საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე

ტომი XIV

ძირითადი, ქართული გამოცემა

1953

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის გამომცემლობა
თბილისი

მათემატიკა

გ. ალექსანდრია

წრფივი შეუღლების ერთი სასაზღვრო ამოცანის შესახებ რამდენიმე უცნობი ფუნქციისათვის

(წარმოადგინა აკადემიკოსმა ნ. მუსხელიშვილმა 9.1.1953)

ვთქვათ, L აღნიშნავს კომპლექსური ცვლადის $z = x + iy$ სიბრტყეზე მარტივ გლუვ კონტურს. ვიგულისხმოთ, რომ L კონტურის წერტილებზე გავლებული მხების მიერ რაიმე მუდმივ მიმართულებასთან შედგენილი კუთხე აკმაყოფილებს H (ჰელდერის) პირობას.

S^+-ით აღვნიშნოთ სასრული არე, შემოსაზღვრული L კონტურით, ხოლო არე, რომელიც $S^+ + L$-ს ავსებს მთელ სიბრტყემდე—S^--ით. დადებით მიმართულებად L-ზე მივიღოთ ის, რომელიც S^+ არეს ტოვებს მარცხნივ. დავუშვათ აგრეთვე, რომ $z = 0$ წერტილი მდებარეობს S^+ არეში. $\alpha_1(t)$ და $\alpha_2(t)$-ით აღვნიშნოთ L კონტურის წერტილთა ისეთი ფუნქციები, რომლებიც აკმაყოფილებენ შემდეგ პირობებს:

1. $\alpha_1(t)$ და $\alpha_2(t)$-ს გააჩნიათ ნულისაგან განსხვავებული წარმოებულები, რომლებიც აკმაყოფილებენ H პირობას;
2. გადაჰყავთ კონტური L თავის თავში ურთიერთ ცალსახად;
3. t და $\alpha_2(t)$ წერტილები შემოწერენ L-ს ერთისა და იმავე მიმართულებით, ხოლო t და $\alpha_1(t)$ წერტილები—ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულებით.

$\alpha_1(t)$ და $\alpha_2(t)$ ფუნქციათა შებრუნებული ფუნქციები აღვნიშნოთ $\beta_1(t)$ და $\beta_2(t)$-ით.

$\varphi(z)$ ფუნქციას ვუწოდებთ მერომორფულს S^+ არეში, თუ:

1. $\varphi(z)$ ჰოლომორფულია ყველგან S^+-ში, გარდა სასრული რაოდენობა წერტილებისა, სადაც მას შეიძლება ჰქონდეს პოლუსი;
2. უწყვეტად გაგრძელებადია და აკმაყოფილებს H პირობას ყველგან L-ზე[1].

განვიხილოთ შემდეგი სასაზღვრო ამოცანა:

მოვნახოთ S^+ არეში მერომორფული ვექტორები

$$\varphi_1(z) = [\varphi_{11}(z), \varphi_{12}(z), \ldots, \varphi_{1n}(z)],$$

$$\varphi_2(z) = [\varphi_{21}(z), \varphi_{22}(z), \ldots, \varphi_{2n}(z)],$$

შემდეგი სასაზღვრო პირობით:

$$\varphi_{1k}^+[\alpha_1(t_0)] = \sum_{i=0}^{n} \left\{ G_1^{ki}(t_0)\, \varphi_{2i}^+(t_0) + G_2^{ki}(t_0)\, \overline{\varphi_{2i}^+[\alpha_2(t_0)]} \right\} + g_k(t_0), \quad (L\text{-ზე}) \qquad (1)$$

$$(k = 1, 2, \ldots, n),$$

[1] სტატიაში ხმარებულ ცნებათა და აღნიშვნათა შესახებ იხ. [1] და [2].

სადაც $G_1^{ki}(t_0)$, $G_2^{ki}(t_0)$ და $g_k(t_0)$ $(k = 1, 2, \ldots, n)$ წარმოადგენენ L კონტურის წერტილთა მოცემულ ფუნქციებს, რომლებიც აკმაყოფილებენ H პირობას. $\varphi_{1k}^+(t_0)$ და $\varphi_{2k}^+(t_0)$ $(k = 1, 2, \ldots, n)$ აღნიშნავენ $\varphi_{1k}(z)$ და $\varphi_{2k}(z)$ ფუნქციათა სასაზღვრო მნიშვნელობებს L-ზე S^+ არიდან.

(1) წარმოადგენს ცნობილი სასაზღვრო ამოცანების[1] გარკვეულ განზოგადებას.

(1) სასაზღვრო პირობა შეიძლება შემდეგნაირად გადაიწეროს:

$$\varphi_1^+[\alpha_1(t_0)] = G_1(t_0)\,\varphi_2^+(t_0) + G_2(t_0)\,\overline{\varphi_2^+[\alpha_2(t_0)]} + g(t_0), \tag{I}$$

სადაც

$$G_1(t_0) = \|G_1^{ki}(t_0)\| \text{ და } G_2(t_0) = \|G_2^{ki}(t_0)\|$$

მოცემული მატრიცებია, $g(t_0) = [g_1(t_0), g_2(t_0), \cdots, g_n(t_0)]$ კი — მოცემული ვექტორი. ვიგულისხმოთ, რომ $\det G_1(t_0)$ განსხვავებულია ნულისაგან ყველგან L-ზე.

ადვილი შესამჩნევია, რომ (I) ამოცანის ყოველი მერომორფული ამოხსნა წარმოიდგინება შემდეგი სახით:

$$\varphi_1(z) = \frac{1}{2\pi i}\int_L \frac{G_1[\beta_1(t)]\,\mu[\beta_1(t)] + G_2[\beta_1(t)]\,\overline{\mu\{\alpha_2[\beta_1(t)]\}} + g[\beta_1(t)]}{t - z}\,dt + R_1(z), \tag{2}$$

$$\varphi_2(z) = \frac{1}{2\pi i}\int_L \frac{\mu(t)\,dt}{t - z} + R_2(z), \tag{3}$$

სადაც $\mu(t)$ არის ვექტორი, რომელიც აკმაყოფილებს H პირობას, ხოლო $R_1(z)$ და $R_2(z)$ სტანდარტული რაციონალური ვექტორებია.

თუ ჩავსვამთ (2) და (3)-ს (I)-ში, მარტივი გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ:

$$\begin{aligned}\Lambda\mu \equiv {} & \frac{1}{2\pi i}\int_L \left[\frac{G_1(t)\,\alpha_1'(t)}{\alpha_1(t) - \alpha_1(t_0)} + \frac{G_1(t_0)}{t - t_0}\right]\mu(t)\,dt \\ & + \frac{1}{2\pi i}\int_L \left[\frac{G_2[\beta_2(t)]\,\alpha_1'[\beta_2(t)]\,\overline{[\beta_2(t)]'}}{\alpha_1[\beta_2(t)] - \alpha_1(t_0)} - \frac{G_2(t_0)}{\bar{t} - \overline{\alpha_2(t_0)}}\right]\overline{\mu(t)\,dt} \\ & = R_1[\alpha_1(t_0)] - G_1(t_0)\,R_2(t_0) - G_2(t_0)\,\overline{R_2[\alpha_2(t_0)]} - H^-[\alpha_1(t_0)],\end{aligned} \tag{4}$$

სადაც $H^-(t_0)$ წარმოადგენს

$$H(z) = \frac{1}{2\pi i}\int_L \frac{g[\beta_1(t)]\,dt}{t - z}$$

ვექტორის სასაზღვრო მნიშვნელობას L-ზე S^- არიდან. შეიძლება დამტკიცდეს, რომ (4) გამოსახულება წარმოადგენს სინგულარულ ინტეგრალურ განტოლებათა ცნობილ სისტემას[2].

განვიხილოთ (4)-ის მიკავშირებული ერთგვაროვანი სისტემა:

(1 იხ. [2], [3], [4] და [5].

(2 იხ. [6].

$$\Lambda'\nu \equiv \frac{1}{2\pi i}\int_L \left[\frac{G'_1(t_0)\,\alpha'_1(t_0)}{\alpha_1(t)-\alpha_1(t_0)} + \frac{G'_1(t)}{t-t_0}\right]\nu(t)\,dt$$

$$-\frac{1}{2\pi i}\int_L \left[\frac{\overline{G'_2[\beta_2(t_0)]}\;\overline{\alpha'_1[\beta_2(t_0)]}\;\overline{[\beta_2(t_0)]'}}{\overline{\alpha_1(t)-\alpha_1[\beta_2(t_0)]}} - \frac{\overline{G'_2(t)}}{\overline{\alpha_2(t)-t_0}}\right]\overline{\nu(t)\,dt} = 0, \qquad (5)$$

სადაც $G'_1(t_0)$ და $G'_2(t_0)$ აღნიშნავს $G_1(t_0)$ და $G_2(t_0)$ მატრიცთა ტრანსფონირებულ მატრიცებს. ვთქვათ, $\nu(t)$ წარმოადგენს (5) სისტემის ამოხსნას და შევადგინოთ ვექტორები:

$$\psi_1(z) = \frac{1}{2\pi i}\int_L \frac{G'_1(t)\,\nu(t) + \overline{G'_2[\beta_2(t)]}\;\overline{[\beta_2(t)]'}\;\overline{\nu[\beta_2(t)]}}{t-z}\,dt, \qquad (6)$$

$$\psi_2(z) = \frac{1}{2\pi i}\int_L \frac{\nu[\beta_1(t)]\,dt}{\alpha'_1[\beta_1(t)]\,(t-z)}. \qquad (7)$$

უშუალო შემოწმებით დავრწმუნდებით, რომ (6) და (7) ვექტორები წარმოადგენენ

$$\psi_1^+(t_0) = G'_1(t_0)\,\alpha'_1(t_0)\,\psi_2^+[\alpha_1(t_0)]$$
$$+\overline{G'_2[\beta_2(t_0)]}\;\overline{[\beta_2(t_0)]'}\;\overline{\alpha'_1[\beta_2(t_0)]}\;\overline{\psi_2^+\{\alpha_1[\beta_2(t_0)]\}} \qquad (I'_0)$$

სასაზღვრო ამოცანის ამოხსნას. თუ დავუშვებთ, რომ (I'_0) ამოცანას არ გააჩნია ნულისაგან განსხვავებული ჰოლომორფული ამოხსნა, გვექნება:

$$\frac{1}{2\pi i}\int_L \frac{G'_1(t)\,\nu(t) + \overline{G'_2[\beta_2(t)]}\;\overline{[\beta_2(t)]'}\;\overline{\nu[\beta_2(t)]}}{t-z}\,dt = 0,$$

$$\frac{1}{2\pi i}\int_L \frac{\nu[\beta_1(t)]\,dt}{\alpha'_1[\beta_1(t)]\,(t-z)} = 0,$$

რის გამოც მივიღებთ:

$$\overline{G'_2[\beta_2(t)]}\;\overline{[\beta_2(t)]'}\;\nu[\beta_2(t)] = -\overline{G'_1(t)\,\nu(t)} + \overline{F_1^-(t)}, \qquad (8)$$

$$\nu(t) = F_2^-[\alpha_1(t)]\,\alpha'_1(t), \qquad (9)$$

სადაც $F_1^-(t)$ და $F_2^-(t)$ წარმოადგენენ S^- არეში ჰოლომორფულ და უსასრულობაში ქრობად ვექტორთა სასაზღვრო მნიშვნელობებს L-ზე.

როგორც ცნობილია, (4) სისტემის ამოხსნადობის აუცილებელ და საკმარის პირობას შემდეგი სახე აქვს:

$$\mathrm{Re}\int_L R_1[\alpha_1(t)]\,\nu(t)\,dt - \mathrm{Re}\left\{\int_L G_1(t)\,R_2(t)\,\nu(t)\,dt + \int_L G_2(t)\,\overline{R_2[\alpha_2(t)]}\,\nu(t)\,dt\right\}$$

$$-\mathrm{Re}\int_L H^-[\alpha_1(t)]\,\nu(t)\,dt = 0, \qquad (10)$$

სადაც $\nu(t)$ არის (5) სისტემის ამოხსნა. (10) პირობა შეიძლება ასეც გადაიწეროს:

$$\mathrm{Re}\int_L R_1[\alpha_1(t)]\,\nu(t)\,dt - \mathrm{Re}\left\{\int_L R_2(t)\,G'_1(t)\,\nu(t)\,dt\right.$$

$$\left.+\int_L \overline{R_2(t)}\,G'_2[\beta_2(t)]\,[\overline{\beta_2(t)}]'\,\nu[\beta_2(t)]\,\overline{dt}\right\} - \mathrm{Re}\int_L H^-[\alpha_1(t)]\,\nu(t)\,dt = 0. \qquad (11)$$

(8) ფორმულის დახმარებით ვღებულობთ:

$$\mathrm{Re}\left\{\int_L R_2(t)\,G'_1(t)\,\nu(t)\,dt + \int_L \overline{R_2(t)}\,G'_2[\beta_2(t)]\,[\overline{\beta_2(t)}]'\,\nu[\beta_2(t)]\,\overline{dt}\right\}$$

$$= \mathrm{Re}\,2\,iI_m\int_L R_2(t)\,G'_1(t)\,\nu(t)\,dt + \mathrm{Re}\int_L \overline{R_2(t)\,F_1^-(t)\,dt} = 0. \qquad (12)$$

(9) და (12) ფორმულების ძალით ადვილად დავრწმუნდებით (10) პირობის სამართლიანობაში.

ამრიგად, გვაქვს

თეორემა 1. თუ მიკავშირებულ (I'_0) ამოცანას არ გააჩნია ჰოლომორფული ამოხსნა, მაშინ (I) ამოცანა ამოხსნადია მერომორფულ ვექტორთა კლასში და ეს ამოხსნები წარმოიდგინება (2) და (3) ფორმულებით, სადაც $\mu(t)$ აკმაყოფილებს (4) განტოლებათა სისტემას.

შეიძლება დამტკიცდეს შემდეგი

ლემა. არსებობს ისეთი არაუარყოფითი მთელი r რიცხვი, რომ

$$\psi_1^+(t_0) = \alpha'_1(t_0)\,G'_1(t_0)\,\psi_2^+[\alpha_1] + [\overline{\beta_2(t_0)}]'\,\overline{\alpha'_1[\beta_2]\,G'_2[\beta_2]\,\psi_2^+[\alpha_1(\beta_2)]} \qquad (\mathrm{I}'_0)$$

ამოცანის ნებისმიერი ჰოლომორფული ამოხსნის ნულის რიგი $z=0$ წერტილზე არ აღემატება $(r-1)$-ს.

ანალოგიური ლემა ძალშია (I_0) ამოცანისათვის.

ვთქვათ,

$$\varphi_1(z) = z^{-r}\,\overset{*}{\varphi}_1(z),$$
$$\varphi_2(z) = z^{-r}\,\overset{*}{\varphi}_2(z), \qquad (13)$$

სადაც r წარმოადგენს ლემაში ხსენებულ რიცხვს.

(13)-ის ძალით, (I) სასაზღვრო პირობა მოგვცემს:

$$\overset{*}{\varphi}{}_1^+[\alpha_1(t_0)] = E_1(t_0)\,\overset{*}{\varphi}{}_2^+(t_0) + E_2(t_0)\,\overset{*}{\varphi}{}_2^+[\alpha_2(t_0)] + \overset{*}{g}(t_0), \qquad (\overset{*}{\mathrm{I}})$$

სადაც

$$E_1(t_0) = \alpha_1^r(t_0)\,t_0^{-r}\,G_1(t_0),$$
$$E_2(t_0) = \alpha_1^r(t_0)\,\overline{\alpha_2^{-r}(t_0)}\,G_2(t_0);$$
$$\overset{*}{g}(t_0) = \alpha_1^r(t_0)\,g(t_0).$$

შეიძლება დამტკიცდეს, რომ ($\overset{*}{\mathrm{I}}$) ამოცანისათვის შესრულებულია 1 თეორემის პირობები. მართლაც, ვთქვათ, $[\overset{*}{\psi}_1(z), \overset{*}{\psi}_2(z)]$ წარმოადგენს ($\overset{*}{\mathrm{I}}$)-ის მიკავშირებული ერთგვაროვანი

$$\overset{*}{\psi}{}_1^+(t_0) = \alpha_1^r(t_0)\, E'_1(t_0)\, \overset{*}{\psi}{}_2^+[\alpha_1(t_0)]$$
$$+ \overline{[\beta_2(t_0)]'}\; \overline{\alpha'_1[\beta_2(t_0)]}\; \overline{E'_2[\beta_2(t_0)]}\; \overline{\overset{*}{\psi}{}_2^+\{\alpha_1[\beta_2(t_0)]\}} \qquad (\overset{*}{\mathrm{I}}{}'_0)$$

ამოცანის ჰოლომორფულ ამოხსნას, მაშინ უშუალო შემოწმებით დავრწმუნდებით, რომ

$$\begin{aligned} \psi_1(z) &= z^r \overset{*}{\psi}_1(z), \\ \psi_2(z) &= z^r \overset{*}{\psi}_2(z) \end{aligned} \qquad (14)$$

ვექტორები მოგვცემს (I'_0) ამოცანის ჰოლომორფულ ამოხსნას. მაგრამ (14) ფორმულებით განსაზღვრულ ვექტორთა ნულის რიგი $z = 0$-ზე ვერ იქნება r-ზე ნაკლები, რაც, 1 ლემის ძალით, შეუძლებელია. ამრიგად, ($\overset{*}{\mathrm{I}}{}'_0$) ამოცანას არ გააჩნია ჰოლომორფული ამოხსნა.

ზემოთქმულის შემდეგ ადვილი მისახვედრია, რომ ($\overset{*}{\mathrm{I}}$) ამოცანის ყოველ ამოხსნას ექნება შემდეგი სახე:

$$\overset{*}{\varphi}_1(z) = \frac{1}{2\pi i}\int_L \frac{E_1[\beta_1(t)]\,\rho[\beta_1(t)] + E_2[\beta_1(t)]\,\overline{\rho\{\alpha_2[\beta_1(t)]\}} + g[\beta_1(t)]}{t - z}\, dt + \overset{*}{R}_1(z), \qquad (15)$$

$$\overset{*}{\varphi}_2(z) = \frac{1}{2\pi i}\int_L \frac{\rho(t)\, dt}{t - z} + \overset{*}{R}_2(z), \qquad (16)$$

სადაც $\rho(t)$ წარმოადგენს

$$\frac{1}{2\pi i}\int_L \left[\frac{E_1(t)\,\alpha'_1(t)}{\alpha_1(t) - \alpha(t_0)} + \frac{E_1(t)}{t - t_0}\right] \rho(t)\, dt$$
$$+ \frac{1}{2\pi i}\int_L \left[\frac{E_2[\beta_2(t)]\,\alpha'_1[\beta_2(t)]\,\overline{[\beta_2(t)]'}}{\alpha_1[\beta_2(t)] - \alpha_1(t_0)} - \frac{E_2(t_0)}{\bar{t} - \overline{\alpha_2(t_0)}}\right] \overline{\rho(t)\, dt}$$
$$= \overset{*}{R}_1[\alpha_1(t_0)] - E_1(t_0)\,\overset{*}{R}_2(t_0) - E_2(t_0)\,\overline{\overset{*}{R}_2[\alpha_2(t_0)]} - \overset{*}{H}{}^-[\alpha_1(t_0)] \qquad (17)$$

სინგულარულ ინტეგრალურ განტოლებათა სისტემის ამოხსნას, ამასთან $\overset{*}{H}{}^-(t_0)$ წარმოადგენს

$$\overset{*}{H}(z) = \frac{1}{2\pi i}\int_L \frac{\overset{*}{g}[\beta_1(t)]\, dt}{t - z}$$

ვექტორის სასაზღვრო მნიშვნელობას L-ზე S^- არიდან, ხოლო $\overset{*}{R}_1(z)$ და $\overset{*}{R}_2(z)$ სტანდარტული რაციონალური ვექტორებია.

ამრიგად, ჩვენ მიერ დამტკიცებულია შემდეგი

თეორემა 2. (I) სასაზღვრო ამოცანა ყოველთვის ამოხსნადია მერომორფულ ვექტორთა კლასში. მის ამოხსნებს აქვს (13) სახე, სადაც $\overset{*}{\varphi}_1(z)$ და $\overset{*}{\varphi}_2(z)$ გამოისახება (15) და (16) ფორმულებით, ხოლო $\rho(t)$ წარმოადგენს (17) განტოლებათა სისტემის ამოხსნას.

სტალინის სახელობის
თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

(რედაქციას მოუვიდა 10.1.1953)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. Н. И. Мусхелишвили. Сингулярные интегральные уравнения, М.—Л., 1946.
2. Д. А. Квеселава. Некоторые граничные задачи теории функций. Труды Тбилисского Мат. Института им. Размадзе, т. XVI, 1948.
3. Н. П. Векуа. Об одной граничной задаче теории функций комплексного переменного для нескольких неизвестных функций. Известия АН СССР, серия математическая, т. XVI, № 2, 1952.
4. А. И. Маркушевич. Об одной граничной задаче аналитических функций. Московский Гос. Университет. Ученые записки, т. I, в. 100, 1946.
5. გ. ალექსანდრია. ჰაზემანის განზოგადებული ამოცანა რამდენიმე უცნობი ფუნქციისათვის. საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XII, № 10, 1951.
6. გ. მანჯავიძე. წყვეტილ კოეფიციენტებიან სინგულარულ ინტეგრალურ განტოლებათა ერთი სისტემის შესახებ. საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XI, № 6, 1950.

მათემატიკა

ნ. თევზაძე

რიცხვითი ორმაგი მწკრივების შეჯამებადობა ლებეგის მეთოდით

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ვ. კუპრაძემ 12.1.1953)

1. ვთქვათ, მოცემულია რიცხვითი ორმაგი მწკრივი

$$\sum_{m,\,n=1}^{\infty} a_{m,\,n}, \tag{1.1}$$

მისი ჯამი ეწოდება ზღვარს

$$S=\lim_{m,\,n\to\infty} S_{m,\,n},$$

სადაც

$$S_{m,\,n}=\sum_{i,\,k=1}^{i=m,\,k=n} a_{i,\,k}.$$

განმარტება. ჩვენ ვიტყვით, რომ (1.1) ორმაგი მწკრივი შეჯამებადია ლებეგის მეთოდით, ანუ L—შეჯამებადია S—რიცხვისაკენ, თუ

$$\lim_{u,\,v\to 0} F(u,v)=S,$$

სადაც

$$F(u,v)=\sum_{m,\,n=1}^{\infty} a_{m,\,n}\,\frac{\sin mu}{mu}\,\frac{\sin nv}{nv}. \tag{1.2}$$

ეს განმარტება, ჩვენი აზრით, წარმოადგენს მარტივ ტრიგონომეტრიულ მწკრივთა რიმანის თეორიაში ცნობილი შეჯამებადობის ლებეგის მეთოდის ყველაზე უფრო ბუნებრივ განზოგადებას. როგორც ცნობილია, ლებეგის მეთოდით შეჯამებადობის საკითხი მარტივ ტრიგონომეტრიულ მწკრივთა თეორიაში ამომწურავადაა შესწავლილი ფატუს სამი თეორემით [1], რომლებიც სამართლიანია, როცა მწკრივის ზოგადი წევრი (ანუ ფურიე-ლებეგის კოეფიციენტები) ტოლია $o\left(\frac{1}{n}\right)$, ე. ი. როცა

$$\lim_{n\to\infty}\{na_n\}=0.$$

ჩვენ ვადგენთ (1.1) მწკრივის წევრთათვის შესაბამის შეზღუდვას შემდეგი სახით:

$$\left.\begin{aligned}\sum_{k=1}^{\infty}|a_{m,k}| &= o\left(\frac{1}{m}\right),\\ \sum_{k=1}^{\infty}|a_{k,n}| &= o\left(\frac{1}{n}\right).\end{aligned}\right\}\qquad (C)$$

ლემა. თუ (1.1) მწკრივის წევრები (C) პირობებს აკმაყოფილებენ, მაშინ

$$a_{m,n} = o\left(\frac{1}{m+n}\right). \qquad (1.3)$$

დამტკიცება. (C) პირობების ძალით, ნებისმიერ $\varepsilon > 0$ რიცხვისათვის მოიძებნება ისეთი ნატურალური $N(\varepsilon)$ რიცხვი, რომ

$$m\sum_{k=1}^{\infty}|a_{m,k}| < \frac{\varepsilon}{2}, \quad n\sum_{k=1}^{\infty}|a_{k,n}| < \frac{\varepsilon}{2},$$

და მით უმეტესად

$$m\,|a_{m,k}| < \frac{\varepsilon}{2}, \quad n\,|a_{k,n}| < \frac{\varepsilon}{2}, \quad \text{როცა } m, n > N(\varepsilon)$$

$$(k = 1, 2, \ldots)$$

კერძოდ

$$m\,|a_{m,n}| < \frac{\varepsilon}{2}, \quad n\,|a_{m,n}| < \frac{\varepsilon}{2}, \quad \text{როცა } m, n > N(\varepsilon).$$

მაშასადამე,

$$(m+n)\,|a_{m,n}| < \varepsilon, \quad \text{როცა } m+n > 2N(\varepsilon).$$

ე. ი.

$$a_{m,n} = o\left(\frac{1}{m+n}\right).$$

თეორემა. თუ (1.1) ორმაგი მწკრივის წევრები აკმაყოფილებენ (C) პირობებს, მაშინ აუცილებელი და საკმარისი პირობა (1.1) მწკრივის კრებადობისათვის S ჯამისაკენ იმაში მდგომარეობს, რომ იგი იყოს შეჯამებადი ლებეგის მეთოდით S რიცხვისაკენ.

დამტკიცება. რადგანაც (1.1) მწკრივის წევრები აკმაყოფილებენ (C) პირობებს, ამიტომ

$$a_{m,n} = o\left(\frac{1}{m+n}\right).$$

ნებისმიერ $\varepsilon > 0$ რიცხვისათვის შეიძლება მოვძებნოთ ისეთი ნატურალური რიცხვები N_0 და M_0, რომ

$$m\sum_{k=1}^{\infty}|a_{m,k}| < \varepsilon, \quad n\sum_{k=1}^{\infty}|a_{k,n}| < \varepsilon, \quad \text{როცა } m, n > N_0,$$

$$(m+n)\,|a_{m,n}| < \varepsilon, \quad \text{როცა } m+n > N_0.$$

$$m\sum_{k=1}^{\infty}|a_{m,k}|<M_0,\ \text{როცა}\ m<N_0,$$
$$n\sum_{k=1}^{\infty}|a_{k,n}|<M_0,\ \text{როცა}\ n<N_0. \tag{1.4}$$

შევნიშნოთ, რომ (1.2) მწკრივი აბსოლუტურად კრებადია ყოველი u და v-თვის, რადგანაც მაჟორანტული რიცხვითი მწკრივი, რომლის ზოგადი წევრი არის $\frac{1}{mn(m+n)}$, კრებადია. შემდეგ, ვინაიდან იგი წარმოადგენს ლუწ ფუნქციას u და v ცვლადების მიმართ, ამიტომ საკმარისია განვიხილოთ u და v-ს მხოლოდ დადებითი მნიშვნელობანი.

მაშ, ვთქვათ, რომ

$$0<u,\ v<\eta,\ \eta\leqq\frac{\varepsilon}{M_0N_0},$$
$$N_1=\left[\frac{1}{u}\right],\ N_2=\left[\frac{1}{v}\right],$$

სადაც სიმბოლო $[z]$ აღნიშნავს z-ის მთელ ნაწილს.

ცხადია, რომ

$$\lim_{N_1,N_2\to\infty}S_{N_1,N_2}=\lim_{u,v\to 0}S_{N_1,N_2}.$$

თეორემის დასამტკიცებლად საკმარისი იქნება ვაჩვენოთ, რომ

$$\lim_{u,v\to 0}\{F(u,v)-S_{N_1,N_2}\}=0. \tag{1.5}$$

მართლაც, თუ $\lim\limits_{u,v\to 0}F(u,v)=S$, მაშინ (1.5) ტოლობის ძალით მივიღებთ

$$\lim_{u,v\to 0}\{[F(u,v)-S]-[S_{N_1,N_2}-S]\}=0,$$

აქედან

$$\lim_{u,v\to 0}S_{N_1,N_2}=S,$$

და, პირიქით, თუ

$$\lim_{u,v\to 0}S_{N_1,N_2}=S,$$

მაშინ

$$\lim_{u,v\to 0}F(u,v)=S.$$

შემდეგ, (1.2) მწკრივის აბსოლუტური კრებადობის ძალით გვექნება:

$$F(u,v)=\sum_{m,n=1}^{\infty}a_{m,n}\frac{\sin mu}{mu}\frac{\sin nv}{nv}=\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}a_{m,n}\frac{\sin mu}{mu}\frac{\sin nv}{nv}$$
$$=\sum_{n=1}^{\infty}\sum_{m=1}^{\infty}a_{m,n}\frac{\sin mu}{mu}\frac{\sin nv}{nv}=\Big\{\sum_{m=1}^{N_1}\sum_{n=1}^{N_2}+\sum_{m=1}^{N_1}\sum_{n=N_2+1}^{\infty}+\sum_{m=N_1+1}^{\infty}\sum_{n=1}^{N_2}$$

$$+\sum_{m=N_1+1}^{\infty}\sum_{n=N_2+1}^{\infty}\Big\}\, a_{m,n}\frac{\sin mu}{mu}\,\frac{\sin nv}{nv}=P_1+Q_1+Q_2+R.$$

განვიხილოთ სხვაობა

$$\delta(u,v)=F(u,v)-S_{N_1,N_2}=P+Q_1+Q_2+R, \tag{1.6}$$

სადაც

$$P=P_1-S_{N_1,N_2}.$$

ცხადია, რომ

$$uN_1\leqq 1,\ vN_2\leqq 1,\ u(N_1+1)>1,\ v(N_2+1)>1.$$

გარდა ამისა შეიძლება დავუშვათ, რომ

$$N_0<N_1,\ N_0<N_2.$$

თუ შევაფასებთ (1.6) ჯამებს (1.4) გამოყენებით, მივიღებთ, შევნიშნავთ რა, რომ

$$\left|\frac{\sin mu}{mu}\,\frac{\sin nv}{nv}-1\right|=\left|\left(\frac{\sin mu}{mu}-1\right)\frac{\sin nv}{nv}+\left(\frac{\sin nv}{nv}-1\right)\right|\leqq mu+nv,$$

თანმიმდევრობით:

$$|P|\leqq\sum_{m=1}^{N_1}\sum_{n=1}^{N_2}|a_{m,n}|\,(mu+nv)\leqq u\sum_{m=1}^{N_0}m\sum_{n=1}^{N_2}|a_{m,n}|$$

$$+u\sum_{m=N_0+1}^{N_1}m\sum_{n=1}^{N_2}|a_{m,n}|+v\sum_{n=1}^{N_0}n\sum_{m=1}^{N_1}|a_{m,n}|+v\sum_{n=N_0+1}^{N_2}n\sum_{m=1}^{N_1}|a_{m,n}|$$

$$\leqq uM_0N_0+u\varepsilon N_1+vM_0N_0+v\varepsilon N_1\leqq 4\varepsilon;$$

შემდეგ

$$|Q_1|\leqq\sum_{m=1}^{N_1}\sum_{n=N_2+1}^{\infty}|a_{m,n}|\,\frac{1}{nv}\leqq\sum_{n=N_2+1}^{\infty}\frac{1}{nv}\sum_{m=1}^{N_1}|a_{m,n}|\leqq\varepsilon\sum_{n=N_2+1}^{\infty}\frac{1}{n^2v}<\varepsilon,$$

რადგანაც

$$\sum_{n=N_2+1}^{\infty}\frac{1}{n^2v}\leqq\frac{1}{v(N_2+1)}<1.$$

ანალოგიურად მივიღებთ:

$$|Q_2|<\varepsilon,$$

და ბოლოს

$$|R|\leqq\sum_{m=N_1+1}^{\infty}\sum_{n=N_2+1}^{\infty}|a_{m,n}|\,\frac{1}{mu}\leqq\sum_{m=N_1+1}^{\infty}\frac{1}{mu}\sum_{n=N_2+1}^{\infty}|a_{m,n}|<\sum_{m=N_1+1}^{\infty}\frac{\varepsilon}{m^2u}<\varepsilon.$$

აქედან

$$|\delta(u,v)|\leqq 17\,\varepsilon,\quad\text{როცა}\ u,\ v<\eta.$$

ე. ი.

$$\lim_{N_1,N_2\to\infty}\{F(u,v)-S_{N_1,N_2}\}=0.$$

2. თუ (C) პირობები არ არის დაცული, მაშინ შეიძლება თეორემა არ იყოს სამართლიანი. მართლაც, განვიხილოთ რიცხვითი ორმაგი მიმდევრობა

$$a_{m,n} = \frac{1}{m^2+n^2}. \tag{2.1}$$

ამ მიმდევრობისათვის (C) პირობები არ სრულდება.

ვაჩვენოთ, რომ

$$\lim_{u,v\to 0}\{F_0(u,v) - S_{N_1,N_2}\} \neq 0,$$

სადაც

$$F_0(u,v) = \sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{m^2+n^2}\,\frac{\sin mu}{mu}\,\frac{\sin nv}{nv},$$

$$S_{N_1,N_2} = \sum_{m=1}^{N_1}\sum_{n=1}^{N_2}\frac{1}{m^2+n^2}.$$

ვთქვათ, $u=v=\frac{\pi}{N}$, სადაც N ნებისმიერად დიდი მთელი დადებითი რიცხვია და განვიხილოთ ამ შემთხვევაში $\lim\limits_{u,v\to 0}\delta(u,v)$.

გვაქვს:

$$\delta(u,v) = F_0(u,v) - S_{N,N} = P + Q + R, \tag{2.2}$$

სადაც

$$P = \sum_{m=1}^{N}\sum_{n=1}^{N}\frac{1}{m^2+n^2}\left(\frac{\sin mu}{mu}\,\frac{\sin nv}{nv} - 1\right),$$

$$Q = \sum_{m=1}^{N}\sum_{n=N+1}^{\infty}\frac{1}{m^2+n^2}\,\frac{\sin mu}{mu}\,\frac{\sin nv}{nv},$$

$$R = \sum_{m=N+1}^{\infty}\sum_{n=N+1}^{\infty}\frac{1}{m^2+n^2}\,\frac{\sin mu}{mu}\,\frac{\sin nv}{nv}.$$

$F_0(u,v)$ მწკრივის აბსოლუტური კრებადობის ძალით მისი (2.2) სახით წარმოდგენა შეიძლება.

შემდეგ,

$$-P \geqq \sum_{m=1}^{N}\sum_{n=1}^{N}\frac{1}{m^2+n^2}\left(1 - \frac{\sin nv}{nv}\right) \geqq \sum_{m=1}^{N}\sum_{n=1}^{N}\frac{1}{m^2+n^2}\left(\frac{n^2v^2}{6} - \frac{n^4v^4}{120}\right)$$

$$\geqq \frac{v^2}{6}\sum_{m=1}^{N}\sum_{n=1}^{N}\frac{n^2}{m^2+n^2} - \frac{v^4N^2}{120}\sum_{m=1}^{N}\sum_{n=1}^{N}\frac{n^2}{m^2+n^2}$$

$$\geqq \frac{v^2}{6}\left(1 - \frac{\pi^2}{120}\right)\sum_{m=1}^{N}\sum_{n=1}^{N}\frac{n^2}{m^2+n^2} \geqq \frac{v^2}{12}\,\frac{1}{2N^2}\sum_{m=1}^{N}\sum_{n=1}^{N}n^2 \geqq \frac{\pi^2}{72}.$$

მაშასადამე,

$$P \leqq -\frac{\pi^2}{72}.$$

ამას გარდა

$$Q = \sum_{m=1}^{N} \sum_{n=N+1}^{\infty} \frac{1}{m^2+n^2} \frac{\sin mu}{mu} \frac{\sin nv}{nv}$$

$$= \sum_{m=1}^{N} \frac{\sin mu}{mu} \left(\sum_{n=N+1}^{\infty} \frac{1}{m^2+n^2} \frac{\sin n \dfrac{\pi}{N}}{\dfrac{n\pi}{N}} \right) \leqq 0,$$

$$R = \sum_{m=N+1}^{\infty} \frac{\sin mu}{mu} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{m^2+n^2} \frac{\sin nv}{nv} \leqq 0.$$

ე. ი.

$$\delta(u, v) \leqq -\frac{\pi^2}{72},$$

როცა

$$u = v = \frac{\pi}{N}.$$

აქედან გამომდინარეობს, რომ, თუ არსებობს $\lim\limits_{u, v \to 0} \delta(u, v)$, მაშინ ეს ზღვარი არ შეიძლება ნული იყოს.

სტალინის სახელობის
თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

(რედაქციას მოუვიდა 12.1.1953)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. А. Зигмунд. Тригонометрические ряды. Москва-Ленинград, 1939.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XIV, № 2, 1953

მათემატიკა

ა. ვალფიში

მარტივ რიცხვთა თეორიისათვის

(წარმოადგინა აკადემიკოსმა ნ. მუსხელიშვილმა 2.2.1953)

წინამდებარე შრომაში $d, i, j, k, m, n, q, r, N$ ასოები აღნიშნავენ დადებით მთელ რიცხვებს, ამასთან $\log\log N > 1$; h—არაუარყოფით მთელ რიცხვებს; l—მთელ რიცხვებს; p—მარტივ რიცხვებს; x, y, w, z, M—ნამდვილ რიცხვებს, ამასთან $x \geqq 3$, $y \geqq 0$, $M = N^{\frac{1}{2}}$; s—კომპლექსურ რიცხვებს. B ასოთი უინდექსოდ აღინიშნება რიცხვები, რომელთა მოდული არ აღემატება აბსოლუტურ მუდმივებს. თუ შეჯამების ქვედა ზღვარი აღნიშნული არაა, ის ერთის ტოლად იგულისხმება. ვთქვათ,

$$\pi(y; k, l) = \sum_{\substack{p \leqq y \\ p \equiv l \pmod{k}}} 1, \tag{1}$$

$$F(N) = \sum_{mn+p=N} 1. \tag{2}$$

შემდეგში იგულისხმება რიმანის განზოგადებული ჰიპოთეზის სამართლიანობა, რომელიც ამტკიცებს, რომ $L(s)$ დირიხლეს ფუნქციების ნულების ნამდვილი ნაწილი არ აღემატება $\frac{1}{2}$-ს.

ეს ჰიპოთეზი გამოყენებულია ტიჩმარშის ([6], თეორემა 6) მიერ შემდეგი თეორემის დასამტკიცებლად, რომელიც აქ ლემის სახითაა ჩამოყალიბებული:

ლემა 1. თუ $k < x$, $(k, l) = 1$, მაშინ

$$\pi(x; k, l) = \frac{1}{\varphi(k)} \int_2^x \frac{dz}{\log z} + Bx^{\frac{1}{2}} \log x. \tag{3}$$

ამ ლემაზე დაყრდნობით ტიჩმარში [6] აფასებს, ფიქსირებული $l \neq 0$ და ზრდადი x-სათვის,

$$f(x; l) = \sum_{p \leqq x} \sum_{p-mn=l} 1 = \sum_{l<p \leqq x} d(p-l)$$

ფუნქციას და ამტკიცებს, რომ

$$f(x; l) = E(l)x + O(x \log\log x / \log x),$$

სადაც

$$E(l) = \frac{\varphi(|l|)}{|l|} \prod_{(p, l)=1} \left\{1 + \frac{1}{p(p-1)}\right\}.$$

მისი მეთოდის საშუალებით (2) ფუნქციისათვის მე დავამტკიცებ შეფასებას

$$F(N)=\frac{315\,\zeta(3)}{2\,\pi^4}\,N\prod_{p\mid n}\frac{(p-1)^2}{p^2-p+1}+B\,\frac{N(\log\log N)^2}{\log N}. \tag{4}$$

ლემა 2.

$$F(N)=2\sum_{\substack{n\leqq M\\(n,N)=1}}\pi(N;\,n,\,N)-\sum_{\substack{n\leqq M\\(n,N)=1}}\pi(nM;\,n,\,N)+BM. \tag{5}$$

დამტკიცება. შემდეგში $\sum'$ აღნიშნავს, რომ მოთხოვნილია დამატებითი პირობა $mn=N-p$, ხოლო $\sum''$—რომ მოთხოვნილია დამატებითი პირობა $p\equiv N \pmod n$. (2)-ის თანახმად,

$$\begin{aligned}F(N)&=\sum_{\substack{p<N\\mn<N}}{}'\,1=\sum_{m\leqq M}\sum_{\substack{p<N\\M<n<Nm^{-1}}}{}'\,1\\&+\sum_{n\leqq M}\sum_{\substack{p<N\\M<m<Nn^{-1}}}{}'\,1+\sum_{n\leqq M}\sum_{\substack{p<N\\m\leqq M}}{}'\,1\\&=2\sum_{n\leqq M}\sum_{\substack{p<N\\M<m<Nn^{-1}}}{}'\,1+\sum_{n\leqq M}\sum_{\substack{p<N\\m\leqq M}}{}'\,1.\end{aligned}$$

აქ, (1)-ის ძალით,

$$\begin{aligned}\sum_{\substack{p<N\\M<m<Nn^{-1}}}{}'\,1&=\sum_{\substack{p<N\\nM<N-p<N}}{}''\,1=\sum_{p<N-nM}{}''\,1\\&=\pi(N-nM;\,n,\,N)+B,\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum_{\substack{p<N\\m\leqq M}}{}'\,1&=\sum_{\substack{p<N\\N-p\leqq nM}}{}''\,1=\sum_{N-nM\leqq p<N}{}''\,1\\&=\pi(N;\,n,\,N)-\pi(N-nM;\,n,\,N)+B.\end{aligned}$$

ამიტომ

$$\begin{aligned}F(N)&=2\sum_{n\leqq M}\pi(N-nM;\,n,\,N)+\sum_{n\leqq M}\{\pi(N;\,n,\,N)-\pi(N-nM;\,n,\,N)\}\\&+BM\\&=\sum_{n\leqq M}\pi(N;\,n,\,N)+\sum_{n\leqq M}\pi(N-nM;\,n,\,N)+BM.\end{aligned}$$

აქედან გამომდინარეობს (5), თუ გავითვალისწინებთ, რომ

$$\pi(N-nM;\,n,\,N)=\pi(N;\,n,\,N)-\pi(nM;\,n,\,N)+B$$

$$\pi(x;\,k,\,l)=B,\quad \text{თუ}\ (k,l)>1.$$

ლემა 3.

(6) $$\sum_{\substack{n \leq x \\ (n, N)=1}} \frac{1}{n} = \sum_{\substack{d \leq x \\ d \mid N}} \frac{\mu(d)}{d} \log \frac{x}{d} + B \log\log N.$$

დამტკიცება. გვაქვს (იხ. ვინოგრადოვი [2], 36)

$$\sum_{\substack{n \leq x \\ (n, N)=1}} \frac{1}{n} = \sum_{\substack{d \leq x \\ d \mid N}} \frac{\mu(d)}{d} \sum_{n \leq \frac{x}{d}} \frac{1}{n}$$

$$= \sum_{\substack{d \leq x \\ d \mid N}} \frac{\mu(d)}{d} \left(\log \frac{x}{d} + B \right)$$

$$= \sum_{\substack{d \leq x \\ d \mid N}} \frac{\mu(d)}{d} \log \frac{x}{d} + B \sum_{d \mid N} \frac{1}{d},$$

ხოლო აქ ვიგერტის (იხ. [1], 114) მიხედვით

(7) $$\sum_{d \mid N} \frac{1}{d} = B \log\log N.$$

ლემა 4.

(8) $$\sum_{d \mid N} |\mu(d)| \frac{\log d}{d} = B (\log\log N)^2.$$

დამტკიცება. თუ N-ს გავამრავლებთ მარტივ რიცხვებზე, რომელნიც უკვე შედიან N-ში, მაშინ (8) შეფასების მარცხენა მხარე არ შეიცვლება, ხოლო $\log\log N$ მარჯვენა მხარეში გაიზრდება. ამიტომ N შეიძლება ვიგულისხმოთ, როგორც კვადრატებისაგან თავისუფალი. ვთქვათ, $N = p_1 \cdots p_r$. მაშინ, (7)-ის თანახმად,

$$\prod_{j=1}^{r} \left(1 + \frac{1}{p_j} \right) = \sum_{d \mid N} \frac{1}{d} = B \log\log N,$$

და ამიტომ

$$\sum_{d \mid N} |\mu(d)| \frac{\log d}{d} = \sum_{d_1 \mid p_1, \ldots, d_r \mid p_r} \frac{\log (d_1 \cdots d_r)}{d_1 \cdots d_r}$$

$$= \sum_{d_1 \mid p_1, \ldots, d_r \mid p_r} \sum_{i=1}^{r} \frac{\log d_i}{d_1 \cdots d_r}$$

$$= \sum_{d_1 \mid p_1, \ldots, d_r \mid p_r} \sum_{i=1}^{r} \frac{\log d_i}{d_i} \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{r} \frac{1}{d_j}$$

$$= \sum_{i=1}^{r} \frac{\log p_i}{p_i} \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{r} \left(1 + \frac{1}{p_j} \right) = B \sum_{i=1}^{r} \frac{\log p_i}{p_i} \log\log N.$$

აქედან, საკმარისია ვაჩვენოთ, რომ

$$\sum_{i=1}^{r} \frac{\log p_i}{p_i} = B \log\log N. \tag{9}$$

როგორც ცნობილია (იხ. ლ ა ნ დ ა უ [4], 99),

$$\sum_{p \leqq x} \frac{\log p}{p} = B \log x.$$

აღვნიშნოთ

$$x = \frac{3 \log N}{\log\log N}, \qquad h = \sum_{\substack{i=1 \\ p_i > x}}^{r} 1.$$

მაშინ ერთი მხრივ

$$\sum_{p \leqq x} \frac{\log p}{p} = B \log\log N.$$

მეორე მხრივ $x^h \leqq N$, საიდანაც

$$h = B \frac{\log N}{\log x}.$$

ამიტომ

$$\sum_{i=1}^{r} \frac{\log p_i}{p_i} = \sum_{\substack{i=1 \\ p_i \leqq x}}^{r} \frac{\log p_i}{p_i} + \sum_{\substack{i=1 \\ p_i > x}}^{r} \frac{\log p_i}{p_i}$$

$$= B \sum_{p \leqq x} \frac{\log p}{p} + B \frac{\log x}{x} h = B \log\log N + B \frac{\log N}{x} = B \log\log N,$$

რაც (9) შეფასების სამართლიანობას ამტკიცებს.

ლემა 5.

$$\sum_{\substack{n \leqq x \\ (n, N) = 1}} \frac{1}{n} = \log(x) \sum_{\substack{d \leqq x \\ d \mid N}} \frac{\mu(d)}{d} + B (\log\log N)^2. \tag{10}$$

დ ა მ ტ კ ი ც ე ბ ა. (10) გამომდინარეობს (6) და (8)-დან.

ლემა 6.

$$\sum_{\substack{n \leqq M \log^{-2} N \\ (n, N) = 1}} \frac{1}{\varphi(n)} = \frac{315 \zeta(3)}{4 \pi^4} \log(N) \prod_{d \mid N} \frac{(p-1)^2}{p^2 - p + 1} + B (\log\log N)^2. \tag{11}$$

დ ა მ ტ კ ი ც ე ბ ა. ვთქვათ $\sum'$ აღნიშნავს, რომ შეჯამების სათანადო ცვლადი N-თან თანამარტივია. შემდეგ, სიმოკლისათვის დავწეროთ

$$w = M \log^{-2} N. \tag{12}$$

გვაქვს (იხ. ლანდაუ [5], ფორმულა (6))

$$\sum_{n \leqq w}{}' \frac{1}{\varphi(n)} = \sum_{q \leqq w}{}' \frac{|\mu(q)|}{q \varphi(q)} \sum_{n \leqq w/q}{}' \frac{1}{n},$$

საიდანაც, (10)-ის ძალით

$$\sum_{n\le w}{}'\frac{1}{\varphi(n)}=\sum_{q\le w/3}{}'\frac{|\mu(q)|}{q\varphi(q)}\sum_{n\le w/q}\frac{1}{n}+B\sum_{q>w/3}\frac{1}{q\varphi(q)}\sum_{n\le w}\frac{1}{n}$$

(13) $$=\sum_{q\le w/3}{}'\frac{|\mu(q)|}{q\varphi(q)}\log\left(\frac{w}{q}\right)\sum_{\substack{d\le m/q\\ d|N}}\frac{\mu(d)}{d}+B(\log\log N)^2.$$

შემდეგ, (12)-ის თანახმად,

$$\sum_{\substack{w/q<d\le N\\ d|N}}\frac{\mu(d)}{d}=Bqw^{-1}\sum_{d|N}1=Bqw^{-0.9}.$$

ამიტომ, თუ ჯამს d-ს მიმართ (13)-ში გავავრცელებთ $d\le N$, $d|N$, ე. ი. $d|N$, მაშინ ცდომილება იქნება

$$B\sum_{q\le w}\frac{1}{q\varphi(q)}\log(w)\,qw^{-0.9}=Bw^{-0.8}\sum_{q\le w}\frac{1}{\varphi(q)}=B=B(\log\log N)^2.$$

აქედან, რამდენადაც

$$\sum_{d|N}\frac{\mu(d)}{d}=\frac{\varphi(N)}{N},$$

ამიტომ, (12)-ის გათვალისწინებით,

$$\sum_{n\le w}{}'\frac{1}{\varphi(n)}=\frac{\varphi(N)}{N}\sum_{q\le w/3}{}'\frac{|\mu(q)|}{q\varphi(q)}\log\frac{w}{q}+B(\log\log N)^2$$

$$=\frac{\varphi(N)}{N}\log(w)\sum_{q\le w/3}{}'\frac{|\mu(q)|}{q\varphi(q)}+B(\log\log N)^2$$

$$=\frac{\varphi(N)}{2N}\log(N)\sum_{q=1}^{\infty}{}'\frac{|\mu(q)|}{q\varphi(q)}+B(\log\log N)^2.$$

აქ (იხ. ლანდაუ [3], 182—183; [5], 242)

$$\frac{\varphi(N)}{N}\sum_{q=1}^{\infty}{}'\frac{|\mu(q)|}{q\varphi(q)}=\frac{315\,\zeta(3)}{2\pi^4}\prod_{p|N}\frac{(p-1)^2}{p^2-p+1},$$

რაც (11) ამტკიცებს.

შემდეგი ლემა წარმოადგენს ტიჩმარშის [6] თეორემა 2-ის კერძო შემთხვევას $\left(a=\frac{1}{2}\right)$.

ლემა 7. თუ $k\le x^{\frac{1}{2}}$, $(k,l)=1$, მაშინ

(14) $$\pi(x;\,k,\,l)=B\frac{x}{\varphi(k)\log x}.$$

(4) შეფასების დამტკიცება. ვთქვათ $\sum'$ აღნიშნავს, რომ შეჯამების ცვლადი N-თან თანამარტივია. ვთქვათ, შემდეგ, w ინარჩუნებს (12) სახეს.

1 და 7 ლემების თანახმად,

$$\sum_{n\leqq M}{}' \pi(N;\, n,\, N) = \sum_{n\leqq w}{}' \pi(N;\, n,\, N) + \sum_{w<n\leqq M}{}' \pi(N;\, n,\, N)$$

$$= \sum_{n\leqq w}{}' \left\{ \frac{1}{\varphi(n)} \int_2^N \frac{\log z}{dz} + BM \log N \right\} + B \sum_{w<n\leqq M} \frac{N}{\varphi(n) \log N}.$$

შემდეგ (ლანდაუ [3], ფორმულა (10), რომელიც კიდევ უფრო ზუსტია),

$$\sum_{n\leqq x} \frac{1}{\varphi(n)} = \frac{315\,\zeta(3)}{2\pi^4} \log x + B,$$

საიდანაც, (12) და (11)-ის ძალით

$$\sum_{w<n\leqq M} \frac{1}{\varphi(n)} = B \log(Mw^{-1}) + B = B \log\log N, \tag{15}$$

$$\sum_{n\leqq M}{}' \pi(N;\, n,\, N) = \sum_{n\leqq w}{}' \frac{1}{\varphi(n)} \left(\frac{N}{\log N} + \frac{BN}{\log^2 N} \right) + BwM \log N$$

$$+ B \frac{N \log\log N}{\log N}$$

$$= \frac{N}{\log N} \sum_{n\leqq w}{}' \frac{1}{\varphi(n)} + B \frac{N \log\log N}{\log N}$$

$$= \frac{315\,\zeta(3)}{4\pi^4} N \prod_{p|N} \frac{(p-1)^2}{p^2-p+1} + B \frac{N(\log\log N)^2}{\log N}. \tag{16}$$

ცნობილია, რომ

$$\sum_{n\leqq x} \frac{n}{\varphi(n)} = Bx. \tag{17}$$

ეს, მაგალითად, გამომდინარეობს იქიდან, რომ (ლანდაუ [5], 244)

$$\frac{1}{\varphi(n)} = \frac{B}{n} \sum_{d|n} \frac{1}{d}.$$

(1), (3), (12), (14), (15) და (17)-ის თანახმად

$$\sum_{n\leqq M}{}' \pi(nM;\, n,\, N) = \sum_{n\leqq w}{}' \pi(nM;\, n,\, N) + \sum_{w<n\leqq M}{}' \pi(nM;\, n,\, N)$$

$$= \sum_{n\leqq w}{}' \left\{ \frac{1}{\varphi(n)} \int_2^{nM} \frac{dz}{\log z} + BM \log N \right\} + B \sum_{w<n\leqq M}{}' \pi(N;\, n,\, N)$$

$$= B \sum_{n\leqq w} \frac{1}{\varphi(n)} \frac{nM}{\log N} + B\,w\,M \log N + B \sum_{w<n\leqq M} \frac{N}{\varphi(n) \log N}$$

$$= B \frac{M}{\log N} \sum_{n \leqq w} \frac{n}{\varphi(n)} + B \frac{N \log\log N}{\log N}$$

$$= B \frac{wM}{\log N} + B \frac{N \log\log N}{\log N} = B \frac{N \log\log N}{\log N}. \tag{18}$$

(4) გამომდინარეობს (5), (16) და (18)-დან.

ა. ს. პუშკინის სახელობის
თბილისის სახელმწიფო
პედაგოგიური ინსტიტუტი

(რედაქციას მოუვიდა 3.2.1953)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. S. Wigert. Sur quelques fonctions arithmétiques. Acta Mathematica **37**, 1914, 113—140.
2. И. М. Виноградов. Основы теории чисел. Изд. 5-е, Москва—Ленинград, 1949.
3. E. Landau. Ueber die zahlentheoretische Function $\varphi(n)$ und ihre Beziehung zum Goldbachschen Satz. Nachrichten der K. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Mathematisch—physikalische Klasse, 1900, 177—186.
4. E. Landau. Handbuch der Lehre von der Verteilung der Primzahlen, Leipzig—Berlin, 1909.
5. E. Landau. On a Titchmarsh—Estermann sum. Journal of the London Mathematical Society **1**, 1936, 242—245.
6. E. C. Titchmarsh. A divisor problem. Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo **54**, 1930, 414—429.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XIV, № 2, 1953

გეოლოგია

ე. ბიუსი და მ. რუბინშტეინი

ახალი მონაცემები ტაბაწყურის 1940 წლის 7—8 მაისის მიწისძვრის შესახებ

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ა. ჯანელიძემ 29.12.1953)

ახალქალაქის ვულკანური ზეგანი მისი სეისმურობის მხრივ საქართველოს ყველაზე უფრო აქტიურ ნაწილს წარმოადგენს. ამიტომ, აქ მომხდარ მიწისძვრათა შესწავლა დიდ ინტერესს იწვევს, მით უმეტეს, თუ იგი სეისმურად მოქმედი სტრუქტურების გამოყოფის შესაძლებლობას იძლევა.

კვლევის ობიექტად ჩვენ ავირჩიეთ ტაბაწყურის 1940 წლის 7—8 მაისის მიწისძვრა, რომლის მაკროსეისმური შესწავლის მასალები გამოქვეყნებული იქნა ე. ბიუსისა და ა. ცხაკაიას მიერ 1945 წელს [2], ხოლო მიკროსეისმური დაკვირვებების დამუშავების შედეგები—1947 წელს ტ. ლებედევას მიერ [3].

განსხვავებით ჩვენ მიერ აღწერილი დასავლეთ საქართველოს 1941 წლის მიწისძვრებისა [1], რომლებიც მიწისძვრათა ტიპიურ გუნდს წარმოადგენდნენ, სადაც მთავარი მიწისძვრის გამოყოფა შეუძლებელია, აქ 1940 წლის 7 მაისის ღამეს ძლიერი ბიძგი მოხდა, რომლის ძალამ ეპიცენტრულ არეში 8 ბალამდე მიაღწია. მას მოჰყვა აფტერშოკები, რომლებიც თითქმის ორი თვის განმავლობაში გრძელდებოდა და რომელთა შორის ყველაზე ძლიერი 6 ბალს არ აღემატებოდა. ამ მიწისძვრამ საკმაოდ დიდი, მაგრამ შედარებით ხანმოკლე გავლენა იქონია ბორჯომის მინერალურ წყაროებზე: 8 მაისს მათი დღეღამის დებიტი წინა დღის დებიტთან შედარებით ერთ მეოთხედზე მეტად გაიზარდა.

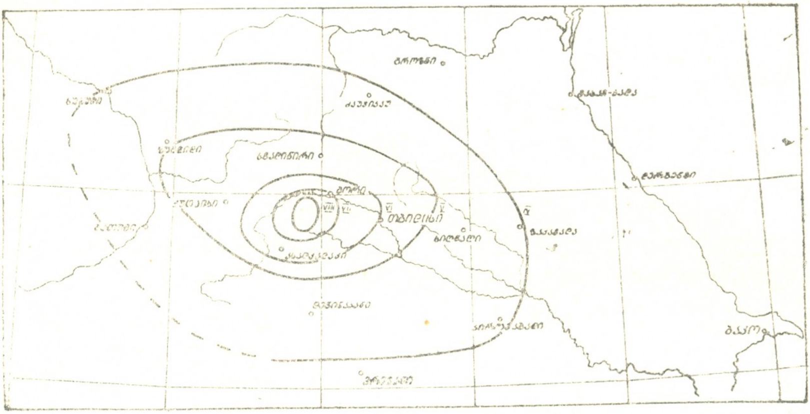
ფართობი, რომელზედაც ეს მიწისძვრა 4 ბალის ზევით გამოვლინდა, 120 000 კვ. კმ აღემატება.

ინსტრუმენტული მონაცემები საშუალებას არ გვაძლევენ მთავარი ბიძგის ზუსტი კოორდინატები დავადგინოთ, მაგრამ მრავალი აფტერშოკისათვის ეს შესაძლებელი შეიქნა. მიწისძვრის კერის სიღრმე, რომელიც მთავარი ბიძგისათვის დადგენილია მაკროსეისმურად, ხოლო აფტერშოკებისათვის—ინსტრუმენტული მონაცემების მიხედვით, საშუალოდ 18 კმ უდრის. აღსანიშნავია, რომ ეს სიდიდე იმავე რიგისაა, რაც ახალქალაქის 1899 წლის 31 დეკემბრის მიწისძვრისათვის. 7—8 მაისის მიწისძვრის იზოსეისტების რუკაც ისეთივე ხასიათისაა, რაც ახალქალაქის მიწისძვრისა—პლეისტოსეისტური არე გაჭიმულია მერიდიანული მიმართულებით, ხოლო დანარჩენი იზოსეისტების ორიენტაცია კავკასიონის საერთო მიმართულების თანხვდენილია (ნახ. 1).

7—8 მაისის მიწისძვრის პირველი ძლიერი ბიძგის შემდეგ გორის სეისმურმა სადგურმა 1 საათისა და 37 წუთის განმავლობაში 44 მიწისძვრა აღ-

ნიშნა. თბილისში ამ დროის განმავლობაში ჩაწერილი იქნა 6 მიწისძვრა, ზუგდიდში კი 5. მთლიანად მაისის განმავლობაში გორის სადგურმა 611 მიწისძვრა ჩაწერა, ხოლო ივნისში 135. აფტერშოკების მთელი რიგი აღნიშნულ იქნა აგრეთვე ივლისის პირველ ნახევარში. ტ. ლებედევას ხსენებულ შრომაში [3] მოცემულია 45 ეპიცენტრის კოორდინატები.

სეისმოგრამების შემდგომმა დამუშავებამ ზოგი წერტილის კოორდინატების დაზუსტებისა და 17 ახალი ეპიცენტრის მიღების საშუალება მოგვცა;



ნახ. 1

ამრიგად, დადგენილი ეპიცენტრების საერთო რიცხვი ამჟამად 62-ს უდრის. ეს წერტილები დატანილია სქემაზე (ნახ. 2) და აქ აგრეთვე ჩანს, როგორც დასავლეთ საქართველოს 1941 წლის მიწისძვრათა გუნდის შემთხვევაში [1], რომ ისინი დაჯგუფებულია გარკვეული ხაზის გასწვრივ. ამ ხაზის მიმართება მერიდიანულს უახლოვდება და მხოლოდ მის სამხრეთ ნაწილში სამხრეთ-აღმოსავლეთისაკენ გადახრას აქვს ადგილი.

ეპიცენტრების გადაადგილების დიაგრამაზე[1] (ნახ. 3) ჩვენ ვხედავთ, რომ აქ ეპიცენტრების გადაადგილების ხასიათი სხვანაირია, ვიდრე დასავლეთ საქართველოს მიწისძვრათა გუნდის შემთხვევაში.

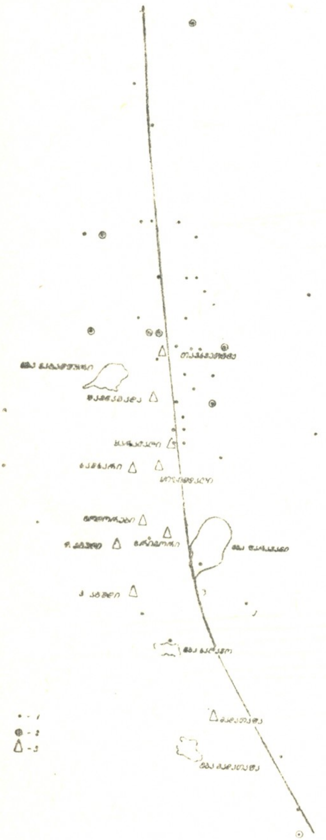
7 მაისიდან 11 მაისამდე ჩათვლით ეპიცენტრების ჰორიზონტული გადაადგილების ამპლიტუდა შედარებით მცირეა — 30-ოდე კილომეტრს შეადგენს. შემდეგ, 13 მაისიდან 23-ამდე, ეს ხაზი მთლიანად სეისმურ აქტივობას იჩენს მთელ მის 120-კილომეტრიან სიგრძეზე; ინტერესს მოკლებული არ არის ის გარემოება, რომ 23 და 24 მაისს 6-ბალიანი მიწისძვრების ეპიცენტრები ამ ხაზის კიდურ, ჩრდილო და სამხრეთ წერტილებს დაემთხვა.

ამის შემდეგ ეპიცენტრების მერყეობის ამპლიტუდა ისევ კლებულობს და მის ძირითად ნაწილში 7—11 მაისის ამპლიტუდას ეთანხმება. დამახასიათებელია ის გარემოებაც, რომ V—VI ბალის სიძლიერის 11 აფტერშოკიდან 8 მოთავსებულია იმავე 30 კილომეტრიან ზოლში. ამრიგად, თუ დასავლეთ

(1 ამ დიაგრამის აგების წესი განმარტებულია ჩვენ ადრინდელ შრომაში [1].

საქართველოს მიწისძვრათა გუნდის შემთხვევაში ჩვენ მთელი სეისმოგენეტური ხაზის გასწვრივ დაძაბვის თანდათანი გამომჟღავნების სურათი გვქონდა დროსა და სივრცეში, აქ უკვე სხვა მოვლენასთან გვაქვს საქმე.

ტაბაწყურის მიწისძვრის დროს ადგილი ჰქონდა ანალოგიური ხაზის გარკვეული ნაწილის შედარებით ხანგრძლივ სეისმურ მოქმედებას და მისი დანარჩენი ნაწილის ხანმოკლე გააქტივებას. ამ ხაზის კავშირი ტექტონიკურ სტრუქტურებთან ისევ საკმაოდ თვალსაჩინოა, განსაკუთრებით მის შუა ნაწილში — იგი აბულ-სამსარის ზედა მესამეული და მეოთხეული ვულკანური კონუსების მერიდიანული ქედის უშუალო სიახლოვეში გაივლის. ეს კონუსები მოთავსებულია მიოპლიოცენური ასაკის გოდერძის წყების ფუძეზე, ღრმა რღვევის გასწვრივ. რღვევა, რომელიც წინათ ამ ქედის მრავალ ვულკანებს მაგმური მასალით ამარაგებდა, ამჟამად შეხორცებულია და მისი არსებობის შესახებ ჩვენ მოგვაგონებს, რაიონის თავისებური ვულკანური რელიეფის გარდა, არც ისე იშვიათად საგრძნობი სეისმური მოქმედებაც.



ნახ. 2

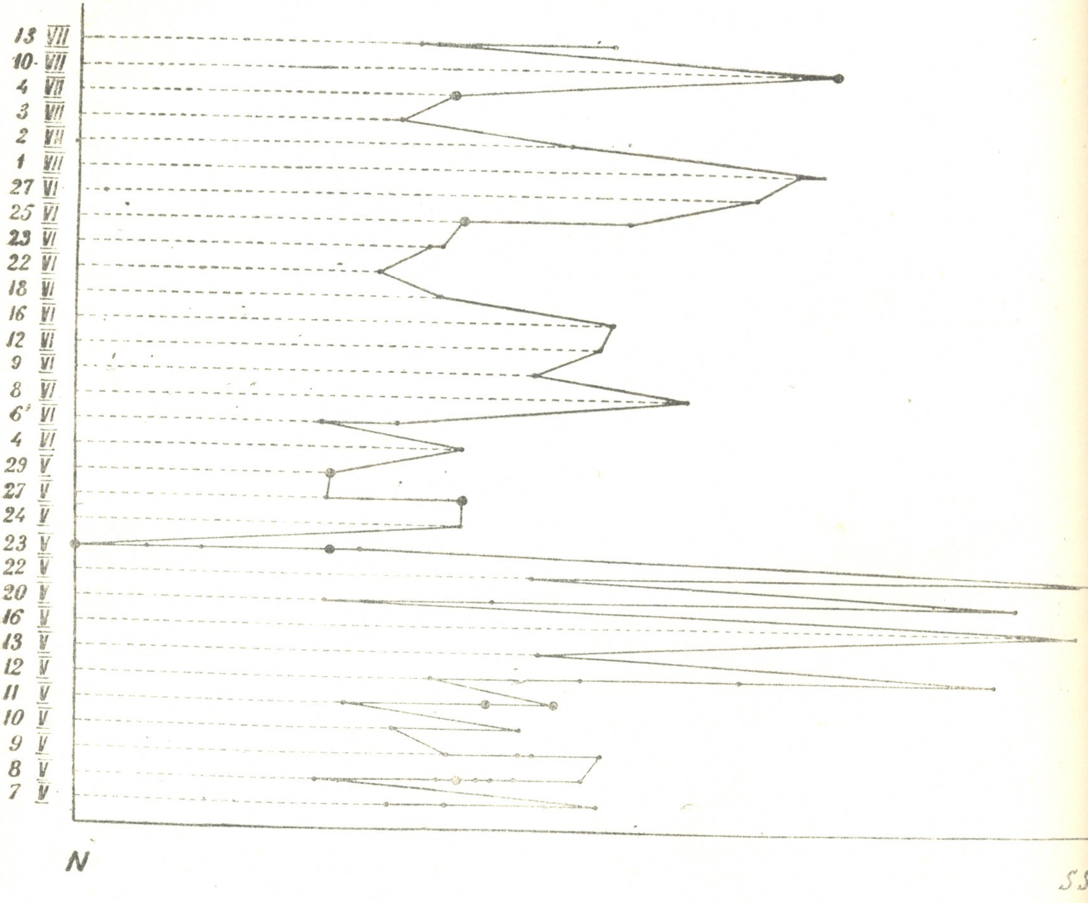
1. მიკროსეისმების ეპიცენტრები;
2. მაკროსეისმების ეპიცენტრები;
3. ვულკანური კონუსები

იბადება კითხვა ეპიცენტრების გადაადგილების ხაზის სამხრეთ-აღმოსავლეთისაკენ გადახრის მიზეზის შესახებ. რა თქმა უნდა, ჩვენ არ უნდა დავივიწყოთ ის გარემოება, რომ ხაზის ეს ნაწილი აგებულია წერტილების ბევრად უფრო ნაკლები რაოდენობის საფუძველზე და, მაშასადამე, ნაკლებად სანდოცაა.

მაინც უნდა ვივარაუდოთ, რომ მიუხედავად იმისა, რომ ჩვენ პირობითად გავიყვანეთ ეპიცენტრების გადაადგილების საშუალო ხაზი, ბუნებაში აქ ალბათ რამდენიმე ბევრად თუ ნაკლებად პარალელური ხაზი არსებობს. ამიტომ შესაძლოა, რომ აღმოსავლეთისაკენ მეზობლად განლაგებული ხაზის უფრო სამხრეთმა ნაწილმა ხსენებული მიწისძვრის გამო თავის მხრივაც სეისმური აქტივობა გამოიჩინა.

ამავე დროს საჭიროა გავითვალისწინოთ ისიც, რომ სხვადასხვა ბიძგების ჰიპოცენტრები სხვადასხვა სიღრმეზე შეიძლება მდებარეობდეს, რამაც თავის მხრივ არ შეიძლება გავლენა არ იქონიოს ეპიცენტრების „გაფანტვაზე“, რა თქმა უნდა, იმ შემთხვევაში, თუ რღვევის ზედაპირი საკმაოდ დახრილია. ეს გარემოება, რატომღაც, ყურადღების გარეშე რჩება ხოლმე.

არ შეიძლება გამორიცხულად ჩაითვალოს ეპიცენტრების გადაადგილების ხაზის სამხრეთ-აღმოსავლეთისაკენ გადახრის კიდევ ერთი შესაძლო მიზეზიც. ტბა საღამოს სამხრეთი ნაპირის გასწვრივ გადის ჩრდილო-დასავლეთ—სამხრეთ-აღმოსავლეთური მიმართების ნასხლეტი, კ. პაფენგოლცის მიერ პირველად შემჩნეული [5]. შეიძლება დავუშვათ, რომ ამ, ბუნებაში კარგად



ნახ. 3

გამოსახულმა, აშლილობამ, რომელიც მთავარ რღვევას აშკარად უკავშირდება, მაგრამ გამოხატულია ზედა სტრუქტურულ სართულში, ხსენებულ მიწისძვრას დამატებითი გადაადგილებებით უპასუხა.

და ბოლოს, არ შეიძლება არ დაისვას საკითხი აღწერილი სეისმოგენეტური ხაზის ჩრდილო გაგრძელების ბუნების შესახებაც, ვინაიდან ეს ხაზი სომხითის ბელტის ჩრდილო საზღვარს სცილდება. ეს საკითხი, თუნდაც სხვა

გარემოებასთან დაკავშირებით, ჩვენ წინაშე ჯერ კიდევ 1945 წელს დაისვა, როდესაც ჩვენ შევეცადეთ საქართველოს ტერიტორიის შესახებ იმ დროისათვის დაგროვილი სეისმური მასალის გეოლოგიური ინტერპრეტაციის ცდა მოგვეცა. ჩვენ მაშინ გამოვთქვით მოსაზრება, რომ მერიდიანული რღვევები, სომხითის ბელტის შედარებით უდრეკ სხეულში წარმოშობილი, აჭარა-თრიალეთის სისტემაშიაც უნდა გრძელდებოდეს, მათ თანდათან მილევამდე [6]. ტაბაწყურის მიწისძვრის მასალები ამ წარმოდგენას ადასტურებენ. არ შეიძლება არ აღინიშნოს კიდევ ერთი დამატებითი საბუთი: ეპიცენტრების გადაადგილების ხაზის ჩრდილო ნაწილს შეესაბამება გუჯარეთის-წყლის ახალგაზრდა ანდეზიტ-ბაზალტების ნაკადების ამოფრქვევის შესაძლო ცენტრი.

მერიდიანული რღვევა, რომელიც ტაბაწყურის მიწისძვრის მასალებით ასე მკაფიოდ მჟღავნდება, სეისმურ აქტივობას მანამდეც იჩენდა—მასთან დაკავშირებულია 1899 წლის ახალქალაქის ძლიერი მიწისძვრის კერა [4].

გარდა ამისა ახალქალაქის ზეგნის მიწისძვრათა ეპიცენტრები, ჩვენი რეგიონული სეისმური სადგურების მიერ უკანასკნელ წლებში ჩაწერილი, აგრეთვე ძირითადად ამ ხაზის გასწვრივ ჯგუფდება. იგივე ითქმის იმ ეპიცენტრების შესახებაც, რომლებიც საკავშირო მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკური ინსტიტუტის კავკასიის ექსპედიციამ 1950 წლის ზაფხულში დაადგინა.

ამრიგად, გამოვლინებული სიღრმის რღვევა ახალქალაქის ზეგნის ძირითად სეისმურ ხაზს, ანუ, უფრო სწორად რომ ითქვას, ძირითად სეისმურ ზოლს წარმოადგენს.

ამ რღვევის ასაკის საკითხი—პლიოცენის შემდგომია ეს რღვევა, თუ უფრო ადრინდელი, მაგრამ გაახალგაზრდავებული—ცალკე განხილვას მოითხოვს.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
გეოფიზიკის ინსტიტუტი,
გეოლოგიისა და მინერალოგიის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 29.12.1952)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. ე. ბიუსი და მ. რუბინშტეინი. ახალი მასალები 1941 წლის ივნისის მიწისძვრათა გუნდის შესახებ დასავლეთ საქართველოში. საქ. სსრ მეცნ. აკ. დ. მოამბე, ტ. XIII, № 9, 1952.
2. Е. И. Бюс и А. Д. Цхакая. Табацкурское землетрясение в ночь с 7 на 8 мая 1940 г. Прилож. к кварт. сейсм. бюлл. Тбилиси, XII, № 3, 1945.
3. Т. М. Лебедева. Микросейсмические материалы Табацкурского землетрясения 7 мая 1940 г. Прилож. к кварт. сейсм. бюлл. Тбилиси, XIII, № 1—4, 1947.
4. И. В. Мушкетов. Материалы по Ахалкалакскому землетрясению 19.XII.1899 г. Труды Геол. Ком., новая серия, вып. 1, 1903.
5. К. Н. Паффенгольц. Сейсмотектоника Армении и прилежащих частей Малого Кавказа. Ереван, 1946.
6. მ. რუბინშტეინი. საქართველოს სეისმურობა მის გეოტექტონიკურ აგებულებასთან დაკავშირებით. საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. X, № 3, 1949.

ტექნიკა

გ. რაზმაძე

ცვალებადი განივკვეთის მრგვალ ღეროთა დარტყმითი გრეხის საკითხისათვის

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა კ. ზავრიევმა 1.12.1952)

როგორც ცნობილია, ღეროთა სტატიკური გრეხის დიფერენციალური განტოლება პირველად 1899 წელს შეადგინა მ ი ჩ ე ლ მ ა [1]. ღეროთა გრეხის საკითხების შემდგომი, დაწვრილებითი დამუშავება მოცემულია საბჭოთა მეცნიერის კ. ს ო ლ ი ა ნ ი კ-კ რ ა მ ს ა ს კაპიტალურ ნაშრომში [2]. რაც შეეხება ღეროთა დარტყმითი (უეცრივი) გრეხის საკითხებს, ტალღური თეორიის თვალსაზრისით ისინი ჯერ არაა შესწავლილი; აღნიშნული საკითხების დეტალურ დამუშავებას კი საკმაოდ დიდი და აქტუალური მნიშვნელობა აქვს.

ღეროთა გრეხის დიფერენციალური განტოლების შედგენისას მიჩელი ორ პირობას ემყარება: პირველი—განივკვეთი ღეროისა გრეხის დროს ბრტყელი რჩება, ანუ გადაადგილება ღეროის გასწვრივ (w) ტოლია ნულისა; მეორე—რადიანული გადაადგილება (v_r) აგრეთვე ტოლია ნულისა. ამოცანის ასეთნაირად გამარტივებისას გამოსარკვევი რჩება მხოლოდ მხები გადაადგილება (v_τ). სიმეტრიული ამოცანის შემთხვევაში პოლარ კოორდინატებში გამოხატულ მიჩელის განტოლებას ასეთი სახე აქვს:

$$\frac{\partial^2 v_\tau}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 v_\tau}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial v_\tau}{\partial r} - \frac{v_\tau}{r^2} = 0 \tag{1}$$

გრეხითი დარტყმის დიფერენციალური განტოლების შედგენისათვის ჩვენ ვემყარებით მიჩელის მხოლოდ პირველ დაშვებას ($w = 0$). ასეთ შემთხვევაში დრეკადობის თეორიის ცნობილი განტოლებები საგრძნობლად მარტივდება:

$$(\Lambda + \mu)\frac{\partial\theta}{\partial x} + \mu\nabla^2 u = \rho\frac{\partial u^2}{\partial t^2}; \quad (\Lambda + \mu)\frac{\partial\theta}{\partial y} + \mu\nabla^2 v = \rho\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}; \quad \frac{\partial\theta}{\partial z} = 0. \tag{a}$$

უკანასკნელი განტოლება (a) შესაძლებელია დაკმაყოფილდეს დაშვებით $\theta = 0$. მაგრამ იგი (a) შესაძლებელია დაკმაყოფილებულ იქნეს მაშინაც, როცა $\theta = \text{Const}$ და $\theta = \varphi(x, y)$. მოცულობითი გაფართოების (θ) ეს შესაძლებელი სხვადასხვა მნიშვნელობა, ცხადია, დამოკიდებულია შესასწავლი ღეროის ე. წ. სასაზღვრო პირობებზე: მაშინ, როცა $\theta = \text{Const}$ ან $\theta = \varphi(x, y)$, ჩვენ საქმე გვაქვს ისეთი სასაზღვრო პირობების არსებობასთან, როდესაც წარმოებს არა გრეხა ღეროისა, არამედ მისი გვერდითი ზედაპირების პარალელური შემობრუნება (ძვრა) ტანის სიმეტრიის ღერძის ირგვლივ. ამ შესაძლებელ ამოცანას ჩვენ უგულებელვყოფთ და ვიხილავთ ღეროს მხოლოდ გრეხას, თავისუფალს

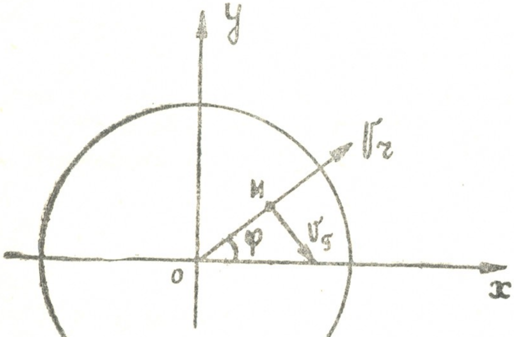
გვერდითი სასაზღვრე პირობებისაგან. თუ დავუშვებთ, რომ ასეთ შემთხვევაშიაც θ-ს აქვს ნულისაგან განსხვავებული არსი მნიშვნელობა, მაშინ იგი (θ) აუცილებლად უნდა იყოს დამოკიდებული ღერძის სიგრძეზე, ე. ი. (z) ცვლადზე. მაგრამ თუ იგი (z) ცვლადზედაცაა დამოკიდებული, მაშინ θ-ს წარმოებული ამ ცვლადით, თანახმად (a) განტოლებისა, მხოლოდ მაშინ გაუტოლდება ნულს, თუ $\theta = f(x, y, z) = 0$.

ამრიგად, როცა $\theta = 0$ (გრეხა ღერძისა სათანადო სასაზღვრო პირობებით), ჩვენ შესასწავლი გვრჩება ტალღური ხასიათის მხოლოდ ორი განტოლება:

$$\mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right)=\rho\,\frac{\partial^2 u}{\partial t^2},\quad \mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right)=\rho\,\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}. \tag{2}$$

თუ ჩასმით $x = r\cos\varphi$, $y = \sin\varphi$; $z = z$ ამ უკანასკნელ განტოლებებს გამოვხატავთ ცილინდრულ კოორდინატებში, შემდეგ, კი შევაჯამებთ, გვექნება:

$$\mu\left[\frac{\partial^2}{\partial r^2}(u+v)+\frac{1}{r}\,\frac{\partial}{\partial r}(u+v)+\frac{1}{r^2}\,\frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}(u+v)+\frac{\partial^2}{\partial z^2}(u+v)\right]=\rho\,\frac{\partial^2}{\partial t^2}(u+v). \tag{3}$$



ნახ. 1

გრეხაზე მომუშავე ღერძის განივკვეთის ნებისმიერი (M) წერტილის გადაადგილება (აქვე დართული ნახაზის მიხედვით) შეგვიძლია დავშალოთ რადიანულ (v_r) და მხებ (v_τ) მდგენელად. მაშინ (3)-ე განტოლებაში შემავალი (u) და (v)ფაქტორებისათვის გვექნება:

$$u = v_r\cos\varphi + v_\tau\sin\varphi,$$

$$v = v_r\sin\varphi - v_\tau\cos\varphi.$$

ამ გამოთქმათა შეტანით (3)-ში მივიღებთ ორ ურთიერთისაგან დამოუკიდებელ დიფერენციალურ განტოლებას, რომელთაგანაც ერთი შეიცავს მხოლოდ რადიანულ გადაადგილებას, მეორე კი მხებს:

$$\mu\left[\frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\,\frac{\partial v_r}{\partial r}-\frac{v_r}{r^2}+\frac{\partial^2 v_r}{r^2\partial\varphi^2}+\frac{2(\cos\varphi-\sin\varphi)}{r^2(\cos\varphi+\sin\varphi)}\,\frac{\partial v_r}{\partial\varphi}+\frac{\partial^2 v_r}{\partial z^2}\right]=\rho\,\frac{\partial^2 v_r}{\partial t^2}$$

$$\mu\left[\frac{\partial^2 v_\tau}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\,\frac{\partial v_\tau}{\partial r}-\frac{v_\tau}{r^2}+\frac{\partial^2 v_\tau}{r^2\partial\varphi^2}+\frac{2(\sin\varphi+\cos\varphi)}{r^2(\sin\varphi-\cos\varphi)}\,\frac{\partial v_\tau}{\partial\varphi}+\frac{\partial^2 v_\tau}{\partial z^2}\right]=\rho\,\frac{\partial^2 v_\tau}{\partial t^2}$$

ანუ, თუ აღვნიშნავთ: $v_r = u$, $v_\tau = v$ და $\mu/\rho = b^2$, საბოლოოდ გვექნება:

$$b^2\left[\frac{\partial^2 u}{\partial r^2}+\frac{\partial u}{r\partial r}-\frac{u}{r^2}+\frac{\partial^2 u}{r^2\partial\varphi^2}+\frac{2(\cos\varphi-\sin\varphi)}{r^2(\cos\varphi+\sin\varphi)}\,\frac{\partial u}{\partial\varphi}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right]=\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \tag{4}$$

$$b^2\left[\frac{\partial^2 v}{\partial r^2}+\frac{\partial v}{r\partial r}-\frac{v}{r^2}+\frac{\partial^2 v}{r^2\partial\varphi^2}+\frac{2(\sin\varphi+\cos\varphi)}{r^2(\sin\varphi-\cos\varphi)}\frac{\partial v}{\partial\varphi}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right]=\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \tag{5}$$

სადაც u და v რადიანული და მხები გადაადგილებაა.

სიმეტრიული ამოცანების შემთხვევაში (u) და (v) გადაადგილებები არაა დამოკიდებული პოლარ (φ) კუთხეზე, ამიტომ ეს უკანასკნელი განტოლებები (როცა $\varphi = 0$) უფრო გამარტივებულ სახეს იღებს:

$$b^2\left[\frac{\partial^2 u}{\partial r^2}+\frac{\partial u}{r\partial r}-\frac{u}{r^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right]=\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \tag{6}$$

$$b^2\left[\frac{\partial^2 v}{\partial r^2}+\frac{\partial v}{r\partial r}-\frac{v}{r^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right]=\frac{\partial^2 v}{\partial t^2}. \tag{7}$$

როცა $\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0$, მაშინ ეს უკანასკნელი განტოლება (7) დადის სტატიკური გრეხის ცნობილ (1) დიფერენციალურ განტოლებაზე.

მიღებულ (4—6—6—7) დიფერენციალურ განტოლებებს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს იმ დარტყმითი ძინვების განსაზღვრის საკითხში, რომლებიც ვითარდებიან ბრუნვაში მყოფ მანქანის ღერძის უეცრივი დამუხრუჭებისას ან ერთი ღერძის ბრუნვითი ძრაობის სწრაფად გადაცემისას მეორეზე.

მე-(7) განტოლების ამონახსნით შეგვიძლია ვეძებოთ სამი ურთიერთისაგან დამოუკიდებელი ფუნქციის ნამრავლის სახით:

$$v(r, z, t) = R(r)\, Z(z)\, T(t), \tag{8}$$

მაშინ თითოეული საძიებელი ფუნქციისათვის, თანახმად მე-(7) განტოლებისა, გვექნება:

$$T''(t) + \lambda^2 b^2 T(t) = 0$$

$$z''(z) + \alpha^2 z(z) = 0$$

$$R''(r) + \frac{1}{r}R'(r) + \left(\beta^2 - \frac{1}{r^2}\right)R(r) = 0,$$

საიდანაც:

$$T(t) = A_1 \sin\lambda bt + A_2 \cos\lambda bt$$

$$Z(z) = B_1 \sin\alpha z + B_2 \cos\alpha z$$

$$R(r) = C_1 I_1(\beta r) + C_2 Y_1(\beta r),$$

სადაც

$$\alpha^2 + \beta^2 = \lambda^2,$$

ხოლო $I_1(\beta r)$ და $Y_1(\beta r)$ ბესელის ფუნქციებია.

ამრიგად, მე-(7) განტოლების ამონახსნი ასეთი სახისაა:

$$v(r, z, t) = (A_1 \sin\lambda bt + A_2 \cos\lambda bt)\,(B_1 \sin\alpha z + B_2 \cos\alpha z) \times [C_1 I_1(\beta r) + C_2 Y_1(\beta r)] \tag{9}$$

ნათელია, რომ მე-(6) განტოლების ინტეგრალი ანალოგიურია მე-(7) განტოლების ამონახსნისა.

რაც შეეხება A_i, B_i, C_i, α, β და λ კოეფიციენტებს, ისინი განისაზღვრებიან დასმული კონკრეტული ამოცანის ეგრეთ წოდებული საწყისი და სასაზღვრე პირობებიდან (პრაქტიკული ხასიათის ცალკეული ამოცანების დეტალური განხილვა მოცემული იქნება ჩვენს შემდგომ სტატიებში).

ღერძთა გრეხვითი დარტყმის პრაქტიკული საკითხების პირველი მიახლოებითი შესწავლის მიზნით შესაძლებელია დავემყაროთ ღერძის კვეთის ხისტად შემობრუნების ჰიპოთეზას. ასეთ შემთხვევაში მხები გადაადგილება (v) შეიძლება გამოვხატოთ ფორმულით:

$$v = \frac{r}{R}\, v_0 (,z, t),$$

სადაც $R = R(z)$ ღერძის რადიუსია, ხოლო $v_0(z, t)$—მხები გადაადგილება ღერძის განივკვეთის განაპირა (ღერძის მსახველზე მდებარე) წერტილებისა. თუ აღნიშნულ გამოთქმას შევიტანთ მე-(7) განტოლებაში, გვექნება:

$$\frac{\partial^2}{\partial z^2}\left(\frac{v_0}{R}\right) = \frac{\partial^2}{b^2 \partial t^2}\left(\frac{v_0}{R}\right), \tag{10}$$

საიდანაც

$$v_0(z, R, t) = R\,(A \sin \lambda bt + B \cos \lambda bt)\ (C \sin \lambda z + D \cos \lambda z).$$

ამ უკანასკნელი ამონახსნით შესაძლებელია დარტყმითი გრეხის დროს ღერძში აღძრული მხები მაქსიმალური ძაბვების საანგარიშო, მიახლოებითი (გამარტივებული) ფორმულების გამოყვანა.

აქ გადმოცემული მეთოდის თავისებურება ისაა, რომ იგი საშუალებას გვაძლევს მივიღოთ ურთიერთისაგან დამოუკიდებელი ორი დიფერენციალური განტოლება, რომელთაგანაც ერთი შეიცავს მხოლოდ რადიანულ გადაადგილებას, მეორე კი მხებს. საკითხის ასეთნაირი გადაწყვეტა დიდად ამარტივებს პრაქტიკული ხასიათის ამოცანების შესწავლას ღერძთა გრეხითი დარტყმის დროს.

(რედაქციას მოუვიდა 1.12.1952)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. I. H. Michell. The Vniform Torsion and Flexure of Incomplete Tores, With application to Helical Springs. Proc. London Math. Soc. Vol. 31. 1900 p. 140.

2. К. В. Соляник-Красса. Кручение валов переменного сечения. Современные проблемы механики. Москва, 1949.

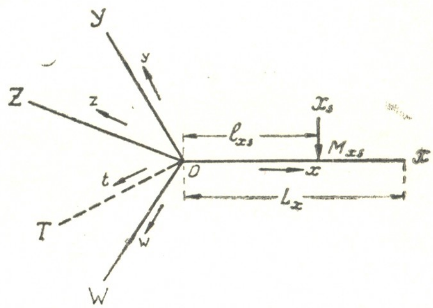
ენერგეტიკა

გ. ლორთქიფანიძე

ერთკვანძიან განშტოებულ სარელსო ქსელში პოტენციალისა და დენის განაწილება

(წარმოადგინა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტმა გ. გედევანიშვილმა 12.1.1953)

განვიხილოთ მუდმივი დენის ელექტროწევის უკუწრედის სისტემა, რომელიც შედგება O კვანძურ წერტილიდან სხივების სახით გამომავალი OX, OY, $OZ, \ldots, OW$ სარელსო n გზებისაგან. წერტილი O იქნება OX, OY, $OZ, \ldots, OW$ სხივების ბოლოებისაკენ მიმართული $x, y, z, \ldots, w$ კოორდინატთა სისტემის სათავე (ნახ. 1).



ნახ. 1

ნებისმიერი OT ($T = X, Y, Z, \ldots, W$) სხივის პარამეტრები აღვნიშნოთ R_t და r_t ასოებით ($t = x, y, z, \ldots, w$), სადაც R_t წარმოადგენს OT სარელსო გზის სიგრძის ერთეულის ელექტრულ წინაღობას, ხოლო r_t კი — იმავე გზის სიგრძის ერთეულის გადასვლის ელექტრულ წინაღობას.

OT სხივის ($T = X, Y, Z, \ldots, W$) სიგრძე აღვნიშნოთ L_t ასოთი ($t = x, y, z, \ldots, w$).

დავუშვათ, რომ რომელიმე l_{xs} კოორდინატის მქონე M_{xs} წერტილზე მოდებულია ერთადერთი ჩაწერტებული დატვირთვა X_s, რომელიც ნებისმიერ OT სხივის რომელიმე t წერტილში v_x პოტენციალს ქმნის, რის გამო იგივე t წერტილზე, OT სხივის გასწვრივ, i_x დენი გადის.

ამასთან ერთად ვისარგებლოთ უმეტესი პრაქტიკული გათვლებისათვის იმ საკმაოდ ზუსტი დაშვებით, რომ OT სხივთა ელემენტების სიმრუდე და კონფიგურაცია არ ახდენს გავლენას ამ სხივებში პოტენციალის და დენის განაწილებაზე და ერთი სხივიდან გადინება არ ახდენს გავლენას მეორე სხივიდან გადინებაზე.

მივაკუთვნოთ X_s დატვირთვას დადებითი მნიშვნელობა, როდესაც დენი შედის რელსებში.

i_x დენის მიმართულება ორიენტირებულია OX სხივის მიმართ, ე. ი., i_x დენის დადებით მნიშვნელობას შეესაბამება მისი მიმართულება O წერტილიდან X წერტილისაკენ და, პირიქით, თუ i_x დენი უარყოფითია, იგი მიმართულია X წერტილიდან O წერტილისაკენ.

როგორც ცნობილია [1], v_x და i_x სიდიდეები, ზემოთ მიღებული დაშვებების შემთხვევაში, იცვლებიან თანახმად განტოლებებისა, რომლებსაც, თითოეულ OT სხივისათვის, შემდეგი ზოგადი სახე აქვთ:

$$\left.\begin{aligned} v_x &= A \operatorname{sh} \alpha_t t + B \operatorname{ch} \alpha_t t \\ i_x &= -\frac{\alpha_t}{R_t} \left[A \operatorname{ch} \alpha_t t + B \operatorname{sh} \alpha_t t\right] \end{aligned}\right\}, \tag{1}$$

სადაც A და B — სასაზღვრო პირობებით განსაზღვრული მუდმივებია, ხოლო

$$\alpha_t = \sqrt{\frac{R_t}{r_t}} \tag{2}$$

არის OT სარელსო გზის მილევის კოეფიციენტი.

ჩვენ მიერ განხილული შემთხვევის შესაბამისად A და B მუდმივთა მნიშვნელობები თითოეულ OT სხივისათვის შემდეგია:

ა) OM_{xs} შუალედისათვის ($0 \leqq x \leqq l_{xs}$):

$$A = A'_{xs} = \frac{R_x X_s \sum\limits_{\nu - x} \frac{\alpha_\nu}{R_\nu} \operatorname{th} \alpha_\nu L_\nu}{\alpha_x \sum\limits_{\nu} \frac{\alpha_\nu}{R_\nu} \operatorname{th} \alpha_\nu L_\nu} \cdot \frac{\operatorname{ch} \alpha_x (L_x - l_{xs})}{\operatorname{ch} \alpha_x L_x}, \tag{3}$$

$$B = B'_{xs} = \frac{X_s}{\sum\limits_{\nu} \frac{\alpha_\nu}{R_\nu} \operatorname{th} \alpha_\nu L_\nu} \cdot \frac{\operatorname{ch} \alpha_x (L_x - l_{xs})}{\operatorname{ch} \alpha_x L_x}. \tag{4}$$

ბ) $M_{xs} X_s$ შუალედისათვის ($l_{xs} \leqq x \leqq L_x$):

$$A = A''_{xs} = -\frac{R_x X_s \operatorname{th} \alpha_x L_x}{\alpha_x \sum\limits_{\nu} \frac{\alpha_\nu}{R_\nu} \operatorname{th} \alpha_\nu L_\nu} \left[\left(\sum_{\nu - x} \frac{\alpha_\nu}{R_\nu} \operatorname{th} \alpha_\nu L_\nu\right) \operatorname{sh} \alpha_x l_{xs} + \frac{\alpha_x}{R_x} \operatorname{ch} \alpha_x l_x\right], \tag{5}$$

$$B = B''_{xs} = \frac{R_x X_s}{\alpha_x \sum\limits_{\nu} \frac{\alpha_\nu}{R_\nu} \operatorname{th} \alpha_\nu L_\nu} \left[\left(\sum_{\nu - x} \frac{\alpha_\nu}{R_\nu} \operatorname{th} \alpha_\nu L_\nu\right) \operatorname{sh} \alpha_x l_{xs} + \frac{\alpha_x}{R_x} \operatorname{ch} \alpha_x l_x\right]. \tag{6}$$

გ) OT სხივისათვის ($0 \leqq t \leqq L_t$; $T \neq X$, $t \neq x$):

$$A = A_{ts} = -\frac{X_s \operatorname{th} \alpha_t L_t}{\sum\limits_{\nu} \frac{\alpha_\nu}{R_\nu} \operatorname{th} \alpha_\nu L_\nu} \cdot \frac{\operatorname{ch} \alpha_x (L_x - l_{xs})}{\operatorname{ch} \alpha_x L_x}, \tag{7}$$

$$B = B_{ts} = \frac{X_s}{\sum_{\nu} \frac{\alpha_\nu}{R_\nu} \cdot \operatorname{th} \alpha_\nu L_\nu} \cdot \frac{\operatorname{ch} \alpha_x (L_x - l_{xs})}{\operatorname{ch} \alpha_x L_x}. \tag{8}$$

(3) — (8) განტოლებებში $\sum_{\nu}$ ნიშნის ქვეშ მყოფი ν ინდექსი შეჯამების დროს ყველა $x, y, z, \ldots, w$ ინდექსების მნიშვნელობას იღებს, ხოლო $\sum_{\nu - x}$ ნიშნის ქვეშ იგი $y, z, \ldots, w$ ინდექსების მნიშვნელობას იღებს.

როდესაც OX სხივზე იმყოფება $X_1, \ldots, X_k, \ldots, X_q$ დატვირთვები, რომელთა რიცხვი q-ს ტოლია და რომლებიც ჩაწერტებულია $l_{x1}, \ldots, l_{xk}, \ldots, l_{xq}$ წერტილებში, მაშინ თითოეული ასეთი დატვირთვა პოტენციალის და დენის ისეთ განაწილებას ქმნის, რომელიც გამოიხატება (3)—(8) სახის განტოლებებით, რომლებშიც $s = k$ ინდექსი ყველა 1-დან q-მდე მნიშვნელობას იღებს.

v_x-ს და i_x-ს შეჯამებული მნიშვნელობები განისაზღვრება შემდეგი განტოლებებიდან.

ა) OX სხივზე X_s და X_{s+1} დატვირთვათა შორის მყოფი შუალედისათვის $(l_{xs} \leqq x \leqq l_{x, s+1})$:

$$v_x = \left(\sum_{1}^{s} A''_{xk} + \sum_{s+1}^{q} A'_{xk} \right) \operatorname{sh} \alpha_x x + \left(\sum_{1}^{s} B''_{xk} + \sum_{s+1}^{q} B'_{xk} \right) \operatorname{ch} \alpha_x x, \tag{9}$$

$$i_x = -\frac{\alpha_x}{R_x} \left[\left(\sum_{1}^{s} A''_{xk} + \sum_{s+1}^{q} A'_{xk} \right) \operatorname{ch} \alpha_x x + \left(\sum_{1}^{s} B''_{xk} + \sum_{s+1}^{q} B'_{xk} \right) \operatorname{sh} \alpha_x x \right]. \tag{10}$$

ბ) OT სხივზე $(0 \leqq t \leqq L_t;\ T \neq X,\ t \neq x)$:

$$v_x = \left(\sum_{1}^{q} A_{tk} \right) \operatorname{sh} \alpha_t t + \left(\sum_{1}^{q} B_{tk} \right) \operatorname{ch} \alpha_t t, \tag{11}$$

$$i_x = -\frac{\alpha_t}{R_t} \left[\left(\sum_{1}^{q} A_{tk} \right) \operatorname{ch} \alpha_t t + \left(\sum_{1}^{q} B_{tk} \right) \operatorname{sh} \alpha_t t \right]. \tag{12}$$

როდესაც ჩაწერტებული დატვირთვების მაგივრად OX სხივზე იმყოფება განაწილებული დატვირთვა, რომლის ინტენსივობა $j_x(x)$-ის ტოლია, მაშინ ჯამები სათანადო ინტეგრალებად გარდაიქმნებიან, რომლებშიც X_k ჩაწერტებული დატვირთვების მაგივრად $j_x(x)\, dl_x$ ელემენტარული დატვირთვები გვექნება. რაც შეეხება ინტეგრების ზღვრებს, გვექნება შემდეგი: ჯამის 1-დან—s-მდე ზღვრების მაგივრად იქნება 0-დან—x-მდე; $s+1$-დან—q-მდე ზღვრების

მაგივრად—x-დან—L_x-მდე, ხოლო 1-დან—q-მდე ზღვრების მაგივრად 0-დან—L_x-მდე. l_{xk} ცვლადის მაგივრად ინტეგრაციის ცვლადი იქნება l_x.

კერძოდ, როდესაც განაწილებული დატვირთვის ინტენსივობა მუდმივია

$$j_x(x) = j_x = \text{მუდმ},$$

მაშინ v_x და i_x სიდიდეთა განაწილება მოცემულ სხივებზე შემდეგი განტოლებით გამოისახება:

ა) OX სხივზე ($0 \leqq x \leqq L_x$):

$$v_x = \frac{j_x R_x}{\alpha_x^2}\left[1 - \left(1 - \frac{\alpha_x \operatorname{th} \alpha_x L_x}{R_x \sum\limits_{\nu} \frac{\alpha_\nu}{R_\nu} \operatorname{th} \alpha_\nu L_\nu}\right) \frac{\operatorname{ch} \alpha_x (L_x - x)}{\operatorname{ch} \alpha_x - L_x}\right], \tag{13}$$

$$i_x = -\frac{j_x}{\alpha_x}\left(1 - \frac{\alpha_x \operatorname{th} \alpha_x L_x}{R_x \sum\limits_{\nu} \frac{\alpha_\nu}{R_\nu} \operatorname{th} \alpha_\nu L_\nu}\right) \frac{\operatorname{sh} \alpha_x (L_x - x)}{\operatorname{ch} \alpha_x L_x}. \tag{14}$$

ბ) OT სხივზე ($0 \leqq t \leqq L_t$; $T \neq X$, $t \neq x$):

$$v_x = \frac{j_x}{\alpha_x} \frac{\operatorname{th} \alpha_x L_x}{\sum\limits_{\nu} \frac{\alpha_\nu}{R_\nu} \operatorname{th} \alpha_\nu L_\nu} \cdot \frac{\operatorname{ch} \alpha_t (L_t - t)}{\operatorname{ch} \alpha_t L_t}, \tag{15}$$

$$i = j_x \frac{\alpha_t}{\alpha_x} \frac{\operatorname{th} \alpha_x L_x}{\sum\limits_{\nu} \frac{\alpha_\nu}{R_\nu} \operatorname{th} \alpha_\nu L_\nu} \cdot \frac{\operatorname{sh} \alpha_t (L - t)}{\operatorname{ch} \alpha_t L_t}. \tag{16}$$

ცხადია, რომ ჩაწერტებულ და განაწილებულ დატვირთვათა ერთდროული არსებობის შეჯამებული პოტენციალები და დენები სუპერპოზიციის წესის საშუალებით განისაზღვრებიან.

თუ კი დატვირთული იქნება p ($0 < p \leqq n$) სხივების რაოდენობა, მაშინ შეჯამებული პოტენციალი და დენი რომელიმე სხივის ნებისმიერ შუალედზე, სადაც დენი უწყვეტად იცვლება, ცხადია, შემდეგის ტოლნი იქნებიან:

$$v = \sum_p v_t, \tag{17}$$

$$i = \sum_p i_t. \tag{18}$$

(17)—(18) განტოლებებში t ინდექსი ღებულობს ყველა იმ ინდექსთა მნიშვნელობას, რომელნიც დატვირთულ სხივებს შეესაბამებიან.

ზემოთ მოცემული დამოკიდებულებანი საშუალებას გვაძლევენ მოვძებნოთ ერთკვანძიანი განშტოებული სარელსო ქსელის ნებისმიერ სხივში პოტენციალისა და დენის განაწილება, როდესაც დატვირთვათა რიცხვი და განაწილება ნებისმიერია და როდესაც სხვადასხვა სხივთა პარამეტრები ერთმანეთისაგან განირჩევიან.

თუ კი ყველა n სხივებს ერთი და იგივე პარამეტრები აქვთ და ისინი ერთნაირი დადებითი ნიშნის j ინტენსივობით თანაბარი განაწილებით არიან და-

ტვირთული, ხოლო ეს დატვირთვა გაწონასწორებულია O კვანძში (წევის ქვესადგური), მაშინ ნებისმიერი სხივისათვის გვექნება

$$v = \frac{jR}{\alpha^2}\left[1 - \frac{\sum\limits_{\nu} \alpha L_\nu}{\sum\limits_{\nu} \operatorname{th} \alpha L_\nu} \cdot \frac{\operatorname{ch} \alpha (L_t - t)}{\operatorname{ch} \alpha L_t}\right], \tag{19}$$

$$i = -\frac{j \sum\limits_{\nu} L_\nu}{\sum\limits_{\nu} \operatorname{th} \alpha L_\nu} \cdot \frac{\operatorname{sh} \alpha (L_t - t)}{\operatorname{ch} \alpha L_t}, \tag{20}$$

სადაც

$$R = R_x = \cdots = R_w; \quad \alpha = \alpha_x = \cdots = \alpha_w; \quad j = \frac{I}{\sum\limits_{\nu} L_\nu}.$$

როგორც (19) განტოლებიდან ჩანს, პოტენციალი $v = 0$ OT სხივის იმ წერტილში, რომლის კოორდინატი არის

$$t_0 = L_t - \frac{1}{\alpha} \operatorname{Ar ch} \frac{\left(\sum\limits_{\nu} \operatorname{th} \alpha L_\nu\right) \operatorname{ch} \alpha L_t}{\sum\limits_{\nu} \alpha L_\nu}.$$

ამ წერტილში დენი ტოლია

$$i = -\frac{j}{\alpha} \sqrt{1 - \left[\frac{\sum\limits_{\nu} \alpha L_\nu}{\left(\sum\limits_{\nu} \operatorname{sh} \alpha L_\nu\right) \operatorname{ch} \alpha L_t}\right]^2}$$

(მინუსის ნიშანი გვიჩვენებს, რომ დენი მიმართულია კვანძისაკენ).

წერტილი t_0 არსებობს, თუ

$$L_t \geqq \frac{1}{\alpha} \operatorname{Ar ch} \frac{\sum\limits_{\nu} \alpha L_\nu}{\sum\limits_{\nu} \operatorname{th} \alpha L_\nu}.$$

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ენერგეტიკის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 2.2.1953)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. К. Г. Марквардт. Энергоснабжение электрифицированных железных дорог Трансжелдориздат, М., 1948.

ზოოლოგია

ე. კირიანოვა

ბეწველას ახალი სახეობა საქართველოდან (*CHORDODES OSCILLATUS* SP. NOV.)

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ფ. ზაიცევმა 5.12.1952)

ბეწველას ეს სახეობა კ. ს ა ტ უ ნ ი ნ მ ა იპოვა თბილისში 1901 წელს და იგი შესანახად გადასცა ზოოლოგიურ მუზეუმს. ამჟამად ეს სახეობა ინახება სსრ კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის ზოოლოგიის ინსტიტუტის დაბალ ჭიათა ლაბორატორიაში.

კავკასიის ბეწველების ფაუნა საერთოდ შეუსწავლელია. კერძოდ საქართველოში გავრცელებული ამ თავისებური პარაზიტული ჭიების შესახებ მონაცემები სრულიად არ მოგვეპოვება. ამასთან დაკავშირებით ამ სახეობის აღწერა ინტერესს მოკლებული არაა, მით უმეტეს, რომ ის, როგორც ტროპიკული გვარის — *Chordodes* — წარმომადგენელი, პირველადაა ნაპოვნი საქართველოს სსრ რესპუბლიკის ტერიტორიაზე. ლიტერატურაში აღნიშნული ერთადერთი ცნობილი და ისევ თბილისში 1881 წ. ნაპოვნი კავკასიური ბეწველა — *Chordodes defilippii* (Rosa) — სინამდვილეში არ ეკუთვნის *Chordodes* გვარს. სამწუხაროდ, კ. სატუნინი არ შეხებია დაწვრილებით მის მიერ ნაპოვნ და აქ აღწერილ სახეობას და მხოლოდ დაკმაყოფილდა შემდეგი ძლიერ მოკლე ეტიკეტის დაწერით: „*Mermis* ზაფხულში *Mantis* sp.-დან 1901 წლის ოქტომბერი. თბილისი“.

Chordodes oscillatus, sp. nov.

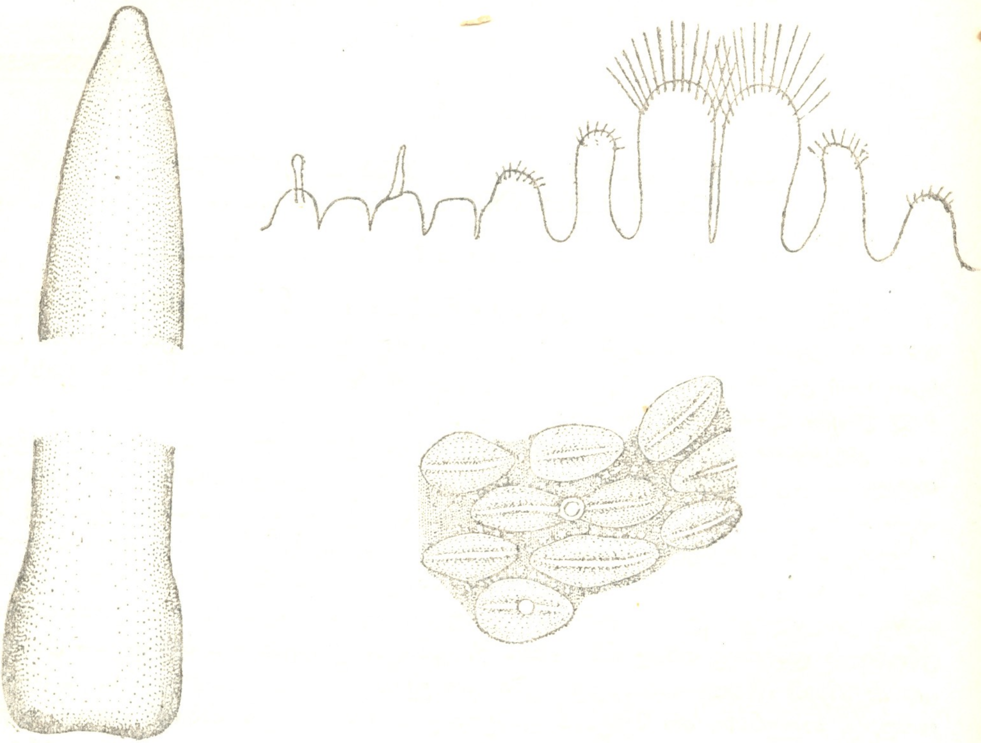
♀: 240 მმ×2,5 მმ.

სხეული შედარებით ძლიერ შევიწროვებულია თავისაკენ, ხოლო კუდის მიმართულებით რამდენადმე შევიწროვებული; ამასთან, კლოაკის რამდენიმედ წინ ის ძლიერ მკვეთრად ვიწროვდება. სხეულის დიამეტრი თავის წინა კიდესთან უდრის 220 μ, ამ ადგილიდან 0,5 მმ-ის დაშორებით — 800 μ, კლოაკის წინ ვიწრო ნაწილში — 800 μ, ხოლო კლოაკალური დისკოს მიდამოში — დაახლოებით 1 მმ-ს. აღსანიშნავია, რომ აქ აღწერილ მდედრს კვერცხები ალბათ უკვე დადებული ჰქონდა და ამიტომ მისი მთელი სხეული, განსაკუთრებით კლოაკალური დისკოს არეში, რამდენადმე დანაოჭებულია. პირის ხვრელი ბორცვისებრ ამაღლებაზეა, რომელიც თავის ბოლოს ცენტრშია მოთავსებული.

კუტიკულა სხეულის მთელი სიგრძის გასწვრივ მუქი მიხაკისფერია, სხეულის წინა ბოლოს გარდა, რომელიც პირის ხვრელიდან 2 მმ-ის მანძილზე გაცილებით უფრო ღია ფერისაა. პირის ხვრელიდან ცოტა დაცილებით მუც-

ლის მხარეზე იწყება მუქი და არც თუ ისე ძალიან განიერი მუცლის ხაზი, რომელიც სხეულს მთელ სიგრძეზე—კლოაკას ხვრელამდე გასდევს. კლოაკა რამდენადმე მუცლის მხარესაა გადაწეული. ზურგის ხაზი არ არის.

არეოლები 6 ხარისხისაა.



ნახ. 1. მარცხნივ—მდედრის სხეულის საერთო სახე: ზევით—თავი, ქვევით—კუდი; მარჯვნივ—კუტიკულის აგებულება: ზევით—ხედი გვერდიდან, ქვევით—ხედი ზედაპირიდან

პირველი ხარისხის არასწორი ოვალური მოყვანილობის არეოლები განლაგებულია ბეწველას სხეულის გრძელი ღერძის მიმართ განივ და საკმაოდ სწორ მწკრივებად. მათი ზომა მერყეობს, სახელდობრ—სიგრძე 15—18 μ ფარგლებში, ხოლო სიგანე—9 μ ირგვლივ. ამასთან, მათი სიგრძივი დიამეტრი ემთხვევა არეოლების მწკრივების მიმართულებას. პირველი ხარისხის ყველა არეოლის ზედაპირი მათი სიგრძივი ღერძის გასწვრივ ორად გამსკდარად გვეჩვენება. გასკდომის ხაზი ორკონტურიანია და ტეხილი.

მეორე ხარისხის არეოლები მსგავსია პირველებისა, მაგრამ ამ უკანასკნელებზე შესამჩნევად უფრო მსხვილია და ალჭურვილია ცენტრში თითისებრი მოხრილი გამონაზარდებით, რომელთა სიმაღლე დაახლოვებით 9 μ აღწევს, ხოლო სიგანე—2 μ-ს. მეორე ხარისხის არეოლების ზედაპირი ისე მკაფიოდ

არაა გამსკდარი და მათი სიგრძე 20—29 μ-ის ფარგლებში მერყეობს, ხოლო სიგანე—11—13 μ. ისინი საკმაოდ ხშირად გვხვდებიან პირველი ხარისხის არეოლებს შორის.

მესამე ხარისხის არეოლები შედგება წყვილი ბანტისებრი არეოლებისაგან, რომლებიც საკმაოდ იშვიათად მიმოფანტულია პირველი და მეორე ხარისხის არეოლებს შორის. აღსანიშნავია, რომ მათი გრძელი დიამეტრი ემთხვევა პირველი ხარისხის არეოლების მწკრივების მიმართულებას. მათი სიგრძე 34 μ-ს აღწევს, ხოლო სიგანე განიერ ნაწილში—12 μ-ს, ვიწრო ნაწილში—8 μ-ს. თითოეულის ცენტრში მაგარი კონუსისებრი ქაცვია, რომლის სიგრძე დაახლოვებით 9 μ, ხოლო სიგანე (ქაცვის ძირთან)—4,5 μ. მესამე ხარისხის თითოეული წყვილი არეოლა, პირველი ხარისხის არეოლების მსგავსად, სიგრძივაა დახეთქილი.

მეოთხე, მეხუთე და მეექვსე ხარისხის არეოლები გაერთიანებულია მრავალ ჯგუფად, თითოეულ ჯგუფში 17—20 ცალია. თითოეული ჯგუფის ცენტრში არის ორი მაღალი წყვილი ცილინდრული არეოლა, რომელთა წვერო მრავალრიცხოვანი ღია ფერის ბეწვებისაგან შემდგარი გვირგვინითაა აღჭურვილი; ამ ბეწვების სიგრძე ძლიერ ცვალებადია და 29—50 მიკრონს აღწევს. თითოეული ცენტრალური არეოლის სიმაღლე დაახლოვებით 30 μ, ხოლო დიამეტრი—დაახლოვებით 18 μ უდრის. ცენტრალური არეოლების შინაგანი ღრუ გავსებულია ქვეშმდებარე ჯირკვლების ღია ფერის სეკრეტით.

მეხუთე ხარისხის არეოლების ჯგუფები გარს ავლებენ ცენტრალურ არეოლას; თითოეულ ჯგუფში 8—10 ცალია. ამ უკანასკნელთა სიმაღლე 23 μ-ს აღწევს, ხოლო სიგანე ძირთან—17 μ-ს და დიამეტრი ცენტრალურ ნაწილში—დაახლოვებით 12 μ. ისინი ძლიერ მოხრილია ცენტრალური არეოლების მიმართულებით და მორგვალებულია წვერში. ეს უკანასკნელი აღჭურვილია ძლიერ წვრილი მრავალრიცხოვანი, დაახლოვებით 3—4 μ-ის სიგრძის ბეწვებით.

მეექვსე ხარისხის არეოლები კონუსისებრი მოყვანილობისაა და მომრგვალებულია წვერში. მათი სიმაღლე 15 μ-ს აღწევს, ხოლო დიამეტრი (ძირთან) 15 μ უდრის. მათი წვეროც დაფარულია ძლიერ წვრილი, ღია ფერის ბეწვებით, რომელთა სიგრძე 3—4 მიკრონია. მეექვსე ხარისხის არეოლები განლაგებულია მეხუთე ხარისხის არეოლების შემდეგ, 7—10 ცალის რაოდენობით ცენტრალური არეოლების გარშემო. არეოლათა შორისებში, პირველი, მეორე და მესამე ხარისხის არეოლებს შორის, ყველგან გვხვდება საკმაოდ მსხვილი, ღია ფერის მარცვლები.

ა დ გ ი ლ ს ა მ ყ ო ფ ე ლ ი: ჩოქელაში—*Mantis* sp. დაჭერილია 1901 წელს, ოქტომბერში (?), თბილისში, კ. სატუნინის მიერ. სსრ კავშირის სხვა ადგილებში ჯერჯერობით აღმოჩენილი არ არის.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ზოოლოგიის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 5.10.1952)

ექსპერიმენტული მედიცინა

კ. ერისთავი (საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის ნამდვილი წევრი), გ. გიორგაძე

ხანგრძლივი ძილის გავლენა სიმსივნის ინდუცირებაზე ამიერკავკასიის ზაზუნებში

უკანასკნელ წლებში ჩატარებული შემოქმედებითი დისკუსიების შედეგად საბჭოთა მეცნიერებას, კერძოდ მედიცინას, მნიშვნელოვანი მიღწევები აქვს. მედიცინის წინაშე დასმულ ახალ ამოცანათა გადაჭრისათვის საჭიროა ყოველდღიურ კვლევა-ძიებას საფუძვლად დავუდოთ მარქს—ენგელს—ლენინ—სტალინის გენიალური მოძღვრება და პავლოვური ფიზიოლოგიის პრინციპული პოზიციები.

ი. პავლოვის მოძღვრებამ უნდა პოვოს შემოქმედებითი გამოყენება ონკოლოგიაში. როგორც ცნობილია, ი. პავლოვმა დაადგინა ცენტრალური ნერვული სისტემის წამყვანი როლი ორგანიზმში მიმდინარე ყველა ფუნქციის მიმართ. ნერვული სისტემის ტროფიკული როლის შესახებ პავლოვის მიერ შექმნილი მოძღვრების გამოყენების ცდას ავთვისებიანი სიმსივნეების სამკურნალოდ ადგილი ჰქონდა ჯერ კიდევ 1925 წელს (მოლოტკოვი, გრეკოვი და სხვ.).

ტრანსპლანტირებული სიმსივნეების მეტასტაზირებაზე, აგრეთვე ინდუცირებული სიმსივნეების განვითარებაზე ნერვული სისტემის როლის საკითხს მიეძღვნა ნოტკინის, პიგალევის, სოლოვიევის, ლებედინსკაიას, ლატმანიზოვასა და სხვათა შრომები. მაგრამ აღნიშნული საკითხისადმი მიძღვნილი დღემდე ჩატარებული ცდებიდან ყველაზე საყურადღებოა პავლოვის უახლოესი მოწაფის მარიამ კაპიტონის ასულ პეტროვას ცდები, ჩატარებული 10—15 წლის განმავლობაში ძაღლების ორ ჯგუფზე. პირველი ჯგუფის—ძლიერი ნერვული ტიპის—ძაღლებზე მ. პეტროვა მიმართავდა ცენტრალური ნერვული სისტემის სისტემატურ და ძლიერ ტრავმირებას პირობითი რეფლექსების „შეხლის“ გზით. ასეთი მოქმედების შედეგად ირღვეოდა ძაღლების ნერვული წონასწორობა, მათ უვითარდებოდათ ნევროზები. სიცოცხლის ბოლოს ძაღლებს განუვითარდათ კანის სხვადასხვა დაავადება (ქრონიკული ეგზემა, წყლულები და სხვა), დასცვივდათ ბეწვი, კბილები. გაკვეთის დროს ძაღლების სხვადასხვა შინაგან ორგანოში ნახულ იქნა როგორც კეთილთვისებიანი, ისე ავთვისებიანი სიმსივნეები.

საკონტროლოდ მიჩნეული მეორე ჯგუფის ძაღლების ნერვული სისტემა, პირიქით, დაცული იყო ყოველგვარი ტრავმისაგან; ამავე დროს მათ ნერვულ სისტემას უმაგრებდნენ მედიკამენტებითა და ძილით. ამ ჯგუფის ძაღლებმა გაცილებით მეტი ხანი იცოცხლეს და მათ არ განუვითარდათ კანის არავითარი დაავადება ან რაიმე სიმსივნე. მ. პეტროვამ თავის ცდების შე-

დეგად გააკეთა დასკვნა, რომ „...დიდი ნახევარსფეროები და უმთავრესად თავის ტვინის ქერქი წარმოადგენს პირველ ბიძგს, პირველ სიგნალს პათოლოგიური პროცესების წარმოქმნისა და განვითარებისათვის“.

აღნიშნული ცდების შემდეგ, საკითხის უფრო ვრცლად შესწავლის მიზნით, მ. პეტროვამ, ვოსკრესენსკაიასა და მელიხოვას მონაწილეობით და პროფ. ლ. შაბადის კონსულტაციით დაიწყო სპეციალური ცდები ძაღლებსა და თაგვებზე: ძაღლებს კანზე უსვამდნენ ქვანახშირის ფისს და ამავე დროს პირობითი რეფლექსების „შეხლის“ გზით იწვევდნენ ნერვული სისტემის ტრავმირებას. თაგვებს კანზე უსვამდნენ ქიმიურად სუფთა კანცეროგენულ ნივთიერებას — 3.4.8.9 — ლიბენზპირენს და ამავე დროს ნერვულ სისტემას აღიზიანებდნენ ელექტრონით. საკონტროლოდ მიჩნეულ ცხოველებზე ორივეგან აწარმოებდნენ მარტო ნივთიერების წასმას, ე. ი. არ მიმართავდნენ ნერვული სისტემის ტრავმირებას.

მართალია, აღნიშნული ცდები არ იყო დამთავრებული დიდი სამამულო ომის დაწყების გამო, მაგრამ ცდების მსვლელობაში აღნიშნული იყო გარკვეული ფიზიოლოგიური და მორფოლოგიური ცვლილებები, რომლებიც მიუთითებდნენ იმაზე, რომ საცდელი ცხოველების იმ ჯგუფს, რომელშიც ნივთიერების წასმასთან ერთად ტარდებოდა ცენტრალური ნერვული სისტემის ტრავმირება, უვითარდებოდა კიბოსწინარე დაავადებები, საკონტროლო ცხოველებში კი მსგავს მოვლენებს ადგილი არ ჰქონია.

ამ მოკლე ლიტერატურული მიმოხილვიდან ჩანს, რომ ცენტრალური ნერვული სისტემა გადამწყვეტ როლს თამაშობს ავთვისებიანი სიმსივნეების განვითარებაში. ამ მოსაზრების დასამტკიცებლად საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის ექსპერიმენტული და კლინიკური ქირურგიისა და ჰემატოლოგიის ინსტიტუტი, აგრეთვე სისხლის გადასხმის ინსტიტუტი, შეუდგა სპეციალური ცდების ჩატარებას. ამ შრომაში ვაქვეყნებთ მხოლოდ წინასწარ შედეგს.

ჩვენ მიზნად დავისახეთ შეგვესწავლა სიმსივნეების ინდუცირებაზე ნერვული სისტემის, პირველ რიგში კი თავის ტვინის ქერქის, გავლენა. ამ მიზნით საცდელ ცხოველებად ჩვენ ავიყვანეთ ამიერკავკასიის ზაზუნები (*Mesocricetus brandti* Nehring), რომლებიც გარემო პირობების შეცვლისას, სახელდობრ სიცივის ზეგავლენით, ეძლევიან ხანგრძლივ, ე. წ. ზამთრის ძილს.

ცხოველთა ზამთრის ძილი განსხვავდება ყოველდღიური ძილისაგან, მაგრამ ჩვენ ვსარგებლობთ იმ მდგომარეობით, რომ ამ დროს თავის ტვინის ქერქი ყველაზე ძლიერი და ხანგრძლივი შეკავების მდგომარეობაშია. ამიტომ ზამთრის ძილის ფონზე ექსპერიმენტული სიმსივნეების განვითარება მეტად საინტერესო საკითხს წარმოადგენს.

გარდა იმ ხელსაყრელი მდგომარეობისა, რომ ამიერკავკასიის ზაზუნები ზამთრობით ეძლევიან ხანგრძლივ ძილს, ჩვენ ვიხელმძღვანელეთ იმითაც, რომ აღნიშნული ცხოველები შესწავლილია ექსპერიმენტული ონკოლოგიის თვალსაზრისით.

ცდები ჩატარებულ იქნა სულ ოც ზაზუნაზე. ყოველი საცდელი ცხოველის მარჯვენა ფეხის ბარძაყის სისქეში შეგვყავდა 0,2 სმ³ ბენზოლში გახს-

ნილი ერთი მილიგრამი 9.10—დიმეთილ—1.2--ბენზანტრაცენისა, რომელიც პროფ. ბ. მიხაილოვის მიერ პირველად სინთეზირებული იყო 1940 წ. მოსკოვში.

ცდები დაწყებულ იქნა 1952 წლის 12 აგვისტოს, 29 აგვისტოსა და 2 სექტემბერს. ზამთრის სიცივეების დაწყებისას ცხოველთა ნაწილი დატოვებულ იქნა თბილ ოთახში საკონტროლოდ (სამწუხაროდ, ღამ-ღამობით აქაც ტემპერატურა ეცემოდა +8 და + 10 გრადუსამდე, რაც იწვევდა ნაწილობრივი ძილის მდგომარეობას); მეორე ნაწილი კი გადაყვანილ იქნა ოთახში, სადაც ტემპერატურა მერყეობდა +10 გრადუსის ახლოს, რის გამოც ცხოველები გადადიოდნენ ძილის მდგომარეობაში.

ცხოველთა ეს ჯგუფი (ე. ი. ძილზე გადაყვანილი) ისინჯებოდა 2—3 დღეში ერთხელ და მათ მაშინვე ეძლეოდათ საკვები; თბილ ოთახში მოთავსებული ცხოველები კი ყოველდღიურად ღებულობდნენ საკვებს და ყოველდღიურადვე ისინჯებოდნენ.

საცდელი ზაზუნებიდან სხვადასხვა მიზეზით სიმსივნის განვითარებამდე მოკვდა 11 ცხოველი, ამიტომ საცდელ ცხოველთა ეს რიცხვი არ შედის ქვემოთ მოყვანილ ცხრილში.

ამრიგად, ცოცხლად დარჩენილი ცხოველები გაიყო 2 ჯგუფად: 1 ჯგუფი—თბილ ოთახში მოთავსებული, ე. ი. საკონტროლოდ დატოვებული, რიცხვით ოთხი: №№ 10, 11, 44, 47; მეორე ჯგუფი—ძილის მდგომარეობაში მყოფი. ამ ჯგუფში შევიდა 5 ზაზუნა: №№ 9, 21, 23, 26, 51.

1952 წლის დეკემბრისათვის ცდების წინასწარი შედეგები შეიძლება შემდეგი სახით წარმოვადგინოთ:

საკონტროლო ცხოველებს სიმსივნეები გაუჩნდათ ცდის დაწყებიდან: № 10-ს—76 დღის შემდეგ; № 11-ს—74 დღის შემდეგ და იგი მოკვდა 10 დეკემბერს, ე. ი. სიმსივნის გაჩენიდან 1,5 თვის შემდეგ. № 44-ს სიმსივნე გაუჩნდა 69 დღის შემდეგ და მოკვდა 29 ნოემბერს, ე. ი. სიმსივნის გაჩენიდან 3 კვირის შემდეგ. № 47-ს სიმსივნე გაუჩნდა ცდის დაწყებიდან 75 დღის შემდეგ.

ამრიგად, საკონტროლო ჯგუფში სიმსივნე განუვითარდა ყველა ცხოველს ცდის დაწყებიდან საშუალოდ 2,5 თვის შემდეგ (უფრო ზუსტად კი—73 დღის შემდეგ).

იმ ზაზუნებს, რომლებსაც სძინავთ სხვადასხვა ხანგრძლიობით, ჯერჯერობით სიმსივნეები არ განვითარებიათ. აღვნიშნავთ, რომ ამ ჯგუფიდან № 9 ზაზუნა ცდის დაწყებიდან სამ-ნახევარი თვის შემდეგ ძილში დაიღუპა ღამით (ზედმეტი გადაცივებისაგან).

ჰისტოლოგიური შესწავლისას აღმოჩნდა, რომ № 11 ზაზუნას განუვითარდა სარკომა, აგრეთვე მეტასტაზები ღვიძლსა და ფილტვში (?), № 44-ს—სარკომა.

ამრიგად, სადღეისოდ ცდების შედეგები შეიძლება შემდეგი ცხრილის სახით წარმოვადგინოთ.

ცხრილი 1

ცხოველების №№	სიცივეში ყოფნის ხანგრძლიობა დღეებით: სულ	აქედან: ეძინა	აქედან: არ ეძინა	რამდენი დღის შემდეგ გაუჩნდა სიმსივნე (ცდის დაწყებიდან)	რამდენი იცოცხლა სიმსივნის გაჩენის შემდეგ	რა ხასიათის სიმსივნე გაუჩნდა: ადგილობრივი	რა ხასიათის სიმსივნე გაუჩნდა: მეტასტაზი
1. ზაზუნების საკონტროლო ჯგუფი							
10				76	ცოცხალია		
11				74	45		
44				69	22		
47				75	ცოცხალია		
2. ზაზუნები, რომლებსაც ეძინათ სხვადასხვა ხანგრძლიობით							
9	20	26	2		20/XI გაიყინა (?)	არ	განვით.
21	60	50	10			"	"
23	60	40	20			"	"
26	60	20	40			"	"
51	60	54	6				

ამრიგად, ჯერ ცდები დამთავრებული არაა; ამიტომ საბოლოო დასკვნების გაკეთება ჯერჯერობით შეუძლებელია, მაგრამ უკვე გარკვეულია ის მდგომარეობა, რომ ცდიდან 2,5 თვის შემდეგ საცდელი ცხოველების საკონტროლო ჯგუფში სიმსივნე განუვითარდა ყველა ცხოველს; ძილზე გადაყვანილ ცხოველებს კი ჯერჯერობით სიმსივნეები არ განვითარებიათ, მიუხედავად იმისა, რომ ცდის დაწყებიდან 4 თვე გავიდა.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ექსპერიმენტული და კლინიკური ქირურგიისა და
ჰემატოლოგიის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 9.2.1953)

ექსპერიმენტული მედიცინა

გ. გზირიშვილი

კუჭის მიერ სალებავ ნეიტრალროტის გამოყოფა ცთომილი ნერვების გადაკვეთამდე და მის შემდეგ

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა კ. ერისთავმა 23.12.1952)

კუჭის ფუნქციის შესწავლა სალებავ ნეიტრალროტის საშუალებით შემოღებულ იქნა 1923 წელს გლესნერისა და ვიტგენშტეინის მიერ [2]. მათი დაკვირვებით, ნორმალური კუჭი სალებავს გამოყოფს ორგანიზმში შეყვანიდან 12 — 15 წუთის შემდეგ. კუჭის წვენის მაღალი მჟავიანობის დროს სალებავის გამოყოფა 7 — 8 წუთში ხდება, მჟავიანობის დაქვეითებისას კი სალებავის გამოყოფა საგრძნობლად შეფერხებულია.

აღნიშნულიდან გამომდინარე ავტორებმა სალებავის გამოყოფის სისწრაფე კუჭის წვენის მჟავიანობის საზომად მიიღეს და გამოთქვეს აზრი კუჭის წვენის მჟავიანობასა და სალებავის გამოყოფას შორის პირდაპირი ურთიერთდამოკიდებულების შესახებ.

მაგრამ შემდგომ საბჭოთა მკლევრების მიერ [2, 3, 4] დიდი ექსპერიმენტული და კლინიკური მასალის ანალიზით გამოირკვა, რომ სალებავ ნეიტრალროტის გამოყოფა კუჭის ექსკრეციული ფუნქციის მაჩვენებელია.

აკად. რაზენკოვმა [1] 1947 წ. გაარკვია, რომ კუჭის სეკრეციული და ექსკრეციული ფუნქცია ორი სხვადასხვა ცნებაა; ისინი ხშირად ერთმანეთის პარალელურად განიცდიან ცვლილებებს და ეს იყო ალბათ მიზეზი, რომ ზოგიერთი ავტორი ამ ორ ფუნქციას აიგივებდა, მაგრამ დღეს უკვე გადაჭრით შეიძლება ითქვას, რომ კუჭის ექსკრეციული ფუნქცია ფიზიოლოგიური პროცესია, რომელიც როგორც მთელი ორგანიზმის, ისე კუჭის კედლის ადგილობრივი ცვლილებების გამომხატველია.

ამრიგად, ხელმისაწვდომი ლიტერატურული მასალის მიმოხილვით შემდეგ დასკვნამდე მივედით:

1. სალებავის გამოყოფის სისწრაფე მიგვითითებს კუჭის ექსკრეციულ ფუნქციაზე;

2. კუჭის სეკრეციული და ექსკრეციული ფუნქცია ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი პროცესებია, რომლებიც ერთმანეთთან მტკიცე კავშირში იმყოფებიან.

ჩვენ მიზნად დავისახეთ შეგვესწავლა კუჭის ფუნქცია სალებავ ნეიტრალროტის დახმარებით ვაგოტომიამდე და მის შემდეგ.

საკითხის შესასწავლად ცდები ჩატარებულია 6 ძაღლზე, აქედან ორს გაკეთებული ჰქონდა კუჭის ფისტულა (ბასოვის წესით), ოთხს იზოლირებუ-

ცხრილი 1

ნეიტრალროტის გამოყოფა ფისტულიან ძაღლებში ვაგოტომიამდე და მის შემდეგ

საღებავის გამოყოფის დრო და ინტენსივობა	ვაგოტომიამდე	ვ ა გ ო ტ ო მ ი ი ს შ ე მ დ ე გ								
		7 დღე	15 დღე	1 თვე	2 თვე	$2^1/_2$ თვე	$3^1/_2$ თვე	5 თვე	7 თვე	8 თვე
ძაღლი № 1	15 წუთში არის კარგი შეფერვა	2 საათ. არ იყო სალებავი	1 ს. არ იყო სალებავი	1 ს. ნიშნები	1 ს. სუსტი შეფერვა	1 საათ. საშუალო შეფერვა		$^1/_2$ საათ. საშუალო	20 წ. საშუალო	25 წ. საშუალო
ძაღლი № 2	10 წუთში არის კარგი შეფერვა	2 საათ. არ იყო სალებავი	2 ს. არ იყო სალებავი	1 ს. სუსტი შეფერვა	1 ს. სუსტი შეფერვა	1 ს. სუსტი შეფერვა	$^1/_2$ ს. საშუალო შეფერვა	$^1/_3$ ს. საშუალო შეფერვა	40 წ. საშუალო შეფერვა	30 წ. საშუალო შეფერვა.

ლი კუჭი: 2 — პავლოვისა და 2 — ბრესტკინ-სავიჩის წესით (ბრესტკინ-სავიჩის წესით ოპერაციაქმნილ ცხოველებს ვაგუსური ინერვაცია შენარჩუნებული ჰქონდათ).

კუჭის ფისტულიან (ბასოვის წესით) ძაღლებს ერეცხებოდათ კუჭი და იზოლირებულ ოთახში ვაყენებდით საცდელ მაგიდაზე, რის შემდეგ ბარძაყის მიდამოში (კუნთებში) უკეთდებოდათ 2 კბ სმ 1%-ანი ნეიტრალროტის ხსნარი (ცდას ვიწყებდით კუჭის წვენის ნეიტრალური რეაქციის პირობებში).

ჩატარებულმა ცდებმა დაგვანახვა, რომ კუჭის ფისტულიან ძაღლებს ნეიტრალროტის გაკეთებიდან 5 — 10 წუთის შემდეგ ეწყებათ კუჭის წვენის სეკრეცია, მოწითალო შეფერვით, რომელიც 15 - 20 წუთის შემდეგ შეფერვის მაქსიმალურ დონეს აღწევს და დაახლოებით 40 — 80 წუთს გრძელდება, რის შემდეგ შეფერვის ინტენსივობა კლებულობს და ნეიტრალროტის შეყვანიდან 1,5 — 2 საათის შემდეგ მთლიანად უფერული ხდება.

ნორმების დადგენის შემდეგ ცხოველებს გაუკეთდა ტრანსთორაკული ორმხრივი ვაგოტომია. ცდები წარმოებდა ვაგოტომიის მე-7 დღიდან და გრძელდებოდა რვა თვემდე.

ცდების შედეგები წარმოდგენილია პირველ ცხრილში, საიდანაც ირკვევა რომ ცდომილი ნერვების გადაკვეთის შემდეგ კუჭის ლორწოვანას მიერ საღებავ ნეიტრალროტის გამოყოფის უნარი მთლიანად ისპობა. საღებავის მცირე ინტენსივობის ექსკრეცია იწყება ვაგოტომიიდან დაახლოებით ერთი — ერთ-ნახევარი თვის შემდეგ, შეფერვის საშუალო ინტენსივობას აღწევს საღებავის შეყვანიდან 40 — 60 წუთის შემდეგ და ასეთ დონეზე ჩერდება მთელი დაკვირვების, ე. ი. რვა თვის მანძილზე.

იზოლირებულკუჭიან ძაღლებზე სალებავ ნეიტრალროტის ექსკრეციას ვაკვირდებოდით სხვადასხვა კლასიკური საუზმის (პური 200 გრ., ხორცი 200 გრ., რძე 600 გრ.) მიცემის შემდეგ.

ზელდინას [2] მიერ შესწავლილ იქნა სალებავ ნეიტრალროტის გამოყოფის ინტენსივობა კუჭის სხვადასხვა ნაწილიდან და გამოირკვა, რომ სალებავის გამოყოფას ძირითადად კუჭის ფუნდური ნაწილი აწარმოებს.

აქედან გამომდინარე, ჩვენ მიერ იზოლირებული კუჭი შექმნილი იყო ფუნდური ნაწილიდან.

ცხრილი 2

ნეიტრალროტის გამოყოფა პავლოვის წესით იზოლირებულკუჭიან ძაღლზე (შერეული საკვების დროს)

ვაგოტომიამდე	ვ ა გ ო ტ ო მ ი ი ს შ ე მ დ ე გ					
	5 დღე	15 დღე	1 თვე	$1^1/_2$ თვე	2 თვე	3 თვე
8 წუთ. კარგი შეფერვა	1 საათ. არ არის სალებავი	40 წ. საშუალო შეფერვა	30 წ. საშუალო შეფერვა	30 წ. კარგი შეფერვა	20 წ. კარგი შეფერვა	17 წ. კარგი შეფერვა

პავლოვის წესით იზოლირებული კუჭის მქონე ძაღლებზე ჩატარებული ცდების შედეგები წარმოდგენილია მეორე ცხრილში, საიდანაც ირკვევა, რომ შერეული საკვების მიღებისა და ნეიტრალროტის გაკეთების შემდეგ, ნორმულ პირობებში, კუჭის წვენში სალებავი 8 წუთში გამოიყოფა. აღნიშნული დრო მეტად სტაბილურია და ყველა ცდაში მეორდება.

ორმხრივი ვაგოტომია სალებავის გამოყოფას ძლიერ აფერხებს და პირველ დღეებში სრულიად სპობს. აღნიშნულ ცხოველებზე ცდებს ვაწარმოებდით 3 თვის განმავლობაში და გამოირკვა, რომ ვაგოტომიიდან ერთი თვის შემდეგ ნეიტრალროტის გამოყოფა, მართალია, აღინიშნება, მაგრამ ნორმალურ მდგომარეობას მაინც ვერ აღწევს.

ბრესტკინ-სავიჩის წესით ნაოპერაციევ ცხოველებზე ჩატარებული ცდების შედეგები წარმოდგენილია მესამე ცხრილში, საიდანაც ირკვევა, რომ ცთომილი ნერვის გადაკვეთის შემდეგ კუჭის მიერ სალებავის გამოყოფა საგრძნობლად შეფერხდა და 2,5 თვის განმავლობაში დაკნინებული დარჩა.

ცხრილი 3

ნეიტრალროტის გამოყოფა ბრესტკინ სავიჩის წესით იზოლირებულკუჭიან ძაღლზე

ვაგოტომიამდე	ვ ა გ ო ტ ო მ ი ი ს შ ე მ დ ე გ					
	10 დღე	18 დღე	28 დღე	45 დღე	55 დღე	70 დღე
11 წ. კარგი შეფერვა	1 საათ. სუსტი შეფერვა	30 წ. საშუალო შეფერვა	18 წ საშუალო შეფერვა	20 წ. კარგი შეფერვა	18 წ. კარგი შეფერვა	20 წ. კარგი შეფერვა

ამრიგად, ვუკეთებთ რა ანალიზს იზოლირებულკუჭიან ძაღლებზე ჩატარებული ცდების შედეგებს, იმ დასკვნამდე მივდივართ, რომ ცდომილი ნერვების გადაკვეთა იწვევს საღებავის გამოყოფის შეფერხებას, კერძოდ: თუ ნორმალურ მდგომარეობაში კუჭის მიერ საღებავი გამოიყოფა კუნთებში გაკეთებიდან 8—15 წუთის განმავლობაში, ვაგოტომიის შემდეგ მისი გამოყოფა ხდება 1—2 საათის დაგვიანებით. აღნიშნული მოვლენა თანდათან სწორდება და კუჭის ლორწოვანას საღებავის გამოყოფის უნარი 2—3 თვის შემდეგ ნაწილობრივ უბრუნდება, მაგრამ ნორმალურ მდგომარეობას მაინც ვერ აღწევს.

ჩვენი ცდებისა და საკითხის ლიტერატურის მიმოხილვის საფუძველზე შეიძლება გამოვიტანოთ შემდეგი დასკვნები:

1. კუჭის ლორწოვანას მიერ საღებავ ნეიტრალროტის გამოყოფის ინტენსივობით შეიძლება ვიმსჯელოთ კუჭის ექსკრეციულ ფუნქციაზე;

2. კუჭის ექსკრეციული ფუნქცია ძირითადად ნეირორეფლექსური გზით რეგულირდება, ძირითადად ცთომილი ნერვების საშუალებით;

3. ცთომილი ნერვების გადაკვეთა მკვეთრად აქვეითებს კუჭის ექსკრეციულ ფუნქციას, რაც ორი-სამი თვის განმავლობაში თანდათან სწორდება, მაგრამ ნორმალურ მდგომარეობას მაინც ვერ უბრუნდება.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ექსპერიმენტული და კლინიკური ქირურგიისა
და ჰემატოლოგიის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 10.1.1953)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. И. П. Разенков. Новые данные по физиологии и патологии пищеварения. М., 1948.
2. А. М. Зельдина. Выделение краски нейтральрот в желудке. Сборник „Нервио-гуморальные регуляции деятельности пищеварительного аппарата", под редакцией К. М. Быкова, М., 1949.
3. Р. Л. Лурия. Экскреторная функция желудка и ее клиническое значение. Журн. „Клиническая медицина", т. XVII, № 4, 1939.
4. Э. Е. Цвилиховская. Клинические и экспериментальные наблюдения над экскреторной функцией желудка. Журн. „Клиническая медицина", т. XIV, № 9, 1936.

ფსიქოლოგია

ი. ბჟალავა

პირობით გამღიზიანებელთან შეუღლებული თანამიმდევარი ოპტიკური გამოხატულება

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ნ. ბერძენიშვილმა 17.6.1952)

საკითხის დასმა

ამ შრომის მიზანია გვიჩვენოს—შესაძლებელია თუ არა პირობით სიგნალთან თანამიმდევარი ოპტიკური გამოხატულების შეუღლება.

მეთოდი

კვლევის ინდიკატორად ცნობიერების ისეთი ელემენტარული შინაარსი ავირჩიეთ, როგორიცაა გამღიზიანებლის თანამიმდევარი ოპტიკური გამოხატულება. ძირითად გამღიზიანებლად გვქონდა თეთრ ფონზე დაწებებული წითელი წრე, რომელიც ოთხკუთხედის ფორმის შავ ყუთში იყო მოთავსებული. ამ ყუთის ორივე მხარეზე თითო 60-სანთლიანი ელნათურა გვედგა. მას წედაპირი ღია აქვს და ცდისპირის წინ მაგიდაზეა მოთავსებული. ცდის ხელმძღვანელი საექსპერიმენტო კამერის გარეთაა და აქედან აწარმოებს ყუთის განათებას. ცდისპირის მარცხენა მხარეზე სინათლის ჩამრთველია მოწყობილი, რომლის ფოლაქზე თითის დაჭერით ოთახის გარეთ მოთავსებული ელნათურას განათება წარმოადგენდა თანამიმდევარი ოპტიკური გამოხატულების ჩაქრობის სიგნალს. გენერატორი შეერთებული იყო საექსპერიმენტო კამერასთან, რომლის ხმას (300 ჰერცი) ცდისპირი ყურებზე ჩამოცმული ვიბრატორებით ისმენდა. გენერატორის დატვირთვას სპეციალური აღმრიცხველის საშუალებით ვადევნებდით თვალყურს. ცდის ხელმძღვანელის მაგიდაზე სილის საათი იდგა, რომლის მიხედვით ის ცდათა შორის პაუზას აღრიცხავდა. წუთსაზომით წარმოებდა გენერატორის მუშაობის, ყუთის განათებისა და გამღიზიანებლის ოპტიკური გამოხატულების ხანგრძლივობის გაზომვა.

თვალების სიბნელისადმი ადაპტაციის მიზნით ცდისპირი 15 წუთი იჯდა ხელოვნურად განათებულ კამერაში. ცდა გენერატორის ჩართვით იწყებოდა, რომლის ხმას (300 ჰერცი) იგი 30 სეკუნდის განმავლობაში ისმენდა, ამის მიდევნებით ცდის ხელმძღვანელი ყუთის ჩამრთველის ფოლაქზე თითის დაჭერით ძირითად გამღიზიანებელს 2 სეკუნდის განმავლობაში ტოვებდა განათებულ მდგომარეობაში. პირობითი სიგნალის მოქმედება გამღიზიანებლის ოპტიკური გამოხატულების ჩაქრობამდე გრძელდებოდა, რომლის შესახებ ცდისპირი სიგნალს ელნათურას ჩამრთველ ფოლაქზე თითის დაჭერით გვაწვდიდა. ასე მიმდინარეობდა სიგნალთან ოპტიკური გამოხატულების შეუღლება, რომელსაც ჩვენს ცდებში უპირობო რეფლექსის როლი აქვს დაკისრებული. როგორც ვხედავთ, ექსპერიმენტში ცდისპირის სიტყვიერი ჩარევა საჭირო არ არის და ამდენად საშუალებას იძლევა კვლევა პირველ სიგნალურ სისტემაზე დამყარებით წარვმართოთ; ცდას ყოველთვის დღის განსაზღვრულ საათებში ვიწყებდით და 10 შეუღლების განმავლობაში გრძელდებოდა. ყოველ

შეუღლებას შორის პაუზა 3 წუთი იყო. სამი ცდისპირი ღებულობდა ჩვენს ცდაში მონაწილეობას და ყოველ მათგანს ექსპერიმენტის დამთავრების შემდეგ თვითდაკვირვების მასალა ოქმში იქვე საკუთარი ხელით შეჰქონდა.

ექსპერიმენტული მასალა

პირობითი სიგნალის გავლენა თანამიმდევარ ოპტიკურ გამოხატულებაზე ცდის დასაწყისშივე აშკარად ჩანს, მაგრამ ამ მომენტში მისი ზემოქმედების ეფექტი უარყოფითი უფროა, ვიდრე დადებითი. ეს იქიდან ჩანს, რომ შემცირებულია ოპტიკური გამოხატულების ხანგრძლიობა, სწრაფად იშლება, კარგავს სიმყარეს და ხმის გავლენით ციმციმს იწყებს. ამას 3—4 ცდის ფარგლებში აქვს ადგილი, რის შემდეგ ოპტიკურ გამოხატულებაზე დაკვირვება ჩვეულებრივი გზით მიმდინარეობს.

გამღიზიანებელთა 10—15 შემაუღლებელი ცდა სრულიად საკმარისი აღმოჩნდა, რომ ე. წ. დროის რეფლექსი გამტკიცებულიყო, რომლის მიხედვით ცდისპირი საკმაოდ მიახლოებით განსაზღვრავდა სიგნალის მიცემის ჟამს. მიუხედავად ამისა, თანამიმდევარ ოპტიკურ გამოხატულებაში ჯერ კიდევ არაფერი ჩანდა ისეთი, რომლის საფუძველზეც შეგვეძლო დაგვესკვნა, რომ ის პირობით სიგნალთანაცაა შეუღლებული. ძილთან ცდის მიმდინარეობაში ბრძოლა საგანგებო ზრუნვის საგნად გადაიქცა, მიუხედავად ამისა, არა ერთ შემთხვევას ჰქონდა ადგილი, როცა სიგნალმა მთვლემარე ცდისპირს მიუსწრო.

უპირობო და პირობით გამღიზიანებელთა შეუღლებამ გვიჩვენა, რომ ამ პროცესის მიმდინარეობა ხუთი ეტაპისაგან შედგება.

პირველ ეტაპზე წინ წამოწეულია ბადურის აგზნების სიმპტომი, რაც იმით იწყება, რომ თვალწინ ამოძრავდება განათებული წერტილების ხან გაძლიერებული და ხან შენელებული ნაკადი. ცდისპირები ამ ფოტონების მსგავს მოვლენებს ,,მოძრავი ნისლის'', ,,თეთრი ღრუბლის'' სახელწოდებით აღნიშნავდნენ. ფოტონები უფორმოა და სწრაფად ლაგდებიან გამღიზიანებლის მდებარეობის ადგილზე. მაგრამ ასევე სწრაფად მიმდინარეობს მათი ,,აორთქლება''.

მეორე ეტაპი აღსანიშნავია იმით, რომ სიგნალის მიცემით ,,ფოტონების'' მოძრაობა ძლიერდება, თვალების დაძაბულობაც თანდათან მატულობს. სიგნალს ამ განათებული და მუდამ მოძრავი წერტილების განლაგებაში თითქოს წესრიგი შეაქვს. ,,ბადურიდან გამოსხივება'' იმდენად მყარ სახეს იღებს, რომ თვალწინ ერთი განათებული არე დგება, რომელიც ,,ღრუბელივით თეთრი'' როდია, არამედ რუხი მოყვითალო. ეს არის ბადურის აგზნების სიმპტომთა ჩამოყალიბების სტადია, რომელიც, როგორც აღნიშნავდნენ ცდისპირები, გამღიზიანებლის თანამიმდევარ გამოხატულებას აგონებდა მათ, მაგრამ იმდენად შორეული იყო მსგავსება, რომ იქვე განმარტავდნენ: ,,ეს მაინც არ უნდა იყოს გამღიზიანებლის თანამიმდევარი გამოხატულება''. ეს ფენომენი უკეთ ჩანს სიგნალის დასაწყისში, ან მისი მოქმედების უკანასკნელ სტადიაზე, ზოგჯერ სრულიადაც არ გამოჩნდება.

მესამე ეტაპზე რუხი-მოყვითალო არე სიგნალის გარეშეც წამოიჭრება და გარეთ პროექცირებული ჩანს. მას ჯერ კიდევ არა აქვს ჩამოყალიბებული ფორმა, მაგრამ სიგნალთან ერთად მკაფიოდ შემოსაზღვრულობა ეტყობა. ჩვენ წინ სინათლის კვალია, რომელიც გარეგნობით იმდენად უახლოვდება გამღი-

ზიანებელს, რომ ცდისპირები მის ,,ზოგად ფონს'' უწოდებენ. ამ მოვლენის არც სიგნალთან კავშირი შეინიშნება ყოველთვის; იგი ზოგჯერ აძლიერებს მას, ზოგჯერ კი მისი გავლენით იფანტება. საბოლოოდ, იმდენად აკვიატებულ მოქმედებას იძენს, რომ ცდისპირები ოპტიკური გამოხატულების ჩაქრობის შესახებ სიგნალს დარწმუნების გარეშე იძლეოდნენ, რადგანაც მხედველობის არე განათებული რჩებოდა.

მეოთხე ეტაპი იმით არის აღსანიშნავი, რომ ეს განათებული არე ჩამოყალიბებულ ფორმას ბოლომდის ინარჩუნებს. ახლა, ცდისპირის დახასიათებით, იგი ისეთივეა, როგორიც იყო გამღიზიანებლის თანამიმდევარი ოპტიკური გამოხატულება ჩაქრობის მომენტში. ,,ჩემი აზრით,—აღნიშნავს ცდისპირი,—ეს უნდა იყოს გამღიზიანებლის თანამიმდევარი პოზიტიური ფერის ოპტიკური გამოხატულება იმ მომენტში, როცა ის ნეგატიური ფერის ფაზაშია გადასული''. ეს ფენომენი თვალების მოძრაობას დაჰყვება და სიგნალის მიცემით ძლიერდება. უკანასკნელ მომენტში მან იისფერი შეფერადება და ისეთი ინტენსიური განათება შეიძინა, რომ ცდისპირს ეგონა კამერაში სინათლე არის შემოპარულიო. ახლა არავის ეპარებოდა ეჭვი, რომ თვალწინ გამღიზიანებლის ასლი იდგა.

მეხუთე ეტაპზე სიგნალთან ერთად ჩანდა არა მარტო გამღიზიანებლის ,,ნეგატიური'' თანამიმდევარი გამოხატულება, არამედ წითელი წრის ხაზიც, მაგრამ ისეთ მუქ ფერში, რომ შავი უფრო იყო, ვიდრე წითელი. ეს ,,შავი წერტილი'' იშვიათად აღმოცენდება და სწრაფად ქრება, ამავე დროს მისი ფონის ოპტიკური გამოხატულება დიდხანს არ იძვრის ადგილიდან. საერთოდ, პოზიტიური ფერის ოპტიკური გამოხატულების სიგნალთან შეუღლებული მოქმედება არც ერთი ცდისპირის მიერ არ ყოფილა შენიშნული. რაც შეეხება აქრომატულ ოპტიკურ გამოხატულებას, მას ისეთი აკვიატების ძალა აღმოაჩნდა, რომ ცდისპირის ჩაბნელებულ კამერაში შესვლაც საკმარისი იყო, რომ იგი თვალწინ დამდგარიყო. რასაკვირველია, ამით შეუღლების პროცესი მთავრდება და ცდასაც აქვე ვწყვეტდით. ცდას ვწყვეტდით იმიტომ, რომ ხატის აღმოცენებას მხოლოდ პირობითი სიგნალის მიცემა იწვევდა, ძირითადი გამღიზიანებლის განათების გარეშე.

ახლა ობიექტური შედეგების განხილვაზე გადავიდეთ, რომელნიც პირობით სიგნალთან შეუღლებული თანამიმდევარი ოპტიკური გამოხატულების ხანგრძლიობას გვიხასიათებენ.

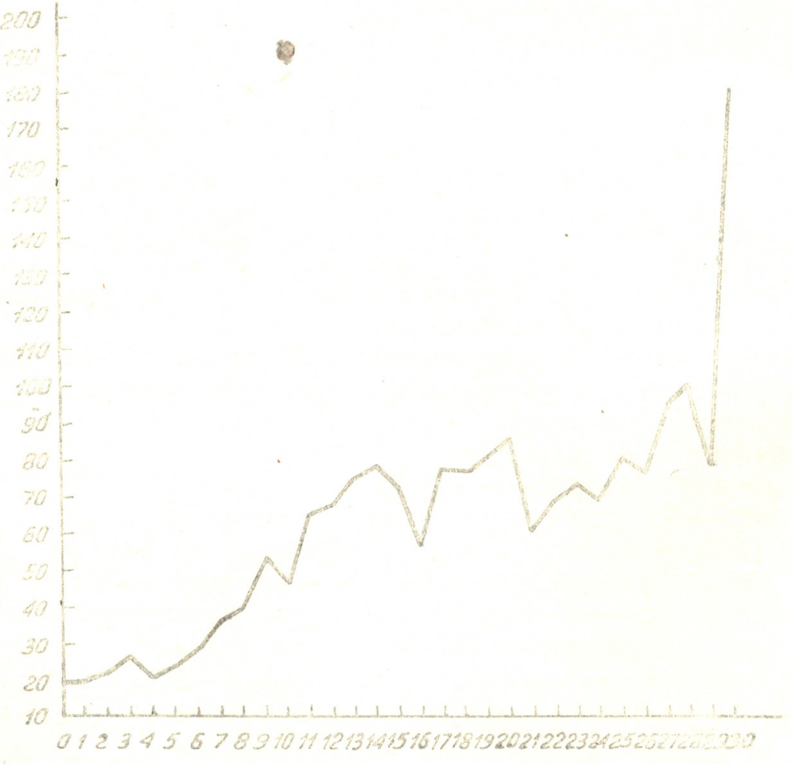
ცდისპირი ნ. რ. განათლებით ექიმი, 25 წ.,
ცდის დასაწყისი—დღის 2 საათი;
თვალების სიბნელისადმი ადაპტაციის დრო—15 წ.;
პირობითი სიგნალის მოქმედების ხანგრძლიობა—30 წ.;
ძირითადი გამღიზიანებლის განათების ხანგრძლიობა—2 წ.;
გამღიზიანებლის თანამიმდევარი ოპტიკური გამოხატულების საშუალო ხანგრძლიობა—15,5 წ.

№ 1-დან პირველი სიგნალის მიცემა ოპტიკურ გამოხატულებაზე უარყოფითად მოქმედებს, ამის გამო მისი ხანგრძლიობა 10 სეკუნდს უჩვენებს, მაგრამ 10 შეუღლების ბოლოს იგი 20,6 სეკუნდს განაგრძობს ჩაუქრობლად თვალწინ დგომას (იხ. ცხრილი № 1). საერთოდ, ამ პროცესის ზრდა მე-20 ცდიდან იწყება და 50 შეუღლებაზე 24,95 სეკუნდამდე აღწევს. მე-80 შეუღლებაზე ისეთ სიმაღლეზეა ასული (39,95''), რაც ჩვეულებრივ პირობებში შეუძლებელიცაა გვენახა.

ცხრილი 1

ცდათა რაოდენობა	ოპტიკური გამოხატულების სიგნალთან ერთად მოქმედების ხანგრძლიობა	ოპტიკური გამოხატულების სიგნალთან ერთად მოქმედების ხანგრძლიობა ცდის დასაწყისში
10	20,15″	10,0″
50	24,96″	21,7″
80	39,95″	28,0″
120	68,58″	57,0″
150	73,89″	51,0″
200	86,14″	55,6″
250	78,4″	40,0″
280	100,21″	66,0″
300	180,0″	180,0″

ამ ცხრილიდან ჩანს, რომ ოპტიკური გამოხატულების ხანგრძლიობა 300 შეუღლებამდე ქანაობს, მხოლოდ აქ აღწევს 180 სეკუნდამდე და ამიერიდან მისი მოქმედება სტაბილური რჩება. ამ პროცესის მსვლელობა თვალსაჩინოდ



სურ. 1

არის წარმოდგენილი მრუდზე, რომელიც ყოველი 10 შეუღლების საშუალო რიცხვის მიხედვით არის შედგენილი. მრუდი 260 შეუღლებიდან სწრაფი ტემ-

ბით მიიწევს ზევით და, როგორც ითქვა, 180 სეკუნდზე ჩერდება. აღსანიშნავია, რომ სიგნალის პირველი მიცემიდანვე ოპტიკური გამოხატულება, ძირითადი გამღიზიანებლის განათების გარეშე, ისევ 180 სეკუნდი გრძელდება და შემაუღლებული ცდების ამის შემდეგ რაოდენობრივი ზრდა მას ახალს არაფერს სძენს.

ასეთივე გამომწვევი ძალა აღმოაჩნდა საექსპერიმენტო კამერას, სადაც შესვლაც საკმარისია, რათა ოპტიკური გამოხატულება მთელი სიძლიერით აღმოცენდეს. სპეციალურმა დაკვირვებამ გვიჩვენა, რომ ასეთსავე ეფექტს იძლევა სიბნელეში ჯდომა. ერთი სიტყვით, თვალსაჩინო ოპტიკურ გამოხატულებას უნივერსალური განზოგადების ისეთივე თვისებები აღმოაჩნდა, როგორც ეს კვალის რეფლექსის მოქმედებიდან არის ცნობილი. მათ შორის ანალოგია იმ მხრივაც ჩანს, რომ კვალის რეფლექსის ხანგრძლიობამ, როგორც ეს აკად. ივ. პავლოვის ფიზიოლოგიურ ლაბორატორიებში იყო ნაჩვენები, შესაძლებელია 160—180 სეკუნდამდე მიაღწიოს.

არსებითად ასეთივე შინაარსის შედეგები მოგვცა დანარჩენი ცდისპირების შესწავლამ, მაგრამ უადგილობის გამო ამ მასალის ცალკე განხილვის შესაძლებლობას მოკლებული ვართ.

აქ წარმოდგენილი ექსპერიმენტული ფაქტები სავსებით ცხადად გვიჩვენებენ, რომ გამღიზიანებლის თანამიმდევარი ოპტიკური გამოხატულება სიგნალის მოქმედებას უკავშირდება. ქერქში მხედველობისა და სმენის აგზნებულ კერათა შორის იკაფება გზა, ყალიბდება დროებითი კავშირი, რომლის საფუძველზე თვალსაჩინო ოპტიკური გამოხატულება აღწევს იმას, რომ შეუძლია 180 სეკუნდს იდგეს თვალწინ და ისიც სინათლის მიცემის გარეშე. ამით საკითხი ცნობიერების ამ ელემენტარული შინაარსის რეფლექსური ბუნების შესახებ, რასაკვირველია, არ წყდება, რადგანაც პირობით რეფლექსს შეუღლებასთან ერთად ჩაქრობაც ახასიათებს.

თვალსაჩინო ოპტიკური გამოხატულების ჩაქრობის პროცესის შესასწავლად ცდისპირს სიგნალი განმამტკიცებელი ცდების გარეშე ეძლევა, ე. ი. ძირითადი გამღიზიანებლის განათება არ წარმოებს. გამოირკვა, რომ მისი ჩაქრობა არც ისე ადვილი მისაღწევია, როგორც ამას პირობით გამოყოფილი ნერწყის შემთხვევაში აქვს ადგილი. ამ პროცესის მიმდინარეობას გვიჩვენებს ქვემოთ მოყვანილი ცხრილი № 2.

ცხრილი 2

ცდების რაოდენობა	თვალსაჩინო ოპტიკური გამოხატულების ხანგრძლივობა
10	180″
20	180″
30	180′
40	180″
50	64″
60	65″
70	20″
80	3,6″
90	0,0″

4 დღის, ე. ი. 40 ცდის განმავლობაში განმამტკიცებელ ცდისთვის არ მიგვიმართავს, მაგრამ თვალსაჩინო ოპტიკური გამოხატულების ხანგრძლიობაზე ამას გავლენა არ მოუხდენია. გარდატეხას 50-ე ცდაზე აქვს ადგილი, აქ მისი ხანგრძლიობა ერთბაშად 64 სეკუნდამდე ეცემა და მე 80 ცდაზე მაქსიმალურად შეკვეცილ დროში ახერხებს მოქმედებას. როგორც ოქმების

გადათვალიერებიდან ჩანს, მე-60—70-ე ცდიდან მას სიგნალთან დაკავშირებით გამოცოცხლება ეტყობა, პაუზებს შორის აქტუალიზაციის უნარი არ დაუკარგავს, მაგრამ თანდათან მისი ხანიერება და ძალა იმდენად სუსტდება, რომ პირობითი სიგნალის მოქმედების დროსაც არ ჩანს. ოპტიკური გამოხატულების ხანგრძლიობა 90-ე ცდაზე ნულებით გვაქვს აღნიშნული, მაგრამ ეს არ ნიშნავს იმას, რომ მის სრულ აღკვეთას მივაღწიეთ. მართალია, იგი ხანგრძლივი დროის განმავლობაში არ ჩანდა, მაგრამ აქა-იქ გამოკრთომის უნარი მაინც არ დაუკარგავს.

როგორც ოპტიკური გამოხატულების ჩაქრობა, ისე მისი აღმოცენება ხანგრძლივი პროცესია, რომელიც სამ ერთიმეორისაგან განსხვავებულ ეტაპად იყოფა.

პირველი პერიოდისათვის დამახასიათებელია ის, რომ იგი ჯერ კიდევ სიგნალის გარეშეც ჩანს, მკაფიოდ ჩამოყალიბებული ფორმა აქვს, თვალების მოძრაობას დაჰყვება და მოქმედების დროს, რომელიც 4 დღეს გრძელდებოდა, მაქსიმალური ხანგრძლიობა ახასიათებს. ერთ-ერთი და, შეიძლება ითქვას, ძირითადი მნიშვნელობის სიმპტომი, რითაც ის ჩვეულებრივი თანამიმდევარი ოპტიკური გამოხატულებისაგან განსხვავდება, იმაში მდგომარეობს, რომ მანძილის ცვალებადობის მიხედვით გადიდებას და დაპატარავებას არ გვიჩვენებს [1]. მეორე პერიოდში ამ თვალსაჩინო ოპტიკური გამოხატულების ხანგრძლიობა საგრძნობლად შემცირებულია, პაუზათა შორის აღმოცენებას ახერხებს, მაგრამ შედარებით მალე მიდის ჩაქრობამდე და მეტწილად სიგნალთან შეუღლებამდე არსებული ხანგრძლიობის ფარგლებში ტრიალებს. მესამე პერიოდში ფორმა დაკარგული აქვს, მისი ხანგრძლიობა 5—10 სეკუნდით იზომება, პაუზებს შორის არ ჩანს, მაგრამ აქტუალიზაციის უნარი მაინც არა აქვს სრულიად დაკარგული. საბოლოოდ, ჩვენ წინ არა თვალსაჩინო ოპტიკური გამოხატულებაა, არამედ ბადურის აგზნების სიმპტომია.

რის ჩაქრობასთან გვაქვს საქმე? ცხადია, დროებითი კავშირისა, რომელიც სმენისა და მხედველობის რეცეპტორთა ნერვული გზების შეერთებით ჩამოყალიბდა. როცა ამ ქერქული გზების კავშირს, როგორც სისტემურ მთლიანს, მხედველობის რეცეპტორი გამოვაცალეთ, როგორც მოსალოდნელი იყო, მასში აგზნებულობამ თანდათან იკლო და მის საფუძველზე მოქმედი ფენომენიც— თვალსაჩინო ოპტიკური გამოხატულება—ასევე თანდათან ჩაქრა. მაგრამ საკითხავია, იგი მთლიანად მოისპო თუ არა?

ამ მიზნით 12 დღის შემდეგ თვალსაჩინო ოპტიკური გამოხატულების აღდგენის პროცესი შევამოწმეთ და გამოირკვა, რომ საექსპერიმენტო კამერაში შესვლისთანავე აღმოცენდა ბადურის აგზნების სიმპტომი. ცდისპირი ჯერ გაფორმებულ ოპტიკურ გამოხატულებას ვერ ხედავს, მაგრამ განათებული არე თვალწინ უდგას. ასეთ ვითარებაში საკმარისი აღმოჩნდა პირველი შეუღლების ცდა, რომ ჩვენს ფენომენს ოპტიმალური ხანგრძლიობა დაბრუნებოდა.

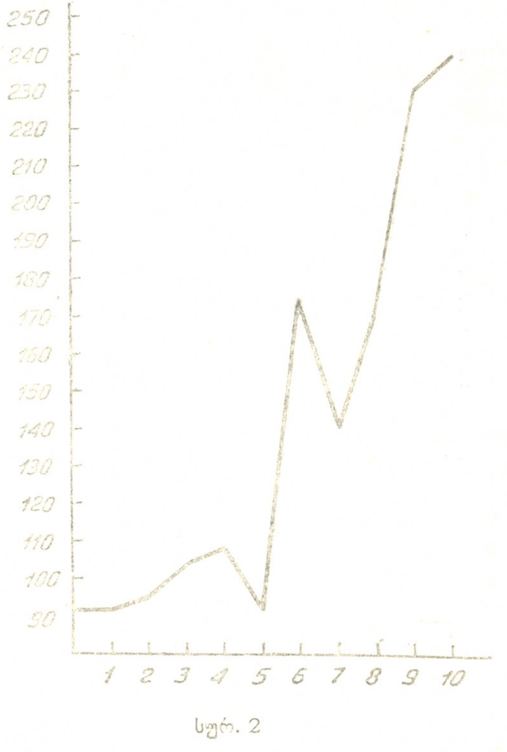
თანამიმდევარ ოპტიკურ გამოხატულებაზე დასვენებას, როგორც ცხრილიდან ჩანს, ცუდად არ უმოქმედია. პირველი შემაუღლებელი ცდისას 92,3 სეკუნდის განმავლობაში მისი ჩაუქრობლად მოქმედება იმის მაჩვენებელია, რომ პირობით სიგნალთან ოპტიკური გამოხატულების კავშირი არ ყოფილა მთლიანად აღკვეთილი. ნერვული გზების ჩამოყალიბებული სისტემურობა

ე. ი. სისტემა კავშირებისა, რომლის საფუძველზეც მოქმედებდა სიგნალთან შეუღლებული თვალსაჩინო ოპტიკური გამოხატულება, როგორც აქ წარმოდგენილი მეორე მრუდიდან ჩანს, სწრაფად უბრუნდება თავის პირვანდელ მდგომარეობას. ყოველ შემთხვევაში მეექვსე განმამტკიცებელ ცდაზე ხანგრძლიობა, უკეთ რომ ვთქვათ, მისი მოქმედების ძალა 175,4 სეკუნდით იზომება და, რაც საგანგებოდ უნდა იქნეს აღნიშნული, ეს დრო მე-10 ცდაზე 240 სეკუნდამდე იზრდება. ამრიგად, აქაც სავსებით იგივე მეორდება, რაც პირობითი რეფლექსების მოქმედებიდან არის ცნობილი, სახელდობრ ის, რომ ერთხელ ჩამოყალიბებულ დროებით კავშირებს, მათ სისტემურობას ჩვეულ პირობებში აქტუალიზაციისა და ხელმეორედ სწრაფი აღდგენის უნარი გააჩნია.

ცხრილი 3

ცდის რაოდენობა	თვალსაჩინო ოპტიკური გამოხატულების ხანგრძლიობის აღდგენა
1	92,3″
2	95,5″
3	104,1″
4	108,0″
5	93,0″
6	175,4″
7	140,5″
8	171,0″
9	232,0″
10	240,0″

თვალსაჩინო ოპტიკური გამოხატულების ჩაქრობა, ცხადია, შინაგანი შეკავების მოვლენას ემყარება, მაგრამ მისი მადიფერენცირებელი გავლენის შესახებ რა უნდა ითქვას? ამის გასარკვევად ექსპერიმენტი ორ ცდისპირზე ცალკე დავაყენეთ. დადებითი გამღიზიანებლის როლს ასრულებდა გენერატორის ხმა (300 ჰერცი), რომელიც თანამიმდევარ ოპტიკურ გამოხატულებასთან იყო შეუღლებული; უარყოფით გამღიზიანებლად იმავე გენერატორის ხმა (100 ჰერცი) ავიღეთ, რომლის მიცემის დროს ძირითადი გამღიზიანებლის განათებას არ მივმართავდით. ამ ორ ცდას შორის პაუზა 5 წუთს გრძელდებოდა. ცდის შედეგები ქვემოთ არის მოყვანილი (ცხრ. 4).



სურ. 2

ამრიგად, უარყოფითი სიგნალის მიცემით თანამიმდევარი ოპტიკური გამოხატულების ხანგრძლიობა პირველ შემთხვევაში 30 სეკუნდიდან 7 სეკუნდამდე შემცირდა, მეორე ცდა-

ზე—25 სეკუნდიდან 6 სეკუნდამდე. აღსანიშნავია არა მარტო ეს, არამედ ისიც, რომ უარყოფითი გამღიზიანებლის ზეგავლენით ოპტიკური გამოხატულება ბუნდოვანია, ძნელად გასარჩევი და დაკარგული აქვს დამახასიათებელი კონტურები. ამრიგად, ამ მხრივაც თანამიმდევარი ოპტიკური გამოხატულება პირობითი რეფლექსებისათვის დამახასიათებელი კანონზომიერების ფარგლებში რჩება.

ცხრილი 4

სიგნალი	ოპტიკური გამოხატულების ხანგრძლიობა
300 ჰერცი	30,0″
პაუზა 5	
100 ჰერცი	7″
პაუზა 5	
300 ჰერცი	25″
პაუზა 5	
100 ჰერცი	6″

ნიშნავს თუ არა ეს იმას, რომ გამღიზიანებლის თანამიმდევარი ოპტიკური გამოხატულება და აგზნება და შეკავება ერთი და იგივეა? რასაკვირველია, არა. არ იქნება მართებული მათი გაიგივება თუნდ იმიტომ, რომ თანამიმდევარ ოპტიკურ გამოხატულებას აქვს ფორმა, აქვს ფერი, იგი საგნის ასლია, მისი სახე, რომელიც ჩვენ თვალწინ დგას და ასედაც განიცდება. აგზნებასა და შეკავებას არც ერთი ეს მხარე არ გააჩნია. აგზნებათა და შეკავებათა კავშირი, მათი სისტემურობა ფიზიოლოგიური მოვლენაა, თვალსაჩინო ოპტიკური გამოხატულება — ფსიქიკური, პირველი მეორის საფუძველია, ამიტომ ერთად არსებობენ და მოქმედებენ.

ჩვენი საბოლოო დასკვნა ასეთია: თანამიმდევარ ოპტიკურ გამოხატულებას ახასიათებს სიგნალთან დროებით შეუღლება, ჩაქრობა, აღდგენა და დიფერენცირება. მისი მოქმედება იმ კანონზომიერებებს ემყარება, რომელიც ტვინის დიდი ჰემისფეროების ფიზიოლოგიის მიერ არის დადგენილი. თანამიმდევარ ოპტიკურ გამოხატულებასა და კვალის რეფლექსის მოქმედებათა შორის სრულიად უეჭველი მსგავსება არსებობს. ამ დასკვნის გავრცელება ცნობიერების დანარჩენ შინაარსებზე იმას ნიშნავს, რომ თავის ტვინის რეფლექსური მოქმედება ფსიქიკური ფუნქციების საბუნებისმეტყველო საფუძველს წარმოადგენს. ტვინი ჭეშმარიტად ფსიქიკის ორგანოა, ამიტომ მის პროდუქტში ამ ორგანოსათვის დამახასიათებელი მოქმედების კანონზომიერებებს ვხედავთ.

ამიერიდან გადაწყვეტილად შეიძლება ჩავთვალოთ ისიც, რომ პირობითი რეფლექსის მეთოდი შეიძლება წარმატებით გამოვიყენოთ პირველი სიგნალური სისტემის ბაზაზე მოქმედი ცნობიერების ელემენტარულ შინაარსთა კვლევის სფეროში.

სიგნალთან შეუღლებული ფენომენის ზოგიერთი თავისებურება, რითაც ის ჩვეულებრივი თანამიმდევარი გამოხატულებისაგან განსხვავებული ჩანს, აქ საგანგებო მსჯელობის საგნად არ გაგვიხდია, მაგრამ ამ საკითხს სპეციალური დანიშნულების გამოკვლევაში დავუბრუნდებით.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
დ. უზნაძის სახელობის
ფსიქოლოგიის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 17.6.1952)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. ი. ბჟალავა. სივრცის აღქმა თანამიმდევარ ოპტიკურ გამოხატულებაში, საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XIII, № 2, 1952.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XIV, № 2, 1953

ენათმეცნიერება

რ. ღამბაშიძე

სამაგიერო სიგრძე ინგილოურში

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ა. შანიძემ 5.1.1953)

ადგილობრივი («ტერიტორიული») დიალექტები, პირიქით, ემსახურებიან ხალხის მასებს და აქვთ თავიანთი გრამატიკული წყობა და ძირითადი ლექსიკური ფონდი.

ი. სტალინი

ამ წერილის მიზანია, სტალინის მოძღვრების ზემოთ მოყვანილი დებულების საფუძველზე გააშუქოს ქართული ენის ინგილოური კილოს დამახასიათებელი ერთი ფონეტიკური მოვლენა, რომელსაც სამაგიერო სიგრძე ეწოდება. ეს მოვლენა, რომელიც დადასტურებულია ინგილოური კილოს კაკურ კილოკავში[1], სპირანტ ჰ-ს დაკარგვასთანაა დაკავშირებული[2]. მოვლენა იმაში მდგომარეობს, რომ ხმოვანსა და მჟღერ თანხმოვანს შორის მდგომი სპირანტი ჰ იკარგება, მაგრამ ისე, რომ ტოვებს კვალს: აგრძელებს წინამავალ ხმოვანს და ვღებულობთ ე. წ. სამაგიერო სიგრძეს. ეს გაგრძელება, რომელსაც ადგილი აქვს როგორც ზმნებში, ისე სახელებში (სახელებში უფრო იშვიათად), იმდენად დიდია, რომ გაგრძელებული ხმოვანი აკუსტიკურად ორი ხმოვნის შთაბეჭდილებას ახდენს. ამიტომ ეს გაგრძელებული ხმოვანი აქ ყველგან გრაფიკულად ორი ერთნაირი ხმოვნით გვაქვს აღნიშნული.

A. სამაგიერო სიგრძე ზმნებში

აღნიშნული ფონეტიკური მოვლენა ზმნებში გრამატიკულ მნიშვნელობას იძენს და ზმნაში პირის გამოხატვას ემსახურება.

როგორც ცნობილია, სპირანტი ჰ ქართულში მეორე სუბიექტურისა და მესამე ობიექტური პირის ნიშნად იხმარება. ინგილოურშიც ხსენებული პრეფიქსების ძირითად ნიშნად ყოველგვარი თანხმოვნით დაწყებულ ფუძესთან ჰ არის გაბატონებული[3].

---

[1] ინგილოურის მეორე კილოკავში—ალიაბათურში—ის გვხვდება ძალიან იშვიათად.

[2] ასეთსავე შედეგს იძლევა ყ ბგერის დაკარგვა „დაავაჲ“ სიტყვაში (ნახე წერილის ბოლოში).

[3] იშვიათად შესაძლებელია პირის ნიშნად ს შეგვხვდეს, ისიც თანხმოვნების წინ, კიდევ უფრო იშვიათად იმავე თანხმოვნებთან ჰს ან სჰ. „ხარ“ და „ხვალ“ ზმნები გამონაკლისს შეადგენენ ისევე, როგორც სხვა კილოებში. რაც შეეხება პირის ნიშნის ხმარების საკითხს

I. მეორე სუბიექტური პირის ფორმები

სუბიექტური პრეფიქსი მეორე პირისა (ჰ) ზმნაში ხან შერჩენილია, ხან არა; ეს დამოკიდებულია იმაზე, ზმნის ფორმა ყრუ თანხმოვნით იწყება, თუ მჟღერით. თუ ზმნის ფორმა ყრუ თანხმოვნითაა დაწყებული, მეორე სუბიექტური პირის ნიშანი ყოველთვის შერჩენილია იმისდა მიუხედავად, ზმნას ახლავს ზმნისწინი, თუ არა. მაგალითები: ჰ(*ფ*)ტუ̈რვარ („ვტირი"), ჰ(*ფ*)თმაშოვ („ვთამაშობ"), გოჰ(*ფ*)თებ („გავთბი", ძვ. ქართ. „განვტეფ"), დოჰ(*ფ*)სო̈ვლდ („დავსველდი"):

მხ. 1	ჰ(*ფ*)ტუ̈რვარ	ჰ(*ფ*)თმაშოვ	გოჰ(*ფ*)თებ	დოჰ(*ფ*)სო̈ვლდ
2	ჰტირხარ	ჰთმაშოვ	გაჰთებ	დაჰსო̈ვლდ
3	ტირის	თმაშოვს	გათბა	დასო̈ვლდა
მრ. 1	ჰ(*ფ*)ტუ̈რვართ	ჰ(*ფ*)თმაშოვთ	გოჰ(*ფ*)თებით	დოჰ(*ფ*)სო̈ვლდით
2	ჰტირხართ	ჰთმაშოვთ	გაჰთებით	დაჰსო̈ვლდით
3	ტირიან	თმაშოვენ	გათბნენ	დასო̈ვლდნენ

მაგალითები გაბმული ტექსტიდან:

ა) **უზმნისწინო ფორმები**[1]: 1. ჰამმეშა ყმაწუ̈ლევში ჰთმაშოვ, უშკოლში ჰათაარ ლოცულოვა? („მუდამ ბავშვებში სთამაშობ, სკოლაში როგორღა ჰსწავლობ?"); 2. რას ჰჩედი, ჰოგო ხარა, კედემ ნაღილევ ჰწერავა? („რას სჩადიხარ, როგორ ხარ, კიდევ ზღაპრებს სწერ?"); 3. ზაალაჲ ნუ წაჲლ, ჰარ დღე ჰტირ, დესენ შენგნი უყისმათოჲ ჰეჩმინამს ვერ ჰპოვნოვა? („თავი ნუ მომაბეზრე (სიტყვ.-სიტყვ. ზაჰლა ნუ წაიღე), ყოველდღე სტირი, განა შენზე უბედურს ვერავის ჰპოულობ?"); 4. ჰაქთონიც გინ იყუ̈რ, ჰაჲ უმ ჰქნო, შენ თავ შინ განაშომ არ ვარ („რამდენიც გინდა იყვირე, რაც უნდა ჰქნა, შენი შინ გამშვები არა ვარ"); 5. ჰათაარ ჰცხოვროვა? („როგორ სცხოვრობ?").

ბ) **ზმნისწინიანი ფორმები**: 1. გარაქ უმ შენ მოჰკნო, დაჰთესო! („შენ უნდა მოჰხნა, დასთესო!"); 2. ჩონ შენ სანახელა მოსულო̈ყავით, შენ მაჰკდარ ეყავ, ჩონ მოსუ̂ლაში შენ იმაშინავ გაჰცოცხლდ, აადექ („ჩვენ შენს სანახავად მოვსულიყავით, შენ მომკვდარიყავი, ჩვენი მოსვლისას შენ მაშინვე გასცოცხლდი, ასდექი"); 3. თუ არ შაჰწუხდევ, ფაჰჩაჲ აქ დაუ̂ზახივ! („თუ არ შესწუხდები, მეფეს (ფადიშაჰს) აქ დაუძახე!"); 4. წყალსაც შენ მაჲტანავ, ფქუ̈ლსაც შენ გაჰსცრი! („წყალსაც შენ მოიტან, ფქვილსაც შენ გასცრი!"); 5. წუ̈მაში ჰაბე დგეხარა, დაჰსო̈ვლდევ! („რისთვის სდგეხარ წვიმაში, დაჰსველდები!"); 6. შენ დათიც ეყო მოჰკალ, მე შინ ცამ-ცარიალ წოუ̈დეავ? („შენ დათვი მაინც მოჰკალი, მე შინ სულ მთლად ცარიელი წავიდე?").

ხმოვნების წინ, ამ მხრივ ინგილოური არაფრით არ განსხვავდება დღევანდელი სალიტერატურო ქართულისაგან: ხმოვნების წინ პრეფიქსი საყოველთაოდ დაკარგულია.

[1] რომ საქმის ვითარება ნათელი იყოს, მაგალითების თარგმანში ყველგან პირის ნიშნებს ვხმარობთ.

სრულიად სხვაგვარი ვითარებაა, როდესაც ზმნის ფუძე მჟღერი თან-ხმოვნით იწყება: მეორე სუბიექტური პირის ნიშანი აქ საყოველთაოდ დაკარგულია. ოღონდ საინტერესო ისაა, რომ ეს პრეფიქსი დაკარგვისას ზოგჯერ ტოვებს კვალს და ზოგჯერ კი უკვალოდ იკარგება. ეს სავსებით დამოკიდებულია იმაზე, ზმნის ფორმა ზმნისწინიანია თუ უზმნისწინო; როდესაც ფორმა უზმნისწინოა, ე. ი. პირის ნიშანი ანლაუტში უნდა იყოს, მაშინ დაკარგვა ხდება უკვალოდ; ხოლო როცა ფორმა ზმნისწინიანია, ე. ი. პირის ნიშანი ინლაუტში უნდა იყოს, პრეფიქსი იკარგება, მაგრამ ისე, რომ აგრძელებს წინამავალ ზმნისწინის ხმოვანს და ვღებულობთ ე. წ. სამაგიერო სიგრძეს. მაგალითები: ლო̃სავ („ვლესავ“), გლო̃ჟავ („ვგლეჯ“), დოჺბრუნდ („დავბრუნდი“), გოჺზარდ („გავზარდე“).

მხ.	1.3 ლო̃სავ	გლო̃ჟავ	გოჺზარდ	1 დოჺბრუნდ
	2.3 ლესავ	გლეჟავ	გააზარდ	2 დააბრუნდ
	3.3 ლესავს	გლეჟავს	გაზარდა	3 დაბრუნდა
მრ.	1.3 ლო̃სავთ	გლო̃ჟავთ	გოჺზარდით	1 დოჺბრუნდით
	2.3 ლესავთ	გლეჟავთ	გააზარდით	2 დააბრუნდით
	3.3 ლესენ	გლეჟენ	გაზარდეს	3 დაბრუნდნენ

მაგალითები გაბმული ტექსტიდან:

ა) **უზმნისწინო ფორმები:** 1. იქნევ ვერ ბრუნდევ, ეხლიითავ მამ! („იქნებ ვერ ჰბრუნდები, ახლავე მომეცი?“); 2. რაჲბე დერდოვა? („რისთვის სდარდობ?“); 3. ჰაბე დინჟა არ დგევი? („რისთვის დინჯად არ სდგები?“); 4. ჰოგო დუღხარა? („როგორ სდუღხარ?“); 5. შენ ქალევს გათხჷევაჲ უნდაყ, შენ კი თავში ვერ ვარდევივ („შენს ქალიშვილებს გათხოვება უნდათ, შენ კი ვერ ჰხვდებიო (სიტყვა-სიტყვ.: „თავში ვერ ჰვარდებიო“)“; 5. ჰაბე არ ზრახულოვა? („რისთვის არ ჰლაპარაკობ, (სძრახულობ)); 7. თუ ვერ ზლევ, წაჲ! („თუ ვერ სძლებ, წადი!“); 8. რაჲ ლაპარიკოვა? („რას ჰლაპარაკობ?“); 9. თქო̃ნ თქო̃ნ შჷლჷზგნი ხეჲრ ნუ ნახავთ! („თქვენ თქვენი შვილისაგან ხეირს ნუ ჰნახავთ!“); 10. შენ ნუ ნავღულოვ! („შენ ნუ ჰნაღვლობ!“).

ბ) **ზმნისწინიანი ფორმები:** 1. ე ქისაჲ თუ დააბღერტ, მარგალიტი თეთრ ჩამააცჷვნელი („ეს ქისა თუ დაჰბერტყე, მარგალიტის ფული ჩამოცვივდება“); 2. ჩონ შენ სანახელა მოსულო̃ყავით, შენ მამკდარეყავ, ჩონ მოსჷლაში შენ იმაშინავ გაჰცოცხლდ, აადექ („ჩვენ შენ სანახავად მოვსულიყავით, შენ მომკვდარიყავი, ჩვენი მოსვლისას შენ მაშინვე გასცოცხლდი, ასდექი“); 3. შენ დააბრჷმავდი, ვერ დაჲნახი? („შენ დაჰბრმავდი, ვერ დაინახე?“); 4. რაბე დააბრუნდი? („რისთვის დაჰბრუნდი?“); 5. ყმაწჷლ გააბანი, რაჲ უყავი, ნუმ არ დაამდულო? („ბავშვი გაჰბანე, რა უყავი, ხომ არ დაჰმდულრე?“); 6. შენ თუ შენი შჷლჷ სისხლ არ დაალივ, არ გაამთელდევივ („შენ თუ შენი შვილის სისხლი არ დაჰლიე, არ გაჰმთელდები“); 7. ჰაბე გააჟავრდი? („რისთვის გასჯავრდი?“); 8. გააზეხი ტირილი, დედაო? („გასძეხი ტირილით, დედაო?“);

9. სა მიიდი? („სად მისდიხარ?“); 10. ჩემ უქნელა თქჷნ არ მოონათ-ლოთ! („უჩემოდ თქვენ არ მოჰნათლოთ!“); 11. ნუ მოოდიხარ! („ნუ მოსდიხარ!“); 12. ჰაბე მოორეყავა სახში ზირთ-ზიბილს? („რისთვის მოჰრეყავ [ეზიდები] სახლში ნაყარ-ნუყარს?“).

ზმნისწინის ხმოვანთაგან შეიძლება გაგრძელდეს მხოლოდ ა, ი, ო; ე ხმოვანი გვხვდება მხოლოდ შე ზმნისწინში, რომელიც ინგილოურში, ისევე როგორც სხვა აღმოსავლურ კილოებში, უმთავრესად შა-ს სახით არის წარმოდგენილი. ასე რომ ამ ზმნისწინის ხმოვნის გაგრძელების შემთხვევაში ა ხმოვანი გაგრძელდება და არა ე. ხოლო თუ იშვიათად ვხვდებით ამ ზმნისწინს სალიტერატურო ენის ფორმით (შე-ს სახით), მაშინ მისი ხმოვანი უთუოდ მომდევნო ე ხმოვანთან (ვნებითი გვარის მაწარმოებელ პრეფიქსთან) ასიმილაციის ნიადაგზე იქნება მიღებული (მაგალითად, შეეხრწ „შეეხვეწე“). თავისთავად ცხადია, ასეთ პირობებში, ე. ი. ხმოვნით დაწყებულ ზმნის ფუძესთან, სამაგიერო სიგრძეზე ლაპარაკი არ შეიძლება[1]. რაც შეეხება უ ხმოვანს, იგი ზმნისწინის ხმოვნად მხოლოდ პირველი პირის ფორმებში გვხვდება და ისიც ხმოვნით დაწყებულ ზმნის ფუძეებთან (მაგ.: შევალე→შევალ→შოვალ→შოალ→შუალ). მაშასადამე, სამაგიერო სიგრძის საკითხი აქაც იხსნება.

ასეთია სურათი თხრობით კილოიანი მწკრივების ფორმებში. ბრძანებითის მწკრივში კი ზმნას ინგილოურში, ისევე როგორც ძველ ქართულში, პრეფიქსი არა აქვს, ამიტომაც მჟღერი თანხმოვნით დაწყებული ფუძეების წინ ზმნისწინიან ფორმებში სამაგიერო სიგრძე ბრძანებითში აღარ გვხვდება.

მაგალითები: გოუ̂ბან („გავბანე“), დოუ̂ბრუნდ („დავბრუნდი“).

	თხრობითი კილო (წყვეტილის მწკრივი)		ბრძანებითი კილო (ბრძანებითის მწკრივი)	
მხ.	1.3 გოუ̂ბან	1 დოუ̂ბრუნდ	—	—
	2.3 გააბან	2 დააბრუნდ	2.3 გაბან	2 დაბრუნდ
	3.3 გაბანა	3 დაბრუნდა	—	—
მრ.	1.3 გოუ̂ბანით	1 დოუ̂ბრუნდით	—	—
	2.3 გააბანით	2 დააბრუნდით	2.3 გაბანით	2 დაბრუნდით
	3.3 გაბანეს	3 დაბრუნდნენ	—	—

მაგალითები გაბმული ტექსტიდან:

ა) **ზმნის ფორმა მჟღერი თანხმოვნით იწყება:** 1. წაჲყონით, ჰამამში გაბანით! („წაიყვანეთ, აბანოში გაბანეთ!“); 2. დაბრუნდ, ჩემთან მოჲ! („დაბრუნდი, ჩემთან მოდი!“); 3. შენ მინმა გითხრა: ჩონ ბულაღზე გაბედ, მოჲვ! („შენ ვინ გითხრა: ჩვენს წყაროზე გაბედე, მოდიო!“); 4. გრილოში დაჟ, წაჲკითხ! („ჩრდილში დაჯექი, წაიკითხე!“); 5. ქობ შადგით! („ქვაბი შედგით!“); წაჲთ, ღჷნეჲ დალივით! („წადით, ღვინო დალიეთ!“); 7. ჭამ. დალივ, იშიპრ, იქეჲფ! („ჭამე, დალიე, იცეკვე, იქეიფე!“); 8. წაჲ, დუ̂შმან გაჟლიტ! („წადი, მტერი გაჟლიტე!“).

[1] გაგრძელებული ე (ეე) მხოლოდ სახელებშია შესაძლებელი; ნახე ბოლოში „ქეერიზ“.

ბ) პრეფიქსი არ იქნება, ცხადია, ყრუ თანხმოვნების წინაც ბრძანებითში. მაგალითები: 1. გათხოვდ, ჰაბე ჟიხარა? („გათხოვდი, რისთვის ჰზიხარ?"); 2. ოთხ ტუმარა ფრ̈ტ დათეს, მოჯან! („ოთხი ტომარა ფეტვი დათესე, მოხანი!"); 3. ეეგ დაჲჭირით, მოკალით („ეგ დაიჭირეთ, მოკალით!").

II. მესამე ობიექტური პირის ფორმები

მესამე ობიექტური პირის ნიშნის ხმარების თვალსაზრისით ინგილოური ისეთსავე თავისებურებას იჩენს, როგორსაც სხვა დანარჩენი აღმოსავლური კილოები ქართული ენისა: მიცემით ბრუნვაში დასმულ ობიექტს, დამოუკიდებლად იმისაგან, პირდაპირი იქნება იგი თუ ირიბი, აქვს თავისი ნიშანი ზმნაში [2].

მესამე ობიექტური პირის ნიშანი ფონეტიკურად სავსებით იზიარებს მეორე სუბიექტური პირის ნიშნის ბედს, სახელდობრ: ყრუ თანხმოვნების წინ შერჩენილია, მჟღერებთან კი იკარგება (უზმნისწინო ფორმებთან უკვალოდ, ზმნისწინიანებთან კი ტოვებს კვალს—გვაძლევს სამაგიერო სიგრძეს)[1]. მაგალითები: ჰ(ჶ)ფქოვ („ვჰფქვავ"), დოჰ(ჶ)ფქოვ („დავჰფქვავ"), ზო̈ბნავ („ვსძებნი"), დოჷზებნავ („დავსძებნი"), ჰ(ჶ)შორდევ („ვჰშორდები"), მოჰ(ჶ)შორდევ („მოვჰშორდები"), მგონი („მგონია"), მომგონევი („მომგონებია").

(ზმნას პირდაპირი ობიექტი აქვს)

მხ.	1.3 ჰ(ჶ)ფქოვ	დოჰ(ჶ)ფქოვ	ზო̈ბნავ	დოჷზებნავ
	2.3 ჰფქოვ	დაჰფქოვ	ზებნავ	დააზებნავ
	3.3 ჰფქოვს	დაჰფქოვს	ზებნავს	დააზებნავს
მრ.	1.3 ჰ(ჶ)ფქოვთ	დოჰ(ჶ)ფქოვთ	ზო̈ბნავთ	დოჷზებნავთ
	2.3 ჰფქოვთ	დაჰფქოვთ	ზებნავთ	დააზებნავთ
	3.3 ჰფქოვენ	დაჰფქოვენ	ზებნიან	დააზებნიან

(ზმნას ირიბი ობიექტი აქვს)

მხ.	1.3 ჰ(ჶ)შორდევ	მოჰ(ჶ)შორდევ	3.1 მგონი	მომგონევი
	2.3 ჰშორდევ	მოჰშორდევ	3.2 გგონი	მოგგონევი
	3.3 ჰშორდევის	მოჰშორდევის	3.3 გონი	მოოგონევი
მრ.	1.3 ჰ(ჶ)შორდევით	მოჰ(ჶ)შორდევით	3.1 გგონი	მოგგონევი
	2.3 ჰშორდევით	მოჰშორდევით	3.2 გგონიაყ	მოგგონევიაყ
	3.3 ჰშორდევიან	მოჰშორდევიან	3.3 გონიაყ	მოოგონევიაყ

მაგალითები გაბმული ტექსტიდან მჟღერი თანხმოვნით დაწყებულ ზმნებზე.

ა) პირდაპირ-ობიექტური პირის გამოხატვა: 1. დერდ ნუ გაქ, ბუთუმ რამს გააქითევს, ხუალ მოვ, ჩააგუ̈ს („დარდი ნუ გაქვს, ყველაფერს გააკეთებს, ხვალ მოვა, დაჰგვის"); 2. თუ ზეჲ ექონაყ, ისენ ნაარამაჲ შაალ-

[1] აქვე უნდა შევნიშნოთ, რომ მესამე ობიექტური პირის ნიშანი კარგად მოისმის ხმოვანთან. თანხმოვანთან ის გამოთქმაში იკარგება ისევე, როგორც ეს ხდება სხვა აღმოსავლურ კილოებში.

ღობენ („თუ მაწონი ექნათ, ისინი სადღვებელს შესდღვებენ“); 3. ემ ყმაწჳლს ჰეჩრამ არ გამაართო, თუარდემ დედაჲ დააჟეკავს („ამ ბავშვს არაფერი გამოართვა, თორემ დედა სცემს [დასჯეკავს]“); 4. ჰაბეთუმ არ მითხრას, ჰაბე ფიქიროვა, ნუმ დაამალავს? („რისთვის არ უნდა მითხრას, რისთვის ჰფიქრობ, რომ დაჰმალავს?“); 5. შენ ბრინჟ მოჳღ, თუთან დაანაყავს („შენ ბრინჯი მოუტანე, თვითონ დაჰნაყავს“); 6. ე პატრა საპონ ემთონ ტამსმოზ გაარეცხავსა? („ეს პატარა საპონი ამდენ ტანისამოსს გაჰრეცხავს?“).

ბ) ირიბ-ობიექტური პირის გამოხატვა: 1. ემ ქალს მუცელ გომოობერი („ამ ქალს მუცელი გამოჰბერვია“); 2. ჭურჭელს წყალ გაადენი („ჭურჭელს წყალი გასდენია); 3. გულ მიიდის („გული მისდის“); 4. ჰაბე არ მოოდევია ემ ცეცხლსა? („რისთვის არ მოსდებია ამ ცეცხლსა?“); 5. აბდულს ჩააზინეოდა („აბდულს ჩასძინებოდა“); 6. მეზრბლი თავ მოოზულევი („მეზობლის თავი მოსძულებია“); 7. თურმენი დედაჲ გააჟავრევი? („თურმე დედა გასჯავრებია“); 8. საქმეჲ გომოოლევი („საქმე გამოჰლევია“); 9. სიცივი თითევ გაალურჟევი („სიცივით თითები გაჰლურჯებია“); 10. იმა კაბაჲ დაარღჳვი („იმას კაბა დაჰრღვევია“); 11. დაამირწყევი („დაჰვიწყნია“); 12. დაბერეულ, თმაში თეთრ შაარევნი („დაბერებულა, თმაში თეთრი შეჰრევია“).

უნდა აღინიშნოს, რომ მოსალოდნელი იყო, სამაგიერო სიგრძეს ადგილი ექნებოდა არა მარტო ზმნისწინიან ფორმებში, არამედ ყველგან, სადაც კი ჰ ამ მოვლენისათვის ხელსაყრელ ბგერათა მეზობლობაში აღმოჩნდებოდა, ე. ი. თუ კი მას ხმოვანი გაუსწრებდა წინ და მის მომდევნო ბგერად რომელიმე მჟღერი თანხმოვანი იქნებოდა. ასე, მაგ., გამოთქმაში საჟიხარა („სად სცხოვრობ“) სად ზმნიზედას დ თანხმოვანი მუდამ დაკარგული აქვს და სიტყვა ხმოვანზეა დამთავრებული. მეორე სუბიექტური პირის ნიშანი ჰ შეიძლებოდა აქ უკვალოდ კი არ დაკარგულიყო, არამედ გაეგრძელებინა წინამავალი ა და, მაშასადამე, გვქონოდა: „სააჟიხარა?“. ან სხვა მაგალითები: „ჰოგო ლაპარიკოვა?“ („როგორ ჰლაპარაკობ?“), „კაჲგორა ლოცულოვა?“ („კარგად ჰსწავლობ?“). ამ გამოთქმებში მოსალოდნელი იყო, გვქონოდა: „ჰოგოო ლაპარიკოვა“ და „კაჲგორაა ლოცულოვა“, მაგრამ მოპოვებულ მასალაზე დაკვირვება გვიჩვენებს, რომ ასეთი შემთხვევები არ გვხვდება და აქ ყველგან ჰ უკვალოდაა დაკარგული. შესაძლებელია, ეს იმითიც აიხსნებოდეს, რომ ჰ-ს წინ ივარაუდება დაკარგული თანხმოვანი (მოცემულ მაგალითებში დ და რ).

B. სამაგიერო სიგრძე სახელებში

სახელები, სადაც ეს მოვლენა შეინიშნება, ყველა ნასესხებია. ეს იმით აიხსნება, რომ საკუთრივ ქართულ სახელებში ხმოვნის შემდეგ სპირანტი ჰ არ გვხვდება. ერთად-ერთ გამონაკლისს შეადგენს ძველი ქართული „კაჰრაული“ („ვირი“), რომელიც ინგილოურში არ იხმარება.

მ ა გ ა ლ ი თ ე ბ ი:

აავალათ („ამბავი, საქმის ვითარება“, არაბ.-აზერბ. əhвалат)

ქაარავაჲ („ქარვა“, სპარს.-აზერბ. kəhpүбa)

ზაალაჲ: ზაალაჲ ნუ წაჲლ! („თავი ნუ მომაბეზრე! სიტყვ.-სიტყვ. „ზაჰლა ნუ წაიღე!“, არაბ.-აზერბ. зəhлə)

ქეერიზ („ჭა“, აზერბ. кəhриз „მიწის ქვეშ გაყვანილი რუ“)

ზაამათ („ჯაფა, შრომა“, არაბ.-აზერბ. зəhмəт)

ჯაანამ („ჯოჯოხეთი“, არაბ.-აზერბ. ҹəhəннəм)

ნაარამაჲ („სადღვებელი“, აზერბ. нehрə)

დაავაჲ („დავა“, ინგილოურად „ომი“, არაბ. دعوى).

როგორც უკანასკნელი მაგალითი გვიჩვენებს, სამაგიერო სიგრძე მაშინაც არის ინგილოურში, როცა ხმოვანს ცაინი მოსდევს (ع).

სტალინის სახელობის
თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

(რედაქციას მოუვიდა 12.1.1953)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. ი. ს ტ ა ლ ი ნ ი. მარქსიზმი და ენათმეცნიერების საკითხები. თბილისი, 1951.
2. ა. შ ა ნ ი ძ ე. სუბიექტური პრეფიქსი მეორე პირისა და ობიექტური პრეფიქსი მესამე პირისა ქართულ ზმნებში. თბილისი, 1920.

რედაქტორის მოადგილე ი. გ ი გ ი ნ ე ი შ ვ ი ლ ი

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის გამომცემლობის სტამბა, აკ. წერეთლის ქ. № 3/5
Типография Издательства Академии Наук Грузинской ССР, ул. Ак. Церетели № 3/5

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 27.2 1953
ანაწყობის ზომა 7×11
შეკვ. 169

უე 01617

სააღრიცხვო-საგამომცემლო ფურცელი 5
ნაბეჭდი ფორმა 5,5
ტირაჟი 1000