = 0$$

$$\tilde{H} = \begin{bmatrix} \frac{(\bar{p} - e\bar{A})^2}{2m} + e\bar{\varphi} + \sum_a u(\bar{x} - \bar{x}_a) - \mu, & -\Delta(\bar{x}) \\ -\dot{\Delta}(\bar{x}), & -\frac{(\bar{p} - e\bar{A})^2}{2m} - e\bar{\varphi} - \sum_a u(\bar{x} - \bar{x}_a) + \mu \end{bmatrix} \quad (1)$$

Здесь $u(\vec{x} - \vec{x}_a)$ — потенциал примесного центра, находящегося в точке \vec{x}_a , μ — химический потенциал $\Delta(\vec{x}) = |\psi| \langle \vec{x} | \rho^{\pm} | \vec{x} \rangle$, (\vec{A}, φ) — внешнее поле. Записывая ρ в виде $\rho = \rho_0 + f$, где ρ_0 — статистический оператор сверхпроводящего сплава в отсутствие поля

$$\rho_0 = \frac{1}{2} (1 + \Delta \theta \sigma_x - \xi \theta \sigma_z), \quad (2)$$

$$\theta = \frac{\text{th} \frac{\sqrt{\xi^2 + \Delta^2}}{2T}}{\sqrt{\xi^2 + \Delta^2}},$$

$\xi = \frac{p^2}{2m} - \mu - \sum_a u(\vec{x} - \vec{x}_a)$ — гамильтониан электрона в поле приме-

сей, σ_x, σ_z — матрицы Паули, получим в первом приближении по внешнему полю для матричных элементов f по собственным состояниям оператора ξ следующие выражения:

$$f = f^{(1)} + i \sigma_y f^{(2)};$$

$$f_{nm}^{(1)} = \frac{e}{2m} \left\{ \frac{\xi_n \theta_n - \xi_m \theta_m}{\xi_n - \xi_m} + \frac{2\Delta^2 (\theta_n - \theta_m)}{\xi_n^2 - \xi_m^2} \right\} \frac{(\vec{A} p + p \vec{A})_{nm}}{2} -$$

$$- \frac{e}{2} \frac{\xi_n \theta_n - \xi_m \theta_m}{\xi_n - \xi_m} \varphi_{nm};$$

(3)

$$f_{nm}^{(2)} = - \frac{e\Delta}{2m} \left| \frac{\theta_n - \theta_m}{\xi_n + \xi_m} \right| \frac{(\vec{A} p + p \vec{A})_{nm}}{2} +$$

$$+ \left\{ \frac{e\Delta (\xi_n \theta_n - \xi_m \theta_m)}{\xi_n^2 - \xi_m^2} - \frac{e\Delta (\theta_n + \theta_m)}{2(\xi_n + \xi_m)} \right\} \varphi_{nm}.$$

Представляя θ в виде суммы по дискретным частотам $\omega_l = 2\pi \left(l + \frac{1}{2} \right) T$

$$\theta = 2T \sum_l \frac{1}{\omega_l^2 + \xi^2 + \Delta^2}$$

можно переписать соотношения (3) в операторной форме:

$$f = T \sum_{\omega_l} f(\omega_l);$$

$$\begin{aligned}
 f^{(1)} &= \int d\omega_1 \int d\omega_2 \times \\
 & \times \frac{(\omega_1^2 - \Delta^2 - \omega_1\omega_2) \delta(\omega_1 - \bar{\omega}) \frac{e}{2m} (\vec{A}\vec{p} + \vec{p}\vec{A}) \delta(\omega_2 - \bar{\omega})}{(\omega_1^2 + \omega_1^2 + \Delta^2)} \times \\
 & \times \frac{-(\omega_1^2 + \Delta^2 - \omega_1\omega_2) \delta(\omega_1 - \bar{\omega}) e\vec{p} \delta(\omega_2 - \bar{\omega})}{(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \Delta^2)}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
 f^{(2)} &= \Delta \int d\omega_1 \int d\omega_2 \times \\
 & \times \frac{(\omega_1 - \omega_2) \delta(\omega_1 - \bar{\omega}) \frac{e}{2m} (\vec{A}\vec{p} + \vec{p}\vec{A}) \delta(\omega_2 - \bar{\omega})}{(\omega_1^2 + \omega_1^2 + \Delta^2)} \times \\
 & \times \frac{-(\omega_1 - \omega_2) \delta(\omega_2 - \bar{\omega}) e\vec{p} \delta(\omega_1 - \bar{\omega})}{(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \Delta^2)}
 \end{aligned}$$

В дальнейшем будем интересоваться величиной f за вычетом соответствующего выражения для нормального сплава, сохранив то же обозначение. Матричные элементы f по состояниям свободных электронов и усредненные по положениям примесей и представляют интересующие нас функции распределения. Поскольку f заметно отлична от нуля в узкой области энергий вблизи поверхности Ферми порядка критической температуры, то для вычисления конкретных величин достаточно знать проинтегрированную по энергии величину

$$\begin{aligned}
 f_{\vec{n}, \vec{k}} &= \frac{1}{2\pi} \int \langle \vec{p}^+ | f | \vec{p}^- \rangle d\bar{\omega}, \\
 \vec{p}^+ &= \vec{p} + \frac{\vec{k}}{2}, \quad \vec{p}^- = \vec{p} - \frac{\vec{k}}{2}.
 \end{aligned}$$

Как будет видно ниже, среднее по положениям примесей от операторов, входящих в правую часть выражения (4), зависит только от разности частот $\bar{\omega} = \omega_1 - \omega_2$, в связи с чем соотношения (4) можно упростить, выполнив одно интегрирование, в результате чего имеем:

$$\begin{aligned}
 f_{\vec{n}, \vec{k}}^{(1)}(\bar{\omega}) &= -\frac{2\Delta^2}{\epsilon_l} \int \frac{d\omega^- \Pi_{\vec{n}, \vec{k}}^{\pm}(\omega^-)}{2\pi(\omega^{-2} + (2\epsilon_l)^2)}; \\
 f_{\vec{n}, \vec{k}}^{(2)}(\bar{\omega}) &= \frac{\Delta}{2l} \int \frac{d\omega^- \omega^- \Pi_{\vec{n}, \vec{k}}^{\pm}(\omega^-)}{2\pi(\omega^{-2} + (2\epsilon_l)^2)};
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

$$\Pi_{n, k}^{\pm} = 2\pi \int d\xi_p \langle \vec{p}^- | \delta(\omega_1 - \xi) \frac{e}{2m} (\vec{A}\vec{p} + \vec{p}\vec{A}) \delta(\omega_2 - \xi) | \vec{p}^- \rangle; \quad (6)$$

$$\varepsilon_l = \sqrt{\omega_l^2 + \Delta^2}.$$

Чтобы воспользоваться методикой (1), представим входящие в (6) дельта функции через разность запаздывающей, и опережающей функций Грина.

$$\delta(\omega - \xi) = \frac{i}{2\pi} \left\{ \frac{1}{\omega - \xi + i0} - \frac{1}{\omega - \xi - i0} \right\}.$$

Тогда (6) выразится через функции Π^R и Π^A ; одна из которых аналитична в верхней полуплоскости комплексного переменного ω^- , а другая в нижней полуплоскости. Последние представляются через

Рис. 1. Графическое уравнение для $\Pi_{n, k}^R$. Пунктиру соответствует фактор

$$ievAn \left(\omega - vk - \frac{i}{\tau} \right)^{-1}, \text{ кружку } - \frac{np_0m}{(2\pi)^2} |u(\vec{n} - \vec{n}')|^2$$

совокупность графиков, изображенных на рис. 1, которые сворачиваются в интегральные уравнения

$$\Pi_{n, k}^{\pm} = \Pi_{n, k}^R + \Pi_{n, k}^A;$$

$$-i(\omega - \vec{v}\vec{k}) \Pi_{n, k}^R = ev\vec{A}_n + \frac{np_0m}{(2\pi)^2} \int |u(\vec{n} - \vec{n}')|^2 (\Pi_{n, k}^R - \Pi_{n, k}^A) d\vec{n}';$$

$$i(\omega - \vec{v}\vec{k}) \Pi_{n, k}^A = ev\vec{A}_n + \frac{np_0m}{(2\pi)^2} \int |u(\vec{n} - \vec{n}')|^2 (\Pi_{n, k}^A - \Pi_{n, k}^R) d\vec{n}', \quad (7)$$

n — концентрация примесей, v — скорость на поверхности Ферми. Воспользовавшись аналитическими свойствами Π^R и Π^A можно выполнить в (5) интегрирование по ω^- в результате чего будем иметь:

$$f_{n, k}^{(1)} = -\frac{\Delta^2}{2\varepsilon_l} [\Pi_{n, k}^R(2i\varepsilon_l) + \Pi_{n, k}^A(-2i\varepsilon_l)]; \quad (8)$$

$$f_{n, k}^{(2)} = \frac{i\Delta}{2\varepsilon_l} [\Pi_{n, k}^R(2i\varepsilon_l) + \Pi_{n, k}^A(-2i\varepsilon_l)].$$

Наконец, используя (7) и (8) получаем окончательные уравнения для $f^{(1)}$ и $f^{(2)}$.

$$2\varepsilon_1 f_{\vec{n}, \vec{k}}^{(1)} - \frac{\nu \pi \vec{k}}{\varepsilon_1} \Delta f_{\vec{n}, \vec{k}}^{(2)} = -\frac{e\nu\Delta^2}{\varepsilon_1^2} \vec{A} \vec{n} + \frac{np_0 m}{(2\pi)^2} \int |u(\vec{n} - \vec{n}')|^2 [f_{\vec{n}', \vec{k}}^{(1)} - f_{\vec{n}, \vec{k}}^{(1)}] d\vec{n}'$$

$$2\varepsilon_1 f_{\vec{n}, \vec{k}}^{(2)} + \frac{\nu \pi \vec{k} \varepsilon_1}{\Delta} f_{\vec{n}, \vec{k}}^{(1)} = \frac{np_0 m}{(2\pi)^2} \int |u(\vec{n} - \vec{n}')|^2 [f_{\vec{n}', \vec{k}}^{(2)} - f_{\vec{n}, \vec{k}}^{(2)}] d\vec{n}'$$

Институт физических исследований
Академии наук Армянской ССР

Գ. Կ. ՄԵԼԻՔ-ՐԱՐԵՆՈՒԳՐԱՐՈՎ

Կինետիկ հավասարում թույլ ստատիկ դաշտերում գտնվող
գերհաղորդիչ համաձուլվածքների համար

Ներկայում գերհաղորդիչ համաձուլվածքներում կինետիկական պրոցեսները ուսումնասիրվում են Գրինի ֆունկցիայի մեթոդի օգնությամբ: Վերջինս՝ իր ֆիզիկական հիմնավորվածության և մանրամասն մշակված լինելու պատճառով առայժմ հանդիսանում է միակ հետևողական մեթոդը համաձուլվածքների կինետիկան ուսումնասիրելիս: Սակայն մաթեմատիկական ապարատի բարդությունը հնարավորություն չի տալիս վերահիշյալ մեթոդը օգտագործել լայն տիրույթի խնդիրների համար: Յուրաքանչյուր խնդիր լուծելիս անհրաժեշտ է լինում ըստ խառնուրդների դիրքերի կատարել ոչ ակնհայտ միջանցում: Ընդ թերություններից գերծ է բաշխման ֆունկցիայի համար կինետիկ հավասարումը:

Ներկայացված աշխատանքում դիտարկված է գերհաղորդիչ համաձուլվածքների համար կինետիկ հավասարման գոյության հարցը: Ցույց է տրված, որ թույլ ստատիկ դաշտերի դեպքում նշված մեթոդով կարելի է ստանալ երկու բաշխման ֆունկցիաների համար կինետիկ հավասարումների սխտեմ:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ А. А. Абрикосов, Л. П. Горьков, ЖЭТФ, 35, 1158 (1958)

УДК 550.34

СЕЙСМОЛОГИЯ

Академик АН Армянской ССР А. Г. Назаров

К проблеме прогноза землетрясений*

(Представлено 15/III 1971)

Землетрясение порождается скачкообразным переходом локального участка земной коры или мантии от одной формы равновесия к другой. По существу оно представляет собою переходный процесс между этими двумя формами равновесия, сопровождающийся бурным выделением энергии за промежуток времени, исчисляемый десятками секунд. Если непосредственная подготовка этого переходного процесса требует ничтожного отрезка времени, т. е. совершается взрывообразно, то прогноз землетрясения, во всяком случае с позиции механики сплошных сред, невозможен. Если же признаки назревания землетрясения могут быть зафиксированы и опознаны хотя бы за несколько часов, то, при современных средствах оповещения, полученные наблюдательные данные, при условии достаточно высокого их качества, будут представлять большой практический интерес.

Землетрясения тектонического происхождения, связанные с накоплением деформаций в некоторых участках земной коры и верхней мантии с внезапным их сбрасыванием при достижении предела сопротивляемости горных пород, безусловно требуют для своей подготовки, даже в самой последней стадии, определенного времени^(1,2).

Известно, что непосредственно перед разрушением образцов наблюдается все возрастающее ускорение деформаций. Таким образом по крайней мере первые три производные от деформации по времени положительны. Явление это имеет место как для пластически деформируемых, так и хрупких тел, подверженных сжатию. В последнем случае также создается видимость пластического все ускоряющегося течения, обусловленного серией мелких хрупких разрушений, растянутых во времени.

Мы считаем достаточно правдоподобным допущение, что все возрастающая деформация должна иметь место также в зоне очага землетрясе-

* Здесь приведен сокращенный текст доклада, прочитанного 5 марта 1971 г. на Совете по координации научной деятельности академии наук союзных республик при АН СССР.

ния при приближении величины напряжений к пределу прочности горных пород с последующим их разрушением и выделением кинетической энергии, вызывающей землетрясение. Однако здесь имеет место то существенное отличие от лабораторных испытаний малых образцов, что ускорение деформаций в очаге землетрясения должно начаться намного ранее разрушения горных пород, т. е. возникновения землетрясения. Это положение, важное для дальнейшего, непосредственно вытекает из теории подобия твердых деформируемых тел ⁽³⁾.

Возникает вопрос, нельзя ли по экспериментам на моделях в лабораторных условиях попытаться установить отрезок времени Δt_0 от начала предвестника землетрясения до начала самого землетрясения? Вопрос этот очень сложен и требует преодоления больших трудностей. Мы предполагаем на этом вопросе впоследствии специально остановиться.

Здесь мы делаем попытку грубого определения величины Δt_0 непосредственно по натурным землетрясениям. Условимся рассматривать земную кору как полупространство, занятое однородным материалом, т. е. материалом, свойства которого не зависят от координат. Если к такому полупространству A применим преобразование координат такого рода, что

$$x' = \alpha x, \quad y' = \alpha y, \quad z' = \alpha z,$$

то получим полупространство A' , которое совмещается с полупространством A при любом множителе геометрического подобия α . Рассмотрим при этом условии два частных случая подобия, необходимые для дальнейшего.

Случай 1. а) Материалы оригинала A и модели A' подчиняются одинаковым соотношениям напряжений и деформаций; в частности модуль упругости одинаковы;

б) Ускорение силы тяжести для оригинала A равно g , а для модели A' равно

$$g' = \frac{g}{\alpha}.$$

При этих условиях имеют место соотношения подобия как для статических, так и динамических процессов при некоторых ограничениях, указанных в ⁽³⁾. В частности масштабы времен t и t' для оригинала A и модели A' подчиняются условию

$$t' = \alpha t,$$

причем, если какой-либо характерный линейный размер очага землетрясения есть L и глубина h , то для модели соответственно имеем:

$$L' = \alpha L, \quad h' = \alpha h.$$

Случай 1. а) Материалы оригинала A и модели A' подчиняются таким соотношениям напряжений и деформаций, что, если для A имеют место напряжение σ и деформация ε , то для модели имеем

$$\sigma' = \lambda \sigma, \quad \varepsilon' = \varepsilon.$$

В частности модули упругости E' и E удовлетворяют соотношениям

$$E' = \lambda E.$$

б) Ускорение силы тяжести для модели и оригинала одинаковы. При этих условиях масштабы времен t и t' подчиняются условию

$$t' = \sqrt{\lambda} t,$$

причем соотношения геометрических характеристик очагов L , h и L' , h' те же, что и в предыдущем случае.

Рассмотрим первый случай. При слабых землетрясениях, когда размеры разломов (очагов) невелики, можем пренебречь изменением потенциальной энергии силы тяжести в сравнении с изменением потенциальной энергии сил упругости. Поэтому можем пренебречь различием в гравитационных полях тел A и A' . Главным условием в этом случае является соблюдение равенства напряжений. Тогда тела A и A' окажутся с некоторым приближением одинаковыми. Таким образом в материальном полупространстве (земная кора) могут существовать с некоторым приближением подобные сейсмические очаги достаточно малой протяженности. Отвечающие им землетрясения будем называть землетрясениями первого класса.

Рассмотрим теперь второй случай. В полупространствах A и A' имеют место одинаковые ускорения силы тяжести и различные деформационные свойства горных пород. Для крупных сейсмических разломов преобладающее значение должно иметь приращение потенциальной энергии силы тяжести в сравнении с приращением потенциальной энергии сил упругости. Таким образом, если в полупространствах A и A' пренебречь различием в деформационных свойствах, то они окажутся с некоторым приближением одинаковыми. Итак, в материальном полупространстве A (земная кора) могут существовать приблизительно подобные сейсмические очаги достаточно большой протяженности. Отвечающие им землетрясения будем называть землетрясениями второго класса.

Следует оговорить, что подобие во втором случае будет еще более приближенное, нежели в первом случае, из-за ограниченной толщины земной коры и большого различия в индивидуальных особенностях очагов крупных землетрясений.

Таким образом, в земной коре может существовать класс достаточно слабых землетрясений (малые очаги), приблизительно подобных между собою, и класс достаточно сильных землетрясений (большие очаги), также приблизительно подобных между собою.

Для подобных землетрясений первого класса ускорение меняется обратно пропорционально линейным размерам очага. Это парадоксальное явление действительно наблюдается хотя бы качественно (1-6). Ускорения от очень малых очагов не представляют опасности для сооружений в силу их высокочастотности.

Для подобных землетрясений второго класса ускорение не зависит от размеров очага. Насколько это представление соответствует хотя бы приближенно действительности, мы не знаем. Надо отметить, что при таких землетрясениях должно иметь место увеличение амплитуды колебаний, так как увеличивается период колебаний при сохранении величины максимального ускорения и потому они представляются все более грозными с ростом магнитуды.

Рассматриваемые классы землетрясений с точки зрения теории подобия могут иметь ценность при выполнении двух условий:

1. Промежуток, точнее щель между наибольшим очагом первого класса и наименьшим очагом второго класса не очень велик. (В этом случае масштаб времен для землетрясений, промежуточных между обоими классами, можно оценить формально путем хотя бы линейной интерполяции между масштабными множителями α и $\sqrt{\alpha}$.

2. Представление о подобии очагов ценно, если преобладающее значение для параметров землетрясения имеет размер очага, а форма очага и его расположение играют второстепенную роль.

Для выяснения этих вопросов естественно использовать данные анализа макросейсмического материала. Мы обратились с этой целью к работе Н. В. Шебалина (7), обобщившего мировой опыт в этом направлении. Наше внимание привлекли следующие приближенные эмпирические соотношения, установленные им.

Для максимальных периодов продольных волн им получены следующие зависимости от протяжения очага l :

$$T (\text{сек}) \approx 2l (\text{км}), \quad \text{при магнитуде } M \leq 5; \quad (1)$$

$$T (\text{сек}) \approx 2,8 \sqrt{l} (\text{км}), \quad \text{при магнитуде } M > 5.$$

Если через l' обозначить размер меньшего очага, то из этих формул получим:

$$T' = \alpha T, \quad \text{при } M \leq 5;$$

$$T' = \sqrt{\alpha} T, \quad \text{при } M > 5;$$

где

$$\alpha = \frac{l'}{l}.$$

Таким образом, масштаб времен, определенный для длиннопериодных колебаний, в точности отвечает масштабу времен для рассмотренных

выше классов подобных землетрясений. Результат этот заслуживает пристального внимания.

Во-первых, оказывается, что к первому классу относятся землетрясения, магнитуды которых менее или равны 5, а ко второму классу относятся землетрясения, магнитуды которых более 5. Таким образом при принятой Н. В. Шебалиным точности исследования не оказалось щели между первым и вторым классами землетрясений.

Во-вторых, соотношения (1) справедливы для всех землетрясений, и не только для землетрясений, подобных между собою. Отсюда вытекает, что для определения масштабного множителя для периодов колебаний основную роль играет только размер очага. Форма очага и его расположение играют второстепенную роль. Таким образом, оба условия, поставленные выше, можно сказать, перевыполнены в отношении периодов продольных колебаний. Если бы соотношения подобия, приведенные выше, были точными, то полученные масштабные множители для периодов колебаний можно было бы распространить на все временные соотношения, в том числе и на отрезок времени Δt_0 , отделяющий начало появления предвестника землетрясения от начала появления самого землетрясения. Здесь мы исходим из гипотезы, что это имеет место, хотя бы с грубым приближением*.

Н. В. Шебалиным приведены также зависимости между магнитудой и длиной очага l :

$$\lg l = 0,5 M - 1,75 \quad (h \approx 10 - 15 \text{ км. } M \leq 5)$$

$$\left. \begin{aligned} \lg l_x &= 0,7 M - 2,8 \\ \lg l_z &= 0,3 M - 0,8 \end{aligned} \right\} M > 5$$

где l_x и l_z — горизонтальные и вертикальные проекции разлома.

На основе этих соотношений мы составили таблицу зависимости Δt_0 от магнитуды или длины разлома, приняв для магнитуды 1 $\Delta t_0 = a$.

Таблица

M	l (км)	Δt_0
1	0,056	a
2	0,18	$3,17a$
3	0,56	$10a$
4	1,78	$31,7a$
5	5,62	$100a$
6	27,0	$220a$
7	128,0	$480a$
8	632,0	$1060a$

Если для какой-либо магнитуды эмпирическим путем определено Δt_0 , то будем иметь значения Δt_0 для землетрясений всех магнитуд. Как

* Нам представляется, что на величину Δt_0 должны влиять не столько форма и расположение очага, сколько изменение свойства горных пород с глубиной, которое здесь не учитывается из-за принятой нами упрощенной схемы однородного пространства.

видно из этой таблицы, до магнитуды 5 имеем знаменатель прогрессии $\frac{1}{10}$, а для магнитуд от 5 до 8—знаменатель прогрессии примерно равен $\frac{3}{10}$.

На обсуждении физического содержания, метрологической характеристики коэффициента a и способах его определения мы остановимся в другом месте.

Ордена Трудового Красного Знамени
Институт геофизики и инженерной сейсмологии
Академии наук Армянской ССР

Հայկական ՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս Ա. Գ. ՆԱԶԱՐՈՎ

Երկրաշարժների կանխագուշակման պրոբլեմի մասին

Աշխատանքում դիտարկվում է երկրաշարժների կանխագուշակման պրոբլեմը դեֆորմացիայի ենթարկվող պինդ մարմնի նմանության տեսության տեսանկյունից: Շարադրված է նյութական ենթատարածության միախանիկական նմանության երկու դեպք: Հիմնավորված է նման փոքր օջախներով երկրաշարժների դասերի գոյության հնարավորությունը $t^1 = \alpha t$ ժամանակի մասշտաբի դեպքում և մեծ օջախներով երկրաշարժների գոյությունը $t^1 = \sqrt{\alpha t}$ ժամանակի մասշտաբի դեպքում, որտեղ α -ն երկրաշափական նմանության գործակիցն է:

Երկարապարբերական տատանումների պարբերության և օջախի շափսերի միջև եղած կախվածության մասին Ն. Վ. Շերալինի տվյալների հիման վրա հաստատուն գործակցի ճշտությամբ հիմնավորված է երկրաշարժի վերջին նախագուշակման սկզբից մինչև բուն երկրաշարժի սկիզբը ընկած Δt_0 ժամանակի հատվածը:

ЛИТЕРАТУРА — Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ի Ի Թ Յ ՈՒ Ն

- 1 Предсказание землетрясений. Сборник статей и материалов по разработке проблемы предсказания землетрясений. Под редакцией чл.-корр. АН СССР Е. Ф. Саваренского, Изд. «Мир», М., 1968.
- 2 Физические основания поисков методов прогноза землетрясений, ответ редактор академик М. А. Садовский, Изд. «Наука», М., 1970.
- 3 А. Г. Назаров, О механическом подобии твердых деформируемых тел, Изд. АН Армянской ССР, Ереван, 1965.
- 4 С. А. Пирюзян, «Известия АН Армянской ССР» (серия технических наук), т. XI, № 5 (1958).
- 5 С. А. Шагимяк, Результаты инструментального определения коэффициента динамичности β . Сборник статей по сейсмостойкому строительству, Изд. АН Тадж. ССР, Душанбе, 1960.
- 6 Б. Б. Бегиев, В. А. Нечаев, Приведенные ускорения при Душанбинском землетрясении 3 октября 1967 г. и сейсмические шхалы. Бюллетень инженерной сейсмологии, № 6, Душанбе—Ереван, 1971.
- 7 Н. В. Шешалин, Макросейсмическое поле и очаг сильного землетрясения. Докторская диссертация, Фонды Ордена Ленина Института физики Земли АН СССР, М., 1969.

УДК 541.124

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Н. М. Бейлерян, Р. И. Меликсетян, член-корреспондент АН Армянской ССР
 О. А. Чалтыкян

О константах элементарных актов реакции персульфата калия с β-пиперидилэтанолом в водных растворах

(Представлено 22/II 1971)

Несмотря на то, что многие перекись-аминные системы являются источниками свободных радикалов и некоторые из них радикально-цепные, однако в литературе нет данных об элементарных актах этих реакций и их константах.

Нами было установлено (1), что реакция персульфат (Р)-β-пиперидилэтанол (ПЭ) в водных растворах радикально-цепная. В данном сообщении делается попытка по методу Плюснина и Чиркова (2) определить константы элементарных актов инициирования ($k_{ин}$), роста (k_p) и обрыва ($k_{об}$) цепей этой реакции.

Скорость инициирования ($W_{ин}$) нами определялась методом ингибирования. Известно, что:

$$W_{ин} = k_{ин} [P]^n [ПЭ]^m = f \frac{[Inh]_0}{\tau} \quad (1)$$

где f -стехиометрический коэффициент ингибирования, $[Inh]_0$ - начальная концентрация ингибитора в молях/литр, τ -соответствующий индукционный период в минутах.

В качестве ингибитора брался стабильный свободный радикал ($RNO\cdot$) 2,2,6,6-тетраметил-4-оксипиперидин-1-оксил, для которого $f=1$. В присутствии $RNO\cdot$ наблюдается индукционный период, продолжительность которого прямо пропорциональна концентрации ингибитора (рис. 1).

Для определения k_p метод Плюснина и Чиркова дает возможность вычислить стационарную концентрацию радикалов ($[R]_{ст}$). Зная величину последней можно по уравнению (2) рассчитать k_p

$$k_p = \frac{W_p}{[R]_{ст} [P]} \quad (2)$$

Суть метода заключается в следующем. По ходу процесса вносится определенное количество ингибитора в реакционный раствор. Расход персульфата практически прекращается. Продолжительность остановки реакции (τ_1) прямо пропорциональна концентрации $RNO\cdot$ (рис. 2). Для данного количества ингибитора она зависит от того, когда $RNO\cdot$ вносится в реакцию. Она больше, если ингибитор вносится в начале реакции.

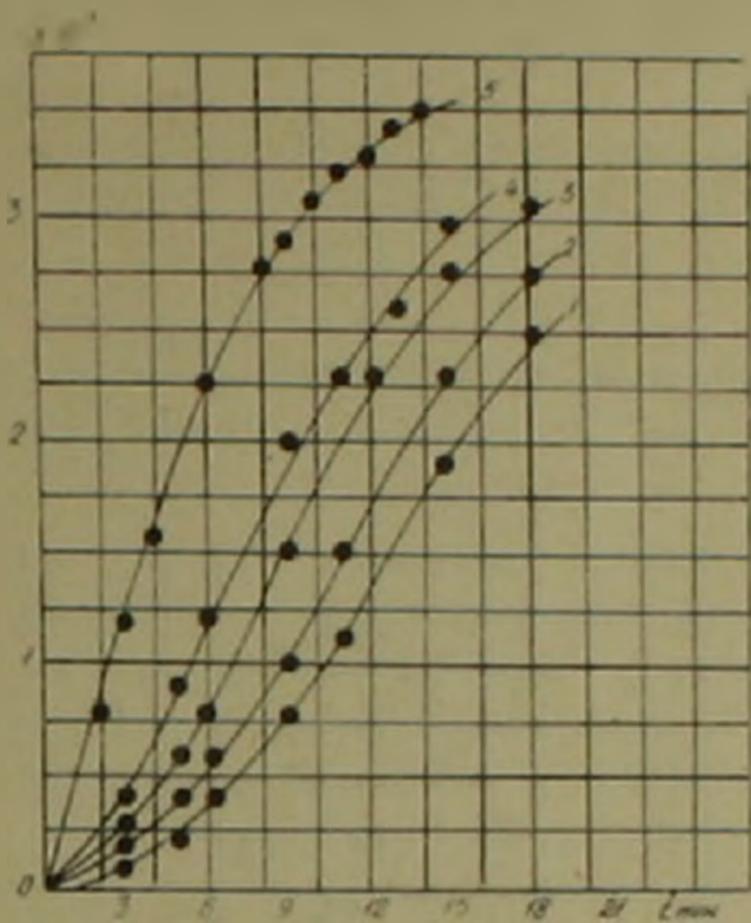


Рис. 1. Влияние нитроксильного радикала на кинетику расхода персульфата в присутствии β -пиперидилэтанола. Условия опытов: $(P)_0 = 4 \cdot 10^{-3}$ моль/л, $(ПЭ)_0 = 2,5 \cdot 10^{-2}$ моль/л $t = 30^\circ$; $(R)_0$ — 1) $8 \cdot 10^{-5}$ моль/л; 2) $6 \cdot 10^{-5}$ моль/л; 3) $4 \cdot 10^{-5}$ моль/л; 4) $2 \cdot 10^{-5}$ моль/л; 5) 0

Если ингибитор добавляется после установления в системе стационарности, то его определенная часть расходуется для захвата уже имеющихся в системе свободных радикалов со стационарной концентрацией. Разность $\tau - \tau_1 = \Delta\tau$ является тот промежуток времени, в течение которого погибают имеющиеся уже в системе радикалы.

Следовательно:

$$W_{\text{гибели}} = \frac{[R]_{\text{ст.}}}{\Delta\tau} \quad (3)$$

Если процесс стационарен, то:

$$W_{\text{ин}} = W_{\text{гибели}} \quad (4)$$

и

$$k_{\text{ин}} [P]_t^2 [ПЭ]_t^2 = \frac{[R]_{\text{ст.}}}{\Delta\tau} \quad (5)$$

В уравнение (5) $[P]_t$ и $[ПЭ]_t$ — текущие концентрации персульфата и амина в момент прибавления ингибитора (точка a на рис. 2). При

этом необходимо учесть следующее обстоятельство. Значения $W'_{ин.}$ в начале реакции ($W''_{ин.}$) и в точке a ($W'_{ин.}$) разные, так как в точке a радикалы генерируются медленнее, чем в начале реакции. При одном и том же количестве RNO^* , если $W''_{ин.}$ соответствует τ , то для $W'_{ин.}$ индукционный период будет τ_1 , причем $\tau_1 > \tau$.

Следует отметить, что величина τ_1 непосредственно не определяется, а находится путем расчета.

В этом случае:

$$W'_{ин.} = k_{ин.} [P]_t^n [ПЭ]_t^m = \frac{[Inh]_0}{\tau_1} \quad (1')$$

и

$$W''_{ин.} = k_{ин.} [P]_0^n [ПЭ]_0^m = \frac{[Inh]_0}{\tau} \quad (1'')$$

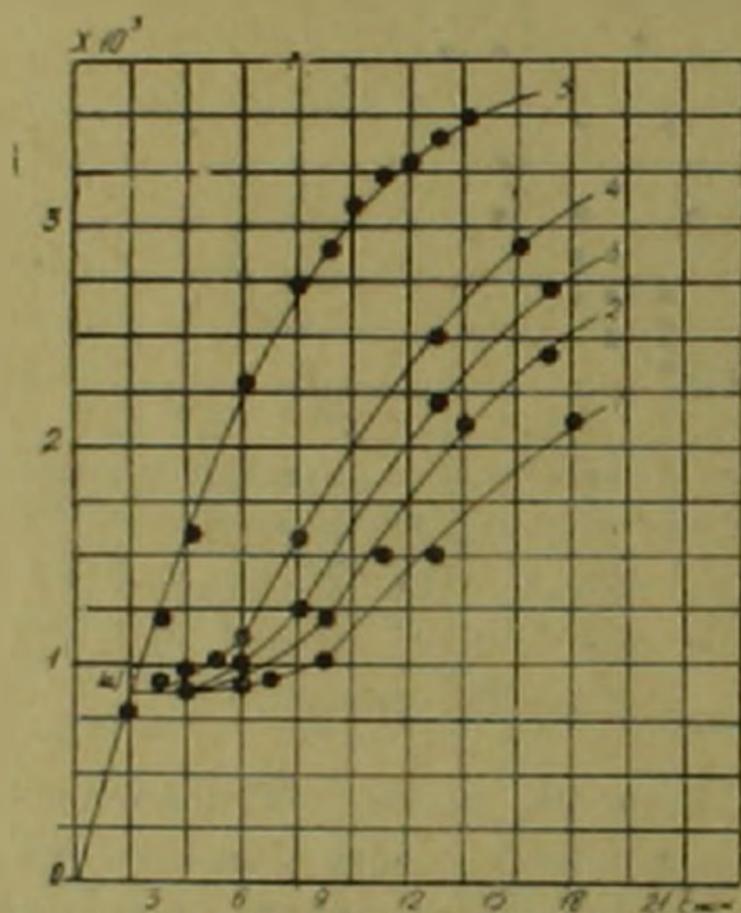


Рис. 2. Влияние нитроксильного радикала на ход реакции персульфат β -пиперидиэтанол. Условия опытов: $(P)_0 = 4 \cdot 10^{-1}$ моль/л, $(ПЭ)_0 = 2.5 \cdot 10^{-2}$ моль/л; $t = 30^\circ$; $(RNO^*)_0 = 1) 8 \cdot 10^{-5}$ моль/л; 2) $6 \cdot 10^{-5}$ моль/л; 3) $4 \cdot 10^{-5}$ моль/л; 4) $2 \cdot 10^{-5}$ моль/л; 5) 0

Откладывая τ против $[Inh]_0$ (при постоянстве $[P]_0$ и $[ПЭ]_0$) получается прямая с тангенсом угла наклона, равным $W''_{ин.}$ n и m определяются по зависимости $W''_{ин.}$ от $[P]_0$ и $[ПЭ]_0$ при постоянстве $[Inh]_0$. В нашем случае оказалось, что $n = m = 1$.

Следовательно:

$$W''_{ин.} = k_{ин.} [P]_0 [ПЭ]_0 \quad (6')$$

и

$$W'_{ин.} = k_{ин.} [P]_t [ПЭ]_t \quad (6'')$$

По (6') нами рассчитано значение $k_{ин.}$. Имея кинетические кривые расхода персульфата и зная стехиометрию реакции можно определить

$[P]$ и $[ПЭ]$. После всего этого при помощи (1') легко рассчитать τ_1 в (3)

$$\Delta\tau = \tau_1 - \tau_2 \quad (7)$$

Из уравнения (2) следует, что для расчета k_p необходимо значение W'_p (текущая скорость роста цепей):

$$W'_p = k_{эф} [P]_t [ПЭ]_t \quad (8)$$

где, как показано в работах (3, 4) в отсутствии щелочи

$$k_{эф} = k_p \sqrt{\frac{k_{ин.}^{**}}{k_{обр}}} \quad (9)$$

Зная значения $k_{ин.}$ и k_p легко рассчитать по (9) $k_{обр}$. Полученные экспериментальные и расчетные данные приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Зависимость периода индукции (τ), продолжительности остановки (τ_1) реакции персульфат—пиперидилэтанола и рассчитанных значений (τ_2) при различных температурах от начальных концентрации ингибитора. Условия всех опытов: $[P]_0 = 4 \cdot 10^{-3}$ моль/л, $[ПЭ]_0 = 2,5 \cdot 10^{-2}$ моль/л.

$[RNO]_0 \cdot 10^5$ моль/л	Т°К								
	298			303			308		
2,6	3,6	3,8	1,7	2,2	3,1	1,6	1,8	2,3	1,0
3,2	5,6	5,8	2,8	3,6	4,9	2,6	2,8	4,5	1,8
4,0	7,2	7,5	3,4	4,4	6,0	3,4	3,6	5,8	2,2
6,0	10,8	11,3	5,0	6,8	8,8	4,8	5,3	8,4	3,2
	τ	τ_1	τ_2	τ	τ_1	τ_2	τ	τ_1	τ_2

Длительность остановок реакции в минутах

Таблица 2

Значения кинетических параметров реакции персульфат—пиперидилэтанола при различных температурах.

Кинетические параметры	Т°К		
	298	303	308
$W_{ин.} \cdot 10^5 M \cdot мин^{-1}$	0,57	0,90	1,10
$k_{ин.} M^{-1} мин^{-1}$	0,057	0,090	0,110
$[R]_{ст.} \cdot 10^5 M$	$2,2 \pm 0,8$	$1,9 \pm 0,3$	$2,4 \pm 0,7$
$k_p \cdot 10^{-4} M^{-1} \cdot мин^{-1}$	0,62	0,80	1,12
$k_{обр.} \cdot 10^{-4} M^{-1} мин^{-1}$	14,5	16,0	17
$k_{эф.} [см. (1)]$	3,96	6,0	8,9

* Макрокинетический закон этой реакции приведен в работе (1).

** В безкислородной среде KOH до концентрации $4 \cdot 10^{-2}$ моль/л практически не влияет на скорость расходования P в присутствии ПЭ.

Надо отметить, что найденные нами значения стационарной концентрации свободных аминных радикалов по порядку величины соответствуют значениям, приведенным для ряда жидкофазных реакций (3).

На основании данных табл. 2 нами определена температурная зависимость констант:

$$k_{\text{ин.}} = 3,4 \cdot 10^7 \exp\left(-\frac{12000}{RT}\right) M^{-1} \text{ мин}^{-1}$$

$$k_p = 4,1 \cdot 10^{11} \exp\left(-\frac{10800}{RT}\right)$$

$$k_{\text{отр.}} = 5,9 \cdot 10^7 \exp\left(-\frac{3600}{RT}\right)$$

$$k_{\text{дф.}} = 3,86 \cdot 10^{11} \exp\left(-\frac{15000}{RT}\right)^*$$

Ереванский государственный университет

Ն. Մ. ԲԵՅԼԵՐՅԱՆ, Ռ. Վ. ՄԵԼԻՔՍԵՏՅԱՆ.

Հայկական ՍՍՀ ԳԱ քիմիկոս-անդամ Հ. Հ. ՉԱԼԹՅԱՆ

Զրային լուծույթում β-պիրերիդիլէթանոլ — պերսուլֆատ
 ռեակցիայի տարրական ակտերի հաստատունների մասին

Նախկինում ուսումնասիրված էր ջրային լուծույթում β-պիրերիդիլէթանոլի ներկայությամբ պերսուլֆատի քայքայման կինետիկան: Պարզված էր, որ ինչպես թթվածինը, այնպես էլ կայուն ազատ ազոտօքսիլ ռադիկալը ազդում են ռեակցիայի արագության վրա: Սա ապացույց էր այն բանի համար, որ հիշյալ ռեակցիան ընթանում է ռադիկալա-շղթայական մեխանիզմով: Հաշվի առնելով այս, ներկա աշխատանքում ջիրկովի և Պլյուսնինի կողմից առաջարկված մեթոդով որոշված են տարրական ակտերի հաստատունները: Աղյուսակ 2-ում ամփոփված են կինետիկ պարամետրները:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1 Р. П. Меликсетян, Н. М. Бейлерян, О. А. Чалтыкян, Арм. Хим. журн. (1971), т. 24, № 2, 108; 2 А. Н. Плюсин, Н. М. Чирков, Теоретическая и экспериментальная химия, 2, № 6, 777 (1966); А. Н. Плюсин, Автореферат канд. диссертации, М., 1967; 3 О. А. Чалтыкян, Н. М. Бейлерян, А. Л. Самвелян, ДАН Арм. ССР, т. 29, № 1, 35 (1964); 4 Н. М. Бейлерян, Р. М. Аюбян, О. А. Чалтыкян, Ученые записки ЕГУ № 3, 55 (1969); 5 В. Я. Шляпинтох, О. Н. Карпунин, Л. М. Постников, И. В. Захаров, А. А. Вичутинский, В. Ф. Цепалов, Хемилюминесцентные методы исследования медленных химических процессов. Изд. «Наука», М., 1966

* Взято из работы (1)

УДК 549

МИНЕРАЛОГИЯ

А. А. Коджоян, С. С. Мкртчян

О люминесценции искусственных сфалеритов

(Представлено академиком АН Армянской ССР С. С. Мкртчяном 18/XI 1970)

Исследование люминесценции искусственных сфалеритов может иметь важное значение при решении вопроса о форме вхождения примеси в решетку сфалерита.

Из многочисленных исследований по люминесценции искусственных цинк-сульфидов известно, что элементы: In, Ga, Cu, Mn, Sn и др. являются активаторами длинноволновой люминесценции сфалеритов и входят в решетку последних (1-5).

Относительно свинца, как активатора в ZnS-люминофорах высказывались различные предположения (6-7).

Для нас свинец, как активатор в сфалерите, представляет большой интерес; так как было установлено, что окраска сфалеритов, полученных методом гидротермального синтеза, обусловлена главным образом, примесью свинца. Ниже коротко остановимся на условиях опытов кристаллизации сфалерита и влияния примеси свинца на его окраску и люминесцентные свойства.

Опыты проводились в автоклавах с плавающими титановыми вкладышами. Основным материалом для переотложения был порошок ZnS марки «Для люминофоров», в качестве примеси — порошок PbS марки «Особой чистоты». Цель заключалась в выяснении влияния примеси свинца в переотложенном сфалерите на его окраску и люминесцентные свойства. Выяснилось, что увеличение содержания свинца в переотложенном сфалерите вызывает потемнение его окраски и является активатором люминесценции сфалерита. Предварительные данные по электронной микроскопии и рентгеноструктурному анализу позволили предположить, что на окраску сфалеритов и его люминесцентные свойства влияют субмикроскопические включения галенита. Люминесцентному исследованию были подвержены образцы разноокрашенных сфалеритов. Возбуждение ультрафиолетовым светом (365 мкм) проводилось от ртутной лампы ПРК 2 через вудовский фильтр. Основная масса сфалерита, подвержен-

ная люминесцентному анализу, представлена тетраэдрами и комбинациями куботетраэдров, которые в среднем составляют 80% при значительно меньшем количестве индивидов других габитусных форм и их комбинаций.

Примечательной особенностью изучаемых искусственных сфалеритов является их различная окраска, начиная от бесцветных разностей и кончая темно-серой, почти черной разностью.

Таблица 1

Содержание элементов люминесцирующих и нелюминесцирующих сфалеритах по данным количественного спектрального анализа

Номера проб		Элементы						
		Mn	Fe	Ti	Cu	Pb	Ag	Cd
Люминесцирующие	13	0,0015	0,007	0,0024	0,002	0,035	—	0,013
	16	0,0015	0,02	0,0016	0,0006	0,5	0,0004	0,001
	18	0,002	0,012	0,0028	0,006	0,0085	0,0004	0,0011
	19	0,001	0,02	0,0003	0,0006	5	0,0004	0,0014
	20	0,003	0,018	0,0004	0,0011	1	0,0004	0,0018
	33	0,0012	0,06	0,0036	0,0006	0,12	0,0002	0,0054
Нелюминесцирующие	29	0,0015	0,12	0,00025	0,12	0,0007	0,0004	0,014
	26	0,0015	0,18	0,00032	0,005	0,075	0,0004	0,013
	30	0,008	0,1	0,0004	0,05	0,001	0,0004	0,014
	30a	0,0025	0,07	0,0003	0,11	0,001	0,0004	0,018
	31	0,0012	0,05	0,0006	0,0028	0,0005	—	0,036
	32	0,002	0,036	0,0012	0,00083	0,0013	—	0,036

Наиболее распространенным типом люминесценции является зеленовато-голубое и неопределенного цвета свечение; меньше встречаются кристаллы с розовато-оранжевым свечением. Значительно больше кристаллов, не обнаруживающих в ультрафиолетовых лучах видимых признаков свечения. С увеличением интенсивности ультрафиолетовых лучей, количество кристаллов, обладающих неясным свечением, уменьшается. Выяснилось, что проявление свечения зависит от интенсивности возбуждающего излучения. При сильном источнике ультрафиолетовых лучей и очень близком расположении от него сфалеритов, большинство из последних люминесцирует. Из разноокрашенных сфалеритов только темные разности имеют яркую зеленовато-голубую люминесценцию; при этом, наблюдается прямая зависимость интенсивности люминесценции от концентрации Pb^{2+} . Ярко люминесцируют образцы с высоким содержанием свинца и низким содержанием меди и железа (табл. 1). В образцах, с повышенным содержанием Cu и Fe и сравнительно низким содержанием свинца, люминесценция отсутствует. Это дает нам основание предположить, что увеличение содержания меди и железа снижает яркость свечения, как бы подавляя свечение свинца в сфалерите. Подобное явление было описано А. А. Черепневым (2), где автор приводит предельную кон-

центрацию меди в сфалерите ($2 \cdot 10^{-4}$ z/m), выше которой снижается яркость свечения.

Свечение розовым и розовато-оранжевым цветом наблюдается значительно реже, и в большинстве случаев сфалериты, люминесцирующие этим цветом, составляют ничтожное количество от общей массы люминесцирующих кристаллов. В изученных нами искусственных сфалеритах имеются кристаллы, отдельные участки которых люминесцируют ярким зеленовато-голубым цветом (если кристалл не светится). Визуальное и рентгенометрическое изучение сфалеритов этой группы показало, что они представляют собой монокристаллы и в их рентгенограммах отсутствуют вторичные линии. В связи с этим, мы предполагаем, что в процессе роста сфалерита незначительная часть кристалла либо была обогащена примесью, либо структура этого светящегося участка несколько отличается от общей структуры кристалла.

В заключение отметим, что некоторые исследователи на основании спектроскопических, рентгеноструктурных и ряда других наблюдений, связывают окраску сфалерита и его люминесцентные свойства с элементами-примесями (Fe, Mn, Sn, In и др.), входящими изоморфно в решетку сфалерита. В наших исследованиях мы пришли к выводу, что на окраску сфалерита большое влияние оказывает свинец. Важная роль свинца в процессах, определяющих оптические свойства в том числе и зеленовато-голубое свечение сфалеритов, подтверждается приведенными выше результатами исследования их люминесценции.

Институт геологических наук
Академии наук Армянской ССР

Ա. Ն. ԿՈՋՈՅԱՆ, Ս.Վ. Ս. ԽՈՐՏՉՅԱՆ

Արհեստական սֆալերիտների լյումինեսցենցիայի մասին

Արհեստական սֆալերիտների լյումինեսցենցիայի ուսումնասիրությունը կարող է ունենալ կարևոր նշանակություն սֆալերիտի ստրուկտուրային ցանցում՝ խառնուրդ-տարրերի մասնակցության ձևի հարցի լուծման դործում:

Պայեկտրոսկոպիական, ռենտգենա-ստրուկտուրային և այլ ուսումնասիրությունների հիման վրա որոշ նետազոտողներ սֆալերիտի գույնը կապում են նրա ստրուկտուրային ցանցի մեջ մտնող խառնուրդ-տարրերի (Fe, Mn, Sn, In և այլն) հետ: Ուսումնասիրությունները մեզ բերել են այն եզրակացության, որ սֆալերիտի գույնի վրա մեծ ազդեցություն է գործում կապարի առկայությունը: Կապարի կարևոր դերը օպտիկական հատկությունների որոշման սրբացնում, այդ թվում և սֆալերիտների լյումինեսցենտ հատկությունը, հաստատում են այդ ուղղությամբ կատարված վերը բերված ուսումնասիրությունների արդյունքները:

УДК 577.3

БИОФИЗИКА

С. М. Мартirosos

О механизме натриевого насоса

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР В. О. Казаряном 20/IV 1971)

Перенос ионов натрия из клетки в обмен на ионы калия наружной среды происходит против градиентов электрохимических потенциалов. Такую работу выполняет «натриевый насос», который локализован в клеточной мембране (1) и использует для этой цели энергию гидролиза АТФ (2).

В настоящее время накопилось большое количество экспериментальных фактов, отражающих различные аспекты работы натриевого насоса. Построены многочисленные модели, в которых и схематизирована феноменология активного транспорта катионов (3). Но так как неизвестны конкретные молекулы или их активные центры, участвующие в переносе катионов, никогда не обсуждается вопрос о том, как происходит сопряжение между химическим циклом, ведущим к гидролизу АТФ, и процессом ионного обмена и почему стехиометрия транспорта выражается отношением $АТФ:Na:K = 1:3:2$ (4).

Открытие явления синтеза АТФ с помощью обратимо работающего натриевого насоса (5), а также попытки определить место фосфорилирования и формы промежуточных соединений, принимающих участие в переносе катионов (6), создали необходимую предпосылку для детального химического анализа процесса.

В данной статье предлагается для обсуждения гипотетический механизм сопряжения между гидролизом АТФ и переносом ионов.

Активный транспорт катионов, по-видимому, начинается с фосфокиназной реакции. Рядом авторов было показано, что терминальный фосфат АТФ обратимо включается в фосфопротенины мембраны.

Обязательным условием является присутствие ионов магния в инкубационной среде, при этом добавление ионов натрия в среду значительно увеличивает фосфорилирование мембраны (7). Если в мембране присутствуют две аденозинтрифосфотазы ($Mg-ATP-аза$ и $Mg + Na + K-ATP-аза$), то возрастание фосфорилирования мембраны в присутствии $Na +$ следует объяснить наличием двух параллельных реакций. Другое

возможное объяснение заключается в том, что работа транспортной АТФ-азы представляет собой две последовательные реакции:

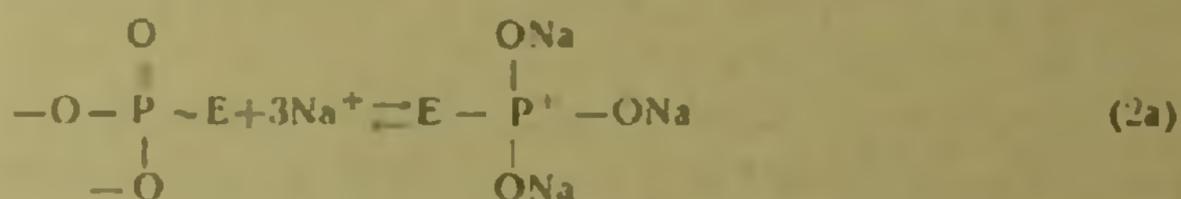


где Е—некоторая макромолекула (возможно, сама транспортная АТФ-аза), расположенная на внутренней границе мембраны. Для удобства изложения дальнейшего материала назовем ее переносчиком.

Последовательная цепь реакций (1)—(2) означает, что фосфорилирование молекулы Е катализируется ионами магния. При добавлении ионов натрия в инкубационную среду Е~Ф переходит в (Е~Ф)Na₃, т. е. в мембране появляются две фосфорилированные формы молекулы. Это ведет к тому, что нарушится равновесие реакции (1), что приведет к дополнительному включению ~Ф в мембрану.

В записанной последовательности реакций (1) и (2) подразумевается также, что до фосфорилирования молекулы Е невозможно включение ионов Na⁺ в транспортный цикл (8). Либо для запуска транспортного цикла нужна энергия ~Ф, либо фосфат приносит не только энергию, но и играет некоторую дополнительную роль в переносе катионов.

Фосфорилированный переносчик Е~Ф находится на границе мембрана—внутриклеточная среда. Допустим, что на частичный разрыв связи P=O для фосфата, находящегося в этом положении, требуется энергия, не превышающая таковой гидролиза АТФ до АДФ. Кроме того, предположим, что реакция, идущая с разрывом связи P=O, промотируется ионами Na⁺, которые присоединяются к фосфату через три кислородных атома:



Процесс идет с изменением конформации молекулы. При этом фосфатный конец молекулы с ионами натрия перебрасывается в фазу мембраны (фосфат написан справа от Е). Реакция (2a) полностью обратима, так как кинетика процесса контролируется стремлением молекулы восстановить связь P=O.

Таким образом, предполагается, что фосфат играет двойную роль в активном выведении ионов натрия из клетки. С одной стороны, с помощью фосфата, взятого от АТФ, происходит снабжение энергией переносчика для совершения работы, с другой—обеспечиваются места ионы натрия, которые необходимо транспортировать через внутреннюю границу мембраны.

«Внутренняя энергия» молекулы в натриевой форме находится в активированном состоянии. Если восстановление двойной связи теперь направить по другому пути, то энергия будет утилизována.

Реакции, подобные (2а), по-видимому, могут обеспечить достаточную точность и экономичность в сопряжении химического и транспортного циклов при активном переносе катионов.

Классическая схема активного переноса катионов предполагает существование некоего подвижного переносчика в мембране, который захватывает ионы натрия из внутриклеточной среды и диффундирует через всю мембрану к наружной ее границе. Там переносчик обменивает ионы натрия на ионы калия наружной среды и возвращается обратно.

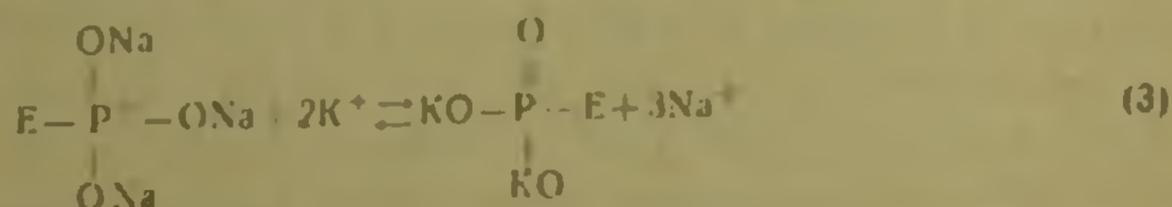
В другого типа модели предполагается, что липопротенновый комплекс, захватив ионы Na^+ на внутренней границе мембраны, совершает поворот через ее толщу, так что его ионообменные центры оказываются обращенными в наружную среду, где и происходит обмен Na^+ на K^+ (2). Таким образом, считается обязательным всегда постулировать, что ионообменная реакция имеет место только на границе мембрана—наружная среда. Кратко остановимся на основных положениях нашей модели. Допустим, что участок мембраны, внутри которой совершает поворот

фосфатный конец соединения $\text{E}-\text{P}-\text{O}_3\text{Na}_3$, представляет собой «ионообменный канал» с очень высокой избирательностью по калию. Такой «ионообменный канал» с внутренней стороны мембраны закрыт макромолекулой E и не имеет возможности обменивать ионы с внутриклеточной средой. Со стороны наружной границы мембраны в него могут поступать как ионы натрия, так и ионы калия. Степень заполнения канала тем или иным ионом будет зависеть как от констант специфичности мембраны на этом участке, так и от концентрации катионов в наружной среде. Если константа специфичности $K_{\text{Na},\text{K}} \ll 1$, канал будет заполнен ионами калия уже при физиологических концентрациях ионов в наружной среде. Такое положение может наблюдаться, в частности, для нервных и мышечных волокон, где относительная проницаемость $P_{\text{Na}}/P_{\text{K}}$ около 0,01 (20).

Основываясь на вышеизложенных представлениях о свойствах участка мембраны, в которую совершает поворот фосфатный конец молекулы

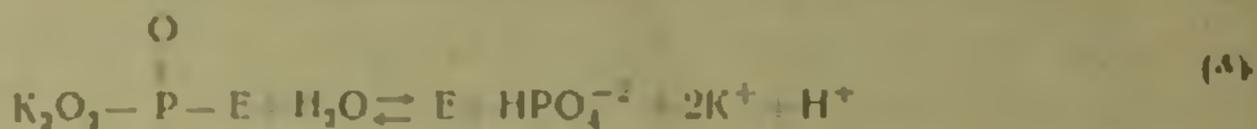
$\text{E}-\text{P}-\text{O}_3\text{Na}_3$, рассмотрим теперь, как происходит обмен ионов Na^+ клетки на ионы K^+ наружной среды.

Ионы калия среды сперва поступают в ионообменник и только после этого внутри мембраны вблизи внутренней границы участвуют в реакции:



Восстановление связи $\text{P}=\text{O}$ ведет к потере высокоэнергетического состояния молекулы и возвращению к исходной структуре, при этом фосфатный конец обращен в водную среду клетки. В этом положении вода

подвергает атаке фосфатный конец молекулы и завершается как гидролиз АТФ, так и цикл ионного обмена:



Из реакции (2a) — (4) следует, что стадии гидролиза АТФ и обмен Na^+ клетки на K^+ среды идут одновременно. Из реакций (3) и (4) видно, что именно при обмене трех ионов натрия на два иона калия происходит утилизация энергии. Идея о том, что энергия расходуется на ионообменной стадии, была ранее высказана П. Колдуэллом (11). В цикле реакций (1) — (4) это предположение приобретает конкретное содержание. В состоянии $\text{E} \sim \text{Ф}$ энергия в молекуле законсервирована, стадия

$\text{E} - \text{P} - \text{O}_3\text{Na}_2$ говорит о том, что молекула переведена в активированное состояние за счет этой энергии и перераспределилась для изменения конформации молекулы. На стадии ионного обмена реакция смещается в другую сторону и восстанавливается связь $\text{P} - \text{O}$, тем самым молекула возвращается в исходное состояние с минимумом энергии, где она подвергается гидролизу.

Изложенные ранее уравнения (1) — (4) были приняты как обратимые реакции. Такое допущение непосредственно исходит из экспериментов, выполненных в течение ряда лет на эритроцитах (5, 12, 13).

Было показано, что выведение ионов калия клетки в обмен на ионы натрия наружной среды с помощью натриевого насоса ведет к сопряженному синтезу АТФ из АДФ и внутриклеточного ортофосфата (14, 15).

Таким образом, обмен натрия клетки на калий среды сопровождается гидролизом АТФ, а обмен калия клетки на натрий среды сопряжен с синтезом АТФ. Иными словами, обратимость транспортного цикла ведет к обратимости химического цикла при активном транспорте катионов. Как уже отмечали П. Гаррахан и И. Глини (5), реверсия натриевого насоса заключается в том, чтобы использовать градиенты электрохимических потенциалов для синтеза макроэргического соединения.

Рассмотрим в чем смысл реверсии натриевого насоса для схемы, излагаемой в данной статье, в которой весь процесс должен пойти по пути обратимых реакций (4) — (1).

Вследствие высокой избирательности мембраны для калия, на наружной границе идет избирательная аккумуляция этих ионов. Первое необходимое предельное условие для реверсии натриевого насоса заключается в удалении ионов калия из наружной среды. Тогда мембрана будет заполнена ионами натрия. В этих условиях создается предпосылка для транспорта ионов натрия из среды в клетку.

Реверсия натриевого насоса начинается с обратной реакции (4). Поэтому необходима высокая концентрация ионов калия и ортофосфата в клетке. Кроме этого необходимо также в предельном случае удалить АТФ и ионы натрия из клетки. Если АТФ и Na^+ будут в клетке в достаточном количестве, возникнет конкуренция за места на E между прямы-

ми реакциями (1) и (2) и обратной реакцией (4). Другими словами, необходимо создать высокие градиенты химических потенциалов для ионов калия и натрия, направленных из среды в клетку и в обратном направлении соответственно для каждого из этих катионов. Приблизительно такие условия были созданы в вышецитированных работах на эритроцитах.

Основной изложенной гипотезы является постулат о двойной роли терминального фосфата АТФ в активном транспорте катионов. Цель же работы заключалась в том, чтобы показать какую роль в механизме натриевого насоса и в неэквивалентном переносе катионов могут играть разрыв и образование двойных связей, а также селективность самой мембраны.

В основном допущении работы о роли фосфата в транспорте катионов через клеточные мембраны утверждается, что ионы натрия и калия присоединяются к переносчику не в разных точках по всей молекуле, а к одной функциональной единице. Наиболее удобным местом для этого является либо район многовалентного атома (P, S, N), либо участок, содержащий лабильные двойные связи. Тогда разрыв двойной связи при присоединении трех ионов натрия и восстановление этой связи при обмене на два иона калия позволили бы осуществить неэквивалентный перенос катионов.

Так как, по-видимому, АТФ является обязательной компонентой активного транспорта катионов, то из допущения о двойной роли макроэргического фосфата в переносе катионов вытекает следствие: стехиометрическое соотношение $АТФ Na:K = 1:3:2$ является универсальной величиной.

Из допущения об «ионообменном канале», обладающем катионной специфичностью, следует, что переносчику-макромолекуле, работающему на внутренней границе мембраны, нет необходимости производить отбор ионов калия из среды, содержащей несомненно большее количество натрия. Переносчик обменивает ионы натрия клетки на ионы калия внутри ионообменного канала. Но так как ионообменный канал обладает родством к ионам калия, то обязательным условием для обменной стадии процесса является, по крайней мере, потеря переносчиком специфичности по натрию при изменении его первоначальной конформации (реакция (3)). Таким образом, основное различие предполагаемой схемы транспорта от классической модели подвижных переносчиков заключается в том, что весь обменный процесс идет у внутренней границы мембраны и катионспецифические свойства мембраны играют уже решающую роль.

Приписывая структуре мембраны свойства, от которых зависит работа натриевого насоса, следует тем самым отметить, что без мембраны транспортная система и связанная с ней ферментативная активность не будут проявляться, т. е. свойства транспортной АТФ-азы зависят от того, связан ли белок с мембраной или находится просто в водной среде?

Принцип регуляции некоторого процесса, зависящий от местонахождения хотя бы одного из реагентов, можно назвать аллотопической регуляцией. Понятие аллотопии было введено в мембранологию при изучении реконструкции функционального аппарата, митохондрий, когда выяснилось, что свойства фермента зависят от его места на мембране (16).

В рассмотренной схеме активного переноса катионов натриевый насос осуществляет и контролирует фазовые переходы ионов Na^+ и K^+ , либо затрачивая энергию, либо аккумулируя ее в зависимости от условий в клетке и в наружной среде. Но так как основная функция натриевого насоса заключается в поддержании внутриклеточной концентрации ионов натрия на низком уровне, то вся регуляция смещена в сторону гидролиза АТФ и выведению избыточного количества натрия из клетки.

Автор выражает благодарность А. М. Шкробу и А. П. Шинкову за критические замечания, В. С. Маркину и Ю. А. Чизмаджеву за ценные советы.

Ботанический институт
Академии наук Армянской ССР

II. II. ՄԱՐՏԻՐՈՍՈՎ

Նատրիումային պոմպի մեխանիզմի մասին

Աշխատանքում փորձ է արվում պարզարանելու փոխադրիչի մեջ կրկնակի կապերի առաջացման և վերջիններիս խղման նշանակությունը ոչ համարժեքային Na և K կատիոնների տեղափոխման պրոցեսում, ինչպես և վերջիններիս մեջ մեմբրանի ընտրողականության դերը: Արված են երկու ենթադրություններ՝ ա) ֆոսֆատների վրա իրականացվում է կատիոնի միացումը փոխադրիչի հետ, բ) կատիոնային փոխանակությունը փոխադրիչի վրա տեղի է ունենում մեմբրանի որոշակի տեղամասերում: Քննարկվում են անդրադարձիչ նատրիումային պոմպի և ալոտոպային կանոնավորման սկզբունքի հարցերը:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ J. C. Scou, *Biochim et biophys. acta*, 23:394, 1957. ² P. C. Caldwell, A. L. Hodgkin, R. D. Keynes, T. I. Show, *J. Physiol*, 152:561 (1960). ³ H. H. Жучовская, *Успехи биол. химии*, 8: 93 (1967). ⁴ A. K. Sen, R. L. Post, *J. Biol. Chem.*, 239, 345 (1964). ⁵ P. J. Garrahan, I. M. Glinn, *J. Physiol*, 192, 237 (1967). ⁶ R. L. Post, S. Kume, Tobin, B. Orcutt, A. K. Sen, *J. Gen. Physiol*, 54, 306s (1969). ⁷ K. Ahmed, J. D. Judah, *Biochem. et biophys. acta*, 104, 112 (1965). ⁸ J. S. Charnock, A. S. Rosental, R. L. Post, *Austral. J. Exptl. Biol. Med. Sci.*, 41, 675 (1963). ⁹ L. J. Opit, J. S. Charnock, *Nature*, 208, 471 (1965). ¹⁰ A. L. Hodgkin, P. Horowicz, *J. Physiol*, 148, 127 (1959). ¹¹ P. C. Caldwell, *Physiol. Revs.*, 48, 1 (1968). ¹² I. M. Glinn, V. L. Lew, I. Luthi, *J. Physiol*, 207, 371 (1970). ¹³ I. M. Glinn, V. L. Lew, *J. Physiol*, 207, 393 (1970). ¹⁴ I. M. Glinn, V. L. Lew, *J. Gen. Physiol.*, 51, 289s (1968). ¹⁵ A. F. Lant, R. N. Preestland, R. Whittam, *J. Physiol*, 207, 291 (1970). ¹⁶ Э. Рэкер, *Молекулы и клетки*. Вып. 4, стр. 150, 1969.

Дыхание дрожжей определялось в аппарате Варбурга путем инкубирования клеток в фосфатном буфере (эндогенное дыхание) или в том же буфере с добавлением глюкозы. Интенсивность дыхания определялась по формуле: $Q_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{P \times t}$, где V_{O_2} — поглощенный O_2 в мкл, P — биомасса дрожжей (абс. сухие) в мг, t — время инкубации в часах.

Аминотрансферазная активность определялась в бесклеточных экстрактах, полученных путем гомогенизации клеток в фосфатном буфере М/10 (5). После отделения осадка при 6000 об./мин. в течение 20 минут, надосадочный экстракт подвергался диализу против 0,02 М КСI 12 часов при температуре +4° и использовался в качестве ферментного препарата; общий азот последнего определялся микрометодом Кьельдаля. В качестве донора NH_2 группы использовался DL-валин, акцептором служил α -кетоглутарат. Активность ферментного препарата оценивалась по количеству образовавшейся глутаминовой кислоты и рассчитывалась по следующей формуле:

$$Q_{Gly} = \frac{P_{Gly}}{N \times t} \times 10^{-2}, \text{ где } Q_{Gly} \text{ — активность препарата, } P_{Gly} \text{ — количество глутаминовой кислоты, синтезированной во время опыта в мкг,}$$

N — содержание азота в экстракте, поставленного на инкубацию в мг и t — продолжительность инкубации в часах.

Проникновение и накопление аминокислот в клетках оценивалось путем инкубирования дрожжевой суспензии в фосфатном буфере М/15, рН—5,8 в присутствии DL-валина, за определенный промежуток времени, дальнейшего отделения биомассы от жидкой фазы, тщательного ее промывания и экстракции проникнувшего субстрата 70%-ным этанолом гидромодулем (этанол/биомасса=30/1). Аминокислоты экстрактов определялись методом хроматографии на бумаге (6). Скорость проникновения оценивалась в интервале 0—5-минутной инкубации по формуле

$V = \frac{AK}{P \times t} \times 10^4$, уровень накопления по количеству аминокислот, проникнувших в 100 мг биомассы (сух. вещества) за 30 минут; аминокислоты (АК) определены в мкг, биомасса дрожжей (P) в мг, время инкубации (t) в минутах.

1. Проникновение и накопление DL-валина и DL-норвалина в клетках музейной и адаптированной культур *S. chevalieri*. Полученные данные (табл. 1) показывают, что у приспособленной к валину культуры усиливаются скорость проникновения и уровень накопления упомянутой аминокислоты. В результате этого, значительно повышается отношение

концентрация валина в клетке

концентрация валина в среде

Одновременно, в такой же степени усиливается скорость проникновения и уровень накопления норвалина. Последний факт указывает на возможное сходство между системами, осуществляющими перенос и накопление этих изомеров.

Данные, полученные при инкубации адаптированной культуры в присутствии смеси обеих аминокислот, подтверждают это предположение. В смеси валин + норвалин в равных концентрациях и даже при 4-х кратной концентрации валина по отношению к норваллину, значительно подавляется скорость проникновения и уровень накопления валина. При

Таблица 1

Проникновение и накопление DL-валина и норвалина в клетках музейной и адаптированной культур *S. chevalieri*.

Инкубационная смесь на 10 мл: субстрат—варианты I—45 мМ, варианты IV—445 мМ, дрожжей—146—200 мг (сух. вещ-ва), продолжительность инкубации—30 мин.

Субстрат	Скорость проникновения		Уровень накопления		Концентрация в клетке / Концентрация в среде	
	М	А	М	А	М	А
Валин I	2,8	3,8	2,9	5,0	0,6	1,2
Валин IV		3,2		4,7		0,3
Норвалин I	2,4	3,4	2,3	4,4	0,5	1,1
Валин I + норвалин I валин		1,6		1,8		0,5
Валин IV + норвалин I валин		1,6		2,2		0,1
Валин I + норвалин IV валин		0,2		0,4		0,1

4-х кратной концентрации норвалина по отношению к валину, проникновение последнего подавляется более чем на 90%. Это указывает на групповую специфичность транспортных систем, или же на наличие одного или нескольких общих звеньев в процессах, осуществляющих перенос валина и норвалина. Пример такого явления описан также у *E. coli* (?).

Таблица 2

Дыхание музейной и адаптированной к DL-валину культуры *S. chevalieri*. Инкубационная смесь в 2 мл в каждом сосудике валин 100 мкМ или $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 50 мкМ—0,5 мл, дрожжей 18—21 мг биомассы (сухой вес)—0,5 мл, глюкоза 4%—0,5 мл, синтетическая среда—0,5 мл, pH—5,2; атмосфера—воздух, продолжительность инкубации—2 часа. Все величины в Q_{O_2} .

Эндогенное дыхание				Дыхание в присутствии глюкозы			
NH_4		Валин		NH_4		Валин	
М	А	М	А	М	А	М	А
4,0	12,0	5,0	8,7	25,0	20,0	15,6	21,6
7,0	12,0	8,6	11,4	43,0	38,4	28,1	38,6
4,8	16,3	5,7	11,7	34,0	30,0	25,0	34,8
1,2	12,0	6,0	10,0	25,7	20,5	17,5	25,4

2. Дыхание музейной и адаптированной к DL-валину культуры *S. chevalieri*. Изучалось потребление кислорода суспензией обеих куль-

тур в присутствии аммония или DL-валина, с целью выявления роли каждого из источников азота в стимулировании дыхания соответствующих культур. Результаты повторных опытов приведены в табл. 2 и на рис. 1.

В условиях эндогенного дыхания в присутствии обоих источников азота, у адаптированной культуры величина Q_{O_2} значительно повышена по сравнению с музейной: у последней, в среде с валином, дыхание происходит несколько сильнее (в среднем на 25%) по сравнению со средой, содержащей аммоний, а у адаптированной культуры, при наличии аммония, дыхание интенсивнее (в среднем на 30%), чем в среде с валином.

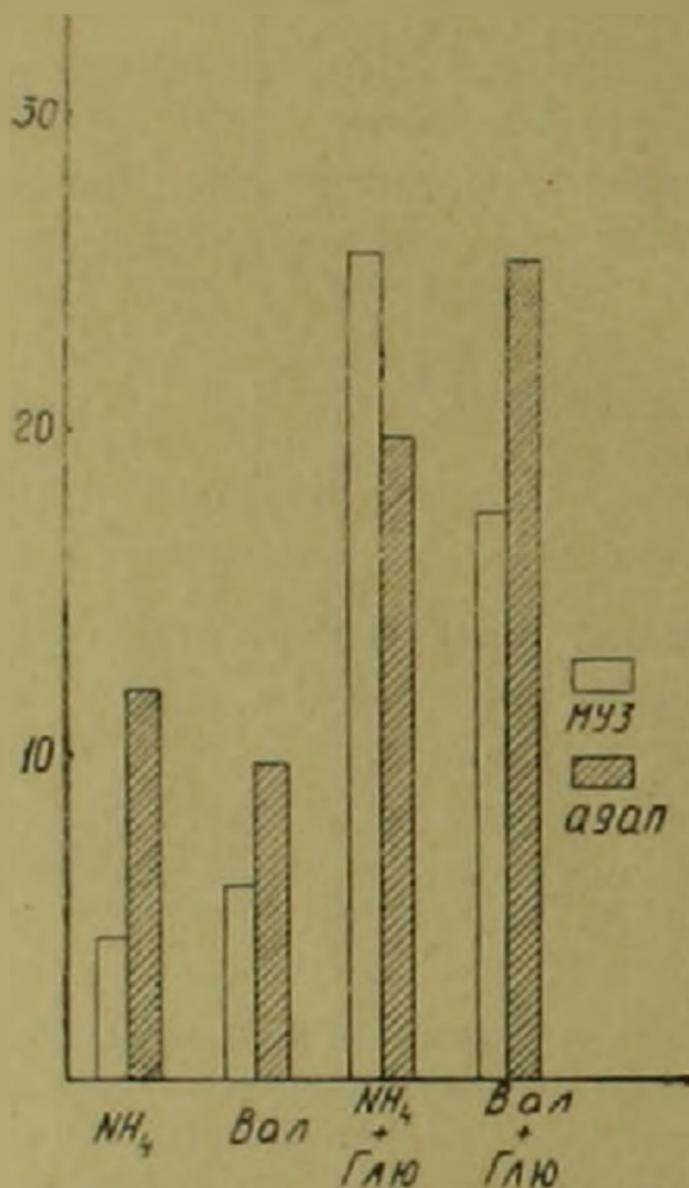


Рис. 1. Дыхание музейной и адаптированной к DL-валлину культуры *S. chevallieri*

Изложенные данные указывают на глубокую перестройку дрожжевой клетки в процессе адаптации, в частности, по накоплению в протоплазме компонентов (углеводов и др.), служащих субстратом для эндогенного дыхания.

При инкубировании в присутствии глюкозы резко повышается потребление кислорода как у музейной, так и у адаптированной культуры: NH_4 действует сильнее у музейной культуры, а валин—у адаптированной. В этом случае примечательно, что величины Q_{O_2} в присутствии субстрата, служащего источником азота в процессе выращивания (NH_4 для музейной, валин для адаптированной), почти равны, в то время как Q_{O_2} значительно снижается в присутствии субстрата, который не служил источником азота при выращивании данной культуры.

Это показывает, что источник азота, в присутствии которого культура выросла является лучшим стимулятором диссимляции экзогенных углеродистых субстратов (в нашем опыте глюкоза).

Таким образом снижение Q_{O_2} при наличии азотистого субстрата, к которому культура не приспособлена, приобретает характер торможения.

3. Активность аминотрансферазных систем, переносящих NH_2 группу валина на α -кетоглутарат у музейной и адаптированной к валину культур.

Таблица 3

Активность некоторых аминотрансфераз, действующих с кетоглутаратом у *S. chevalieri*

Инкубационная смесь: донор NH_2 -валин 20 μM —0,2 мл, кетоглутарат—40 μM —0,2 мл, пиридоксаль фосфат—20 μg —0,1, фосфатный буфер M/10—0,2 мл, ферментный препарат—0,3 мл. Общий объем—1 мл, pH—7,6—7,8. Данные в Q_{glut}

Дата опыта	Музейная культура	Культура, адаптированная к валину
17/ I 1968	12,1	46,0
31/ I 1968	28,6	70,0
14/ II 1968	29,0	92,6

Полученные данные показывают (табл. 3), что в процессе адаптации к валину активность валин: кетоглутарат аминотрансферазной системы значительно усиливается. Такое стимулирование можно приписать действию валина, играющего роль специфического субстрата-индуктора, как показано по некоторым ферментам, участвующим в метаболизме аминокислот (4).

Совокупность полученных данных позволяет заключить, что в процессе адаптации к новому источнику азота—валину, одновременно участвуют несколько функций, которые усиливаются и способствуют к более интенсивному включению данного метаболита в энергетические и биосинтетические процессы клеток.

Ереванский государственный университет
Институт микробиологии Академии наук Армянской ССР

Հայկական ԽՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս Խ. Ա. ՏԻՐ-ԿԱՊՈՒՊԵՏՅԱՆ,
Վ. Կ. ԶԱՆԹԻՆՈՎԱ, Խ. Պ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

Խմորասնկային բջի մի բանի բիոֆիզիական ցուցանիշների փոփոխումը
DL-վալինի նկատմամբ ադապտացման պրոցեսում

Ներկա աշխատության նպատակն է պարզաբանել ինչպիսի ֆունկցիոնալ փոփոխումներ են տեղի ունենում խմորասնկային բջիում ադապտի մի նոր ազդրյուրի՝ վալինի նկատմամբ ադապտացման ընթացքում:

Պաստիլանա սիրման օրյակտ հանդիսացող *C. chevalieri* կուլտուրայի ապոտի հիմնական աղբյուրն է ամոնիում սուլֆատը, իսկ ինչպիս ցույց տվեցին մեր չափորատորիայի հետազոտությունները, վալինը ինտենսիվորեն յուրացվում է կուլտուրայի ադապտացման շնորհիվ:

Որպես քչջային մետարոլիզմի ցուցանիշներ ընտրվել են՝ DL-վալինի ներթափանցումն ու կուտակումը, շնչառությունը, վալին—կետոգլյուտարատ ամինատրանսֆերազային սիստեմի ակտիվությունը:

Հետազոտությունները բերել են հետևյալ եզրակացությունների.

1. Վալինի նկատմամբ ադապտացման պրոցեսում խթանվում է տվյալ ամինաթթվի րջիջները ներթափանցելու արագությունը, բարձրանում է նրա կուտակման մակարդակը: Միաժամանակ խթանվում է նորվալինի ներթափանցման արագությունը և կուտակման մակարդակը: Ծղրակացվում է, որ երկու իզոմերների ներթափանցումը կարող է ապահովվել միևնույն թաղանթային փոխադրիչ սիստեմի օգնությամբ (աղ. 1):

2. Էնդոգեն շնչառության պայմաններում ազոտի երկու աղբյուրների մեկի առկայությամբ, ադապտված կուլտուրայի Q_{O_2} ցուցիչը զգալիորեն բարձրանում է համեմատած թանգարանային կուլտուրայի հետ:

Գլյուկոզի առկայությամբ $(NH_4)_2SO_4$ խթանում է շնչառությունը թանգարանային կուլտուրայի, իսկ վալինը ադապտված կուլտուրայի մոտ ծղրակացվում է, որ ադապտացման պրոցեսը նպաստում է ազոտի նոր աղբյուրի ներգրավման դեպի ածխածնի էկզոգեն սուրստրատի (տվյալ դեպքում գլյուկոզի) մետարոլիզմի ուղիները (աղ. 2):

3. Վալինի նկատմամբ ադապտացման պրոցեսում խթանվում է վալին 2-կետոգլյուտարատ ամինատրանսֆերազային ֆերմենտային սիստեմի ակտիվությունը (աղ. 3):

Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

- 1 М. А. Тер-Карпетян, Е. Н. Макарова, С. М. Инджикян, Тезисы докл. XVII научной сессии Ереванского гос. ун-та, стр. 66, 1962. 2 М. А. Тер-Карпетян, С. М. Инджикян, ДАН Арм ССР, т. 48, 108, (1969). 3 С. М. Инджикян, Автореферат диссерт., Ереван, 1969. 4 М. А. Тер-Карпетян, Е. Н. Макарова, С. Цатурян, Биол. журн. Армении, т. 21, 9, 3—13, (1968). 5 М. А. Тер-Карпетян, В. Г. Джанибекова, ДАН Арм. ССР, т. 48, 3, 164—169 (1969). 6 М. А. Тер-Карпетян, С. П. Оганесян, Биол. журн. Армении, т. 21, в. 11, 9 (1968). 7 G. Cohen, N. Riekenberg, Ann. Inst. Pasteur, 91, 693 (1956). 8 H. Holzer, Aspects of yeast Metabolism Oxford, 1968.

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

В. О. Казарян, П. А. Хуршудян, Г. Г. Габриелян

Об изменении градиента пероксидазной и полифенолоксидазной активности корней тополей в зависимости от водного режима почвы

Одним из ярко выраженных морфологических показателей старения древесных растений является изменение направления отмирания метамерных образований. На восходящей ветви онтогенетической кривой отмирание протекает в акропетальном направлении, приводящим к оголению ствола и скелетных ветвей. В силу этого сначала высыхают верхушка кроны, далее ветви верхних, а затем более нижних ярусов. Взамен их формируются обрастающие ветви, покрывающие ствол (1, 2). Такая же тенденция отмирания обнаруживается у корневой системы в связи с ее возрастными изменениями (3).

Подобная изменчивость направления процессов отмирания и обновления метамерных образований сочетается с изменением градиента физиологической активности флоэмы и боковой меристемы. Экспериментально показано, что по мере пробуждения и роста новых боковых почек, градиент питательных веществ и адсорбционная способность проводящей системы принимают исходящее направление (4).

Морфологическая идентичность процессов отмирания и обновления метамерных органов в надземной и корневой сферах растений дает основание предполагать, что подобное смещение градиента физиологической активности свойственно и корневой системе. В этом аспекте мы располагаем лишь данными, показывающими с одной стороны переход главной роли в снабжении листьев водой, минеральными элементами и разнообразными метаболитами от зародышевых и первичных корней к придаточным у кукурузы на дальнейших фазах развития (5-6), с другой — направленность градиента дыхания (7-9) и отдельных компонентов дыхательной системы (10) в различных зонах корневой сферы травянистых растений. В этих работах, однако, не рассматриваются изменения направления градиента указанных показателей у корней в связи с возрастными изменениями растений и водного режима почвы, для которого лучшими объектами являются древесные породы.

Нами были проведены некоторые биохимические анализы по выявлению изменения градиента пероксидазной и полифенолоксидазной активности тополя канадского, произрастающего на обнаженных донных грунтах озера Севан.

Многолетние лесокультурные опыты показывают, что в зависимости от водного режима грунтов существенно изменяется ход старения и продолжительность жизни насаждений. В условиях прогрессирующего ухудшения водного дефицита, вызванного понижением зеркала озера молодые насаждения стареют и высыхают в раннем возрасте. Деревья того же возраста, но произрастающие на влажных грунтах, интенсивно растут, не проявляя каких-либо признаков старения. Нами исследованы именно корни этих двух групп одновозрастных деревьев, произрастающих в условиях, резко отличающихся по водному режиму.

С горизонтально растущих тоненьких корней, длиной 8—10 м, брались образцы коры и всасывающих корневых разветвлений с разных по их близости от основания ствола и определялась в них активность пероксидазы и полифенолоксидазы. Повторность анализа была трехкратная, средние данные представлены в виде кривых.

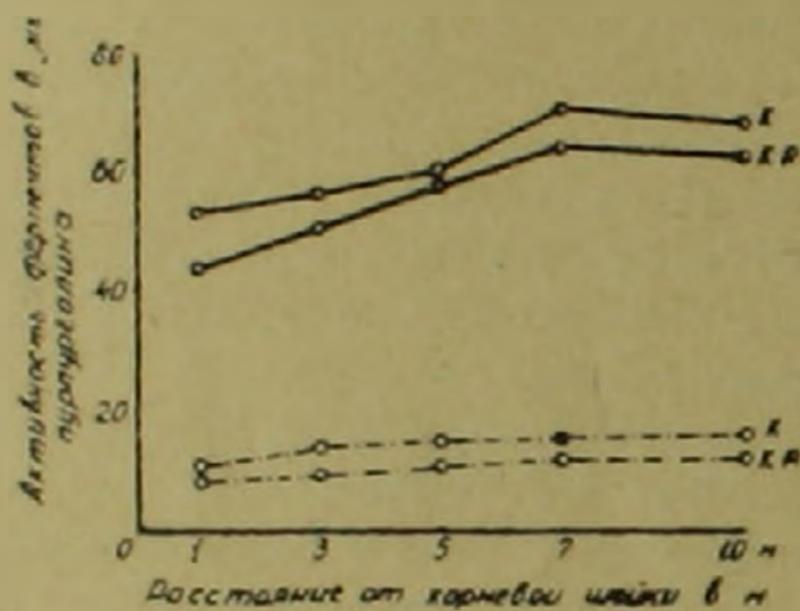


Рис. 1. Градиент пероксидазной и полифенолоксидазной активности в коре (К) и всасывающих корневых разветвлениях (КР) тополей канадских, растущих на влажных грунтах. — пероксидаза; - - - полифенолоксидаза

Как показывают кривые (рис. 1) деятельность изученных ферментов в коре и активных корнях растений влажных грунтов возрастает, начиная с корневой шейки до терминальных разветвлений, т. е. градиент ферментативной активности принимает базипетальное направление. Выясняется также, что максимальная активность окислительных ферментов клеток коры гораздо выше, чем у всасывающих корней.

Приведенные данные хотя характеризуют лишь уровень активности отдельных окислительных систем, участвующих в дыхании, но тем не менее дают определенные представления о физиологическом состоянии коры, как проводника ассимилятов и всасывающих корневых разветвлений и корней как органа поглощения воды, минеральных элементов и метаболического превращения последних. С этой точки зрения более активными, как видим, оказались терминальные разветвления корней.

Совершенно иные данные были получены для корней растений, произрастающих в условиях засухи и носящих в связи с этим морфо-

логические признаки старения (рис. 2). Как видим, градиент активности пероксидазы и полифенолоксидазы коры и всасывающих корешков имеет акропетальное направление, т. е. повышенный уровень деятельности этих ферментов обнаруживается в коре скелетных корней и в их тонких разветвлениях, отходящих непосредственно ниже корневой шейки. В таких насаждениях от боковых меристематических очагов корневой шейки стволов формируются активно растущие порослевые побеги. В этом периоде онтогенеза у суховершинных деревьев происходит сближение корней и вновь появляющихся порослевых побегов с усилением обмена веществ между ними. Подобное смещение направления отмирания и образование метамерных частей является реакцией растений на ухудшение водного режима почвы.

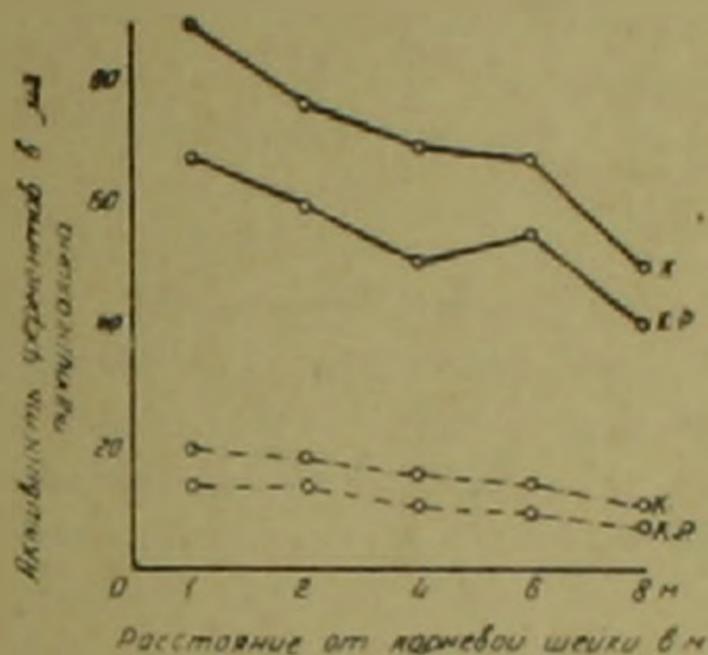


Рис. 2. Градиент пероксидазной и полифенолоксидазной активности в коре (К) и всасывающих корневых разветвлениях (КР) тополей канадских, растущих на сухих грунтах. — пероксидаза; - - - - полифенолоксидаза

Сопоставление данных, полученных у подопытных групп деревьев, одновременно показывает, что у корней в засушливых грунтах пероксидазная и полифенолоксидазная активность в целом гораздо выше. Последнее обстоятельство, видимо, следует объяснить приспособительной реакцией корней, выражающейся в повышении их поглотительной деятельности для обеспечения водой растений, обитающих в сухих условиях местообитания.

Данные такого характера, свидетельствующие об усиленном дыхании корней при водном дефиците, приводят и другие авторы (21), которые такую реакцию корней, развивающихся в неполных условиях, связывают с усилением их деятельности в результате энергичной затраты ассимилятов для повышения поглотительной способности.

Повышенную активность пероксидазы и полифенолоксидазы в корнях суховершинных деревьев следует одновременно рассматривать как показатель их старости. Этот вывод подтверждается данными другого опыта, проведенного с разновозрастными деревьями тополя пирамидального, растущими рядом в условиях Ереванского ботанического сада. Для

исследования активности указанных ферментов в этом случае были взяты всасывающие разветвления, отходящие от скелетных корней, расположенных на расстоянии 1 м от ствола и, кроме того, ксилемного сока последних.

Активность пероксидазы и полифенолоксидазы (в мкг пурпургаллина на 20 мкг ацетонового препарата за 20 мин) в пасоке и корневых разветвлениях тополя различных возрастов

Возраст растений (лет)	Пероксидаза		Полифенолоксидаза	
	в корнях	в пасоке	в корнях	в пасоке
38	121,4	193,8	35,1	50,1
6	83,4	29,1	21,5	12,3

Из приведенных цифр следует, что в корнях и пасоке (ксилемного сока) старых деревьев ферментативная активность гораздо выше, чем у молодых. В отношении же общей активности физиологических процессов, в том числе и окислительных ферментов листьев возрастно различных деревьев, существуют противоположные данные (¹²⁻¹³ и др.). В листьях старых деревьев эти показатели более низкие, чем у молодых. Объяснение этого, с первого взгляда казавшимся противоречивым фактом, видимо, нужно искать в том, что у старых деревьев функциональная корреляция между листьями и корнями значительно подавлена (¹⁴). В этом случае для обеспечения жизнедеятельности листьев необходимо, разумеется, повышение активности дыхания и окислительных систем.

Приведенные цифровые данные, подтверждая вышесказанное, одновременно показывают, что различие в активности исследуемых ферментов в пасоке старых и молодых деревьев гораздо больше, чем в их корнях.

Изложенные выше данные в конечном счете свидетельствуют о том, что постоянный почвенный водный дефицит, ускоряя старение растений одновременно вызывает акропетальное изменение градиента пероксидазной и полифенолоксидазной активности в корневой системе. В корнях деревьев, растущих в благоприятных условиях влажности, указанный градиент имеет базипетальное направление. Далее выясняется, что водный дефицит почвы, ускоряя старение растений одновременно вызывает повышение активности пероксидазы и полифенолоксидазы в корневой системе. Это обстоятельство следует рассматривать, с одной стороны как показатель возрастности, а с другой — как приспособительную реакцию для усиления поглощательной деятельности корней.

Ботанический институт
Академии наук Армянской ССР

Բարդու արմատների պեոսֆոֆոզազային և պոլիֆենոլօքսիդային
ակտիվության գրադիենտի փոփոխության մասին՝ կապված հողի
ջրային ռեժիմի հետ

Մանրադնին դիտողությունները ցույց են տալիս, որ ծառային բույսերի
վերերկրյա մետամեր օրգանների և արմատային սիստեմի մահացման պրո-
ցեսները ընթանում են համանման օրինաչափությամբ: Միաժամանակ հաս-
տատված է, որ ցողունների մոտ բարձր հարկաշարքերի մետամերների մահաց-
ման և ստորին հարկաշարքերի կողմային բողբոջների պարզացման դուզա-
հեռ սննդարար նյութերի գրադիենտը և փոխադրող հյուսվածքների կլանողա-
կանությունը ընդունում է վարրենթաց ուղղություն:

Ելնելով այս և մի շարք այլ տվյալներից, ենթադրվել է, որ արմատային
սիստեմին նույնպես բնորոշ են նման կարգի փոփոխություններ՝ կապված
հողի ջրային ռեժիմի և բույսերի հասակային փոփոխությունների հետ:

Սեանա լճի առափնյա գրունտներում աճող բարդիների արմատների վրա
կատարված փորձերը հեղինակներին բերել են այն եզրակացության, որ հողի
ջրային ղեֆիցիտի պայմաններում արմատներում տեղի է ունենում պեոսֆոս-
ֆազայի և պոլիֆենոլօքսիդազայի ակտիվության փոփոխություն ակրոպետալ
ուղղությամբ: Նորմալ ջրային ռեժիմի պայմաններում նշված փոփոխությու-
նները ունենում են բազիպետալ ուղղություն:

Կրունտների ջրային ղեֆիցիտը նպաստելով բույսերի արագ ձերացմանը,
միաժամանակ ակտիվացնում է պեոսֆոսֆազայի և պոլիֆենոլօքսիդազայի
գործունեությունը: Նման ակտիվություն հայտնաբերվում է նաև ծեր բույսերի
արմատներում:

ЛИТЕРАТУРА — Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ի Թ Յ Ի Ե Ն

- 1 П. Г. Шитт, Введение в агротехнику плодоводства, 1936. 2 П. Г. Шитт, Биологиче-
ские основы агротехники плодоводства, 1952. 3 В. О. Казарян, Физиологические ос-
новы онтогенеза растений, Ереван, 1959. 4 В. О. Казарян и Э. С. Абунджян, ДАН
СССР, т. 96, № 1, (1954). 5 И. В. Морозов и А. В. Паклова, «Кукуркута», № 7, 27, 1957.
6 А. А. Волынкин, «Физиология растений», 8, 3, 1961. 7 F. G. Gregory, H. K. Wou-
ford, Ann Bot., 3, 1939. 8 L. Michlits, Amer. Journ. Bot., 31, 5 (1944). 9 В. Karlson,
L. Eliasson, Phytol. plant., 8, 3 (1955). 10 И. В. Обручева, Научные доклады выс-
шей школы, биол. науки, 1, 1958. 11 И. С. Петиков и И. Ф. Берко, «Физиология растений»,
8, 1, 1961. 12 А. И. Смирнов, Физиолого-биохимические основы обработки табачного
сырья, «Табакосведение», 3, 1933. 13 В. О. Казарян, Стадийность развития и старения од-
нолетних растений, Ереван, 1952. 14 В. О. Казарян, Старение высших растений, Изд.
«Наука», 1969.

УДК 6155

ФАРМАКОЛОГИЯ

Э. А. Амроян

Об участии кислотно-щелочного равновесия цереброспинальной жидкости и артериальной крови в механизме действия папаверина на мозговое кровообращение

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР С. А. Мирзояном 13/IV 1971)

За последние годы были получены новые данные, свидетельствующие о важной роли концентрации водородных ионов в механизме регуляции мозгового кровоснабжения (1-5).

В связи с этим представляло значительный интерес изучение влияния папаверина на системы регулирования, ответственные за поддержание рН цереброспинальной жидкости и артериальной крови на постоянном уровне, что в определенной мере могло бы способствовать раскрытию механизма действия папаверина на мозговое кровообращение.

Опыты были поставлены на 23 кошках под уретан-хлоралозовой анестезией. Папаверин вводился в дозе 1 мг/кг через бедренную вену, подогретый до температуры тела. Предварительно взяв контрольную пробу цереброспинальной жидкости и артериальной крови производили определение физико-химических параметров через 2 и 10 минут после инъекции папаверина.

Животное фиксировалось на стереотаксическом аппарате. Пробы цереброспинальной жидкости брались при помощи иглы Бира, введенной через большое затылочное отверстие микроинтродуктором стереотаксического аппарата в cisterna magna, а артериальной крови — тонким полиэтиленовым катетером, введенным в сонную артерию, в анаэробных условиях, которые создавались заполнением мертвого пространства шприца раствором гепарина.

рН артериальной крови и цереброспинальной жидкости определяли стеклянным (типа С 202 С) и каломельным (типа К 401) электродами. Электродвижущая сила, возникающая между ними, измерялась рН-метром фирмы «Radiometer» (Дания).

Для измерения рО₂ артериальной крови пользовались кислородным электродом типа Кларка, состоящим из платинового катода, диаметром 20 мк и анода, представляющего собой сочетание серебра с хлорирован-

ным серебром. Активная поверхность электрода была отделена от исследуемой пробы крови полипропиленовой мембраной.

Напряжение CO_2 цереброспинальной жидкости и артериальной крови измерялось электродом Северинхауза, определение которого напряжения углекислоты основано на известной зависимости между концентрациями водородного иона, углекислоты и бикарбонатов в растворе бикарбоната натрия. Уравновешивание CO_2 достигалось в течение одной минуты и выходной сигнал электрода, калиброванного газами с известным парциальным давлением, показывал $p\text{CO}_2$ проб цереброспинальной жидкости и артериальной крови.

Вычисление кислородного насыщения крови осуществлялось при помощи номограммы Северинхауза. Избыток основания цельной крови (ННО — истинный избыток основания), плазмы (НО плазмы) и цереброспинальной жидкости, а также концентрация бикарбонатов крови (HCO_3 истинная), плазмы (HCO_3 стандартная) и цереброспинальной жидкости и концентрация тотальной углекислоты крови и цереброспинальной жидкости были определены с помощью выравнивающей номограммы Сигард-Лидерсена. Буферные основания крови были вычислены по формуле: буферные основания = $41,7 + 0,42 \times \text{Hb} + \text{НО}$ (полностью оксигенированной крови). Избыток основания полностью оксигенированной крови вычислялся по формуле: избыток основания полностью оксигенированной

крови = $\text{ННО} - 0,3 \times \text{Hb} \times \frac{(100 - \text{кислородное насыщение})}{100}$. Концен-

трация гемоглобина (Hb) определялась гемометром Сали.

Все полученные показатели были скорректированы к температуре тела при помощи калькулятора кровяных газов Северинхауза.

Результаты исследований показывают, что папаверин оказывает весьма сложное влияние на кислотно-щелочной баланс цереброспинальной жидкости и артериальной крови.

Под влиянием 1 мг/кг папаверина в 52% опытов обнаруживается уменьшение концентрации водородных ионов в цереброспинальной жидкости, а в остальных 48% — увеличение.

Механизм такого разнонаправленного действия папаверина еще трудно объяснить. Можно допустить, что это обусловлено исходным функциональным состоянием организма. По-видимому, это же объяснение применимо для истолкования неодинаковых гемодинамических изменений, обнаруженных нами под влиянием папаверина.

В табл. I приводятся обработанные результаты опытов со сдвигом pH цереброспинальной жидкости в сторону алкалоза под влиянием папаверина. Из таблицы видно, что спустя 2 минуты после внутривенного введения папаверина pH увеличивается на 0,07 единиц. Причиной такого сдвига можно считать уменьшение напряжения CO_2 на 5,71 мм рт. ст. При этом, по всей вероятности, папаверин способствует накоплению нелетучих кислот или уменьшению оснований. Следствием этого, как видно из таблицы, является увеличение негативного знака избытка оснований

(Base excess), которое, по-видимому, выражено не в той степени, чтобы компенсировать влияние снижения pCO_2 на концентрацию водородных ионов. Уменьшение тотальной углекислоты и концентрации бикарбонатных ионов является подтверждением того, что увеличение негативного знака избытка оснований связано с уменьшением абсолютного количества оснований, приводящим к относительному увеличению нелетучих кислот.

Одновременное определение изменений параметров кислотно-щелочного равновесия артериальной крови под влиянием папаверина выявляет способность последнего оказывать достоверное влияние только на концентрацию водородных ионов и напряжение кислорода (табл. 2). Как видно из таблицы, в этом случае изменение pH не коррелируется с изменением респираторного компонента кислотно-щелочного баланса артериальной крови.

Таблица 1

Влияние папаверина на кислотно-щелочное равновесие цереброспинальной жидкости (сдвиг pH в сторону алкалоза).

Показатели	Контроль	Папаверин 1 мг/кг	
		через 2 мин	через 10 мин
pH	7,35±0,01	7,42±0,01*	7,32±0,01
pCO_2 , мм рт. ст.	25,32±0,69	19,61±1,73*	24,66±2,50
НО экв/л	-8,67±0,83	-13,25±1,14*	-10,24±1,59
CO_2 тот. ммол/л	17,08±0,86	11,92±1,01*	15,98±1,28
HCO_3^- экв/л	16,17±0,84	11,25±1,21*	14,22±1,26

Обозначения: НО—избыток оснований;

CO_2 тот. — тотальная углекислота;

HCO_3^- —концентрация бикарбонатов;

*—статистически значимые изменения ($P < 0,05$).

Примечание: представленные данные являются средними показателями, полученными в 12 опытах.

По-видимому, подкисление крови происходит за счет изменений метаболического компонента, о чем свидетельствует некоторое позрастание негативного знака избытков оснований и уменьшение уровня стандартных бикарбонатов, тотальной углекислоты, буферных оснований. Правда, изменения последних показателей являются статистически недостоверными, но не исключено, что их однонаправленные сдвиги в сумме могли бы обеспечить достоверное увеличение концентрации водородных ионов в артериальной крови.

В табл. 3 приведены обобщенные результаты опытов, в которых обнаруживается уменьшение pH цереброспинальной жидкости под влиянием папаверина.

Как видно из таблицы, понижение рН не соответствует изменениям pCO_2 , в то время как изменение избытка оснований говорит об увеличении нелетучих кислот и уменьшении оснований. В артериальной крови, как и в предыдущих опытах, обнаруживается увеличение концентрации водородных ионов (табл. 4).

Таблица 2

Влияние папаверина на кислотно-щелочное равновесие артериальной крови (сдвиг рН цереброспинальной жидкости в сторону алкалоза).

Показатели	Контроль	Папаверин 1 мг/кг	
		через 2 мин	через 10 мин
рН	7,31±0,01	7,26±0,01*	7,25±0,01*
pCO_2 , мм рт. ст.	38,28±2,42	36,11±1,31	40,25±1,25
pO_2 , мм рт. ст.	81,50±4,55	97,25±5,45*	94,20±6,36
O_2 -нас. в %	96,08±0,99	96,24±0,94	96,56±0,78
ИИО мэкв/л	-8,75±0,89	-10,12±0,20	-8,33±0,71
ИО пл. мэкв/л	-10,15±0,66	-10,84±0,40	-9,89±0,82
HCO_3^- ист. мэкв/л	16,88±0,71	15,75±0,12	17,38±0,79
HCO_3^- ст. мэкв/л	18,25±0,59	16,63±0,57	18,15±0,63
CO_2 тот. ммол/л плазмы	18,13±0,65	17,12±0,16	18,44±0,80
БО мэкв/л	39,30±0,92	37,06±0,79	39,24±0,92

Обозначения: ИИО—истинный избыток оснований;
 ИО пл.—избыток оснований плазмы;
 HCO_3^- ист.—истинные бикарбонаты;
 HCO_3^- ст.—стандартные бикарбонаты.
 O_2 -нас.—кислородное насыщение;
 CO_2 -тот.—тотальная углекислота;
 БО—буферные основания;
 *—статистически значимое изменение ($P < 0,05$).

Примечание: представленные данные являются средними показателями, полученными в 12 опытах.

Таблица 3

Влияние папаверина на кислотно-щелочное равновесие цереброспинальной жидкости (сдвиг рН в сторону ацидоза).

Показатели	Контроль	Папаверин 1 мг/кг	
		через 2 мин	через 10 мин
рН	7,32±0,01	7,21±0,01*	7,27±0,04
pCO_2 , мм рт. ст.	32,71±1,32	32,28±3,33	30,83±1,89
ИО мэкв/л	-9,12±0,87	-12,56±0,67*	-10,00±1,20
CO_2 тот. ммол/л	16,51±0,64	14,81±0,87	16,18±1,15
HCO_3^- мэкв/л	15,81±0,70	13,26±0,94*	15,22±1,13

Обозначения те же, что в табл. 1

Примечание: представленные данные являются средними показателями, полученными в 11 опытах.

При сопоставлении данных, приведенных в табл. 1 и 3, становится очевидным, что в обоих случаях под влиянием папаверина увеличивается негативный знак избытка оснований. Однако, в первом случае, в силу одновременного понижения pCO_2 в цереброспинальной жидкости, концентрация водородных ионов уменьшается, а во втором — увеличивается, так как pCO_2 остается почти без изменений.

Таблица 4

Влияние папаверина на кислотно-щелочное равновесие артериальной крови (сдвиг pH цереброспинальной жидкости в сторону ацидоза)

Показатели	Контроль	Папаверин 1 мг/кг	
		через 2 мин	через 10 мин
pH	7,20±0,01	7,17±0,01*	7,17±0,01*
pCO_2 мм рт. ст.	37,50±1,18	40,10±0,95	41,75±3,05
pO_2 мм рт. ст.	97,60±7,37	102,00±8,35	111,40±5,58
O_2 -нас. в %	90,34±5,34	94,14±1,67	96,08±0,66
ИНО мэкв/л	-12,67±0,92	-11,80±0,53	-11,58±0,85
НО пл. мэкв/л	-10,56±0,89	-9,78±0,57	-8,97±0,77
HCO_3 ист. мэкв/л	16,23±1,00	16,48±0,77	17,30±0,84
HCO_3 ст. мэкв/л	14,48±1,18	15,31±0,71	15,60±0,79
CO_2 тот. ммол/л плазмы	17,56±1,00	17,85±0,83	18,70±0,47
БО мэкв/л	36,30±1,12	36,52±0,67	36,33±1,14

Обозначения те же, что в табл. 2

Примечание: представленные данные являются средними показателями, полученными в 11 опытах.

Эти данные позволяют считать, что папаверин обнаруживает способность активно влиять на процессы, призванные обеспечить постоянство pH цереброспинальной жидкости. В связи с этим можно допустить, что способность папаверина изменять уровень кровоснабжения головного мозга находится в определенной зависимости от изменений pH цереброспинальной жидкости.

Такое допущение основывается на данных, полученных в опытах с одновременной регистрацией показателей мозгового кровообращения и кислотно-щелочного равновесия цереброспинальной жидкости и артериальной крови.

Ереванский медицинский институт

Է. Ա. ԱՄՐՈՅԱՆ

Ուղեղ-ողնուղեղային հեղուկի և զարկերակային արյան քիմիա-բիմնային հավասարակշռության մասնակցությունը ուղեղային շրջանառության վրա սրտապալեբինի ներգործության մեխանիզմում

Ուղեղ-ողնուղեղային հեղուկի և զարկերակային արյան ֆիզիկա-բիմիա-կան ցուցանիշների որոշման փորձերում, որոնք կատարվել են 23 կատուների

վրա, հայտնաբերված է, որ սրտապաղարիները բնորոշակ է ակտիվ ձևով ազդելու
այն սրտայտեսների վրա, որոնք կոչված են ապահովելու ուղեղ-ողնուղեղային
հեղուկի pH-ի կայունությունը:

Ելնելով շարադրվածից կարելի է ենթադրել, որ սրտապաղարիների ուղեղի ար-
յունահոսքը փոփոխելու ունակությունը որոշակիորեն պայմանավորված է
ուղեղ-ողնուղեղային հեղուկի pH-ի փոփոխություններով:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Կ Ր Ա Կ Ա Լ Ն Ո Ւ Ք Յ Ո Ւ Ն

- ¹ V. Fenel, J. R. Vale a. J. R. Broch, Scand. J. Lab. a. Clin. Invest., suppl. 102, 1968. ² J. S. Meyer a. F. Gotsh, A. M. A. Arch. Neurol. Psychiat., 3., p. 530, 1960. ³ J. W. Severinghaus, In: „Regional Cerebral Blood Flow“, An Intern. Symp. Manksgaard, Copenhagen, p. 116, 1965. ⁴ J. W. Severinghaus, Sh. Cotev, Scand. J. Lab. a. Clin. Invest., suppl. 102, 1968. ⁵ E. Skinhøj, Scand. J. Lab. a. Clin. Invest., suppl. 102, 1968.

