საქართველოს სსრ
მეცნიერებათა აკადემიის
მოამბე

ტომი XVI, № 10

ძირითადი, ქართული გამოცემა

1955

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის გამომცემლობა
თბილისი

შინაარსი

მათემატიკა

ფიზიკა

გეოფიზიკა

ქიმია

ტექნიკა

მეტალურგია

ზოოლოგია

ექსპერიმენტული მედიცინა

ენათმეცნიერება

ლიტერატურის ისტორია

ხელოვნების ისტორია

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XVI, № 10, 1955

მათემატიკა

ნ. ბერიკაშვილი

სივრცის ჰომოლოგიის ჯგუფის შესახებ კოეფიციენტთა კომპაქტური ჯგუფით

(წარმოადგინა აკადემიკოსმა ნ. მუსხელიშვილმა 12.3.1955)

ამ შრომის მიზანია ნებისმიერ ტოპოლოგიურ სივრცეთა კოეფიციენტთა კომპაქტური ჯგუფის მქონე და უსასრულო დაფარვებზე დაფუძნებულ ჰომოლოგიის ჯგუფთა ერთი სახეობის განხილვა. ასეთი ჯგუფები ბოლო ხანებამდე არ განიხილებოდა (იხ., მაგალითად, [4]).

ასეთი ჯგუფების სხვა გარკვეული სახეობანი განხილულია პირველად [2, 5]-ში. აღნიშნული ჯგუფები შემოყვანილია §§ 2, 3-ში. ამავე პარაგრაფებში მოხსენებულია აღნიშნულ ჯგუფთა ძირითადი თვისებები (სიმოკლისათვის დამტკიცებები, რომლებიც საკმაოდ გრძელია, მოყვანილი არ არის). სახელდობრ, მითითებულია, რომ ეს ჯგუფები აკმაყოფილებენ ეილენბერგ-სტინროდის აქსიომებს და რომ ეს ჯგუფები ორადულია ამავე სივრცის უსასრულო კოჯაჭვებზე დაყრდნობილი კოჰომოლოგიის ჯგუფებისა ორადულ კოეფიციენტთა ჯგუფის მიმართ [3, 4]. ამ კოჰომოლოგიის ჯგუფის ორადული ჰომოლოგიის ჯგუფის აღმოჩენის მნიშვნელობა აღნიშნული იყო პ. ალექსანდროვის მიერ (იხ., მაგ., [1]).

§ 1 წარმოადგენს კომპაქტურ ჯგუფთა პირდაპირი სპექტრის გ. ჭოღოშვილის თეორიის [6,7] ახალ გადმოცემას. აქ სიმძიმის ცენტრი გადმოტანილია კომპაქტურ ჯგუფთა პირდაპირ ჯამზე.

მოცემულ კომპაქტურ ჯგუფთა $\{G_\tau\}$ სისტემის სასრული ქვესისტემების ჯამები $G_s = G_{\tau_1} + G_{\tau_2} + \cdots + G_{\tau_n}$ ბუნებრივი წესით ქმნიან პირდაპირ სპექტრს, რომლის ზღვრულ G ჯგუფს ჭოღოშვილის აზრით განვმარტავ როგორც $\{G_\tau\}$ სისტემის კომპაქტურ პირდაპირ ჯამს. ამ კერძო შემთხვევაში G ჯგუფის განმარტება ისე მარტივდება, რომ სპექტრის აგება არ არის საჭირო.

ქვემოთ კომპაქტურ ჯგუფთა პირდაპირი ჯამი ასეა განმარტებული და ნაჩვენებია, რომ პირიქით კომპაქტურ ჯგუფთა ნებისმიერი პირდაპირი სპექტრის ზღვრული ჯგუფი შეიძლება განიმარტოს ასეთი პირდაპირი ჯამის დახმარებით. § 1-ის შედეგები არსებითად გამოიყენება შემდგომ პარაგრაფებში.

§ 1. $T = \{\tau\}$ სიმრავლით აღნიშნულ ჯგუფთა $\{G_\tau\}$ სისტემისათვის განვიხილავთ მათ ჩვეულებრივ პირდაპირ ჯამს $\sum G_\tau$ და ვიგულისხმებთ, რომ ყოველი G_τ გაიგივებულია ბუნებრივი წესით $\sum G_\tau$-ს ქვეჯგუფთან.

ვთქვათ, $\{G_\tau\}$ სისტემაში ყოველი ჯგუფი კომპაქტურია. თუ H_τ აღნიშნავს G_τ-ს ქარაქტერთა ჯგუფს, $G_\tau \mid H_\tau$, მაშინ განვიხილოთ ნამრავლი $H = PH_\tau$ დისკრეტული ტოპოლოგიით. როცა $g = \{g_\tau\} \in \sum G_\tau$ და $h = \{h_\tau\} \in H$, მაშინ gh ნამრავლი განვმარტოთ $gh = \sum_\tau g_\tau h_\tau$ ტოლობით. ამ გამრავლების მიმართ $g \in \sum G_\tau$ განსაზღვრავს H-ის ქარაქტერს, ამასთან, თუ $g \neq 0$, მაშინ მის მიერ განსაზღვრული ქარაქტერი არ არის ნულოვანი. მაშასადამე, $\sum G_\tau$ შეგვიძლია გავაიგივეოთ H-ის H^* ქარაქტერთა ჯგუფის ქვეჯგუფთან. H^*-დან იგი იღებს ტოპოლოგიას. ასე ტოპოლოგიზებული $\sum G_\tau$ აღვნიშნოთ $\widetilde{\sum} G_\tau$. ამ უკანასკნელი ჯგუფის კომპაქტური შევსება შეიძლება, რადგან იგი კომპაქტური ჯგუფის ქვეჯგუფია.

განსაზღვრა 1. კომპაქტურ $\{G_\tau\}$ ჯგუფთა კომპაქტური პირდაპირი ჯამი არის $\widetilde{\sum} G_\tau$-ს კომპაქტური შევსებით მიღებული ჯგუფი.

(1.1) თუ $\{G_\tau\}$ და $\{H_\tau\}$ ერთი და იგივე $T = \{\tau\}$ სიმრავლით აღნიშნული კომპაქტურ და დისკრეტულ ჯგუფთა სისტემებია შესაბამისად და $G_\tau \mid H_\tau$, მაშინ G_τ-თა კომპაქტური პირდაპირი ჯამი G და დისკრეტული ჯგუფი $H = PH_\tau$ ერთმანეთის ქარაქტერთა ჯგუფებია.

ვთქვათ, მოცემული გვაქვს ჯგუფთა ორი სისტემა $\{G_\tau\}$ და $\{G_\alpha\}$, აღნიშნული სათანადოდ $T = \{\tau\}$ და $A = \{\alpha\}$ სიმრავლეებით. ვთქვათ, ყოველი (τ, α) წყვილისათვის მოცემულია $\varphi_{\tau\alpha} : G_\tau \to G_\alpha$ ჰომომორფიზმი.

განსაზღვრა 2. ჰომომორფიზმთა $\|\varphi_{\tau\alpha}\|$, $\varphi_{\tau\alpha} : G_\tau \to G_\alpha$, მატრიცს დასაშვები ვუწოდოთ, თუ τ-ს ფიქსირებული მნიშვნელობისათვის α-თა მხოლოდ სასრული რაოდენობისათვის განსხვავდება $\varphi_{\tau\alpha}$ ნულოვანი ჰომომორფიზმისაგან.

თუ $\|\varphi_{\tau\alpha}\|$ დასაშვები მატრიცია, მაშინ ჰომომორფიზმი

$$\varphi : \sum G_\tau \to \sum G_\alpha$$

განიმარტება ასე: როცა

$$g = \{g_\tau\} \in \sum G_\tau,$$

მაშინ

$$\varphi(g) = \sum_\tau \sum_\alpha \varphi_{\tau\alpha}(g_\tau).$$

(1.2) ვთქვათ, $\{G_\tau\}$ და $\{G_\alpha\}$ კომპაქტურ ჯგუფთა სისტემებია, ხოლო G_T და G_A მათ კომპაქტურ პირდაპირ ჯამებს აღნიშნავენ შესაბამისად. თუ $\|\varphi_{\tau\alpha}\|$ დასაშვები მატრიცის ჰომომორფიზმები უწყვეტია, მაშინ მის მიერ განმარტებული ჰომომორფიზმი

$$\varphi : \widetilde{\sum} G_\tau \to \widetilde{\sum} G_\alpha$$

უწყვეტია და, მაშასადამე, გრძელდება ერთადერთ უწყვეტ ჰომომორფიზმამდე $\varphi' : G_T \to G_A$.

ვთქვათ, მოცემულ კომპაქტურ ჯგუფთა პირდაპირი $\{G_\tau, p_{\tau\sigma}\}$ სპექტრისათვის G აღნიშნავს G_τ-თა კომპაქტურ პირდაპირ ჯამს, ხოლო G_0 არის G-ს ქვეჯგუფი, წარმოქმნილი $g_\tau - p_{\tau\sigma}(g_\tau)$, $\tau < \sigma$, სახის ელემენტებით.

განსაზღვრა 3. კომპაქტურ ჯგუფთა $\{G_\tau, p_{\tau\sigma}\}$ პირდაპირი სპექტრის ზღვრული ჯგუფი $\varinjlim\{G_\tau, p_{\tau\sigma}\}$ არის ფაქტორჯგუფი $G/\overline{G}_0$.

(1.3). თუ $\{G_\tau, p_{\tau\sigma}\}$ და $\{H_\tau, q_{\tau\sigma}\}$ შესაბამისად კომპაქტურ ჯგუფთა პირდაპირი და დისკრეტულ ჯგუფთა შებრუნებული შეუღლებული სპექტრებია, მაშინ მათი ზღვრული ჯგუფები ერთმანეთის ქარაქტერთა ჯგუფებია.

2. ჯაჭვთა $\widetilde{K}$ კომპლექსი არის მთელი რიცხვებით აღნიშნული შებრუნებული $\{C_q(K), \partial_q\}$ სპექტრი, სადაც $C_q(K)$ ჯგუფია, ხოლო $\partial_q: C_q(K) \to C_{q-1}(K)$ ჰომომორფიზმია; ამასთან $\partial_{q-1}\partial_q = 0$. ჩვენ ყოველთვის ვიგულისხმებთ, რომ $C_q(K)$ ჯგუფები კომპაქტურია, ხოლო ∂_q უწყვეტია. ასეთ შემთხვევაში $\widetilde{K}$-ს q-განზომილებიანი $H_q(K)$ ჰომოლოგიის ჯგუფიც კომპაქტურია. $\widetilde{K}$ კომპლექსის ჰომომორფიზმი $\widetilde{K}'$ კომპლექსში, $f: \widetilde{K} \to \widetilde{K}'$, არის უწყვეტ f_q ჰომომორფიზმთა ერთობლიობა, $f_q: C_q(K) \longrightarrow C_q(K')$, რომელნიც აკმაყოფილებენ ტოლობას $\partial_q f_q = f_{q-1}\partial_q$. f ბუნებრივი წესით განსაზღვრავს ჰომომორფიზმს $f_*: H_q(K) \longrightarrow H_q(K')$. თუ $C_q(L)$ ჩაკეტილი ქვეჯგუფია $C_q(K)$-სი და $\partial_q C_q(L) \subset C_{q-1}(L)$, მაშინ $\widetilde{L} = \{C_q(L), \partial_q\}$ არის ჯაჭვთა კომპლექსი და მას უწოდებენ $\widetilde{K}$-ს ქვეკომპლექსს. $\widetilde{K}$ და მისი $\widetilde{L}$ ქვეკომპლექსი განმარტავენ ფაქტორკომპლექსს $\widetilde{K}/\widetilde{L} = \{C_q(K/L), \bar{\partial}_q\}$, სადაც $C_q(K/L)$ აღნიშნავს $C_q(K)/C_q(L)$-ს, ხოლო $\bar{\partial}_q$ არის ∂_q-ს მიერ ინდუცირებული ჰომომორფიზმი. ბუნებრივი წესით განმარტავენ ჰომომორფიზმს $\partial: H_q(K/L) \to H_{q-1}(L)$ (იხ. [4], თავი V).

წყვილით (K, L) ყოველთვის აღვნიშნავთ უსასრულო სიმპლექსურ K კომპლექსისა და მისი L ჩაკეტილი ქვეკომპლექსის ერთობლიობას. თუ f სიმპლექსური გადასახვაა K-სი K' სიმპლექსურ კომპლექსში, მაშინ დავწერთ $f: (K, L) \to (K', L')$, თუკი $f(L) \subset L'$.

ვთქვათ, მოცემული გვაქვს სიმპლექსური წყვილი (K, L) და კოეფიციენტთა კომპაქტური ჯგუფი G. ყოველ σ^q q-სიმპლექსისათვის K კომპლექსიდან G_{σ^q} იყოს G-ს იზომორფული ჯგუფი. G_{σ^q} ჯგუფთა კომპაქტური პირდაპირი ჯამი აღვნიშნოთ $C_q(K, G)$-ით. ჯგუფი $C_q(L, G)$ ბუნებრივი წესით გავაიგივეოთ $C_q(K, G)$-ს ჩაკეტილ ქვეჯგუფთან.

თუ $[\sigma^q : \sigma^{q-1}]$ აღნიშნავს ინციდენციის კოეფიციენტს, მაშინ ჰომომორფიზმი $\varphi_{\sigma^q\sigma^{q-1}}: G_{\sigma^q} \to G_{\sigma^{q-1}}$ განიმარტება ტოლობით $\varphi_{\sigma^q\sigma^{q-1}}(g) = [\sigma^q : \sigma^{q-1}]\, g$. ცხადია, უწყვეტ ჰომომორფიზმთა მატრიცი $\|\varphi_{\sigma^q\sigma^{q-1}}\|$ დასაშვებია და, მაშასადამე, ის განმარტავს უწყვეტ ჰომომორფიზმს $\partial_q: C_q(K, G) \to C_{q-1}(K, G)$. თუ $c_q \in \sum G_{\sigma^q} \subset C_q(K, G)$, მაშინ, ცხადია, $\partial_q c_q$ ჩვეულებრივი საზღვარია c_q-სი და ამიტომ $\partial_{q-1}\partial_q = 0$. მაშასადამე, უწყვეტობის გამო, $\partial_{q-1}\partial_q$ მთელს $C_q(K, G)$-ზე უნდა იყოს ნულის ტოლი. თუ $q < 0$, მაშინ ვიგულისხმებთ, რომ $C_q(K, G) = 0$.

ამრიგად, მივიღეთ ჯაჭვთა კომპლექსი

$$\widetilde{K} = \{C_q(K, G), \partial_q\}.$$

ცხადია,

$$\partial_q [C_q(L, G)] \subset C_{q-1}(L, G);$$

ამიტომ

$$\widetilde{L} = \{C_q(L, G), \partial_q\}$$

ქვეკომპლექსია $\widetilde{K}$-სი. ეს ორი კომპლექსი განსაზღვრავს ფაქტორკომპლექსს

$$\widetilde{K} / \widetilde{L} = \{C_q(K, L, G), \bar{\partial}_q\},$$

სადაც $C_q(K, L, G)$ აღნიშნავს ფაქტორჯგუფს $C_q(K, G)/C_q(L, G)$, ხოლო $\bar{\partial}_q$ ინდუცირებულია ∂_q-საგან.

განსაზღვრა 4. (K, L) სიმპლექსური წყვილის q-განზომილებიანი ჰომოლოგიის ჯგუფი კოეფიციენტთა G კომპაქტური ჯგუფით არის კომპაქტური ჯგუფი $H_q(K, L, G) = H_q(\widetilde{K} / \widetilde{L})$.

ვთქვათ, $f:(K, L) \to (K', L')$. f ბუნებრივი წესით იწვევს ჰომომორფიზმებს $f_*: H_q(K, L, G) \to H_q(K', L', G)$, რომლებიც ასე განიმარტება. K'-ის q-სიმპლექსები აღვნიშნოთ τ^q-ით. უწყვეტი ჰომომორფიზმი $\varphi_{\sigma^q\tau^q}: G_{\sigma^q} \to G_{\tau^q}$ განვმარტოთ ასე: *a*) $\varphi_{\sigma^q\tau^q} = 0$, თუ $f(\sigma^q) \neq \pm \tau^q$, *b*) თუ $f(\sigma^q) = \tau^q$, მაშინ $\varphi_{\sigma^q\tau^q}(g) = g$; *c*) თუ $f(\sigma^q) = -\tau^q$, მაშინ $\varphi_{\sigma^q\tau^q}(g) = -g$. მატრიცი $\|\varphi_{\sigma^q\tau^q}\|$ დასაშვებია და განმარტავს უწყვეტ ჰომომორფიზმს $f_q: C_q(K, G) \to C_q(K', G)$. თუ $c_q \in \sum G_{\sigma^q}$, მაშინ, როგორც ცნობილია, $f_{q-1}\partial_q c_q = \partial_q f_q c_q$. ამის გამო, $f_{q-1}\partial_q$ და $\partial_q f_q$ ჰომომორფიზმთა უწყვეტობის ძალით, $f_{q-1}\partial_q = \partial_q f_q$ მთელს C_q-ზე. ამრიგად, $\{f_q\}$ ჰომომორფიზმია $\widetilde{K}$-სი $\widetilde{K}'$-ში. ცხადია, $f_q C_q(L, G) \subset C_q(L', G)$, რაც საშუალებას იძლევა განიმარტოს f_q-თი ინდუცირებული ჰომომორფიზმი $\bar{f}: \widetilde{K} / \widetilde{L} \to \widetilde{K}' / \widetilde{L}'$. $\bar{f}$-ით ინდუცირებული უწყვეტი ჰომომორფიზმი $H_q(K, L, G)$-სი $H_q(K', L', G)$-ში არის სწორედ ის f_*, რომლის აგებაც გვინდოდა.

სამართლიანია შემდეგი თეორემები.

(2.1). თუ $f:(K, L) \to (K, L)$ იგივურია, მაშინ f_* იგივური ჰომომორფიზმია.

(2.2). თუ $f:(K, L) \to (K', L')$ და $g:(K', L') \to (K'', L'')$, მაშინ

$$(gf)_* = g_* f_*.$$

თუ $i:(L, 0) \to (K, 0)$ და $j:(K, 0) \to (K, L)$ ბუნებრივი ჩართვებია, მაშინ i_*, j_* და ∂ განსაზღვრავენ (K, L) წყვილის ჰომოლოგიურ მიმდევრობას

$$\cdots \xleftarrow{i_*} H_{q-1}(L, G) \xleftarrow{\partial} H_q(K, L, G) \xleftarrow{j_*} H_q(K, G) \xleftarrow{i_*} H_q(L, G) \xleftarrow{\partial} \cdots$$

(2.3) (K, L) წყვილის ჰომოლოგიური მიმდევრობა ზუსტია, ე. ი. ყოველი ჰომომორფიზმის ბირთვი ემთხვევა ანასახს მის მარჯვნივ მდგომ ჰომომორფიზმით.

(2.4). თუ $f:(K, L) \to (K', L')$, მაშინ მის მიერ განსაზღვრული ჰომომორფიზმები

$$H_q(K, L, G) \to H_q(K', L', G), \quad H_q(K, G) \to H_q(K', G), \quad H_q(L, G) \to H_q(L', G)$$

განსაზღვრავენ (K, L)-ის ჰომოლოგიური მიმდევრობის ჰომომორფიზმს (K', L')-ის ჰომოლოგიურ მიმდევრობაში.

(2.5). თუ K კომპლექსი ერთი წვეროსაგან შედგება, მაშინ

$$H_q(K, G) = 0, \ q > 0.$$

(2.6). თუ V არის K-ს ისეთი ღია ქვეკომპლექსი, რომ $V \subset L$ და $i:(K - V, L - V) \to (K, L)$ ბუნებრივი ჩართვაა, მაშინ

$$i_*: H_q(K - V, L - V, G) \to H_q(K, L, G)$$

არის იზომორფიზმი „ზე".

(2.7). ვთქვათ, $f, g:(K, L) \to (K', L')$ ისეთია, რომ ყოველი სიმპლექსისათვის $\sigma \in K$ არსებობს ისეთი სიმპლექსი $\tau \in K'$, რომ $f(\sigma)$ და $g(\sigma)$ τ-ს წახნაგებია და, როცა $\sigma \in L$, მაშინ $\tau \in L'$. ამ პირობებში $f_* = g_*$.

დავამტკიცებთ მხოლოდ უკანასკნელ თეორემას. ვიგულისხმოთ, რომ K-ს წვეროები ნაწილობრივ დალაგებულია ისე, რომ ყოველი სიმპლექსის წვეროები ჩვეულებრივ დალაგებულია. განვიხილოთ ჩვეულებრივი $(K \times I, L \times I)$ პრიზმი, აგებული (K, L) წყვილზე. ის, როგორც ცნობილია, ასე განიმარტება. ყოველი წვეროსათვის $A \in K$ განვიხილოთ ახალი A' ელემენტი. ვთქვათ, $A_0 < A_1 < \cdots < A_q$ q-სიმპლექსის წვეროებია K-დან. ერთობლიობა $A_0 A_1 \cdots A_k A'_k A'_{k+1} \cdots A'_q$ არის $K \times I$-ის სიმპლექსი, აგრეთვე ყველა მისი წახნაგი $K \times I$-ს სიმპლექსია. ეს კონსტრუქცია კეთდება ყველა k-სთვის, $0 \leqq k \leqq q$. თუ q-სიმპლექსი L-დან იყო აღებული, მაშინ ყველა აგებული სიმპლექსი ეკუთვნის $L \times I$-ს. ამით წყვილი $(K \times I, L \times I)$ განმარტებულია.

ვიგულისხმოთ, რომ $K \times I$-ს ყველა სიმპლექსს მიცემული აქვს გარკვეული ორიენტაცია. ვთქვათ, π^0 აღნიშნავს $K \times L$-ის იგივურ asახვას $(K \times I, L \times I)$-ში, ხოლო $\pi^1:(K, L) \to (K \times I, L \times I)$ განმარტებულია ტოლობით $\pi^1 A = A'$. ვაჩვენოთ, რომ $\pi^0_* = \pi^1_*: H_q(K, L, G) \to H_q(K \times I, L \times I, G)$. ვთქვათ, $\sigma^q \in K$ q-სიმპლექსია, ხოლო $s^{q+1} \in K \times I$—$(q+1)$-სიმპლექსი. $\varphi_{\sigma^q s^{q+1}}: G_{\sigma^q} \to G_{s^{q+1}}$ განვმარტოთ ასე: თუ $\sigma^q = \varepsilon(A_0 A_1 \cdots A_q)$, $\varepsilon = \pm 1$, $A_0 < A_1 < \cdots < A_q$ და s^{q+1} მიღებულია ამ სიმპლექსისაგან, ე. ი. $s^{q+1} = \delta(A_0 A_1 \cdots A_k A'_k \cdots A'_q)$, $\delta = \pm 1$, მაშინ $\varphi_{\sigma^q s^{q+1}}(g) = (-1)^k \varepsilon \delta g$. ყველა სხვა შემთხვევაში $\varphi = 0$. მატრიცი $\|\varphi_{\sigma^q s^{q+1}}\|$ დასაშვებია და განმარტავს უწყვეტ ჰომომორფიზმს $D_q: C_q(K, G) \to C_{q+1}(K \times I, G)$. თუ $c_q \in \sum G_{\sigma^q} \subset C_q(K, G)$, მაშინ, როგორც ცნობილია, $\partial_{q+1} D_q c_q + D_{q-1} \partial_q c_q = \pi^1_q c_q - \pi^0_q c_q$. უწყვეტობის ძალით მთელს $C_q(K, G)$-ზე უნდა გვქონდეს ტოლობა $\partial_{q+1} D_q + D_{q-1} \partial_q = \pi^1_q - \pi^0_q$. ცხადია, რომ $D_q C_q(L, G) \subset C_{q+1}(L \times I, G)$; ამიტომ D_q განსაზღვრავს

$$\overline{D}_q: C_q(K, L, G) \to C_{q+1}(K \times I, L \times I, G).$$

თუ $\overline{\partial}_q$ აღნიშნავს ∂_q-თი ინდუცირებულ ოპერაციას ფაქტორკომპლექსში, ხოლო $\overline{\pi^0}$ და $\overline{\pi^1}: C_q(K, L, G) \to C_q(K \times I, L \times I, G)$, შესაბამისად, π^0 და π^1-ით არიან ინდუცირებულნი, მაშინ უკანასკნელი ტოლობის ძალით გვექნება ტოლობა $\overline{\partial}_{q+1} \overline{D}_q + \overline{D}_{q-1} \overline{\partial}_q = \overline{\pi}^1_q - \overline{\pi}^0_q$. მაშასადამე, სისტემა $\{\overline{D}_q\}$ ახორციელებს ჯაჭვურ ჰომოტოპიას $\{\overline{\pi}^0_q\}$ და $\{\overline{\pi}^1_q\}$ ჰომომორფიზმებისას (იხ. [4], თავი V), რის გამოც ისინი ერთსა და იმავე ჰომომორფიზმებს განსაზღვრავენ, $\pi^0_* = \pi^1_*$.

გადავიდეთ უშუალოდ (2.7)-ის დამტკიცებაზე. გადასახვა

$$F:(K\times I,\ L\times I)\to(K',\ L')$$

განვსაზღვროთ ტოლობებით $F(A)=f(A)$, $F(A')=g(A)$. ცხადია, $f=F\pi^0$ და $g=F\pi^1$. (2.2)-ის ძალით, $f_*=F_*\pi^0_*$ და $g_*=F_*\pi^1_*$. რაკი $\pi^0_*=\pi^*_1$, მაშასადამე, გვექნება $f_*=g_*$. რ. უ. გ.

ვთქვათ, $H^q(K,\ L,\ E)$ აღნიშნავს $(K,\ L)$-ის უსასრულო კოციკლებზე დაყრდნობილ q-განზომილებიან კოჰომოლოგიის ჯგუფს დისკრეტულ E კოეფიციენტთა ჯგუფის მიმართ. მაშინ:

(2.8). თუ $G\mid E$, მაშინ $H_q(K,\ L,\ G)\mid H^q(K,\ L,\ E)$.

(2.9). თუ $f:(K,L)\to(K',L')$ და $G|E$, მაშინ $f_*:H_q(K,L,G)\to H_q(K',L',G)$ და $f^*:H^q(K',\ L',\ E)\to H^q(K,\ L,\ E)$ შეუღლებულნი არიან.

(2.10). თუ $G|E$, მაშინ $\partial:H_q(K,\ L,\ G)\to H_{q-1}(L,\ G)$ და $\delta:H^{q-1}(L,E)\to\to H^q(K,\ L,\ E)$ შეუღლებულნი არიან.

§ 3. $(X,\ A)$ წყვილით აღვნიშნავთ ტოპოლოგიურ X სივრცეს და მის A ქვესივრცეს. $(X,\ A)$-ს $\sigma=(U,\ V)$ დაფარვა არის X-ის ღია სიმრავლეთა U სისტემა და მისი ისეთი V ქვესისტემა, რომ $\cup u=X$, $u\in U$ და $\cup u\supset A$, $u\in V$. $(U_1,\ V_1)$ ჩაწერილია $(U,\ V)$-ში, თუ ყოველი $u_1\in U_1$ შედის რომელიმე $u\in U$ ღია სიმრავლეში და ყოველი $u_1\in V_1$-რომელიმე $u\in V$ ღია სიმრავლეში. ჩაწერის მიხედვით დაფარვათა სისტემა მიმართულია. $\sigma=(U,\ V)$ დაფარვისათვის $(K_\sigma,\ L_\sigma)$ ნერვი განიმარტება ასე. K_σ-ს წვეროებია $u\in U$. წვეროების სასრული სისტემა ქმნის სიმპლექსს, თუ მათი თანაკვეთა ცარიელი არ არის, ამასთან, თუ ეს თანაკვეთა შეიცავს წერტილს A-დან და ყველა წვერო მდებარეობს V-ში, მაშინ სიმპლექსი მიეკუთვნება L_σ-ს.

კოეფიციენტთა კომპაქტური G ჯგუფის მიმართ შევადგინოთ ჯგუფები $H_{q,\sigma}=H_q(K_\sigma,\ L_\sigma,\ G)$. თუ $\sigma<\tau$, მაშინ განმარტებულია პროექცია $\pi:(K_\tau,\ L_\tau)\to\to(K_\sigma,\ L_\sigma)$, რომელიც განსაზღვრავს უწყვეტ ჰომომორფიზმს $\pi^{\tau\sigma}_*:H_{q,\tau}\to H_{q,\sigma}$. (2.7)-ის ძალით ეს ჰომომორფიზმი არ არის დამოკიდებული პროექციის არჩევაზე. თუ $\sigma<\tau<\nu$, მაშინ (2.2)-ის ძალით $\pi^{\tau\sigma}_*\pi^{\nu\tau}_*=\pi^{\nu\sigma}_*$. ამრიგად მივიღეთ კომპაქტურ ჯგუფთა შებრუნებული სპექტრი $\{H_{q,\sigma},\ \pi^{\tau\sigma}_*\}$.

განსაზღვრა 5. $(X,\ A)$ წყვილის ჩეხის ჰომოლოგიის ჯგუფი კოეფიციენტთა კომპაქტური G ჯგუფის მიმართ არის კომპაქტური ჯგუფი $\varprojlim\{H_{q,\sigma},\ \pi^{\tau\sigma}_*\}$. ამ ჯგუფს აღვნიშნავთ $H_q(X,\ A,\ G)$-თი.

ვთქვათ, $f:(X,\ A)\to(Y,\ B)$ უწყვეტი გადასახვაა X-ისა Y-ში ისე, რომ $f(A)\subset B$. f განსაზღვრავს უწყვეტ ჰომომორფიზმს $f_*:H_q(X,\ A,\ G)\to\to H_q(Y,\ B,\ G)$. ის ასე განიმარტება. ვთქვათ, $h=\{h_\sigma\}\in H_q(X,\ A,\ G)$. ავიღოთ $(Y,\ B)$-ს ნებისმიერი დაფარვა τ. ეს დაფარვა f^{-1}-ის დახმარებით ცალსახად განსაზღვრავს $(X,\ A)$-ს σ დაფარვას. f განსაზღვრავს სიმპლექსურ გადასახვას $f_{\sigma\tau}:(K_\sigma,\ L_\sigma)\to(K_\tau,\ L_\tau)$. თუ $h_\tau=f_{\sigma\tau *}(h_\sigma)$, $h_\sigma\in h$, მაშინ $h'=\{h_\tau\}\in\in H_q(Y,\ B,\ G)$. მივიღოთ, რომ $f_*(h)=h'$.

$(X,\ A)$ წყვილისათვის განვსაზღვროთ უწყვეტი ჰომომორფიზმი

$$\partial:H_q(X,\ A,\ G)\to H_{q-1}(A,\ G).$$

ეს ასე კეთდება. ვთქვათ,

$$h = \{h_\sigma\} \in H_q(X, A, G).$$

ავიღოთ (A, O) წყვილის დაფარვა $\tau = (U', V')$. განვიხილოთ (X, A)-ს ისეთი $\sigma = (U, V)$ დაფარვა, რომ ყოველი u ელემენტისათვის, $u \in V$, არსებობდეს $u' \in U'$, $u \cap A \subset u'$. ასეთი σ არსებობს. თანადობა $u \longrightarrow u'$ განსაზღვრავს სიმპლექსურ გადასახვას

$$f: (L_\sigma, O) \longrightarrow (K_\tau, L_\tau).$$

თუ $h_\sigma \in h$, მაშინ განვიხილოთ

$$f_* \partial h_\sigma = h_\tau \in H_{q-1}(K_\tau, L_\tau, G).$$

h_τ ელემენტი არ არის დამოკიდებული σ-ს არჩევაზე და $h' = \{h_\tau\} \in H_{q-1}(A, G)$. ტოლობა $\partial h = h'$ განმარტავს ∂-ს.

მიღებული ჰომოლოგიის თეორია ორადულია ქარაქტერთა თეორიის თვალსაზრისით ჩეხის კოჰომოლოგიის თეორიისა (იხ. [3, 4]). მართლაც, (2.8)-ის ძალით, თუ $G \mid E$, მაშინ $H_q(K_\sigma, L_\sigma, G) \mid H^q(K_\sigma, L_\sigma, E)$. (2.9)-ის ძალით $H_q(X, A, G)$-ს განმსაზღვრელი და $H^q(X, A, E)$-ს განმსაზღვრელი სპექტრები შეუღლებულია, საიდანაც გამომდინარეობს ორადობა

$$H_q(X, A, G) \mid H^q(X, A, E).$$

თუ $f: (X, A) \longrightarrow (Y, B)$, მაშინ (2.9)-ის დახმარებით ვაჩვენებთ, რომ

$$f_*: H_q(X, A, G) \longrightarrow H_q(Y, B, G) \text{ და } f^*: H^q(Y, B, E) \longrightarrow H^q(X, A, E)$$

შეუღლებულია. (X, A) წყვილისათვის (2.10)-ის დახმარებით ვაჩვენებთ, რომ $\partial: H_q(X, A, G) \longrightarrow H_{q-1}(A, G)$ და $\delta: H^{q-1}(A, E) \longrightarrow H^q(X, A, E)$ შეუღლებულია.

ორადობის გამო ეილენბერგ-სტინროდის აქსიომების შემოწმება საკმარისია ერთ-ერთი ამ თეორიისათვის: მეორისათვის ისინი ავტომატურად შესრულდებიან. კოჰომოლოგიის თეორიისათვის აქსიომები შემოწმებულია [3, 4]-ში; მაშასადამე, აქ აგებული ჰომოლოგიის თეორია აკმაყოფილებს ეილენბერგ-სტინროდის შვიდსავე აქსიომას. ეს აქსიომები უშუალოდაც მოწმდება § 2-ის თეორემების დახმარებით ისეთივე წესით, როგორც ეს მოწმდება ჩეხის ჰომოლოგიის თეორიისათვის დისკრეტულ კოეფიციენტთა ჯგუფის შემთხვევაში [4]-ში.

თუ $A = O$, მაშინ ზემოთ მიღებული ორადობა ასე იწერება:

$$H_q(X, G) \mid H^q(X, E).$$

ამის გამო ორადობის თეორემა, მიღებული კ. სიტნიკოვის მიერ (იხ., მაგ., [1]): $H^q(X, E) \cong \Delta^p(Y, E)$, სადაც X არის S^n n-განზომილებიანი სფეროს სიმრავლე, Y—მისი დამატება, E—დისკრეტული ჯგუფი, $\Delta^p(Y, E)$—გარკვეული წესით განსაზღვრული ჰომოლოგიის ჯგუფი და q, p—არაუარყოფითი მთელი რიცხვები, $q + p = n - 1$, ასეთი სახით შეიძლება ჩაიწეროს: $H_q(X, G) \mid \Delta^p(Y, E)$, სადაც G კომპაქტური ჯგუფია და E მისი ქარაქტერთა ჯგუფი.

სტალინის სახელობის
თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

(რედაქციას მოუვიდა 6.4.1955)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. П. С. Александров. О некоторых новых достижениях в комбинаторной топологии незамкнутых множеств. Fundamenta Mathematicae, t. XLI, f. 1, 1953, стр. 66—87.
2. Н. А. Берикашвили. О теоремах двойственности для произвольных множеств. Сообщения Академии наук Грузинской ССР, Т. XV, № 7, 1954, 407—414.
3. C. H. Dowker. Čech cohomology theory and the axioms. Ann. of Math., vol. 51, 1950, 278—292.
4. Samuel Eilenberg and Normann Steenrod. Foundations of algebraic topology. 1952.
5. К. А. Ситников. Новые соотношения двойственности для незамкнутых множеств. ДАН СССР, т. XCVI, № 5, 1954.
6. Г. С. Чогошвили. О спектрально-сингулярных группах гомологии. Сообщения Академии Наук ГССР, т. XV, № 10, 1954.
7. G. Chogoshvili. Théoréme de dualité pour le polyèdre infini. C. R. de Paris, t. 202, 1945.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XVI, № 10, 1955

მათემატიკა

შ. ფხაკაძე

ამოხსნად კლასთა გაფართოებადობა

(წარმოადგინა აკადემიკოსმა ნ. მუსხელიშვილმა 9.4.1955)

ჩვენ ვსარგებლობთ [1] შრომაში შემოღებული ტერმინებითა და აღნიშვნებით ყოველგვარი მითითებების გარეშე.

ვთქვათ, (P) არის რაიმე თვისება. ვიტყვით, რომ (P) თვისების მქონე $\boldsymbol{R}^n$ სივრცის სიმრავლეთა $\boldsymbol{M}$ კლასი არის *გაფართოებადი*, თუ არსებობს (P) თვისების მქონე $\boldsymbol{R}^n$ სივრცის სიმრავლეთა კლასი $\boldsymbol{M}_1$ ისეთი, რომ $\boldsymbol{M} \subset \boldsymbol{M}_1$ და $\boldsymbol{M} \neq \boldsymbol{M}_1$. ამასთანავე $\boldsymbol{M}_1$ კლასს, თუ იგი არსებობს, ვუწოდებთ (P) თვისების მქონე $\boldsymbol{M}$ კლასის *გაფართოებას*. აღნიშნულის შესაბამისად უნდა გავიგოთ აზრი შემდეგი გამოთქმებისა: „გაფართოებადი ინვარიანტული კლასი", „ინვარიანტული კლასის გაფართოება", „გაფართოებადი ამოხსნადი კლასი", „ამოხსნადი კლასის გაფართოება", „გაფართოებადი ნორმალურად ამოხსნადი კლასი", „ნორმალურად ამოხსნადი კლასის გაფართოება" და ა. შ. ამასთანავე, თუ, მაგალითად, $\boldsymbol{M}$ ნორმალურად ამოხსნადი კლასია, მაშინ უნდა განვასხვაოთ აზრი შემდეგი გამოთქმებისა: „ნორმალურად ამოხსნადი $\boldsymbol{M}$ კლასის გაფართოება", „ამოხსნადი $\boldsymbol{M}$ კლასის გაფართოება",—„ამოხსნადი $\boldsymbol{M}$ კლასის გაფართოება" შეიძლება არც იყოს „ნორმალურად ამოხსნადი $\boldsymbol{M}$ კლასის გაფართოება".

წინამდებარე შრომის მიზანია [2] შრომაში ფორმულირებული თეორემა 1-ის დახმარებით დამტკიცებულ იქნეს შემდეგი თეორემა: *$\boldsymbol{R}^n$ სივრცის სიმრავლეთა ყოველი ამოხსნადი კლასი არის გაფართოებადი.* ხსენებული 1-ლი თეორემა კერძო შემთხვევაში, როცა $\boldsymbol{F} = \boldsymbol{I}^n$, სადაც $\boldsymbol{I}^n$ არის $\boldsymbol{R}^n$ სივრცის ყველა იზომეტრიული გარდაქმნის ოჯახი, შეიძლება ფორმულირებულ იქნეს შემდეგნაირად:

თეორემა (A). *ნებისმიერი ევკლიდური $\boldsymbol{R}^n$ სივრცისათვის არსებობენ ტრანსფინიტური φ-მიმდევრობანი:*[1]

$$\{R_\alpha\}_{\alpha<\varphi},\ \{K_\alpha\}_{\alpha<\varphi},\ \{\mathfrak{a}_\alpha\}_{\alpha<\varphi}\ \text{და}\ \{M_\alpha\}_{\alpha<\varphi},$$

რომლებიც აკმაყოფილებენ შემდეგ პირობებს:

1°. *$\{\mathfrak{a}_\alpha\}_{\alpha<\varphi}$ არის კონტინუუმის სიმძლავრეზე ნაკლებ კარდინალურ რიცხვთა არაკლებადი φ-მიმდევრობა;*

2°. *K_α $(0 \leqq \alpha < \varphi)$ არის $W(\varphi)$ სიმრავლის*[2] *კონტინუალური ქვესიმრავლე. გარდა ამისა, $K_\alpha \cdot K_\beta = 0$, როცა $0 \leqq \alpha < \beta < \varphi$ და*

---

[1] φ კონტინუუმის სიმძლავრის დამწყები რიგობრივი რიცხვია.

[3] ნებისმიერი რიგობრივი α რიცხვისათვის $W(\alpha)$ სიმბოლოთი აღნიშნავენ α-ზე ნაკლებ რიგობრივ რიცხვთა სიმრავლეს.

$$W(\varphi) = \sum_{0 \leqq \alpha < \varphi} K_\alpha;$$

3°. R_α $(0 \leqq \alpha < \varphi)$ წყვილ-წყვილად ერთმანეთის არმკვეთი $\mathbf{R}^n$ სივრცის სიმრავლეებია და

$$\mathbf{R}^n = \sum_{0 \leqq \alpha < \varphi} R_\alpha, \quad M_\alpha = \sum_{\sigma \in K_\alpha} R_\sigma.$$

მაშასადამე, M_α სიმრავლეებიც $(0 \leqq \alpha < \varphi)$ წყვილ-წყვილად არ იკვეთებიან და

$$\mathbf{R}^n = \sum_{0 \leqq \alpha < \varphi} M_\alpha;$$

4°. $W(\varphi)$-სგან განსხვავებულ, $W(\varphi)$-ს ნებისმიერი არაცარიელი Φ ქვესიმრავლისათვის

$$\sum_{\alpha \in \Phi} M_\alpha,$$

კერძოდ თითოეული M_α $(0 \leqq \alpha < \varphi)$, საკუთრივ თითქმის ინვარიანტული სიმრავლეა[1];

5°. ვთქვათ, Φ აღნიშნავს $W(\varphi)$-ს ნებისმიერ ქვესიმრავლეს. თუ $W(\varphi)$ Φ სიმრავლის კონფინალურია, მაშინ

$$\sum_{\alpha \in \Phi} R_\alpha$$

აბსტრაქტული აზრით თითქმის ინვარიანტული სიმრავლეა; ხოლო თუ $W(\varphi)$ არაა Φ-ს კონფინალური, მაშინ

$$\overline{\overline{\sum_{\alpha \in \Phi} R_\alpha}} < \aleph;$$

6°. $\overline{\overline{R_\alpha}} \leqq \aleph_\alpha$, როცა $0 \leqq \alpha < \varphi$.

ვთქვათ, $\mathbf{M}$ არის $\mathbf{R}^n$ სივრცის სიმრავლეთა ამოხსნადი კლასი, μ კი— $\mathbf{M}$-ზე განსაზღვრული ზომა. გარდა ამისა, ვთქვათ, (P) არის რაიმე თვისება, $\mathbf{F}$ კი— $\mathbf{R}^n$ სივრცის იზომეტრიულ გარდაქმნათა მოცემული ოჯახი. ვიტყვით, რომ $\mathbf{R}^n$ სივრცის M' სიმრავლე არის ამავე სივრცის M სიმრავლის თვლადი $\mathbf{F}$-კონფიგურაცია, თუ არსებობს $\mathbf{F}$-ის ელემენტთა ისეთი მიმდევრობა $\{f_i\}$, რომ

$$M' \subset \sum_{i=1}^{\infty} f_i(M).$$

გარდა ამისა ვიტყვით, რომ $\mathbf{R}^n$ სივრცის A სიმრავლე არის თითქმის (μ) $\mathbf{F}$-ინვარიანტული, თუ $\widetilde{\mu}(A) > 0$ და $\mathbf{F}$-ის ნებისმიერი f ელემენტისათვის ადგილი აქვს ტოლობას: $\widetilde{\mu}[A \Delta f(A)] = 0$. იმ შემთხვევაში, როცა როგორც A, ისე მისი დამატება CA თითქმის (μ) $\mathbf{F}$-ინვარიანტულია, ვიტყვით, რომ A სიმრავლე არის საკუთრივ თითქმის (μ) $\mathbf{F}$-ინვარიანტული. შემდგომ ნაცვლად ტერმინისა „$\mathbf{I}^n$ ინვარიანტული", სადაც $\mathbf{I}^n$ არის $\mathbf{R}^n$ სივრცის ყველა იზომეტრიული გარდაქმნის ოჯახი, ვისარგებლებთ ტერმინით „ინვარიანტული". დასასრულს, ვიტყვით, რომ X არის (P) თვისების მქონე

[1] იხ. [2] 3 და 4 განსაზღვრები.

მაქსიმალური (მინიმალური) μ-ზომის სიმრავლე, თუ $X \in \boldsymbol{M}$ აქვს (P) თვისება და თითოეული P თვისების მქონე μ-ზომადი X_0 სიმრავლე აკმაყოფილებს პირობას:

$$\mu(X_0 - X) = 0, \ [\mu(X - X_0) = 0].$$

ამის შესაბამისად $\boldsymbol{R}^n$ სივრცის X სიმრავლის შემცველ (X-ში შემავალ) მინიმალური (მაქსიმალური) μ-ზომის $\widetilde{X}$, $\underset{\sim}{(X)}$ სიმრავლეს ვუწოდებთ X-ის μ-ზომად გარსს (μ-ზომად გულს). სივრცის ნებისმიერი X სიმრავლის μ-ზომადი გარსის და μ-ზომადი გულის არსებობა გამომდინარეობს შემდეგი ლემიდან.

ლემა 1. ვთქვათ, $\boldsymbol{M}$ არის $\boldsymbol{R}$ სივრცის სიმრავლეთა ამოხსნადი კლასი, μ კი—მასზე განსაზღვრული ზომა. თუ P თვისება ისეთია, რომ დამოკიდებულებიდან: $X_i \in (P)$ $(i = 1, 2, \ldots)$ ყოველთვის გამომდინარეობს დამოკიდებულება:

$$\sum_{i=1}^{\infty} X_i \in (P), \ \left[\prod_{i=1}^{\infty} X_i \in (P)\right]$$

და, გარდა ამისა, არსებობს ერთი მაინც (P) თვისების მქონე μ-ზომადი სიმრავლე, მაშინ არსებობს (P) თვისების მქონე მაქსიმალური (მინიმალური) μ-ზომის სიმრავლე. ამავე დროს (P) თვისების მქონე მაქსიმალური (მინიმალური) μ-ზომის X სიმრავლე, იმ შემთხვევაში, როცა $\mu(X) < \infty$, იგივეა, რაც (P) თვისების მქონე μ-ზომადი სიმრავლე, რომლის μ-ზომა არაა ნაკლები (არაა მეტი) ნებისმიერი (P) თვისების მქონე μ-ზომადი სიმრავლის μ-ზომაზე.

ლემა 2. ვთქვათ, $\boldsymbol{M}$ არის $\boldsymbol{R}^n$ სივრცის სიმრავლეთა ამოხსნადი კლასი, μ კი—მასზე განსაზღვრული ზომა. გარდა ამისა, ვთქვათ, მოცემულია სივრცის იზომეტრიულ გარდაქმნათა $\boldsymbol{F}$ ჯგუფი. თუ A არის μ-ზომადი დადებითი μ-ზომის სიმრავლე, A' კი—A სიმრავლის თვლადი $\boldsymbol{F}$-კონფიგურაცია მაქსიმალური μ-ზომისა, მაშინ A' თითქმის (μ) $\boldsymbol{F}$-ინვარიანტული სიმრავლეა.

ამ ლემების დამტკიცება არ წარმოადგენს სიძნელეს.

ლემა 3. ვთქვათ, $\boldsymbol{M}$ არის $\boldsymbol{R}^n$ სივრცის სიმრავლეთა ამოხსნადი კლასი, μ კი—მასზე განსაზღვრული ზომა. გარდა ამისა, ვთქვათ, $\boldsymbol{N}$ არის $\boldsymbol{R}^n$ სივრცის სიმრავლეთა კლასი, რომელიც აკმაყოფილებს შემდეგ პირობებს:

1. თუ $N_i \in \boldsymbol{N}$ $(i = 1, 2, \ldots)$, მაშინ

$$\sum_{i=1}^{\infty} N_i \in \boldsymbol{N},$$

2. თუ $N \in \boldsymbol{N}$, მაშინ $\mu(N) = 0$,
3. თუ $N_1 \simeq N \in \boldsymbol{N}$, მაშინ $N_1 \in \boldsymbol{N}$,
4. თუ $N_1 \subset N \in \boldsymbol{N}$, მაშინ $N_1 \in \boldsymbol{N}$.

მაშინ $M+N_1-N_2$ სახის სიმრავლეთა კლასი $\mathbf{M}(\mathbf{N})$, სადაც M ნებისმიერი სიმრავლეა $\mathbf{M}$-დან, N_1 და N_2 კი ნებისმიერი სიმრავლეებია $\mathbf{N}$-დან, არის ამოხსნადი; ამასთანავე სიმრავლის ფუნქცია $\mu_{\mathbf{N}}$, განსაზღვრული ფორმულით

$$\mu_{\mathbf{N}}(M+N_1-N_2)=\mu(M), \tag{1}$$

არის ზომა $\mathbf{M}(\mathbf{N})$-ზე. მაშასადამე, თუ $\mathbf{N}$ არაა $\mathbf{M}$-ის ქვეკლასი, მაშინ ზომა μ არის გაგრძელებადი.

გარდა ამისა, თუ $\mathbf{M}$ სრული კლასია μ-ს მიმართ, მაშინ $\mathbf{M}(\mathbf{N})$ იქნება აგრეთვე სრული კლასი, $\mu_{\mathbf{N}}$ კი — $\mathbf{M}(\mathbf{N})$-ზე განსაზღვრული სრული ზომა; ხოლო, თუ μ (A) ტიპის $[(B)$ ტიპის$]$ ზომაა, მაშინ $\mu_{\mathbf{N}}$ იქნება აგრეთვე (A) ტიპის $[(B)$ ტიპის$]$ ზომა.

დამტკიცება. 1°. $\mathbf{M}(\mathbf{N})$ არის ინვარიანტული კლასი.

მართლაც, თუ

$$M_i^*=M_i+N_i'-N_i''\in\mathbf{M}(\mathbf{N}),\ (M_i\in\mathbf{M},\ N_i',\ N_i''\in\mathbf{N}),$$

მაშინ

$$\sum_{i=1}^{\infty}M_i^*=\sum_{i=1}^{\infty}M_i+\sum_{i=1}^{\infty}N_i'-N, \tag{2}$$

სადაც

$$N=\left(\sum_{i=1}^{\infty}N_i''\right)\cdot C\left(\sum_{i=1}^{\infty}M_i^*\right)\subset\sum_{i=1}^{\infty}N_i''.$$

აქედან 1-ლი და 4-ის ძალით გამომდინარეობს:

$$\sum_{l=1}^{\infty}M_i^*\in\mathbf{M}(\mathbf{N}).$$

გარდა ამისა, 4-ის ძალით, შეიძლება ვიგულისხმოთ, რომ $N'_1\subset CM_1$ და $N''_1\subset M_1$. მაშინ $CM_1^*=CM_1+N''_1-N'_1\in\mathbf{M}(\mathbf{N})$. მაშასადამე, ივნარიანტული კლასის განსაზღვრაში მოთხოვნილი 1°—5° პირობებიდან 1° და 2° შესრულებულია. დანარჩენი პირობების შესრულების შემოწმება სიძნელეს არ წარმოადგენს.

2°. (1) ფორმულა $\mu_{\mathbf{N}}$ ფუნქციას განსაზღვრავს ცალსახად.

მართლაც, ვთქვათ,

$$M^*=M+N_1-N_2=M'+N_1'-N_2',$$

სადაც

$$M,\ M'\in\mathbf{M}\ \text{და}\ N_1,\ N_2,\ N_1',\ N_2'\in\mathbf{N}.$$

ადვილად შევნიშნავთ, რომ

$$M\Delta M'\subset N_1+N_2+N_1'+N_2'.$$

აქედან, რადგან

$$\mu(M\Delta M')=\underset{\sim}{\mu}(M\Delta M')=\underset{\sim}{\mu}(N_1+N_2+N_1'+N_2')=0,$$

გამომდინარეობს ტოლობა $\mu(M)=\mu(M')$.

3°. თუ $\{M^k+N_k'-N_k''\}_{k=1,2,\dots}$ მიმდევრობის სიმრავლეები ($M_k\in\mathbf{M}$ და $N_k',N_k''\in\mathbf{N}$) წყვილ-წყვილად არ იკვეთება, მაშინ $\{M_k\}_{k=1,2,\dots}$ მიმდევრობის სიმრავლეები თითქმის (μ) წყვილ-წყვილად არ იკვეთება, ე. ი. $\mu(M_iM_j)=0$, როცა $i\neq j$.

მართლაც, თუ $i \neq j$, მაშინ $M_i \cdot M_j \subset N_i'' + N_j''$ [თუ $x \in M_i \cdot M_j$, მაშინ $x \in N_i'' + N_j''$, რადგან $x \,\overline{\in}\, (M_i + N_i' - N_i'')\,(M_j + N_j' - N_j'')$]. მაშასადამე,

$$\mu(M_i \cdot M_j) \leqq \underset{\sim}{\mu}(N_i'' + N_j'') = 0.$$

ახლა 3°-დან და (2) ტოლობიდან ადვილად გამომდინარეობს $\mu_{\boldsymbol{N}}$ ფუნქციის სავსებით ადიტიურობა. ლემის დამტკიცების დასრულება არ წარმოადგენს სიძნელეს.

ვთქვათ, $\boldsymbol{M}$ არის $\boldsymbol{R}^n$ სივრცის სიმრავლეთა ამოხსნადი კლასი, μ კი— მასზე განსაზღვრული ზომა. $\boldsymbol{N}^*$-ით აღვნიშნოთ $\boldsymbol{R}^n$ სივრცის არაკონტინუალურ სიმრავლეთა კლასი. ადვილად შევნიშნავთ, რომ $\boldsymbol{N}^*$ აკმაყოფილებს წინა ლემის პირობებს. შემდგომ $\boldsymbol{M}^*$-ით აღვნიშნავთ $\boldsymbol{M}(\boldsymbol{N}^*)$ კლასს, μ^*-ით კი—$\mu_{\boldsymbol{N}^*}$-ს.

ლემა 4. ვთქვათ, შესრულებულია ერთერთი შემდეგი პირობებიდან:

(1) $\boldsymbol{M}$ არის $\boldsymbol{R}^n$ სივრცის სიმრავლეთა ამოხსნადი კლასი, μ—მასზე განსაზღვრული ზომა, A კი—საკუთრივ თითქმის (μ) ინვარიანტული სიმრავლე;

(2) $\boldsymbol{M}$ არის $\boldsymbol{R}$ სივრცის სიმრავლეთა ამოხსნადი კლასი, რომელიც შეიცავს $\boldsymbol{R}^n$ სივრცის ყველა არაკონტინუალურ სიმრავლეს, μ არის $\boldsymbol{M}$-ზე განსაზღვრული ზომა, A კი—საკუთრივ თითქმის ინვარიანტული სიმრავლე ისეთი, რომ

$$\widetilde{\mu}(A) > 0, \quad \widetilde{\mu}(CA) > 0;$$

მაშინ $c = \widetilde{\mu}(CA \cdot R_0^n) > 0$, $M_A = CA \cdot M + A_1 - A_2$ სახის სიმრავლეთა კლასი $\boldsymbol{M}_A$, სადაც M ნებისმიერი სიმრავლეა $\boldsymbol{M}$-დან, ხოლო A_1 და A_2 A სიმრავლის თვლადი კონფიგურაციებია, არის ამოხსნადი და სიმრავლის ფუნქცია μ_A, განსაზღვრული ფორმულით

$$\mu_A(M_A) = \mu_A(CA \cdot M + A_1 - A_2) = \frac{1}{c}\,\widetilde{\mu}(CA \cdot M), \tag{3}$$

ზომაა $\boldsymbol{M}_A$-ზე. ამასთანავე $\boldsymbol{M} \subset \boldsymbol{M}_A$, $A \in \boldsymbol{M}_A$ და $\mu_A(A) = 0$. მაშასადამე, ამოხსნადი კლასი $\boldsymbol{M}$ გაფართოებადია.

გარდა ამისა: თუ $\boldsymbol{M}$ μ-ს მიმართ სრული კლასია, მაშინ $\boldsymbol{M}_A$ კლასიც სრული იქნება μ_A-ს მიმართ. ასევე თუ μ არის (B) ტიპის [(A) ტიპის] ზომა, მაშინ μ_A ზომაც (B) ტიპის [(A) ტიპის] იქნება.

დამტკიცება. რადგან (2)-დან გამომდინარეობს (1), შეგვიძლია ვიგულისხმოთ, რომ შესრულებულია (1). გარდა ამისა, ადვილად ვამჩნევთ, რომ $c > 0$.

1°. M_A არის ინვარიანტული კლასი.

ეს გამომდინარეობს მე-3 ლემიდან, რადგან

$$CA \cdot M + A_1 - A_2 = M + A_1 - (MA \cdot CA_1 + A_2) \text{ და}$$

$$M + A_1 - A_2 = CA \cdot M + (MA + A_1) - A_2$$

ფორმულების ძალით $\boldsymbol{M}_A = \boldsymbol{M}(\boldsymbol{N})$, სადაც $\boldsymbol{N}$ არის კლასი A სიმრავლის თვლადი კონფიგურაციებისა.

2°. თუ $Y \simeq X = CA\cdot M^x + A_1^x - A_2^x \in \boldsymbol{M}_A$, მაშინ $Y = CA\cdot M^y + A_1^y - A_2^y$, სადაც A_1^x, A_2^x, A_1^y, A_2^y სიმრავლეები A სიმრავლის თვლადი კონფიგურაციებია, M^x, $M^y \in \boldsymbol{M}$ და აკმაყოფილებენ შემდეგ პირობას:

$$\widetilde{\mu}(CA\cdot M^x) = \widetilde{\mu}(CA\cdot M^y).$$

მართლაც, ვთქვათ, $Y = f(X)$, სადაც f არის R^n სივრცის იზომეტრული გარდაქმნა. მაშინ $Y = f(CA)\cdot f(M^x) + f(A_1^x) - f(A_2^x)$. ამიტომ, რადგან $f(CA) = CA + B_1 - B_2$, სადაც $B_1 = f(CA)\,A \subset A$, ხოლო $B_2 = f(A)\,CA \subset f(A)$, გვექნება:

$$Y = (CA + B_1 - B_2)\,f(M^x) + f(A_1^x) - f(A_2^x)$$

$$= CA\cdot f(M^x) + [B_1 f(M^x) + f(A_1^x)] - [f(A_2^x) + B_2\cdot f(M^x)\cdot Cf(A_1^x)].$$

ახლა საკმარისია შევნიშნოთ, რომ კვადრატულ ფრჩხილებში მოთავსებული სიმრავლეები A სიმრავლის თვლადი კონფიგურაციებია და, რადგან

$$\widetilde{\mu}(B_1 + B_2) = \widetilde{\mu}[CA\Delta f(CA)] = 0,$$

$$\widetilde{\mu}(CA\cdot M^x) = \widetilde{\mu}[f(CA\cdot M^x)] = \widetilde{\mu}[(CA + B_1 - B_2)\cdot f(M^x)] = \widetilde{\mu}[CA\cdot f(M^x)].$$

3°. (3) ფორმულით სიმრავლის ფუნქცია μ_A განისაზღვრება ცალსახად.

მართლაც, ვთქვათ, $M_A = CA\cdot M + A_1 - A_2 = CA\cdot M' + A'_1 - A'_2$, $M, M' \in \boldsymbol{M}$ და A_1, A_2, A'_1, A'_2 არიან A სიმრავლის თვლადი კონფიგურაციები. მაშინ

$$CA\cdot M\Delta CA\cdot M' \subset A_1 + A_2 + A'_1 + A'_2.$$

აქედან, რადგან A საკუთრივ თითქმის (μ) ინვარიანტული სიმრავლეა და, მაშასადამე,

$$\widetilde{\mu}[CA(A_1 + A_2 + A'_1 + A'_2)] = 0,$$

გამომდინარეობს, რომ

$$\widetilde{\mu}[CA\cdot M\Delta CA\cdot M'] = 0.$$

მაშასადამე,

$$\widetilde{\mu}(CA\cdot M') = \widetilde{\mu}(CA\cdot M).$$

ახლა ცხადია, რომ $\boldsymbol{M} \subset \boldsymbol{M}_A$, $A \in \boldsymbol{M}_A$ და $\mu_A(A) = 0$.

4°. μ_A ფუნქცია $\boldsymbol{M}$-ზე განსაზღვრული ზომაა.

μ_A ფუნქციის განსაზღვრიდან და 2 და 3-დან გამომდინარეობს, რომ თუ $X \simeq Y \in \boldsymbol{M}_A$, მაშინ $\mu_A(X) = \mu_A(Y)$. გარდა ამისა, ცხადია, რომ

$$\mu_A(R_0^n) = \mu_A[CA\cdot R_0^n + R_n^0\cdot A] = \frac{1}{c}\widetilde{\mu}(CA\cdot R_0^n) = \frac{1}{c}\cdot c = 1.$$

ამრიგად, შესამოწმებელი გვრჩება μ_A ფუნქციის სავსებით ადიტიურობა.

შევნიშნოთ, რომ თუ $\{CA\cdot M^k + A_1^k - A_2^k\}_{k=1,2,\ldots}$ მიმდევრობის სიმრავლეები [სადაც $M^k \in \boldsymbol{M}$ და A_1^k და A_2^k A სიმრავლის თვლადი კონფიგურაციებია $(k = 1, 2, \ldots)$] წყვილ-წყვილად არ იკვეთება და $A_1^k \subset C[CA\cdot M^k]$, $A_2^k \subset CA\cdot M^k\,(k = 1, 2, \ldots)$, მაშინ $\{CA\cdot M^k\}_{k=1,2,\ldots}$ მიმდევრობის სიმრავლეები წყვილ-წყვილად თითქმის ($\widetilde{\mu}$) არ იკვეთება, ე. ი.

$$\widetilde{\mu}[(CA\cdot M^i]\,(CA\cdot M^j)] = 0,$$

როცა $i \neq j$.

მართლაც, თუ $i \neq j$, მაშინ $(CA\cdot M^i)\cdot(CA\cdot M^j) \subset A_2^i + A_2^j$ (თუ $x \in (CA\cdot M^i)\cdot(CA\cdot M^j)$, მაშინ, რადგან $x \overline{\in} (CA\cdot M^i + A_1^i - A_2^i)\cdot(CA\cdot M^j + A_1^j - A_2^j)$,

x ეკუთვნის ერთს მაინც A_2^i და A_2^j სიმრავლეებიდან). აქედან, რადგან A საკუთრივ თითქმის (μ) ინვარიანტული სიმრავლეა და, მაშასადამე,

$$\widetilde{\mu}[(A_2^i+A_2^j)\cdot CA]=0,$$

გამომდინარეობს, რომ

$$\widetilde{\mu}[(CA\cdot M^i)\cdot(CA\cdot M^j)]=0.$$

შემდეგ შევნიშნოთ, რომ სიმრავლის ფუნქცია $\widetilde{\mu}$ კარატეოდორის გარე ზომაა (იხ. [3], თავი II) $\boldsymbol{R}^n$-ის ნებისმიერ ქვესივრცეში და M^i სიმრავლის $\widetilde{\mu}$-ზომადობიდან გამომდინარეობს $M^i\cdot CA$ თანაკვეთის $\widetilde{\mu}$-ზომადობა CA სივრცეში. ამიტომ, რადგან $CA\cdot M^i\,(i=1,\ 2,\ldots)$ სიმრავლეები წყვილ-წყვილად თითქმის ($\widetilde{\mu}$) არ იკვეთება, გვექნება:

$$\frac{1}{c}\,\widetilde{\mu}(CA\sum M^i)=\frac{1}{c}\sum\widetilde{\mu}(CA\cdot M^i)=\sum_{i=1}^{\infty}\mu_A(CA\cdot M^i+A_1^i-A_2^i).$$

ახლა μ_A ფუნქციის სავსებით ადიტიურობის დადგენისათვის საკმარისია შევნიშნოთ, რომ

$$\sum_{i=1}^{\infty}(CA\cdot M^i+A_1^i-A_2^i)=CA\sum_{i=1}^{\infty}M^i+\sum_{i=1}^{\infty}A_1^i-\bar{A}_2$$

(სადაც $\bar{A}_2$ არის $\sum\limits_{i=1}^{\infty}A_2^i$ სიმრავლის რაღაც ქვესიმრავლე) და, მაშასადამე,

$$\mu_A\left[\sum_{i=1}^{\infty}CA\cdot M^i+A_1^i-A_2^i\right]=\frac{1}{c}\,\widetilde{\mu}\left[CA\sum_{i=1}^{\infty}M^i\right].$$

დამტკიცების დასრულებისათვის საკმარისია შევნიშნოთ, რომ თუ μ სრული ზომაა, მაშინ μ_A ზომაც სრულია და, თუ μ არის (A) ტიპის [(B) ტიპის] ზომა, მაშინ μ_A ზომაც (A) ტიპის [(B) ტიპის] იქნება.

თეორემა 1. $\boldsymbol{R}^n$ სივრცის თითოეული ამოხსნადი კლასი $\boldsymbol{M}$ არის გაფართოებადი.

დამტკიცება. დავუშვათ წინააღმდეგი, რომ ამოხსნადი კლასი $\boldsymbol{M}$ არ არის გაფართოებადი. ვთქვათ, μ არის $\boldsymbol{M}$-ზე განსაზღვრული ზომა. ცხადია, რომ μ სრული ზომაა, $\boldsymbol{M}=\boldsymbol{M}^*$ და, მაშასადამე, $\boldsymbol{M}$ შეიცავს $\boldsymbol{R}^n$ სივრცის ყველა არაკონტინუალურ სიმრავლეს.

ახლა ვთქვათ, რომ $\{R_\alpha\}_{\alpha<\varphi}$, $\{K_\alpha\}_{\alpha<\varphi}$, $\{\mathfrak{a}_\alpha\}_{\alpha<\varphi}$ და $\{M_\alpha\}_{\alpha<\varphi}$ ტრანსფინიტური φ-მიმდევრობებია, რომლებიც აკმაყოფილებენ (A) თეორემის პირობებს. რადგან $\boldsymbol{R}^n$ სივრცის არაკონტინუალური სიმრავლეები μ-ნულზომისაა, (A) თეორემისა (4°) და 4 ლემის საფუძველზე ადვილად დავასკვნით, რომ არსებობს რიგობრივი რიცხვი $\beta<\varphi$, რომელიც აკმაყოფილებს პირობას: $\mu(M_\alpha)=0$ ყოველთვის, როცა $\alpha\in W(\varphi)-\{\beta\}$.

ვთქვათ, $\beta_0,\ \beta_1,\ldots,\ \beta_\xi,\ldots\ (\xi<\varphi)$ არის K_β-ში შემავალი ყველა რიგობრივი რიცხვის მკაცრად ზრდადი მიმდევრობა. მაშინ ცხადია, რომ

$$M_\beta = \sum_{\sigma \in K_\beta}' R_\sigma = \sum_{0 \leqq \xi < \varphi} R_{\beta_\xi}\,.$$

ნებისმიერი რიგობრივი $\alpha \in W(\varphi) - \{\beta\}$ რიცხვისათვის აღვნიშნოთ: $M'_\alpha = M_\alpha + R_{\beta\alpha}$. რადგან $\overline{\overline{R_\beta}} < \aleph$ და $\mu(M_\alpha) = 0$, გვექნება: $\mu(M'_\alpha) = 0$. გარდა ამისა, (A) თეორემის ძალით (5° და 4°), თუ Φ არის $W(\varphi) - \{\beta\}$-სგან განსხვავებული $W(\varphi) - \{\beta\}$ სიმრავლის ნებისმიერი ქვესიმრავლე, მაშინ $\sum_{\alpha \in \Phi} M'_\alpha$ (კერძოდ თითოეული M'_α) საკუთრივ თითქმის ინვარიანტული სიმრავლეა.

ყველა $M_\alpha\,(\alpha \in W(\varphi) - \{\beta\})$ სიმრავლეთა სიმრავლე აღვნიშნოთ $\mathbf{E}$-ით. ვთქვათ, E არის $\mathbf{E}$ სიმრავლის ნებისმიერი ქვესიმრავლე. E სიმრავლის ელემენტების ჯამი აღვნიშნოთ $\dot{E}$-ით. ზემოთქმულის ძალით ან $\dot{E} = R^n - R_\beta$, ან $\dot{E}$ არის საკუთრივ თითქმის ინვარიანტული სიმრავლე. ამიტომ, რადგან $\overline{\overline{R_\beta}} < \aleph$, მე-4 ლემიდან გამომდინარეობს, რომ ან $\mu(\dot{E}) = 0$, ან $\mu(C\dot{E}) = 0$. მაშასადამე, კერძოდ, $\dot{E}$ სიმრავლე μ-ზომადია. ახლა $\mathbf{E}$ სიმრავლის ნებისმიერი E ქვესიმრავლისათვის დავუშვათ, რომ $\mathfrak{m}(E) = 0$, როცა $\mu(\dot{E}) = 0$ და $\mathfrak{m}(E) = 1$, როცა $\mu(\dot{E}) > 0$. ადვილი შესამოწმებელია, რომ $\mathfrak{m}(E)$ ორმნიშვნელობიანი განზოგადებული ზომაა კონტინუალურ $\mathbf{E}$ სიმრავლეზე. მეორე მხრივ ცნობილია, რომ კონტინუალურ სიმრავლეზე განზოგადებული ორმნიშვნელობიანი ზომა არ არსებობს [4]. მიღებული წინააღმდეგობა ამტკიცებს თეორემას.

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა. ანალოგიურად მტკიცდება, რომ თ ი თ ო ე უ ლ ი (B) ტ ი პ ი ს [(A) ტ ი პ ი ს] ა მ ო ხ ს ნ ა დ ი კ ლ ა ს ი გ ა ფ ა რ თ ო ე ბ ა დ ი ა.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ა. რაზმაძის სახელობის
თბილისის მათემატიკის ინსტიტუტი

(რედაქციას მოუვიდა 4.4.1955)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. შ. ფ ხ ა კ ა ძ ე. აბსოლუტურად ნულზომის სიმრავლეების შესახებ. საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XV, № 4, 1954.
2. შ. ფ ხ ა კ ა ძ ე. არაზომადი აბსოლუტურად ნულზომის სიმრავლეები, მათი თვლადი ჯამები და საკუთრივ თითქმის ინვარიანტული სიმრავლეები. საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XVI, № 5, 1955.
3. С. С а к с. Теория интеграла. М., 1949.
4. S. U l a m. Zur Masstheorie in der allgemeinen Mengenlehre. Fund. Math. t. XVI, 1930.

ფიზიკა

გ. ხუციშვილი

ბირთვული მაგნიტური რელაქსაცია, გამოწვეული გამტარებლობის ელექტრონებთან სპინ-ორბიტალური ურთიერთქმედებით

(წარმოადგინა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტმა ვ. მამასახლისოვმა 4.5.1955)

1. ი. კ ო რ ი ნ გ ა ს შრომაში [1] (იხ. აგრეთვე [2]) განხილულია ბირთვული მაგნიტური რელაქსაცია მეტალებში. კერძოდ, აღნიშნულ შრომაში განხილულია ბირთვული მაგნიტური რელაქსაციის შემდეგი მექანიზმი: გამტარებლობის ელექტრონებთან (რომელთა ენერგია ფერმის საზღვართან ახლოა) სპინ-სპინ ურთიერთქმედების გამო ადგილი აქვს ბირთვული სპინების ორიენტაციის შეცვლას. აღნიშნულ შრომაში ნაჩვენებია, რომ ძირითად როლს თამაშობენ ე. წ. I_-S_+ და I_+S_- გადასვლები, ე. ი. ისეთი გადასვლები, რომელთა დროს ურთიერთმოქმედი ბირთვის და გამტარებლობის ელექტრონის სპინების პროექციათა ჯამი ინახება. ელექტრონისა და ბირთვის მაგნიტური ენერგიების ცვლილება კომპენსირდება ელექტრონის კინეტიკური ენერგიის სათანადო ცვლილებით. ამ შრომაში ჩატარებული გამოთვლები სამართლიანია მხოლოდ პირველი ჯგუფის მეტალებისათვის. იმის გამო, რომ სპინ-სპინ ურთიერთქმედების ენერგიის მატრიცული ელემენტისათვის ძირითად როლს თამაშობენ მცირე მანძილები, თავისუფალი ელექტრონების მიახლოების გამოყენება დასაშვები არ არის. მაგრამ სპინ-სპინ ურთიერთქმედების I_-S_+ ნაწილის დელტასებრი სახე მატრიცული ელემენტის გამოთვლის შესაძლებლობას იძლევა. გამოთვლებით ირკვევა, რომ ბირთვისა და გამტარებლობის ელექტრონის სპინ-სპინ ურთიერთქმედებით გამოწვეული ბირთვული მაგნიტური რელაქსაციის დრო აბსოლუტური ტემპერატურის უკუპროპორციულია; თანაც T_1-თვის (ბირთვული მაგნიტური რელაქსაციის დრო) საკმაოდ მცირე მნიშვნელობები მიიღება.

მაგრამ ბირთვული სპინი ურთიერთქმედებს გამტარებლობის ელექტრონის არა მარტო სპინთან, არამედ ორბიტალურ მომენტთანაც. წინამდებარე შრომა მიზნად ისახავს ამ ურთიერთქმედებით გამოწვეული ბირთვული მაგნიტური რელაქსაციის დროის გამოთვლას.

2. ბირთვული სპინისა და გამტარებლობის ელექტრონის ორბიტალური მომენტის ურთიერთქმედების ენერგიას შემდეგი სახე აქვს:

$$V = \frac{2}{r^3}(\vec{\mu}_i \vec{\mu}), \qquad (1)$$

სადაც r ბირთვსა და ელექტრონს შორის მანძილია, $\vec{\mu}$—ბირთვის მაგნიტური მომენტი, ხოლო $\vec{\mu}_l$—გამტარებლობის ელექტრონის ორბიტალური მაგნიტური მომენტი. $\vec{\mu}_l$ მოცემულია შემდეგი გამოსახულებით (β ბორის მაგნეტონია):

$$\vec{\mu}_l = i\beta [\vec{r}\nabla]. \tag{2}$$

მხედველობაში მივიღებთ რა, რომ μ_l r-ის პროპორციულია, ადვილია იმის ჩვენება, რომ სპინ-სპინ ურთიერთქმედების ენერგიის მატრიცული ელემენტისაგან განსხვავებით სპინ-ორბიტალური ურთიერთქმედების ენერგიის მატრიცული ელემენტისათვის მცირე მანძილები არ თამაშობენ ძირითად როლს. ამის გამო სპინ-ორბიტალური ურთიერთქმედებით გამოწვეული ბირთვული მაგნიტური რელაქსაციის განხილვისას დასაშვებია, პირველი ჯგუფის მეტალების შემთხვევაში, თავისუფალი ელექტრონების მიახლოების გამოყენება[1] (ე. ი. ელექტრონის ტალღურ ფუნქციად ბრტყელი ტალღის აღება).

დავკმაყოფილდეთ ნახევრიანი სპინის შემთხვევის განხილვით. მაშინ გვექნება, რომ

$$\vec{\mu} = 2\,\mu \vec{I} \tag{3}$$

($\vec{I}$ ბირთვის სპინის ოპერატორია, μ კი—ბირთვის მაგნიტური მომენტის პროექცია).

(2) და (3) ფორმულების ჩასმა (1) ფორმულაში გვაძლევს

$$V = \frac{4\,i\beta\mu}{r^3}\,[\vec{r}\nabla]\,\vec{I}. \tag{4}$$

რადგან V არ შეიცავს გამტარებლობის ელექტრონის სპინის ოპერატორს, ამიტომ (4) ურთიერთქმედებით გამოწვეული გადასვლებისას გამტარებლობის ელექტრონის სპინის პროექცია არ იცვლება.

3. განვიხილოთ გადასვლა

$$\alpha,\ \vec{k} \to \beta,\ \vec{k}',$$

სადაც α, β აღნიშნავენ ბირთვის მდგომარეობებს სპინის პროექციით გარეგანი მაგნიტური ველის მიმართულებაზე $+\frac{1}{2}$ და სათანადოდ $-\frac{1}{2}$[2], $\vec{k}$ და $\vec{k}'$ წარმოადგენენ გამტარებლობის ელექტრონის საწყის და საბოლოო ტალღურ ვექტორებს. (4) გამოსახულების მატრიცული ელემენტისათვის ვღებულობთ

$$V_{fi} = 4\,i\beta_\mu\,(\beta|\vec{I}|\alpha)\int \exp(-i\vec{k}'\vec{r})\,\frac{[\vec{r}\nabla]}{r^3}\,\exp(i\vec{k}\vec{r})\,d\tau.$$

---

[1] კარგად ცნობილია, რომ თავისუფალი ელექტრონების მიახლოება კარგ მიახლოებას წარმოადგენს მხოლოდ პირველი ჯგუფის მეტალების შემთხვევაში.

[2] ერთმანეთში არ უნდა ავურიოთ ბორის მაგნეტონი β და სპინური მდგომარეობა $m = -\frac{1}{2}$, რომელიც აგრეთვე β-თია აღნიშნული.

$\vec{I}$ ოპერატორის ნულისაგან განსხვავებული მატრიცული ელემენტები ტოლე-ბია [3] (z ღერძს ვირჩევთ გარეგანი მაგნიტური ველის გასწვრივ).

$$(\beta|I_-|\alpha) = (\alpha|I_+|\beta) = 1 \text{ (1}$$

$$(\alpha|I_z|\alpha) = -(\beta|I_z|\beta) = \frac{1}{2}.$$

ამრიგად, $\alpha \to \beta$ გადასვლის შემთხვევაში ნულისაგან განსხვავებულია მხოლოდ I_- ოპერატორის მატრიცული ელემენტი. ადვილად მიიღება, რომ

$$V_{fi} = -2\beta\mu\left[\int \frac{\vec{r}\exp(i\vec{q}\vec{r})}{r^3}\, d\tau,\ \vec{k}\right]_+,$$

სადაც

$$\vec{q} = \vec{k} - \vec{k}'. \tag{5}$$

უკანასკნელი ინტეგრალი წარმოადგენს კულონური ველის ფური-კომპონენტს; კარგად ცნობილია, რომ

$$\int \frac{\vec{r}\exp(i\vec{q}\vec{r})}{r^3}\, d\tau = \frac{4\pi i\vec{q}}{q^2}.$$

ამრიგად ვღებულობთ

$$V_{fi} = -8\pi i\beta\mu \frac{[\vec{k}\vec{k}']_+}{(\vec{k}-\vec{k}')^2}. \tag{6}$$

ადვილია შემდეგი ფორმულის მიღება:

$$|V_{fi}|^2 = (8\pi\beta\mu)^2 \frac{\cos^2\vartheta' + \cos^2\vartheta - 2\cos\vartheta\cos\vartheta'\cos(\vec{k},\vec{k}')}{[a - 2\cos(\vec{k},\vec{k}')]^2}, \tag{7}$$

სადაც ϑ და ϑ' წარმოადგენენ $\vec{k}$ და $\vec{k}'$ ვექტორების მიერ გარე ველთან შედგენილ კუთხეებს, ხოლო მუდმივი a მოცემულია ფორმულით

$$a = \frac{k}{k'} + \frac{k'}{k}. \tag{8}$$

ბირთვის მაგნიტური მომენტი ძალიან მცირეა; ამიტომ, ბირთვის სპინის ორიენტაციის შეცვლისას, გამტარებლობის ელექტრონის კინეტიკური ენერგიის ცვლილება ძალზე მცირეა; ამიტომ a სულ ცოტათი აღემატება ორს. მაგრამ (7) ფორმულაში $a = 2$ ჩასმა არ შეიძლება, რადგან ეს გამოიწვევს კუთხეებით ინტეგრალის განშლადობას.

შემოვიყვანოთ $\vec{k}$ და $\vec{k}'$ მიმართულებათა აზიმუტები φ და φ' გარე ველის მიმართულების მიმართ. გვექნება, რომ

$$\cos(\vec{k},\vec{k}') = \cos\vartheta\cos\vartheta' + \sin\vartheta\sin\vartheta'\cos(\varphi - \varphi').$$

(1 შემოღებულია აღნიშვნები $A_\pm = A_x \pm iA_y$.

(7) ფორმულის გასაშუალოება φ'-ით გვაძლევს

$$|V_{fi}|^2 = (8\pi\beta\mu)^2 \times$$

$$\times \frac{(a - 2\cos\vartheta\cos\vartheta')(\cos^2\vartheta\sin^2\vartheta' + \sin^2\vartheta\cos^2\vartheta') - 4\sin^2\vartheta\sin^2\vartheta'\cos\vartheta\cos\vartheta'}{[(a - 2\cos\vartheta\cos\vartheta')^2 - 4\sin^2\vartheta\sin^2\vartheta']^{3/2}}. \quad (9)$$

ჩავატაროთ კიდევ უკანასკნელი გამოსახულების გასაშუალოება ϑ და ϑ'-ით; მივიღებთ რა მხედველობაში, რომ a დაახლოებით ორის ტოლია, მიახლოებით მივიღებთ

$$\overline{|V_{fi}|^2} = (4\pi\beta\mu)^2 f, \quad (10)$$

სადაც

$$f = \frac{2}{3}\left[\ln\frac{4}{a-2} - 2\right]. \quad (11)$$

ენერგიის მუდმივობის კანონის გამოყენებით ადვილად მიიღება

$$k' = k\left[1 - \frac{2\mu H}{\varepsilon}\right]^{1/2},$$

სადაც ε წარმოადგენს გამტარებლობის ელექტრონის კინეტიკურ ენერგიას

$$\varepsilon = \frac{h^2k^2}{2m}. \quad (12)$$

რადგან $\mu H \ll \varepsilon$, შეიძლება ჩავატაროთ $\frac{\mu H}{\varepsilon}$-ის მიმართ დაშლა; ვღებულობთ

$$a = 2 + \left(\frac{\mu H}{\varepsilon}\right)^2.$$

(8)-ში ჩასმა გვაძლევს

$$f(\varepsilon) = \frac{4}{3}\left[\ln\frac{2\varepsilon}{\mu H} - 1\right]. \quad (13)$$

4. შეშფოთებათა თეორიის თანახმად, ბირთვული სპინის $\alpha \to \beta$ გადასვლის ალბათობა (დროის ერთეულში) მოცემულია შემდეგი გამოსახულებით:

$$W_{\alpha\to\beta} = \frac{2\pi}{h}\int \frac{mk'd\Omega'}{(2\pi)^3 h^2} \frac{2k^2dk\,d\Omega}{(2\pi)^3} |V_{fi}|^2 g(1 - g'). \quad (14)$$

ამ ფორმულაში $\frac{2k^2dk\,d\Omega}{(2\pi)^3}$ წარმოადგენს გამტარებლობის ელექტრონის საწყის მდგომარეობათა რიცხვს (k, dk) ინტერვალში და $\vec{k}$-ს მიმართულებით $d\Omega$ სხეულოვან კუთხეში,

$$\frac{mk'd\Omega'}{(2\pi)^3 h^2} = \frac{(k')^2 dk'd\Omega'}{(2\pi)^3 d\varepsilon'}$$

არის ელექტრონის საბოლოო მდგომარეობათა რიცხვი ენერგიის ერთეულოვან ინტერვალზე, g და g' წარმოადგენენ ε და ε' ენერგიებისათვის ფერმის განაწილების ფუნქციებს; $g(1-g')$ იძლევა იმის ალბათობას, რომ საწყისი მდგომარეობა დაკავებულია, საბოლოო კი თავისუფალი.

თუ დაკმაყოფილებულია პირობა

$$\mu H \ll kT$$

(ეს პირობა დაკმაყოფილებულია, თუ ტემპერატურა 10^{-3} °K-ს აღემატება), მაშინ საბოლოო მდგომარეობათა სიმკვრივეში და აგრეთვე g'-ში შეგვიძლია ε' შევცვალოთ ε-ით.

ცხადია, რომ

$$\int |V_{fi}|^2 \, d\Omega d\Omega' = (4\pi)^2 \overline{|V_{fi}|^2}.$$

(10) და (12) ფორმულების გამოყენებით (14) ღებულობს სახეს

$$W_{\alpha\to\beta} = \frac{32\, m^3}{\pi h^7} (\beta\mu)^2 \int\limits_0^\infty g(1-g)\, \varepsilon f(\varepsilon)\, d\varepsilon$$

ან

$$W_{\alpha\to\beta} = \frac{32\, m^3}{\pi h^7} (\beta\mu)^2 f(\varepsilon_0)\, \varepsilon_0 kT, \tag{15}$$

სადაც ε_0 ფერმის საზღვარია.

საბოლოოდ, სპინ-ორბიტალური ურთიერთქმედებით გამოწვეული ბირთვული მაგნიტური რელაქსაციის დროისათვის ვღებულობთ (მხედველობაში ვიღებთ, რომ $\frac{1}{T_1} = W_{\alpha\to\beta} + W_{\beta\to\alpha}$ და რომ თუ $\mu H \ll kT$, მაშინ $W_{\alpha\to\beta} = W_{\beta\to\alpha}$)

$$\frac{1}{(T_1)_{s0}} = \frac{2^6 m^3}{\pi h^7} (\beta\mu)^2 f(\varepsilon_0)\, \varepsilon_0 kT. \tag{16}$$

5. [1] შრომის თანახმად (იხ. აგრეთვე [2]), სპინ-სპინ ურთიერთქმედებით გამოწვეული მაგნიტური რელაქსაციის დროისათვის გვაქვს

$$\frac{1}{(T_1)_{ss}} = \frac{2^9 m^3}{9\pi h^7} (\beta\mu)^2 \, |\psi(0)|^4 \, \varepsilon_0 kT, \tag{17}$$

სადაც $\psi(0)$ წარმოადგენს გამტარებლობის ელექტრონის ტალღურ ფუნქციას ბირთვზე.

(16) და (17) ფორმულები გვაძლევენ

$$\frac{(T_1)_{s0}}{(T_1)_{ss}} = \frac{8}{9} \, \frac{|\psi(0)|^4}{f(\varepsilon_0)}. \tag{18}$$

(18) ფორმულა სამართლიანია იმ შემთხვევაში, როცა ბირთვის სპინი ნახევრის ტოლია. თუ $I > \frac{1}{2}$, განსხვავება იქნება ერთის რიგის მამრავლში.

გამოვიყენოთ (18) ფორმულა ლითიუმის შემთხვევაში $\left(Li^7\right.$-ის სპინი $\frac{3}{2}$-ის ტოლია$\left.\right)$. ლითიუმისათვის $\varepsilon_0 = 4{,}7$ ე. ვ. $= 0{,}75 \cdot 10^{-11}$ ერგი. $\mu H = 5 \cdot 10^{-21}$ ერგისათვის (13) გვაძლევს

$$f(\varepsilon_0) = 28.$$

[4] შრომის თანახმად, მეტალური ლითიუმისათვის

$$|\psi(0)|^2 = 28$$

და (18) გვაძლევს

$$\frac{(T_1)_{s0}}{(T_1)_{ss}} = 25.$$

დანარჩენი ტუტე მეტალებისა და აგრეთვე *IB* ჯგუფის მეტალებისათვის (სპილენძი, ვერცხლი, ოქრო) $|\psi(0)|^2$ კიდევ უფრო მეტია. ამრიგად, შეიძლება დავასკვნათ, რომ პირველი ჯგუფის მეტალებისათვის რელაქსაცია, გამოწვეული სპინ-ორბიტალური ურთიერთქმედებით, არ არის მნიშვნელოვანი, თანაც, როგორც ვხედავთ, სპინ-სპინ ურთიერთქმედების უფრო დიდი მნიშვნელობა დაკავშირებულია იმ გარემოებასთან, რომ s ელექტრონებისათვის $|\psi(0)|^2$ დიდ სიდიდეს წარმოადგენს.

როგორც კორინგას, ისე ჩვენი გამოთვლებიც რაოდენობრივად სამართლიანია მხოლოდ პირველი ჯგუფის მეტალებისათვის. სხვა მეტალებისათვის გამტარებლობის ელექტრონების ტალღური ფუნქციები ცნობილი არ არის. ამიტომ მათთვის რაოდენობრივი დასკვნების გამოყვანა ჯერჯერობით შეუძლებელია.

მაგრამ ბევრი მეტალის შემთხვევაში გამტარებლობა ძირითადად გამოწვეულია არა s, არამედ p ელექტრონებით[1]. ასეთ შემთხვევაში უნდა ვიფიქროთ, რომ უპირატეს როლს თამაშობს სპინ-ორბიტალური რელაქსაცია.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ფიზიკის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 5.5.1955)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. J. Korringa. Nuclear magnetic relaxation in metals. Physica, t. 16, 1950, 601.
2. A. W. Owerhauser. Relaxation in metals. Phys. Rev., t. 89, 1953, 689.
3. Л. Д. Ландау и Е. М. Лифщиц. Квантовая механика, ГИТТЛ, Москва, 1948.
4. M. A. Ruderman, C. Kittel. Indirect exchange coupling of nuclear magnetic moments by conduction electrons. Phys. Rev., t. 96, 1954, 99.

[1] გამტარებლობის ელექტრონების დაყოფა s და p ელექტრონებად საკმაოდ უხეშ მიახლოებას წარმოადგენს; სინამდვილეში მეტალში ადგილი აქვს წმინდა ატომური s და p მდგომარეობათა შერევას. წმინდა p მდგომარეობაში მყოფი ელექტრონისათვის $|\psi(0)|^2 = 0$. სინამდვილეში, რადგან p მდგომარეობას ერევა (შედარებით მცირე წონით) s მდგომარეობა, $|\psi(0)|^2$ მეტალის „p“ ელექტრონებისათვის არ იქნება ნულის ტოლი, ოღონდ გაცილებით ნაკლები იქნება, ვიდრე პირველი ჯგუფის მეტალების შემთხვევაში.

გეოფიზიკა

ა. ბუხნიკაშვილი

მადნეულ საბადოებზე ელექტროძიების დაყენების მეთოდიკის საკითხისათვის

(წარმოადგინა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტმა გ. ძოწენიძემ 15.1.1955)

გამოყენებითი გეოფიზიკის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან დარგს წარმოადგენს მადნეული საბადოების ელექტროძიება. საბჭოთა კავშირში ელექტროძიების განვითარების პირველ პერიოდში დიდად გავრცელდა ცვლადი დენის მეთოდები (იზოხაზების, ინდუქციის, ინტენსივობის და სხვა მეთოდები), რომელნიც უმთავრესად ცვლად ელექტრომაგნიტურ ველს იყენებდნენ, რომლის ცვალებადობაც გამტარი ჩანართის არსებობასთან დამოკიდებით დაედო საფუძვლად გეოლოგიურ ინტერპრეტაციას. შემდგომ ჩვენს ქვეყანაში დიდად განვითარდა მუდმივი დენის მეთოდები, რომელნიც მიწის ქერქის ცალკეული უბნების წარმოსახვით ელექტროწინაღობებს ზომავენ და გეოლოგიურ ინტერპრეტაციას ამ საფუძველზე აწარმოებენ. ამჟამად მუდმივი დენის მეთოდები საბჭოთა მეცნიერების მეოხებით საკმაო სისრულითაა დამუშავებული და მათ თითქმის განდევნეს გეოფიზიკური ძიების პრაქტიკიდან ელექტროძიების ის მეთოდები, რომელნიც ცვლადი ელექტრომაგნიტური ველის გაზომვებს ემყარებიან.

ჩვენი აზრით, სწორი არ იყო დიდი გატაცება ცვლადი დენის მეთოდებით საბჭოთა კავშირში ელექტროძიების განვითარების ადრინდელ პერიოდში, როდესაც მათ ხშირად გამოიყენებდნენ გეოლოგიური მონაცემების არასაკმაოდ გათვალისწინების პირობებში. ასევე არასწორად მიგვაჩნია მუდმივი დენის მეთოდებისადმი ზედმეტი უპირატესობის მინიჭების ის პრაქტიკა, რომელსაც ამჟამად აქვს ადგილი. ასეთი მიდგომის შედეგად თითქმის შეწყდა ძიების პრაქტიკაში ცვლადი დენის მეთოდების გამოყენება და მათ გაუმჯობესებაზე ზრუნვა, რამაც მომავალში შეიძლება გავლენა იქონიოს ელექტროძიების მეთოდების შემდგომ განვითარებაზე.

საკითხის არსი მდგომარეობს არა ამ მეთოდების მეცნიერული წინამონაცემების არსებობაში, რომლებიც საკმარისად დასაბუთებულია და, ძირითადად, სერიოზულ კამათს არ იწვევენ. საკითხი ეხება ამ მეთოდების აპარატურისა და მუშაობის მეთოდიკის სრულყოფას და, რაც მთავარია, მათი გამოყენების მიზანშეწონილებას გეოლოგიური პირობების თვალსაზრისით, კონკრეტულ ობიექტებზე. ის არადამაკმაყოფილებელი შედეგები, რომელნიც ზოგჯერ ამ მეთოდების გამოყენებისას მიიღებოდა, უმთავრესად გამოწვეული იყო გეოლოგიური პირობების შეუსაბამობით მათ შესაძლებლობებთან და მომუ-

შავე პირების მხრივ ამ პირობების არასაკმარისი ცოდნით. ობიექტის გეოლოგიის კარგი ცოდნა ასევე აუცილებელი პირობაა მუდმივი დენის მეთოდებით მუშაობის დროსაც. განსაკუთრებით ეს მოგვეთხოვება მადნეული ობიექტების ელექტროძიების დროს, რამდენადაც ეს ობიექტები თავისი წოლის ფორმით, შედგენილობითა და ფიზიკური თვისებებით მრავალი პირობის კომპლექსს წარმოადგენენ.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ელექტრო-რადიომეტრიული ლაბორატორია რიგი წლების მანძილზე საკმაო წარმატებით იყენებდა წინაღობათა მეთოდებს მადნეული, ძირითადად ჰიდროთერმული, საბადოების ელექტროძიების დროს. ამ სამუშაოთა შედეგების კრიტიკული განხილვა და განზოგადება გვაძლევს მასალას ზოგიერთი შენიშვნა გავაკეთოთ მადნეულ საბადოებზე წინაღობის მეთოდებით ელექტროძიების დაყენების მეთოდიკის საკითხებზე.

მადნეული საბადოების ელექტროძიების დროს ხშირად ეყრდნობიან მეტად გამარტივებულ წარმოდგენას მადნეულ სხეულზე, რომელსაც წარმოიდგენენ როგორც ელექტრობის გამტარ ჩანართს, მოთავსებულს მაღალი წინაღობის მქონე გარემოში. ამასთან ხშირად უგულებელყოფილია ის გარემოება, რომ მადნეული სხეული, რომელიც მინერალებისა და ქანების რთულ აგრეგატს წარმოადგენს, შემადგენელ ნაწილებს შორის რთული პარაგენეტული დამოკიდებულებების არსებობის პირობებში, ყოველთვის არ წარმოადგენს კარგი გამტარობის მქონე ჩანართს ცუდად გამტარ გარემოში და მისი ელექტროწინაღობა შეიძლება აღმოჩნდეს იმავე რიგისა ან შეიძლება მეტიც, ვიდრე შემცველი გარემოს ელექტროწინაღობა. ჰიდროთერმულმა პროცესებმა, რომელთაც, მაგალითად, თან სდევს ძარღვის მინერალების (კვარცი, კალციტი) უხვი გამოყოფა, შესაბამის პირობებში შეიძლება განაპირობოს მადნეული ჩანართის მაღალი წინაღობა შემცველ გარემოსთან შედარებით, მეტალური კომპონენტების საკმაო დიდი პროცენტული რაოდენობით არსებობის შემთხვევაშიც კი.

გარდა ამისა, მადნეული ჰიდროთერმული საბადოები, რომელთაც ჩვეულებრივ ძარღვის ფორმა აქვთ, შეიძლება სრულიადაც არ იქნენ შემჩნეული გაზომვების დროს, მათი შედარებით პატარა მოცულობის გამო. ცხადია, ჩვენ ამ შემთხვევაში მხედველობაში არ გვაქვს მადნეული საბადოები ურალის ალმადანების ტიპისა, რომელთაც საკმაოდ დიდი განზომილებანი ახასიათებს, არამედ ამიერკავკასიის გამადნებათა უმრავლესობა, რომელნიც მცირე სისქის მქონე ძარღვების სახით არიან ხშირად წარმოდგენილი. ამიტომ, წინაღობის მეთოდით ელექტროძიების წარმოებისას ჩვენს პირობებში იმ ძირითადი წინაპირობიდან უნდა გამოვდიოდეთ, რომ ძიება წარმოებს უფრო ხშირად არა საკუთრივ მადნეული სხეულისა, არამედ მადნის შემცველი ზონისა. აქედან გამომდინარე, წინაღობის მეთოდების წარმატებით გამოყენების უზრუნველყოფისათვის ჩვენ წარმოდგენა უნდა გვქონდეს არა მარტო საკუთრივ მადნეული სხეულის და, მით უმეტეს, მისი სულფიდური მინერალების ელექტრულ თვისებებზე, არამედ მადნის შემცველი ზოლის ხასიათზე, რომელიც, როგორც

ცნობილია, ჰიდროთერმული და შემდგომი ჰიდატოსუპერგენული მეტამორფიზაციის მოქმედების ობიექტს წარმოადგენს.

ამიერკავკასიის ზოგიერთი მადნეული საბადოს წინაღობის მეთოდით ელექტროძიების შედეგების განხილვა, ჩვენი ინსტიტუტის მასალების მიხედვით (ნაწილობრივ იხ. [2, 3, 4, 5, 10]), გვიჩვენებს, რომ ამოცანა წარმატებით გადაწყდებოდა ხოლმე იმ შემთხვევაში, როცა ნათელი წარმოდგენა არსებობდა მადნის შემცველი ზონის ხასიათზე და მის შესაძლებელ ელექტრულ თვისებებზე. გასაგებია, რომ ეს წარმოდგენა შეიძლება იყოს შედეგი მადნეული ზოლის (ან, თუ ეს შეუძლებელია, სხვა ანალოგიური მადნის შემცველი წარმონაქმნების) და მისი გარემო ქანების გეოლოგიური აგებულების გულდასმით შესწავლისა და საბადოს პეტროგრაფიული და მინერალოგიური ანალიზისა.

მადნის შემცველი ზონა ჩვეულებრივ მეტამორფიზებულია, რაც განაპირობებს გარემო ქანებისაგან განსხვავებულ ელექტრულ თვისებებს. ამ თვალსაზრისით მეტამორფიზაციის ყველა სახეობას შორის უფრო დიდი მნიშვნელობა აქვს მადნის თანმხლები ქანების ჰიდატომეტამორფიზმს. პირომეტამორფული პროცესები, რომლებსაც ჩვეულებრივ დიდ სიღრმეებზე აქვს ადგილი, განაპირობებენ შემცველი ქანების დეჰიდრატაციასა და სილიციფიკაციას, რაც მაღალი ტემპერატურისა და დიდი წნევის პირობებში მიმდინარეობს. ამიტომ ახლად წარმოქმნილი ქანები დიდი კომპაქტურობით ხასიათდება. მაშასადამე, ჰიპოზონის მადნეულ საბადოებს, უფრო მაღალი ჰორიზონტების მადნეულ საბადოებთან შედარებით, თან ახლავს მაღალი წინაღობის მქონე ქანები, რომელთა შედგენილობაში უპირატეს როლს თამაშობენ უწყლო მინერალები. პირომეტამორფიზმს ადვილად განიცდიან კარბონატული ქანები, რომელთა სუფთა სახესხვაობანი გარდაიქმნებიან მარმარილოებად, ხოლო ქვიშაქვიანი, ალუმინისა და რკინის მინარევების მქონე ტიპები კარბონატულ მოლეკულასთან ერთად ახალ შენაერთებს ქმნიან. ქანი ამ შემთხვევაში შეიძლება გარდაიქმნას გრანატულ სკარნად, თიხა-ფიქლები იქცევა როგოვიკებად და ა. შ. [7]. ეს პროცესები ქმნიან მადნის შემცველ ისეთ გარემოს, რომელსაც მაღალი ელექტროწინაღობა ახასიათებს.

ჰიდროთერმული ხსნარების ზემოქმედებით მადნის თანმხლები ქანების შეცვლა აგრეთვე ყოველთვის არ წარმოქმნის დაბალი ელექტროწინაღობის მქონე მადნის შემცველ ქანებს. ეს პროცესები, როგორც ცნობილია [8], მდგომარეობენ შემცველი ქანების კარბონატიზაციაში, ქლორიტიზაციაში, სერპენტინიზაციაში, სერიციტიზაციაში და შემცველ ქანებში მადნეული იმპრეგნაციების და ჩანაწინწკლების წარმოქმნაში. ელექტროგამტარობისთვის მნიშვნელობა აქვს იმას, თუ ამათგან რომელ პროცესებს ექნება უპირატესი გავრცელება. ფართო გავრცელებით სარგებლობენ მადნის თანმხლები ქანების გაკვარცების პროცესები, რომელნიც გაცივებული ხსნარებიდან კვარცის შემდგომი დალექვის შედეგს წარმოადგენენ. მეტასომატური პროცესების შედეგად მადნის თანმხლებ ქანებში ხდება ნაკლებმდგრადი მინერალების, რომელთაც თავის შედგენილობაში ჩვეულებრივ ჰიდროქსილის მოლეკულა გააჩნიათ,

გარდაქმნა. მაძღარი და სწრაფად მიმდინარე ხსნარების ზემოქმედებით წარმოქმნილი მეტასომატური ქანები ჩვეულებრივ თანმხლებ ქანებს წარმოადგენენ მადნეული საბადოებისათვის [1]. ამგვარად ჩნდება ქლორიტი, სერიციტი, სერპენტინი, ტალკი, კალციტი და სხვ. გამოფიტვის ზონაში ხდება დაჟანგვა, კარბონატიზაცია, დესილიციფიკაცია და ჰიდროტიზაცია.

ა. ბეტმანის მიხედვით, სპილენძის ჰიპოგენურ მინერალიზაციას თან ახლავს შემცველი ქანების სერიციტიზაცია. ჰიპოგენური სულფიდების შემდგომი ჩანაცვლება სუპერგენული მინერალებით წარმოებს წინათ წარმოქმნილი სერიციტის კაოლინიზაციასთან ერთად. ეს პროცესი საკმაოდ ჩვეულებრივია სპილენძის საბადოებისათვის.

მადნეულისა და შემცველი ქანების ელექტრული თვისებები დამოკიდებულია მათ მდგომარეობაზე, რაც ზემოაღწერილი პროცესების შედეგს წარმოადგენს. საკუთრივ მადნეული სხეულისათვის მნიშვნელობა აქვს არა მარტო მის მინერალურ შედგენილობას, არამედ, უმთავრესად, გამტარი და ცუდად გამტარი ჩანართების ურთიერთდამოკიდებულებას. ჩვენ მიერ შესწავლილი საბადოები გვაძლევენ იმის მრავალ მაგალითს, თუ შემდეგი გენერაციის ძარღვის მინერალი ზოგჯერ როგორ ავსებს სულფიდებს შორის არსებულ ბზარებს და განამხოლოებს ერთმანეთისაგან გამტარ კომპონენტებს. ხშირად იმავე მიმართულებით მოქმედებს შესაბამი პარაგენეტული ურთიერთობანი სულფიდებს შორის, რომელნიც ერთმანეთისაგან ელექტროგამტარობით განსხვავდებიან. მნიშვნელობა აქვს, მაგალითად, სფალერიტის, როგორც შედარებით მაღალი წინაღობის მქონე მინერალის, დამოკიდებულებას გალენიტთან, პირიტთან და ქალკოპირიტთან, რომელთაც დაბალი ელექტროწინაღობა ახასიათებს.

ზემოაღნიშნული პროცესები სხვადასხვაგვარად მოქმედებენ მადნის შემცველი გარემოს ელექტროგამტარობაზე. კაოლინიზაციის პროცესები და თიხის წარმოქმნა მადნის თანმხლებ ქანებში განაპირობებენ მათ დაბალ ელექტროწინაღობას, რადგან თიხას, როგორც წყლის უხვად შემცველ ქანს, შედარებით დაბალი წინაღობა ახასიათებს. ქლორიტიზაცია, სერიციტიზაცია და სერპენტინიზაცია ალბათ იმავე მიმართულებით მოქმედებენ, რადგან ეს მინერალები, გარდა იმისა, რომ მათ ახასიათებს უფრო დაბალი წინაღობა, ვიდრე იმ მინერალებს, რომელთა ხარჯზეც ისინი წარმოიქმნენ, ქმნიან პირობებს ქანის დაშლისა და დანაწევრებისათვის, რასაც მივყავართ ფორებისა და ბზარების მინერალიზებული წყლით ამოვსებისაკენ. სხვა მიმართულებით მოქმედებენ კალციტიზაციის პროცესები, რომელნიც, მაგალითად, დიდად არიან გავრცელებული ბაიოსის ვულკანოგენური წყების ქანებში [6], და გაკვარცების პროცესები; ამ დროს წარმოიქმნება მაღალი წინაღობის მქონე მინერალები, რომელნიც ავსებენ გამტარ ჩანართებს შორის შუალედებს და განაპირობებენ მადნის შემცველი ქანის მაღალ წინაღობას. იმპრეგნირებული ზონებისა და ჩანაწინწკლი საბადოების გაჩენა ქმნის პირობებს დაბალი წინაღობის მქონე მადნის თანმხლები ზოლის არსებობისათვის.

როგორც ცნობილია, ჩვეულებრივ, ჰიდროთერმული წარმოშობის მადნეული მინერალიზაცია დაკავშირებულია რღვევისა და უფრო მცირე დიზიუნქტიური დისლოკაციების ზონებთან. ამ პროცესებს თან ახლავს თანმხლები ქანების მექანიკური სრესა და დაშლა, თიხებისა და წვრილად დაფიქლებული გარემოს წარმოქმნა. ეს მოვლენები აგრეთვე განაპირობებენ გარემო ქანებთან შედარებით მადნის შემცველი ქანების დაბალ ელექტრულ წინაღობას.

ყველაფერი ზემოთქმული კარგად არის ილუსტრირებული მაგალითებით საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტის მიერ მადნეული საბადოების ძიების დროს წინაღობათა მეთოდის გამოყენების პრაქტიკიდან.

ამგვარად, რათა საფუძვლიანი წარმოდგენა ვიქონიოთ წინაღობათა მეთოდის ეფექტურობაზე მადნეული საბადოს ძიების დროს, ჩვენ უნდა ვიცოდეთ არა მარტო საძიებო ობიექტის მინერალური შედგენილობა და მისი ელექტრული თვისებები, არამედ საბადოს გენეზისიც, მინერალების პარაგენეზისი, სუპერგენული პროცესები, მადნის შემცველი ქანების ხასიათი და სხვ.

ჩვენ მიერ ჩამოყალიბებული შენიშვნები წარმოადგენენ ამიერკავკასიის მადნეული საბადოების წინაღობათა მეთოდით ელექტროძიების გამოცდილების ზოგიერთ განზოგადებას. ამასთან ეს შენიშვნები მადნის თანმხლები ქანების მეტამორფიზმის მათ ელექტრულ თვისებებთან დაკავშირების პირველი ცდაა. ამ მიმართულებით საჭიროა ჩატარდეს უფრო გულდასმითი ექსპერიმენტები. მაგრამ ეჭვს არ იწვევს ის გარემოება, რომ მადნეულ საბადოებზე წინაღობათა მეთოდების გამოყენებისას წარმატებას უნდა მოველოდეთ მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ გათვალისწინებული იქნება ზემოჩამოთვლილი მოვლენები.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
გეოფიზიკის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 3.1.1955)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. В. Линдгрен. Минеральные месторождения. Выпуск I. ОНТИ НКТП СССР. Москва, 1934.
2. А. В. Бухникашвили, В. В. Кебуладзе. Электроразведка месторождения меди в сел. Раро. Труды Тбилисского геофизического института, том. IV. Тбилиси, 1939.
3. А. В. Бухникашвили. Опыт электроразведки методом сопротивления на Мквенском месторождении серного колчедана. Труды Тбил. геоф. ин-та, т. VI. Тбилиси, 1940.
4. В. В. Кебуладзе. Результаты электрометрической разведки медноперротинового месторождения Зесхо в Верхней Сванетии. Труды Института физики и геофизики АН ГССР, т. VII, Тбилиси, 1942.
5. Б. К. Балавадзе. К вопросу об электрометрическом исследовании Дашкесанского месторождения кобальтовых руд. Труды Института физики и геофизики АН ГССР, т. IX, Тбилиси, 1946.

6. Г. С. Дзоценидзе. Домиоценовый эффузивный вулканизм Грузии. Монографии Института геологии и минералогии АН ГССР, I. Тбилиси, 1948.
7. А. М. Бэтман. Промышленные минеральные месторождения. Москва, 1949.
8. Г. В. Иваницкий. К вопросу и влиянии вмещающих пород на процесс гидротермального рудоотложения. Труды Геолог. ин-та АН ГССР, Мин.-петр. серия, том III, Тбилиси, 1953.
9. В. Л. Лебедев. Основные черты структуры Садоно-Унальской рудоносной зоны (Северный Кавказ) в связи с её полиметаллическим оруденением. Изв. АН СССР, серия геол. № I, Москва, 1946.
10. В. В. Кебуладзе, М. С. Абакелия. Результаты электрометрических исследований на одном полиметаллическом месторождений в Грузии. Труды Института физики и геофизики АН ГССР, т. XI, Тбилиси. 1949.
11. А. И. Заборовский. Электроразведка. Москва, 1943.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XVI, № 10, 1955

გეოფიზიკა

ბ. ბალავაძე

ტყვარჩელის ზოგიერთი თერმული წყაროს რადიაქტიური თვისებ[ა]

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა გ. თვალჭრელიძემ 20.6.1955)

აფხაზეთის ასსრ კურორტოლოგიის ინსტიტუტის (დირექტორი პროფ. ა. გრიგოლია) თხოვნით ჩვენ გამოვიკვლიეთ ტყვარჩელის „ზედა ჯგუფის“ № 2 და № 3 წყაროს რადიაქტივობა. გამოკვლევის წინასწარ დასახული გეგმა რამდენადმე გაფართოვდა მუშაობის პროცესში წყლების ქიმიური ანალიზის ჩატარების მხრივ[1].

1. აპარატურა და დაკვირვების მეთოდიკა

წყლების რადიაქტივობის განსასაზღვრავად გამოვიყენეთ გეოლოგიური კომიტეტის სისტემის უნივერსალური ელექტრომეტრი № 199. ამ ხელსაწყოს ეტალონირება ჩატარდა № 1846 ეტალონის დახმარებით, რომელიც შეიცავდა $2{,}90.10^{-9}$ გ Ra. ყოველი გაზომვის წინ ვაწარმოებდით ხელსაწყოს ნატურალური ფონის განსაზღვრას, რაც საშუალოდ წუთში 0.16 დანაყოფს უდრიდა. დაკვირვება მდგომარეობდა სამსაათიანი იონიზაციური დენის განსაზღვრაში, რისთვისაც ყოველ 15 წუთში ვღებულობდით 2—3 ანათვალს.

რადიუმის ემანაციის რაოდენობა სინჯში გამოითვლებოდა ფორმულით

$$x = A_0 L \frac{J}{J_0} (1 - e^{-\lambda t}) \frac{\text{კიური}}{\text{ლიტრში}},$$

სადაც A_0 ეტალონის სითხეში გახსნილი რადიუმის რაოდენობაა გამოსახული გრამებით, $(1-e^{-\lambda t})$ შესწორებაა ეტალონის ხსნარიან დახშულ ბარბატერში ემანაციის დაგროვებაზე t დროის განმავლობაში, J სინჯის მიერ გამოწვეული იონიზაციის დენია, J_0 არის ეტალონის მიერ გამოწვეული იონიზაციის დენი, L ხელსაწყოსა და სინჯის მოცულობათა შესწორებაა, რომელიც გამოითვლება ცნობილი ფორმულით [1].

გამოსაკვლევ წყლებში გახსნილი რადიუმის მარილების რაოდენობის განსაზღვრისათვის ვიღებდით სინჯს ერთი ლიტრის მოცულობით. აღებულ

[1] ქიმიური ანალიზი ჩვენი თხოვნით გააკეთა სტალინის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკური ქიმიის კათედრის ლაბორანტმა ვ. კობიძემ პროფ. ვ. კოკოჩაშვილის ხელმძღვანელობით. საველე განსაზღვრებში მონაწილეობა მიიღო ლაბორანტმა ვ. მარშევმა. მუშაობაში დახმარება აღმოგვიჩინეს ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატებმა ვ. ქებულაძემ და შ. ჩხენკელმა.

სინჯს ვათავსებდით შუშის ჭურჭელში, გამოვდენიდით მისგან ემანაციას 15 წუთის განმავლობაში და შემდეგ ვხურავდით ჭურჭელს 30 დღით. დაგროვილი რადონის რაოდენობა ამ ვადის გასვლის შემდეგ ცირკულაციური ხერხით გადაგვყავდა საემანაციო კამერაში და ვსაზღვრავდით ემანაციის რაოდენობას სამსაათიანი იონიზაციის დენით.

2. გამოკვლევის შედეგები

I. წყარო № 2, რომელიც ფართოდ გამოიყენება სამკურნალო მიზნით, მდებარეობს ორი კილომეტრის მანძილზე სოფ. აკარმარის ჩრდილოეთით მდ. ღალიძგის ხეობაში. აქ, მდინარის მარჯვენა ნაპირზე, კიდევ 19 სხვა წყაროა, რომელთა ზოგადი ფიზიკურ-ქიმიური დახასიათება მოცემულია ა. გრიგოლიას შრომებში [2,3].

გეოლოგების ი. ბაქრაძისა და ა. კანდელაკის გამოკვლევით, „ზედა ჯგუფის" წყაროები დაკავშირებულია ბაიოსის ასაკის ტუფოგენურ წარმონაქმნებში არსებულ რღვევის ზოლებთან. № 2 წყაროს დებიტი დღე-ღამეში დაახლოებით 100.000 ლიტრს შეადგენს, ხოლო წყლის ტემპერატურა აუზში 36,7° უდრის, როცა ჰაერის ტემპერატურა აქ საშუალოდ +8°C შეადგენს. ეს მონაცემები, როგორც ამას მრავალი წლის გაზომვები ადასტურებს, თითქმის არ იცვლება.

№ 2 წყაროზე ჩვენ რადიაქტივობის ორი განსაზღვრა ჩავატარეთ. ემანაციის შედგენილობა სინჯებში, ზემოთ მოყვანილი ფორმულის მიხედვით, საშუალოდ 39,5 ემანს შეადგენს, რაც თითქმის ორჯერ სჭარბობს ამავე წყაროზე წინათ ჩატარებული გაზომვის შედეგებს ([2], გვ. 46). ჩვენ ვფიქრობთ, ეს განსხვავება იმითაა გამოწვეული, რომ წინათ ჩატარებული განსაზღვრისას სინჯი ალბათ სხვა ადგილიდან (გამოსავლიდან მოშორებით) აიღეს.

№ 2 წყაროს სინჯში გახსნილი რადიუმის მარილების რაოდენობის განსაზღვრამ დადებითი შედეგი არ მოგვცა. მიღებული იონიზაციური დენის მნიშვნელობა არ აღემატება ხელსაწყოს მგრძნობიარობას.

№ 2 წყაროს ქიმიური ანალიზის შედეგები მოგვყავს პირველ ცხრილში.

110°C გამშრალი მკვრივი ნარჩენი ერთ ლიტრზე 0,330 გრამს უდრის.

II. წყარო № 3 მდებარეობს მდ. ღალიძგის მარცხენა ნაპირზე. იგი № 2 წყაროდან 300 მეტრითაა დაშორებული სამხრეთი მიმართულებით. ამ წყაროს დებიტი დღე-ღამეში დაახლოებით 130.000 ლიტრით განისაზღვრება, ხოლო ტემპერატურა მის გამოსავალთან 28°.3C უდრის, მაშინ როცა ჰაერის ტემპერატურა საშუალოდ +12°C შეადგენს. ამ წყაროს ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების შესახებ მონაცემები სამეცნიერო ლიტერატურაში არ მოიპოვება.

№ 3 წყაროს რადიაქტივობის განსაზღვრისათვის ჩვენ ჩავატარეთ ორი გაზომვა, რომლის მიხედვით $x_{\text{საშ}} = 20{,}9$ ემანს. რადიუმის მარილების განსაზღვრამ არც აქ მოგვცა დადებითი შედეგი.

№ 3 წყაროს ქიმიური ანალიზის შედეგები მოყვანილია მე-2 ცხრილში.

110°C-ზე გამშრალი მკვრივი ნალექი ლიტრზე 0,340 გრამს უდრის.

ცხრილი 1

№ 2 თერმული წყაროს ქიმიური შედგენილობა

		მილიგრამი ლიტრზე	მილიგრამ-ეკვივალენტი	% ეკვივალენტი
ანიონი	Cl'	20,045	0,7900	17,91
	SO''_4	151,44	3,1530	71,43
	HCO'_3	28,67	0,4700	10,66
			4,4100	100%
კატიონი	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	—	2,0248	45,91
	$Ca^{\cdot\cdot}$	40,600	2,026	45,94
	$Mg^{\cdot\cdot}$	4,368	0,3592	8,15
			4.4100	100%
	I'	კვალი		
	$B'r$	კვალი		

ცხრილი 2

№ 3 თერმული წყაროს ქიმიური შედგენილობა

		მილიგრამი ლიტრზე	მილიგრამ-ეკვივალენტი	% ეკვივალენტი
ანიონები	Cl'	29,82	0,840	15,46
	SO''_4	199,10	4,122	75,89
	HCO'_3	28,67	0,470	8,65
			5,4320	100%
კატიონები	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$	—	2,9251	53,85
	$Ca^{\cdot\cdot}$	42,63	2,1290	39,17
	$Mg^{\cdot\cdot}$	4,608	0,3789	6,98
			5,4320	100%
	I'	კვალი		
	$B'r$	კვალი		

პირველი და მეორე ცხრილეიის მონაცემების შედარებით დადგენილ იქნა, რომ № 2 და № 3 წყაროები ქიმიური შედგენილობით მცირედ განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან, სუსტად არიან მინერალიზებული და სულფატური ჯგუფის წყაროებს ეკუთვნიან.

ტყვარჩელის თერმული წყლები სამკურნალო მნიშვნელობისაა. მიუხედავად ამისა, მათი ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები დღემდე სრულყოფილად არაა

შესწავლილი. არსებული მონაცემები ამ თვისებების მხოლოდ ზოგად დახასიათებას იძლევიან და ისიც მხოლოდ ორი წყაროსას.

საჭირო და აუცილებელია, რომ ეს ბუნებრივი სიმდიდრე—ტყვარჩელის ტერიტორიაზე არსებული ყველა მინერალური წყარო—ახლო მომავალში სრულყოფილად იქნეს შესწავლილი.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
გეოფიზიკის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 15.6.1955)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. А. П. Кириков и П. Н. Тверской. Радиоактивные геофизические методы в приложении к геологии. ОНТИ, 1934.
2. А. Л. Григолия. Физико-химическая характеристика минеральных источников Абхазии. Сухуми, 1936.
3. А. Л. Григолия. Бальнеологические ресурсы Абхазии. Харьков, 1940.

ქიმია

ქრ. არეშიძე და ე. ბენაშვილი

მირზაანის ნავთობის 150—200° ფრაქციის ნ—პარაფინული ნახშირწყალბადების გამოკვლევა

(წარმოადგინა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტმა გ. ციციშვილმა 2.3.1955)

ნავთობის ქიმიური ბუნების შესწავლა ამჟამად ნაკარნახევია არა მარტო საკითხის თეორიული ინტერესით, არამედ მისი პრაქტიკული მნიშვნელობითაც.

გამოჩენილი რუსი მეცნიერი დ. მენდელეევი [1] ჯერ კიდევ გასული საუკუნის ოთხმოციან წლებში აღნიშნავდა ნავთობის მარტო თხევად საწვავად გამოყენების მიზანშეუწონლობას. მისი აზრით, ნავთობიდან შეიძლება მივიღოთ არა მარტო ნავთი და ზეთები, არამედ იგი უნდა განვიხილოთ როგორც ნედლეული ორგანული ქიმიური მრეწველობისათვის. მეცნიერების შემდგომმა განვითარებამ გაამართლა დ. მენდელეევის ეს წინასწარმეტყველება.

ფართო კვლევაძიებითი მუშაობა, რომელიც წარმოებს ნავთობში შემავალი ნახშირწყალბადების ინდივიდუალური ბუნების დადგენისა და მათი კონტაქტურ-კატალიზური გარდაქმნის მიმართულებით, გაპირობებულია სახალხო მეურნეობის სათანადო დარგების მოთხოვნილებით.

პარაფინული ნახშირწყალბადები, რომლებიც შეიცავენ ექვსწევრიანი ციკლის შესაკრავად ნახშირბადატომების საკმარის რაოდენობას, დეჰიდროციკლიზაციით წარმოქმნიან არომატულ ნახშირწყალბადებს. ეს ნახშირწყალბადები დიდი რეაქციისუნარიანობის გამო ფართოდ გამოიყენება ორგანულქიმიურ მრეწველობაში.

აღნიშნული რეაქცია აღმოჩენილია ერთდროულად და ერთიმეორისაგან დამოუკიდებლად ბ. კაზანსკისა და ა. პლატეს [2], ბ. მოლდავსკისა და მისი თანამშრომლების [3], ვ. კარჟევის, მ. სევერიანოვასა და ა. სიოვას მიერ [4].

ცნობილია, რომ პარაფინული ნახშირწყალბადები იმის მიხედვით, თუ როგორი აღნაგობა აქვთ მათ, განსხვავებულად მოქმედებენ ძრავებში წვის დროს; იზოპარაფინული ნახშირწყალბადები, ნორმალურ პარაფინულ ნახშირწყალბადებთან შედარებით, უფრო მაღალი ოქტანური რიცხვებით ხასიათდება. ბენზინებში შემავალი იზო- და ნორმალური პარაფინული ნახშირწყალბადების რაოდენობის დაზუსტება საშუალებას იძლევა ვიმსჯელოთ საწვავის ხარისხზე.

ნავთობებში შემავალი პარაფინული ნახშირწყალბადების ინდივიდუალური ბუნების დადგენას შეეხება დ. მენდელეევის [5], ვ. მარკოვნიკოვის [6], კ. ხარიჩკოვის [7], ფ. ბეილშტეინისა და ა. კურბატოვის [8],

ბ. კაზანსკისა და გ. ლანდსბერგის (თანამშრომლებთან ერთად) [9] და სხვების [10,11,12] შრომები.

ქართული ნავთობები ამ მხრივ ნაკლებადაა შესწავლილი. მხოლოდ ფ. ბეილშტეინისა და ა. კურბატოვის [8] შრომაში აღნიშნულია, რომ წითელწყაროს ნავთობი შეიცავს ნ—პენტანსა და იზოპენტანს, რომლის დუღილის ტემპერატურა 30° ტოლია. უნდა ვიფიქროთ, რომ ეს გამოკვლევა შეეხება მირზაანის ნავთობს, რადგან წითელწყაროში არ არსებობს ნავთობის საბადოები, ხოლო მირზაანის საბადო მასთან ახლოს მდებარეობს.

ნორმალური პარაფინული ნახშირწყალბადების გამოსაყოფად მირზაანის ნავთობის 150—200° ფრაქციიდან ვსარგებლობდით შარდოვანათი. ფ. ბენგენს ეკუთვნის [13] პირველი მითითება იმის შესახებ, რომ შარდოვანას აქვს უნარი წარმოქმნას კრისტალური პროდუქტები ნორმალურ პარაფინულ ნახშირწყალბადებთან და ნორმალური ნახშირწყალბადოვანი ჯაჭვის შემცველ სხვა ორგანულ ნაერთებთან. ფ. ბენგენის ეს აღმოჩენა შემდგომ სხვა მკვლევრებისათვის კვლევის ობიექტი გახდა [14, 15].

ა. ტოპჩიევმა, ლ. როზენბერგმა და სხვებმა [16] ჩაატარეს დიფერენციალურ-თერმული გამოკვლევა ნ—პარაფინულ ნახშირწყალბადების კომპლექსისა შარდოვანასთან.

ნ—პარაფინული ნახშირწყალბადები, რომლებიც შედის საბჭოთა კავშირის ზოგიერთი ნავთობის ნავთის ფრაქციებში, შარდოვანას მეთოდით პირველად ლ. როზენბერგის მიერ [17] იყო გამოკვლეული.

ვ. ნეკრასოვამ და ნ. შუიკინმა [18] ყირიმის ნავთობის 190—200° ფრაქციიდან შარდოვანას საშუალებით გამოყვეს ნ—უნდეკანი.

ნ—პარაფინების გამოყოფა უფრო დაბალი დუღილის ტემპერატურის მქონე ნავთობის ფრაქციიდან დიდ სიძნელეებთანაა დაკავშირებული.

შარდოვანასა და ნ—პარაფინული ნახშირწყალბადების შეერთებით მიღებული კრისტალური ნივთიერებები ნ—ჰექსანიდან ნ—ნონანამდე არ არის მდგრადი. ისინი სწრაფად იშლებიან და გამოყოფენ ნ—პარაფინულ ნახშირწყალბადებს.

კვლევის შედეგებმა გვიჩვენა, რომ შარდოვანას საშუალებით შესაძლებელია გამოყოფილ იქნეს ნ—ნონანი ნავთობის შესაბამისი ფრაქციიდან საკმარისად სუფთა სახით. ამ ხერხით ნ—ნონანი და ნ—დეკანი ნავთობიდან პირველად ჩვენ მიერ არის გამოყოფილი.

ჩატარებული გამოკვლევით დადგენილია, რომ მირზაანის ნავთობის ფრაქცია დუღილის ტემპერატურით 150—200° შეიცავს 9,6% ნორმალურ და 17,5% იზოპარაფინულ ნახშირწყალბადებს. ნორმალური პარაფინული ნახშირწყალბადებიდან დამტკიცებულია ნონანის, დეკანისა და უნდეკანის არსებობა.

ექსპერიმენტული ნაწილი

კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა მირზაანის პირველი უბნის ნავთობის საშუალო სინჯი, საიდანაც წილადური გამოხდით გამოყოფილი იყო ფრაქცია დუღილის ტემპერატურით 150—200°. გამოსაკვლევი ფრაქცია გაირეცხა 75% გოგირდმჟავათი, სოდის 5% ხსნარით, გამოხდილი წყლით და, ბოლოს,

ქლორკალციუმზე გაშრობის შემდეგ გამოიხადა მეტალური ნატრიუმის თანადასწრებით იმავე ტემპერატურულ ზღვრებში. აღნიშნულ ფრაქციას განესაზღვრა მაქსიმალური ანილინის წერტილი, ხვედრითი წონა და სინათლის სხივის გადატეხის მაჩვენებელი, რომელთა მნიშვნელობა მოყვანილია პირველ ცხრილში. ცდების დროს გამოყენებული ანილინის გაყინვის ტემპერატურა —6,3° უდრიდა.

გამოსაკვლევი ფრაქციის დეარომატიზაცია ჩატარდა ქრომოტოგრაფიული ადსორბციის მეთოდით „KCM“ მარკის სილიკაგელზე.

სილიკაგელის ფრაქცია, რომლის მარცვლის ზომა იყო 100—200 მეში, გააქტივების მიზნით რამდენჯერმე გაირეცხა მდუღარე გამოხდილი წყლით და 5—6 საათის განმავლობაში გაშრა თერმოსტატში ჯერ 50°, შემდეგ კი 160—170° პირობებში.

სილიკაგელის აქტივობა ბენზოლის მიმართ იყო 14.5 მლ. დეარომატიზაცია ჩატარდა ერთდროულად რამდენიმე ადსორბციულ სვეტში. თითოეულ მათგანში მოთავსებული იყო სილიკაგელის გარკვეული რაოდენობა. სვეტში გასატარებელი ბენზინის რაოდენობა გამოითვალა გამოსაკვლევ ნივთიერებაში შემავალი არომატული ნახშირწყალბადების რაოდენობის მიხედვით.

დეარომატიზებული ბენზინი გაირეცხა სოდის 5% ხსნარით, გამოხდილი წყლით და ქლორკალციუმზე გაშრობის შემდეგ მეტალური ნატრიუმის თანადასწრებით 142—222° ტემპერატურულ ზღვრებში გამოიხადა.

დეარომატიზებული ბენზინისათვის დადგენილი იყო იგივე ფიზიკური მაჩვენებლები, რაც გამოსავალი ბენზინისათვის. მათი მნიშვნელობა მოყვანილია პირველ ცხრილში.

ცხრილი 1

ანილინის მაქსიმალური წერტილი			n_D^{20}			d_4^{20}		
გამოსავალი ბენზინი	დეარომატიზებული ბენზინი	ბენზინი შარდოვანათი დამუშავების შემდეგ	გამოსავალი ბენზინი	დეარომატიზებული ბენზინი	ბენზინი შარდოვანათი დამუშავების შემდეგ	გამოსავალი ბენზინი	დეარომატიზებული ბენზინი	ბენზინი შარდოვანათი დამუშავების შემდეგ
56,6	67,8	66,3	1,4351	1,4243	1,4260	0,7818	0,7639	0,7681

გროზნოს ნავთობის საკვლევაძიებო ინსტიტუტის მიერ გამომუშავებული მეთოდით [19] ანილინის მაქსიმალური წერტილების დეპრესიის საფუძველზე წარმოებდა გამოსაკვლევი ფრაქციის ჯგუფური შედგენილობის გამოთვლა. შედეგები მოყვანილია მეორე ცხრილში.

კვლევის შემდგომი სტადია იყო შარდოვანას საშუალებით ნორმალური პარაფინული ნახშირწყალბადების გამოყოფა. ამისათვის განიერყელიან მინის ჭურჭელში მოთავსებული იყო შარდოვანას წინასწარ გამოთვლილი რაოდე-

ნობა, მეთილის სპირტი (შარდოვანას მიმართ 20%) და დეარომატიზებული ფრაქციის საჭირო რაოდენობა. სანჯღრეველაში ხდებოდა ჭურჭელში მოთავსებული ნივთიერებების არევა ორი საათის განმავლობაში. წარმოქმნილი კომპლექსური ნაერთი გაიფილტრა ფაიფურის ძაბრში და გაირეცხა პენტანით. ჰაერზე გაშრობის შემდეგ კომპლექსური ნაერთი დაიშალა სამმაგი რაოდენობის გამოხდილი წყლის დამატებით. გამოყოფილი ნახშირწყალბადები გამოხდილი წყლით რამდენჯერმე გარეცხვის შემდეგ გამოწვლილვის მიზნით დამუშავდა ეთილის ეთერით. გამონაწვლილი გაშრა ქლორკალციუმზე და შემდეგ ფავორსკის კულაში გამოიხადა; ეთერის მოცილების შემდეგ შევკრიბეთ 130—210° დუღილის ტემპერატურის მქონე ფრაქცია.

ცხრილი 2

ჯგუფური შედგენილობა გროზნ. ნ. ს. ი-ის მეთოდით %			ჯგუფური შედგენილობა, დაზუსტებული შარდოვანათი			
არომატული ნახშირწყალბადები	ნაფტენები	პარაფინული ნახშირწყალბადები	არომატული ნახშირწყალბადები	ნორმალური პარაფინული ნახშირწყალბადები	იზოპარაფინული ნახშირწყალბადები	ნაფტენები
16,8	55,4	27,8	16,8	9,6	17,5	56,1

ჯგუფური შედგენილობიდან ჩანს, რომ მირზაანის ნავთობის დეარომატიზებული ფრაქცია შეიცავს 33,4% პარაფინულ ნახშირწყალბადებს, რომელთა მოლეკულური წონის საშუალო მნიშვნელობა მიღებული იყო დეკანის მოლეკულური წონის 142-ის ტოლად, შარდოვანას რაოდენობა პარაფინულ ნახშირწყალბადებთან შეფარდებით შეადგენდა 8,5 : 1.

მაგალითისათვის მოგვყავს ერთი ცდის აღწერა.

დეარომატიზებული ბენზინი . . . . 188 გ
შარდოვანა . . . . 225,6 „
მეთილის სპირტი . . . . 45 „
გამოყოფილი ნარევი ნ—პარაფინული
ნახშირწყალბადებისა . . . . 33,7 „
ნარჩენი . . . . 1,6 „
დეპარაფინებული ბენზინი . . . . 150 „
დანაკარგი . . . . 2,7 „

შარდოვანას აღნიშნული რაოდენობა ორჯერ დაემატა საკვლევ ფრაქციას. ბენზინში ნორმალური და იზოპარაფინული ნახშირწყალბადების შემცველობის დაზუსტების შემდეგ შარდოვანას ვიღებდით ნორმალური პარაფინული ნახშირწყალბადების რაოდენობის მიხედვით. გამოსაკვლევი ნივთიერების შარდოვანათი განმეორებით დამუშავების შემდეგ ნ—პარაფინების გამოყოფას ადგილი არა ჰქონია. დეპარაფინებულ ფრაქციას გამოხდილი წყლით გარეცხვის, ქლორკალციუმზე გაშრობისა და მეტალურ ნატრიუმთან გამოხ-

დის შემდეგ განესაზღვრა მაქსიმალური ანილინის წერტილი, ხვედრითი წონა და სინათლის სხივის გადატეხის მაჩვენებელი (იხ. ცხრილი 1). მირზაანის ბენზინის 150—200° ფრაქციის შარდოვანათი დაზუსტებული ჯგუფური შედგენილობა მოცემულია მეორე ცხრილში.

განმეორებითი ცდებით გამოყოფილი იყო 218,9 გ ნ—პარაფინული ნახშირწყალბადების ნარევი. ამ ნარევის 99,3 გ გამოხდილი იყო ვაკუუმში 20 თეორიული თეფშის ეფექტურობის სვეტში, რომელსაც თანდართული ჰქონდა მანოსტატი. ეს უკანასკნელი საშუალებას იძლეოდა გამოხდა გვეწარმოებინა მუდმივი ნარჩენი წნევის—40 მმ პირობებში. გამოყოფილი ფრაქციების დუღილის ტემპერატურები გადათვლილია ნომოგრამის საშუალებით 760 მმ წნევაზე. ვიწრო ფრაქციების თვისებები მოცემულია მესამე ცხრილში.

ცხრილი 3

გამოსახდელი ნივთიერება გ-ით	ფრაქციის №	დუღილის ტემპერატურის ზღვრები 760 მმ წნევის დროს	n_D^{20}	მიღებულია გრამობით	გამოსავალი წონითი %-ით გამოსახდელად აღებულ ნივთიერებაზე
99,3	1	128—138	1,4045	3,82	—
	2	138—148	1,4102	2,33	—
	3	148—152	1,4113	7,45	—
	4	152—152,5	1,4090	12,93	13,0
	5	152,5—172,5	1,4182	12,50	—
	6	172,5—174	1,4145	24,15	24,3
	7	174—193	1,4242	7,84	—
	8	193—194	1,4196	9,73	9,8
	9	194—201	1,4201	3,66	
		ნარჩენი კოლბაში	1,4275	8,61	
		დანაკარგი		6,24	

დუღილის ტემპერატურისა და სინათლის სხივის გადატეხის მაჩვენებლის მიხედვით თუ ვიმსჯელებთ, ინდივიდუალური ნ—პარაფინული ნახშირწყალბადები დაგროვებულია № № 4, 6, 8 ფრაქციებში, რომლებიც შემდგომ გაწმენდილ იქნა გამოყინვის საშუალებით.

152—152,5° ფრაქციის გამოკვლევა

ფრ-ას 152—152,5°, რომელიც შეესაბამება ნორმალურ ნონანს, ჰქონდა შემდეგი ფიზიკური თვისებები:

n_D^{20} 1,4070; d_4^{20} 0,7245; ანილინის მაქსიმალური წერტილი 73,4°. MR_D 42,62 გამოთვლილია 43,84. ნონანისათვის ლიტერატურული მონაცემები (20): დუღილის ტემპერატურა 150,7°; n_D^{20} 1,4054; d_4^{20} 0,7176; ანილ. მაქსიმ. წერტ. 74,9°.

10,98 მგ ნივთ.: 33,45 მგ CO_2, 14,65 მგ H_2O; 0,2120 გ ნივთ.; 18,81 გ ბენზოლი; Δt 0,460°. ნაპოვნია %: C 83,14; H 14,92; M 125,44. C_9H_{20} გამოთვლილია %: C 84,28; H 15,72; M 128,25.

172,5—174° ფრაქციის გამოკვლევა

ფრ-ას 172,5—174°, რომელიც შეესაბამება ნორმალურ დეკანს, ჰქონდა შემდეგი ფიზიკური თვისებები:

n_D^{20} 1,4135; d_4^{20} 0,7332; ანილ. მაქს. წერტ. 77,0°. MR_D 48,75. გამოთვლილია 48,47.

ლიტერატურული მონაცემები (20) ნ—დეკანისათვის: დუღ. ტემპ. 174,1°; n_D^{20} 1,4118; d_4^{20} 0,7299; ანილ. მაქსიმ. წერტ. 77,5°.

12,31 მგ ნივთ.: 38,10 მგ CO_2; 17,10 მგ H_2O; 0,2686 გ ნივთ.; 21,29 გ. ბენზოლი; Δt 0, 451° ნაპოვნია %: C 84,42; H 15,44; M 143,22. $C_{10}H_{22}$ გამოთვლილია %: C 84,42; H 15,58; M 142,27.

193—194° ფრაქციის გამოკვლევა

ფრ-ას 193—194°, რომელიც შეესაბამება ნორმალურ უნდეკანს, ჰქონდა შემდეგი ფიზიკური თვისებები:

n_D^{20} 1,4170; d_4^{20} 0,7427; ანილ. მაქს. წერტ. 80,0° MR_D 51,70. გამოთვლილია 53,12.

ლიტერატურული მონაცემები (20) ნ—უნდეკანისათვის: დუღ. ტემპ. 195,8°; n_D^{20} 1,4172; d_4^{20} 0,7402; ანილ. მაქს. წერტ. 80,6°.

13,9 მგ ნივთ.: 42,83 მგ CO_2; 18.34 მგ H_2O. 0,2874 გ ნივთ.; 21.51 გ ბენზოლი; Δt 0,448°. ნაპოვნია %: C 83,97; H 14,64; M 152,7. $C_{11}H_{24}$ გამოთვლილია %: C 84,52; H 15,48 M 156,3.

ელემენტარული ანალიზი შესრულებულია ლ. ჩიგოგიძის მიერ, რისთვისაც მას მადლობას ვუცხადებთ.

დასკვნა

1. შარდოვანას საშუალებით გამოკვლეულია მირზაანის ნავთობის 150—200° ფრაქციაში შემავალი ნ—პარაფინული ნახშირწყალბადები.

2. დადგენილია, რომ მირზაანის ნავთობის 150—200° ფრაქცია შეიცავს ნორმალურ პარაფინულ ნახშირწყალბადებს 9,6%, ხოლო იზოპარაფინულ ნახშირწყალბადებს 17,5% რაოდენობით.

3. დამტკიცებულია გამოკვლეულ ფრაქციაში ნ—ნონანის, ნ—დეკანისა და ნ—უნდეკანის არსებობა.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
პ. მელიქიშვილის სახელობის
ქიმიის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 2.3.1955)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. Цитировано по статье А. Ф. Добрянского. Работы Д. И. Менделеева в химии нефти. Вестник Ленинградского университета, № 11,1954, стр. 167.
2. Б. А. Казанский и А. Ф. Платэ. Ароматизация некоторых гомологов циклопентана и парафинов в присутствии платинированного угля. ЖОХ, 7, 1937, стр. 328.
3. Б. Л. Молдавский, Г. Д. Камушер. и М. В. Кобыльская. Каталитическая циклизация соединений жирного ряда. I. Циклизация алифатических углеводородов над окисью хрома. ЖОХ, 7, 1937, стр. 169.

4. В. И. Каржев, М.Г. Северьянова и А. Н. Сиова. К вопросу о получении бензинов с высокими октановыми числами. Хим. тв. топл. **7**, 1936, стр. 559.
5. Д. И. Менделеев. Выписка из протокола заседания отделения химии Русского физико-химического общества. Сочинения. Изд. АН СССР, Л.—М., **10**. 1949, стр. 352.
6. В. В. Марковников. Исследование кавказской нефти. ЖРХО, **22**, 1890, стр. 23.
7. К. В. Харичков. О гептанах грозненской нефти. ЖРХО, **31**, 1899, стр. 552. К характеристике химического состава грозненской нефти. ЖРХО, **31**, 1899, стр. 655.
8. Ф. Бейльштейн и А. Курбатов. Исследование кавказской нефти. ЖРХО, **15**, 1883, стр. 5.
9. Б. А. Казанский, Г. С. Ландсберг, А. Ф. Платэ и др. Определение индивидуального углеводородного состава бензинов комбинированным методом. Сообщ. 3 и 4, сураханские и туймазинский бензины. Изв. АН СССР, ОХН, № 2, №3, 1954, стр. 278, 456; Б. А. Казанский, А. Ф. Платэ и др. Определение индив. углеводор. состава бензинов комб. методом. Сообщ. 2, казанбулакский бензин. Изв. АН СССР, ОХН, № 2, 1954, стр. 266.
10. Г. Д. Гальперн, М. В. Шишкина и М. И. Щецко. Исследование бензина прямой гонки из сураханской обыкновенной нефти. Труды Всесоюзного совещания по химии и переработке нефти. Изд. АН. Аз. ССР. Баку, 1953, стр. 123.
11. F. D. Rossini. Hydrocarbons in Petroleum. I. Chem. and Eng. Nes, **25**, 1947, p. 230.
12. I. Griswold, C. F. Yanberg and I. E. Kasch. Pure Hydrocarbons from Petroleum. Ind. Eng. Chem., **35**, 1943, p. 854.
13. F. Bengen u W. Schlenk. New addition products of Urea. Experientia, 5, 1949, p. 200;
   M. F. Bengen Mein Weg zuden Harnstoff—Einschluss—Verbindungen. Angew. Chem., № 9, 1951 s. 207.
14. W. Schlenk. Die Harnstoff—Addition der alipha tischen Verbindungen. Lieb. Ann. Chem., **565**, 1949, s. 204.
15. W. I. Zimmerschied, R. A. Dinerstein, A. W. Weiterkamp and R. F. Marschner. Crystalline Adducts of Urea With Zienzar Aliphatic Compaunds. Ind. Eng. Chem., 42, 1950, p. 1301.
16. А. В. Топчиев, Л. М. Розенберг и др. Дифференциально-термическое исследование комплексообразования мочевины с н-парафинами. ДАН СССР, 98, 1954, стр. 223.
17. Л. М. Розенберг и И. С. Генех. К вопросу о выделении н—парафиновых углеводородов с помощью мочевины. ДАН СССР, **84**, 1952, стр. 523.
18. В. А. Некрасова и Н. И. Шуйкин. Хлорирование н—ундекана. ДАН СССР, **97**, 1954, стр. 843.
19. Химический состав нефтей и нефтяных продуктов. Труды ГрозНИИ, ОНТИ, М.—Л., 1935, стр. 84.
20. Р. Д. Оболенцев. Физические константы углеводородов жидких топлив и масел. Гостоптехиздат, М.—Л., 1953, стр. 26, 38, 44.

ტექნიკა

ნ. ახვლედიანი

ზღვრული დატვირთვის ერთი თვისების შესახებ

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა კ. ზავრიევმა 26.1.1955)

სტატიაში განხილულია ზღვრული დატვირთვის ერთი თვისების გამოყენების საკითხი კონსტრუქციების ზღვრული წონასწორობის მეთოდით ანგარიშის დროს.

მოვიყვანოთ ჯერ მოკლედ ზღვრული წონასწორობის თეორიის[1] ძირითადი დებულებანი საკითხის ისეთი დასმით და ისეთი განსაზღვრების შეყვანით, რომელნიც ხელსაყრელი იქნებიან შემდგომი მსჯელობისათვის.

განვიხილოთ სტატიკურად ურკვევადი სისტემა, რომლის შიგა ბმებს ახასიათებს პლასტიკურობის თვისება: იგულისხმება, რომ ბმის მდგომარეობა სავსებით განისაზღვრება უტოლობით

$$S_i \leqq \overline{S_i}, \tag{1}$$

სადაც S_i ძალვაა i-ურ კავშირში, $\overline{S_i}$—ამ ძალვის ზღვრული სიდიდე.

როდესაც ზღვრული პირობა (1) კმაყოფილდება ტოლობის სახით, ბმა პლასტიკურად გამოირთვება, ე. ი. იძლევა შესაბამისი გადაადგილების პრაქტიკულად უსაზღვრო ზრდის საშუალებას ძალვის სიდიდის შეუცვლელად. როდესაც პირობა (1) კმაყოფილდება უტოლობის სახით, პლასტიკურ გამორთვას ადგილი არა აქვს. რაც შეეხება იმ მრუდს, რომელიც გამოხატავს ძალვის დამოკიდებულებას შესაბამისი გადაადგილებისაგან პლასტიკურ გამორთვამდე, იგი, ფიზიკური მოსაზრებების თანახმად, უწყვეტია და მონოტონურად იზრდება. ამის გარდა დეფორმაციის მრუდის ფორმის შესახებ არავითარი შემზღუდავი პირობა არაა შემოღებული. კერძოდ, არ არის აუცილებელი, რომ ბმის დეფორმაცია დრეკადი იყოს პლასტიკურ გამორთვამდე.

იგულისხმება, რომ სისტემაზე მოქმედი დატვირთვა ორი ნაწილისაგან შედგება: ა) მუდმივი დატვირთვისაგან, რომელიც სავსებით განსაზღვრულია როგორც სიდიდის, ისე განლაგების მიხედვით, და ბ) დროებითი დატვირთვისაგან, რომელიც განსაზღვრულია მხოლოდ განლაგების მიხედვით; ამასთან ყველა ძალა, რომლებიც შედის დროებით დატვირთვაში, იზრდება ერთი პარამეტრის P—დროებითი დატვირთვის ინტენსივობის—პროპორციულად. ძალების მიმართულება განსაზღვრულია. ვიხილავთ მხოლოდ ერთჯერად დატვირთვას.

P სიდიდის საკმაოდ გაზრდის შემდეგ ზოგიერთი შიგა ბმა პლასტიკურად გამოირთვება. დროებითი დატვირთვის $P=\overline{P}$ სიდიდეს, რომლის დროსაც შიგა ბმების საკმარისი რაოდენობით პლასტიკური გამორთვის გამო სისტე-

[1] კონსტრუქციების ზღვრული წონასწორობის ანგარიშის თანამედროვე თეორია დამუშავებულია პროფ. ა. გვოზდევისა და სხვათა მიერ.

მას საშუალება ეძლევა გადაადგილდეს როგორც კინემატიკური ჯაჭვის [illegible]ვი ანუ ზღვრული დატვირთვა ეწოდება, სისტემის შესაბამის დეფორმაციას კი რღვევის სქემა. რღვევის სქემის უსასრულოდ მცირე გადაადგილებით კმაყოფილდება ზღვრული წონასწორობის შემდეგი პირობა:

$$\overline{P}\, T_p + T_g = \sum \overline{S}_k e_k, \tag{2}$$

სადაც T_p დროებითი დატვირთვის მუშაობაა, როდესაც $P = 1$,

T_g—მუდმივი დატვირთვის მუშაობა,

$\overline{S}_k$ ზღვრული ძალვებია იმ ბმებში, რომლებიც პლასტიკურად გამოირთვება,

e_k ამ ძალვების შესაბამისი გადაადგილებებია.

ზღვრული წონასწორობის თეორიის მიზანია ნაგებობის სტატიკურ სქემას, მისი ელემენტის კვეთებსა და ზღვრულ დატვირთვას შორის დამოკიდებულების დადგენა. ადვილად შესამჩნევია, რომ საკითხი არსებითად რღვევის სქემის მოძებნაზე დაიყვანება, რადგანაც ამის შემდეგ ამოცანა სტატიკურად რკვევადი ხდება და მისი გადაწყვეტა პრინციპულ სიძნელეს აღარ წარმოადგენს.

დასმული ამოცანა ითვალისწინებს, რომ: ა) სისტემის დეფორმაციები ზღვრულ მდგომარეობამდე იმდენად მცირეა, რომ დატვირთვის პროცესში კონსტრუქციის ზომების შეცვლა შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ და ბ) რომ მხოლოდ მუდმივი დატვირთვა არაა საკმარისი სისტემის ზღვრულ მდგომარეობაში გადასაყვანად.

დასმული ამოცანის გადასაწყვეტად მიზანშეწონილია სტატიკურად დასაშვები და კინემატიკურად დასაშვები დატვირთვის ცნებების შემოყვანა. სტატიკურად დასაშვები ეწოდება ისეთ დატვირთვას $P = P^s$, რომლის დროსაც ზედმეტი უცნობების X_j გარკვეული შერჩევით შესაძლებელია წონასწორობის პირობებისა და შიგა კავშირების ზღვრული პირობების (1) დაკმაყოფილება. კინემატიკურად დასაშვები ეწოდება ისეთ დადებით დატვირთვას $P = P^k$, რომელიც აკმაყოფილებს ზღვრული წონასწორობის პირობას (2) სისტემის რაიმე კინემატიკურ ჯაჭვად გადაქცევის დროს.

თავისთავად გასაგებია, რომ ზღვრული დატვირთვა $\overline{P}$ ერთდროულად ეკუთვნის როგორც სტატიკურად, ისე კინემატიკურად დასაშვებ დატვირთვას. მართლაც, ამ დატვირთვის დროს, ერთი მხრით, ძალვების ჭეშმარიტი განაწილება აკმაყოფილებს როგორც წონასწორობის პირობებს, ისე ზღვრულ პირობებსაც. მეორე მხრით, რღვევის ჭეშმარიტი სქემისათვის კმაყოფილდება ზღვრული წონასწორობის პირობა.

პროფ. ა. გვოზდევმა დაამტკიცა [1], რომ, თუ დაცულია ზემოთ მოყვანილი წინაპირობანი, სამართლიანია ზღვრული წონასწორობის თეორიის შემდეგი ფუნდამენტური დებულება: სტატიკურად დასაშვებ დატვირთვათა ზედა ზღვარი ემთხვევა კინემატიკურად დასაშვებ დატვირთვათა ქვედა ზღვარს: $\max P^s = \min P^k$. ამ დებულებიდან უშუალოდ გამომდინარეობს, რომ არსებობს ერთადერთი დატვირთვა, რომელიც ერთდროულად არის როგორც სტატიკურად, ისე კინემატიკურად დასაშვები—ზღვრული დატვირთვა. ამ

თვისებას, რომელიც ცალსახად განსაზღვრავს ზღვრულ დატვირთვას, ვუწოდოთ ზღვრული დატვირთვის პირველი თვისება.

ზემოთ მოყვანილი ძირითადი დებულებიდან გამომდინარეობს კიდევ ორი თვისება, რომელნიც აგრეთვე ცალსახად განსაზღვრავენ ზღვრულ დატვირთვას და საფუძვლად ედებიან ზღვრული დატვირთვის მოძებნის არსებულ მეთოდებს. თანახმად მეორე თვისებისა, რომელიც საფუძვლად ედება კინემატიკურ მეთოდს, ზღვრული დატვირთვა უდიდესია ყველა სტატიკურად დასაშვებ დატვირთვას შორის: $\overline{P} = \max P^s$. თანახმად მესამე თვისებისა, რომელიც საფუძვლად ედება კინემატიკურ მეთოდს, ზღვრული დატვირთვა უმცირესია კინემატიკურად დასაშვებ ყველა დატვირთვას შორის: $\overline{P} = \min P^k$. მეორე და მესამე თვისება შეიძლება გაერთიანდეს ექსტრემალური თვისებების სახელწოდებით. აღსანიშნავია, რომ იმ დროს, როდესაც ექსტრემალური თვისებები წარმოადგენენ ზღვრული წონასწორობის თეორიით კონსტრუქციების გაანგარიშების საფუძველს, პირველი თვისება არამცთუ არ არის საკმარისად გამოყენებული, არამედ არც არის ცხადად ჩამოყალიბებული როგორც ზღვრული დატვირთვის ცალსახად განმსაზღვრავი თვისება, ამ თვისების გამოყენება კი შეიძლება პლასტიკური შიგა ბმების მქონე კონსტრუქციების გაანგარიშების რიგი საკითხების გადაწყვეტისას.

ზღვრული დატვირთვის პირველი თვისება საშუალებას გვაძლევს გავიანგარიშოთ მოცემული სისტემის ამტანუნარიანობა ექსტრემალური თვისებების გამოუყენებლად. ამოცანა დაიყვანება ისეთი დატვირთვის მოძებნამდე, რომლისთვისაც ზედმეტი უცნობების გარკვეული შერჩევით შესაძლებელია დაკმაყოფილება, ერთი მხრით, წონასწორობისა და შიგა ბმების ზღვრული (1) პირობებისა, მეორე მხრით კი ზღვრული წონასწორობის პირობებისა (2) სისტემის გარკვეულ კინემატიკურ ჯაჭვად გადაქცევის შემთხვევისათვის.

პირველი თვისების გამოყენებას დიდი მნიშვნელობა აქვს შებრუნებული ამოცანის გადაწყვეტისას, როდესაც საჭიროა სისტემის გაანგარიშება მოცემულ დატვირთვაზე. ამ შემთხვევაში ექსტრემალური თვისებების უშუალო გამოყენება შეუძლებელია, რადგანაც ისინი ემყარებიან კონსტრუქციის ელემენტების კვეთების მახასიათებლებს, რომელნიც შებრუნებული ამოცანის დროს უცნობი არიან. ამრიგად, ზღვრული დატვირთვის ერთადერთ თვისებას, რომელსაც ემყარება შებრუნებული ამოცანის გადაწყვეტა, სწორედ პირველი თვისება წარმოადგენს. ანგარიშის მსვლელობა შემდეგია: მოცემული უდიდესი დატვირთვისათვის შეირჩევა ზედმეტი უცნობები, ე. ი. სისტემაში ძალვების საანგარიშო განაწილება, რომლის მიხედვითაც ხდება ელემენტების კვეთების შერჩევა. ამასთან უნდა განისაზღვროს რღვევის გარკვეული სქემა, რომლითაც კმაყოფილდება ზღვრული წონასწორობის პირობა (2). კვეთების შერჩევისას განსაკუთრებული ყურადღება უნდა ექცეოდეს თეორიის წინაპირობების დაკმაყოფილებას. კერძოდ, როდესაც დროებითი დატვირთვა არ მოქმედებს, კონსტრუქციის სიმტკიცე უზრუნველყოფილი უნდა იქნეს. ამისათვის დროებითი დატვირთვის მნიშვნელობა $P=0$ სტატიკურად დასაშვები უნდა იყოს.

აქ მხედველობაში მისაღებია მოცემულ დატვირთვაზე ზღვრული წონასწორობის თეორიით კონსტრუქციების გაანგარიშებისათვის დამახასიათებელი ორი სპეციფიკური თვისება: ა) ძალვების საანგარიშო განაწილების საკმაო ფართო ფარგლებში რეგულირების შესაძლებლობა და ბ) კონსტრუქციის ყველა ელემენტის სიმტკიცის გამოყენების შესაძლებლობა. ამ ბოლო შემთხვევაში სისტემას შეიძლება ტოლი სიმტკიცის მქონე ვუწოდოთ.

აღვნიშნოთ, რომ ძალვების საანგარიშო განაწილებად შეიძლება მივიღოთ აგრეთვე ისეთი განაწილება, რომელიც ამა თუ იმ სიზუსტით შეესაბამება სისტემის დრეკად მუშაობას. ამ შემთხვევაში ყოველთვის შესაძლებელია კვეთები ისე შევარჩიოთ, რომ განისაზღვროს რღვევის გარკვეული სქემა. აღნიშნული გზით დაგეგმარებული კონსტრუქციისათვის მოცემული დატვირთვა ერთდროულად წარმოადგენს როგორც სტატიკურად, ისე კინემატიკურად დასაშვებ, ე. ი. ზღვრულ დატვირთვას.

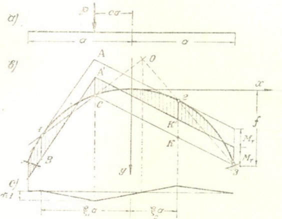
მაშასადამე, როდესაც ჩვენ სტატიკურად ურკვევად სისტემებში ძალვებს დრეკადი ბმების მქონე ნაგებობათა თეორიის მიხედვით ვანგარიშობთ და შემდეგ კვეთებს მრღვევი დატვირთვის მეთოდით ვარჩევთ, ამით პრინციპულ შეცდომას არ ვუშვებთ. კიდევ უფრო მეტი, საკმაოდ არაზუსტი „დრეკადი“ მეთოდები ზღვრული წონასწორობის თეორიით გაანგარიშებისას შეიძლება ზუსტ მეთოდებად ჩაითვალოს იმდენად, რამდენადაც ისინი უზრუნველყოფენ იმ პირობის დაკმაყოფილებას, რომელიც მოყვანილია ზღვრული დატვირთვის პირველ თვისებაში. მეთოდოლოგიური შეუსაბამისობა მხოლოდ იმაში მდგომარეობს, რომ ზღვრული წონასწორობის თეორიის თვალსაზრისით არ არის აუცილებელი იმ შემზღუდავი პირობების დაცვა, რომელთა დაკმაყოფილება აუცილებელია „დრეკად“ მეთოდებში დეფორმაციათა ერთობლიობის პირობებთან დაკავშირებით.

განვიხილოთ ზღვრული დატვირთვის პირველი თვისების გამოყენების შემდეგი მაგალითი: უსახსრო სიმეტრიული თაღის ვერტიკალურ დატვირთვაზე ანგარიშის ისეთი შემთხვევა, როდესაც თაღის ზღვრულ მდგომარეობაში გადასვლა გამოწვეულია პლასტიკური სახსრების საკმაო რაოდენობის წარმოქმნით. საკითხის გასამარტივებლად მივიღოთ, რომ ზღვრული მომენტი $M_т$ თაღის გასწვრივ უცვლელი რჩება[1]. ამით საკითხი დაიყვანება კოჭების ანგარიშის ცნობილ ხერხზე—მღუნავი მომენტების საანგარიშო სიდიდეების გათანაბრებაზე; ამასთან შესაბამისი ბმების პლასტიკური გამორთვა შესაძლებელი უნდა იქნეს და სისტემას მექანიზმად უნდა აქცევდეს. საანგარიშო მომენტების ზღვრულ მომენტთან გატოლებით მივიღებთ მღუნავი მომენტების ისეთ ეპიურას, რომლის დროსაც ერთდროულად კმაყოფილდება როგორც წონასწორობისა და შიგა კავშირების ზღვრული პირობები, ისე სისტემის ზღვრულ წონასწორობაში გადასვლის პირობები, ე. ი. მივიღებთ ზღვრული მდგომარეობის შესაბამის მღუნავ მომენტთა ეპიურას.

ვთქვათ, $L = 2a$ მალის მქონე უსახსრო თაღზე მოქმედებს კლიტისგან ca მანძილით დაშორებული ვერტიკალური შეყურსული ძალა P (იხ. ნახ. 1a).

[1] ასეთ ამოცანას პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს რკინაბეტონის თაღებისა და კამარების გაანგარიშებისას. ამ საკითხზე ჩვენ უფრო დაწვრილებით შევჩერდებით სხვა ადგილას.

ძირითადი სტატიკური სისტემის შერჩევისათვის წარმოვიდგინოთ თაღში სამი სახსარი: ერთი P ძალის ქვეშ (c წერტილი), მეორე—მარჯვენა ქუსლში (წერტილი 3). მესამე სახსრის მდებარეობა განვსაზღვროთ შემდეგნაირად: $c\,3$ წრფის პარალელურად გავავლოთ მხები $2\,A$. მისი P ძალის ქმედების წირთან გადაკვეთის A წერტილიდან გავავლოთ მხები $1\,A$. შეხების წერტილში 1 მოვაწყოთ მესამე სახსარი. თაღის საკმარისი დამრეცობის ან ca მანძილის საკმაოდ დიდი მნიშვნელობის დროს მხების წერტილი შეიძლება მალის ფარგლებში არ აღმოჩნდეს. მაშინ მესამე სახსარს მარცხენა ქუსლში ვაწყობთ.



ნახ. 1

ტეხილი $1\,c\,3$ ძირითადი სისტემისათვის წნევის წირს წარმოადგენს. ამ წირისა და თაღის ღერძის ორდინატების სხვაობა გარკვეულ მასშტაბში გამოსახავს მღუნავ მომენტებს ძირითად სისტემაში. მღუნავი მომენტების საანგარიშო ეპიურის მისაღებად $2K$ ორდინატის K' შუაწერტილიდან გავავლოთ $A2$ წირის პარალელურად წრფე $A'K'$, მისი P ძალის ქმედების წირთან გადაკვეთის A' წერტილიდან კი $1\,A$ წრფის პარალელურად გავავლოთ $A'B$. ტეხილი $BA'K'$ წნევის წირის სწორედ ის მდგომარეობაა, რომელსაც ჩვენ ვეძებთ. მართლაც, საანგარიშო კვეთებში 1, 2, 3, c მღუნავი მომენტები ერთმანეთის ტოლია; ამ კვეთებში პლასტიკური სახსრების ერთდროულად წარმოქმნა სისტემას მექანიზმად აქცევს: თაღის ნაწილებს $1\,c$ და $2\,3$ საშუალება ეძლევათ იტრიალონ საათის ისრის მიმართულებით 1 და 3 წერტილების გარშემო, ხოლო ნაწილს $c\,2$—საწინააღმდეგო მიმართულებით იტრიალოს 0 ცენტრის გარშემო, რომელიც ადვილად მოიძებნება კინემატიკიდან ცნობილი წესით.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, რღვევის სქემის მოძებნის შემდეგ ამოცანა სტატიკურად რკვევადი ხდება. ზღვრული დატვირთვის სიდიდეს მივიღებთ შესაძლო გადაადგილებათა პრინციპის საშუალებით. შესაძლო გადაადგილებად მივიღოთ სისტემის ზღვრულ მდგომარეობაში გადაადგილებები. ნახ. $1c$-ზე ნაჩვენებია თაღის ნაწილების ვერტიკალური და კუთხური გადაადგილებები. მუშაობათა განტოლება შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგნაირად:

$$\frac{\overline{P}L}{M_{\text{т}}} = \psi, \tag{3}$$

სადაც ψ თაღის გეომეტრიული ზომებისაგან და c სიდიდისაგან დამოკიდებული კოეფიციენტია.

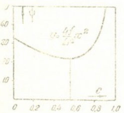
ფორმულა (3) საშუალებით შეიძლება მოცემული თაღისათვის გამოვთვალოთ ზღვრული დატვირთვა, მოცემული დატვირთვისათვის კი შევარჩიოთ თაღის ზომები და კვეთი.

ამოცანის მოცემული გრაფიკული ხერხის გამოყენება შეიძლება ნების-მიერი მოხაზულობის თაღისათვის. იმ შემთხვევაში, თუ მოცემულია თაღის ღერძის ანალიზური გამოსახულება, ამოცანა შეიძლება ანალიზური ფორმით გადაწყდეს. განვიხილოთ, მაგალითად, პარაბოლური თაღი. ნახ. $1b$-ზე ნაჩვენებ კოორდინატთა ღერძებში თაღის ღერძის განტოლება შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$y = \frac{4f}{L^2}\, x^2,$$

სადაც f-ით და L-ით აღნიშნულია თაღის ისარი და მალი.

ძირითადი სისტემა ზემოთ აღწერილი წესის თანახმად შევარჩიოთ. მაშინ სახსარი 1 განლაგებული იქნება მალში, სანამ P ძალა მალის შუა მესამედის ფარგლებში იქნება მოდებული $\left(c \leqq \frac{1}{3}\right)$, იმ შემთხვევაში კი, როდესაც P ძალა ამ ფარგლებს გასცდება $\left(c \geqq \frac{1}{3}\right)$, სახსარი 1 განლაგებულია ქუსლში. ამის შესაბამისად ψ, ξ_1 და ξ_2 სიდიდეებისათვის (იხ. ნახ. $1c$) გვექნება ორ-ორი გამოსახულება: როდესაც



ნახ. 2

$$c \leqq \frac{1}{3}, \quad \psi = \frac{32}{1+c}, \quad \xi_1 = \frac{1+3c}{2},$$

$$\xi_2 = \frac{1-c}{2},$$

როდესაც

$$c \geqq \frac{1}{3}, \quad \psi = \frac{4(3-c)}{(1-c)(1+c)^2}, \quad \xi_1 = 1,$$

$$\xi_2 = \frac{1-c}{2}.$$

ნახ. 2-ზე მოყვანილია $\psi(c)$ დამოკიდებულების გრაფიკი, რომელზედაც ჩანს P ძალის მოდების ყველაზე არახელსაყრელი ადგილი ($c \cong 0{,}54$). აღსანიშნავია, რომ ორი უბნის საზღვარზე, ე. ი. როდესაც $c = \frac{1}{3}$, მრუდს გარდატეხა არა აქვს, რაც შეიძლება ანალიზურად დამტკიცდეს.

ანალოგიური გზით ხდება უსახსრო თაღის გაანგარიშება ზოგიერთი სხვა მარტივი სახის დატვირთვისათვისაც: ორი სიმეტრიულად განლაგებული ვერტიკალური შეყურსული ძალა, მალის შუა ნაწილზე თანაბრად განაწილებული სიმეტრიული დატვირთვა და სხვა.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
სამშენებლო საქმის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 16.2.1955)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. А. А. Гвоздев. Определение величины разрушающей нагрузки для статически неопределимых систем, претерпевающих пластические деформации. Труды конференции по пластическим деформациям. М., 1938.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XVI, № 10, 1955

ტექნიკა

ი. შენგელია

საწყობის განტვირთვის ფრონტის ანგარიში

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა კ. ზავრიევმა 26.3.1955)

სამშენებლო მოედნებზე საწყობების ანგარიშის დროს საგრძნობი ადგილი უჭირავს სატრანსპორტო საშუალებათა ნორმალური მუშაობისათვის საჭირო განტვირთვის ფრონტის განსაზღვრას [1, 2, 3]. ყველა სახის ტრანსპორტისათვის, რასაც გამოყენება აქვს საშენი მასალების საზიდად სამოედნო საწყობებში — სარკინიგზო, საავტომობილო და სამდინარო ფრონტს—ანგარიშობენ ფორმულით

$$L = \alpha \frac{nl + (n - 1)\, l_1}{m}, \qquad (1)$$

სადაც L განტვირთვის ფრონტის სიგრძეა მეტრობით; l სატრანსპორტო საშუალების ერთეულის გაბარიტული სიგრძეა მეტრობით; l_1 განტვირთვის ფრონტზე ნორმალურ პირობებში მდგომი ორი მეზობელი სატრანსპორტო საშუალების ერთეულებს შორის საჭირო მანძილია მეტრობით; n—სატრანსპორტო საშუალების ერთეულთა რიცხვია, რომელიც დღეღამეში შემოდის საწყობში; m შემადგენლობის მიწოდების რიცხვია საწყობში დღე-ღამეში, ხოლო α ტრანსპორტის მიწოდების უთანაბრობის კოეფიციენტია, რაც სარკინიგზო ტრანსპორტისათვის იღება 1,2 ტოლი, საავტომობილო ტრანსპორტისათვის 1,3—1,5.

თავის მხრივ, სატრანსპორტო საშუალების ერთეულთა რიცხვი, რომელიც დღეღამეში შემოდის საწყობში, იანგარიშება ფორმულით

$$n = \frac{Q \cdot a}{t \cdot q},$$

სადაც Q საწყობში შემოსატანი მასალების საერთო რაოდენობაა, t—სამუშაო დღეების რიცხვი, q სატრანსპორტო საშუალების ერთეულის ტვირთზიდვის უნარია, ხოლო a ტვირთის მიღების უთანაბრობის კოეფიციენტია, ტოლი (1,5 –2,0) ტრანსპორტის სახეობის მიხედვით.

როგორც განმარტებიდან ჩანს, საწყობში განტვირთვის ფრონტზე სატრანსპორტო საშუალებათა შემოსვლას აუცილებლად პერიოდული ხასიათი აქვს: ჩამოყენება შემადგენლობათა სახით ხდება, რაც იწვევს განტვირთვის ფრონტის სიდიდის სათანადო გადიდებას [4, 5]. ამ გარემოებას თანადროულ პირობებში ადგილი აქვს მხოლოდ სარკინიგზო ტრანსპორტისათვის, სადაც წევის საშუალების სიმძლავრე ნაანგარიშევია რამდენიმე ერთეულის ერთდროულ ტარებაზე. რაც შეეხება საავტომობილო და სამდინარო ტრანსპორტს, აქ საქმე გვაქვს სატრანსპორტო საშუალების ერთეულის დამოუკიდებელ მოძრაობასთან: ნორმალურ პირობებში შემდეგი ერთეული არაფრით არაა დამოკიდებული წინა და მომდევნო ერთეულების გადაადგილებაზე. ამიტომაც აქ შემადგენლობათა დღე-ღამეში ჩამოყენების რიცხვის განსაზღვრას არავი-

თარი აზრი არა აქვს. მაშასადამე, მიღებული საანგარიშო ფორმულა (1), რომელშიაც m მონაწილეობს, სწორად ვერ განსაზღვრავს საჭირო განტვირთვის ფრონტის სიდიდეს საავტომობილო და სამდინარო ტრანსპორტისათვის. ზემოთ მოყვანილი (1) ფორმულით განტვირთვის ფრონტის განსაზღვრას დიდი ხნის ისტორია აქვს. იგი იმ პერიოდს მიეკუთვნება, როცა სამშენებლო საქმეში დატვირთვა-განტვირთვის სამუშაოები სრულებით არ იყო მექანიზებული. ამ პირობებში მასალების გამცემი საწყობების სწრაფად განტვირთვის მიზნით საჭირო იყო რამდენიმე ავტომანქანის ან სამდინარო ტრანსპორტის ერთდროული დაყენება დატვირთვის ფრონტზე, რადგანაც დატვირთვა უმექანიზაციოდ დიდი შრომატევადობით ხასიათდებოდა და დიდ დროს მოითხოვდა, მანქანებისა და სამდინარო ტრანსპორტის ეს ჯგუფი თითქმის ერთდროულად ჩამოდგებოდა სამშენებლო მოედნის საწყობის განტვირთვის ფრონტზეც და ამიტომაც ფრონტის სიდიდის საანგარიშო ფორმულაში (1) m სამართლიანად მონაწილეობდა. თანადროულ პირობებში საწყობებში სამშენებლო მასალების დატვირთვა-განტვირთვის ოპერაციები მექანიზებულია. რითაც მინიმუმამდეა დაყვანილი სატრანსპორტო საშუალების ერთეულის დატვირთვის დრო და მოხსნილია დატვირთვისათვის რამდენიმე ავტომანქანის ან სამდინარო ტრანსპორტის ერთდროულად ჩამოყენების აუცილებლობა.

ეს გარემოება შენიშნულ იქნა პროფ. ბარანოვსკის მიერ, რომელიც მასალების საწყობებს შორის ავტოტრანსპორტის მოძრაობას, სარკინიგზო ტრანსპორტის მუშაობისაგან განსხვავებით, უწყვეტ ნაკადად განიხილავს [6].

საწყობში განტვირთვის ფრონტის განსაზღვრისათვის ის იძლევა განსხვავებულ ფორმულას, რომელსაც შემდეგი სახე აქვს:

$$L_f = K_t \frac{l \cdot Q_{\text{საშ.}} t_{1\text{განტ.}}}{q_n \cdot T_{\text{სადღ.}}}, \tag{1'}$$

სადაც K_t უთანაბრობის კოეფიციენტია; $l = l_1 + l_2$, l_1 სატრანსპორტო ერთეულის გაბარიტული სიგრძეა, ხოლო l_2 საჭირო მანძილია განტვირთვისათვის ერთდროულად მდგომ ორ მოსაზღვრე სატრანსპორტო ერთეულს შორის; $Q_{\text{საშ.}}$ საშუალო სადღეღამისო ტვირთნაკადია; $t_{1\text{განტ.}}$ ერთი ავტომანქანის განტვირთვისთვის საჭირო დროა; q_n ავტომანქანის ტვირთტევადობის სიდიდეა, ხოლო $T_{\text{სადღ.}}$ საწყობის სამუშაო დროა.

ამ ფორმულის საფუძველს წარმოადგენს სიდიდე:

$$t' = \frac{T_{\text{სადღ.}} \cdot q_n}{Q_{\text{საშ.}}},$$

რაც, პროფ. ბარანოვსკის აზრით, უნდა წარმოადგენდეს დროს, რომლის ტოლი ინტერვალითაც წარმოებს ავტომანქანების შემოსვლა განტვირთვის ფრონტზე. ფაქტობრივ t' წარმოადგენს დღე-ღამეში ერთ რეისზე მოსულ საშუალო დროს, რომელიც მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული, როგორც, მაგალითად: ზიდვის მანძილი დატვირთული ან ცარიელი მიმართულებით, დატვირთვისა და განტვირთვისთვის საჭირო დრო, მოძრაობის სიჩქარე და სხვა, რომელთა გავლენის გამო, განსაკუთრებით მაშინ, როცა საწყობში განტვირთვის ფრონტზე სხვადასხვა სახის ტვირთი სხვადასხვა დატვირთვის პუნქტებიდან მოდის, სხვადასხვაა ზიდვის მანძილი, მოძრაობის სიჩქარე გზის განსხვავებული კლასის გამო, დატვირთვისათვის საჭირო დრო მექანიზაციის განსხვავებული ხარისხის გამო და სხვა.

ერთ რეისზე მოსული დროის საშუალო მნიშვნელობა ვერ დააკმაყოფილებს განტვირთვის ფრონტის ეკონომიური მნიშვნელობის განსაზღვრის პირობას. ამიტომაც განტვირთვის ფრონტზე ერთდროულად ჩამომდგარ სატრანსპორტო ერთეულთა რიცხვი არ შეიძლება ყოველთვის ტოლი იყოს სიდიდისა

$$\frac{t_{1\text{განტ.}}}{t'}.$$

აქ უყურადღებოდაა დატოვებული ის გარემოება, რომ $t_{1\text{განტ.}}$ უმრავლეს შემთხვევაში განსხვავდება t დატვირთვისაგან, რომლის გაუთვალისწინებლობას მივყავართ სატრანსპორტო საშუალებათა უცილობელ თავმოყრასთან ერთ-ერთ პუნქტში (დატვირთვის ან განტვირთვის), ხოლო მეორე პუნქტში დატვირთვის ან განტვირთვის მექანიზმების მოცდენასთან.

ზემოაღნიშნულიდან დავასკვნით, რომ პროფ. ბარანოვსკის მიერ მოცემული საანგარიშო ფორმულაც (1′) სრულად ვერ ასახავს მოვლენის არსს და ვერ უზრუნველყოფს განტვირთვის ფრონტის სინამდვილეში საჭირო სიდიდის განსაზღვრას.

ფაქტობრივ თითოეული მანქანის ან სამდინარო ტრანსპორტის ერთეულის ჩამოყენება დატვირთვის ფრონტზე წარმოებს დროის ისეთი ინტერვალით, რაც საჭიროა სატრანსპორტო საშუალების ერთი ერთეულის დატვირთვისათვის. ამით გამორიცხულია ავტომანქანებითა და სამდინარო ტრანსპორტით მასალების ზიდვა შემადგენლობათა მსგავსად. მაშასადამე, ფაქტობრივ მასალების გამცემ და მიმღებ საწყობებს შორის სატრანსპორტო საშუალებათა მოძრაობა წარმოებს უწყვეტ ნაკადად, რომლის ბიჯიც ტოლია საშუალოდ

$$\frac{t_1+t_2}{2},$$

სადაც t_1 და t_2 დატვირთვისა და განტვირთვისათვის საჭირო დროა. მასალების მიმღებ საწყობში განტვირთვის ფრონტის ნაწილს, რომელიც საჭიროა ერთი მანქანის ან სამდინარო ტრანსპორტის ერთეულისათვის, ერთდროულად შეუძლია მოემსახუროს ერთეულთა რიცხვს:

$$n = 1 + \frac{\dfrac{2L}{V_{\text{საშ.}}} + t_1 + t_2}{t_3},$$

სადაც L ზიდვის მანძილია მეტრობით, $V_{\text{საშ.}}$ ზიდვის საშუალო სიჩქარეა მეტრ/წუთობით, t_1 დატვირთვისათვის საჭირო დროა წუთობით, t_2 მანევრირებისათვის საჭირო დროა წუთობით, t_3 განტვირთვისათვის საჭირო დროა წუთობით. თუ საწყობში სადღეღამისო ტვირთნაკადი ტოლია Q ტონისა, გამოყენებული სატრანსპორტო საშუალების ერთეულის სადღეღამისო წარმადობაა Π, ხოლო ტვირთის მიღების უთანაბრობის კოეფიციენტია $a = 1{,}5-2$, მაშინ ტვირთნაკადის დასაკმაყოფილებლად საჭირო სატრანსპორტო ერთეულების რიცხვი ტოლი იქნება:

$$n_2 = \frac{Q \cdot a}{\Pi}.$$

თუ $n_2 \leqq n$, მაშინ, ცხადია, მთელ მოთხოვნილებას დააკმაყოფილებს განტვირთვის ფრონტის სიგრძე, საკმარისი ერთი სატრანსპორტო ერთეული-

სათვის, ხოლო თუ $n_2 > n$, მაშინ განტვირთვის ფრონტების რიცხვი დაკავშირებული იქნება სიდიდესთან:

$$n_1 = \frac{n_2}{n}.$$

ანუ

$$n_1 = \frac{Q \cdot a}{\Pi \cdot n}.$$

ცხადია, რომ n_1 აღებულ უნდა იქნეს მთელი მნიშვნელობით და ამასთანავე მეტობით. ამ გარემოებათა გათვალისწინებას მივყავართ იმ დასკვნამდე, რომ განტვირთვის ფრონტი საავტომობილო და სამდინარო ტრანსპორტისათვის ტოლი უნდა იყოს სიდიდისა

$$L = \alpha [n_1 l + (n_1 - 1) l_1],$$

ანუ

$$L = \alpha [n_1 (l + l_1) - l_1]. \qquad (2)$$

თუ ამ გამოსახულებაში შევიტანთ n_1-ის ზევით მიღებულ მნიშვნელობას, მაშინ საანგარიშო ფორმულას შემდეგი სახე ექნება:

$$L = \alpha \frac{a \cdot Q (l + l_1)}{\Pi \cdot n} - l_1. \qquad (3)$$

არსებულისგან განსხვავებით, მიღებული საანგარიშო მე-3 ფორმულა დაფუძნებულია, ერთი მხრით, მოთხოვნილი ტვირთნაკადის აუცილებელი დაკმაყოფილების, ხოლო, მეორე მხრით, საწყობში განტვირთვის ფრონტის ოპტიმალურად გამოყენების პირობებზე.

1. ჩვენ მიერ მესამე საანგარიშო ფორმულით დასმული ამოცანის გადაწყვეტაში მკვეთრადაა გამოვლინებული სარკინიგზო ტრანსპორტის განმასხვავებელი თავისებურებანი საავტომობილო და სამდინარო ტრანსპორტთან შედარებით, რაც დაფუძნებულია ტექნიკის განვითარების შედეგებზე სასაწყობო მეურნეობის დარგში;

2. პირველადაა განსაზღვრული საწყობში განტვირთვის ფრონტის საჭირო სიდიდე რეალური პირობების შესაბამისად;

3. განსაზღვრული ფრონტის სიდიდე გაცილებით უფრო მცირეა, ვიდრე ერთნაირ პირობებში არსებული ფორმულებით მიღებული შედეგები, რითაც გამორიცხულია ფრონტის ზედმეტი სიგრძის საჭიროება და ზედმეტი ხარჯები მის მოწყობასა და ექსპლოატაციაზე.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
სამშენებლო საქმის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 26.3.1955)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. И. И. Торчинский. Технология строительного производства. Москва, 1949.
2. Н. И. Пентковский, Б. В. Смирнов. Экономика, организация и планирование строительства. Москва, 1950.
3. Б. С. Ухов. Организация и планирование строительства. Москва, 1954.
4. А. Н. Неровецкий. Основы организации и экономики строительства. Киев—Львов, 1948.
5. Сборник: „Организация строительного производства" под редакцией доктора технических наук проф. Б. П. Горбушина. Москва, 1945.
6. А. В. Барановский. Организация и планирование строительного производства. Москва, 1948.

მეტალურგია

ვ. ბერეჟიანი

ალუმინის დაძველებად შენადნობებში სტაბილურ ფაზათა წარმოქმნის მექანიზმის საკითხისათვის

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა რ. აგლაძემ 13.9.1954)

ალუმინის დაძველებადი შენადნობების ხელოვნური დაძველების დროს მათში წარმოქმნილ მეტასტაბილურ ფაზათა სტაბილურ ფაზებში გარდაქმნის პროცესი საკმაოდ არ არის შესწავლილი.

რენტგენოგრაფიული გამოკვლევების ([1,2,3,4] და სხვა) მიხედვით მეტასტაბილურ ფაზათა სტრუქტურა განსხვავდება სტაბილურ ფაზათა სტრუქტურისაგან; გარდა ამისა, დადგენილია, რომ მეტასტაბილური ფაზები და მყარი დედა ხსნარი ზოგიერთი კრისტალოგრაფიული სიბრტყის იგივეობით ხასიათდება, რაც ნებას გვაძლევს ვივარაუდოთ, რომ ეს ორი ფაზა შეუღლებულია („კოგერენტულია“).

მკვლევართა უმრავლესობა იზიარებს შეხედულებას მეტასტაბილურ ფაზათა მყარ დედა ხსნართან შეუღლებულობის შესახებ, ისინი ფიქრობენ, რომ ეს გარემოება უნდა იყოს ერთ-ერთი უმთავრესი ფაქტორი, რომელიც მეტასტაბილურ მყარ ფაზათა არსებობას განაპირობებს.

ფაზათა შეუღლებულობის საფუძველზე მკვლევართა დიდი ნაწილი [3, 5, 6] ფიქრობს, რომ ფაზათა გარდაქმნის პროცესი მზარდი მეტასტაბილური ფაზის მყარი ხსნარის გისოსიდან მოწყვეტით ხორციელდება.

სხვა მკვლევარნი ([7, 8] და სხვა) არ უარყოფენ მოწყვეტის მნიშვნელობას, მაგრამ ფიქრობენ, რომ სტრუქტურული გარდაქმნის პროცესი რეკრისტალიზაციის [7] ან პოლიმორფული გარდაქმნის [8] გზით ხორციელდება.

დაბოლოს, საჭიროა აღინიშნოს, რომ, ზოგიერთი მკვლევრის აზრით [9], მეტასტაბილურ ფაზათა სტაბილურ ფაზებად გარდაქმნის პროცესი წყვეტილად ხდება და მას ადგილი უნდა ჰქონდეს დაძველების პროცესის ყველა სტადიაში.

წინა შრომაში [10] Al-Cu-Mg და დურალუმინის ტიპის შენადნობებში ხელოვნური დაძველებისას წარმოქმნილ მეტასტაბილურ ფაზათა გახსნის პროცესის შესწავლით დადგენილ იქნა, რომ მაღალი ტემპერატურის პირობებში ამ ფაზათა გახსნა გადაჯერებულ მყარ ხსნართა წარმოქმნით ხასიათდება და რომ 420° ხელოვნურად დაძველებულ შენადნობებში ადგილი აქვს ე. წ. „გამობრუნების“ მოვლენას.

წინამდებარე შრომის მიზანია ფაზურ გარდაქმნათა შემდგომი შესწავლა ხელოვნურად დაძველებულ შენადნობებში, კერძოდ კი მეტასტაბილურ ფაზათა სტაბილურ ფაზებად გარდაქმნის მექანიზმის შესწავლა.

საკვლევ მასალად გამოყენებული იყო Al-Cu და Al-Cu-Mg შენადნობებისაგან დამზადებული 1,5 მმ სისქის ფურცლები.

შენადნობების შედგენილობა მოყვანილია პირველ ცხრილში.

ცხრილი 1

შენადნობის პირობითი მარკა	Cu	Mg	Mn	Si	Fe
№ 1	3,86	კვალი	—	0,07	0,12
№ 2	3,74	0,82	—	0,52	0,43
№ 3	3,90	1,72	—	0,48	0,39

გამოკვლევისათვის განკუთვნილი სინჯები 9×9 მმ ფართისა და 1,5 მმ სისქის ფირფიტებს წარმოადგენდა.

მზა სინჯები შემდეგნაირად მუშავდებოდა:

1. წრთობა და ბუნებრივი დაძველება,
2. ხელოვნური დაძველება,
3. გაკრიალება ნავთით დასველებულ მაუდის დისკოზე პასტა ГОИ-ს გამოყენებით.

კვლევის ძირითად მეთოდად მიღებული იყო ტემპერატურა—თვისებათა დიაგრამის აგების მეთოდი.

თითოეული შენადნობისათვის აგებული იყო სამი დიაგრამა:

1. ტემპერატურა—სისალე,
2. ტემპერატურა—დაძველების ეფექტი,
3. ტემპერატურა—კრისტალური გისოსის პერიოდი.

იმისათვის, რომ წარმოდგენა გვქონოდა ყოველი ტემპერატურისას თვისებათა დროის განმავლობაში შეცვლაზე, დიაგრამებზე აგებული იყო თვისებათა იზოქრონული (10 წუთის განმავლობაში) შეცვლის მრუდები.

ტემპერატურისაგან დამოკიდებული თვისებების ცვლილებანი ისწავლებოდა 230—500° ფარგლებში 10 ან მეტი გრადუსის ინტერვალებით.

ცდების ჩატარებისას გვარჯილის სათანადო ტემპერატურის მქონე აბაზანაში თავსდებოდა ორი სინჯი, რომელთაგან ერთი ყოვნდებოდა 18 წამს, რაც საკმარისი იყო ორი სინჯის სათანადო ტემპერატურამდე გასაცხელებლად, ხოლო მეორე—10 წუთის განმავლობაში.

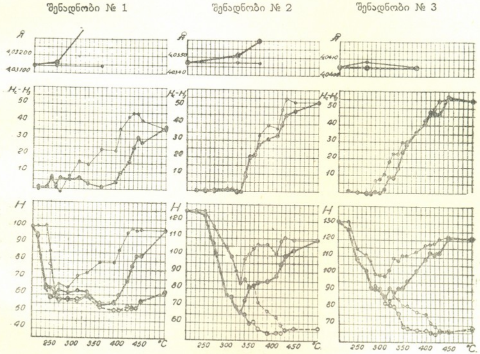
ამ დროის განვლის შემდეგ სინჯები სწრაფად ამოიღებოდა აბაზანიდან და წყალში იწრთობოდა.

სისალის გასაზომად გამოყენებული იყო ხელსაწყო ПМТ—3, რომელიც მუშაობდა 200 გრ ტვირთით. გაზომვა წარმოებდა ორჯერ: 1. უშუალოდ წრთობის შემდეგ,—სისალის გასაზომად ნაწრთობ მდგომარეობაში ($H_{зак}$) და-

2. წრთობიდან 5 დღის შემდეგ,—სისალის გასაზომად დაძველებულ მდგომარეობაში ($H_{сост}$).

კრისტალური გისოსის პერიოდის გაზომვა ხდებოდა ზაქსის მეთოდით სპილენძის გამოსხივების გამოყენებით.

ცდების შედეგები გრაფიკულად წარმოდგენილია ნახ. 1-ზე, სადაც თითოეული წერტილი დიაგრამებზე (ტემპერატურა—სისალე) არის 10 განსაზღვრის საშუალო.



ნახ. 1. დიაგრამები: ტემპერატურა—კრისტალური გისოსის პერიოდი, ტემპერატურა—დაძველების ეფექტი და ტემპერატურა—სისალე ხელოვნურად დაძველებული Al-Cu და Al-Cu-Mg შენადნობებისათვის: წვრილი ხაზები—ხაზები ტემპერატურა—თვისებათა დიაგრამისა; მსხვილი ხაზები—ხაზები იზოქრონული პრილისა; მთლიანი ხაზები—თვისებები დაძველებულ მდგომარეობაში; წყვეტილი ხაზები—თვისებები ნაწრთობ მდგომარეობაში

პირველი ნახაზიდან ჩანს, რომ ხელოვნურად დაძველებული შენადნობების 230—320° ინტერვალში გაცხელებას თან ერთვის მათი სისალის მკვეთრი შემცირება როგორც ნაწრთობ, ისე დაძველებულ მდგომარეობაში. აღსანიშნავია, რომ ამ პერიოდში დაძველების ეფექტი ($H_{сост}$—$H_{зак}$) პრაქტიკულად ნულის ტოლია.

სისალის ასეთი შემცირება არ შეიძლება აიხსნას ხელოვნური დაძველების დროს წარმოქმნილი მეტასტაბილური ფაზების მყარ ხსნარში გახსნით, ვინაიდან დადგენილია, რომ მეტასტაბილურ ფაზათა გახსნა ხასიათდება გადაჯერებული მყარი ხსნარის წარმოქმნით, რასაც, ამ შემთხვევაში, თანახმად დაძველების ეფექტის სიდიდისა, ადგილი არა აქვს.

ამიტომ შეგვიძლია ვიფიქროთ, რომ სისალის ასეთი შემცირება გამოწვეული უნდა იყოს შინაგან ძაბვათა მეტასტაბილური ფაზების გაუხსნელად შემცირებით, რაც შესაძლებელია განხორციელებულ იქნეს მეტასტაბილური ფაზების მყარი ხსნარის გისოსიდან მოწყვეტით.

ხელოვნურად დაძველებულ შენადნობთა ხანმოკლე (18 წამი) გაცხელება 320—430° ინტერვალში ხასიათდება სისალის შემდგომი შემცირებით ნაწრთობ მდგომარეობაში, სისალის გაზრდით დაძველებულ მდგომარეობაში და დაძველების ეფექტის მკვეთრი გადიდებით.

ტემპერატურის აწევა 430°-ზე ზევით არ ახდენს შესამჩნევ გავლენას 18 წამის განმავლობაში გაცხელებულ სინჯთა სისალეზე, რაც იმას გვიჩვენებს, რომ 430° ტემპერატურაზე ადგილი აქვს გამობრუნების მოვლენას, რომელიც ხასიათდება შენადნობში არსებული მეტასტაბილური ფაზების სრული გახსნით და გადაჯერებული მყარი ხსნარის წარმოქმნით [10].

18 წამისა და 10 წუთის განმავლობაში დაყოვნებულ სინჯთა სისალეების შედარება გვიჩვენებს, რომ იზოთერმული დაყოვნებისას ტემპერატურათა ინტერვალში 300—500° ხდება სისალეთა და დაძველების ეფექტების შემცირება, რაც გამოწვეული უნდა იყოს წარმოქმნილი გადაჯერებული მყარი ხსნარის დაშლითა და სტაბილური ფაზის გამოყოფით. ეს გარემოება მტკიცდება № 1 და № 2 შენადნობების კრისტალური გისოსის პერიოდის შეცვლით (იხ. ნახ. 1).

მიღებული შედეგები საშუალებას იძლევა დავასკვნათ შემდეგი:

1. Al-Cu და Al-Cu-Mg ტიპის შენადნობებში ხელოვნური დაძველების დროს წარმოქმნილ მეტასტაბილურ (θ' და S') ფაზათა სტაბილურ (θ დ S) ფაზებად გარდაქმნისას შესაძლებელია განვასხვაოთ შემდეგი სტადიები:

ა) მყარი ხსნარის კრისტალური გისოსიდან θ' და S' ფაზათა მოწყვეტის სტადია;

ბ) გისოსიდან მოწყვეტილი ფაზების გახსნისა და გადაჯერებული მყარი ხსნარის წარმოქმნის სტადია;

გ) გადაჯერებული მყარი ხსნარის დაშლისა და სტაბილური θ და S ფაზების წარმოშობის სტადია.

2. გარდაქმნის პირველი სტადია შედარებით უფრო დაბალი (230—320°) ტემპერატურის პირობებში მიმდინარეობს, ვიდრე მეორე და მესამე (>300°) სტადიები, რომელნიც ერთნაირ ტემპერატურულ პირობებში მიმდინარეობენ, მაგრამ სხვადასხვა დროს.

3. დროის ფაქტორის გავლენა არ ცვლის გარდაქმნის ეტაპთა მიმდინარეობას, მაგრამ პროცესს წევს უფრო დაბალი ტემპერატურისაკენ.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ლითონისა და სამთო საქმის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 19.9.1954)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. G. D. Preston. Diffraction of x-rays byan age-hardening alloys of aluminum and copper. Phylos. Magasine 26, 855, 1938.
2. A. J. Bradley a. P. Iones. Diffraction of X rays an Al-Cu alloys Journ. Inst. of metals 51, 131, 1933.
3. А. Ю. Багаряцкий. Механизм искусственного старения сплава Al-Cu-Mg. ДАН СССР, 87, № 3, 397, 1952.
4. H. Perlitz u S. Westgen. Crystal structure of Al_2 Cu Mg Arkiv Kemi Mineral. Geol. 16, № 13, B. 1943.
5. Д. А. Петров. Вопросы теории сплавов алюминия. Москва, 1951, стр. 43—54.
6. Ч. С. Баррет. Структура металлов. Металлургиздат, 1948, стр. 570—608.
7. A. Guinier. Interprétation de la Diffusion Anormale des Rayons X par les Alliages à Durcissement Structural: Acta Crystallographica, 5, 121, 1952.
8. M. L. V. Gayler. The microscopic analysis of intermediate phases in some age-hardening alloys Proc. Roy. Soc, (A), 173, 83, 1939.
9. A. H. Geisler a. J. K. Hill. Analyses and Interpretations of X-ray Diffraction Effects in Patterns of Aged Alloys Acta Crystallographica 1, 238, 1948.
10. В. М. Бережиани. Об явлении возврата в сплавах типа Al-Cu-Mg и дуралюмин. ДАН СССР, 87, № 4, 1952, стр. 563.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XVI, № 10, 1955

ზოოლოგია

გ. ქაჯაია

კიდურების ხეტომის ასაკობრივი ცვალებადობის შესახებ აბლაბუდიან ტკიპებში (*TETRANYCHIDAE*)

(წარმოადგინა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტმა ლ. კალანდაძემ 30.3.1955)

აბლაბუდიანი ტკიპების ასაკობრივი მდგომარეობის განსაზღვრას დიდი მნიშვნელობა აქვს როგორც მათი სისტემატიკის შესწავლისათვის, ასევე ეკოლოგიური და ტოქსიკოლოგიური გამოკვლევების ჩატარების დროს. წინათ ცალკეული ინდივიდის ასაკობრივი მდგომარეობის დადგენისათვის უპირატესად მისი სხეულის ზომას მიმართავდნენ. მაგრამ ასეთი მეთოდი მცდარ შედეგებს იძლეოდა, რადგან ცნობილია, რომ შედარებით ახალგაზრდა ფაზის მძლავრი ინდივიდები სიდიდით შეიძლება აღემატებოდნენ მომდევნო ფაზის ახალ კანგამოცვლილ ინდივიდებს [2, 5].

განვითარების სხვადასხვა ფაზის მტკიცედ დადგენა მორფოლოგიური ნიშნების მიხედვით შესაძლებელი გახდა მხოლოდ 1949 წლიდან, მას შემდეგ, რაც გამოქვეყნდა ჰ. რ ე კ ი ს [2] ნაშრომი, სადაც ნაჩვენებია, რომ მის მიერ შესწავლილ აბლაბუდიანი ტკიპების 8 სახეობის წარმომადგენლებს, რომლებიც 3 გვარში ერთიანდებოდნენ, ყოველი კანისცვლის შემდეგ ემატებოდათ ხეტომური ელემენტების მტკიცედ განსაზღვრული რაოდენობა. უფრო გვიან მსგავსი შედეგები მიიღო ა. ბ ა ღ დ ა ს ა რ ი ა ნ ც მ ა ც [1], რომელმაც შეისწავლა ტეტრანიხისებრი ტკიპების მრავალსახოვანი კომპლექსი სომხეთში. დაბოლოს, რეკისაგან დამოუკიდებლად, ინგლისში 1952 წელს *Metatetranychus ulmi*-ს მიმართ იმავე შედეგებამდე მივიდნენ ც. ბ ლ ე ი რ ი და ი. გ რ ო ვ ს ი [3]. ამგვარად, ამჟამად ეჭვგარეშეა, რომ აბლაბუდიანი ტკიპების სხეულის მუცლის მხარის ხეტომს სავსებით სარწმუნო ასაკობრივი ნიშნები აქვს.

მაგრამ ტკიპების სხეულის მუცლის მხარეზე ჯაგრების დათვლა შესაძლებელია მხოლოდ მუდმივ პრეპარატებში, მათი კარგი განწყობისა და გაშუქების დროს. ტკიპების გვერდულ მდგომარეობაში ყოფნისას, აგრეთვე დროებით პრეპარატებში დათვლა ძლიერ ძნელია, რაც აბრკოლებს ხეტოლოგიური მეთოდის ფართო გამოყენებას აბლაბუდიანი ტკიპების საველე-ექსპერიმენტულ პირობებში შესწავლისას. ამიტომ ახლა აღნიშნული ტკიპების განვითარების ფაზების დასადგენად წამოიჭრა დამატებითი, უფრო გაადვილებული ხერხების შემუშავების აუცილებლობა.

აქედან გამომდინარე, ჩვენ შევეცადეთ გამოგვევლინებინა აბლაბუდიანი ტკიპების ასაკობრივ განვითარებასთან დაკავშირებით მათი კიდურების ჯაგ-

რების რიცხობრივი ცვლა. ლიტერატურაში, რამდენადაც ჩვენთვის ცნობილია, ამ საკითხის შესახებ მონაცემები აქვს მხოლოდ ფ. გ რ ა ნ ჯ ა ნ ს [4], რომელმაც დაითვალა *Tetranychus lintearius* Dufour-ის ჯაგრების რაოდენობა ლარვის, პროტონიმფის, დედალისა და მამალის I თათზე და აგრეთვე დედალისა და მამალის I წვივზე. ამავე ტკიპას სხვადასხვა ფაზისათვის შესაბამისი ჯაგრების რაოდენობა დათვლილი იყო საცეცების ნაწილაკებზეც. ლიტერატურაში შედარებით ამომწურავადაა გაშუქებული ცალკეული კიდურების მენჯებზე განწყობილი ჯაგრების რაოდენობრივი ცვლა ასაკობრივ ცვლასთან დაკავშირებით [1,2,3]. მაგრამ, სამწუხაროდ, ეს ჯაგრები აბლაბუდიან ტკიპებს განლაგებული აქვთ სხეულის მუცლის მხარეზე, რაც ძნელად წყვეტს ჩვენ წინაშე დასმულ საკითხს.

ჩვენ მიერ კიდურების ჯაგრების რაოდენობა დათვლილი იყო აბლაბუდიანი ტკიპების ორ სახეობაზე—*Tetranychus urticae* C. L. Koch (=*T. althaeae* V. Hanst.) და *Metatetranychus citri* (Mcg.)-ზე, რომლებიც წარმოადგენენ საქართველოში მეტად გავრცელებულ სასოფლო-სამეურნეო მავნებლებს. ხსენებული სახეობებიდან პირველისათვის მასალა შევაგროვეთ თბილისის ერთ-ერთი გარეუბნის კვალსათბურის კიტრებიდან, ხოლო მეორისათვის—ლაგოდეხში სამყურა ლიმონიდან (*Poncirus trifoliata*). ცალკეული ინდივიდების განვითარების ფაზა გარკვეული იყო მუდმივ პრეპარატებში, მიკროსკოპით, მუცლის ხეტობის მიხედვით; შემდეგ მიკროსკოპითვე დავითვალეთ კიდურების ცალკეული ნაწილაკების ჯაგრების რაოდენობა. კიდურების ჯაგრების რაოდენობრივი გამოთვლების შედეგები წარმოდგენილია ქვემოთ მოყვანილ 1 და 2 ცხრილებში.

ცხრილი 1

ჯაგრების რაოდენობა კიდურების ნაწილაკებზე *Tetranychus urticae*-სათვის მისი განვითარების სხვადასხვა ფაზაში

კიდურის ნაწილაკების დასახელება	I კიდური					II კიდური					III კიდური					IV კიდური			
	ლარვა	პროტონიმფა	დეიტონიმფა	ზრდასრული დედალი	ზრდასრული მამალი	ლარვა	პროტონიმფა	დეიტონიმფა	ზრდასრული დედალი	ზრდასრული მამალი	ლარვა	პროტონიმფა	დეიტონიმფა	ზრდასრული დედალი	ზრდასრული მამალი	პროტონიმფა	დეიტონიმფა	ზრდასრული დედალი	ზრდასრული მამალი
მენჯი	1	2	2	2	2	—	1	2	2	2	—	1	1	1	1	—	1	1	1
ტაბუხი	—	—	1	1	1	—	—	1	1	1	—	—	1	1	1	—	—	1	1
ბარძაყი	3	3	6	10	10	3	3	3	6	6	2	2	2	4	4	2	2	4	4
მუხლი	4	4	5	5	5	4	4	5	5	5	2	2	3	4	4	2	3	4	4
წვივი	6	6	8	10	13	5	5	5	7	7	5	5	5	6	6	5	5	7	7
თათი	9	13	17	18	20	9	11	12	16	16	6	8	9	10	10	6	8	11	11
სულ	23	28	39	46	51	21	24	28	37	37	15	18	21	26	26	15	19	28	28

ცხრილი 2

ჯაგრების რაოდენობა კიდურების ნაწილაკებზე *Metatetranychus citri*-სათვის მისი განვითარების სხვადასხვა ფაზაში

კიდურის ნაწილა-კების დასახელება	I კიდური					II კიდური					III კიდური					IV კიდური			
	ლარვა	პროტონიმფა	დეიტონიმფა	ზრდასრული		ლარვა	პროტონიმფა	დეიტონიმფა	ზრდასრული		ლარვა	პროტონიმფა	დეიტონიმფა	ზრდასრული		პროტონიმფა	დეიტონიმფა	ზრდასრული	
				მდედრი	მამალი				მდედრი	მამალი				მდედრი	მამალი			მდედრი	მამალი
მენჯი	1	2	2	2	2	—	1	2	2	2	—	1	1	1	1	—	1	1	1
ტაბუხი	—	—	1	1	1	—	—	1	1	1	—	—	1	1	1	—	—	1	1
ბარძაყი	3	3	5	8	8	3	3	3	6	6	2	2	2	3	3	1	1	1	1
მუხლი	4	4	5	5	5	4	4	5	5	5	2	2	3	3	3	2	2	3	3
წვივი	6	6	7	8	11	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
თათი	9	13	15	17	19	9	11	11	14	14	6	8	9	10	10	6	8	10	10
სულ	23	28	35	41	46	21	24	27	33	33	15	18	21	23	23	14	17	21	21

როგორც მოყვანილი ცხრილებიდან ჩანს, ჩვენ მიერ განხილული ორივე სახეობის კიდურების ხეტომი ყოველ კანისცვლისას კანონზომიერად განიცდის რაოდენობრივ მატებას. მაშასადამე, ტკიპას სახეობრივი თავისებურებების განსაზღვრისას სავსებით შესაძლებელი ხდება მისი ასაკობრივი მდგომარეობის დადგენა კიდურების ხეტომის რაოდენობრივი მაჩვენებლების მიხედვით. ვეყრდნობით რა ჩვენი გამოკვლევებით მიღებულ მონაცემებს, რომლებიც 1 და 2 ცხრილებშია მოყვანილი, აღვნიშნავთ შემდეგს:

1. კიდურების ნაწილაკებზე ჯაგრების რაოდენობა *T. urticae*-ს და *M. citri*-ს ლარვებს სავსებით ერთნაირი აქვთ. ამ სახეობებში ჯაგრების რაოდენობრივი განსხვავება მხოლოდ პირველი კანისცვლის შემდეგ მჟღავნდება.

2. *T. urticae*-სა და *M. citri*-ს, პოსტემბრიონული განვითარების დროს, მენჯებსა და ტაბუხებზე ჯაგრების რაოდენობრივი ზრდა სავსებით ერთნაირად მიმდინარეობს. შესაძლებელია, რომ ჯერჯერობით მხოლოდ ორი სახეობის ტაბუხებზე დადგენილი ხეტომური ცვლა დროთა ვითარებაში გავავრცელოთ აბლაბუდიანი ტკიპების მთელ ჯგუფზე იმის მსგავსად, როგორც ეს წინათ გამოვლინებული იყო მენჯების მიმართ [1, 2]. ჯაგრების ერთნაირი რაოდენობრივი მატება ჩვენ მიერ განხილულ ორივე სახეობაში ჯერჯერობით აღინიშნება მხოლოდ II ბარძაყისათვის, I და II მუხლებისათვის და აგრეთვე III თათისათვის.

3. ორივე სახეობაში, კიდურების დანარჩენ ნაწილაკებზე, ხეტომის რაოდენობრივი მატება განსხვავებულად ხდება; ასე, თუ *M. citri*-ს შემთხვევაში, მისი პოსტემბრიონული განვითარების დროს II, III და IV წვივებზე არ

ხდება ჯაგრების რაოდენობრივი მატება, *T. urticae*-ს უკანასკნელი კანისცვლის დროს ჯაგრების რაოდენობა უკვე შესამჩნევად ემატება.

4. ყოველი კანისცვლისას ჯაგრების რაოდენობრივი ზრდა ხდება *T. urticae*-ს ყველა კიდურის თათზე და აგრეთვე IV მუხლზე, ხოლო *M. citri*-ს მხოლოდ I, III და IV თათებზე. კიდურების დანარჩენ ნაწილაკებზე ჯაგრების რაოდენობა შესაძლებელია უცვლელი დარჩეს განვითარების რამდენიმე და ზოგჯერ ყველა ფაზაშიც კი (მაგალითად, II ბარძაყზე და II, III და IV წვივებზე).

5. ორივე სახეობის მამლებს, დედლებთან შედარებით, ჯაგრების რაოდენობა მომატებული აქვთ მხოლოდ I კიდურის თათსა და წვივზე.

აქვე აღვნიშნავთ, რომ ფ. გრანჯანის [4] მიერ ლარვის, პროტონიმფისა და ზრდასრული *Tetranychus lintearius*-ისათვის I კიდურის ნაწილაკებზე დადგენილი ჯაგრების რაოდენობა ზუსტად შეესაბამება ჩვენ მიერ გამოთვლილი *T. urticae*-ს იმავე ფაზებისა და კიდურების იმავე ნაწილაკების ჯაგრების რაოდენობას.

აღვნიშნავთ კიდევ, რომ ლარვის გარკვევა, რომელსაც სხვა ფაზებისაგან განსხვავებით კიდურების მხოლოდ 3 წყვილი გააჩნია, პრაქტიკულად ადვილი ხდება. მთავარ სიძნელეებს ვაწყდებით პროტონიმფის, დეიტონიმფისა და ზოგჯერ ზრდასრული დედლის გარკვევისას. ამიტომ ასაკობრივი თვისებების შერჩევისას უპირატესობა უნდა მიეცეს კიდურების იმ ნაწილაკებს, რომლებზეც ჯაგრების რაოდენობა იცვლება მე-2 და მე-3 კანისცვლის შემდეგ. გამოთვლების გასაადვილებლად საჭიროა, რომ ჯაგრების რაოდენობა ამ ნაწილაკებზე რაც შეიძლება მცირე იყოს. თანახმად ჩვენი მონაცემებისა, ამ მოთხოვნებს აკმაყოფილებენ *T. urticae*-ს და *M. citri*-ს I წვივი და III და IV თათები (იხ. ცხრილები 1 და 2).

აბლაბუდიანი ტკიპების კიდურების ასაკობრივი განსხვავება მჟღავნდება არა მარტო ჯაგრების რაოდენობაში, არამედ აგრეთვე მათ განლაგებაში, აღნაგობასა და ზომებშიც. აქ შევჩერდებით მხოლოდ ერთ მაგალითზე—თავისებურად დაახლოებული ჯაგრების (მიკრო- და მაკროხეტების) განლაგებაზე, რომლებიც უცვლელად არსებობენ *Tetranychinae*-ების ქვეოჯახის ზრდასრულ ტკიპებში I თათზე ორი წყვილისა და II თათზე ერთი წყვილის რაოდენობით. ჩვენ მიერ დადგენილია, რომ როგორც *T. urticae*-ს, ასევე *M. citri*-ს II თათზე ეს ჯაგრები გააჩნიათ განვითარების ყველა ფაზაში. I თათზე ლარვას აქვს მხოლოდ ერთი წყვილი, ხოლო მეორე წყვილი წარმოდგენილია მხოლოდ მაკროხეტით. II თათზე დაახლოებული ჯაგრების მიკროხეტი ჩნდება მხოლოდ პირველი კანისცვლის შემდეგ. *T. urticae*-ს ლარვის I თათზე სიგრძივი მანძილი მაკროხეტებს შორის თათის საერთო სიგრძის 4%-ს უდრის, ხოლო მომდევნო ფაზებში 16—19%-ს.

უნდა ვიფიქროთ, რომ კიდურების ხეტოლოგიური მაჩვენებლები დროთა ვითარებაში შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სახეობების დიაგნოსტიკის შემუშავებისას მათი არაზრდასრული ფაზების მიხედვით და აბლაბუდიანი ტკიპების ეკოლოგიისა და მორფოგენეზის ზოგიერთი საკითხის ნათელსაყოფად.

რაც შეეხება საცეცების ხეტომს, ჩვენ მიერ დადგენილია, რომ ორივე სახეობა პოსტემბრიონული განვითარების მთელ პერიოდში ცალკეულ ნაწილაკებზე არ განიცდის ჯაგრების რაოდენობის ცვლილებას. ორივე სახეობას საცეცების ბარძაყსა და მუხლზე მუდმივად აქვს თითო ჯაგარი, წვივზე—3 ჯაგარი და თათზე—7 ჯაგარი. მამლებში საცეცების ბარძაყის ჯაგარი მოდიფიცირებულია მძლავრ ქაცვად. ზუსტად ასეთივე მაჩვენებლები აქვს წარმოდგენილი ფ. გრანჟანსაც [4] *Tetranychus lintearius*-ის საცეცებისათვის. რამდენადაც ეს კანონზომიერება, როგორც ჩანს, აბლაბუდიანი ტკიპების ყველა სახეობის მიმართ ვრცელდება, ამიტომ საცეცების ჯაგრების რაოდენობრივი მაჩვენებლები არ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ასაკობრივ ნიშნებად.

წინამდებარე ნაშრომი ჩვენ მიერ შესრულებულია ბიოლოგიურ მეცნიერებათა დოქტორის ჰ. რ ე კ ი ს ხელმძღვანელობით საქართველოს სსრ მეცნ. აკადემიის ზოოლოგიური ინსტიტუტის ეკოლოგიის განყოფილებაში.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ზოოლოგიის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 1.4.1955)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. А. Т. Багдасарян. Хетологические особенности постэмбрионального развития паутинных клещей. Докл. АН Арм. ССР, т. XV, № 2, 1952.
2. Г. Ф. Рекк. К установлению возрастных различий у паутинных клещей (*Tetranychidae*, *Acarina*). Сообщ. АН Груз. ССР, т. X, № 7, 1949.
3. C. A. Blair and J. R. Groves. Biology of the fruit tree red spider mite Metatetranychus ulmi (Koch) in South—east England. J. Hort. Sci., XXVII, № 12, 1952.
4. F. Grandjean. Quelques caracters des Tetranyques. Bull. Muséum nation. hist. natur., 2 série, XX, № 6, 1948.
5. B. Jones. On the role of the integument in Acarina development and its bearing on pupa—formation. Quart. J. Microsc. Sci., 95, p. 2, № 30, 1954.

ექსპერიმენტული მედიცინა

პ. ჭანტურიშვილი

ნორმალური ბროლის რეგენერაციის მიღება კატარაქტული ბროლის ამოკვეთის შემდეგ ძუძუმწოვრებში

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა კ. ერისთავმა 16.3.1955)

სხვადასხვა ცხოველთა თვალის წინა კამერაში ჩანერგილი იმპლანტატების ორგანოტიპური განვითარება აღწერილია.

ვ. პოპოვისა [6] და მ. ნიკიტენკოს [4] მონაცემებით, იმპლანტატები თვალის უკანა კამერაში ცვლიან თავის განვითარების მიმართულებას. „თვალი განვითარების მთელ პერიოდში ინარჩუნებს მორფოგენური ბროლის წარმომქმნელი ზემოქმედების უნარს“ ([4], გვ. 487).

იმპლანტატების გარდაქმნის სურათი ვ. პოპოვმა შემდეგნაირად აღწერა: ეპიდერმისის თვალში გადანერგილი ნაჭერი მოკლე ვადაში ტოპრაკად შეიკვრის შიდა უჯრედები, რომლებიც საზღვრავენ ღრუს, იზრდებიან და წარმოქმნიან ბროლის ბოჭკოვან მასას, ხოლო გარეთა უჯრედები ბროლის ეპითელიუმს აძლევენ საწყისს. ბოჭკოვანი მასა წარმოიქმნება ტოპრაკის ფსკერზე ჯერ მცირე ამობურცულობის სახით, შემდეგ კი, დიდდება რა მოცულობის მხრივ, ტოპრაკის ღრუს მთლიანად შეავსებს. ეს მონაცემები ხერხემლიანთა თვალში ერთი ქსოვილის ელემენტების მეორე ქსოვილის ელემენტებად გარდაქმნის შესახებ დადასტურებულია სხვა მკვლევართა მიერაც [23, 7, 8].

ამ ბოლო დროს თ. სიხარულიძე ამტკიცებს [9], რომ თვალის უკანა კამერაში ჩანერგილი ქსოვილების განვითარების გზა იცვლება... ქსენოტრანსპლანტაციების შემთხვევაშიაც-კი. დასაშვებია ვიფიქროთ, რომ ტრანსპლანტირებული ქსოვილი ჯერ ტაქსონომიურ მსგავსებას მიიღებს, ხოლო შემდეგ იქცევა ბროლად, ან პირუკუ.

თვალის მიერ ქსოვილების „გარდაქმნის“ საკითხი არ შეიძლება დადებითად გადაწყვეტილად ჩავთვალოთ ემბრიონული სტადიების მიმართაც კი [14, 15].

ბროლის ვოლფის რეგენერაციის ანალიზმა დაგვანახა, რომ ამ მოვლენაში ტიპობრივი განვითარება გამოჭვივის, ვინაიდან აქაც ბროლის წარმოქმნას საწყისს აძლევს თვით თვალის უჯრედული მასალა [11, 12, 13, 14, 16].

კანის ექტოდერმიდან ბროლის ე. წ. ინდუქციის ცდების დროს თვალის ბუშტი შემთხვევით თუ აღმოჩნდება მეზენქიმის გარემოცვაში, არ აორგანიზებს ამ უკანასკნელს ბროლის წარმოსაქმნელად; იგი საკუთარ უჯრედულ მასალას გამოყოფს. *Pelobates fuscus*-ის კანის ექტოდერმის ქვეშ *Rana esculenta*-ს

თვალის ბუშტის ჩანერგვის შემთხვევაში განვითარება *R. esculenta*-ს ბროლი. *R. esculenta*-ს კანის ექტოდერმის ქვეშ *P. fascus*-ის თვალის ბუშტის ჩანერგვის შემთხვევაში განვითარდება *P. fascus*-ის ბროლი [6]. ეს ფაქტები პარადოქსული გვეჩვენებოდა, როდესაც მათ ინდუქციების თვალთახედვით განვიხილავდით. ისინი არ შეესაბამებოდნენ საყოველთაოდ მიღებულ წარმოდგენას იმის შესახებ, რომ მადეტერმინირებელი საწყისის მოქმედებაში არ არსებობს სახეობრივი სპეციფიკურობა. მაგრამ ცხადია, რომ ამ შემთხვევაშიც დონორის ბროლის წარმოქმნას იმიტომ ჰქონდა ადგილი, რომ „ინდუქტორისა“ და არა „რეაქტორის“ უჯრედული მასალა იღებდა ამაში მონაწილეობას [14].

თვალის უკანა კამერაში გადანერგილი ქსოვილების ბროლად გარდაქმნის ფაქტის დამტკიცების უეჭველ პირობას წარმოადგენს ტრანსპლანტაციის წინ ბროლისა და საბროლო ჩანთის სრული ამოკვეთა. გაუგებარია ექსპერიმენტატორების მისწრაფება დაამტკიცონ ინდუქცია ქსოვილების ბროლის ჩანთაში ჩანერგვით და იმ ფაქტების მიჩქმალვით, რომ ბროლის ჩანთიდან ხდება ბროლის რეგენერაცია, მიჩქმალვა იმისა, თუ როგორი მასტიმულირებელი მნიშვნელობა აქვს ქსოვილთა გადანერგვას რეგენერაციის დროს. რაც შეეხება ბროლის რეგენერაციის ფაქტს, იგი XIX საუკუნის დასაწყისშივე იყო ცნობილი.

შინაურ კურდღლებზე, ძაღლებზე, კატებზე, ზღვის გოჭებზე ჩატარებული მრავალრიცხოვანი ცდებით დიდი ხანია დადასტურებულია, რომ ძუძუმწოვრებში გამჭვირვალე ბროლის მიღებას ადგილი აქვს მხოლოდ ჩანთის დატოვების შემთხვევაში [18, 22, 21, 17, 3].

1868 წელს ვ. მ ი ლ ი ო ტ მ ა [3] ფრთხილად, მაგრამ გარკვეულად დასვა ადამიანში კატარაქტული ბროლის სანაცვლოდ ნორმალური ბროლის მიღების საკითხი. იგი წერდა: „...მრავალთა მიერ ამ ხანებში ათვისებული კატარაქტისა და ჩანთის ამოკვეთის ოპერაცია აშკარად ამტკიცებს, რომ ადამიანში ბროლის აღდგენა ზედმეტადაც კი არის მიჩნეული...“.

დიდი ხანია დადგენილია, რომ ბროლის აღდგენას არ აქვს ადგილი, თუ ბროლის ჩანთის ორივე შრე შეიზარდა [22].

აღნიშნავენ, რომ ბროლის ჩანთიდან ამოკვეთის შემდეგ ამ ჩანთაში გროვდება „წარმომქმნელი ბლასტემა“, რომელიც ბროლის „ბოჭკოებს თავისი თავიდან განავითარებს“ [17]. ამ ცნობილმა მითითებებმა ვ. მ ი ლ ი ო ტ ი მიიყვანა ბროლის რეგენერაციის მიღების მეთოდურად სწორ გადაჭრამდე. იგი მიუთითებდა, რომ საჭიროა დავტოვოთ ხოლმე „ბროლის მილაკების საკმარისად დიდი რაოდენობა“, რათა ბროლის რეგენერაცია მივიღოთ.

განა შეიძლება ვიფიქროთ, რომ კონსერვირებული ქსოვილების ტრანსპლანტაციის შემდეგ ზემოხსენებული ბროლის რეგენერაციის მოვლენა მოისპობა? პირიქუ, ქსოვილების ტრანსპლანტაცია აძლიერებს ნივთიერებათა ცვლას, ამასთან დაკავშირებით კი ძლიერდება რეგენერაცია, ადგილი აქვს ბიოქიმიურ გარდაქმნებს და საერთოდ ქსოვილებში სასიცოცხლო პროცესების ნორმალიზაციას.

იმ ქსოვილების ტრანსპლანტაციის შედეგად, რომლებიც არ განავითარებენ თმას, ხრტილს, ძვალს და რომლებიც ადრე თუ გვიან იწყებენ განწოვას, შესაძლებელია მივიღოთ ბროლის განვითარება. ასეთი ტრანსპლანტირე-

თაგვის თვალის ჰორიზონტალური განაჭერი კატარაქტული ბროლის ამოკვეთისა და ნორმალური ბროლის რეგენერაციის შემდეგ. გადიდება მიკროსკოპის ლინზათა სისტემით (ობ. 8; ოკ. 1)

ბული ქსოვილი ერთდროულად შეასრულებს ჩანთის შრეების შეზრდის იზოლატორის, რეგენერაციის სტიმულატორისა და ადვილად შესაცვლელი სუბსტრატის როლს.

ბროლის ონტოგენეზში მუდამ ადგილი აქვს უჯრედების სიკვდილს და შენაცვლებას. უჯრედთა კომპლექსების სიკვდილისა და შენაცვლების პროცესი კარგად არის აღწერილი. ეს მოვლენა ფიზიოლოგიური ნორმის ფარგლებშია [1, 19].

ქსოვილის ტრანსპლანტაციამ შეიძლება გააძლიეროს ამოკვეთილი ორგანოს ნარჩენში დესტრუქციის პროცესი. ცნობილია, რომ სწორედ დესტრუქცია განაპირობებს ეგზომ საკვირველ შედეგს ფრინველებისა და ძუძუმწოვრების მუსკულატურის რეგენერაციის დროს [10], რეპტილიებისა და ძუძუმწოვრების კიდურების რეგენერაციის დროს [2]. არ არის მოულოდნელი, თუ იგივე მოვლენა განაპირობებს ბროლის აღდგენასაც.

მიუხედავად ზემოთ მოყვანილი მონაცემებისა, განა უდავოა, რომ კატარაქტული ბროლის სანაცვლოდაც მოხდება ნორმალური ბროლის რეგენერა-

ცია? ამ საკითხის აპრიორული დადებითი გადაწყვეტის წინააღმდეგ მოწმობს შემდეგი ფაქტები: ადამიანის კატარაქტული ბროლის ამოკვეთის ყველა შემთხვევაში ადგილი აქვს მხოლოდ კატარაქტული ბროლის აღდგენას. მაიერმა [21] შინაურ კურდღლებზე ცდებით დაამტკიცა, რომ ნორმალური ბროლის რეგენერაცია შესაძლებელია მივიღოთ ნორმალური ბროლის ნარჩენის საფუძველზე. ლოვენჰარდტმა [20] ექსპერიმენტულად დაამტკიცა (შინაურ კურდღელზე) მეორეჯერ რეგენირებული ნორმალური ბროლის სანაცვლოდაც კი გამჭვირვალე ბროლის რეგენერაციის მიღების შესაძლებლობა, მაგრამ გამოთქვა მოსაზრება, რომ გაძნელებული უნდა იყოს ნორმალური ბროლის მიღება კატარაქტული ბროლის ამოკვეთის შემდეგ.

ჩვენ, შევუდექით რა ცდის ჩატარებას, ვფიქრობდით, რომ ნივთიერებათა ცვლის დარღვევამ კატარაქტულ ბროლში თუმცა შესაძლებელია გამოიწვიოს ნორმალური პროცესების სახეცვლა ბროლის ჩანთაში, მაგრამ ჩანთის ეპითელს თუ შერჩა უნარი წარმოქმნას თუნდაც კატარაქტული ბროლი, ეს უნარი შესაფერისი ქსოვილის დანერგვით შესაძლებელია ნორმალური ბროლის მოსაცემადაც წარიმართოს.

ცდების დასაყენებლად შესაფერის ექსპერიმენტულ მოდელს შესაძლებელია თაგვის თვალი წარმოადგენდეს:

1. ბროლის მასის შეფარდება რეტინის მასასთან ამ ცხოველებში გვაგონებს იმას, რაც აღწერილია, ვთქვათ, ტელესკოპურ სიღრმეთა ძვლოვანი თევზების მიმართ, რომლებსაც ახასიათებს დიდი ზომის სრულიად სფერული ბროლი. ეს ბროლი თავისი მასით რეტინის მასაზე ბევრად დიდია. თუ ცდა დაგვანახვებს, რომ თაგვების ასეთსავე თვალში ბროლის აღდგენა შესაძლებელია, მაშინ სხვა ძუძუმწოვრებსა და ადამიანშიც კატარაქტული ბროლის სანაცვლოდ ნორმალური ბროლის აღდგენა შესაძლებლად უნდა მივიჩნიოთ;

2. წინასწარი გამოკვლევებით დავადასტურეთ, რომ თაგვებში ნორმალური ბროლის ამოკვეთის შემდეგ ბროლის ჩანთის შრეები ყველგან შეიზრდება, გარდა იმ ადგილსა, სადაც ჩანთას ცინის სარტყელი იჭერს. ბროლის სტრუქტურები სწორედ ამ ადგილას განვითარდება ხოლმე;

3. თაგვის სიცოცხლის ხანმოკლეობის გამო ცდის შედეგი შედარებით ჩქარა იქნება გარკვეული.

ამრიგად, ცდის ობიექტს ლაბორატორიისა და სხვადასხვა ჯიშის თაგვები წარმოადგენდნენ. კატარაქტული ბროლის მიღების ოპერაცია (ქლორალჰიდრატით) ნარკოტიზებული თაგვების ბროლის ჩანთის გაჩხვლეტაში მდგომარეობდა.

ბროლი ბროლის ჩანთიდან ამოიკვეთებოდა მისი გამუქების შემდეგ. ატროფინირებული თვალის რქოვანა გაიკვეთებოდა ლიმბურ არეში სპეციალურად დამზადებული დანის შემწეობით. იმავე დანით ნახევრად მთვარისებრად გაიკვეთებოდა ბროლის ჩანთა ეკვატორის არეში და ამოიღებოდა ბროლი.

ამოღებული ბროლის სანაცვლოდ ჩაირგვებოდა სქესსრული თაგვების კონსერვირებული თავის ტვინის ფაფა. იმპლანტაციის დროს გამოიყენებოდა სპეციალურად დამზადებული მეტალური მარყუჟი.

ოპერაციის პირველ დღეებში ზოგიერთ ცხოველს რქოვანა შეუმუქდებოდა; სისხლის ჩაქცევებსაც ჰქონდა ხოლმე ადგილი.

5—9 დღის შემდეგ რქოვანას გამჭვირვალება აღდგებოდა და შესაძლებელი იყო დაგვენახა, რომ ამოკვეთილი ბროლის ადგილზე ლაქისებრ რძისფერი წარმონაქმნი ძევს.

გამოსაკვლევად გამოუსადეგარი ცხოველების (ტრანსპლანტატის ამოვარდნა, თვალის ანთება და სხ.) მოშორების შემდეგ დარჩენილი თაგვების 20 თვალის შესწავლა ჩატარდა იმპლანტაციის 160 და 185 დღის შემდეგ.

ორ შემთხვევაში მიღებული სურათი მოგვაგონებს იმას, რაც ვნახეთ ბროლის ექსტრაქციის იმ ცდებში, რომელთა დროს არ ხდებოდა ქსოვილების ბროლის სანაცვლო ჩანერგვა: აქ ბროლის ჩანთის შრეებისა და თვალის დეგენერაციას ჰქონდა ხოლმე ადგილი 3—4 თვის შემდეგ. 14 შემთხვევაში თვალში გამჭვირვალე, მაგრამ პატარა (ატიპური) ბროლი აღმოჩნდა.

ოთხ შემთხვევაში განვითარდა ისეთი ბროლი, რომ მისი გარჩევა ნორმალურისაგან პირველი დაკვირვებით შეუძლებელი იყო. მოგვყავს ერთ-ერთი ასეთი ბროლის მიკროფოტოგრაფია. სურათზე ჩანს, რომ თვალის სამშრიან კედელში ძევს ვეებერთელა სფერული, კაფსულაში მოთავსებული ბროლი. მინისებრი სხეული, როგორც ეს თაგვების თვალისათვის ნორმაშიაც არის დამახასიათებელი, თითქმის მთლად ბროლით არის შენაცვლებული.

ამ ცდიდან გამომდინარეობს, რომ შესაფერის პირობებში შეიძლება მივიღოთ კატარაქტული ბროლის სანაცვლოდ საკმარისი რეგენერაციული ეფექტი თაგვებშიაც კი, რომლების თვალის ბროლი შედარებით დიდი ზომის წარმონაქმნია.

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

(რედაქციას მოუვიდა 21.3.1955)

ᲓᲐᲛᲝᲬᲛᲔᲑᲣᲚᲘ ᲚᲘᲢᲔᲠᲐᲢᲣᲠᲐ

1. А. П. Дыбан. Некоторые вопросы патологии ранних стадий онтогенеза человека. Сборник работ. Львов. Медиц. Ин. (и др. статьи в сборнике), 1951.
2. В. П. Кудокоцев. Исследование условий осуществления процесса регенерации конечности у позвоночных животных. Автореферат дисс. Харьков, 1953.
3. В. Миллиот. Опыт возрождения нормального хрусталика у некоторых млекопитающих животных после удаления его лоскутным сечением. С.-П., 1868.
4. М. Ф. Никитенко. К вопросу о механизме восстановления хрусталика у амфибий. ДАН СССР, 16, № 9, 1937.
5. В. В. Попов. О линзообразовательной потенции различных клеточных материалов. ДАН СССР, 2, № 8, 1936.
6. В. В. Попов, М. Н. Кислов, М. Ф. Никитенко и П. С. Чантуришвили. О линзообразующей способности головного и туловищного эпителия P. fuscus, B. viridis, B. bombina u. T. cristatus. Труды Ин. Эксп. морф. МГУ, 6, 1938.
7. В. В. Попов. Взрослый глаз как индуктор хрусталика и роговицы. Сбор. науч. раб. посв. акад. М. И. Авербаху. Изд. АН СССР, 1948.

8. В. В. Попов. Новые пути восстановления органов. Природа, 1, 1952.
9. Т. А. Сихарулидзе. Образование хрусталика из резорбирующегося эпителия. ДАН СССР, № 4, 1954.
10. А. Н. Студитский. Закономерности восстановления мышц у высших позвоночных животных. Тр. Ин. морф. жив. им. А. Н. Северцова. АН СССР, вып. 11, 1954.
11. П. С. Чантуришвили. Новые материалы к вопросу о детерминации Lentis oculi. Сообщ. АН ГССР, 5, № 2, 1944.
12. П. С. Чантуришвили. Получение „вольфовской регенерации" уделением проксимального отдела глазного зачатка. Сообщ. АН ГССР, 5, № 10, 1944.
13. П. С. Чантуришвили. Материалы к пересмотру механики развития глаза. Тезисы докл. на II науч. сессии Отд. биол. и мед. наук АН ГССР, изд. АН ГССР, Тбилиси, 1946.
14. П. С. Чантуришвили. К механике развития глаза. Докт. дисс. и тезисы. изд. АН ГССР. Тбилиси, 1947.
15. П. С. Чантуришвили. К вопросу об отсутствии индукции хрусталика при типичном развитии глаза. Сообщ. АН ГССР, 10, № 9, 1949.
16. П. С. Чантуришвили. О формально-морфологическом направлении шпемановской школы в эмбриологии. Труды Ин. зоол. АН ГССР, 9, 1950.
17. Valentin. Microscopische Untersuchung zweier wiederzeugten Kristalllinsen des Kaninchens Heule u. pfeufer Zeitschr. f. ration Medicin, I Part. 2, 1844.
18. Leroyd'tiolle. Mémoire lu a l'academie de chirurgie. 1825.
19. M. Ernst. Über Untergang von Zellen während der normalen Entwicklung bei Wirbeltieren. Z. ges. Anat. Gesch., 79, 1926.
20. Löwenhardt. Einige Versuche um die Regeneration der Krystalllinse zu documentiren. Neue Notizen u. s. w. von Froriep., N 418, 1841.
21. Mayer. Ueber die Reproduction der Kristalllinse, J. der Chirur. u Augenheilkunde, Bonn.17, № 4, 1832.
22. R. Midlemore. On the reproduction of the cristalline lens. Lond. med. Gaz. 10, 1832.
23. O. E. Schotte a. K. P. Hummel. Lens induction at the expense of regenerating tissues of amphibians. j. exp. Zool., 80, № 1, 1939.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XVI, № 10, 1955

ენათმეცნიერება

ქ. ლომთათიძე

ბგერათა პროცესებისა და ბგერათა შესატყვისობების ზოგი საკითხი იბერიულ-კავკასიურ ენებში

(ქართველურ-აფხაზურ-ადიღურ ენათა მასალაზე)

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა არნ. ჩიქობავამ 19.7.1955)

ამ ბოლო ხანებში ჩატარებული კვლევა-ძიება იბერიულ-კავკასიურ ენათა გრამატიკული სტრუქტურისა და ლექსიკური შედგენილობის მხრივ უეჭველს ხდის აღნიშნულ ენათა შესახებ კარგა ხანია არსებულ მოსაზრებას, რომ ისინი მონათესავე ენები არიან. იბერიულ-კავკასიურ ენებში გამოიყოფა როგორც ახლო მონათესავე ენები, ისე შედარებით უფრო შორეულად მონათესავე ენები. ყველა ამ ენას აქვს განვლილი ხანგრძლივი ისტორიული გზა. რთული ისტორიული განვითარების შედეგია ის მნიშვნელოვანი სხვაობები და თავისებურებები, რაც რიგ შემთხვევაში მეტად ახლო მონათესავე ენებშიაც კი დასტურდება გრამატიკული წყობის მხრივ (შდრ. თუნდაც კლასკატეგორიის გაურჩევლობა ადიღურ ენებში, მაშინ როდესაც ეს კატეგორია აფხაზურს დღესაც აქვს და სხვ.).

ასეთივე რთული განვითარების გზა ივარაუდება ამ ენათა ბგერითი შედგენილობისა და ბგერითი პროცესების მხრივაც, ლექსიკის მხრივაც.

ბგერათა შესატყვისობის დადგენისას ყველა ამ ენაში ისტორიული თვალსაზრისით უნდა იქნეს განხილული ბგერათა სისტემები და ბგერათა პროცესები. მხედველობაში უნდა იქნეს მიღებული ყველა შემთხვევაში აწ უკვე შემჩნეული ფონეტიკური პროცესები, როგორიცაა სპირანტიზაცია, ლაბიალიზაცია, დელაბიალიზაცია, რთულ ბგერათა შემადგენელ ნაწილებად დაშლა (გახლეჩა), ლატერალიზაცია, ოთხეულებრივი სისტემის საკითხი და მისი მოშლის შედეგები, ბგერათა კომპლექსების წარმოქმნა და სხვ. ამ რიგის პროცესებს იმდენად შეუცვლიათ სახე წარმოშობით ერთიანი მასალისა, რომ ამ ერთიანობის მიგნება მეტად ჭირს. ერთი გარემოება კი მაინც აღსანიშნავია: ასეთი მნიშვნელოვანი ხასიათის ცვლილებები ხშირად შეინიშნება ახლო მონათესავე ენებსა და ერთი ენის დიალექტებშიაც კი.

ბგერათა შესატყვისობის დადგენისა და საერთო მასალის მიკვლევის მხრივ გარკვეულ დაბრკოლებას ქმნის ის თავისებურებაც იბერიულ-კავკასიურ ენებისა, რომ სიტყვათა ძირების უდიდესი ნაწილი ერთთანხმოვნიანია.

გათვალისწინებას მოითხოვს მონათესავე და არამონათესავე ენათა გავლენები თითოეულ ენაზე.

ქართველური და აფხაზურ-ადიღური ენების ძირითადი ლექსიკური ფონდის შესწავლამ და ნაწილობრივ სხვა იბერიულ-კავკასიურ ენათა მასალასთან შედარებამ რიგი ბგერათშესატყვისობანი დაადასტურა. ჩვენ აქ წარმოვადგენთ მხოლოდ ერთი საკითხის ზოგ მთავარ მხარეს.

როგორც ცნობილია, იბერიულ-კავკასიური ენები მდიდარია უკანაენისმიერი, ფარინგალური და ლარინგალური თანხმოვნებით. ისიც შენიშნულია, რომ ხდება აღნიშნული თანხმოვნების სისტემის გამარტივება. ისტორიულად არსებული ფარინგალური ჴ ყ ზოგ ენაში დაიკარგა და გადავიდა სხვა ბგერებში.

ხშულთა მეექვსე სამეულის ფარინგალური მჟღერი ჸ წევრი დღეს აღარ გააჩნია ქართველურსა და აფხაზურ-ადიღურ ენებს. საფიქრებელია იგი გადავიდა შესაფერ სპირანტებსა და ხშულებში, ისევე როგორც ჴ. ფონეტიკური სისტემის მიხედვით მისი არსებობა ნავარაუდევი ჰქონდა ქართულში ნ. მ ა რ ს ([1], გვ. 030), გ. ა ხ ვ ლ ე დ ი ა ნ ს ([2], გვ. 86). ნავარაუდევია მისი არსებობა ქართველურის მსგავსად აფხაზურ-ადიღურ ენებშიაც [3].

ამ სამეულში პირველად დაკარგულა მჟღერი ჸ, შემდეგ რიგ დიალექტში ფშვინვიერი—ჴ და ბოლოს მკვეთრი ყ-ც იწყებს დაკარგვას (შდრ. ზანურის, ადიღურისა და აფხაზური ენის დიალექტების მონაცემები).

დეფექტურია ქართულში ფარინგალურ სპირანტთა რიგიც. შემორჩენილი გვაქვს მხოლოდ ფშვინვიერი ჰ̣, მჟღერი წყვილეული წევრი აღარ ჩანს.

ჰ̣-ს მჟღერი წყვილეული დაკარგულა აფხაზურის პირაქეთა დიალექტებსა და ადიღურ ენებშიაც[1]. რომ ასეთი მჟღერი სპირანტი აქაც უნდა გვქონოდა, ამას ადასტურებს ტაპანთური ([4], § 6) და აშხარული დიალექტების ([5], § 4) მონაცემები, სადაც დღესაც დაცულია მჟღერი ლარინგალური სპირანტი ჺ, და ის რეფლექსები, რომლებიც მისი დაკარგვის შედეგად მიგვიღია [6].

მაშასადამე, აფხაზურ-აბაზურ დიალექტებში დღესაც დასტურდება ლარინგალურ სპირანტთა წყვილი—ჰ̣, ჺ.

აღნიშნულ სპირანტებს ჩვეულებრივ ღია ა ხმოვანი ახლავთ ხოლმე (ჩვეულებრივია კომპლექსები: აჰ̣, ჰ̣ა; აჺ, ჺა). ამით აიხსნება ის გარემოება, რომ ჺ ბგერას პირაქეთა დიალექტებში დაკარგვის შემდეგ მოუცია ორი აა, თუ გრძელი ā. ეგევე რეფლექსი ახასიათებს ჺ ბგერას, როცა იგი დაკარგვას განიცდის, აშხარულ დიალექტშიაც (5, § 4). ტაპანთურ დიალექტში კი ჺ თუ ცვლილებას განიცდის, გადადის ღ სპირანტში (4, § 23, გვ. 64—65). ეს გზა გაუვლია ცვლილებებისა ადიღურ ენებსაც [6].

არის შემთხვევები იმისა, რომ ქართულიდან ან ადიღურიდან შესულ სიტყვებში ამჟამად არსებული ღ ბგერა ჺ-თი (ან მისი აა რეფლექსით) იყოს გადმოცემული აფხაზურ-აბაზურში. შდრ. ქართ. (მეგრ.) ღალიძგა (მდინარის სახელწოდება: „ღელის პირი"). აფხ.-ში—აალძგა←ჺალძგა; ადიღ. ზაღ́-მღა←ტაპ. ზაღ́მჺა—„სისასტიკე" და სხვ.

---

[1] როგორც ექსპერიმენტულმა შესწავლამ გაარკვია, ჰ̣ და მისი რიგის ბგერები აფხაზურში ლარინგსში იწარმოება. ამიტომ მათ ლარინგალურ სპირანტებს უწოდებენ (ა. ჩარგეიშვილი).

აფხაზურს მოეპოვება აღნიშნულ ბგერათა ლაბიალიზებული წყვილიც: ჭo, ჭo. გარკვეული ცვლილება ჭo ბგერასაც განუცდია პირაქეთა აფხაზურ დიალექტებში, მაგრამ ჭ-ს მსგავსად იგი არ დაკარგულა. მასში ნაწილობრივ შემცირებულია სპირანტული ელემენტი. ტაპანთურში დღესაც იგი შედარებით მტკიცედაა დაცული. პირაქეთა დიალექტებში ამ ფონემის ნაწილობრივ ბგერობრივ ცვლილებას ჳ ნიშნით გამოვხატავთ. ბზიფურ დიალექტში ლარინგალური მჟღერი ლაბიალიზებული სპირანტი ჳ გარკვეულს კომპლექსებში სულაც იკარგვის ან ჷ-სა და ი-ში გადადის. ტაპანთურში აქა-იქ შეიძლება ჭo ღo-ში გადავიდეს, რაც ადიღურ ენათა გავლენას უნდა მიეწეროს.

საგულისხმოა ამ მხრივ აფხაზურში ქართულიდან, ტაპანთურ დიალექტში კი ადიღურ ენათაგან შესული ზოგი სიტყვა, რომელთაც ღვ კომპლექსი ახასიათებს და აფხაზურ-აბაზურში ჭo (ჳ)-თია გადმოცემული. შდრ. ქართ. ღვინო, აფხ. აჳჷ←აჭoჷ; ქართ. ღვარი, აფხ. აჳარ (აჭoარ); ადიღ. ბლ́აღoა, ტაპ. აბლ́აჭoა „გველეშაპი"; ადიღ. მჷღoა, ტაპ. მჷჭoა „უბედური" და სხვ.

ჯერ კიდევ შიფნერმა აღნიშნა, გაკვრით, რომ აფხაზური ჳ (ჭo) უახლოეს კავშირში ჩანს სხვა კავკასიური ენების ყ ბგერასთანო და მიუთითა აფხაზური ამჳა-ს თუშურის ნიყ, უდურის იაყ „გზასთან", ხოლო აფხაზური ჳაჟეა „ოცის", რომელიც ჳბა—„ორისაგან" მომდინარეობს, თუშურ და უდურ „ორის" ძირთან (ყა, ყო) კავშირზე ([7], გვ. V).

გ. დიუმეზილმა რიგ სიტყვათა დაკავშირების საფუძველზე აღნიშნა, რომ აფხაზურ ჳ-ს (ჭo-ს) სხვა ენებში—უმთავრესად მას მოჰყავს უბიხურისა და ადიღურის მასალა—შეესატყვისება კ, ყ, ხ, ღ გუტურალებიო ([8], გვ. 124).

ივ. ჯავახიშვილმა უდაო გახადა ქართული „წყვილის" კავშირი აფხ. „ორის" აღმნიშვნელ ჳბა-ს ძირთან ([9], გვ. 397, 398, 399—417).

აქამდე შესწავლილი ძირითადი ლექსიკური მასალა მეტად ჭრელ სურათს იძლევა. აფხაზურ ჭ-სა და მის ლაბიალიზებულ სახეობას ჭo (ჳ)-ს სხვადასხვა ენაში შეიძლება აღმოაჩნდეს რიგი შესატყვისი, როგორც მარტივი, ისე ლაბიალიზებული. ეს სხვადასხვა სახეობები ფონეტიკური ცვლილებების შედეგს შეიძლება წარმოადგენდნენ. აქვე გასათვალისწინებელია ის გარემოება, რომ ქართველურსა და აფხაზურ-ადიღურ ენებს ფარინგალური მჟღერი ხშული დაუკარგავთ. აღნიშნული მჟღერი ხშული ხომ არ იქცა სათანადო მჟღერ სპირანტად აფხაზურში (ე. ი. ჭ, ჭo—ფონემა ხომ არ შეიცავს სპირანტად ქცეულ ჱ, ჱo-საც?).

ჩვენ ქვემოთ შევეცადეთ საერთო ძირითადი ლექსიკური ფონდის შესწავლის საფუძველზე გამოგვეყო ის დამახასიათებელი შესატყვისები, რაც აფხ. ჭ, ჭo ბგერებს მოეპოვებათ ქართველურ ენებსა, ადიღურ ენებსა და ნაწილობრივ სხვა იბერიულ-კავკასიურ ენებში.

ასეთი ტიპიური შესატყვისობებია:

I. აფხ.—(ჭ) ჭo→ჳ: ქართ., ადიღ. და სხვ. (ყ) ყვ.

აფხაზურში „ორის" აღმნიშვნელი ძირია ჳ←ჭo(ა): ნივთთა კლასში—ჳ-ბა, ადამიანთა კლასში—ჳჷჯა[1]. იგივე გვხვდება ტყუბი ცხოველის სახელში—

[1] საგულისხმოა, რომ ამ სიტყვის ძირი „ჳჷჯა" ფორმაში აბჟუური დიალექტის ზოგ მთქმელთან მესმოდა ჺ-ს მსგავსი შემართვით: ჺჳჷჯა.

ა-ჳა-ზა. იგი უკავშირდება ორის აღმნიშვნელ **ყვ-** (**ყo**) ფუძეს როგორც ქართველურსა და ადიღურ ენებში, ისე სხვა იბერიულ-კავკასიურ ენებში.

შდრ. ქართ. ტ-ყუ-ბი, წ-ყვ-ილი, ტ-ყუ-პი და სხვ. ქართულში ეს ფუძე ფართოდ არის გავრცელებული ([9], გვ. 90...). იგი ახლოს დგას უბიხურ **ტყია**, **ტყო**, ადიღ. **ტყუ→ტუ** „ორის" აღმნიშვნელ ძირთან. მასში სამართლიანად გამოყოფენ **ტ**-სა და მის რეფლექსს **წ**-ს ნივთთა გრამატიკული კლასის ნიშნად და სუფიქსებს. საგულისხმოა, რომ ქართ. **ტ-ყუ-ბი** თავისი სუფიქსური ელემენტით ახლოს დგას აფხაზურ **ჳბა**-სთან, ხოლო პრეფიქსული ელემენტით უბიხურ-ადიღურ **ტყია**-სთან. ქართული სახეობა ამოსავალს წარმოადგენს როგორც ერთისათვის, ისე მეორისათვის. ასეთი სრული გაფორმება ქართულ ვარიანტს ახასიათებს არა მარტო „ტყუბ"-ში, არამედ „**წ**-ყვ-ილ-"ში, „**ტ**-ყუ-პ"-ში და სხვ.

ეგევე ძირი **ყვ**-ს სახით წარმოდგენილია რიგ იბერიულ-კავკასიურ ენაში. შდრ. ლეზგ. **ყვედ**, ტაბასარ. ყორ, კაპუჩურ-ჰუნზური **ყონა**—და სხვ. („ორი").

აფხაზურში „ძვლის" აღმნიშვნელად გვხვდება სიტყვა აბაჳ←აბა-**ჵი**. ძირეული ელემენტი მასში არის **ჵი**. იგი უკავშირდება ქართულში **ბაყვ**—სიტყვის ძირს. **ყვ** ძვლის აღმნიშვნელად ქართულში გამოყოფილია სიტყვაში **ყვ**-ლ-ივი [10]. იგივე ძირი უნდა გვქონდეს ადიღურ რთულ სიტყვაში ყიჷ-ფ-ს'-ჰა̆—„ძვალი" („ძვალ-თავი"?).

აფხაზურში გვაქვს სიტყვა **ჵია-ჟ→ჳა-ჟ**—„ყვითელი". **ჟ** მასში გარკვეული ელემენტი ჩანს. ძირია **ჵია→ჳა**. მას ქართულში შეესატყვისება **ყვ**- იმავე ცნების აღმნიშვნელ „**ყვ**-ითელ"—სიტყვაში, მეგრ. **ყვ**-ი-ნ-თელი". როგორც ცნობილია, ამ ძირს უკავშირდება ქართულში სიტყვა „**ყვ**იციანი" (აქედან გვარი ყვიცარიძე) და „**ღვ**იძლი". ამ კავშირის ნათელსაყოფად შდრ., ერთი მხრივ, ადიღ. ღია̆ჟ—„ყვითელი", და, მეორე მხრივ, სვ. **ყვიჟე**—„ღვიძლი". ამავე ფუძესთანაა დაკავშირებული **ყვიჟილი**, რაც საბას განმარტებით არის „შავმოიისფრო". გარკვევას მოითხოვს ამასთან ვეჟანა („ლომის ფერი") სიტყვის ურთიერთობის საკითხი.

აფხ. **აჵინჷ→აჳნჷ** სიტყვის **ჵი→ჳ** ძირეული ელემენტი საერთოა ქართ. სა-**ყუ**-დ-ელ სიტყვასთან, მეგრ. ცუ-დ-ე←**ყუ**-დ-ე-სთან. იგივე ბგერათშიმართება ჩანს ამ შემთხვევაში ხუნძურთან, სადაც „სახლი" წარმოდგენილია **რ** კლასნიშნიანი **რუყ**—ფუძით[1].

აფხაზურში „სმენა" ზმნა არის **ა-ჰა-რა**. მასვე უკავშირდება აფხაზური ლჷ-მ-**ჰა**—„ყურ" სიტყვის ძირი—„სასმენელი", მაგრამ სხვადასხვა რთულ ფუძეში გამოჩნდება „სმენისთვის" **ჵი→ჳ** ძირიც. ჩვეულებრივია გამოთქმა: აბჟჷ აა**ჳ**იტ—„ხმა მოისმა"; ჰაჟია ცჸ̆ა ეჲ-ნჷ-**ჳ**-რაზჷ ჰაჲჩხ́ჷნტიალტ (დ. გ უ ლ ი ა, აჟიაბჟკ́აჭჲქია, 27,17)—„ჩვენი სიტყვის ერთმანეთისთვის კარგად მიწვდენისათვის (←„მოსმენისათვის") ცხენზე ერთად შევსხედით".

ეგევე **ჳ←ჵი** ძირი გვაქვს აძირ-**ჳ**-რა—„მოსმენა", „**ყ**ურის დაგდება"-ში. მის შესატყვისად მონათესავე ენებში გვაქვს **ყუ** (**ყo**). იგივე ძირი ჩანს ქართულ **ყურ**- სიტყვაში, რომლისგანაც ნაწარმოებია ზმნები „დაა**ყ**ურა", „მია**ყ**ურა"—„**ყ**ური დაუგდო", „**ყ**ურება"—„სმენა".

[1] შდრ. აფხ. აჵია-რა „ხმობა", „შრობა" და ხუნძ. -აყია—იმავე მნიშვნელობით.

ეგევე ძირი ყი-ს სახით გვაქვს ადიღურ ენებშიაც. და-ყიჷნ—„სმენა“; გიჷრჷ- ყიჷ-ნ „მიხვედრა“→„გულის“ სმენა“ და სხვ.

II. აფხ. ჵ, ჵი: ქართ. ადიღ. ... ლ, ლი.

აფხ. ა-ჳ←ჵი-—„ჩრჩილი“. მისი ძირეული ელემენტი ლუ-ს სახით წარმოდგენილია ქართულის რთული „ჭია-ლუა“-სიტყვის მეორე ლუა ნაწილში. იგივე საერთო ძირი მეორდება მეგრულ „ლვე-(ნ)წკი“-სიტყვაში, რაც „ჭიას“ აღნიშნავს (=*ლუა-ჭია—ლვე(ნ)წკი).

არალაბიალური სახით ამავე ძირთან კავშირშია ქართ. მ-ლ-ილ- სიტყვის ძირეული ლ (შდრ. დიალექტ. ბ-ლ-ილი). „მლილი“ სწორედ ძვ. ქართ.-ში „ჩრჩილის“ მნიშვნელობით იხმარება: „სადა-იგი **მლილმან** და მჭამელმან განრყუნეს“ ([11], მ. 6, 19). საყურადღებოა ის გარემოება, რომ მლილი აქ მოთავსებულია „მ ჭ ა მ ე ლ ი ს“ გვერდით. ამდენადვე კითხვა ჩნდება, რა კავშირშია მასთან სიტყვები **მლერი** ‖ დიალ. **ბლერი**, **მლიერი**, და ძვ. ქართ. **„მლერა“**—„ფხანა“. ს. ჯანაშიას ძვ. ქართულის **განმლერებული** (საბა ასურის ცხოვრებაში) დაკავშირებული აქვს სწორედ **მლერ** ‖ **ბლერ**—სიტყვასთან ([12], გვ. 24).

„მლილისა“ და „მლერის“ ურთიერთობის თვალსაზრისით ყურადღებას მიიქცევს მეგ. **ხვარცა** „მუნი, მლერი“ და აფხ. **ახიაც** „ჭინჭრის“ სახელწოდება, როგორც მკბენარისა.

აფხ. **აგიაჳა←აგიაჵია** აღნიშნავს „ფულუროს“, „ღრმას“, ღრუს შემცველს. იგი შედგება ორი ნაწილისაგან **გია**-სგან, რაც „გულს“ (ა-გიჷ) აღნიშნავს და **ჳა**-საგან, რაც **ღრუს** უდრის, ე. ი. „გულ-ღრუ“.

მისი შესატყვისი ქართულში ჩანს თავისი **ლვ**- ძირეული ელემენტით ძვ. ქართ. მ-**ლვ**-იმ-ე (მ-ლჳმ-ე)—„მთხრებლი კლდისა“ (საბა). იგივე ძირი უნდა გვქონდეს ფუ-ლურო სიტყვაში და თვით **ღრუ** სიტყვაში, რომელიც უნდა მომდინარეობდეს *ლურუ სახეობიდან (შდრ. ფუ-ლურო).

ადიღურ ენებშიაც ეგევე ძირი **ლი**-თია წარმოდგენილი: ადიღ. **ლია**—„ხვრელი“ (შდრ. ძვ. ქართ. **ჯურ-ელ-ი**).

აფხ. **აჵიჷ-წა←აჳჷწა** ან **აჳჷწრა←*აჵიწარა** აღნიშნავს „ილლიას“. იგი შედგება ორი ნაწილისაგან: **ჳჷ←ჵია**- და -**წა**. -**წა** გამომხატველია „ქვეშ“-ისა (შდრ. აჭჵჷ- პირი და აჭჵჷ-წა „პირის ღრუ“). სიტყვა-სიტყვით **აჳჷწა** უნდა ნიშნავდეს „ილლიის ქვეშ“, „ილლიის უბე“. ძირეულია **ჳჷ←ჵია**. მას ქართულში შეესატყვისება **ლ**- ძირეული ელემენტი, რომელიც წარმოდგენილია ი-**ლ**-ლ-ი-ა—სიტყვაში (შდრ. მეგრ. **ლ**-ი-ა ‖ რ-**ლ**ია).

აფხაზურში **აა←ჵა** აღნიშნავს „ლვედს“. **ჭა** ელემენტის დართვით იგივე სიტყვა **ააჭა** აღნიშნავს „წვრილ ლვედს, თასმას“. აფხ. **ჵა**-ს შესატყვისად ქართულში გვევლინება **ლვ**-ედ ფუძე.

აფხ. ალჷ-**ჳა**←ალჷჵია („კვამლი“)—სიტყვაში ძირეული ჩანს **ჳა←ჵია**. საფიქრებელია იგივე ძირი გვქონდეს **ლუ**მელ სიტყვაში, რომელსაც სხვა ფონეტიკური ვარიანტებითაც ვხვდებით ქართულში—„საკუმილი“ (ეზრა, 12,37) და მასთანვე დაკავშირებული **კუამ**-ლი და დიალექტ. **კვიმი**. საყურადღებოა ამ მხრივ გამოთქმები: „კუმოდა კუამლი საკუმილისაჲ“ (გამოსვ. 19,18), „საკუმილი მკუმელვარჱ“.

ეგევე ძირი გვხვდება სხვა მთის კავკასიურ ენებშიაც რიგი ფონეტიკური სახეცვლილებით.

აღნიშნულ ბგერათშესატყვისობების საფუძველზე საინტერესოა „ხართ ხმიანობის“ გამომხატველი სიტყვის ფუძეშიაც მსგავსივე სურათის დადასტურება. შდრ. აფხ. აბჳჳრა (გაორკეცებული ჳ-ბგერით) და ქართ. ბღუვილი (საბა).

აფხ.-ში „ციმბირის წყლულის“, „ჭირის“, „წყლულის“ გამოსახატავად იხმარება სიტყვა **აზჳა←აზჭია**. მისი შესატყვისია ძვ. ქართ. **ზუზლა**, რაც წყლულს ნიშნავს: ძაღლნიცა ჰლოშნიდეს **ზუზლასა** მისსა ([11], ლ. 16,21).

მისი შიშინა სახეობა **ჟუჟლ**-ის სახით დადასტურებული აქვს საბას „წყლულის მონადენი“.

ზუზლა-ში პირველი **ზ** უნდა მომდინარეობდეს **დ** კლას-ნიშნიდან: ***დუზლა** (შდრ. ზანური—**ზისხირი**← ‖ **დიცხირი**). ეგევე სიტყვა მნიშვნელობის გაფართოებით აქვს ახალ ქართულს **ზიზღ**-ის სახით (←***დი-ზღ-ი**).

III. აფხ. **ჭ**, **ჭი**: ქართ. **რ**, **რვ**.

შესაძლოა ერთსა და იმავე ძირს ორი სხვადასხვა შესატყვისი აღმოაჩნდეს[1]. ამ მხრივ ძალზე საყურადღებოა რიცხვითი სახელი „ორი“. აფხ. **ჳბა**→**ჭიბა**-ს **ჭი**-ს, როგორც ზემოთ ვნახეთ, აღმოჩნდა შესატყვისად ერთი მხრივ, **ყვ**, მეორე მხრივ, მისი შესატყვისი ჩანს **რ**.

აფხ. **ჭი**-ს (**ჭაგბა**, **ჭიჳჯა**) შესატყვისად გამოდის—**რ**: ქართ. **ო-რ-ი**. ქართულში ეს ფუძე იშლება ასე: **ო-რ-ი**. ძირეული ჩანს **რ**. ქართველურ ენებში ამ ფუძეს წინ ხმოვანი ელემენტებიც მიუძღვის, როგორც მაგ., ქართ. **ო**-(**ო**-რ), ზან. **ჟი**- (**ჟი**-რ)←**ჟუ**(-რ)←**ჲუ**(-რ), სვ. **ჲო**(-რ). ამ რიგის აფიქსი სხვა რიცხვით სახელებშიაც ჩანს (შდრ. სვნ. **ო-რჷო** „რვა“, **უ**-სგვა „ექვსი“).

საგანგებო ძიებას მოითხოვს იგივე ძირი და ფუძე სვანურშივე **ჲე-რვ** „ტყუპ“ სიტყვაში. აქ **ვ** ლაბიალიზებული ძირის გამომხატველია თუ პრეფიქსისეული **ჲო**-ს გადასმითაა გაჩენილი (შდრ. **ჲო-რ** „ორი“ და **ჲე-რვ** „ტყუპი“).

ამ რიგის შესატყვისობათა თვალსაზრისით განსაკუთრებით საინტერესოა **რვა** რიცხვითი სახელის საკითხი. მონათესავე ენათა მასალის ძიებისას თითქოს განმხოლოებით იდგა ამ რიცხვითი სახელის ფუძე. არათუ სხვა იბერიულ-კავკასიურ ენათა და ქართველური ენების მასალის დაკავშირება ჭირდა, ჭირდა „რვა“ რიცხვითი სახელის საერთო ფუძის პოვნა აფხაზურ-ადიღურ ენათა შიგნითაც. მაგალითად, ცნობილი მკვლევარი ამ ენებისა გ. დიუმეზილი, ადარებს რა ერთმანეთს აფხაზურ **ჵ**-ს (**აა-ბა** „რვა“), უბიხურ **უღია**-სა და ადიღ. **ჲი**-ს („რვა“), წერს «Huit»: La correspondence me reste toute á fait mystérieuse[2] ([8], გვ. 126).

მაგრამ, როგორც ირკვევა, აქაც საერთო ძირი გვაქვს. თუ გავითვალისწინებთ აფხ. **აა-ბა**-ს ისტორიას, რომელიც მომდინარეობს ტაპანთურში დღესაც დაცული **ჭა-ბა**-საგან, აშკარა გახდება მასთან უბიხური **უ-ღია** ‖ **ღია** „რვა“ რიცხვითი სახელის კავშირი.

[1] ამ რიგის საკითხებს, კერძოდ, სხვადასხვა ბგერათმიმართებათა არსებობის ფაქტს, როგორც სხვადასხვა ენაში, ისე ერთსა და იმავე ენაში ვეხებით სხვა ადგილას.

[2] „რვის შესატყვისობა ჩემთვის რჩება სავსებით საიდუმლოდ“.

ქართველურ ენებში შემდეგი სურათი დასტურდება:

ქართ. **რვა**, მეგრ. ბ-**რუო**, **რუო**, ჭან. ო-**რუო**, სვან. ა-**რა** (შდრ. უბიხ. უ-**ლია**, **ლია**, აფხ. **ჟა**-ბა).

ძირეული თანხმოვანი შედარებით უძველესი სახით დაცული აქვს აფხაზურს. მის ერთ რეფლექსს წარმოადგენს უბიხური **ლი**- და მეორეს—ქართველური ენების სახეობა—**რ**, **რვ**. საგულისხმოა, რომ ამ ძირის ლაბიალიზებული ვარიანტი ახასიათებს ქართულ-ზანურსა და უბიხურს (შდრ. ქართ. **რვა**, ზან. ბ-**რუო**, ო-**რუო**), ხოლო არალაბიალიზებული—სვანურსა და აფხაზურს (შდრ. აფხ. **ჟა**-ბა, სვ. ა-**რა**). რაც შეეხება თვით ძირის წინ მდგომ ელემენტებს, რაც ახასიათებს მეგრულსა და ჭანურს (**ბ**-რუო, **ო**-რუო), სვანურს ა-რა—და უბიხურს (**უ**-ლია), საერთო ელემენტი ჩანს და აფიქსი უნდა იყოს.

აქედან ცხადია, როგორც ძირის მიხედვით, ისე ფუძის აგებულების მიხედვით სრულს გენეტურ ერთიანობასთან გვაქვს საქმე აღნიშნულ ენებში.

აფხაზურში „დრო“ გამოიხატება **აა-მთა** სიტყვით.-**მთა** მასში სუფიქსი ჩანს. ძირეულია **აა←ჟა**. იგი აღნიშნული -**მთა** სუფიქსის გარეშეც გვხვდება აფხაზურში მთელ რიგ შემთხვევებში (შდრ. **აა**-ნ „დროს“ და სხვ.). მისი შესატყვისი ძირი ჩანს **რ** შემდეგ სიტყვებში: დ-**რ**-ო, ა-დ-**რ**-ე, სადაც **დ**- გრამატ. კლასნიშანს წარმოადგენს და რომლის მეორე რიგის რეფლექსს დ-ლ-ე შეიცავს (ამ რიგის ფაქტებზე ვჩერდებით სხვაგან).

აფხ. „რბენა“ ზმნის ძირია **ჟი→ჳ**: **აჟი**რა „სირბილი“. ამ ძირს შესატყვისად ქართველურ ენებში მოეპოვება **რ**: **რბ**ის, შდრ. მეგრ. **რუ**ლა—„სირბილი“.

აფხ. „სპილენძი“ არის **აბჟია→აბჳა**, ბ- კლასკატეგორიის ნიშანია. ტაპანთურში გვხვდება უკლასნიშნოდ **ჟია**, ადიღეურში ეგევე ძირია **ლი**-ს სახითაა წარმოდგენილი რთულ სიტყვაში: **ლია**-ფლ̆ჾ „სპილენძი“ (=„სპილენძი-წითელი“). მისი შესატყვისია ქართულში **რვ**-ალ-ი, რომელსაც ტაპანთურისა და ადიღურის მსგავსად არა აქვს კლასნიშანი. -**ალ** დეტერმინანტი სუფიქსია.

აქ წარმოდგენილი იყო სამი ტიპიური შესატყვისობა (**ჟ**, **ჟი** ‖ I. **უ**, **უვ**, II, **ლ**, **ლვ**, III **რ**, **რვ**). უფრო ძველი ვითარება დაცული ჩანს აფხაზურში. ამოსავალი ყველა ამ სახეობისათვის არის ლარინგალური სპირანტი ან ფარინგალური ხშული. აფხაზურ **ჟ** (**ჟი**)-შიაც შეიძლება ზოგი ძირი მჟღერი ფარინგალური ხშულის ერთერთი რეფლექსი იყოს.

აქ მოცემული შესატყვისები ამ ამოსავალი ბგერის (თუ ბგერების) ფონეტიკურად ცვლილ სახეობებს წარმოადგენენ. ამიტომაც არის, რომ მათ ადგილას რიგ შემთხვევაში სათანადო ხშული ან სპირანტი შეიძლება მოგვევლინოს, მაგ., უკანაენისმიერები **გ**, **ქ**, **კ**, **ღ**, **ხ**... როგორც სხვადასხვა ენაში, ისე ერთსა და იმავე ენაში.

ამოსავალი ლარინგალური თუ ფარინგალური თანხმოვნის ე რ თ-ე რ თ გ ა ვ რ ც ე ლ ე ბ უ ლ რ ე ფ ლ ე ქ ს ს, სადაც კი დასტურდება აღნიშნული რიგის ბგერათშესატყვისობები, **რ** წ ა რ მ ო ა დ გ ე ნ ს. **რ** ბგერა ამდენად მეორეული წარმოშობისაა. ამ რიგის პროცესით მიღებული **რ** სხვა იბერიულ-კავკასიურ ენებშიაც უნდა გვქონდეს.

ამ მეორეული წარმოშობის **რ** ბგერას შემდგომი ცვლილებები განუცდია აფხაზურ-ადიღურ ენებში, ზანურში, ქართული ენის დიალექტებსა და ზოგ სხვა მთის იბერიულ-კავკასიურ ენაში. იგი ქცეულა **ი**-დ.

ამ მხრივ ცნობილი ფონეტიკური პროცესები რომ აღარ მოვიგონოთ ცალკეულ ენაში, საყურადღებოა ის შესატყვისობები, რომლებიც მონათესავე ენათა შორის დასტურდება, როცა ერთი ენის **რ**-ს ნაცვლად მეორე ენაში გვევლინება **ი**.

მაგ.:

აფხ. **ჭ**აბა, უბიხ. **ღ**ია, უ-**ღ**ია, ქართ. **რ**ვა, სვ. ა**რ**ა→ადიღ. **ჲი**—„რვა“.

უბიხ. III პ. ნიშ. **ღ**, აფხ. III პ. მრ. რ. ნიშ. **რ**→ადიღ. III ნიშ. **ი**.

ქართ. სია-**რ**-ული, აფხ. აა-**ჲ**-რა—„მო-სვლა“[1].

ქართ. მო-**რ**-ევა→აფხ. ა-**ჲა**-რა „მორევა“. (შესაძლოა აქ იგივე „სვლა“ ზმნის ძირი გვქონდეს) და სხვ.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ენათმეცნიერების ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 20.7.1955)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. Н. Марр. Грамматика древнелитературного грузинского языка. Ленинград, 1925.
2. გ. ახვლედიანი. ზოგადი ფონეტიკის საფუძვლები. თბილისი, 1949.
3. გ. როგავა. ფარინგალურ ხშულთა რიგისათვის ქართველურსა და ადიღეურ ენებში. იბერიულ-კავკასიური ენათმეცნიერება. ტ. 1, თბილისი. 1946.
4. ქ. ლომთათიძე. აფხაზური ენის ტაპანთური დიალექტი (ტექსტებითურთ). თბილისი, 1944.
5. ქ. ლომთათიძე. აშხარული დიალექტი და მისი ადგილი სხვა აფხაზურ-აბაზურ დიალექტთა შორის (ტექსტებითურთ). თბილისი, 1954.
6. გ. როგავა. მჟღერი ფარინგალური ჸ სპირანტი ადიღეურ ენებში. ენიმკის მოამბე, ტ. X, თბილისი, 1941.
7. A. Schiefner. Abchasische Studien. St.-Petersburg. 1863.
8. G. Dumézil. Etudes comparatives sur les langues caucasiennes du Nord-Ouest (Morphologie). Paris, 1932.
9. ი. ჯავახიშვილი. ქართული და კავკასიური ენების თავდაპირველი ბუნება და ნათესაობა. თბილისი, 1937.
10. არნ. ჩიქობავა. ქართული ძვალ-ფუძის ზანური შესატყვისისათვის. სსრკ მეცნ. აკად. საქ. ფილიალის მოამბე, ტ. 1, ნაკვ. 1, თბილისი, 1949.
11. ქართული ოთხთავის ორი ძველი რედაქცია სამი შატბერდული ხელნაწერის მიხედვით (827, 936 და 973 წლ.). გამოსცა ა. შანიძემ. თბილისი, 1945.
12. ს. ჯანაშია. ცხოვრებაჲ საბა ასურისაჲ. არილი. თბილისი, 1925.

[1] უბიხურში ამ **ი**-ს ნაცვლად გვაქვს **ჲჯ**, მიღებული **ი**-სგან.

ლიტერატურის ისტორია

მ. ჩიქოვანი

ქართულ-სერბულ-უნგრული ეპიკური შეხვედრანი

(სურამის ციხის ლეგენდის გენეზისის საკითხისათვის)

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა კ. კეკელიძემ 14.1.1955)

გენეზისის პრობლემა საბჭოთა ფოლკლორისტიკის ერთ-ერთი აქტუალური პრობლემათაგანია. განსაკუთრებით ეს ითქმის ეპოსის მიმართ, რადგან ეპოსში, როგორც პოეტური შემოქმედების ფოკუსში, თავს იყრის ხალხების მრავალსაუკუნოვანი კულტურულ-ისტორიული კავშირი და ურთიერთდამოკიდებულება. ცხადია, გენეზისის საკითხი მხოლოდ ფართოდ გავრცელებული სიუჟეტებისა და ნაწარმოებების შესახებ არ ისმის. ფოლკლორისტიკას, რომელიც ისტორიზმის პრინციპით ხელმძღვანელობს, აინტერესებს ყველა ჟანრისა და ძეგლის წარმოქმნა, მასის მხატვრული აზროვნების თითოეული ფორმისა და სახის განვითარება. თუ ამ თვალსაზრისით გადავხედავთ უკანასკნელ წლებში ჩატარებულ სამეცნიერო კვლევა-ძიებას საქართველოში, და იქნებ მის გარეშეც,—უნდა ვაღიაროთ, რომ გენეზისურ პრობლემათა დამუშავებას ნაკლები ყურადღება ექცეოდა და შედარებით-ისტორიული ძიება ამ მიმართულებით ნაწილობრივ ჩამორჩება. ეს მდგომარეობა ახლო ხანშია გამოსასწორებელი.

პირველი პირობათაგანი შედარებით-ისტორიული კვლევისათვის სათანადო ფაქტობრივი მასალების დაგროვებაა. ამ მოკლე წერილის მიზანი სწორედ ასეთი ამოცანით არის განსაზღვრული. ჩვენ გვსურს ვაჩვენოთ ცნობილი ქართული ლეგენდის—სურამის ციხის ლეგენდის—და მის საფუძველზე აღმოცენებული ბალადის მსგავსი ნაწარმოებები აღმოსავლეთ ევროპის ხალხების ზეპირსიტყვიერებაში.

ქართულ ფოლკლორში არსებობს მრავალი ისეთი სიუჟეტი, რომლის მსგავსი სიუჟეტები სხვა ხალხების ზეპირსიტყვიერებაშიც გვხვდება ([1], გვ. 419). ამგვარ, სხვადასხვა ქვეყანაში გავრცელებულ, სიუჟეტს შეიცავს დასახელებული ლეგენდაც.

სურამის ციხის ლეგენდას ამჟამად ბალადური ლექსის სახე აქვს. არსებობს ამავე შინაარსის პროზაული გადმოცემებიც. ისინი ფეოდალური ციხის აშენების ისტორიას მოგვითხრობენ. სურამის ციხის ლეგენდა საერთოდ იმ ციკლის ნაწარმოებებში შედის, რომელთა თემას დიდი სახალხო შენობების, ციხე-სიმაგრეების, ხიდების აგება ან შემუსვრა წარმოადგენს. ამნაირ ნაწარმოებთა შორის უნდა დავასახელოთ ისეთი პოეტური შედევრები, როგორიცაა არის ლექსები: „სურამის ციხე“, „მანგლისი რომ ააშენეს“, „ციხის ნაშალი“,

„შურის ციხე“. პირველი ორი გვაცნობს ციხე-სიმაგრის აშენებას და მასთან დაკავშირებულ უძველეს რიტუალს, უკანასკნელნი კი—მტრისაგან ციხის შემუსვრას.

ხალხური ლეგენდა საფუძვლად დაედო დანიელ ჭონქაძის 1859 წელს გამოქვეყნებულ ანტიბატონყმურ მოთხრობას „სურამის ციხეს“.

გარდა ლიტერატურული თხზულებისა, რომელშიც ხალხური ლეგენდა მთლიანად არის შესული, სურამის ციხის შესახებ ხელთ გვაქვს ოთხი ლექსი: „ეს გივი ამილახვარი“, „საბრალო ამილახვარი“, „სურამისა ციხეო“ და „სურამის ციხევ“ ([2], გვ. 177—78). აგრეთვე მოგვეპოვება 1949 წელს სურამსა და ხაშურის რაიონის სხვა სოფლებში ჩვენ მიერ შეკრებილი ლექსები და თქმულებები.

სურამის ციხის ლეგენდა და მისი მსგავსი გადმოცემები საქართველოში პოპულარულია. მართალია, დ. ჭონქაძის მოთხრობამ ხელი შეუწყო ამ ლეგენდის გავრცელებას, მაგრამ იგი მე-19 საუკუნემდეც ფართოდ ყოფილა ცნობილი, რასაც ამტკიცებს ლეგენდის ადრინდელ ისტორიულ პირებთან (დავით ალმაშენებელი, გივი ამილახვარი) და გეოგრაფიულ სახელებთან (ხონი, რაჭა, კელასური) დაკავშირება.

სურამის ციხის ციკლის ნაწარმოებთა შორის ბალადის სახე მხოლოდ ორ ლექსს აქვს. პირველი სრული ლექსი შემდეგი სახით არის ჩვენამდე მოღწეული:

სურამისა ციხეო, სურვილითა გნახეო,
ჩემი ზურაბ მანდ არი, კარგათ შემინახეო.
— შვილო ზურაბ, სადამდინ?
— ვაიმე, დედავ, ფეხამდინ!
— შვილო ზურაბ, სადამდინ?
— ვაიმე, დედავ, მუხლამდინ!
— შვილო ზურაბ, სადამდინ?
— ვაიმე, დედავ, გულამდინ!
— შვილო ზურაბ, სადამდინ?
— ვაიმე, დედავ, ყელამდინ!
— შვილო ზურაბ, სადამდინ?
— ვაიმე, დედავ, თავამდინ!
— შვილო ზურაბ, სადამდინ?
— ვაიმე, დედავ, გავთავდი!

ეს ლექსი ჩაწერილია 1870 წელს თბილისში გ. თუმანიშვილის მიერ, ხელთუბნელი ქალის თქმით. მასში გადმოცემულია ზურაბის კედელში ჩაშენების ტრაგიკული სურათი. ამავე ბალადის კახური ვარიანტი, მაშასადამე, ქართლურისაგან განსხვავებით, დედის თხოვნას შეიცავს: შვილის ბედით გამწარებული დედა ციხეს თუ მის მშენებელ კალატოზებს ემუდარება, რომ ბავშვს წყალი მიაწოდონ და ქერის მაგიერ წმინდა პური აჭამონ. აი ეს ფრაგმენტული ლექსიც:

სურამის ციხევ, სურვილით გნახე,
ზურაბ შვილი რა უყავ? კარგათ შამინახე!
თუნგით წყალს მოგიტან, პირი დააბანინე,
ქერის პურსა ნუ მიჭმევ, წმინდით შამინახე,
ქალამნებ ნუ ჩააცმევ, წაღებითა მიტარე.
— შვილო ზურაბ, სადამდინ?—ვაიმე, დედავ, მუცლამდინ!
— შვილო ზურაბ, სადამდინ? —ვაიმე, დედავ, გავთავდი!

ამ ლექსის შუა ნაწილი იმას გვიჩვენებს, რომ ბალადა უწინ ვრცელი ყოფილა, მაგრამ დროთა განმავლობაში შეკვეცილა და დედა-შვილის დიალოგამდე დასულა.

ხალხურ ბალადას თან ახლავს თქმულება, რომელიც სრული სახით პირველად დანიელ ჭონქაძემ შემოიტანა ჩვენს ლიტერატურაში. მოვიგონოთ ისიც.

„...მეფემ დაიბარა თავისი პირველი ვეზირი და უბრძანა საქართველოს სამზღვრების გასინჯვა ოსმალოს მხრისკენ და, საცა საჭიროდ ჰპოვოს, ააშენოს ციხეები. ვეზირი წამოვიდა, გაშინჯა საზღვრები და სხვათა შორის ჰპოვა ციხის აშენების საჭიროება სურამში. მაშინვე საჩქაროდ მოაგროვეს მასალა, დასწვეს კირი და შეუდგნენ შენობას...მაგრამ საკვირველი იყო, რამდენჯერაც აიტანეს ის ციხე ერთი ხუთიოდ ადლამდე, იმდენჯერ იქექა და გასკდა შუაზე... რა ქნან?—მოდი, ერთი, მკითხავს ვაკითხვინოთ!—წამოიძახა ვიღამაც...ციხეში, ხურდის მაგიერად, დედისერთა ვაჟი უნდა დაატანოთ, დურმიშხანის ვაჟი, ზურაბი...

...შემდგომ რამტენიმე ხანისა, ზურაბი მკვდარივით ყვითელი, ხელებშეკრული იდგა კედელში და კალატოზები სიჩქარით აშენებდნენ იმის გარშემო კედელსა...—გამიშვით ჩემ შვილთან! გამიშვით ჩემ ზურაბთან!—იძახოდა ზურაბის დედა და მიიწევდა იმასთან.

ზურაბმა გაიგონა დედის ხმა:—მიშველე, დედი! შენს ზურაბს ცოცხალს მარხამენ!—დაუძახა დედას ზურაბმა. —შვილო ზურაბ, სადამდინ?—ვაიმე, დედავ, მხრებამდინ!—უპასუხა ზურაბმა.—კარგი! არ ეყოფა? არ შეიტყევით იმისი გულადობა? მომეცით შვილი, მომეცით ჩემი ზურაბი! შვილო ზურაბ, სადამდინ?—ვაიმე, დედავ, გავთავ...აღარ დაასრულებინეს და მსწრაფლ დააყარეს რამდენიმე თაბახი კირი...

ამბობენ, მითომ იმ ადგილს, საცა დატანებული იყო საწყალი ზურაბი, სურამის ციხე არის ნოტიო და ცრემლივით ჩამოდის წვეთი და თითქმის აქამდისინ მთვარიან ღამეში გამოდიოდა ერთი თმაგაშლილი დედაკაცი შავის ტანისამოსითა და ტირილით მოსძახდა:

სურამისა ციხე, სურვილითა გნახე,
ჩემი ზურაბ მანდ არის, კარგა შემინახე!..([3], გვ. 83—99).

როცა ხალხურ ლექსს დ. ჭონქაძის მიერ ფიქსირებულ გადმოცემას ვადარებთ, მათ შორის განსხვავებას ვპოულობთ. ჩანს, დ. ჭონქაძემ თავისებურად გამოიყენა მის დროს არსებული ზეპირი გადმოცემის ორივე ნაწილი, როგორც დედა-შვილის დიალოგი, ისე ციხისადმი დედის მიმართვა. ზურაბის სახის ჭონქაძისეული გაგება განსხვავდება ხალხური გაგებისაგან. მოთხრობაში ზურაბი ძალდატანებით მიყავთ მშენებლობის ადგილას. ძველი ქართული გადმოცემით კი ზურაბი თვითონ სწირავს სამშობლოს თავს, რადგან სურამის ციხის მშენებლობის დაჩქარებით სურს თავდამსხმელ მტერს გზა გადაუღობოს.

ამ თქმულებაში მოცემული ჭაბუკის განთავისუფლება არ არის ბალადის უძველესი მდგომარეობის ამსახველი. ასეთი ამაღლებული პატრიოტული გრძნობა-განცდები დამატებულია საშუალო საუკუნეებში, როცა ძველი წარმართული შინაარსისა და გაფორმების მქონე ლეგენდის გადამუშავება მოხდა. ზურაბის განთავისუფლება, მსგავსად ვალახური თქმულების გმირის

განთავისუფლებისა, არღვევს ბალადის წყობასა და მსოფლმხედველ[illegible] დაც ადამიანის კედელში ჩაშენება რეალურად ხორციელდებოდა და მას რიტუალური ხასიათი ჰქონდა. ზურაბის კედელში ჩაშენების ეპიზოდი სწორად არის შემონახული მოკლე ხალხურ ლექსში, რომლის შინაარსი საგრძნობლად განსხვავდება დავით ალმაშენებლის სახელთან დაკავშირებული გადმოცემისაგან, განსაკუთრებით მის მეორე ნაწილში. ზურაბის ჩაშენება რომ ლეგენდური სინამდვილის ამსახველია, ამას ადასტურებს საქართველოს სხვადასხვა მხარეში გავრცელებული ანალოგიური თქმულებები.

სურამის ციხის ლეგენდის მსგავსი გადმოცემები გვხვდება საქართველოს სხვა კუთხეებშიც, მაგალითად: რაჭაში—მინდას ანუ მინდელის ციხესთან დაკავშირებით, იმერეთში ხონის ეკლესიის, ხოლო აფხაზეთში კელასურის შესახებ.

რიონის ხეობაში, სოფ. სორსა და ს. წესს შორის, დგას ციხე, რომელსაც „მინდაციხეს“ ანუ „მინდლისციხეს“ უწოდებენ. ამ ციხის შესახებ ფიქსირებულია შემდეგი გადმოცემა: მშენებლებმა, როცა კედლების ამოყვანა დაიწყეს, სოფ. წესში პატარა ბიჭი დაიჭირეს და კედელში ჩააშენეს. დედამ გაიგო თუ არა შვილის უბედურება, მის განსათავისუფლებლად გაეშურა, მაგრამ უკვე გვიან იყო, იგი ციხემდე არ მიუშვეს. სასოწარკვეთილი დედა შორიდან ეკითხებოდა შვილს „სადნამდეო“. ჩაშენების შემდეგ საბრალო ქალი კედელთან მიიჭრა და მოთქმით დაიტირა შვილი:

მინდლის ციხე მინდია, ჩემი ცოდვით სავსეა,
თავწითელა მინდლის შვილი კირწისთავით ასვია.

([8], გვ. 122—123).

იმერული გადმოცემით, ხონის (ახლანდელი წულუკიძე) ეკლესიის მშენებლობის დროსაც იგივე ისტორია განმეორებულა. ხონის ეკლესია, გადმოცემით, აშენებულია IV საუკ-ში. როდესაც ეკლესიას აშენებდნენ, ერთმა სამაგალითო ამბავმა ყველა გააკვირვა: რამდენიც არ ააშენეს კედლები, იმდენივე დაინგრა. ბოლოს ხალხმა გადაწყვიტა, ეკლესია შესაწირავს თხოულობსო. კენჭი ყარეს და კენჭი შეხვდა ერთ ახალგაზრდას, სახელად ლევანს. ეს იყო დედისერთა შვილი, გვარად ბახტაძე. დედა-შვილმა უარი თქვეს ამ შესაწირავზე. ბოლოს მეფეს მოახსენეს. მეფემ გასცა ბრძანება და ლევანი დაიჭირეს. როცა ლევანს ჰკირავდნენ, დედა იქვე იყო და ჰკითხავდა: შვილო ლევან, სადამდისო? ლევანი უპასუხებდა: ვაი, დედა, კოჭამდისო. დედა კიდევ ჰკითხავდა და ამნაირად ამოყორეს კედლები, სადაც ლევანი იყო. როცა ლევანი მოკვდა, დედა მწუხარე ლექსით გამოეთხოვა:

ჩემო შვილო, ლევანო,
მარგალიტის მტევანო.

([4], გვ. 12)

ასევე მოუთხრობენ კელასურის შესახებაც. კელასურის კედლის აგება რომაელების სახელს უკავშირდება. როცა საძირკვლის გამაგრებას არაფერი ეშველა, ერთი ქალი და ძროხა ჩააშენეს კედელში და ისიც გამაგრდაო.

ასეთია სურამის ციკლის ხალხური გადმოცემები საქართველოში. როგორც ვხედავთ, აქ თავს იჩენს რამდენიმე ძირითადი მოტივი.

ა) შენობის აგებისათვის საჭიროა საძირკველში ადამიანის ჩაშენება; მისნები ასახელებენ, თუ როგორი უნდა იყოს სამსხვერპლო. ბ) ერთ შემთხვევაში სამსხვერპლო დედისერთა ვაჟი ნებაყოფლობით სწირავს თავს სახალხო საქმეს. გ) მეორე შემთხვევაში ვაჟი მშობელ დედასთან ერთად უარს ამბობს თავის მსხვერპლად შეწირვაზე. დ) მეფე და მისი მსახურები ძალდატანებით ჩააშენებინებენ კედელში დედისერთა ვაჟს. ე) დედა-შვილს შორის მძაფრი დრამატული ხასიათის საუბარი იმართება. ვ) ვაჟის შეწირვით ადგილის ღვთაების გული მონადირებულია და მშენებლობაც წარმატებით მთავრდება.

საძირკველში ადამიანის ჩატანების ლეგენდას სარწმუნოებრივი საფუძველი აქვს. იგი აღმოცენებულია იმ ძველთაძველ რწმენაზე, რომელიც ფუძის მფარველის, ადგილის დედის გულისმოგებას მოითხოვდა შენობის აგების დროს. ამჟამად ყველგან, სადაც კი ასეთი რწმენის კვალი იჩენს თავს, მათ შორის საქართველოშიც, მხოლოდ ადამიანის მსხვერპლის მონაცვლეები გვხვდება ლითონის ფულის, ნახშირის, ცხვრის, თხის ან ქათმის სისხლის სახით; წარმართობის დაბალ საფეხურზე კი პირდაპირ ადამიანის შეწირვა უნდა მომხდარიყო. დროთა განმავლობაში სამსხვერპლო ადამიანის მიმართ თანაგრძნობამ იჩინა თავი და მისი უბრალო საგნებით შეცვლა მოხდა. მეცნიერებამ ამის დამადასტურებელი მცირე რაოდენობის მაგალითები როდი იცის ევროპის, აფრიკის, აზიისა და სხვა ხალხთა ისტორიიდან.

მხატვრული სიტყვიერების სფეროდან რომ არ გამოვიდეთ, ჩვენ გვერდს ავუვლით წეს-ჩვეულებითი ხასიათის ცნობებს და ორ ნაგალითს ვაჩვენებთ აღმოსავლეთ ევროპის ხალხების—სერბებისა და უნგრელების პოეზიიდან. ჯერ კიდევ ტეილორის მიერ გამოყენებული ([5], გვ. 62) სერბული გადმოცემის მიხედვით, ძველი ქალაქის სკადრის აშენების დროს სამ წელიწადს საძირკველი ვერ ამოიყვანეს; რასაც დღისით სამასი მუშა გააკეთებდა, იმას ღამით ალი „ვილა“ დაანგრევდა. სამმა მშენებელმა ძმამ პირობა შეკრეს, რომ მეორე დღეს ის ქალი ჩაეკირათ კედელში, რომელიც პირველი მოუტანდა სადილს მშენებლებს. უფროსმა ძმებმა საიდუმლო შეთანხმება თავიანთ ცოლებს გაუმჟღავნეს. უმცროსი ძმის გოიკოს ცოლმა მოიტანა ჯერი. ქმარი ძლიერ შეწუხდა ძვირფასი ცოლის გამოჩენაზე, მაგრამ რაღას იზამდა, ისევ გულქვა და ცბიერ ძმებს მიანდო საყვარელი არსება. მაზლებმა მშვენიერი რძალი სასწრაფოდ ჩააშენებინეს კედელში. ქალს მხოლოდ მცირე თხოვნა შეუსრულეს. კალატოზმა ქალის მკერდთან კედელს სარკმლები გაუკეთა, რომ დედას ჩვილი ყრმისათვის ძუძუ ეწოვებინა.

ქალს მეორე თხოვნაც შეუსრულა ხუროთმოძღვარმა. თვალებთან სარკმლები დაუტოვა, საიდანაც დედას შორიდან შეეძლო დაენახა, თუ როგორ მოიყვანდნენ მოსაწოვებლად ძუძუთა ბავშვს.

«Увидела стройная невестка,
Что мольба ей больше не поможет,
Зодчему она взмолилась Раду:

— Побратим ты, побратим мой, зодчий!
Проруби моим грудям окошко,
Груди белые наружу выставь,

Принесут сюда малютку Йова,
Принесут ко груди материнской".
Как сестру ее послушал зодчий,
Прорубил ее грудям окошко.
Груди белые наружу вынул,
Чтоб мог ее малютка Йова
Покормиться материнской грудью.

მეცხრე დღეს დედას ხმა ჩაუწყდა, მაგრამ ძუძუს წოვება მთელი წელიწადი შესძლო. ეს ამბავი აქამდე ახსოვს ხალხს, იმ კედლებთან ძუძუგამშრალი პატარძლები დადიან სასწაულებრივი განკურნებისათვისო ([6], გვ. 254). სერბულ გადმოცემასთან შინაარსით ახლოს დგას საუცხოო ალბანური ხალხური ბალადა „როზაფატი", რომელშიც ვალდამუსის ბორცვზე ციხის აგების ამბავია გადმოცემული ([10], გვ. 22). როგორც ჩანს, ამნაირი გადმოცემა არასლავ ხალხთა სიტყვიერებაშიც არსებობს.

მძიმე ტრაგიკული სურათია მოცემული ერთ უნგრულ ბალადაში, სადაც ქვის ოსტატის ცოლის მსხვერპლად შეწირვაა აღწერილი. გავიცნოთ ამ შესანიშნავი ბალადის პოეტური თარგმანი მ. ისაკოვსკისა.

Было их, было двенадцать по счету,
Каждый на крепости Дэва работал,—
Стены из камня они воздвигали.
Только те стены недолго стояли:
За день поставят—разрушатся ночью,
За ночь поставят—разрушатся утром.
Келемен дал нерушимое слово:
«Чья бы жена ни явилася первой,—
Камнем обложим ее, замуруем
И обожжем, чтоб, скрепленная кровью,
Наша твердыня стояла вовеки».
Келемен видит: жена его первой
К крепости Дэва несет ему завтрак,—
На голове поместила корзинку,
А на руках ее—малый ребенок...
Сняли корзинку и взяли малютку,
Стали закладывать женщину камнем.
Скрылись колени—считала за шутку,
Скрылся живот—посчитала за глупость,
Грудь заложили—поверила: правда!
«Мальчик мой! люди тебя не оставят:
Добрая женщина грудью накормит,
Добрые дети с тобой поиграют,
Птицы тебя убаюкают пеньем,
Мальчик мой милый!»
«Где моя мама, отец мой, отец мой?»
«Полно, малютка, воротится к ночи».
Ночь наступила, а матери нету...
«Где ж моя мама, отец мой, отец мой?»
«Полно, сыночек, под утро вернется»
Утро проходит, а матери нету...
Умерли оба... ([7], გვ. 517).

როგორც ვხედავთ, სერბულ, უნგრულ, ალბანურ და ქართულ ბალადებს შორის დიდი მსგავსებაა. მათ საერთო წინაისტორიული საფუძველი ეძებნება: ესაა ადგილის დედის არსებობის რწმენა. ადგილის დედა მსხვერპლს მოითხოვს და ასეთი მსხვერპლი ადამიანია. სერბულ ბალადაში გოიკოს ცოლი უარს აცხადებს ჩაკირვაზე ისე, როგორც ქართული ბალადის ზურაბი დანიელ ჭონქაძის მოთხრობის მიხედვით. უნგრული თქმულება უფრო ძველ სახეს ინარჩუნებს, რადგან ქალი თანახმაა თავისი თავის მსხვერპლად მიტანისა. ამ მხრით უნგრული ლეგენდა სურამის ციხის ლეგენდის მეორე ქართულ ვერსიას უდგება, სადაც დედისერთა ვაჟი ზურაბი თვითონ გამოდის სამსხვერპლოზე, რომ ამით მტრისაგან აწიოკებას ააცდინოს სამშობლო. ლეგენდების ამ ჯგუფს განეკუთვნება ვალახური გადმოცემა ციხის აშენებისა და მის კედელში დედისერთა ვაჟის ჩაკირვის შესახებ. აქაც, თავდაცვის მიზნით, ციხეს აშენებენ, მაგრამ კედლები ვერ გაუმაგრებიათ. უცხო ქვეყნიდან მოსულმა მოხუცმა მშენებლებს დედისერთა ვაჟის ჩაკირვა ურჩია. ვაჟი თავისი ნებით უნდა წასულიყო

სამსხვერპლოზე. მეფემ ხალხის ყრილობა მოიწვია და მოხუცის რჩევა გამოაცხადა. მდუმარება ჩამოვარდა. უცბად ხალხს ერთი ახალგაზრდა ყმაწვილი გამოეყო და განაცხადა სურვილი, რომ იგი თანახმაა ცოცხალი დაატანონ კედელში, ოღონდ კი ამით სამშობლოს ვუშველოო. როცა ამ გულად ვაჟკაცს კირით დაფარვას უპირებდნენ, მაშინ კვლავ მოვიდა ის მოხუცი და თქვა: კმარა! ამოიყვანეთ ვაჟი კედლიდან! მისი დატანება საჭირო აღარ არის: იმ ხალხს, რომელსაც ასეთი ერთგული შვილების გამოზრდა შეუძლია, მტერი ვერ დააზიანებსო ([3], გვ. 220). ვალახური თქმულების დასასრული ქართული პროზაული თქმულების დასასრულს ემთხვევა. დედისერთა ვაჟის თანხმობა და გულადობის გამო მისი განთავისუფლება ორივეგან ერთნაირადაა გადმოცემული, თითქოს ერთი თქმულების ვარიანტები იყოს!

სპეციალურ ლიტერატურაში აღნიშნულია, რომ წეს-ჩვეულებანი და ლეგენდები კედელში თუ საძირკველში ადამიანის ჩაშენების შესახებ ცნობილია მრავალ სხვა ქვეყანაშიც, მაგალითად: რუსეთში, სკანდინავიაში, იტალიაში, გერმანიასა და ინგლისში. იგი თავს იჩენს ისეთ საერთაშორისოდ ცნობილ ძეგლებში, როგორიცაა: ახალი ედა, მერლინის ცხოვრება და სხვ. ანალოგიური ლეგენდა რუსეთში ნოვგოროდთანაა დაკავშირებული. გადმოცემის მიხედვით, ციხის კედელში მშენებლებმა წყლის მოსატანად მიმავალი ქალიშვილი ჩააკირეს ([9], გვ. 98).

ჩვენ მიერ განხილული ქართული, სერბული და უნგრული ლეგენდები, ასევე მათ საფუძველზე აღმოცენებული ლექსები, მხატვრული შემოქმედების შედევრებს წარმოადგენენ. მათში მაღალი პოეტური განცდით გადმოცემულია ცოცხალი ადამიანის კედელში ჩაშენება, დედისა და შვილის გამოთხოვება, სამშობლოსათვის თავდადება. ამ ნაწარმოებთა სიუჟეტი საერთაშორისოდ გავრცელებულ სიუჟეტების წყებას მიეკუთვნება. ქართული ლეგენდა, რომელიც ვაჟის და არა ქალის ჩაშენების ამბავს მოგვითხრობს, ადგილობრივ საფუძველზეა აღმოცენებული.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
შოთა რუსთაველის სახელობის
ქართული ლიტერატურის ისტორიის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 20.1.1955)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. მ. ჩიქოვანი. ქართული ხალხური სიტყვიერების ისტორია. თბილისი, 1952.
2. პ. უმიკაშვილი. ხალხური სიტყვიერება, ტ. I, ფ. გოგიჩაიშვილის რედაქციით, 1937.
3. დ. ჭონქაძე. სურამის ციხე, მიხ. ზანდუკელის რედაქციით, 1932.
4. საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის რუსთაველის სახელობის ქართული ლიტერატურის ინსტიტუტის ფოლკლორული არქივი, კოლექცია II, ყდა 2.
5. Э. Тэйлор. Первобытная культура, М., 1931.
6. Сербский эпос. Academia. М., 1933.
7. Антология Венгерской поэзии. М., 1952.
8. Н. Минделн. Селение Сори. Сборник материалов для описания местностей и племен Кавказа, вып. XIX, 1894.
9. А. Хаханов. Очерки по истории грузинской словесности, т. IV, М., 1906.
10. Албанская поэзия, М., 1954.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XVI, № 10, 1955

ხელოვნების ისტორია

ქ. მელითაური

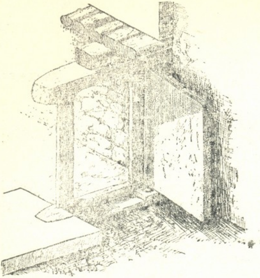
ვარძიის გამოქვაბულთა კარების აღდგენის საკითხისათვის

(წარმოადგინა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტმა გ. ჩიტაიამ 19.1.1955)

სამცხეში ოსმალოების თითქმის სამი საუკუნის განმავლობაში ბატონობის დროს უპატრონოდ დაგდებულ ვარძიის გამოქვაბულებს კარვი დღე არ დასდგომია: სხვაგვარ განადგურებასთან ერთად იტაცებდნენ გამოქვაბულების ხის ნაწილებს, კერძოდ კართა კონსტრუქციებს. ამიტომ წინათ არსებულ კართა თავდაპირველი კონსტრუქციის აღდგენა შესაძლებელია მხოლოდ კლდის ნაკვეთობაში დარჩენილ ნაკვალევთა მიხედვით.

რამდენიმე სახის კარია ვარძიაში. დანიშნულების მიხედვით კართა ორ სახესხვაობას ვხვდებით: სამხედრო დანიშნულებისას და ჩვეულებრივს. სამხედრო დანიშნულების კარის ერთი სახე კარგადაა შენახული იმ გვირაბში, რომელიც ტაძრის უკანაა და ზემოთ მიემართება სახიზარისაკენ. მტრისათვის გზის ჩასაკეტად გვირაბის კედლებში ერთმანეთის პირისპირ ღარებია ამოჭრილი, რომლებშიაც ბაზალტისაგან გამოთლილი სამი გრძელი ქვა ბოლოებით ჩაიდგმებოდა. კარის გატეხის გაძნელებისთვის მის წინ მაღალი საფეხურია გამოკვეთილი, ხოლო გვირაბის ჭერში მრგვალი ერდოა გახვრეტილი პატარა სენაკში. სენაკში მყოფ მცველს შეეძლო ერდოდან კარისათვის თვალყურის დევნება და კარის გატეხის მცდელთა იარაღით დაზიანება (სურ. 1).

სურ. 1. სახიზარის გვირაბის კარი. აქსონომეტრული განაკვეთი



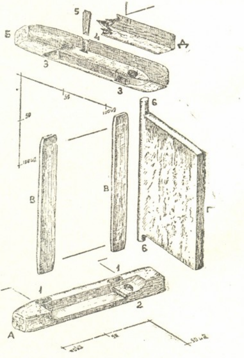
სურ. 2. ს. ჭაჭკრის დარბაზის კარი

ამავე გვირაბის დასაწყისში არის მეორე კარი, რომელიც ქუსლიანი კარის კონსტრუქციას იმეორებს, მაგრამ მთლიანად ქვისაგან ყოფილა დამზადებული.

რაც შეეხება ჩვეულებრივ კარებს, მათი ნიშნები გამოქვაბულებში მრავლადაა დარჩენილი. დიდ გამოქვაბულებს, რომელნიც თვით ადამიანის სამყოფელს, დარბაზს წარმოადგენენ, დიდი შესავალი კარი ჰქონია, მის თაღოვან ნაწილში კი ლუნეტი. მცირე სამეურნეო დანიშნულების გამოქვაბულებში — საუნჯეებში კი შესასვლელი კარი ცალფრთიანია და ხის ნაწილების ბუდეების მიხედვით ქუსლიანი უნდა ყოფილიყო. კარის ამ კონსტრუქციამ მესხეთ-ჯავახეთში ჩვენამდეც კი მოაღწია.

ქუსლიანი კარი საქართველოში ადრევე იყო გავრცელებული და მის არსებობას ჩ. წ. IV—VII საუკუნეების არმაზის სამარხებში გამოყენებული კარის ქვების ფრაგმენტები მოწმობს [1]. ნაგებობის ეს და სხვა ფრაგმენტები იმ დროისათვის უკვე გაუქმებული და არასაჭირო შენობებიდან იყო წამოღებული და სამარხის ყუთებისთვის გამოყენებული.

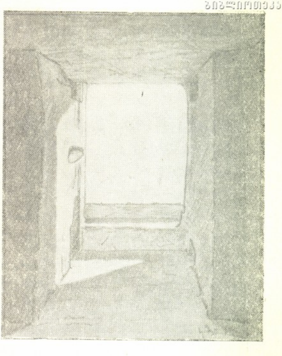
ვარძიის საუნჯეების ქუსლიანი კარის ანალოგიური კონსტრუქცია კარგად შემოგვინახა ხალხურმა უძველესმა შენობებმა, როგორიცაა გლეხის დარბაზი. ვარ-



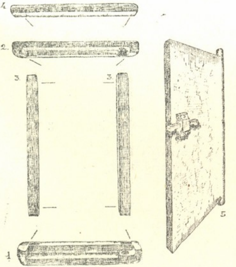
სურ. 3. ჭაჭკრის დარბაზის კარის ნაწილები: А—ზღურბლი, 1—ამყოლის ბუდე, 2—ბალიში საქუსლეთი, Б—ქუდი, 3—ამყოლის ბუდე, 4—კვალთი, 5—საკვალთი, В—ამყოლი, Г—ფრთა, 6—ქუსლი, Д—სამხვეწილთ

ძიიდან 1,5 კმ-ით დაშორებულ ს. ჭაჭკრის ხუციშვილების დარბაზში შემონახულია ასეთი კარი (სურ. 2).

კარის ქუდი და ზღურბლი დიდი მორებისაგანაა გამოჭრილი; ზღურბლის კვეთი 18×22 სმ-ია, ხოლო ქუდისა—24×22 (სურ. 3). შიგნიდან (დარბაზისაკენ) მათ თარო აქვთ ამოჭრილი. შემაღლებულ ზოლში ორი ამყოლის ბუდეა ამოკვეთილი. ზღურბლს ამის გარდა აქვს მარჯვნივ შემაღლებული საფეხური—ბალიში, რომელშიც საქუსლეა ამოკვეთილი. ამყოლები შედარებით სუსტია, მათი კვეთი 16×3,5 სმ-ს უდრის. კედელში თავ-ბოლოთი ჩამაგრებულ ზღურბლზე ამყოლები და კარის ფრთაა ქუსლით ასხმული. შემდეგ ამ ნაწილებს ზემოდან ჩამოცმული აქვს ქუდი, აგრეთვე კედელში



სურ. 4. ვარძია. გამოქვაბულ „22“-ს კარის ხვრეტი

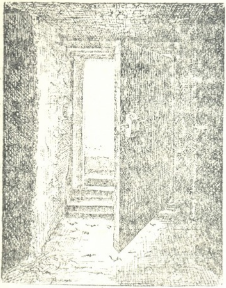


სურ. 5. გამოქვაბულ „22“ კარის ნაწილები: 1—ზღურბლი, 2—ქუდი, 3—ამყოლი, 4—სამხვეწილო, 5—ფრთა

თავ-ბოლოთი ჩამაგრებული. გამძლეობისათვის ქუდზე გადადებულია დამატებითი ძელი სამხვეწილო, კვეთით 16×20 სმ-ზე, რომლის ზევით გამართულია კედლის მთელ სისქეზე ხის მორებისაგან შედგენილი ბალავარი, ამ უკანასკნელზე კი გადაყვანილია კედლის წყობა. ქუდს ცალ მხარეზე აქვს ჩანაჭდევი—კვალთი, რომელშიაც საკვალთის ჩადგმით შეიძლება კარის დაკეტვა.

სრულიად ანალოგიური ნაწილებისაგან შედგენილად გვეხატება გამოქვაბულ საუნჯეთა კარებიც. ვინაიდან ქუდ-ზღურბლის თავ-ბოლოს ჩამაგრება ჩვეულებრივი ხერხით აღარ გამოდგებოდა, გამოქვაბულების ბუდეებში მათი ჩამაგრების სხვა წესია მი-

ღებული. თავით ბუდეში ჩამჯდარი ზღურბლის ან ქუდის ბოლოს ჩასადგმელად გამოჭრილია საგანგებო ღარი, რომელიც ბუდისკენ თანდათან უფრო ღრმადაა ჩაჭრილი. აღსანიშნავია, რომ ზღურბლის ბოლოს ჩასადგმელად ღარი შვეულია, ქუდისა კი თარაზული და შიგნითკენ მიმართული (სურ. 4). ბუდეებისა და ჩანაკვეთების ფორმა და ზომები შესაძლებლობას იძლევა წარმოდგენა ვიქონიოთ კარის სახესა და ნაწილებზე (სურ. 5 და 6).



სურ. 6. გამოქვაბულ „22" კარის აღდგენა

კარის ზღურბლის თავის ერთ ბუდეში ჩადგმის და მისი ბოლოს ღარში ჩაცურებით ჩამაგრების შემდეგ მასში ამოკვეთილ ბუდეებში მაგრდებოდა ამყოლები, ხოლო საქუსლეში კარის ქუსლი. ამის მერმე ჩაიდგმოდა ქუდი და ჩამოეცმოდა აჴყოლებსა და კარის ფრთის ზედა ქუსლს. ამ ოპერაციის გამო ქუდს ზევით დარჩენილი თავისუფალი ადგილის შესავსებად და კარის გასამაგრებლად ჩაიდგმოდა კიდევ ერთი ძელი სამხვეწილო. საკმარისი იყო ჩასადგმელი ღარიანი ბუდის ახლოს დიდი ლურსმნით ქუდისა და სამხვეწილოს გამაგრება, რომ მთელი ამ კარის კონსტრუქცია მტკიცე გამხდარიყო.

მესხეთმა შემოგვინახა ქუსლიანი კარის კონსტრუქციასთან ერთად მისი ქართული ტერმინებიც. აქ მოყვანილი ტერმინები ძველ ქართულ წყაროებშიც [2] და საბას ლექსიკონშიც გვხვდება [3], მხოლოდ „სამხვეწილო", როგორც ჩანს, მივიწყებულია ხალხში და ახლა უბრალოდ „ხე" ჰქვია. ხალხში რამდენადმე გადასხვაფერებულია ტერმინი „საკვალთი" „საკვალავად", ხოლო ამყოლი „ანყოლად" გამოითქმის.

კარის ასეთი კონსტრუქცია, რომელიც მთავარი ოთახის — დარბაზის ზურგის კედელში იყო მოთავსებული, სავსებით მოსახერხებელი იყო. აღსანიშნავია, რომ იგი მარტო ურდულით იკეტებოდა. ამ ურდულის გაღება კლდეში გაკეთებულ ჩანაკვეთში ხელის გაყოფით იყო შესაძლებელი. ეს გასაგებიცაა, რადგანაც დარბაზში მცხოვრები თავისათვის სხვაგვარად არც დაკეტავდა ამ გამოქვაბულს.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ვარძიის მუზეუმ-ნაკრძალი

(რედაქციას მოუვიდა 19.1.1955)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. გ. ლომთათიძე. არქეოლოგიური გათხრები საქართველოს ძველ დედაქალაქში. თბილისი, 1945, გვ. 24.
2. ივ. ჯავახიშვილი. მასალები ქართველი ერის მატერიალური კულტურის ისტორიისათვის. ტ. 1, თბილისი, 1946, გვ. 213, 221, 229.
3. სულხან-საბა ორბელიანი. ქართული ლექსიკონი. თბილისი, 1928.

მეთექვსმეტე ტომის შინაარსი

მათემატიკა

დრეკადობის თეორია

ფიზიკა

გეოფიზიკა

ასტრონომია

ქიმია

ქიმიური ტექნოლოგია

ბიოქიმია

გეოგრაფია

გეოლოგია

პალეონტოლოგია

ტექნიკა

ᲔᲜᲔᲠᲒᲔᲢᲘᲙᲐ

ᲛᲔᲢᲐᲚᲣᲠᲒᲘᲐ

ᲑᲝᲢᲐᲜᲘᲙᲐ

ᲤᲘᲢᲝᲞᲐᲗᲝᲚᲝᲒᲘᲐ

ᲛᲔᲛᲪᲔᲜᲐᲠᲔᲝᲑᲐ

ᲜᲘᲐᲓᲐᲒᲛᲪᲝᲓᲜᲔᲝᲑᲐ

ᲔᲜᲢᲝᲛᲝᲚᲝᲒᲘᲐ

პარაზიტოლოგია

ზოოლოგია

ფიზიოლოგია

ექსპერიმენტული მედიცინა

ფსიქოლოგია

ენათმეცნიერება

ფილოლოგია

ისტორია

არქეოლოგია

ლიტერატურის ისტორია

ხელოვნების ისტორია

ႠႥႲႭႰႧႠ ႱႠႻႨႤႡႤႪႨ

მთ. რედაქტორი აკად. ნ. მ უ ს ხ ე ლ ი შ ვ ი ლ ი

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 7.12.1955; შეკვ. № 1416; ანაწყობის ზომა 7×11;
ქაღალდის ზომა 70×108; სააღრიცხვო-საგამომც. ფურცლების რაოდენობა 7,5;
ნაბეჭდი ფურცლების რაოდენობა 6; უე 07665; ტირაჟი 800.

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

დამტკიცებულია
საქართველოს სსრ მეცნ. აკად. პრეზიდიუმის მიერ
22.10.1947

დებულება „საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბის“ შესახებ

1. „მოამბეში“ იბეჭდება საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მეცნიერი მუშაკებისა და სხვა მეცნიერთა წერილები, რომლებშიც მოკლედ გადმოცემულია მათი გამოკვლევების მთავარი შედეგები.

2. „მოამბეს“ ხელმძღვანელობს სარედაქციო კოლეგია, რომელსაც ირჩევს საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის საერთო კრება.

3. „მოამბე“ გამოდის ყოველთვიურად (თვის ბოლოს), გარდა ივლის-აგვისტოს თვისა — ცალკე ნაკვეთებად, დაახლოებით 5 ბეჭდური თაბახის მოცულობით თითოეული. ერთი წლის ყველა ნაკვეთი (სულ 10 ნაკვეთი) შეადგენს ერთ ტომს.

4. წერილები იბეჭდება ქართულ ენაზე, იგივე წერილები იბეჭდება რუსულ ენაზე პარალელურ გამოცემაში.

5. წერილის მოცულობა, ილუსტრაციების ჩათვლით, არ უნდა აღემატებოდეს 8 გვერდს. არ შეიძლება წერილების დაყოფა ნაწილებად სხვადასხვა ნაკვეთში გამოსაქვეყნებლად.

6. მეცნიერებათა აკადემიის ნამდვილი წევრებისა და წევრ-კორესპონდენტების წერილები უშუალოდ გადაეცემა დასაბეჭდად „მოამბის“ რედაქციას, სხვა ავტორების წერილები კი იბეჭდება საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის ნამდვილი წევრის ან წევრ-კორესპონდენტის წარმოდგენით. წარმოდგენის გარეშე შემოსულ წერილებს რედაქცია გადასცემს აკადემიის რომელიმე ნამდვილ წევრს ან წევრ-კორესპონდენტს განსახილველად და, მისი დადებითი შეფასების შემთხვევაში, წარმოსადგენად.

7. წერილები და ილუსტრაციები წარმოდგენილი უნდა იქნეს ავტორის მიერ სავსებით გამზადებული დასაბეჭდად. ფორმულები მკაფიოდ უნდა იყოს ტექსტში ჩაწერილი ხელით. წერილის დასაბეჭდად მიღების შემდეგ ტექსტში არავითარი შესწორებისა და დამატების შეტანა არ დაიშვება.

8. დამოწმებული ლიტერატურის შესახებ მონაცემები უნდა იყოს შეძლებისდაგვარად სრული: საჭიროა აღინიშნოს ჟურნალის სახელწოდება, ნომერი სერიისა, ტომისა, ნაკვეთისა გამოცემის წელი, წერილის სრული სათაური; თუ დამოწმებულია წიგნი, სავალდებულოა წიგნის სრული სახელწოდების, გამოცემის წლისა და ადგილის მითითება.

9. დამოწმებული ლიტერატურის დასახელება წერილის ბოლოში ერთვის სიის სახით. ლიტერატურაზე მითითებისას ტექსტში ან შენიშვნებში ნაჩვენები უნდა იქნეს ნომერი სიის მიხედვით, ჩასმული კვადრატულ ფრჩხილებში.

10. წერილის ტექსტის ბოლოს ავტორმა უნდა აღნიშნოს სათანადო ენებზე დასახელება და ადგილმდებარეობა დაწესებულებისა, სადაც შესრულებულია ნაშრომი. წერილი თარიღდება რედაქციაში შემოსვლის დღით.

11. ავტორს ეძლევა გვერდებად შეკრული ერთი კორექტურა მკაცრად განსაზღვრული ვადით (ჩვეულებრივად, არა უმეტეს ერთი დღისა). დადგენილი ვადისთვის კორექტურის წარმოუდგენლობის შემთხვევაში რედაქციას უფლება აქვს შეაჩეროს წერილის დაბეჭდვა, ან დაბეჭდოს იგი ავტორის ვიზის გარეშე.

12. ავტორს უფასოდ ეძლევა მისი წერილის 50 ამონაბეჭდი (25 ამონაბეჭდი თითოეული გამოცემიდან) და თითო ცალი „მოამბის“ ნაკვეთებისა, რომლებშიც მისი წერილია მოთავსებული.

რედაქციის მისამართი: თბილისი, ძერჟინსკის ქ., 8

СООБЩЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК ГРУЗИНСКОЙ ССР, Т. XVI, 1955

Основное, грузинское издание

ფასი 5 მან.

დამტკიცებულია
საქართველოს სსრ მეცნ. აკად. პრეზიდიუმის მიერ
22.10.1947

დებულება „საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბის“ შესახებ

1. „მოამბეში“ იბეჭდება საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მეცნიერი მუშაკებისა და სხვა მეცნიერთა წერილები, რომლებშიც მოკლედ გადმოცემულია მათი გამოკვლევების მთავარი შედეგები.

2. „მოამბეს“ ხელმძღვანელობს სარედაქციო კოლეგია, რომელსაც ირჩევს საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის საერთო კრება.

3. „მოამბე“ გამოდის ყოველთვიურად (თვის ბოლოს), გარდა ივლის-აგვისტოს თვისა — ცალკე ნაკვეთებად, დაახლოებით 5 ბეჭდური თაბახის მოცულობით თითოეული. ერთი წლის ყველა ნაკვეთი (სულ 10 ნაკვეთი) შეადგენს ერთ ტომს.

4. წერილები იბეჭდება ქართულ ენაზე, იგივე წერილები იბეჭდება რუსულ ენაზე პარალელურ გამოცემაში.

5. წერილის მოცულობა, ილუსტრაციების ჩათვლით, არ უნდა აღემატებოდეს 8 გვერდს. არ შეიძლება წერილების დაყოფა ნაწილებად სხვადასხვა ნაკვეთში გამოსაქვეყნებლად.

6. მეცნიერებათა აკადემიის ნამდვილი წევრებისა და წევრ-კორესპონდენტების წერილები უშუალოდ გადაეცემა დასაბეჭდად „მოამბის“ რედაქციას, სხვა ავტორების წერილები კი იბეჭდება საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის ნამდვილი წევრის ან წევრ-კორესპონდენტის წარმოდგენით. წარმოდგენის გარეშე შემოსულ წერილებს რედაქცია გადასცემს აკადემიის რომელიმე ნამდვილ წევრს ან წევრ-კორესპონდენტს განსახილველად და, მისი დადებითი შეფასების შემთხვევაში, წარმოსადგენად.

7. წერილები და ილუსტრაციები წარმოდგენილი უნდა იქნეს ავტორის მიერ სავსებით გამზადებული დასაბეჭდად. ფორმულები მკაფიოდ უნდა იყოს ტექსტში ჩაწერილი ხელით. წერილის დასაბეჭდად მიღების შემდეგ ტექსტში არავითარი შესწორებისა და დამატების შეტანა არ დაიშვება.

8. დამოწმებული ლიტერატურის შესახებ მონაცემები უნდა იყოს შეძლებისდაგვარად სრული: საჭიროა აღინიშნოს ჟურნალის სახელწოდება, ნომერი სერიისა, ტომისა, ნაკვეთისა გამოცემის წელი, წერილის სრული სათაური; თუ დამოწმებულია წიგნი, სავალდებულოა წიგნის სრული სახელწოდების, გამოცემის წლისა და ადგილის მითითება.

9. დამოწმებული ლიტერატურის დასახელება წერილის ბოლოში ერთვის სიის სახით. ლიტერატურაზე მითითებისას ტექსტში ან შენიშვნებში ნაჩვენები უნდა იქნეს ნომერი სიის მიხედვით, ჩასმული კვადრატულ ფრჩხილებში.

10. წერილის ტექსტის ბოლოს ავტორმა უნდა აღნიშნოს სათანადო ენებზე დასახელება და ადგილმდებარეობა დაწესებულებისა, სადაც შესრულებულია ნაშრომი. წერილი თარიღდება რედაქციაში შემოსვლის დღით.

11. ავტორს ეძლევა გვერდებად შეკრული ერთი კორექტურა მკაცრად განსაზღვრული ვადით (ჩვეულებრივად, არა უმეტეს ერთი დღისა). დადგენილი ვადისთვის კორექტურის წარმოუდგენლობის შემთხვევაში რედაქციას უფლება აქვს შეაჩეროს წერილის დაბეჭდვა, ან დაბეჭდოს იგი ავტორის ვიზის გარეშე.

12. ავტორს უფასოდ ეძლევა მისი წერილის 50 ამონაბეჭდი (25 ამონაბეჭდი თითოეული გამოცემიდან) და თითო ცალი „მოამბის“ ნაკვეთებისა, რომლებშიც მისი წერილია მოთავსებული.

რედაქციის მისამართი: თბილისი, ძერჟინსკის ქ., 8

СООБЩЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК ГРУЗИНСКОЙ ССР, Т. XVI, № 10, 1955

Основное, грузинское издание