



აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

AKAKITSERETELI STATE UNIVERSITY

**ურთმეზი ტ. V (39)**

**ზუსტი და საბუნებისმეტყველო**

**მეცნიერებათა სერია**

**PROCEEDINGS V (39)**

**THE SERIES OF EXACT AND**

**NATURAL SCIENCES**

აკაკი ტყეშელაშვილის სახელმწიფო უნივერსიტეტი



AKAKI TSERETELI STATE UNIVERSITY

პროცედი V (39)  
ზუსტი და საბუნებისმეტყველო  
მეცნიერებათა სერია

PROCEEDINGS V (39)  
THE SERIES OF EXACT AND  
NATURAL SCIENCES

თბილისი

2013



აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი (აწსუ)  
 ზუსტი და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებანი  
 რესპუბლიკური სამეცნიერო-პედაგოგიური კონფერენციის  
 შრომები ტ. V (39)

ემღვნება

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის (ყოფილი  
 პედინსტიტუტის) დაარსებიდან 80 წლის და თვალსაჩინო  
 ქართველი მეცნიერისა და პედაგოგის  
 ვლადიმერ (კაკო) სულავას  
 დაბადების 100 წლის იუბილეებს

რედაქტორი: ფ.მ.მ.დ., ემერეტუს პროფესორი  
 თორნიკე ეფრემიძე

სარედაქციო კოლეგია:

ფ.მ.მ.დ., პროფესორი აკაკი გირგვლიანი; ქ.მ.კ., ასოც.  
 პროფესორი ნინო კიკნაძე; ფ.მ.მ.კ., ასოც. პროფ. დათო  
 ლეკვეიშვილი; გ.მ.კ., ასოც. პროფ. დალი მიქაუტაძე; ფ.მ.მ.კ.,  
 პროფ. დავით ნიშნიანიძე; ფ.მ.მ.დ., პროფ. გიორგი ონიანი; ბ.მ.კ.,  
 პროფ. შოთა ჯინჯოლია.

ISBN 978-9941-453-10-6

© აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა  
 ქუთაისი, 4600, თამარ მეფის 59. ტელ.: 24 00 21

E-mail: [atsugamomcemloba@gmail.com](mailto:atsugamomcemloba@gmail.com)



თ. ეფრემიძე

ემერეტუს პროფესორი

**ღვალთმოსილი აღმზრდელის და მოქალაქის დოცენტ  
ვლადიმერ (კაკო) სულავას (1913-1962) საიუბილეო ხსოვნა**

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის (ყოფილი ქუთაისის სახელმწიფო პედაგოგიური ინსტიტუტის) ოთხმოცწლოვანი იუბილის დღეებში ათასობით ადამიანი კეთილად მოიხსენიებს იმ პირველ კურსდამთავრებულებს, რომლებმაც ინსტიტუტის დამაარსებელთა გვერდით ათეულობით წლები იღვაწეს კვალიფიციურ ახალგაზრდა მასწავლებელთა კადრების მოსამზადებლად და პირნათლად მოიხადეს თავიანთი ვალი სამშობლოს წინაშე.

კურსდამთავრებულა პირველი თაობის ერთ-ერთი შესანიშნავი წარმომადგენელი იყო ვლადიმერ (კაკო) არჩილის ძე სულავა, რომელიც წლების მანძილზე ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტის დეკანად და ფიზიკის კათედრის გამგედ მუშაობდა და რომელსაც ახლა დაბადებიდან 100 წელი შეუსრულდა.

დაიბადა 1913 წლის 26 მარტის, დაბა მარტვილში, რუსული ენისა და ლიტერატურის მასწავლებელ არჩილ სულავას ოჯახში. გულისხმიერი და სპეტაკი პედაგოგის, შემდგომში პედაგოგიკის რუსული ენის კათედრის ლექტორის, ა. სულავას ოჯახი 1919 წლიდან ქუთაისში გადმოდის საცხოვრებლად. 1920 წელს ვ.სულავა შედის სკოლაში და 1931 წელს ამთავრებს მას.

1931 წლის აგვისტოდან ნოემბრამდე იგი ამიერკავკასიის მინერალური მადნეულის სამმთრველოში მუშაობს მომპირკეთებლად, 1932 წლის ივნისამდე კი - ქუთაისის საქალაქო საბჭოს აღმასკომის კომგანის ინვენტარიზატორად. აქ გაწეული მუშაობისათვის მას რამდენჯერმე გამოეცხადა მადლობა და დაჯილდოვდა ფასიანი საჩუქრით.

1932 წელს ვლ. სულავა გამოცდებს აბარებს თბილისის სატრანსპორტო ინსტიტუტში, ხოლო 1933 წელს ქუთაისში პედაგოგიური ინსტიტუტის გადმოტანის შემდეგ, ის ამ ინსტიტუტის ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტის ფიზიკის სპეციალობის II კურსის სტუდენტი.

F 14629





ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტზე იმ პერიოდში მოღვაწეობდნენ ცნობილი მეცნიერები და პედაგოგები - მ. მირიანაშვილი, ა. ბენაშვილი, ა. ხარაძე, ლ. გიკიელი, გრ. ხაჯალია, გ. ჭოლოშვილი, ლ. ხუციშვილი, ა. კორძაძე, ნ. გაბადაძე, ა. ბეგიაშვილი და სხვები, რომელთა უმეტესობამ თბილისის უნივერსიტეტში მიიღო განავლება და ქუთაისში დაამკვიდრეს სწავლა-განათლების დაახლოებით ისეთივე დონე, როგორც უნივერსიტეტში იყო. აღსანიშნავია, აგრევე, რომ ვლ. სულავას მოუსმენია დიდი მათემატიკოსის მ. ლავრენტიევის ლექციები ჩვენს ინსტიტუტში.

1936 წელს ვლ. სულავა წარჩინებით ამთავრებს ინსტიტუტს. კურსდამთავრებულთა ამ ჯგუფში შედიოდნენ: გ. სამხარაძე, მ. გობეჯიშვილი, ე. სიამაშვილი, გ. ფოფხაძე, შ. ჩხარტიშვილი, ვ. სულავა, ე. გრიგოლია, უ. მიქაძე, ე. კაციტაძე, დ. გაბრიაძე, ე. ბელეშაძე და სხვები, რომელთაგან ზოგიერთი, და მათ შორის, ვლადიმერ სულავაც, ფიზიკის კათედრის ასპირანტად ჩაირიცხა მისადები გამოცდების ჩაბარების შემდეგ. ვლ. სულავას საოჯახო არქივში ინახება ფიზიკის კათედრის სხდომის №8 ოქმის ამონაწერი (1936 წ. 10 ივლისი), რომელსაც ხელს აწერს თეორიული ფიზიკის კათედრის გამგე მ. მირიანაშვილი. აქ ნათქვამია: „ვინაიდან სტ.ვლ. სულავამ და გ. გობეჯიშვილმა წარჩინებით დაამთავრეს პედიინსტიტუტი (ყველა სავალდებულო საგნები და სახელმწიფო გამოცდები ჩააბარეს ფრიადზე), ფიზიკის კათედრა აუცილებლად თვლის მათ დატოვებას კათედრასთან სამუშაოდ და შუამდგომლობს ფაკულტეტის და დირექციის წინაშე, რათა დამტკიცებულნი იქნან აღნიშნული კათედრის ასპირანტებად“.

სულ მალე ვლ. სულავა გამოცდებს ფრიადებზე აბარებს გერმანულ ენასა და დიალექტიკურ მატერიალიზმში. ფიზიკის კათედრის გამგე მ. მირიანაშვილი უდგენს საასპირანტო გეგმას, რომლის მიხედვითაც მას უნდა დაემუშაებინა თეორიული ფიზიკის შემდეგი ნაწილები: 1. მექანიკა და სტატისტიკური ფიზიკა; 2. ელექტროდინამიკა და სპეციალური ფარდობითობის თეორია, რომლის წარჩინებით ჩასაბარებლად 1936-37 წლებში ვლ. სულავამ დაამუშავა იმავე გეგმით განსაზღვრული რვა მონოგრაფია. იმავე დროს იგი ექსპერიმენტული ფიზიკის კათედრის ასისტენტი, რომლის პედაგოგიურ მოღვაწეობას (1936-38 წწ) კათედრის

გამგე დოც. ლ. ხუციშვილი მაღალ შეფასებას აძლევს.

ასპირანტურაში ახალგაზრდა მკვლევარის დამაბულ საქმიანობაზე ერო მუშაობაზე წარმოდგენას გვაძლევს ვლ. სულავას პირად არქივში გემონახული მასალები. არქივში ინახება აკადემიკოს მ. მირიანაშვილის თეორიული ფიზიკის ლექციების ჩანაწერები, აქვეა ლექციები მათემატიკის სხვადასხვა ნაწილიდან - პროფ. გრ. ხაყალიასი, დოცენტების ა. ბეგიაშვილისა და გ. გაბადაძისა, და რაც ყველაზე მეტად საინტერესოა, - დიდი მათემატიკოსის, აკადემიკოს პ. ლავრენტიევისა.

ვლ. სულავას სადისერტაციო შრომაში განხილული და დამუშავებულია თეორიული სპექტროსკოპიის ერთ-ერთი ფუნდამენტური საკითხი. როგორც ცნობილია, ატომები და მოლეკულები ნივთიერების სხვადასხვა აგრეგატულ მდგომარეობაში ასხივებენ ან შთანთქავენ ელექტრომაგნიტურ ტალღას და მათ შორის - სინათლეს. როლის დროსაც ხდება სისტემის აღზნებული ან ნორმალური მდგომარეობიდან, შესაბამისად, ნორმალურ ან აზნებულ მდგომარეობაში გადასვლა და სინათლის კვანტის გამოსხივება, ან შთანთქმა, რასაც გარკვეული სიგრძის გამოსხივების, ან შთანთქმის შესატყვის სპექტრულ ხაზს ბუნებრივ სიგანესთან ერთად აქვს გაგანიერების სხვა მიზეზებიც. ესენია: დოპლერის ტიპის (გამოწვეულია ატომების მოძრაობით), ატომებისა და მოლეკულების დაჯახებითი, შტარკისებური (ელექტრული ველის მოქმედებითაა გამოწვეული) და სხვა ტიპის გაგანიერება. ერთგვაროვან და არაერთგვაროვან დიდსიმკვრივიან გაზებში ატომებს შორის რეზონანსული ურთიერთქმედებით გამოწვეული გაგანიერება შესწავლილი იყო ა. ვლასოვისა და ვ. ფურსოვის მიერ 1936 წელს. ვლ. სულავამ, განაზოგადა რა ვლასოვ-ფურსოვის მეთოდი მულტიპლექტური სპექტრული ხაზების სიგანის განსაზღვრისათვის მცირე და დიდსიმკვრივიან გაზებში, იპოვა იმ განსხვავების მიზეზები, რომლებიც მარტივი სპექტრისაგან განსხვავებით, აქვს სხვადასხვა ატომების დუბლექტურ ხაზებს. ვლ. სულავამ დაადგინა, რომ ამის მიზეზი იყო საწყის და საბოლოო მდგომარეობათა მიხედვით აჯამვასა და გასაშუალებას შორის განსხვავება. მულტიპლექტური სპექტრული ხაზების გაგანიერების სულავასეული თეორია მისგან დამოუკიდებლად განვითარე-

ბული იყო 1946 წელს ამერიკელი ფიზიკოსის ფულის მიერ.

1941 წლის აგვისტოდან ვლ. სულავა ფიზიკის კათედრის დოცენტის თანამდებობაზე ინიშნება. აქედან დაწყებული, ამ პერიოდში ინიშნავი პედაგოგის, მეცნიერისა და აღმზრდელის მოღვაწეობის ახალი პერიოდი იწყება. იგი 1944 წლის მაისიდან ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტის დეკანია 1962 წლამდე. 1946 წლიდან მ. მირიანაშვილის ყოფილ კათედას სათავეში ჩაუდგა დოცენტი ვლ. სულავა. 1949 წელს, ექსპერიმენტული ფიზიკის კათედრის გამგის, დოცენტ ლ. ხუციშვილის გარდაცვალებით შემდეგ, კათედრას განაგებდა დოცენტი შ. გობეჯიშვილი, ხოლო 1955 წლიდან, კათედრების ისევ გაერთიანების შემდეგ, ვლ. სულავა გამსხვილებული კათედრის გამგეა გარდაცვალებამდე.

ვლ. სულავას დეკანობის წლები ემთხვევა ინსტიტუტის ომის-შემდგომი პერიოდის ცხოვრებას. ამ წლებში გაფართოვდა და გაიზარდა, როგორც ფაკულტეტის ლექტორ-მასწავლებელთა, ასევე სტუდენტთა შემადგენლობა. აღდგენითი პერიოდის ეკონომიკური და ყოფითი სიძნელები, ყოვლდღიურად, ისევ მრავალ საჭირობოროტო და ძნელად გადასაწყვეტ სასწავლო-სააღმზრდელო ამოცანებს აყენებდა ფაკულტეტის დეკანისა და კათედრის გამგის წინაშე. ამ საქმეს ბატონი კაკო დიდი პედაგოგიური და ორგანიზატორული ოსტატობით ართმევდა თავს.

49 წლის ასაკში გარდაიცვალა ვლადიმერ სულავა. პატივი და დაფასება არ აკლდა არც ქალაქის და არც რესპუბლიკის სამეცნიერო, სახელმწიფო და პარტიული ორგანიზაციებისაგან. ვლადიმერ სულავა 1943 წლიდან პარტიის წევრი იყო, მიღებული ჰქონდა მედლები - „კავკასიის დაცვისათვის“, „შრომითი მამაცობისათვის დიდ სამამულო ომში 1941-45 წწ“, აგრეთვე „შრომითი წარჩინებისა“ (1961) და „სახალხო განათლების წარჩინებულის“ (1958 წ.). მაგრამ ყველაზე დიდი ჯილდო მისთვის იყო ის სიყვარული, რომელსაც ამაგდარი ადამიანის მიმართ ავლენდა და კვლავაც ავლენს ყველა მისი ახლობელი, ყოფილი სტუდენტები, თანამშრომლები, ნაცნობ-მეგობრები. მისი ნათელი ხსოვნა არასდროს გაფერმკრთალდება.

## ი. ლექვიანაძე

აკ.წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის დეპარტამენტი



## კაკო სულავა და მათე მირიანაშვილი

განხილულია აკადემიკოსს მათე მირიანაშვილის ზეგავლენა ფიზიკა--მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატ, დოცენტ ვლადიმერ (კაკო) სულავას მეცნიერად ჩამოყალიბების საქმეში. განხილულია ასპირანტურაში სწავლების წლები, როგორც ყოფილ ალ.წულუკიძის სახელობის ქუთაისის პედაგოგიურ ინსტიტუტში, ასევე მოსკოვის მ.ლომონოსოვის სახელობის უნივერსიტეტში. მისი მუშაობა სადისერტაციო თემაზე.

აკად. მათე მირიანაშვილის როლი დოცენტ კ. სულავას ფიზიკის ისტორიისა და ფილოსოფიური საკითხებით დაინტერესებაში. კ. სულავას მიერ აკად. მათე მირიანაშვილის ლექციების ჩანაწერები. მისი ხელნაწერი სახელმძღვანელოები ზოგადსა და თეორიულ ფიზიკაში. სამეცნიერო მუშაობასთან ერთად მისი საორგანიზაციო საქმიანობა.

ვლადიმერ (კაკო) არჩილის ძე სულავა ყოფილი ალ. წულუკიძის სახელობის სახელმწიფო პედაგოგიური ინსტიტუტის იმ კურსდამთავრებულთა პირველი თაობის ერთ-ერთი შესანიშნავი წარმომადგენელი იყო, რომლებმაც ინსტიტუტის დამაარსებელთა გვერდით ათეულობით წლები იღვაწეს კვალიფიციურ ახალგაზრდა მასწავლებელთა კადრების მოსამზადებლად და პირნათლად მოიხადეს თავიანთი ვალი სამშობლოს წინაშე.

იგი გახლდათ უმაღლესი სკოლის ხელმძღვანელობის მდიდარი შესაძლებლობის მქონე, შესაშური პედაგოგიური უნარით დაჯილდოებული პიროვნება და ღრმადპროფესიონალი მეცნიერი. შეიძლება დავასახელოთ ის მრავალრიცხოვან ფიზიკოსთა ჯგუფი, რომლებმაც კ. სულავას მემკვიდრეობით შეძლეს ზიარებოდნენ ამ უძველესი მეცნიერების სიღრმისეულ საიდუმლოებას, რათა შემდგომ ხვებისათვის გაენაწილებინათ საკუთარი მიღწევები.

ვლადიმერ (კაკო) სულავა დაიბადა 1913 წლის 23 მარტს დაბა მარტვილში, გულისხმიერი და სპეტაკი პედაგოგის, რუსული ენისა და ლიტერატურის მასწავლებლის, შემდგომში ყოფილი პედაგოგიური ინსტიტუტის რუსული ენის კათედრის თანამშრომლის არჩილ სულავას ოჯახში.

ის წლები, როცა კაკო სულავა სწავლობდა საშუალო სკოლაში,



ე.ი. 1920-1931 წლები (ქუთაისის რკინიგზის №12 სკოლა), ითვლებოდა ფიზიკა-მათემატიკური და საერთოდ საბუნებისმეტყველო მეცნიერებით ქართველი ახალგაზრდობის გატაცების პერიოდს. ამ წლებში თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში ჩამოყალიბდა პროფესიონალ ქართველ მათემატიკოსთა, ფიზიკოსთა, ასტრონომთა, და მასწავლებელთა თაობა, რომლებიც აღზრდილი იყვნენ პროფესორების: ანდრია რაზმაძის, ალექსანდრე დიდებულის, ანდრია ბენაშვილის და სხვა მეცნიერთა მიერ, რომლებმაც ახალგაზრდობის გატაცებას საბუნებისმეტყველო მეცნიერების და ტექნიკის დარგისადმი რეალური საფუძველი მისცეს. ამით უნდა აიხსნას ის გარემოება, რომ რუსული ენისა და ლიტერატურის პროფესიონალი მასწავლებლის - არჩილ სულავას ვაჟიშვილი, უფრო მეტი ყურადღებით სწავლობს საბუნებისმეტყველო და ფიზიკა-მათემატიკურ საგნებს. თუმცა ბ-ნი არჩილი ხომ მათემატიკასაც (არითმეტიკას) ასწავლიდა რევოლუციამდელ სკოლაში. ე.ი. გენეტიკურადაც ვლადიმერ (კაკო) სულავას პროფესიული ორიენტაციის საკითხი გამართლებული იყო.

1931 წელს იგი ამთავრებს საშუალო სკოლას წარჩინებით და ებმება სხვადასხვა შრომით საქმიანობაში. თუმცა სკოლაში სწავლის პერიოდშიც იგი ზაფხულის არდადეგებზეც ასრულებდა სხვადასხვა ფიზიკურ სამუშაოებს, რისთვისაც მას რამდენჯერმე გამოეცხადა მადლობა და დაჯილდოვდა ფასიანი საჩუქრებით (2.გვ11).

1932 წელს ვლადიმერ (კაკო) სულავა გამოცდებს აბარებს თბილისის სატრანსპორტო ინსტიტუტში, ხოლო 1933 წელს, ქუთაისში პედაგოგიური ინსტიტუტის გადმოტანის შემდეგ, ის ამ ინსტიტუტის ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტის ფიზიკის სპეციალობის პირველი კურსის სტუდენტიცა.

ფიზიკა მათემატიკის ფაკულტეტზე იმ პერიოდში მოღვაწეობდნენ ცნობილი მეცნიერები და პედაგოგები - მ. მირიანაშვილი, ა. ბენაშვილი, ა. ხარაძე, ლ. გოკიელი, გრ. ხაჭალია, გ.ჭოლაშვილი, ლ. ხუციშვილი, ა. კორძაძე, ნ. გაბადაძე, ა. ბეგიაშვილი და სხვები, რომელთა უმეტესობამ თბილისის უნივერსიტეტში მიიღო განათლება და ქუთაისში დაამკვიდრეს სწავლა - განათლების დაახლოებით ისეთივე დონე, როგორც თბილისის უნი-

ვერსიტეტში იყო.

აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ კ. სულავას მოუსმენია ყოფილ პედ. ინსტიტუტში დიდი მათემატიკოსის მ. ლავრენტიევის ლექციები.

დოც. კაკო სულავას ჭეშმარიტი მასწავლებელი და აღზრდილი გახლდათ დიდი ქართველი მეცნიერი და პედაგოგი-პროფესორი მათე მირიანაშვილი, რომელიც 1939 წლიდან 1941 წლამდე თეორიული ფიზიკის კათედრის გამგედ მუშაობდა ქუთაისის პედაგოგიურ ინსტიტუტში, თბილისის უნივერსიტეტში ზოგადი ფიზიკის კათედრის გამგის (1933-1975) თანამდებობასთან ერთად, პროფ. მათე მირიანაშვილი ითავსებდა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ფიზიკისა და გეოფიზიკის ინსტიტუტის დირექტორის მოადგილის (1941-1943), დირექტორის (1943-1951), ფიზიკის ინსტიტუტის დირექტორის (1951), თბილისის უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტის დეკანის (1955-1959), პრორექტორის (1959-1973) თანამდებობებს, მაგრამ ქუთაისის პედაგოგიური ინსტიტუტის ფიზიკის კათედრასთან და დოც. კ. სულავასთან კავშირურთიერთობა არასდროს შეუწყვეტია. (პ.გვ80) ამ ურთიერთობის შედეგი იყო ის, რომ სტუდენტმა კ. სულავამ ჩაიწერა და გადაამუშავა 1933-1934 და 1934 -1935 სასწავლო წელს დოც. მ. მირიანაშვილის ლექციების კურსი თეორიულ ფიზიკაში (ოთხ ნაწილად: 1. თეორიული მექანიკა, 2. სტატისტიკური ფიზიკა, 3. ელექტროდინამიკა, 4. კვანტური მექანიკა). ამავე ურთიერთობის პირობებში მომზადდა ბატონი მათეს „სალექციო კურსი ზოგად ფიზიკაში“, რომლის პირველი გამოცემა მოხდა 1938 წელს „ფიზიკის კურსის“ სახელწოდებით და რომელმაც შემდგომი გადამუშავებისა და გამოცემების (1946. II ნაწ.) შემდეგ ქართულ ფიზიკურ ლიტერატურაში კლასიკური ფორმისა და შინაარსის სახელმძღვანელოების სახელი დაიმკვიდრა.

თავის ავტობიოგრაფია I-ში (29/VI-38) კ.სულავა წერს: „ქუთაისის პედაგოგიური ინსტიტუტის ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტი (ფიზიკური სექცია) დავამთავრე 1936 წელს და ჩავაბარე სახელმწიფო გამოცდები „ფრიადზე“.

ყველა კურსზე საგნებს მე ვაბარებდი ფრიადზე და აქტი-

ურად მუშაობდი სტუდენტურ სამეცნიერო წრეში. დრო და დრო ვაკეთებდი მოხსენებებს, რისთვისაც 5-ჯერ მომანიჭეს ფულადი და სხვა ნივთიერი პრემია, აგრეთვე მოსკოვში და ლენინგრადში მოგზაურობით.

სახელმწიფო გამოცდების „ფრიაღზე“ ჩაბარების ფიზიკის კათედრის წარდგინების და შესაბამისი გამოცდების ჩაბარების შემდეგ მე ჩარიცხული ვიყავი ფიზიკის კათედრის ასპირანტად.

კ. სულავა მოწინავე სტუდენტი იყო. ის არ კმაყოფილდებოდა ინსტიტუტში მიღებული ცოდნით. მისგან ხშირად გაიგონებდით, რომ აუცილებელია ინსტიტუტში მიღებული ცოდნის გაღრმავება.

1936 წლის 10/VII ჩატარებული ფიზიკის კათედრის სხდომის №6 ოქმის ამონაწერში ვკითხულობთ:

„მოისმინეს კათედრის გამგის დოცენტ მათე მირიანაშვილის განცხადება კურსდამთავრებული სტუდენტების კ. სულავას და შ. გობეჯიშვილის ფიზიკის კათედრასთან ასპირანტებად დატოვების შესახებ.

დაადგინეს: ვინაიდან სტუდენტებმა კ. სულავამ და შ. გობეჯიშვილმა წარჩინებულად დაამთავრეს პედაგოგიური ინსტიტუტი (ყველა სავალდებულო საგნები და სახელმწიფო გამოცდები ჩააბარეს ფრიაღზე); ფიზიკის კათედრა აუცილებლად თვლის მათ დატოვებას კათედრასთან სამუშაოდ და შუამდგომლობს ფაკულტეტის დირექციის წინაშე, რათა დამტკიცებული იქნან აღნიშნული კათედრის ასპირანტებად.

იმავდროულად ასპირანტი კ. სულავა ღებულობს ფიზიკის კათედრის გამგის და ასპირანტის ხელმძღვანელის პროფ. მათე მირიანაშვილის დავალებას საასპირანტურო საგნების და შესაბამისი ლიტერატურის შესახებ. ეს დოკუმენტი- „ფიზიკის კათედრის ასპირანტის კ. სულავას 1936-37 წლის მუშაობის ანგარიში“ მ. მირიანაშვილის ხელნაწერის სახით შემოუნახავს არქივს, რომელშიც ვკითხულობთ:

„ასპირანტ კ. სულავას საასპირანტო გეგმის მიხედვით უნდა დაემუშავებინა შემდეგი ნაწილები თეორიული ფიზიკის:

1. მექანიკა და სტატისტიკური ფიზიკა (კლასიკური ფი-

ზიკა)

2. ელექტროდინამიკა და სპეციალური ფარდობითობის თეორია



ასპირანტმა კ. სულავამ დეტალურად ღრმად შეისწავლა ყველა აღნიშნული ნაწილები, გაარჩია მათი გამოყენება სხვადასხვა საკითხებისადმი. მთელი წლის განმავლობაში კ. სულავამ დაამუშავა გეგმით განსაზღვრული რვა მონოგრაფია.

ზემოთ აღნიშნული საგნები ასპ. კ. სულავამ ჩააბარა წარჩინებულად.

ხელმძღვანელი: მ. მირიანაშვილი. (ფ)“ (4)

პედ. ინსტიტუტში ასპირანტურაში ყოფნის პერიოდში იგი იმავე დროს, ასისტენტად იწყებს მუშაობას თეორიული ფიზიკის კათედრაზე, რომელსაც დოც. მ. მირიანაშვილი განაგებდა.

1939 წ. იგი ჩაირიცხა მოსკოვის მ. ლომონოსოვის სახელობის უნივერსიტეტის ფიზიკის ინსტიტუტის მიზნობრივ ასპირანტურაში, სადაც მისი ხელმძღვანელები იყვნენ დოცენტები (შემდეგ პროფესორები) ვასილ ფურსოვი და ანატოლი ვლასოვი.

საკითხი იმის შესახებ, თუ რატომ აირჩია კაკო სულავამ მ. ლომონოსოვის სახელობის მოსკოვის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი საასპირანტუროდ მომზადებისათვის, გადაწყდა იმის გათვალისწინებით, რომ კ. სულავას ხელმძღვანელი მათე მირიანაშვილი დაკავშირებული იყო ამ სამეცნიერო ინსტიტუტთან, სწორედ იმ წლებში ამ ინსტიტუტის თეორიული განყოფილება, რომელსაც ხელმძღვანელობდა მაშინ პროფესორი შემდეგ აკადემიკოსი და ნობელის ლაურეატი იგორ ევგენის ძე ტამი (1895-1971), იყო ერთ-ერთი მძლავრი სამეცნიერო კერა თეორიულ ფიზიკაში, სადაც მოღვაწეობდნენ შემდეგში ცნობილი ფიზიკოს-თეორეტიკოსები: დ. ბლოხინცევი, მ. ლეონტოვიჩი, ს. შუბინი, დ. ივანენკო, ა. ვლასოვი, ვ. ფურსოვი და სხვები. აი, სწორედ ამ კოლექტივში მოუხდა კ. სულავას სამეცნიერო-სადისერტაციო ნაშრომზე მუშაობა.

1939 წ. ოქტომბრიდან 1941 წლის 19 ივნისამდე (ამ დღეს დაიცვა მან მოსკოვის უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტის სამეცნიერო საბჭოს სხდომაზე საკანდიდატო დისერტაცია). იგი

თავდადებით მუშაობდა სადისერტაციო ნაშრომზე „მულტიპლექტური სპექტრული ხაზების სიგანეთა თეორია“, რომელშიც მაც ხელმძღვანელების და ოპონენტების მაღალი შეფასება დამსახურა.

კ. სულავას სადისერტაციო ნაშრომში განხილული და დამუშავებულია თეორიული სპექტროსკოპიის ერთ-ერთი ფუნდამენტალური საკითხი. როგორც ცნობილია, ატომები და მოლეკულები ნივთიერების სხვადასხვა აგრეგატულ მდგომარეობაში ასხივებენ ან შთანთქავენ ელექტრომაგნიტურ ტალღას და მათ შორის-სინათლეს, რომლის დროსაც ხდება სისტემის აღზნებული ან ნორმალური მდგომარეობიდან, შესაბამისად, ნორმალურ ან აგზნებულ მდგომარეობაში გადასვლა და სინათლის კვანტის გამოსხივება ან შთანთქმა, რასაც შეესაბამება გარკვეული სიგანის გამოსხივების ან შთანთქმის შესატყვისი სპექტრული ხაზი. სპექტრულ ხაზს ბუნებრივ სიგანესთან ერთად აქვს გაგანიერების სხვა მიზეზებიც, ესენია: დოპლერის ტიპის, ატომებისა და მოლეკულების დაჯახებითი, შტარკისებური და სხვა ტიპის გაგანიერება. ერთგვაროვან და არაერთგვაროვან დიდსიმკვრივიან გაზებში ატომებს შორის რეზონანსული ურთიერთქმედებით გამოწვეული გაგანიერება შესწავლილი იყო პ.ა. ვლასოვისა და ვ.ს. ფურსოვის მიერ 1936 წელს. კ. სულავამ განაზოგადა რა ვლასოვ-ფურსოვის მეთოდი მულტიპლექტური სპექტრული ხაზების სიგანის განსაზღვრისათვის მცირე და დიდსიმკვრივიან გაზებში, იპოვა იმ განსხვავების მიზეზები, რომლებიც მარტივი სპექტრისაგან განსხვავებით აქვს სხვადასხვა ატომების დუბლექტურ ხაზებს. კ. სულავამ დაადგინა, რომ ამის მიზეზი იყო საწყის და საბოლოო მდგომარეობათა მიხედვით აჯამვასა და გასაშუალებას შორის განსხვავება. მულტიპლექტური სპექტრული ხაზების გაგანიერების სულავასეული თეორია მისგან დამოუკიდებლად განვითარებული იყო 1946 წელს ამერიკელი ფიზიკოსის ფულის მიერ.(2. გვ125)

გამოკვლევათა მეორე ციკლი, რომელიც აგრეთვე მოსკოვური პერიოდიდან იღებს სათავეს, ეხება ფერმის გაზის

ფლექტუაციის თეორიის განვითარებას, რომელიც მან პროფ. ვ. ვლადიმირსკისა და ვ. ფურსოვის ნაშრომების განხორციელებას მიუძღვნა. ამ დარგში მან მხოლოდ ერთი ნაშრომი გამოაქვეყნა.

დოც. კაკო სულავა ეწეოდა ნაყოფიერ სამაცნიერო-კვლევით მუშაობას. ოცდაათამდე შეიძლება დავასახელოთ ნაბეჭდი და ხელნაწერი ნაშრომები. დიდი ძალისხმევა დასჭირდა მას „ზოგადი ფიზიკის კურსის“ (ელექტროობა და მგნტიზმი) ხელნაწერი 1959 წელი. 450 გვ. თანაავტორი ი. ჯაფარიძე შეტანილი ყოფილიყო საგამომცემლო გეგმაში, რომელიც მისი უეცარი გარდაცვალების გამო არ განხორციელდა.

ასევე განუხორციელებელი დარჩა „თეორიული ფიზიკის კურსის“ შექმნის იდეა, რომლის ჩანაფიქრი, ჯერ კიდევ ბ-ნი მათე მირიანაშვილის ჩასახვაა ქუთაისის პედაგოგიურ ინსტიტუტში 1933-1940 წლებში მოღვაწეობის დროს. ამის დასტურად გამოდგება გადამუშავებული ლექციური ჩანაწერები, რომელიც უწარმოებია 1934-35 და 1935-36 ს.წ. სტუდენტ კაკო სულავას, მაშინ დოცენტ მათე მირიანაშვილის მიერ წაკითხული ლექციების მიხედვით. ლექციების კურსი ოთხი ნაწილისაგან შედგება: „მექანიკა“, „სტატისტიკური ფიზიკა“, „ელექტროდინამიკა“ და „ქვანტური მექანიკა“. ამათგან „მექანიკა“ და „სტატისტიკური ფიზიკის“ ნაწილების პარაგრაფების ჩანაწერებში აშკარად შეიმჩნევა ა. ეიხენვალდის „თეორიული ფიზიკის კურსის“ შესაბამისი ნაწილებიდან ზოგიერთი საკითხის გაშუქება. მაგრამ, ძირითადი საკითხები, რომლებიც გადმოცემულია სალექციო ჩანაწერებში, წარმოადგენს მ. მირიანაშვილის „ზოგადი ფიზიკის კურსის“, 1938 წლის გამოცემის შესაბამისი ნაწილების გაფართოება-გაღრმავებას. ეს განსაკუთრებით ითქმის ნიუტონისა და კეპლერის ამოცანების გადმოცემის დროს და დინამიკის შენახვის კანონების ერთიან კონტექსტში განხილვის იმ ტენდენციების შესახებ, რომელსაც 40-იანი წლებიდან საფუძველი ჩაეყარა ნობელის ლაურეატის ლევ ლანდაუს „თეორიული ფიზიკის“ 10 ტომულის შექმნის ჩანაფიქრისას და რომლის თანამონაწილე იყო მაშინ ხარკოვის ფიზიკა-ტექნიკის ინსტიტუტის ასპი-

რანტი და პროფ. ლანდაუს მოსწავლე მათე მირიანაშვილი.(2. გვ75)

იმ დროს, როცა დოც. მ.მირიანაშვილის ლექციების ხედვით კ. სულავა ადგენდა კონსპექტს თეორიული ფიზიკის ამა თუ იმ ნაწილში, ძალზე მცირე იყო სასწავლო სახელმძღვანელოები თეორიულ ფიზიკაში რუსულ ენაზეც, ხოლო ქართულად მისი შედგენის ცდაც კი არ იყო.

რა თქმა უნდა, მ. მირიანაშვილისა და კ. სულავას ოთხ ნაწილიანი „თეორიული ფიზიკის კურსი“, თემატიკურად და მეთოდურად გაუმართავად შეიძლება ჩავთვალოთ, თუმცა სათანადო გადამუშავების შემდეგ მის მიმართ ინტერესი ამჟამადაც დიდი იქნებოდა სტუდენტებს და სპეციალისტა შორის.(3. გვ310)

აღსანიშნავია, დოც. კ. სულავას გაუნელებელი ინტერესი ფიზიკის ისტორიისა და ფილოსოფიური საკითხების მიმართ. ის ჯერ კიდევ სტუდენტობის წლებიდან იყო ნაზიარები მისი მასწავლებლის აკად. მ. მირიანაშვილის თვალსაზრისს ფიზიკის ფილოსოფიურ საკითხებში, რომელიც გარეგნული მარქსისტულ-ლენინური „სამოსელის“ მიუხედავად, ადეკვატურად ასახავდა თანამედროვე ფიზიკის მიღწევებს და სულისკვეთებას.

მის მიერ დაწერილი ნაშრომებით მტკიცდება, რომ დოც. კ. სულავას გამიზნული ჰქონდა მთელი სასკოლო და უმაღლესი ფიზიკის კურსის ნაწილების (1.მექანიკა, 2.სითბო და მოლეკულური ფიზიკა, 3. ელექტრო-მაგნეტიზმი, 4. ოპტიკა, ატომის ფიზიკა და ელემენტარული ნაწილაკები) შესატყვისი მასალა მატერიალისტური ფილოსოფიის თვალსაზრისით გაენალიზებინა. საყურადღებოა ის გარემოება, რომ ფიზიკის ჩამოთვლილი განყოფილებებიდან, მხოლოდ მექანიკის ანალიზი არ მოუცია მას იმის გამო, რომ ეს სამუშაო შეასრულა მისმა კოლეგამ და მეგობარმა მიხეილ (შალვა) გობეჯიშვილმა. (2. გვ78)

როგორც დოკუმენტური მასალის ანალიზიდან ირკვევა ახალგაზრდა ასპირანტ კ. სულავას 1937 წ. -ის ბოლოს სექტემბერში ახლად შექმნილი ექსპერიმენტული ფიზიკის კა-



თედრაზე სთავაზობენ ასისტენტის სამტატო ერთეულს. იმავდროულად იგი ასრულებს ფიზიკა-მათემატიკის კულტეტის დეკანის მოადგილის მოვალეობას. 1944 წლიდან იგი ამავე ფაკულტეტის დეკანის მოვალეობის შემსრულებელია.

1946 წ. თეორიული ფიზიკის კათედრის ხელმძღვანელობა დაევალა, ხოლო 1955 წლიდან გაერთიანებული ზოგადი და თეორიული ფიზიკის კათედრას ხელმძღვანელობდა დეკანის მოვალეობის შესრულების პარალელურად სიცოცხლის ბოლომდე.

დოც. კ. სულავა ქუთაისის ალ. წულუკიძის სახელობის პედაგოგიური ინსტიტუტის გარდა, ლექციებს კითხულობდა საქართველოს პოლიტექნიკური, სუბტროპიკულ და სოხუმის პედაგოგიურ ინსტიტუტებში ზოგად, თეორიულ ფიზიკასა და თეორიულ მექანიკაში.

კ. სულავას ბ-ნი მათე მირიანაშვილისაგან, გადმოღებული და შესისხლხორცებული ჰქონდა ყველა ის დადებითი თვისებები, რომლებიც მის ისედაც ჯანსაღ სულს კიდევ უფრო აკეთილშობილებდა და მას, როგორც პიროვნებას ღირსეულს ხდიდა საზოგადოებაში. ბ-ნი მათე ხომ ის პიროვნება გახლდათ, რომელმაც ჯერ კიდევ სტუდენტობის წლებში დაიმკვიდრა თანამედროვე ფიზიკის „ადეპტისა და მეტრის“ ტიტული, რაც თითქმის 50 წლის მანძილზე ღირსეულად ატარა ისე, რომ ყველა თაობის ქართველი ფიზიკოსი მის მოსწავლედ თვლიდა თავს.

კ. სულავას მუშაობის პერიოდში იყო ბევრჯერ მცდელობა არაკაცურ ბინძურ საქმეში ჩართვისა, რომელსაც ვერ მიაღწიეს მისი მტკიცე და სპეტაკი ბუნების წყალობით.

ასეთი პიროვნებების გვერდით უხდებოდა სამეცნიერო მოღვაწეობა ჩემს სადისერტაციო თემის ხელმძღვანელს ბ-ნ თორნიკე ეფრემიძეს, რომელმაც ამ ღირსეულ ადამიანებს მიუძღვნა შესანიშნავი მონოგრაფიები: „აკადემიკოსი მათე მირიანაშვილი“ და „კაკო სულავა - მოძღვარი და მეცნიერი“.

დღე და ღამ სხვაზე შზრუნველ ადამიანს თავისი ჯანმრთელობა გამორჩა მხედველობიდან, რის გამოც 49 წლის



ასაკში გარდაიცვალა ყველასათვის საყვარელი მეცნიერი და საზოგადო მოღვაწე კაკო სულავა.

მისი დაკარგვა დიდი დანაკლისი იყო არა მარტო ქუთაისის პედ. ინსტიტუტისათვის, არამედ მთელი ქართული სამეცნიერო საზოგადოებისათვის.

ბედნიერებაა, რომ ბ-ნი კაკოს გარდაცვალების შემდეგ, დეპარტამენტის საჭესთან დგანან მისი აღზრდილები, რომლებიც სისტემატიურად ცდილობენ, რაღაც ახალი შემატონ მის სახელს და არ შებღალონ იგი.

დაე, ასეთი ერთსულოვანი, მეგობრული და თბილი ყოფილიყოს ფიზიკის დეპარტამენტი მრავალჯამიერ!

#### ლიტერატურა

1. ვ. სულავა. ავტობიოგრაფია. ვ. სულავას პირადი საქმე. აკ. წერეთლის ქსუ არქივი.
2. თორნიკე ეფრემიძე. კაკო სულავა - მოძღვარი და მეცნიერი ქსუ გამომც. ქუთაისი 2008 წ. გვ. 148.
3. თ. ეფრემიძე. ი. ლექვიანაძე. აკადემიკოსი მათე მირიანაშვილი ქსუ გამომც. ქუთაისი 2006 წ. გვ 316.
4. მ. მირიანაშვილი ქსუ ფიზიკის კათედრის ოქმური ჩანაწერები. 1936-1937 წ.წ.
5. საოჯახო არქივი.

ი. ლეკვინაძე  
კაკო სულავა და მათე მირიანაშვილი  
რეზიუმე



განხილულია ბ-ნი კ. სულავას მისწრაფება საბუნებისმეტყველო და მათემატიკური დისციპლინებისადმი. ასპირანტურაში სწავლების წლები, როგორც ქუთაისის პედაგოგიურ ინსტიტუტში ასევე მოსკოვის მ. ლომონოსოვის სახ. უნივერსიტეტში. მისი მუშაობა სადისერტაციო თემაზე, რომელმაც ოპონენტების და ხელმძღვანელების დიდი მოწონება დაიმსახურა.

განხილულია აკადემიკოს მათე მირიანაშვილის ზეგავლენა მისი, როგორც მეცნიერად ჩამოყალიბების საქმეში. ბ-ნი მათეს როლი კ. სულავას ფიზიკის ისტორიაში და ფილოსოფიური საკითხებით დაინტერესებაში. აკად. მათე მირიანაშვილის ლექციების ჩანაწერები. ხელნაწერი სახელმძღვანელოები ზოგადსა და თეორიულ ფიზიკაში. განხილულია თუ როგორ უთავსებდა სამეცნიერო საქმიანობას დოც. კ. სულავა საორგანიზაციო საქმიანობას. აღნიშნულია მისი ასისტენტობის, დეკანის მოადგილის, დეკანის მოვალეობის და პარალელურად შემდეგში ზოგადი და თეორიული ფიზიკის კათედრის ხელმძღვანელობის წლები.

F14629

I. Leqvinadze  
Kako Sulava and Mate Mirianashvili  
Abstract

In the work there is discussed Mr. K. Sulava's strive for natural sciences and mathematics. There are also described his years learning as a post-graduate student both in Kutaisi pedagogical Institute and M. Lomonosov University in Moscow, his work on dissertation which gained much approval from his opponents and his supervisors.

There is described the influence of academician Mate Mirianashvili on his development as a scientist; Mr. Mirianashvili's role in making K. Sulava interested in the history of physics and philosophy.

There are given Acad. Mate Mirianashvili's writings of his lectures, his handwritten text-books in general and theoretical physics. We describe how K. Sulava combined his scientific work with organizational activity as an assistant, deputy dean and as a dean, and finally, as the head of the department of general and theoretical physics.



## თ. ეფრემიძე

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი



# თეორიული ფიზიკის განვითარების ეტაპები აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტში

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტში ფიზიკის და კერძოდ თეორიული ფიზიკის განვითარებას ემსახურება ამჟამინდელი ფიზიკის დეპარტამენტი, რომელიც ჩამოყალიბებულია აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის (1990 წლამდე ყოფილი ქუთაისის პედაგოგიური ინსტიტუტის), აკად. ნიკო მუსხელიშვილის სახ. ქუთაისის ტექნიკური უნივერსიტეტის (19.. - 2005 წლამდე) და სოხუმის სუბტროპიკული უნივერსიტეტების (1952-2010 წწ.) ფიზიკის კათედრების ბაზაზე. ქუთაისში მოქმედი სამი უნივერსიტეტის გაერთიანებას, ამ უნივერსიტეტების ბაზაზე სასწავლო-სამეცნიერო პოტენციალის ამაღლების და მისი განვითარების დიდ შესაძლებლობას იძლევა, მათ შორის თეორიული ფიზიკის მეცნიერებისა, კერძოდ, ამიტომ ჩვენს მიზანს წარმოადგენს განვიხილოთ ფიზიკის დეპარტამენტში, საერთოდ ფიზიკის და კერძოდ თეორიული ფიზიკის განვითარების ძირითადი ეტაპები. ასეთ ეტაპებად, ჩვენი აზრით, უნდა გამოიყოს ოთხი:

I. ფიზიკის კათედრის შექმნიდან პირველი ათწლეული (1933-1942 წწ.), როცა კათედრის სამეცნიერო პოტენციალი განისაზღვრებოდა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის კურსდამთავრებული ფიზიკის-თეორეტიკოსებით: (აკად. მ. მირიანაშვილი, დოც. ლ. ხუციშვილი, პროფ. რ. ხუციშვილი, მეც. კანდ. ი. ჭუმბურიძე, დოც. გ. ჩიტაია..).

II. ქუთაისის პედაგოგიური კურსდამთავრებულთა I და II თაობით - 1942 - 1962 წწ. (დოც. ვ. სულავა, დოც. მ. გობეჯიშვილი, ასპირ. თ. ეფრემიძე).

III. ქუთაისის პედაგოგიური კურსდამთავრებულთა II და III თაობის ფიზიკოსებით 1962 - 2006 წლები (პროფ. თ. ეფრემიძე, დოც. გ. ტომარაძე, დოც. დ. თევდორაძე, ასისტ. მ. ვერულაშვილი, ასპ. მ. საღინაძე).

IV. ფიზიკის დეპარტამენტის შექმნის (2005 წ.) და უნივერსიტეტების გაერთიანების შემდეგ (პროფ. თ. ეფრემიძე, პროფ. დ. ნიშნიანიძე, ასოც. პროფ. გ. ტომარაძე, ასოც. პროფ. დ. თევდორაძე, ასოც. პროფ. ო. ხაჩიძე, ასოც. პროფ. პ. გელხვიძე. ფიზ. აკად. დოქტორი მ. ბარდაველიძე, ასოც. პროფ. ზ. ბართაია, დოქტორანტი მ. ვერულაშვილი).

I პერიოდი ქუთაისში თეორიული ფიზიკის განვითარებისა, დაკავშირებულია მათე მირიანაშვილის (1906-1975) პიროვნებასთან, რომელიც ქუთაისის პედაგოგიკურ ინსტიტუტში 1933 წლიდან ფიზიკის, (1934 წლიდან) თეორიული ფიზიკის კათედრას განაწესდა 1941 წლამდე. აკად. მ. მირიანაშვილმა თბილისის უნივერსიტეტი დაამთავრა 1928 წ. 1927 წლიდან მუშაობდა ფიზიკის კათედრაზე (გამგე პროფ. ა. დიდებულიძე), 1930-1933 წლებში ხარკოვის ფიზიკა-ტექნიკის ინსტიტუტის თეორიული განყოფილების (გამგე პროფ. ლ. ლანდაუ ასპირანტია, რომლის ხელმძღვანელებია პროფ. ბ. პოდოლსკი (1896-1966) და პროფ. ლ. ლანდაუ (1908-1968). 1933 მ. მირიანაშვილი ერთდროულად ინიშნება თბილისის უნივერსიტეტის ზოგადი ფიზიკის დ ქუთაისის პედაგოგიკურ ინსტიტუტის თეორიული ფიზიკის კათედრების გამგედ.

პირველი ნაშრომი, რომელიც 1938 წ. თბილისის უნივერსიტეტის შრომებში, ხოლო უფრო ვრცლად 1951 წ. საქართველოს მ/ა შრომათა I ტომში გამოაქვეყნა დოც. მ. მირიანაშვილმა, შეისწავლიდა ბროუნის ნაწილების წონასწორული მდგომარეობიდან საშუალო კვადრატულ გადახრას აინშტაინი-ფოკერ-პლანკის განტოლების ამონახსნის მაღალი რიგის წევრების გათვალისწინებით. ამავე ნაშრომში, მ. მირიანაშვილი იძლევა საშუალო კვადრატული გადახრის ფორმულებს მოლეკულების ბრუნვითი მოძრაობის გათვალისწინებით და ამტკიცებს მათ იდენტურობას აინშტაინის (1905) შესაბამის ფორმულებთან. 1938 წ. მაშინ დოცენტი მ. მირიანაშვილი ამთავრებს ხარკოვში 1933 წ. დაწყებულ ნაშრომს „ჰელიუმის ატომის ერთი ვარიაციული ამოცანის შესახებ“, რომელშიც ავითარებს ფრიდრიხსის მეთოდს და ჰელიუმის ძირითად მდგომარეობას მცირე ენერგიებიდან უახლოვდება. საკანდიდატო დისერტაცია ამ თემაზე მან დაიცვა 1938 წ. მოსკოვის

უნივერსიტეტის ფიზიკის ინსტიტუტში, სადაც იმ დროს თეორიულ განყოფილებას ხელმძღვანელობდა პროფ. იგორ ტამი (1895-1971) (შემდეგ აკადემიკოსი და ნობელის ლაურეატი). ეს ნაშრომი დოც. მ. მირიანაშვილმა გამოაქვეყნა 1943 საქ. მ/ა მოამბეში (ტ. IV, №3, 23. 2/9 - 226).

ილია სილოვანის ძე ჭუმბაძე (1911-1942), ქუთაისის პედინსტიტუტის ფიზიკის კათედრაზე მოწვეული იყო დოც. მ. კუკავაძის (კათედრის პირველი გამგე) და დოც. მ. მირიანაშვილის მიერ. 1933-1934 წწ. იგი თეორიული ფიზიკის კურსს კითხულობს, შემდეგ, უნივერსიტეტის (III კურსიდან) სტუდენტი და ასპირანტი ხდება. პეტერბურგელი პროფესორის ი. ი. ფრენკელის ხელმძღვანელობით ასრულებს მნიშვნელოვან გამოკვლევას თეორიულ აკუსტიკაში და 1941 წ. ივლისის თვეში იცავს საკანდიდატო დისერტაციას თემაზე: „აკუსტიკაში ძირითადი ენერგეტიკულ თანაფარდობათა შესახებ“, რომელიც არაა გამოქვეყნებული.

ი. ჭუმბაძის მიერ, ამას გარდა 1938-1939 წლებში შესრულებული იყო ორი გამოკვლევა „ტალღური ნაკადების გავრცელების შესახებ“ (ასპირანტ დ. ადამიასთან ერთად) და „წერტილოვანი ელექტრონის გრავიტაციული ველის შესახებ ბორნის ელექტროდინამიკაში“. პირველი დასახელებული ნაშრომი საქ. მ/ა აკადემიკოს ვ. მამასახლისოვის წარდგინებით დაიბეჭდა საქ. მ/ა ფიზიკის ინსტიტუტის შრომების II ტ-ში (1954 წ. გვ. 91-113) „О не некоторых вопросах распространения звука в атмосфере“, მხოლოდ მისი თანავტორისა და მეგობრის, ისიც უდავოდ დაღუპულ დავით ადამიას ავტორობით.

1937/38 ს. წ. მეორე (ზაფხულის) სემესტრში თეორიული ფიზიკის კურსი, კერძოდ „ფარდობითობის თეორია და ელექტროდინამიკა“-ს კითხულობდა პროფ. რაჟდენ ზართლომეს ძე ხუციშვილი (1887-1942). საქართველოსთვის ამ მძიმე პოლიტიკური რეპრესიების პირობებში ქართველ ფიზიკოსთა შორის პირველი პროფესორი და თბილისის უნივერსიტეტის თეორიული ფიზიკის კათედრის დამაარსებელი პროფ. რ. ხუციშვილი ჩამოშორებული იყო მის მშობლიურ უნივერსიტეტს და ბათუმის შოთა რუსთაველის სახ. პედაგოგიურ ინსტიტუტში იყო თავშეფარებული.

ლი. 1938 წ. ზაფხულში რეპრესიების ტალღის შერბილების მომენტში, როცა დოც. მ. მირიანაშვილი მივლინებული იყო მოსკოვის უნივერსიტეტში დისერტაციის დაცვასთან დაკავშირებით, ხოლო ი. ჭუმბაძე, როგორც თბილისის უნივერსიტეტის ასპირანტი გაწვეული იყო არმიაში სავალდებულო სამსახურისათვის. პროფ. რ. ხუციშვილმა ქუთაისის პედაგოგიკურ ინსტიტუტში წაიკითხა ფარდობითობის თეორია: რ. ხუციშვილს გამოსაცემად გამზადებული ჰქონდა „ელექტროდინამიკისა და ფარდობითობის თეორიის“ კურსი, მაგრამ 1941 წ. აგვისტოში მეორედ დაპატიმრების დროს ჩატარებული კონფისკაციის გამო, მის ოთხ ვრცელ ნაშრომებთან: 1. „ელექტრონული მოვლენები“. 2. ელექტრული ველი ატმოსფეროში“, 3. „ჰაერის ელექტროგამტარებლობა“, 4. „დედამიწის მაგნიტური მოვლენები“ (რომელთაც პროფ. ვ. პარკაძე ასახელებს თავის წიგნში „ქართველი ფიზიკოსები“, თსუ, თბილისი, 1982, გვ. 46-47), დაიკარგა.

1938-1939 და 1939-1940 ს. წ.-ში ქუთაისის პედაგოგიკურ ინსტიტუტის ფიზიკის კათედრაზე თეორიული ფიზიკის კურსის ნაწილს „სტატისტიკური ფიზიკა და თერმოდინამიკა“ კითხულობდა დოც. გ. ჩიტაია (1912-1989). გ. ჩიტაიამ თბილისის პედაგოგიური ინსტიტუტი (თბილისის უნივერსიტეტი 1930 წ. რეფორმების შემდეგ) დაამთავრა, 1934 წ., 1935-38 წწ. იყო თბილისის უნივერსიტეტის თეორიული ფიზიკის კათედრის (გამგე 1933 წლიდან დოც. გ. გორდაძე) (1911-1976) ასპირანტი. 1939 წ. დაიცვა დისერტაცია „მარტივი მოლეკულის კვანტურ-მექანიკური ამოცანა“ და გახდა ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატი. მისი საკანდიდატო დისერტაციის ძირითადი შედეგები დაიბეჭდა თსუ შრომებში (ტ. 8. გვ. 79-90, 1939 წ.).

უნდა აღინიშნოს, რომ ქუთაისის პედაგოგიკურ ინსტიტუტის თეორიული ფიზიკის კათედრაზე 1936-დან 1939 წლებში თანამშრომლებად და შემდეგ ასპირანტებად მიღებული იქნენ ახალგაზრდა კურსდამთავრებულნი: ვლადიმერ (კაკო) სულავა (1913-1962), მიხეილ (შალვა) გობეჯიშვილი (1912-1993), ივლიანე (ლუჩა) ჯაფარიძე (1914-1990), ელენა კინწურაშვილი (1914-1992), რომელთაგან პირველმა ორმა მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანეს ქუთაისის

უნივერსიტეტში თეორიული ფიზიკის განვითარებაში.

II ეტაპის დასაწყისი ქუთაისის პედაგოგიური ინსტიტუტის ფიზიკის კათედრაზე თეორიული ფიზიკის განვითარებისა, პირდაპირ დაკავშირებულია კაკო სულავას და შალვა გობეჯიშვილის მოღვაწეობასთან.

ვლადიმერ (კაკო) სულავას მიზნობრივ ასპირანტურაში ჩაირიცხა მოსკოვის უნივერსიტეტის ფიზიკის ინსტიტუტში 1938 წ. იქ, სადაც მისმა მასწავლებელმა მათე მიხეილის ძე მირიანაშვილმა 1938 წ. შემოდგომაზე საკანდიდატო დისერტაცია დაიცვა. ამ დროს მოსკოვის უნივერსიტეტში და ამ უნივერსიტეტის კვლევით ინსტიტუტში მუშაობდნენ გამოჩენილი ფიზიკოსის თეორეტიკოსები: პროფ. ი. ე. ტამი (შემდეგ აკადემიკოსი, ნობელის ლაურეატი, პროფ. დ. ბლოხინცევი (1908-1979) (შემდეგ საკ. აკად. წ. კ.), პროფ. ა.ა. ვლასოვი (1908-1975), ვ. ს. ფურსოვი (1910-1994) და სხვები. 1941 წ. ივნისის 20-ში ვლადიმერ სულავამ მოსკოვის უნივერსიტეტში დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია თემაზე: „მილტიპლეთურ სპექტრულ ხაზთა გაგანიერების თეორია დიდ და მცირე სიმკვრივიან განებში“, რომელშიც განავითარა ამ თემაზე ვლასოვისა და ფურსოვის 1936 წ. შექმნილი თეორია. ამ დისერტაციის შედეგები დოც. ვლადიმერ (კაკო) სულავამ გამოაქვეყნა XX ს. 50-იან წლებში, რამდენიმე სტატიის სახით ქუთაისის პედაგოგიური ინსტიტუტის შრომათა ტომეულებში (ტ. XII, 1954, 237-246; ტ. XII, 247-251). „დიდსიმკვრივიან განებში რეზონანსული სპექტრული ხაზების სიგანეთა შესახებ“, ამავე შრომების XIV ტ. განმარტებული შრომა გამოაქვეყნა მან 1956 წ., 1958 წ. ამავე თემაზე - „საბჭოთა ფიზიკოსების გამოკვლევები სპექტრულ ხაზთა სიგანეების შესახებ (მის თანამშრომელ თ. ეფრემიძესთან ერთად) ვრცელი ნაშრომი გამოაქვეყნა.

მიხეილ (შალვა) გობეჯიშვილმა 1941-43 წ. ომში მონაწილეობის და კონტუზირებული დაზარუნების შემდეგ, ასპირანტურაში 1945 წ. ჩააბარა თბილისის უნივერსიტეტის თეორიული ფიზიკის კათედრაზე. 1945-1948 წლებში დოც. მ. მირიანაშვილის და ნიკოლოზ (ნიკა) პოლიევკტოვ-ნიკოლაძის ხელმძღვანელობით მოამზადა და 1948 წ. დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია თემაზე

„სკალარული მეზონის ერთფოტონიანი დაშლა“, ამ თემატიკიდან მისი ნაშრომი "Радиационный распад скалярного мезона" 1959 წ. დაიბეჭდა ЖЭТАФ - ის მე-10 გამოშვების მე-2 ტომში, ხოლო „მეზონის მიერ ფოტონის შთანთქმა“ - საინტერესო თეორიული ნაშრომი - ქუთაისის ინსტიტუტის შრომების XVII ტომში 1951 წ.

მიხეილ (შალვა) გობეჯიშვილი 1961 წელს, თსუ ზოგადი ფიზიკის კათედრის თანამშრომელია, ხოლო 1965-იდან ა. პუშკინის პედაგოგიური ინსტიტუტის ფიზიკის კათედრის წევრი. იგი აქტიურად თანამშრომლობდა აკად. მ. მირიანაშვილის მიერ შექმნილ სემინარში ზოგადი ფარდობითობის თეორიის საკითხებზე, რომლის დასტურია ერთობლივი და ინდივიდუალური სტატიები მ. მირიანაშვილის, ვ. ქირიას, ა. კერესელიძის და სხვათა თანაავტორობით, რომლებიც იბეჭდებოდა 60-70-იან წლებში საქ. მ/ა მოამბეში, საერთაშორისო გრავიტაციული კონფერენციის (Проблемы Гравитации". Тб., 1976). და საკავშირო მე-2 კონფერენციის (Тезисы 2-й грав. конф. СССР, Тб. 1965) მასალებში.

III. ქუთაისში 60-იან წლებში ორი უმაღლესი სასწავლებელი და შესაბამისად ფიზიკის ორი კათედრა არსებობდა, ქუთაისის პედაგოგიური ინსტიტუტში და ქუთაისის პოლიტექნიკურ ინსტიტუტში. ქუთაისის პოლიტექნიკური ინსტიტუტის ფიზიკის კათედრის გამგე იაკობ (იაშა) მენაშეს ძე ჩიკვაშვილი (1930-1990.) თსუ კურსდამთავრებული ფიზიკოს-თეორეტიკოსი იყო.

1952-1960 წლებში იგი ქუთაისის სუბტროპიკული და შემდეგ სოხუმის იმავე ინსტიტუტის ფიზიკის კათედრის წევრი იყო, ხოლო 60-იანი წლებიდან ქუთაისის პოლიტექნიკური ინსტიტუტის - ფიზიკის კათედრის წევრი და შემდეგ კათედრის გამგე. 60-იან წლებში მან წარმატებით დაიწვა საკანდიდატო დისერტაცია მყარი ტანის ფიზიკის თეორიულ საკითხებზე ხარკოველი ფიზიკოსის პროფ. მ. კაგანოვის ხელმძღვანელობით და დისერტაციის შედეგები დაიბეჭდა თსუ შრომების ტომში 1972 წელს.

ი. ჩიკვაშვილი რამდენიმე ნაშრომში გამოაქვეყნა ზოგადი ფარდობითობის თეორიაში, წარადგინა სადოქტორო ნაშრომიც თსუ სადისერტაციო საბფოს წინაშე, მაგრამ დისერტაციას მსვლელობა არ მიეცა. დოც. ი. ჩიკვაშვილის უდროოდ გარდაცვალებამ





ხელი შეუშალა ამ დარგში მის შემდგომ წინსვლას.

აქვე აღვნიშნავთ, რომ 70-80-იან წლებში ნიკო მუსხელიშვილის პოლიტექნიკური ინსტიტუტის ფიზიკის კათედრაზე მუშაობდნენ თსუ კურსდამთავრებულ თეორეტიკოსთა ჯგუფი: ბ. დარახველიძე და სხვები, რომელთაც სხვადასხვა მიზეზთა გამო საგრძნობი გავლენა ვერ მოახდინეს ქუთაისში ამ დარგის განვითარებაზე.

ქუთაისის პედინსტიტუტის ფიზიკის კათედრაზე 60-იანი წლებიდან მხოლოდ ამ ინსტიტუტის კურსდამთავრებული თ. ეფრემიძე ( დ. 1932) ჰქონდა განზრახული თეორიული ფიზიკის მიმართულებით წინსვლა. 60-70-იან წლებში მან შეძლო თეორიული ფიზიკის საუნივერსიტეტო კურსის ათვისება საკანდიდატო მინიმუმის საგნების ჩაბარება თბილისის უნივერსიტეტის თეორიული ფიზიკის კათედრაზე (კათ. გამგე აკად. ვ. მამასახლისი), აკად. მ. მირიანაშვილის ხელმძღვანელობით და შემდეგ სსრკ მ/ა პ. ლეხედვეის სახ. ფიზიკურ ინსტიტუტში (ФИАН) აკად. ი. ტამის და პროფ. გ. ი. ფაინზერგის ხელმძღვანელობით მიზნობრივი ასპირანტურის და შემდეგ საკანდიდატო დისერტაციის მომზადება „თეორიული და მათემატიკური ფიზიკის სპეციალობით“, რომლის დაცვა თემაზე - „ჰადრონების მრავლობითი წარმოქმნის მრავლობითი წარმოქმნის სტატისტიკური თეორიის ზოგიერთი საკითხი“, შედგა თსუ ფიზიკის სამეცნიერო-სადისერტაციო საბჭოზე 1969 წელს. დისერტაციაში დამუშავებული საკითხები გამოქვეყნდა რამდენიმე სტატიადა საკავშირო (Препринт ФИАН, А-53, М., 1965, "Краткое Сообщение по Физике", ФИАНа, №1, 1972 г., საქ. მ/ა მოამბე, ტ. 43, 1966) და რესპუბლიკურ და საინსტიტუტო შრომებში (ტ. 28, 1966, ტ. 32, 1969, ტ; 34, 1971) და სხვა გამოცემებში.

70-იანი წლებიდან დაიწყო თეორიული ფიზიკის მიმართულებით კვალიფიკაციის ამაღლება ამავე კათედრის ახალგაზრდა თანამშრომლებმა გ. ტომარაძემ და დ. თედორაძემ, რომელთაგან პირველი დასპეციალდა პლაზმის ფიზიკაში, ხოლო მეორე ელემენტარული ნაწილაკების და კვანტური მოვლენების ფიზიკაში. ამასთან, აკად. ნ. ცინცაძის ხელმძღვანელობით 80-იან წლებში გ.

ტომარაძემ მოამზადა დისერტაცია ელექტრონულ პლანში არაწრფივი მოვლენების შესახებ და ეს დისერტაცია დაცული იქნა თსუ-ში, რომლის შედეგი გამოაქვეყნდა საერთაშორისო, სპეციალურ და რესპუბლიკურ ჟურნალებში.

ასევე წარმატებული იყო ლექტორ დ. თედორაძის სამეცნიერო მოღვაწეობა თსუ პროფესორის რ. ჯიბუტის ხელმძღვანელობით, რაც გამოიხატა სადისერტაციო ნაშრომის მომზადებაში თემაზე „ატომურ ფიზიკაში სამი და მეტი ნაწილაკის ამოცანის ანალიზური ამონახშირი“, რომელიც დაცული იქნა 1987 წ. და შედეგები გამოაქვეყნდა საერთაშორისო ("Химическая Физика", ტ. 6, VI, 1968) რესპუბლიკურ ჟურნალებში, ინსტიტუტისა და უნივერსიტეტის კრებულებში.

აღსანიშნავია, რომ წინა საუკუნის 70-80-90-იანი წლებიდან ქუთაისის პედაგოგიკურ ინსტიტუტში კათედრის თეორეტიკოსთა (დოც. თ. ეფრემიძე, დოც. გ. ტომარაძე, დოც. დ. თედორაძე, ასპირანტურა დამთავრებულები, მ. ვერულაშვილი, და მ. სალინაძე...), ჯგუფმა შეძლეს ერთობლივი კოლექტიური ნაშრომების მომზადება ელემენტარულ ნაწილაკთა და ატომურ-მოლეკულური მოვლენების ფიზიკაში, პლანში ფიზიკაში და ფიზიკის ისტორიის აქტუალურ თემატიკაში, რომლებიც სისტემატიურად განიხილებოდა კათედრის სემინარებზე.

ქუთაისის აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის და ნიკო მუსხელიშვილის ტექნიკური უნივერსიტეტის გაერთიანება 2008 წ. და აწსუ-სადმი ქუთაისის სუბტროპიკული უნივერსიტეტის შემოერთებამ საფუძველი შექმნა ფიზიკის დეპარტამენტში წარმოდგენილიყვნენ ჩამოთვლილი სამი უნივერსიტეტის ფიზიკის კათედრის თანამშრომლები რამდენიმე სამეცნიერო – პრობლემური თემატიკის ირგვლივ.

1. მრავალელექტრონიანი ატომების და მრავალატომიანი მოლეკულების ამოცანათა კვანტურ-მექანიკური ამოცანების შესწავლა ჰიპერსფერულ ფუნქციათა ბაზისის მიახლოებაში" (ფიზ. მათ. მეც. დოქტორი, ემერ პროფ. თ. ეფრემიძე, ფიზიკის აკად. დოქტორი, ფიზიკა-მათ. მ. კანდიადტი, ასოც. პროფ. დ. თედორაძე, ფიზიკის აკად. დოქტორი, ფიზ. მათ. მ. კ. ასოც. პროფ. გ. ტომარაძე).

რამე: მკვლევარი – გ. სალინაძე) ნაშრომები გამოქვეყნებულია საერთაშორისო და რესპუბლიკურ ჟურნალებში.

2. სუპერსიმეტრიული კვანტური მექანიკის ერთ და რამდენიმე ზომილებიანი ამოცანები (ფიზიკის აკად. დოქტორი დ. ნიშნიანიძე, დოქტორანტი მ. ბარდაველიძე). გამოქვეყნებულია მნიშვნელოვანი ნაშრომები “St ofsewkn” – საერთაშორისო ჟურნალებში ათეულობით სტატია.

3. ფარული დინამიკური სიმეტრიები რელატივისტური კვანტურ მექანიკაში (ფიზიკის აკად. დოქტორი, ასოც. პროფ. თ. ხაჩიძე) გამოქვეყნებულია რამდენიმე სტატია საერთაშორისო რესპუბლიკურ ჟურნალებში და მონოგრაფია ინგლისურ ენაზე: T. T. Khachidze, A. A. Khelashvili, Dinamikal Simmetrics of the Kepler Koulomb Mechanics”, Nova Publ., New York, 2008.

4. არაწრფივი მოვლენები ელექტორულ პლაზმაში (ფიზ. მათ. მ. კ. ასოც. პროფ. გ. ტომარაძე, აკად. დოქტორი, ასოც. პროფ. პ. გელხვიძე), გამოქვეყნებულია სტატიები საერთაშორისო და რესპუბლიკურ ჟურნალებში.

5. კოსმოლოგიური გაფართოებისა და გეოფიზიკური მოვლენების კავშირის პრობლემა. (ემერ. პროფ. თ. ეფრემიძე, ფიზიკა მათ. მეც. დოქტორი, სრული პროფ. თ. ადგიშვილი, ფიზიკის აკად. დოქტორი, ასოც. პროფ. ლ. ხვედელიძე) გამოქვეყნებულია სტატიები და წიგნი „კოსმოლოგია“ (თ. ადგიშვილის ავტორობით).

6. თანამედროვე თეორიული ფიზიკის ისტორიის პრობლემები. პროფ. თ. ეფრემიძე, მათემატიკის აკად. დოქტორი, ფიზ. მათ. მ. კ. ასოც. პროფ. შ. კირთაძე, ფიზიკის აკად. დოქტორი ი. ლექვინაძე, ფიზიკის აკად. დოქტორი ნ. გეგეჭკორი, ასოც. პროფ. ზ. ბართაია, დოქტორანტი მ. ვერულაშვილი), გამოქვეყნებულია სტატიები და მონოგრაფიები ფიზიკოს-თეორეტიკოსთა (აკად. მ. მირიანაშვილის, პროფ. ა. პ. გრუზინცევის, აკად. გ. ხუციშვილის, ასოც. ვ. სულავას) და მათემატიკოსთა (ნიკო მუსხელიშვილის, ა. რაზმაძის, გ. ხაჭალიას, ი. მეცხვარიშვილის) შესახებ.

იმედია ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი თეორიული მიმართულებებით აწეს ფიზიკის დეპარტამენტი ახალი შემართებით გა-

### ლიტერატურა

1. ვ. პარკაძე, საქართველოს ფიზიკოსები, თბილისი, 1982.
2. К. Джикия, Из истории физики в советской Грузии, Изд. ТГУ, Тбилиси, 1972.
3. თ. ეფრემიძე, დაუვიწყართა კრებული, ტ. I, ქსუ, ქუთაისი, 2000.
4. თ. ეფრემიძე, ი. ლეჟინაძე, მათე მირიანაშვილი, აწსუ, გამ., ქუთაისი, 2005.
5. თ. ეფრემიძე, კაკო სულავა, მეცნიერი და მოძღვარი, აწსუ, გამ., ქუთაისი, 2006.

#### თ. ეფრემიძე

#### თეორიული ფიზიკის განვითარების ეტაპები აკაკი წერეთლის სა- ხელმწიფო უნივერსიტეტში რეზიუმე

განხილულია აწსუ-ს ფიზიკის დეპარტამენტის შექმნის და რეორ-  
განიზაციის ისტორია, დაწყებული 1933 წლიდან, ვიდრე პოლიტექნი-  
კური უნივერსიტეტის (2006 წ.) და სუბტროპიკული უნივერსიტეტის  
(2010) ფიზიკის კათედრების შემოერთების ჩათვლით. მოცემულია აწსუ  
ფიზიკის დეპარტამენტში თეორიული ფიზიკის განვითარების გზები  
და სამომავლო პერსპექტივები.

#### T. Epremidze

#### Stages of Development of Theoretical Physics at Akaki Tsereteli State University

#### Summary

In the work the history of creation and reformation of the Department  
of Physics at Akaki Tsereteli State University is discussed. It covers at the  
period beginning from 1933 till the joining of the Departments of Physics at  
Polytechnic University (2006) and at Subtropical University (2010). The  
article gives the ways of theoretical development of the department of physics  
and its future perspectives.

თ.ადეიშვილი, ნ.ოქროჭელიძე

აკ.წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი



## ასტრონომიული, გეოფიზიკური და კოსმოსური გამოკვლევები ქუთაისის უმაღლეს სასწავლებლებში

1933 წელს თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტს გამოეყო და ქუთაისში დაარსდა სახელმწიფო პედაგოგიური ინსტიტუტი, -სწავლების 4 წლის ვადით.

ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტზე სხვადასხვა დროს სპეციალურ საბუნებისმეტყველო საგნებში ლექციებს კითხულობდნენ პროფესორები და დოცენტები ანდრია ბენაშვილი, მიხეილ ვაშაკიძე, გური თვალთვაძე, მიხეილ იმნაძე, გივი ჭურაძე, არდალიონ ფურცხვანიძე, ი.ტარასაშვილი, დემური თედორაძე, გურამი გრიგალაშვილი, თორნიკე ეფრემიძე.

**პროფ.ა.ბენაშვილი** 1933-35 წლებში ჩვენს ინსტიტუტში ასტრონომიისა და თეორიული ტრიგონომეტრიის ლექტორი იყო. იგი დაიბადა სამხედრო მოსამსახურის ოჯახში. 10 წლის ანდრია მამამ თბილისში კადეტთა კორპუსში მიაბარა. კადეტთა კორპუსის დამთავრების შემდეგ ა.ბენაშვილი შედის მოსკოვის ალექსანდრეს სამხედრო სასწავლებელში, რომელსაც წარმატებით ამთავრებს. 1896 წელს იგი ირიცხება გენერალური შტაბის აკადემიის გეოდეზისტურ განყოფილებაზე, სადაც მიღება მკაცრად შეხედულებული იყო. კურსდამთავრებულს ენიჭებოდა გეოდეზიის მეცნიერული წოდება. გეოდეზისტის წოდება უთანაბრდებოდა ასტრონომიისა და გეოდეზიის დოქტორის ხარისხს. 1899წ. იგი ორი წლით იგზავნება პულკოვოს მთავარ ასტრონომიულ ობსერვატორიაში, სადაც წერს დისერტაციას. უნდა აღინიშნოს, რომ მხოლოდ ორმა კურსდამთავრებულმა დაიცვა დისერტაცია და პირველი სწორედ ა.ბენაშვილი იყო. ანდრია ბენაშვილის ჩამოსვლა ქართული უნივერსიტეტის გახსნის ეტაპს ემთხვევა. იგი თავმჯდომარეობდა პროფესორთა საბჭოს იმ სხდომას, სადაც ივ.ჯავახიშვილი თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის რექტორად აირჩიეს.

**ა.ბენაშვილმა** დაწერა და გამოაქვეყნა ძირითადი სპეციალური



ასტრონომიული დისციპლინის-სფერული ასტრონომიის-პირველი ქართული სახემდღვანელო. იგი ერთობ გულმოდგინედ მუშაობდა ქართული ასტრონომიული ტერმინების შემუშავებისათვის, მოხერხებულად იყენებდა რა ამავე დროს ძველ ქართულ ასტრონომიულ სახელწოდებებს. ისეთი შესანიშნავი ტერმინები როგორცაა, მაგალითად, მზებუდობა, პირისპირდგომა, ბუნიობა და სხვ. შემოტანილია მის მიერ ხალხური ლექსიკონიდან.

პროფესორი **მიხეილ ვაშაკიძე** 1954-1956წ. მუშაობდა ქუთაისის პედაგოგიურ ინსტიტუტში ფიზიკის კათედრაზე და კითხულობდა ასტრონომიის სალექციო კურსს. მან აღმოაჩინა ე.წ. კიბორჩხალის ნისლეულში სინათლის პოლარიზაციის ეფექტი და წამოაყენა ვარსკვლავთ სივრცული განაწილების შესწავლის ახალი მეთოდი, რომელმაც ფართო გამოყენება ჰპოვა რიგ ვარსკვლავთ ასტრონომიულ გამოკვლევებში. მის მიერ დამუშავდა მკრთალ ვარსკვლავთა სპექტრული პარალაქსების განსაზღვრის მეთოდიკა მცირე დისპერსიის სპექტრების საფუძველზე. მზის გვირგვინის თანმიმდევრულმა შესწავლამ დაბნელების პირობებში შესაძლებელი გახადა გამოკვლეული ყოფილიყო სინათლის პოლარიზაცია, გვირგვინის გამოსხივების სრული ენერგია და გვირგვინის რიგი თვისების კავშირი მზის აქტივობასთან.

პროფესორი **გური თვალთვაძე** 1935-41 წ. მუშაობდა პედაგოგიური ინსტიტუტის ფიზიკის კათედრაზე და კითხულობდა გეოფიზიკისა და ასტრონომიის კურსებს. დიდი წვლილი მიუძღვის საქართველოში გეოფიზიკის განვითარების საქმეში. ის სათავეში ჩაუდგა გეოფიზიკური ძიების ერთ-ერთ ძირითად დარგს-სეისმურ ძიებას მუშაობს საქართველოს ტერიტორიაზე მიწის ქერქის აგებულების პრობლემებზე მძლავრი აფეთქების მიერ გამოწვეულ სეისმურ ტალღებზე დაკვირვების საშუალებით. **გ.თვალთვაძემ** განსაზღვრა საქართველოს ტერიტორიაზე მიწის ქერქის ძირითადი ფენების სიმძლავრეები და ჩაწოლის სიღრმეები. ამ სამუშაოების ლოგიკურ განვითარებას წარმოადგენდა საქართველოს ტერიტორიის მრავალ უბანზე (კოლხეთის დაბლობი, ახალქალაქის ზეგანი, რუსთავის მიდამოები და სხვა) დანალექი წყებების სისქეების კვლევა და მათი გეოლოგიური აგებულების დად-

გენა. ამ კვლევის შედეგებს დიდი თეორიული და პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს.



**დოც. მიხეილ იმნაძე** 1952–54წ. მუშაობდა ქუთაისის პედ. ინსტიტუტში ფიზიკის კათედრაზე. მან გამოაქვეყნა ზოგადი ასტრონომიის კურსის სახელმძღვანელო პედაგოგიური ინსტიტუტის სტუდენტებისათვის. გამოიკვლია კომეტების მოძრაობა და გამოსცა პოპულარული წიგნი „თანავარსკვლავედები“.

**დოც. გივი ჭურამძე** დაამთავრა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ასტრონომიის სპეციალობა 1948წ. იმავე წლიდან მუშაობს ინსტიტუტის ფიზიკის კათედრაზე ასისტენტად ასტრონომიაში, კითხულობდა ასტრონომიის სალექციო კურსს და ატარებდა პრაქტიკუმებს. ეწეოდა სამეცნიერო მუშაობას, ხელმძღვანელობდა სტუდენტთა სამეცნიერო წრეში მოხსენებების მომზადებას. მუშაობდა სადისერტაციო თემაზე აბასთუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორიის დირექტორის აკად. ე. ხარაძის ხელმძღვანელობით.

**გ. ჭურამძე** შეისწავლა მოკლეპერიოდიანი ცეფეიდების საშუალო ფოტოგრაფიული აბსოლუტური სიდიდის განსაზღვრა, მოახდინა მცირე პლანეტების ელექტროფოტომეტრული შესწავლა და გამოითვალა ანდრომედა Z-ის სპექტრომეტრიული პარამეტრები. დაამუშავა ასტრონომიის სწავლების მეთოდის საკითხები საშუალო სკოლისათვის.

**დოც. არდალიონ ფურცხვანიძე** 1931 წლიდან სწავლას აგრძელებს ლენინგრადის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მექანიკა-მათემატიკის ფაკულტეტზე ასტრონომიის სპეციალობით, რომელიც დაამთავრა 1935წ. 1936წლიდან 1946 წლამდე მუშაობდა ქუთაისის პედაგოგიურ ინსტიტუტში ასტრონომიის მასწავლებლად. 1951წ. ყოფილი საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის მთავარ ასტრონომიულ ობსერვატორიაში (პულკოვის ობსერვატორია) დაიწვა საკანდიდატო დისერტაცია თემაზე: „პლანეტათა ორბიტების გამოთვლის მეთოდის გაუმჯობესების საკითხი“. სხვადასხვა დროს მუშაობდა აბასთუმნის ობსერვატორიაში. მან დაამუშავა პლანეტების ორბიტების განსაზღვრის კერძო ამოცანები და შეისწავლა ცის მექანიკის ზოგიერთი საკითხები.

**დოც.ი.ტარასაშვილი** 1947-1957 წლებში მუშაობდა ქუთაისის პედაგოგიურ ინსტიტუტში ასტრონომიის ლექტორად. მან შეესწავლა პლუტონის მოძრაობის თვისებები. გამოთვალა პლუტონისათვის ენერჯის ინტეგრალის მუდმივა, რომელიც საშუალებას იძლევა განსაზღვრული იქნას პლუტონის მოძრაობის შესაძლო არის საზღვრები. ეს არე აღმოჩნდა შემოსაზღვრული და მამასა-დამე, პლუტონის მზიდან შესაძლო მანძილთა ზედა საზღვარი. გამოთვლილია ამ ზედა საზღვრის რიცხვითი მნიშვნელობა.

გასული საუკუნის 80-იანი წლებიდან ქუთაისის ტექნიკურ უნივერსიტეტში (ყოფილი პოლიტექნიკური ინსტიტუტი) საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის მაშინდელი პრეზიდენტის აკადემიკოს **ვეგნი ხარაძისა** და საკავშირო მეცნიერებათა აკადემიის კოსმოსური გამოკვლევების ინსტიტუტის დირექტორის აკადემიკოს **როალდ საგდევის** ინიციატივით განხორციელდა გარკვეული სამუშაოები ქვეყნის სამხრეთ რეგიონში სპეციალური ობსერვატორიის აგების შესახებ, რომელშიც უნდა შესრულებულიყო ფაქიზი დაკვირვებები გეოელექტრომაგნიტური ველების ვარიაციებზე, მიწისძვრის გეოქიმიურ, ჰიდროგეოდინამიკურ და მეტეოროლოგიურ წინამორბედებზე და მედიკო-ბიოლოგიურ-მზისიერ ურთიერთკავშირებზე.

ამ იდეას მხურვალედ მიესალმა ინსტიტუტის მაშინდელი რექტორი პროფესორი **ნოდარ ვალიშვილი** და პრორექტორი **პროფ.თენგიზ შუბლაძე** (ნათელში იყოს მისი სული). სამუშაოთა პრაქტიკულ განხორციელებას სათავეში ჩაუდგა ამ მოხსენების ერთ-ერთი თანაავტორი პროფ.**თ.ადეიშვილი**.

ობსერვატორიისათვის ადგილმდებარეობის შერჩევის მიზნით პოლიტექნიკურ ინსტიტუტში მოწვეულ იქნა სპეციალური ექსპედიციები საკავშირო მეცნიერებათა აკადემიის კოსმოსური გამოკვლევების ინსტიტუტიდან (**იური გალპერინი**) და აკადემიკოს ო.შმიდტის სახელობის დედამიწის ფიზიკის ინსტიტუტიდან (**პროფ.ლეონიდ ბარანსკი**), საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტიდან (**პროფ.არჩილ ხანთაძე**), თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტიდან (**პროფ.ზურაბ შარაძე**) ქუთაისის პოლიტექნიკური ინსტიტუტიდან (**პროფ. თ.ადეიშვილი**).



განხორციელდა მრავალრიცხოვანი გამოკვლევები ფონური ელექტრომაგნიტური ველების ცვლილებებისა და პარაზიტული სიგნალების ინტენსივობათა შესახებ. საბოლოოდ ობსერვატორიის აგების შესაფერის ადგილად ექსპედიციამ ვანის რაიონის სოფ. ყუმური შეარჩია. დაიწყო რთული და ხანგრძლივი პროცესი ობსერვატორიის მშენებლობისა და შესაბამისი სტატუსის სამეცნიერო ორგანიზაციის ჩამოყალიბების თაობაზე. მშენებლობის პროცესში დიდი ფინანსური დახმარება გაწია დედამიწის ფიზიკის ინსტიტუტმა და ვანის რაიონის მაშინდელმა ხელმძღვანელობამ. მშენებლობა 1986 წლის გაზაფხულზე დაიწყო და ძირითადად 1989 წლის ბოლოს დასრულდა. გაყვანილ იქნა ახალი გზა, აიგო ხიდები, აშენდა გასახსნელი სახურავის მქონე 3-სართულიანი შენობა. გაყვანილ იქნა 18კმ სიგრძის მაღალი ძაბვის ელექტრომომარაგება. მიწისქვეშ აიგო 40 მეტრი სიგრძის გვირაბი სპეციალური გაზომვებისათვის. ქვეყნის შესაბამისი უწყებების წინაშე დაისვა საკითხი შესაბამისი სამეცნიერო სტატუსის მოპოვების შესახებ.

1988 წლის ბოლოს ქუთაისის ტექნიკურ უნივერსიტეტში ჩამოყალიბდა სამეცნიერო ორგანიზაცია—კოსმოფიზიკური გამოკვლევების პრობლემური სამეცნიერო-კვლევითი ლაბორატორია ობსერვატორიით. მის სამეცნიერო კონსულტანტად დაინიშნა ჩვენი მოსკოველი თანამემამულე პროფ. გიორგი მანაგაძე, ხოლო ხელმძღვანელად პროფ. თ. ადეიშვილი. ცოტა ხნის შემდეგ ის სამეცნიერო კვლევით ინსტიტუტად, ხოლო მოგვიანებით სამეცნიერო ცენტრად გარდაიქმნა.

ახალ სამეცნიერო ორგანიზაციაში ხორციელდებოდა ახლო კოსმოსში მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების შესწავლა, მიწისძვრების სხვადასხვა სახის წინამორბედთა კვლევა სეისმოაქტიურობის სწორად შეფასების მიზნით, მედიკო-ბიოლოგიურ სისტემებზე და მოსავლიანობაზე სხვადასხვა სახის კოსმოსური გამოსხივებების ვარიაციების გავლენის გამოკვლევა, შესაბამისი ტექნიკური საშუალებების შექმნა და თეორიული მოდელების დამუშავება.

სამეცნიერო ცენტრში, გარდა ვანის ობსერვატორიისა, შედიო-

და დასაკვირვებელი პუნქტები ქ.წყალტუბოში და ყუმისთავის/ მღვიმეში.



გაზომვების სიზუსტის სრულყოფისათვის დაწყებული იყო დასაკვირვებელი აქტინომეტრიული სადგურის მოწყობა კურორტ საირმეში, რომელიც დღეისათვის შეჩერებულია სხვადასხვა მიზეზების გამო.

ამ სამეცნიერო ორგანიზაციაში სხვადასხვა დროს შეთავსებით მუშაობდნენ აკადემიკოსები: **ბ.ბალავამე, ჯ.ლომინაძე, გმანაგაძე, რ.სეფიაშვილი** და პროფესორები: **ა. პატარაია ზ. შარაძე, გ. მაჩაბელი კ. მაგლობლიშვილი, გ. აბურჯანია, ზ.ხვედელიძე** და სხვ., აკადემიური დოქტორები: **ლ.ხვედელიძე, შ.მორდეხაშვილი, ა.გაბეშია, ა.ჯინჭარაძე, კ.ჩაფიძე, ა.უგულავა** და სხვ. თანამშრომელთა საერთო რაოდენობამ მაქსიმუმს (110) 1995წ. მიაღწია.

ცენტრის არსებობის მანძილზე მიღებული იქნა სხვადასხვა სამეცნიერო შედეგები ახლო კოსმოსში მიმდინარე პროცესებისა და მიწისძვრის მოვლენების შესწავლის თვალსაზრისით. კერძოდ, განხორციელდა გარკვეული გამოკვლევები იონოსფეროსა და მაგნიტოსფეროს ოპტიკური თვისებების შესწავლის და მათი შემადგენელი კომპონენტების კონცენტრაციათა განაწილებისა და ცვლილებების დადგენის მიზნით. შესწავლილ იქნა ატომური ჟანგბადის, ლითიუმის, აზოტის და სხვა აირების სხვადასხვა უბნებში გენერირებული გამოსხივებების გამომწვევი მექანიზმები როგორც აქტიური, ისე პასიური ექსპერიმენტების დროს.

მოეწყო მრავალი სამეცნიერო სიმპოზიუმი და სემინარი ქართველი და უცხოელი (შვეიცია—**რ.ლუნდინი**, ირლანდია—**დ.კორმაკი**, ამერიკა—**მ.ჩარზი**, რუსეთი—**ვ.ვოიტოვი, ვ.ტიომნი, ჟ.ფიოდოროვი** და სხვ.) მეცნიერების მონაწილეობით. სამეცნიერო სახის ხელშეკრულებები გაფორმდა შვეციის კოსმოსური ფიზიკის ინსტიტუტთან, გერმანიის კოსმოსური კვლევის ცენტრთან, ბრაზილიის ოპტიკური კვლევების ინსტიტუტთან, რუსეთის კოსმოსური კვლევების ცენტრთან და სხვ. მიღებული მონაცემების საფუძველზე დაცულ იქნა სამი დისერტაცია, დაიწერა ორი მონოგრაფია და რამდენიმე ასეული სამეცნიერო ნაშრომი. სამეცნიერო მივლინებებით ცენტრის თანამშრომლები ეწვივნენ და მოხსენე-

ბით გამოვიდნენ სხვადასხვა ქვეყნებში: უკრაინა, შვეიცია გერმანია, ბულგარეთი და სხვ. 2005 წლიდან ხსენებულმა ცენტრმა შეიქმნა ვიტა მუშაობა ფინანსირების შეჩერების გამო. უნივერსიტეტების გაერთიანების შემდეგ ყოფილი ცენტრის ზოგიერთი თანამშრომელი მუშაობას განაგრძობს ფიზიკის დეპარტამენტში, რომელშიც მოეწყო აკად. ე. ხარაძის სახ. ასტრონომიული კაბინეტი, დასაკვირვებელი მოედანი, რომლიდანაც შესაბამისი ხელსაწყო-დანადგარების აღჭურვის შემდეგ შეიძლება საინტერესო ასტრონომიული დაკვირვებების ჩატარება.

### ლიტერატურა

1. ი. ერემეიშვილი. ქუთაისის პედაგოგიური ინსტიტუტი 35 წლისთავზე ქპი-ის შრომები 1973 წ.
2. თ. ეგრემიძე „დაუვიწყართა კრებული“ ქუთაისი. 2000 წ. ნაწ. I.

თ. ადეიშვილი, ნ. ოქროჩელიძე,

ასტრონომიული, გეოფიზიკური და კოსმოსური გამოკვლევები ქუთაისის უმაღლეს სასწავლებლებში

რეზიუმე

ნაშრომში წარმოდგენილია ქუთაისის უმაღლეს სასწავლებლებში, მათი დაარსებიდან დღემდე, მომუშავე პროფესორ-მასწავლებელთა მიერ მიღებული ასტრონომიული, გეოფიზიკური და კოსმოსური კვლევების მასალები.

T. Adeichvili, N. Oqrochelidze,

The Astronomical, Geophysical and Space Investigations Kutaisi Higher Educational Institutes

Summary

The investigational materials of astronomy, Geophysics and space of professor-teachers of Kutaisi Higher Educational Institutes from foundation to day is presented.

## ზ. ბართაია

პედაგოგიურ მეცნიერებათა დოქტორი,  
ქუთაისის კადეტთა სამხედრო ლიცეუმის ფიზიკის მასწავლებელი



### მ. ვერულაშვილი, ზ. ენდელაძე

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

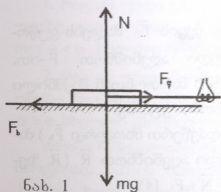
### გავიფართოვოთ ცოდნა

### ხახუნის ძალა და მისი თვისებები

ხახუნი ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი მოვლენაა, რომელიც თანახლავს ყოველი სხეულის (ზედაპირის) ფარდობით მოძრაობას. ამიტომ მისი გათვალისწინება მოძრაობის პირობებში აუცილებელია.

საჯარო სკოლის გრიფირებული სახელმძღვანელოებში ამ საკითხზე მწირი ინფორმაციაა. არადა, საჭიროა უფრო ღრმად შევისწავლოთ ხახუნის ძალის წარმოშობა და მისი თვისებები, გავიფართოვოთ ამ ძალაზე წარმოდგენა. სწორედ ამ პრობლემების გადაწყვეტის მცდელობას წარმოადგენს ამ სტატიის მიზანი.

დავუშვათ, ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოთავსებულია  $m$ -მასის სხეული. სხეულზე მოქმედებს სიმძიმის ძალა  $\overline{mg}$ . ეს ძალა «აკრავს» სხეულს ზედაპირზე, ზედაპირი სხეულს პასუხობს, წნევის ნორმალური  $\overline{N}$ -ძალით და «ირეკლავს» მას. თუ სხეული უძრავია მაშინ  $\overline{mg} = \overline{N}$ .



ნახ. 1

თუ სხეულზე მოვაბამთ ძაფს და ვიმოქმედებთ მასზე ზედაპირის გასწვრივ მცირე  $\overline{F}_f$  წევის ძალით. (ნახ. 1) მაშინ სხეული არ ამოძრავდება. ეს იმას ნიშნავს, რომ ჩნდება კიდევ ერთი ძალა, რომელიც მოქმედებს სხეულზე, ასევე ზედაპირის გასწვრივ  $\overline{F}_f$ -ძალის საპირისპიროდ. მას უძრავობის ხახუნის ძალა

ეწოდება. თუ გავზრდით  $\overline{F}_f$ -ძალას, მაშინ შესაბამისად რაღაც ზღვრულ მნიშვნელობამდე იზრდება უძრავობის ხახუნის ძალა. ამ



ექსპერიმენტის საფუძველზე დგინდება:

1. უძრაობის ხახუნის ძალა  $\bar{F}_{\text{უბ.ხ.}}$  წარმოიშობა წვევის ძალის  $\bar{F}_{\text{წ.}}$  წარმოშობისთანავე და იზრდება მის ზრდასთან ერთად რაღაც  $\bar{F}_{\text{ხ.მ.ა.ქ.}}$ -მნიშვნელობამდე.

2. უძრაობის ხახუნის ძალა ყოველთვის მიმართულია სხეულის ფარდობითი მოძრაობის საწინააღმდეგოდ. ის დრეკადობის ძალაა და მიეკუთვნება ელექტრო-მაგნიტურ ძალთა ჯგუფს.

3. უძრაობის ხახუნის მაქსიმალური ძალის სიდიდე  $|\bar{F}_{\text{ხ.მ.ა.ქ.}}|$  წვევის ძალის  $|\bar{N}|$ -სიდიდის პროპორციულია.

$$|\bar{F}_{\text{ხ.მ.ა.ქ.}}| = \mu |\bar{N}| \quad (1)$$

$$\text{აქედან } \mu = \frac{|\bar{F}_{\text{ხ.მ.ა.ქ.}}|}{|\bar{N}|}$$

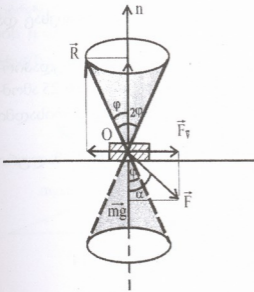
$\mu < 1$ . მას ხახუნის კოეფიციენტი ეწოდება.

თუ სხეული ამოძრავდება მაშინ მასზე მოქმედ ხახუნის ძალას უწოდებენ სრიალის ხახუნს და  $|\bar{F}_{\text{სრ.ხ.ხ.}}| = |\bar{F}_{\text{ხ.მ.ა.ქ.}}| = \mu |\bar{N}| \quad (2)$

დავუშვათ, რომ ჰორიზონტალურ ზედაპირზე მოთავსებულია  $m$ -მასის სხეული. მასზე მოქმედებს ძალები: სიმძიმის ძალა -  $\overline{mg} \Rightarrow$  წვევის ძალა -  $\bar{N}$ ; წვევის ძალა -  $\bar{F}_{\text{წ.}} \Rightarrow$  სრიალის ხახუნის ძალა -  $\bar{F}_{\text{სრ.ხ.}}$ .

სხეულზე მოქმედ სიმძიმის  $\overline{mg}$  და წვევის  $\bar{F}_{\text{წ.}}$  ძალებს ვუწოდოთ გარეგანი და მათი ტოლქმედი აღვნიშნოთ  $\bar{F}$ -ით.  $\bar{F} = \overline{mg} + \bar{F}_{\text{წ.}}$  (3)  $F$ -ძალის მიერ ზედაპირის მართობთან შექმნილი კუთხე იყოს  $\alpha$ .  $\alpha$  კუთხეს ეწოდება ძრაობის კუთხე.

ვუწოდოთ  $\bar{N}$  და  $\bar{F}_{\text{სრ.ხ.}}$  (შემდგომში დავწერთ მხოლოდ  $\bar{F}_{\text{ხ.}}$ ) ძალებს შინაგანი ძალები. მათი ტოლქმედი აღვნიშნოთ  $\bar{R}$  ( $\bar{R}$  ზედაპირის ჯამური რეაქციის ძალაა).  $\bar{R} = \bar{N} + \bar{F}_{\text{ხ.}}$  (4)



ნახ. 2

$$\varphi = \arctg \mu \quad (6), \text{ ვინაიდან } \mu < 1$$

ამიტომ  $0 < \varphi < 45^\circ$

$\bar{R}$  ძალის მიმართულებასა და ზედაპირის  $\bar{n}$  ნორმალის შორის კუთხე აღვნიშნოთ  $\varphi$ -ით (ნახ. 2). მაშინ

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{|F_f|}{|N|} = \mu \quad (5)$$

$\varphi$ -კუთხეს უწოდებენ ხახუნის კუთხეს. (5)-დან

ვაზრუნოთ  $\bar{R}$  ვექტორი მისი მოდების O ცენტრის გარშემო  $\varphi$  კუთხით. მაშინ ის შემოწერს კონუსს, რომლის წვეროსთან კუთხე  $2\varphi$ -ის ტოლია. მას «ხახუნის კონუსს» უწოდებენ.

საინტერესოა, რომ ხახუნის  $\varphi$ -კუთხეს აქვს მეტად საინტერესო თვისებები:

1. რაც არ უნდა დიდი სიდიდის  $\vec{F}$  ძალა უნდა მოვდოთ სხეულზე, თუ ის მოთავსებულია «ხახუნის კონუსის» შიგნით, ე.ი. თუ  $\alpha < \varphi$ . სხეული რჩება უძრავი

2. რაც არ უნდა მცირე სიდიდის  $\vec{F}$  ძალა უნდა მოვდოთ სხეულზე, თუ ის მოთავსებულია «ხახუნის კონუსის» გარეთ. ე.ი. თუ  $\alpha > \varphi$  სხეული ამოძრავდება.

ორივე ჩამოყალიბებული აზრის სისწორეში დავრწმუნდებით მარტივად. (2)-ის მიხედვით. სხეულზე მოქმედი წვევის ძალა  $F \sin \alpha$ , ხოლო ნორმალური რეაქციის ძალაა  $F \cos \alpha$ , მაშინ  $|F_f| = \mu F \cos \alpha$ , თუ:

1)  $F \sin \alpha < \mu F \cos \alpha \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha < \mu \Rightarrow \operatorname{tg} \alpha < \operatorname{tg} \varphi$ . ე.ი.  $\alpha < \varphi$ . სხეული

უძრავია. ანალოგიურად ვაჩვენებთ (2) დასკვნის სისწორესაც და მივიღებთ  $\alpha > \varphi$ . სხეული მოძრაობს.



**ამოცანა 1.**  $m=10$  კგ მასის სხეული მოთავსებულია ზედაპირზე (ნახ. 1), რომელთანაც ხახუნის კოეფიციენტი  $\mu = 0,25$  ამოძრავდება თუ არა სხეული, თუ მასზე მოვდებთ ზედაპირისადმი ძალას ა) 20 ნ. ბ) 30 ნ.

**I ხერხი:** სხეულზე მოქმედი უძრაობის ხახუნის მაქსიმალური ძალა  $F_{h, \max} = \mu mg = 25$  ნ.

1)  $F_1 = 20$  ნ < 25 სხეული უძრავია.

2)  $F_2 = 30$  ნ > 25 სხეული მოძრაობს.

**II ხერხი:** ხახუნის კუთხე  $\varphi = \arctg \mu$ ; მივიღებთ  $\mu = 14^\circ$

$$\text{ძრაობის კუთხე } \alpha = \arctg \frac{F}{mg}$$

$$\alpha_1 = \arctg \frac{20}{100} = \arctg 0,2 = 11^\circ 29' < 14^\circ \text{ უძრავია.}$$

$$\alpha_2 = \arctg \frac{30}{100} = \arctg 0,3 = 17^\circ > 14^\circ \text{ მოძრაობს.}$$

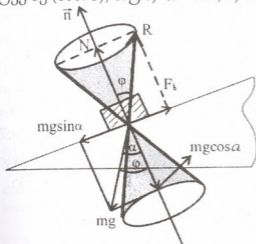
განვიხილოთ სხეულის მოძრაობის (ჩამოსრიალების) პირობა, როცა სხეული მოთავსებულია სიბრტყეზე, რომელიც ზედაპირიდან ქმნის  $\alpha$ -კუთხეს (ნახ. 3). აქ  $\vec{F}$  გარეგანი ძალის როლში გვაქვს მხოლოდ სიმძიმის  $\overline{mg}$  ძალა. ავავით  $\vec{N}$  და  $\vec{F}_h$  ძალების  $\vec{R}$  ტოლქმედი.  $\vec{R}$  ძალის მიერ ზედაპირის  $\vec{n}$ -ნორმალთან შედგენილი კუთხე იყოს  $\varphi$ . ავავით «ხახუნის კონუსი».

სხეულზე მოქმედებს ჩამოსრიალებელი ძალა  $mg \sin \alpha$ , წნევის ძალა  $|\vec{N}| = mg \cos \alpha$ . მაშინ  $|\vec{F}_h| = \mu |\vec{N}| = \mu mg \cos \alpha$ . ამ ძალების შედარებით მივიღებთ იმავე პირობას, რაც ჰორიზონტალური ზედაპირების შემთხვევაში.

თუ  $\alpha < \varphi$ , მაშინ სიმძიმის  $\overline{mg}$  ძალა ძევს «ხახუნის კონუსის» შიგნით და სხეული უძრავია. თუ  $\alpha > \varphi$ , მაშინ სიმძიმის  $\overline{mg}$  ძალა ძევს «ხახუნის კონუსის» გარეთ და სხეული მოძრაობს.

**ამოცანა 2.**  $m=10$  კგ მასის სხეული მოთავსებულია დახრილ

სიბრტყეზე. ხახუნის კოეფიციენტი სხეულსა და ზედაპირს შორის  $\mu = 0,25$ -ია. ჩამოსრიალდება თუ არა სხეული დახრილ სიბრტყეზე (ნახ. 3), თუ ა)  $\alpha = 12^\circ$ ; ბ)  $\alpha = 20^\circ$



ნახ. 3

**I ხერხი.** სხეულზე მოქმედებს ხახუნის ძალა  $\mu mg \cos \alpha$  და ჩამოსრიალბელი ძალა  $mg \sin \alpha$ .

ა)  $\alpha = 12^\circ$ , მაშინ  $\mu mg \cos \alpha = 0,25 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 0,98 = 24,56$   
 $mg \sin \alpha = 10 \cdot 10 \cdot 0,21 = 216 < 24,56$  სხეული უძრავია

ბ)  $\alpha = 20^\circ$   $\mu mg \cos \alpha = 0,25 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 0,94 = 23,76$   
 $mg \sin \alpha = 10 \cdot 10 \cdot 0,342 = 34,26 > 23,76$  მოძრაობს.

**II ხერხი.** ხახუნის კუთხე  $\varphi = \arctg \mu = \arctg 0,25$  ანუ  $\varphi = 14^\circ$

ა)  $\alpha = 12^\circ < 14^\circ$  სხეული უძრავია.

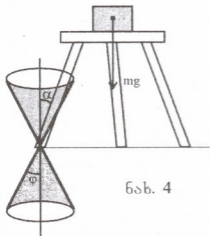
ბ)  $\alpha = 20^\circ > 14^\circ$  სხეული მოძრაობს.

აღსანიშნავია, რომ «ხახუნის კონუსის» ცნებით სარგებლობენ ინჟინრები, როცა ანგარიშობენ საინჟინრო ნაგებობებისა თუ კონსტრუქციების მდგრადობას.

ადვილად რომ გავერკვეთ «ხახუნის კონუსის» ფიზიკურ არსში, წარმოვიდგინოთ სამფეხა ტაბურეტი, რომლის ფეხები მისივე ზედაპირით შეერთებულია სახსრულად. დავდგათ ტაბურეტი ია-



ტაკზე ისე, რომ მისმა თითოეულმა ფეხმა იატაკთან შეხების წერტილზე აღმართულ მართობთან შეადგინოს ერთნაირი  $\alpha$  კუთხე ხახუნის კუთხე იყოს  $\varphi$ . (ნახ. 4)



ნახ. 4

თუ აღმოჩნდა, რომ  $\alpha < \varphi$ , მაშინ რაც არ უნდა დიდი სხეული მოვათავსოთ ტაბურეტის ზედაპირზე, ის არ წაიქცევა. თუ აღმოჩნდა, რომ  $\alpha > \varphi$ , მაშინ ტაბურეტის ფეხები გაიშლება და ის წაიქცევა ნებისმიერი მცირე ძალის მოქმედების შემთხვევაში.

**ზ. ბართაია, მ. ვერულაშვილი, ზ. ენდელაძე**  
**გავიფართოვით ცოდნა ხახუნის ძალა და მისი თვისებები**  
**რეზიუმე**

თემის შესავალში განხილულია ხახუნის ძალის წარმოშობის მიზეზები, აღწერილია ხახუნის ძალაზე დაკვირვების ექსპერიმენტები და აქედან გამომდინარე დადგენილია მისი თვისებები.

ხახუნის ძალა განხილულია, როგორც საჯარო სკოლის გრიფიტულ, ასევე უმაღლესი სკოლის ფიზიკის სახელმძღვანელოებში, მაგრამ აქ განხილული საკითხები არ იძლევა ხახუნის ძალაზე სრულ წარმოდგენას. თემის მიზანია ელემენტარული წარმოდგენით უფრო ღრმად გავერკვეთ ხახუნის ძალის შინაარსში.

თემის ძირითად ნაწილში შემოღებულია ხახუნის  $\varphi$  კუთხის და უძრაობის  $\alpha$  კუთხის ცნებები. შემოღებულია ე. წ. “ხახუნის კონუსის” ცნება. კუთხეების სიდიდეთა შედარების საფუძველზე დადგენილია ჰორიზონტალურ ზედაპირზე სხეულის გადაადგილებისა და დახრილ სიბრტყეზე ჩამოსრიალების პირობები. გაანალიზებულია სხეულის (სხეულთა სისტემის) მდგრადობის საკითხები.

### Abstract

In the introduction we discuss the reason of frictional force describe the experiments of observation, henceforth we establish its qualities.

Frictional force is described both in school books and in high school textbooks, but they do not give the complete knowledge about it. The goal of the thesis is to find out more about the frictional force.

In the main part of the thesis there are given the notions of  $\varphi$  –point of friction and  $\alpha$  –point of immobility. There is presented the notion the so called “Friction Cone”. On the basis of comparison of different angles we ascertain the conditions of moving on horizontal surface and sliding on the inclined surface. We analyze the task of firmness of objects (systems of objects).

## პროთიუმის იონის გამოკვლევა ჰიპერსფერულ ფუნქციათა მეთოდით

უარყოფითი იონებით, კერძოდ, პროთიუმის  $H^-$  იონით, მეცნიერთა დაინტერესებას დიდი ხნის ისტორია აქვს, განპირობებულია ეს იმ ფიზიკური პროცესებით, რომლებიც უარყოფითი იონების მონაწილეობით მიმდინარეობენ ბუნებაში. მათ შორის აღსანიშნავია: გაზური განმუხტვის პროცესები, გამოსხივების შთანთქმისა და გაბნევის პროცესები ვარსკვლავების, მზისა და დედამიწის ატმოსფეროებში და სხვა. პროთიუმის იონის  $H^-$  ტალღური ფუნქციისა და ენერგიის გამოთვლას წმინდა მეთოდოლოგიური მნიშვნელობაც აქვს, რამდენადაც იგი უმარტივესია ჰელიუმის მსგავს იონებს შორის და მასში განსაკუთრებულად აისახება ორელექტრონიანი ატომისა და იონების,  $He, Li^+, Be^{++}, \dots$ , ტალღური ფუნქციებისა და ენერგეტიკული დონეების ძირითადი თავისებურებანი.

პროთიუმის იონის  $H^-$  ძირითადი მდგომარეობის ენერგია, თუ იგი სტაბილურია, ნაკლები უნდა იყოს შესაბამისი ატომის – პროთიუმის  $H$  ძირითადი მდგომარეობის ენერგიაზე  $13,6 \text{ ევ} = 0,5 \text{ აე.სხვაობა}$  ატომისა და შესაბამისი იონის ძირითადი მდგომარეობების ენერგიებს შორის  $E - E^-$  წოდებულია ატომის მიერ ელექტრონის მიერთების ენერგიად. იგი განსაზღვრავს იონის სტაბილურობას, ვინაიდან ტოლია იონისაგან ელექტრონის მოწყვეტისათვის საჭირო ენერგიისა და შეიძლება განხილულ იქნას იონის დარღვევის ენერგიად.

ირკვევა, რომ რაც უფრო მცირეა ბირთვის მუხტი  $Ze$ , მით მეტად იჩენს თავს ელექტრონების ერთმანეთთან ურთიერთქმედება და აუცილებელი ხდება მათ შორის კორელაციური ეფექტების გათვალისწინება. ჰილარაასის მიერ შესრულებულმა პირველმა გაანგარიშებებმა აჩვენეს, რომ წყალბადის ატომის შეუშფოთებელი ველი არ არის იმდენად ძლიერი, რომ მასში შეიქმნას მდგრადი



ენერგეტიკული დონეები [1], მაგრამ ერთიდაიგივე 1S ორბიტალზე მყოფ ელექტრონთა ძლიერი ზმა იმდენად მნიშვნელოვნად ცვლის ელექტრული მუხტის განაწილებას, რომ ამ ეფექტის გათვალისწინებით უნდა განვიხილოთ თითოეული ელექტრონის მოძრაობა ეფექტურ ველში, რომლის მიზიდულობის ძალა საკმარისი იქნება იმისათვის, რომ ელექტრონების სრული ენერგია იონში მეტი აღმოჩნდეს ნეიტრალური ატომის ენერგიაზე.

ორელექტრონიანი ატომისა და იონების ზმის ენერგიების შედარებით უფრო ზუსტი მნიშვნელობები მიღებულია ვარიაციული მეთოდით [2]. მაგრამ ასეთი მიდგომის დროს, გარდა იმისა, რომ ტალღური ფუნქციის არჩევა ნებისმიერად ხდება, თავს იჩენს დიდი სიძნელეები აღზნებული მდგომარეობების აღწერაში, რაც თავის მხრივ დაკავშირებულია დამატებითი პირობების შემოტანასთან, კერძოდ, იმასთან, რომ ყოველი აღზნებული მდგომარეობის ტალღური ფუნქცია ორთოგონალური უნდა იყოს ქვედა მდგომარეობათა ტალღურ ფუნქციებთან. ხოლო, თუ დამატებით პირობებს არ გავითვალისწინებთ და გამოთვლებს ჩავატერებთ რიტცის მეთოდით, თუნდაც დიდი სიზუსტით, ვნახავთ, რომ რაც უფრო უკეთესი იქნება აღზნებული მდგომარეობის მიახლოება, მით უფრო გაუარესდება ძირითადი მდგომარეობის მიახლოება. ასე მოხდება მაშინაც კი, როდესაც საწყისი საცდელი ფუნქციის სახე სასურველია აღზნებული დონეებისათვის. აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ დამატებითი პირობები მნიშვნელოვნად ამცირებს ასარჩევი საცდელი ფუნქციების რაოდენობას, რითაც მეთოდის კრებადობა უარესდება.

ნაშრომში წარმოდგენილია პროთიუმის იონის  $H^-$  გამოკვლევის არავარიაციული, არაადიაბატური მეთოდი, რომელიც ეფუძნება სამნაწილაკოვანი ბმული სისტემის შესაბამისი შრედინგერის განტოლების ამოხსნას რეინალ-რევაის უნიტარული გარდაქმნების გამოყენებით [3]. მაშ ასე, განვიხილოთ პროთიუმის იონი  $H^-$ , როგორც ბმული სისტემა კულონური ძალებით ურთიერთქმედი პროტონისა და ორი ელექტრონისა: მასებით  $m_1 = m_2 = m, m_3 = M$ , მუხტებით  $q_1 = q_2 = -e, q_3 = e$  და რა-

დიუს-ვექტორებით  $\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{r}_3$ . ელექტრონები ხასიათდებიან სპინ-პარალელური სპინებით  $S_1 = 1/2, S_2 = -1/2$ , რის გამოც სისტემის სრული სპინი  $S = 1/2$ , რასაც შეესატყვისება სიმეტრიული კოორდინატული ტალღური ფუნქცია. შემოვიღოთ იაკობის კოორდინატები:

$$\begin{aligned} \vec{X}_i &= \sqrt{\frac{m_j m_k}{m_j + m_k}} (\vec{r}_j - \vec{r}_k), \\ \vec{Y}_i &= \sqrt{\frac{m_i(m_j + m_k)}{M}} \left( \frac{m_j \vec{r}_j + m_k \vec{r}_k}{m_j + m_k} - \vec{r}_i \right), \\ \vec{R} &= M^{-1/2} (m_i \vec{r}_i + m_j \vec{r}_j + m_k \vec{r}_k), \end{aligned} \quad (1)$$

სადაც  $M = m_i + m_j + m_k$  სისტემის სრული მასაა.  $i, j, k$  - ციკლურად გადასმადი ინდექსებია (1, 2, 3).

მასათა ცენტრის სისტემაში შრედინგერის განტოლებას აქვს სახე:

$$(\Delta_{\vec{x}} + \Delta_{\vec{y}}) \Psi(\vec{x}, \vec{y}) + \frac{2m}{\hbar^2} [E - V_{ijk}(\vec{x}, \vec{y})] \Psi(\vec{x}, \vec{y}) = 0 \quad (2)$$

სადაც  $m$  - ელექტრონის მასაა.  $V_{ijk}(\vec{x}, \vec{y})$  - სისტემის პოტენციური ენერგიაა, ორნაწილაკოვანი ურთიერთქმედების მიახლოებაში მას აქვს შემდეგი სახე:

$$V_{ijk}(\vec{x}, \vec{y}) = \sum_{i=1}^3 \frac{b_i}{x_i}, \quad \text{სადაც } b_i = \sqrt{\frac{m_j m_k}{m_j + m_k}} q_j q_k \quad (3)$$

გადავიდეთ ჰიპერკოორდინატებზე. მასათა ცენტრის სისტემაში ( $\vec{R} = \mathbf{0}$ ) ნაწილაკების თავისუფლების ხარისხთა რიცხვი ექვსის ტოლია, ამიტომ

$\vec{X}, \vec{Y}$  ვექტორების ექვსგანზომილებიან სივრცეში, მათი მიმართულებების განმსაზღვრელი ოთხი  $\varphi_{\vec{x}}, \theta_{\vec{x}}, \varphi_{\vec{y}}, \theta_{\vec{y}}$  კუთხის გარდა გვექნება კიდევ ორი სიდიდე: ჰიპერრადიუსი  $\rho$  და ჰიპერკუთხე  $\alpha$ , რომელთა შორის დამოკიდებულება მოიცემა ფორმულებით:

$$\rho^2 = x^2 + y^2, \quad x = \rho \cos \alpha, \quad y = \rho \sin \alpha \quad (4)$$

(2) განტოლების ამონახსენი ვეძებთ ორთონორმირებული ჰიპერსფერული ფუნქციების მიხედვით გაშლის სახით:

$$\Psi(\vec{x}, \vec{y}) = \sum_{\ell_x \ell_y KLM} \rho^{\frac{1}{2}} \varphi_{KL}^{\ell_x \ell_y}(\rho) \Phi_{KLM}^{\ell_x \ell_y}(\Omega) \quad (5)$$

$\Phi_{KLM}^{\ell_x \ell_y}(\Omega)$  საკუთარი ფუნქციებია ექვსგანზომილებიანი ორბიტალური მომენტის კვადრატის ოპერატორისა  $\hat{K}^2(\Omega)$ , რომლის საკუთარი მნიშვნელობებია  $\hbar^2 k(k+4)$ .  $k$  - ჰიპერმომენტის კვანტური რიცხვია. (5)-ს (1)-ში ჩასმით ჰიპერრადიალური  $\varphi_{KL}^{\ell_x \ell_y}(\Omega)$  ფუნქციებისათვის მივიღებთ გადაჯაჭვულ დიფერენციალურ განტოლებათა უსასრულო სისტემას:

$$\begin{aligned} \frac{d^2}{d\rho^2} \varphi_{KL}^{\ell_x \ell_y}(\rho) - \left[ \gamma^2 + \frac{(k+2)^2 - \frac{1}{4}}{\rho^2} \right] \varphi_{KL}^{\ell_x \ell_y}(\rho) = \\ = \frac{2m}{\rho \hbar^2} \sum_{K' \ell'_x \ell'_y} J(K', K; \ell_x, \ell'_x; \ell_y, \ell'_y) \varphi_{K'L'}^{\ell'_x \ell'_y}(\rho), \end{aligned}$$

სადაც

$$\gamma^2 = -\frac{2mE}{\hbar^2} \quad (6)$$

სისტემის მარჯვენა მხარეში მოთავსებული  $J(K', K; \ell_x, \ell'_x; \ell_y, \ell'_y)$  ფუნქცია გამოსახავს ნაწილაკთა ურთიერთქმედების პოტენციალური ენერჯიის მატრიცულ ელემენტს და ანალიზურად მოიცემა [4].

ამოვხსნათ (6) განტოლებათა სისტემა დიაგონალურ მიახლოებაში

$$K = K', \quad \ell_x = \ell'_x, \quad \ell_y = \ell'_y$$

მაშინ სტანდარტული გზით მივიღებთ ენერჯიის დაკვანტების შემდეგ პირობას:

$$K + \frac{5}{2} + \frac{m}{\gamma \hbar^2} J(K, \ell_x, \ell_y) = -N, \quad N = 0, 1, 2, \dots \quad (7)$$

საიდანაც კულონური ძალებით ურთიერთქმედი სამნაწილაკოვანი ბმული სისტემის ენერგეტიკული დონეებისათვის (6)-ის გათვალისწინებით მიიღება ბალმერის ტიპის ფორმულა

$$E_j^{KN} = -\frac{|J(K, \ell_x, \ell_y)|^2}{|J(K)|^2} \frac{m}{2\hbar^2}$$

სადაც

$$J(K) = N + K + \frac{5}{2} \quad (8)$$

(6) სისტემის მიახლოებით ანალიზურ ამონახსნს კი წარმოადგენს შემდეგი ჰიპერრადიალური ფუნქცია

$$\varphi_{KL}^{i_x i_y}(\rho) = \frac{\sqrt{N!(2\gamma)^{K+5}}}{\sqrt{(2K+5)!(N+2K+4)!}} \rho^{K+5/2} e^{-\gamma\rho} L_N^{(2K+4)}(\rho) \quad (9)$$

სრულ ტალღურ ფუნქციას კი ექნება შემდეგი სახე:

$$\Psi(\vec{x}, \vec{y}) = \frac{\sqrt{N!(2\gamma)^{K+5}}}{\sqrt{(2K+5)!(N+2K+4)!}} \rho^K e^{-\gamma\rho} L_N^{(2K+4)}(2\gamma\rho) \varphi_{KLM}^{i_x i_y}(\Omega) \quad (10)$$

პროთიუმის იონისათვის გვაქვს სრულად სიმეტრიული სივრცული მდგომარეობა, ჰიპერმომენტი  $K=0$ , ამიტომ მისი ენერგეტიკული სპექტროსათვის (8)-დან მივიღებთ:

$$E_H^{0N} = -\frac{|j(0,0,0)|^2 m}{(N+5/2)^2 2k^2}, \quad N = 0, 1, 2, \dots \quad (11)$$

პროთიუმის იონის ძირითადი მდგომარეობისათვის  $N = 0, J = \frac{5}{2}$  და (11)-დან ვღებულობთ  $E_0 = -10,5$  ევ. პირველი

აღზნებული მდგომარეობისათვის  $N = 1$  და  $E_1 = -5,4$  ევ. მეორე აღზნებული მდგომარეობისათვის  $N = 2$  და  $E_2 = -3,2$  ევ. და ა. შ.

ცხადია (6) ჰიპერრადიალურ განტოლებათა სისტემის ამოხსნა არადიაგონალური წევრების გათვალისწინებით გაზრდის გამოთვლების სიზუსტეს და მით მეტად, რაც მეტი რაოდენობის არადიაგონალური წევრი იქნება გათვალისწინებული.

$\rho, \alpha, \varphi_x^-, \varphi_y^-, \theta_x^-, \theta_y^-$  ჰიპერკოორდინატებით განსაზღვრული წერტილის მომცველი ექვსგანზომილებიანი სივრცის მოცულობის  $dV_6 = d\vec{x}d\vec{y} = \rho^5 d\rho d\Omega$  ელემენტში ელექტრონების მოხვედრის ალბათობა მოიცემა ფორმულით

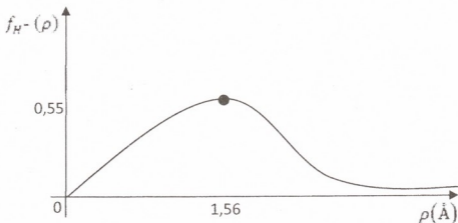
$$\omega(\rho, \alpha, \theta_x^-, \varphi_x^-, \theta_y^-, \varphi_y^-) d\vec{x}d\vec{y} = |\Psi(\vec{x}, \vec{y})|^2 \rho^5 d\rho d\Omega \quad (12)$$

მასში (10)-ის გათვალისწინებითა და კუთხეების მიხედვით ინტეგრებით  $K=0$ -თვის, მივიღებთ  $d\rho$  სისქისა და  $\rho$  რადიუსის ჰიპერსფეროს ფენაში ელექტრონების მოხვედრის ალბათობას

$$\omega(\rho) d\rho = |\varphi_0(\rho)|^2 d\rho = \frac{8}{15} \gamma^6 e^{-\gamma\rho} \rho^5 d\rho \quad (13)$$

საიდანაც გამომდინარეობს, რომ

$$f(\rho) = |\varphi_0(\rho)|^2 = \frac{8}{15} \gamma^6 e^{-\gamma \rho} \rho^5, \quad (14)$$



წარმოადგენს მუხტის რადიალური განაწილების ფუნქციას  $H^-$  იონში. იგი განსაზღვრავს  $\rho$  რადიუსის ჰიპერსფეროს ზედაპირზე ელექტრონების ყოფნის ალბათობას ჰიპერრადიუსის მიმართულებისაგან დამოუკიდებლად. თუ გავითვალისწინებთ პროთიუმის იონის ძირითადი მდგომარეობის ენერჯიის მნიშვნელობას, მაშინ (14)-დან საბოლოოდ ვღებულობთ:

$$f_{H^-}(\rho) = 8,9 \cdot e^{-3,2\rho} \rho^5 \quad (15)$$

რიტაც შეიძლება შეფასდეს პროთიუმის იონის ზომები, შესაბამისი გრაფიკი მაქსიმუმს აღწევს  $\rho \approx 1,56 \text{ \AA}$  -თვის და გვიჩვენებს, რომ პროთიუმის იონი, ჰელიუმის მსგავს იონებს შორის  $He, Li^+, Be^{++}$  ყველაზე განფენილი სისტემაა [5].

#### ლიტერატურა:

1. Hyllzaas E. A. Zs. Phys. 60, 624. 1930.
2. Мессі М. Г. Отрицательные ионы. – Пер. с английского. М.: Мир. – 1979, с. 21.
3. Raunal J., Revai J. Transformation coefficient in the hyperspherical approach to the three-body problem. – Nuovo Cimento. – 1970. – V.68A.№3. – P. 612-622.
4. Джибути Р. И., Ефремидзе Т. И., Тедорадзе В. К. Об одной возможности приближенного аналитического решения проблемы трех частиц в атомной физике. – Химическая физика. 1987. Т. 6. С. 30-40.



დ. თედორაძე, მ. საღინაძე  
პროთიუმის იონის გამოკვლევა ჰიპერსფერულ ფუნქციათა  
მეთოდით  
რეზიუმე

ჰიპერსფერულ ფუნქციათა მეთოდით გამოკვლეულია პროთიუმის იონი. მიღებულია ტალღური ფუნქციისა და ენერგეტიკული დონეების მიახლოებითი ანალიზური გამოსახულებები.

D. Tedoradze, M. Saginadze  
The Investigation of the Ion of The Protium Using Method  
of The hyperspherical Functions  
Summary

The protiums ion is verstigated by methods of hiperspherical functions. Approximate analytical expressions of wave functions and energetic levels are obtained.

## რელატივისტური ელექტრონული პლაზმის ჰიდროდინამიკა

უკანასკნელ წლებში განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს პლაზმური სისტემა, რომლის შემადგენელ ნაწილაკებს აქვს რელატივისტური სიჩქარეები. ნაშრომში განხილულია რელატივისტური ელექტრონული პლაზმური ნაკადი მაგნიტურ ველში. ნაწილაკთა სიჩქარე მიმართულია მაგნიტური ველის მართობულად, რაც განაპირობებს ნაწილაკთა ციკლოტრონულ ბრუნვას მაგნიტური ძაღწირების გარშემო. ასეთი სისტემა აღიწერება ჰიდროდინამიკურ მიახლოებაში განტოლებათა სისტემით, რომლის ამოხსნა მოცემულია შეშფოთების მეთოდით. მიღებულია დისპერსიული თანაფარდობა და გაკეთებულია შესაბამისი დასკვნები. ნაჩვენებია, რომ რელატივისტური ეფექტები აღძრავენ პოტენციურ რხევებს, რომლებიც ვრცელდებიან მაგნიტური ველისადმი განივად და აქვთ ციკლოტრონული სიხშირის ჯერადი მნიშვნელობები. მაგნიტური ველის გასწვრივ დაბალსიხშირული რხევები არ აღიძვრება, ხოლო მაღალსიხშირული რხევები შეიძლება აღიძრას საკმაოდ დიდი სიმკვრივის პლაზმურ ნაკადში.

განვიხილოთ რელატივისტური ელექტრონული პლაზმა ჰიდროდინამიკურ მიახლოებაში. მაგნიტური ველი  $\vec{H}_0$  მომართულია OZ ღერძის გასწვრივ. დავუშვათ, რომ ელექტრონების რელატივისტური ნაკადი მოძრაობს მაგნიტური ველის მართობულად. ასეთი პლაზმური სისტემა დახასიათდება განტოლებათა სისტემით [1, 2]:

$$\frac{d}{dt} \frac{\vec{v}_0}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{e}{mc} \left[ \vec{v}_0 \quad \vec{H} \right]$$

$$\frac{d}{dt} \frac{n_0}{\sqrt{1-\beta^2}} + \operatorname{div} \frac{n_0 \vec{v}_0}{\sqrt{1-\beta^2}} = 0$$

$$\operatorname{div} \vec{E} = 4\pi e n_0(t)$$

(1)

სადაც  $\beta = \frac{v_0}{c}$

აქედან ადვილად მივიღებთ:

$$v_{0x} = u_0 \cos(\Omega t + \Psi)$$

$$v_{0y} = u_0 \sin(\Omega t + \Psi)$$

სადაც  $\Omega = \frac{eH_0}{mc} \sqrt{1-\beta^2}$  - ციკლოტრონული სიხშირეაჩავთვალთ,

რომ სისტემის დამახასიათებელი სიდიდეები  $\vec{v}_0$ ,  $n_0$ ,  $\vec{H}_0$  და  $\vec{E}_0$  განიცდიან შეშფოთებას

$$(\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{v}_1, n = n_0 + n_1, \vec{H} = \vec{H}_0 + \vec{H}_1, \vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_1,$$

ამასთან  $\vec{v}_1 \ll \vec{v}_0$ ,  $n_1 \ll n_0$ ,  $\vec{H}_1 \ll \vec{H}_0$ ,  $\vec{E}_1 \ll \vec{E}_0$ ) და შეშფოთებული სიდიდეები დამოკიდებულია კოორდინატებზე ექსპონენციალურად  $\sim \exp\left(i \begin{matrix} \vec{K} \\ \vec{Z} \end{matrix}\right)$ , (1) სისტემის გაწრფივების შემდეგ მივიღებთ განტოლებათა სისტემას:

$$\begin{aligned}
 & \left( \frac{\partial}{\partial t} + i \vec{K} \cdot \vec{Z} \right) \left\{ \frac{\vec{v}_1}{\sqrt{1-\beta^2}} + \frac{\vec{v}_0 \begin{pmatrix} \vec{v}_0 & \vec{v}_1 \end{pmatrix}}{c^2(1-\beta^2)^{3/2}} \right\} = \\
 & = \frac{e}{m} \left\{ \vec{E} + \frac{1}{c} \begin{pmatrix} \vec{v}_1 & H_0 \end{pmatrix} \right\} \\
 & \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{n_1}{\sqrt{1-\beta^2}} + \frac{n_0 \begin{pmatrix} \vec{v}_0 & \vec{v}_1 \end{pmatrix}}{c^2(1-\beta^2)^{3/2}} \right\} + \\
 & + \operatorname{div} \left\{ \frac{n_0 \vec{v}_1}{\sqrt{1-\beta^2}} + \frac{n_1 \vec{v}_0}{\sqrt{1-\beta^2}} + \frac{n_0 \vec{v}_0 \begin{pmatrix} \vec{v}_0 & \vec{v}_1 \end{pmatrix}}{c^2(1-\beta^2)^{3/2}} \right\} = 0
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\operatorname{div} \vec{E}_I = 4\pi \cdot e \cdot n_1(t)$$

შემოვიღოთ აღნიშვნები:

$$\begin{aligned}
 \vec{V} &= \frac{\vec{v}_1}{\sqrt{1-\beta^2}} + \frac{\vec{v}_0 \begin{pmatrix} \vec{v}_0 & \vec{v}_1 \end{pmatrix}}{c^2(1-\beta^2)^{3/2}} = u(t) e^{\left( \begin{smallmatrix} -i \vec{j} \vec{K} \vec{v}_0 \\ 0 \end{smallmatrix} dr \right)} \\
 N &= \frac{n_1}{\sqrt{1-\beta^2}} + \frac{n_0 \begin{pmatrix} \vec{v}_0 & \vec{v}_1 \end{pmatrix}}{c^2(1-\beta^2)^{3/2}} = N(t) e^{\left( \begin{smallmatrix} -i \vec{j} \vec{K} \vec{v}_0 \\ 0 \end{smallmatrix} dr \right)}
 \end{aligned}$$

(2) სისტემის ამოხსნით მივიღებთ  $n_1(t)$  სიმკვრივის ინტეგრალურ გამოსახულებას:

$$n_1(t) = -\frac{en_0}{m} \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{c^2} \frac{K_x}{K^2} e^{\left(-i \int_0^t K v_0 dt'\right)}$$

$$\int_0^t v_{0x}(t') dt' \left( \frac{\rightarrow}{K} E(t') \right) e^{\left(i \int_0^t K v_0 dt''\right)} -$$

$$-i \cdot n_0 \frac{e}{m} \sqrt{1-\beta^2} e^{\left(-i \int_0^t K v_0 dt'\right)}$$

$$\int_0^t dt' \left\{ \frac{1}{v_0} \int_0^{\rightarrow} K E dt'' \frac{K_x^2}{K^2} \left[ v_{0x}(t') v_{0x}(t'') \sqrt{1-\beta^2} + v_{0y}(t') v_{0y}(t'') \right] \right.$$

$$\left. e^{\left(i \int_0^{\rightarrow} K v_0 dt''\right)} - \frac{\Omega}{c^2} \frac{K_x^2}{K^2} \int_0^{\rightarrow} dt'' \int_0^{\rightarrow} dt''' K E(t''') v_{0y}(t'') v_{0x}(t''') \right\} \quad (3)$$

$$\left. e^{\left(i \int_0^{\rightarrow} K v_0 dt'''\right)} + \frac{K_z^2}{K^2} \int_0^{\rightarrow} K E(t''') e^{\left(i \int_0^{\rightarrow} K v_0 dt'''\right)} dt'' \right\}$$

ჩავთვალოთ, რომ ინდუცირებული ელექტრული ველი კოორდინატების მიხედვით იცვლება ექსპონენციალური კანონით, მაშინ (2) სისტემის მესამე განტოლება ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\vec{iK} \cdot \vec{E}_1 = 4\pi \cdot e \cdot n_1(t)$$

(4) განტოლებაში გავითვალისწინოთ (3), გამოვიყენოთ ფურიეს გარდაქმნები

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} f(\omega) e^{(-i\omega t)} d\omega$$

ამასთან ერთად ვისარგებლოთ ცხრილური ინტეგრლებით:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} d\omega e^{i\omega t} \int_0^t dt' e^{-i\omega' t'} = \frac{2\pi i}{\omega} \delta(\omega - \omega'),$$

სადაც  $\delta(\omega - \omega')$  – დირაკის ფუნქციაა,

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^{+\infty} d\omega e^{i(\omega+n\Omega)t} \int_0^t e^{\pm i\omega t'} dt' \int_0^{t'} dt'' \int_0^{t''} dt''' e^{(-i(\omega'+(1+n)\Omega))t'''} = \\ & = \frac{\delta(\omega - \omega')}{i(\omega + n\Omega)[\omega + (1+n)\Omega]^2} \end{aligned}$$

და ბესელის ფუნქციებს შორის რეკურენტული გარდაქმნებით:

$$\mathcal{J}_{n+1}(z) + \mathcal{J}_{n-1}(z) = \frac{2n}{z} \mathcal{J}_n(z)$$

$$\mathcal{J}_{n+1}(z) - \mathcal{J}_{n-1}(z) = -2\mathcal{J}'_n(z)$$

საკმაოდ მარტივი და გრძელი გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ შემდეგ დისპერსიულ განტოლებას რელატივისტური ელექტრონული პლაზმისათვის:



$$\begin{aligned}
 & 1 + \sqrt{1 - \beta^2} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \mathcal{F}_n^2(z) \left\{ \frac{\omega_e^2}{K_x^2 c^2} \frac{n\Omega}{\omega + n\Omega} - \frac{K_x^2}{K^2} \frac{\omega_e^2}{(\omega + n\Omega)^2 - \Omega^2} \left( 1 - \frac{v_0^2}{c^2} \frac{n\Omega}{K_x v_0} \right) \right. \\
 & \left. - \frac{K_z^2}{K^2} \frac{\omega_e^2}{(\omega + n\Omega)^2} \right\} - \\
 & - \frac{v_0^2}{c^2} \sqrt{1 - \beta^2} \frac{K_x^2}{K^2} \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \mathcal{F}_n(z) \mathcal{F}'_n(z) \frac{\omega_e^2 \Omega^2}{(\omega + n\Omega)^2 [(\omega + n\Omega)^2 - \Omega^2]} \quad (5)
 \end{aligned}$$

სადაც  $z = \frac{K_x v_0}{\Omega}$ ,  $\omega_e = \sqrt{\frac{4\pi e^2 n_0}{m}}$  - პლაზმური სიხშირეა.

შევნიშნოთ, რომ არარელატივისტურ შემთხვევაში, როცა  $\beta^2 \ll 1$  (5) განტოლება გადადის არარელატივისტურ დისპერსიულ თანაფარდობაში. [1]

(5) დისპერსიული თანაფარდობიდან ჩანს, რომ რელატივისტურ ელექტრონულ პლაზმაში ადგილი აქვს პოტენციალური რხევების აღგზნებას სიხშირეებისათვის  $\omega = p\Omega$ . ამასთან აღიძვრება განივი ტალღები. თუ ჩავთვლით, რომ  $K_z = 0$  და  $\omega = p\Omega + \eta$ , სადაც  $\eta \ll \Omega$  მივიღებთ:

$$\eta = \pm \frac{v_0}{c} (1 - \beta^2)^{1/4} \sqrt{\mathcal{F}_n(z) \mathcal{F}'_p(z)} \omega_e \quad (6)$$

(6) პირობა შეიძლება შესრულდეს როცა  $\beta^2$  მცირეს ან როცა  $\Omega \gg \omega_e$ . გასწვრივი რხევებისათვის კი რელატივისტურ ელექტრონულ პლაზმაში შეიძლება გავრცელდეს ტალღები სიხშირეებით:

$$\omega = \pm (1 - \beta^2) \mathcal{F}'_p(z) \omega_e \quad (7)$$

ეს პირობა კი სრულდება სიხშირეებისათვის როცა  $\omega \gg \nu$ , ამასთან მაგნიტური ველისუსტი, ხოლო ელექტრონების სიმკვრივე საკმაოდ დიდი. (5) თანაფარდობიდან ჩანს, რომ დაბალსიხშირული რხევები მაგნიტური ველის გასწვრივ არ აღიმგრება.

შევნიშნოთ, რომ რელატივისტური პლაზმური სისტემა თანამედროვე ექსპერიმენტებში ძნელად დასაკვირვებელია, თუმცა ასეთი სისტემები შეიძლება დაკვირვებული იქნას კოსმოსურ სივრცეში, მაგალითად პულსარების ახლოს, მზის მახლობლობაში მისი აქტიურობის დროს ა.შ.

### ლიტერატურა

1. Физика высокотемпературной плазмы, под редакцией Рабиновича, Мир, М. 1972,
2. Синдж Д.Л. Релятивистский газ, Атомиздат, М. 1980

გ. ტომარაძე, გ. ჭარხალაშვილი

### რელატივისტური ელექტრონული პლაზმის ჰიდროდინამიკა რეზიუმე

განხილულია რელატივისტური პლაზმური ნაკადი მაგნიტურ ველში ჰიდროდინამიკურ მიახლოებაში. მიღებულია დისპერსიული თანაფარდობა. ნაჩვენებია, რომ რელატივისტური ელექტები აღძრავენ პოტენციალურ რხევებს, რომლებიც ვრცელდებიან მაგნიტური ველისადმი განივად. ამასთან მაგნიტური ველის გასწვრივ დაბალსიხშირული რხევები არ აღიმგრება, ხოლო მაღალსიხშირული რხევები აღიმგრება საკმაოდ დიდი სიმკვრივის პლაზმურ ნაკადში.

G. Tomaradze, G. Charkhalashvili.

### Hidrodynamic of Relativistic Electron Plasmor

#### Summary

In hidrodynamic approximation the flux of relativistic plasmor are considered in the magnetic field. The dispersive relations are obtained. It is shown that potential oscillations are generated by relativistic effects, which are propagated on the transversic direction to the field and highfrequency oscillations generated in big olensity plasma flux.



### 1. Relativistic Quantum Mechanics (Dirac Equation)

In 1916 A. Sommerfeld [1] derived the formula for the energy spectrum of hydrogen atom in relativistic mechanics using his quasiclassical quantization method. This formula looks like:

$$E = m \left\{ 1 + \frac{(Z\alpha)^2}{\left( n - |\kappa| + \sqrt{\kappa^2 - (Z\alpha)^2} \right)} \right\}^{-1/2}$$

Here  $|\kappa| = j + 1/2$ . After several years (10-12) Dirac [2] introduced the correct relativistic equation, in which the spin of electron arises automatically. Dirac solved this equation himself for hydrogen atom with the Coulomb potential. His result coincides to the Sommerfeld's one. This paradox has been solved only after 30-40 years later [3]. The fact is that the hydrogen atom spectrum is given by Sommerfeld formula. This formula removes all the degeneracies, which took place in NR quantum mechanics, but one degeneracy still remains – the spectrum depends only on the eigenvalues of total momentum  $\vec{J} = \vec{L} + \vec{S}$  (or on its eigenvalues  $j$ ). Therefore there remains a twofold degeneracy for  $\kappa = \pm(j + 1/2)$ , according of which levels  $E(S_{1/2})$  and  $E(P_{1/2})$  must be degenerate, but experimentally small shift was founded by Lamb [4]. This level shift is named as the Lamb shift. It was explained in QED [5]. It seems that one of the motivation of creation of the quantum electrodynamics was the aspiration for the explanation of the Lamb shift [6].

The natural question appears – Is there some symmetry in the Dirac equation behind the prohibition of the Lamb shift?

Below we shall see that the answer to this question is affirmative.

Let us consider the general Dirac Hamiltonian

$$H = \vec{\alpha} \cdot \vec{p} + \beta m + V(r)$$

where  $V(r)$  is an arbitrary central potential, which is the 4<sup>th</sup> component of the Lorentz vector, in accordance with the minimal gauge switching. This Hamiltonian commutes with the total momentum operator  $\vec{J} = \vec{L} + \frac{1}{2}\vec{\Sigma}$ , where  $\vec{\Sigma} = \text{diag}(\vec{\sigma}, \vec{\sigma})$  is the spin matrix of fermions. It is easy to confirm, that the following operator  $\vec{K} = \beta(\vec{\Sigma} \cdot \vec{L} + 1)$  commutes with  $H$ . It is named as Dirac operator.

The eigenvalue of this operator is exactly  $\kappa$ , mentioned above and the degeneracy with respect of  $\kappa$  remains in the solution of Coulomb problem.

Let us remark that:

$\kappa = j + 1/2$ , when  $j = l + 1/2$ , leading to levels ( $S_{1/2}, P_{3/2}, \text{etc.}$ ) and  $\kappa = -(j + 1/2)$ , when

$$j = l - 1/2 \quad \Rightarrow \quad (P_{1/2}, D_{3/2}, \text{etc.}).$$

Therefore the forbidden of the Lamb shift results from  $\kappa \rightarrow -\kappa$  symmetry which at the same time means the reflection of the spin direction with respect to the angular momentum direction. Let us find the operator which reflects this sign. It's evident that such an operator, say  $Q_1$ , if it exists, must be anticommuting with  $K$ ,

$$\{Q_1, K\} \equiv Q_1 K + K Q_1 = 0$$

It is clear that the following operator

$$Q_2 = i \frac{Q_1 K}{\sqrt{K^2}}$$

would be anticommuting with  $K$  and  $Q_1$  as well. Moreover the introduced operators have equal squares

$$\{Q_1, Q_2\} = 0, \quad Q_1^2 = Q_2^2 \equiv \tilde{H}$$

One can now construct new operators

$$Q_{\pm} = Q_1 \pm i Q_2$$

They are nilpotent,

$$Q_{\pm}^2 = 0 \text{ and } \{Q_+, Q_-\} = 2\tilde{H}, \quad [Q_i, \tilde{H}] = 0.$$



These algebraic relations define the structure, which is called as Witten's algebra or N=2 superalgebra [7]. (There are anticommutators together with commutators in superalgebras. Such structures in mathematics are known as graded Lie algebras).

What happens if we require invariance of Dirac Hamiltonian with respect to this algebra? Or if we require

$$[Q_i, H] = 0, \quad i = 1, 2$$

Thus, we are faced to the following problem: **Find (construct) the operator(s), which anticommutes with the Dirac K operator and commutes with the Dirac Hamiltonian, H.**

Let us first construct the anticommuting operator. One of such operator is Dirac's  $\gamma^5$  matrix. What else? There is a simple Theorem [8]:

*If  $\vec{V}$  is a vector with respect of angular momentum operator  $\vec{L}$ , i.e.*

$$[L_i, V_j] = i\epsilon_{ijk}V_k$$

*and simultaneously it is perpendicular to it,  $(\vec{L} \cdot \vec{V}) = (\vec{V} \cdot \vec{L}) = 0$ ,*

*then the following operator  $(\vec{\Sigma} \cdot \vec{V})$ , which is scalar with respect of*

*total momentum  $\vec{J} = \vec{L} + \frac{1}{2}\vec{\Sigma}$ , anticommutes with K:*

$$\{K, (\vec{\Sigma} \cdot \vec{V})\} = 0$$

*In general,*

$$\{K, \hat{O}(\vec{\Sigma} \cdot \vec{V})\} = 0,$$

*where  $\hat{O}$  is commuting with K.*

Armed by this theorem, one can choose physical vectors at hand, which obey the conditions of this Theorem. They are:

$$\vec{V} = \hat{r} - \text{Unit radius-vector,}$$

and  $\vec{V} = \vec{p}$  - linear momentum vector.

There is also the LRL vector. But its inclusion is not needed, because

$$(\vec{\Sigma} \cdot \vec{A}) = \vec{\Sigma} \cdot \hat{r} + \frac{i}{ma} \beta K (\vec{\Sigma} \cdot \vec{p}),$$

and the relevant operator is expressible via known operators, owing the relation

$$\vec{K}(\vec{\Sigma} \cdot \vec{V}) = -i\beta \left( \vec{\Sigma} \cdot \frac{1}{2} [\vec{V} \times \vec{L}] - [\vec{L} \times \vec{V}] \right)$$

Therefore we construct the most general K-odd operator in the following form

$$Q_1 = x_1 (\vec{\Sigma} \cdot \hat{r}) + ix_2 K (\vec{\Sigma} \cdot \vec{p}) + ix_3 K \gamma^5 f(r)$$

Now requiring the commutativity with the Hamiltonian,

$$[Q, H] = (\vec{\Sigma} \cdot \hat{r}) \{x_2 V'(r) - x_3 f'(r)\} + 2i\beta K \gamma^5 \left\{ \frac{x_1}{r} - mf(r)x_3 \right\} = 0,$$

it follows the relations:

$$x_2 V'(r) = x_3 f'(r)$$

$$x_3 mf(r) = \frac{x_1}{r}$$

Then we find

$$V(r) = \frac{x_1}{x_2} \frac{1}{mr}$$

So, we can conclude, that the only central potential for which the Dirac Hamiltonian is supersymmetric in the above sense, is the Coulomb one.

## 2. The Physical Meaning of Constructed Conserved Operator

To elucidate the physical meaning of derived operator let make use of obtained relations and rewrite it to more transparent form by application of Dirac's algebra:

$$Q_1 = \vec{\Sigma} \cdot \left\{ \hat{\vec{r}} - \frac{i}{2ma} \beta ([\vec{p} \times \vec{L}] - [\vec{L} \times \vec{p}]) \right\} + \frac{i}{mr} K \gamma^5$$

Lippmann and Johnson [9] in 1950 published this form in a brief abstract, where it is said only, that this operator commutes with the Dirac Hamiltonian in Coulomb potential and replaces the LRL vector, known in NR quantum mechanics. But by unknown reason they never published the derivation of this operator (very curious fact in the history of 20<sup>th</sup> century physics). It was a reason, perhaps, that our article was published right a way in 2005 [8].

For our aim it is useful to perform non-relativistic limits  $\beta \rightarrow 1$ ,  $\gamma^5 \rightarrow 0$ . Then it remains

$$Q_1 \rightarrow \vec{\Sigma} \cdot \vec{A},$$

where  $\vec{A}$  is the LRL vector, i.e. this operator turns into the spin projection of the LRL vector.

The Lamb shift is explained in QED by taking into account the radiative corrections in the photon propagator and photon-electron vertex, which gives the following additional piece in Hamiltonian [5]:

$$\Delta V_{Lamb} \approx \frac{4\alpha^2}{3m^2} \left( \ln \frac{m}{\mu} - \frac{1}{5} \right) \delta^{(3)}(\vec{r}) + \frac{\alpha^2}{2\pi m^2 r^3} (\vec{\Sigma} \cdot \vec{L})$$

This expression does not commute with our obtained Johnson-Lippmann (JL) operator. Therefore when only Coulomb potential is considered in the Dirac equation as in an one-electron theory, Lamb shift would be always forbidden.

We see that the hidden symmetry of the Coulomb potential governs the physical phenomena in a sufficiently wide interval – from planetary motion to the fine and hyperfine structure of atomic spectra.

### 3. Calculation of the Hydrogen Atom Spectrum

For this aim let us calculate the square of obtained conserved operator by analogy of classical mechanics. This gives [8]

$$Q_1^2 = 1 + \left(\frac{K}{a}\right)^2 \left(\frac{H^2}{m^2} - 1\right)$$

All the operators entering here commute with each others. Therefore one can replace them by corresponding eigenvalues and then solve from it for energy. Because of positive definiteness of  $Q_1^2$  as the square of Hermitian operator, its minimal quantity is zero. This gives for the ground state energy

$$E_0 = m \left( 1 - \frac{(Z\alpha)^2}{\kappa^2} \right)^{1/2}$$

The full spectrum follows from this expression by using the well-known step procedure [7], which reduces in our case to the following substitution

$$\sqrt{\kappa^2 - a^2} \rightarrow \sqrt{\kappa^2 - a^2} + n - |\kappa|, \quad a \equiv Z\alpha.$$

Then the Sommerfeld formula follows.

Thus, in case of Dirac equation the spectrum of the hydrogen atom is obtainable from the symmetry considerations alone.

We see that the supersymmetry requirement appears to be a very strong constraint in the framework of the Dirac Hamiltonian. While the supercharge operator, commuting with the Dirac Hamiltonian in case of pure vector component only is intimately related to the LRL vector, but unlike the latter one relativistic supercharge participates in transformations of spin degrees of freedom. In passing to non-relativistic physics, information concerning to spin-degrees of freedom disappears and hence LRL vector as a generator of algebra does not transform anything and symmetry becomes hidden as a relict of relativistic quantum mechanics.

**ACKNOWLEDGEMENTS:** (T.K.) Thanks the participants of the Seminar at NYU Drs. G.R.Farrar, G.Gabadadze, D.Zwanziger, V.P.Akulov and others for valuable discussions, as well as Drs. J.Chkareuli, G.Devidze A.N.Kvinikhidze, T.P.Nadareishvili, for many critical comments. This work has been supported by the Georgian

### References

1. A. Sommerfeld. Ann. Physik 51, 1-94, 125-167 (1916).
2. P.A.M.Dirac. Proc. Roy. Soc. A117, 610 (1928).
3. L.C.Biedenharn. Found. Phys. 13,13 (1983).
4. W.E.Lamb, R.C.Retherford. Phys. Rev., 72, 241 (1947).
5. M.Kaku. "Quantum Field Theory", Oxford Univ. Press. New York, 1993.
6. S.Weinberg. "The Quantum Theory of Fields", Vol.I. Cambridge Univ. Press, 1995.
7. E.Witten. Nucl.Phys. B188, 513 (1981).
8. T.Khachidze, A.Khelashvili. Mod. phys. Lett. 20, 2277 (2005).
9. M.H.Johnson, B.A.Lippmann. Phys. Rev. 78, 329(A), (1950).

### თ. ხაჩიძე ფარული სიმეტრიები რეზიუმე

ცნობილია, რომ კულონურ პოტენციალთან დაკავშირებული ფარული სიმეტრიის შესაბამისი შენახვადი სიდიდე კლასიკურ და არარელატივისტურ კვანტურ მექანიკაში იმპულსის მომენტთან ერთად ადგენს გაფართოებულ ალგებრებს, მაგრამ არ გვევლინება როგორც რაიმე გარდაქმნის გენერატორები, მაშინ როდესაც რელატივისტურ კვანტურ მექანიკაში (დირაკის განტოლებაში) შესაბამისი ოპერატორი ნონაწილეობს სპინის თავისუფლების ხარისხების გარდაქმნაში როგორც ვიტენის  $S(2)$  სუპერალგებრის ერთ-ერთი გენერატორი, ანუ კულონის ამოცანის ფარული სიმეტრია დირაკის განტოლებაში ვიტენის ალგებრის წარმომქმნელი ხდება.

T. Khachidze  
HIDDEN SYMMETRIES  
ABSTRACT



The additional hidden symmetry of the Coulomb-Kepler problem is reviewed in classical as well as in quantum mechanics. The main purpose is to elucidate the role of this kind of symmetries in the reduction of physical problems, to show algebraic possibilities of derivation of spectra. The original results are presented also. They are hidden symmetries in the Dirac equation, where it is shown that the requirement of invariance of the Dirac Hamiltonian under some kind of Witten's superalgebra, picks out the Coulomb potential only. The problem in the arbitrary higher dimensions is also considered. It is derived that the traditional view on the Coulomb potential is to be changed in the context of  $N=2$  supersymmetry.



# THREE-DIMENSIONAL SHAPE INVARIANT MODEL WITH EQUIDISTANT SPECTRUM

M. S. Bardavelidze<sup>1</sup>, D. N. Nishnianidze<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Akaki Tsereteli State University, 4600 Kutaisi, Georgia

A class of three-dimensional models which satisfy supersymmetric intertwining relations with the simplest - oscillator-like - variant of shape invariance is constructed. It is proved that the models are not amenable to conventional separation of variables for the complex potentials, but their spectra are real and equidistant (like for isotropic harmonic oscillator). The special case of such potential with quadratic interaction is solved completely. The Hamiltonian of the system is non-diagonalizable, and its wave functions and associated functions are built analytically. The symmetry properties of the model and degeneracy of energy levels are studied.

## 1. Introduction.

The idea of shape invariance was proposed [1] in the framework of one-dimensional Supersymmetrical Quantum Mechanics [2], [3] providing a very elegant method of complete solution of a class of one-dimensional quantum models. Although almost all these models were already solved, this approach gave a new (purely algebraic) look on the class of exactly solvable models. The Hamiltonian  $H^{(1)}(x; a)$  depending on a space variable  $x$  and a constant parameter  $\gamma$  is said to be shape invariant iff: 1) it satisfies supersymmetrical intertwining relations:

$$H^{(1)}(x; \gamma)q(x) = q(x)H^{(2)}(x; \gamma), \quad (1)$$

with some intertwining operators  $q$ , and 2) two Hamiltonians in (1) are related as follows:

$$H^{(2)}(x; \tilde{\gamma}) = H^{(1)}(x; \gamma) + R(\gamma), \quad (2)$$

where  $R(\gamma)$  does not depend on coordinate  $x$ , and the parameters  $\gamma$  and  $\tilde{\gamma}$  are related:  $\tilde{\gamma} = \tilde{\gamma}(\gamma)$ . Eq.(2) just means that intertwined Hamiltonians have the same shape, and they differ only a little bit due to a change of parameter. The general form of shape invariance was investigated in [4], where all shape invariant potentials with additive dependence of  $\tilde{\gamma}$  on  $\gamma$  were found.

The method of shape invariance was generalized also to the two-dimensional Schrödinger operators not amenable to conventional separation of variables in [5], [6]. It was used in

\*E-mail: euzaln@yahoo.com



formulation of two new - supersymmetric - methods of separation of variables. One of them [5], [6] helped in study of several quasi-exactly solvable models where a part of spectrum and corresponding wave functions was found analytically for arbitrary values of parameters of the models. The second one [7], [8] provided complete solution of these models, but for specific values of parameters. The general form of two-dimensional systems with additive shape invariance was found in [9]. In particular, the new shape invariant potential (two-dimensional generalization of Scarf II) was built, and its spectrum was constructed [10] by the method of supersymmetric separation of variables mentioned above.

Of special interest are the models with the simplest kind of shape invariance with

$$\tilde{\gamma} \equiv \gamma; \quad R(\gamma) = 2\lambda. \quad (3)$$

Just this property with intertwining operators  $q$  of first order in derivatives is satisfied by one-dimensional harmonic oscillator leading to the well known equidistant spectrum with the spacing  $2\lambda$ . Much more interesting models with the same properties (3) but with higher order intertwining operators were studied in [11]. It was shown that depending on the structure of zero modes of higher order intertwining operators  $q$  and  $q^\dagger$  the spectrum of the model consists of finite or infinite sequences of equidistant levels with the spacing  $2\lambda$ . The systems with shape invariance of the form (3) are naturally called "oscillator-like" shape invariant (sometimes also called "self-isospectral").

In two-dimensional space, the oscillator-like shape invariance (3) with first order differential operators  $q$  is fulfilled in a nontrivial model with quadratic interaction with such a choice of coupling constants that standard separation of variables is impossible (see [12]). The Hamiltonian of this model is non-Hermitian and non-diagonalizable, but its spectrum is the infinite equidistant sequence of real energy levels with the same spacing  $2\lambda$ . Moreover, the analytical expressions for all wave functions and corresponding associated functions (non-diagonalizable Hamiltonian!) were obtained. It was quite unexpectedly that the same properties of the spectrum are present for two-dimensional anharmonic oscillator of some special form [13] as well.

It is known that in Hermitian Supersymmetric Quantum Mechanics with first order supercharges, the generalization [14] to higher dimensionality  $d \geq 2$  leads [15] to systems with separation of variables. But the situation is less restrictive and more interesting for the case of complex potentials - the first order operators  $q$  may intertwine nontrivial Hamiltonians not amenable to separation of variables. Just this opportunity was realized in [12] and [13] for two-dimensional models mentioned above.

## 2. Three-dimensional oscillator-like shape invariance: general solution.

The intertwining relations for Hamiltonian with oscillator like shape invariance and with supercharges of first order in derivatives,

$$\begin{aligned} HA^\dagger &= A^\dagger(H + 2\lambda); \\ A^\dagger &= a_i(\vec{x})\partial_i + a(\vec{x}); \quad H = -\Delta_{\vec{x}}^2 + V(\vec{x}); \quad \partial_i = \partial/\partial x_i; \quad i = 1, 2, 3. \end{aligned} \quad (4)$$

are equivalent to the system of differential equations for the coefficient functions  $a_k(\vec{x})$ ,  $\alpha(\vec{x})$  and potential  $V(\vec{x})$ :

$$\partial_k a_k(\vec{x}) + \partial_j a_k(\vec{x}) = 0; \quad (5)$$

$$\Delta^{(3)} a_k(\vec{x}) + 2\delta_k \alpha(\vec{x}) = -2\lambda a_k(\vec{x}); \quad (6)$$

$$\Delta^{(3)} \alpha(\vec{x}) + \alpha_k(\vec{x}) \partial_k V(\vec{x}) = -2\lambda \alpha(\vec{x}), \quad (7)$$

where  $\Delta^{(3)}$  is the three-dimensional Laplacian.

The solution of this system are:

$$a_k = \text{const}; \quad \alpha(\vec{x}) = -\lambda a_1 x_1, \\ V(\vec{x}) = \lambda^2 \vec{x}^2 + u(a_2 x_1 - a_1 x_2, a_3 x_1 - a_1 x_3)$$

where summation over repeated indices is implied, and possible constant in the r.h.s. can be eliminated by a suitable shift of coordinates and the initial Hamiltonian has the form:

$$H = -\Delta^{(3)} + \lambda^2 \vec{x}^2 + u(a_2 x_1 - a_1 x_2, a_3 x_1 - a_1 x_3). \quad (8)$$

The form (8) suggest the opportunity to separate variables in terms of

$$y_1 = a_1 x_1 - a_1 x_2, \quad y_2 = a_3 x_1 - a_1 x_3, \quad y_3 = b_1 x_1, \quad (9)$$

where  $b_1$  are constants. Such transformation of variables is possible if the corresponding Jacobian does not vanish:

$$D = b_1 a_1^2 + b_2 a_1 a_2 + b_3 a_1 a_3 \neq 0. \quad (10)$$

Rewriting the Hamiltonian in terms of  $y_k$ :

$$H(\vec{y}) = -(a_1^2 + a_2^2) \partial_{y_1}^2 - (a_1^2 + a_3^2) \partial_{y_2}^2 - b_1^2 \partial_{y_3}^2 - 2a_2 a_3 \partial_{y_1} \partial_{y_2} - 2(a_2 b_1 - a_3 b_2) \partial_{y_1} \partial_{y_3} - \\ - 2(a_3 b_1 - a_1 b_2) \partial_{y_2} \partial_{y_3} + \lambda^2 x_k^2(\vec{y}) + \Phi(y_1, y_2), \quad (11)$$

one obtains that separation is possible in the case of

$$b_2 = \frac{a_2 b_1}{a_1}, \quad b_3 = \frac{a_3 b_1}{a_1}, \quad (12)$$

so that  $D = b_1 a_1^2$ . Since if the constants  $a_k$  are real, the Jacobian  $D$  does not vanish, the interesting situation not an enable to separation of variables may appear only for  $a_k^2 = 0$ , i.e. for complex values of  $a_k$  ( $b_k$  can not be chosen vanishing due to (12), (9)). This is a reason why only the systems with complex potentials ( $a_k^2 = 0$ ) will be considered below (see the review papers [16], [17]).

One can check that for  $a_k, \alpha(\vec{x})$  defined above, the intertwining relation (4) is fulfilled simultaneously with its partner relation, i.e.:

$$[H, A^*] = \pm 2\lambda A^*. \quad (13)$$

where  $A^*$  are defined as:

$$A^* = a_1 \hat{\alpha}_1 \mp \lambda a_2 x_1 \quad (14)$$

(one has to notice that operators  $A^*$  not necessarily are Hermitian conjugated to each other). It is clear from (13) that  $A^*$  increase and decrease the energy by  $2\lambda$ , correspondingly. If the ground state of the model (with zero energy) exists, it is defined from two equations:

$$A^- \Psi_0 = (a_1 \hat{\alpha}_1 + \lambda a_2 x_1) \Psi_0 = 0, \quad (15)$$

$$H \Psi_0 = E_0 \Psi_0; \quad E_0 = 0. \quad (16)$$

It can be shown that the Hamiltonian

$$H = -\Delta^{(2)} + \lambda^2 x^2 + (S_1 W(\vec{x}))^2 + \Delta^{(2)} W(\vec{x}) - 2\lambda x_1 (S_1 W) - S_1 \lambda \quad (17)$$

with arbitrary function  $W(a_2 x_1 - a_1 x_2, a_2 x_1 - a_1 x_2)$  has the ground state:

$$\Psi_0 = \exp(-\lambda x^2/2 + W(a_2 x_1 - a_1 x_2, a_2 x_1 - a_1 x_2)) \quad (18)$$

with zero energy. The excited states with energies  $E_n = 2\lambda n$  for the considered case  $a_1^2 = 0$  can be built by the "creation" operator  $A^+$ :

$$\Psi_n = (A^+)^n \Psi_0 = (-2\lambda)^n (a_2 x_1)^n \Psi_0. \quad (19)$$

From the definition (14) one has:

$$[A^+, A^-] = 2\lambda a_1^2 = 0, \quad (20)$$

and therefore, not only the ground state wave function but also all excited wave functions are annihilated by  $A^-$ :

$$A^- \Psi_n = 0. \quad (21)$$

The full analysis of the general model (17) seems to be too difficult a task. In particular, no guarantee that the states (19) exhaust the entire set of excited states. By this reason, in the next Section particular case of the model will be studied in more details.

### 3. The particular case.

Let us consider here the particular case of parameters of the model:  $a_2 = 0, a_1 = 1, a_2 = -i$ , and the simple form of function  $W$  which leads to the quadratic interaction:

$$W(a_2 x_1 - a_1 x_2, z_1) = g(x_1 - iz_1)x_2 = g z^2 z_1,$$

where  $z = x_1 + iz_1, z = x_1 - iz_2$ . Then, from (14), (17), (18) one has:

$$H = -\hat{\alpha}_1^2 + \lambda^2 z_1^2 + g^2 z^2 - 4\lambda g z z_1 - S_1 \lambda, \quad (22)$$

$$A^* = 2\hat{\alpha}_1 \mp \lambda z, \quad (23)$$

$$\Psi_0 = \exp(-\lambda x^2/2 + g z z_1) \quad (24)$$

(for  $\lambda > |g|$  the wave function is exponentially decreasing at infinity).

Actually, this system reproduces exactly one of the three-dimensional models of a recent paper [18], if in Eq.(35) of that paper  $b \equiv 2\lambda, b_1 \equiv 2g, x_2 \rightarrow -x_2$  and  $Q^+ \leftrightarrow Q^-$ . This observation points out that the same Hamiltonian (22) is intertwined by supercharges  $Q^*$  of second order in derivatives:

$$[H, Q^*] = \pm 4\lambda Q^*, \quad (25)$$

where

$$\begin{aligned} Q^- &= \partial_1^2 + \partial_2^2 - \partial_3^2 + C_1 \partial_1 + B, \quad Q^+ = \partial_1^2 + \partial_2^2 - \partial_3^2 - C_1 \partial_1 + B - \partial_1 C_1, \\ C_1 &= 2(\lambda x_1 - g x_2), \quad C_2 = -2(\lambda x_2 + i g x_3), \quad C_3 = 2(-\lambda x_3 + g x) \\ B &= \lambda^2 (z\bar{z} - x_3^2) - g^2 x^2 + \lambda, \end{aligned} \quad (26)$$

The intertwining relations (25) also have the form of oscillator-like shape invariance of Hamiltonian  $H$ , but with the double spacing between energy levels. The minimal energy state corresponds to zero mode of  $Q^-$ . It can be easily found that the same ground state  $\Psi_0$  given in (24) is annihilated not only by  $A^-$ , but also by  $Q^-$ . One can check that other possible zero modes of  $Q^-$  can not be simultaneously the wave functions of  $H$ .

It is clear that both  $(A^+)^2 \Psi_0$  and  $Q^- \Psi_0$  are the wave functions of the Hamiltonian  $H$  with the same energy  $4\lambda$ . The calculation shows that

$$Q^- \Psi_0 = -2(\lambda \Psi_0 + C_1 \partial_1 \Psi_0) = -2\lambda [1 + 2\lambda(x_2^2 - z\bar{z})] \Psi_0 - 8\lambda g^2 z^2 \Psi_0, \quad (27)$$

i.e. there is degeneracy at the second excited level  $4\lambda$  with two independent wave functions:

$$\Psi_2 = (A^+)^2 \Psi_0 \sim z^2 \Psi_0, \quad \tilde{\Psi}_2 = [1 + 2\lambda(x_2^2 - z\bar{z})] \Psi_0. \quad (28)$$

Analogously, higher wave functions of the form  $Q^- \Psi_n(\vec{x})$  can be calculated, using expression (19), which, in our case of  $a_1 = 1, a_2 = -i, a_3 = 0$ , means  $\Psi_n \sim (z)^n \Psi_0$ :

$$\begin{aligned} Q^- z^n \Psi_0 &= (Q^- - 2\lambda - 2C_1 \partial_1) z^n \Psi_0 = -2\lambda z^n \Psi_0 - 2z^n C_1 \partial_1 \Psi_0 - 2\Psi_0 C_1 \partial_1 z^n = \\ &= -2\lambda(2n + 1 + 2\lambda(x_2^2 - z\bar{z})) z^n \Psi_0 - 8\lambda g^2 z^{2+n} \Psi_0. \end{aligned} \quad (29)$$

Therefore, for arbitrary  $n$ , the function

$$\tilde{\Psi}_n = [2n + 1 + 2\lambda(x_2^2 - z\bar{z})] z^n \Psi_0 \quad (30)$$

is the wave function of  $H$  with energy value  $2\lambda n + 4\lambda$ , being degenerated with  $\Psi_{n-1}$ . This is the general situation: action of operators  $Q^+$  leads to degeneracy of levels. Degenerate wave functions are:

$$\Psi_m(\vec{r}) = (Q^+)^k (A^+)^n \Psi_0; \quad \Psi_{2k} = \Psi_n; \quad E_{2k} = 2\lambda(n + 2k), \quad (31)$$

with the multiplicity of level  $N = k + 1 + [\pi/2]$ . It is necessary to mention that the order of "creation" operators in (31) is irrelevant due to following commutation relations between operators  $Q^+$  and  $A^+$ :

$$[A^+, Q^-] = 4\lambda A^-, \quad [A^-, Q^+] = -4\lambda A^-; \quad (32)$$

$$[A^+, Q^+] = [A^-, Q^-] = 0. \quad (33)$$

One may expect that combinations  $A^+$  and  $Q^+$  of third order in derivatives will give additional degeneracy of some levels, since they also satisfy oscillator-like shape invariant intertwining relations obtained from (13) and (25). However, additional degeneracy is not generated, since:

$$A^+ Q^- \Psi_n = Q^- A^+ \Psi_n = Q^- A^- \Psi_n = 0$$

$$A^- Q^+ \Psi_n = -4\lambda A^+ \Psi_n,$$

i.e. action of these third order operators does not give any new states.

#### 4. Symmetries.

The degeneracy of levels which was described in the previous Section indicates the existence of some symmetry of Hamiltonian. Indeed, the commutation relations (13), (25) lead immediately to the symmetry operators commuting with the Hamiltonian (notations will be clear below):

$$R_0 = A^+ A^- = A^- A^+; \quad \tilde{R}_1 = \frac{1}{2}[Q^+, Q^-]; \quad \tilde{R}_2 = Q^+ Q^-. \quad (34)$$

These operators are bilinear in "creation" and "annihilation" operators, and they definitely do not change the energy of the state. The first of these operators is of second order in derivatives, and the others two are of fourth order, but the order of  $\tilde{R}_1$  can be reduced by two units, since:

$$\tilde{R}_1 = -4\lambda H + 16g\partial_1 \partial_2 + 8g\lambda z(gz - \lambda x_2) - 12\lambda^2. \quad (35)$$

Thus, a more convenient symmetry operator instead of  $\tilde{R}_1$  is

$$R_1 = 2g\partial_1 \partial_2 + \lambda z(gz - \lambda x_2). \quad (36)$$

Also, the fourth order symmetry  $\tilde{R}_2$  can be replaced by third order symmetry operator which is proportional to the commutator  $[R_0, \tilde{R}_2]$ . Relations (32), (33) help to express this operator as:

$$R_2 = 4\lambda z\partial_1 Q^- - (\lambda + C_1 \partial_1)(A^-)^2. \quad (37)$$

One can calculate the mutual commutators between the symmetry operators  $R_0, R_1, R_2$ . They are:

$$[R_0, R_1] = 0; \quad [R_2, R_0] = 4\lambda R_0^2; \quad [R_2, R_1] = -2gR_0^2. \quad (38)$$

More complicated symmetry operators consist of the products of  $A^\pm$  and  $Q^\pm$  such that the energy of state is not changed:

$$R_3 = Q^+(A^-)^2; \quad R_4 = Q^-(A^+)^2. \quad (39)$$

Using the explicit expressions for  $A^\pm$ ,  $Q^\pm$  and commutation relations (32), (33), one can find that:

$$R_3 - R_4 = 2R_2 + 8\lambda R_0, \quad (40)$$

so that only one of them - for example,  $R_3$  - can be taken as independent. Its commutators with  $R_0, R_1, R_2$  do not give any new independent symmetry operator. The straightforward calculations prove that higher symmetry operators of the form  $(A^+)^{2n}(Q^-)^n$ ,  $(A^-)^{2n}(Q^+)^n$  as well as the products with different order of  $A$  and  $Q$  also do not provide new independent symmetries.

In the context of conventional - Hermitian - Quantum Mechanics, such situation would be called as maximally superintegrable [19]. Indeed, for three-dimensional system one has two mutually commuting symmetry operators  $R_0, R_1$  (complete integrability) and, in addition, two symmetry operators  $R_2, R_3$ , which do not commute with them. Commutators of this last operator with polynomials of  $R_0, R_1$  are not functionally independent on  $R_0$  and do not provide additional symmetries.

Now, it is instructive to show the connection of symmetries with degeneracy of energy levels. Using commutation relations between operators  $A^\pm, Q^\pm$  and definitions of  $R_0, R_1, R_2$ , one finds the action of the symmetry operators onto wave functions  $\Psi_{kn}$ , (51):

$$R_0 \Psi_{kn} = -4\lambda k \Psi_{(k-1)(n+2)}; \quad (41)$$

$$R_1 \Psi_{kn} = 2gk \Psi_{(k-1)(n+2)}; \quad (42)$$

$$R_2 \Psi_{kn} = 2g^2 k(k-1) \Psi_{(k-2)(n+4)} - 4\lambda^2 k(2n+3) \Psi_{(k-1)(n+2)}; \quad (43)$$

$$R_3 \Psi_{kn} = 16\lambda^2 k(k-1) \Psi_{(k-1)(n+2)}. \quad (44)$$

It is evident that all wave functions in (41) - (43) correspond to the same level with energy  $E_{kn} = 2\lambda(n+2k)$ . The repeated actions of symmetry operators span all wave functions which belong to this degenerate level.

## 5. Norms, scalar products and non-diagonalizability of Hamiltonian.

The Hamiltonian (22) is not Hermitian, but it obeys the property of pseudo-Hermiticity [20]:

$$\eta H \eta^{-1} = H^\dagger \quad (45)$$

with  $\eta$  an invertible Hermitian operator. In the present case, an operator  $\eta$  can be chosen as  $\eta = P_2$ , the inversion  $x_2 \rightarrow -x_2$ . The theory of one-dimensional pseudo-Hermitian systems was developed during last decade [20], the pseudo-Hermitian models in two dimensions were studied in [22], [12], [13], where the basic formulas can be found. In particular, Quantum Mechanics for such systems is built with the new scalar product ( $\eta$ -product), which in the present case has the form:

$$\langle\langle \Psi | \Phi \rangle\rangle = \int \Psi \Phi, \quad (46)$$

instead of the standard  $\int \Psi^* \Phi$ .

With the scalar product (46), the norm of ground state  $\Psi_0$  is:

$$\int \Psi_0^2 d^d x = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{\lambda}} \int \exp(-\lambda z^2 + \frac{g^2 z^2}{\lambda}) dz dz = \sqrt{(\pi/\lambda)^2}. \quad (47)$$

The norms of excited states  $\Psi_n$  from (19) can be also calculated:

$$\langle\langle \Psi_n | \Psi_n \rangle\rangle = (-1)^n \langle\langle \Psi_0 | R_0^n \Psi_0 \rangle\rangle = (-1)^n \langle\langle \Psi_0 | \Psi_0 \rangle\rangle = \delta_{n0}. \quad (48)$$

In turn, the norms of excited states  $\Psi_{kn} = (Q^+)^k \Psi_n$  given by (31) can be found as well, although in a longer calculations using that  $R_1 \Psi_n = 0$ ,  $Q^- \Psi_n = 0$  and the commutation relations between  $Q^{\pm}$ :

$$[Q^+, Q^-] = -8\lambda(H + 3\lambda) + 16gR_1. \quad (49)$$

One can check that required scalar products are:

$$\langle\langle \Psi_{kn} | \Psi_{kn} \rangle\rangle = \langle\langle (Q^+)^k \Psi_n | \Psi_{kn} \rangle\rangle = \langle\langle \Psi_n | (Q^-)^k \Psi_{kn} \rangle\rangle \sim \langle\langle \Psi_n | \Psi_n \rangle\rangle \sim \delta_{kn}, \quad (50)$$

where the coefficients in the last step are not important. Analogously, one can check that for different values of indices  $k, n$ , the scalar products

$$\langle\langle \Psi_{kn} | \Psi_{k'n'} \rangle\rangle \sim \delta_{kn} \delta_{k'n'} \delta_{n0}. \quad (51)$$

Thus, all wave functions  $\Psi_{kn}$  of the model, excluding the ground state  $\Psi_0$  and the states  $\Psi_{k0}$ , have zero norms and are orthogonal to each other. The self-orthogonality of wave functions signals that we deal with a non-diagonalizable Hamiltonians. This situation was studied recently in one-dimensional [21] and two-dimensional [12], [13] context, where necessary technical details can be found. Non-diagonalizability means that each wave function  $\Psi_{kn}$ ,  $n > 0$  with zero norm must be accompanied with a set of associated functions which participate in resolution of unity.



## 6. Associated functions.

Referring back to the papers [21], [12], [13] for details on the structure of non-diagonalizable non-Hermitian Hamiltonians, biorthogonal basis, scalar products between wave functions and associated functions and nontrivial form of resolution of unity, let us remind the most important relations which must be fulfilled.

For such systems, each self-orthogonal wave function  $\Psi_{kn}(\vec{x})$  with zero norm (below they be denoted as  $\Psi_{kn,0}(\vec{x})$ ) must be accompanied with a set of  $p_{kn} - 1$  associated functions  $\Psi_{kn,m}$ ,  $m = 1, 2, \dots, p_{kn} - 1$ , where  $p_{kn}$  is called the dimension of Jordan cell. This situation should be distinguished from the conventional degeneracy of energy level (here this degeneracy also is there). A new notations with additional index of wave function  $\Psi_{kn} = \Psi_{kn,0}$  is useful, since by definition these functions obey:

$$(H - E_{kn})\Psi_{kn,m} = \Psi_{kn,m-1}, \quad m = 1, 2, \dots, p_{kn} - 1; \quad (H - E_{kn})\Psi_{kn,0} = 0, \quad (52)$$

where all functions are supposed to be normalizable according to suitable scalar product. Thus, each self-orthogonal eigenfunction  $\Psi_{kn,0}$  is supposed to be accompanied by a set of associated functions  $\Psi_{kn,m}$ ,  $m = 1, 2, \dots, p_{kn} - 1$ .

With these notations, according to the general formalism which was given in detail for some one-dimensional models [21] and two-dimensional models [12], [13], the scalar products must be:

$$\langle \langle \Psi_{kn,m} | \Psi_{k'n',m'} \rangle \rangle = \int \Psi_{k',m'}(\vec{x}) \Psi_{kn,m}(\vec{x}) d^3x = \delta_{kk'} \delta_{nn'} \delta_{mm'} \delta_{(p_{kn}-m-1)}; \quad m' = 0, 1, 2, \dots, p_{kn} - 1 \quad (53)$$

The Hamiltonian  $H$  is clearly non-diagonal, but block-diagonal. Each block - Jordan cell - has dimensionality  $p_{kn}$ , which will be shown to equal:

$$p_{kn} = n + 1. \quad (54)$$

The self-orthogonality of wave functions -  $\Psi_{kn,0}$ ,  $n \neq 0$  - was already demonstrated in (50), (48). To complete the construction of the Jordan cell, it is necessary to find the corresponding associated functions with properties (52), (53) above. The procedure is rather similar to that in [12], [13].

One can prove by induction that function

$$\Psi_{0n,m} \sim (A^+)^{n-m} \exp\left(-\frac{\lambda x_1^2}{2} + g x_2\right) \left(z - \frac{2g}{\lambda} x_2\right)^m \sim (A^+)^{n-m} \mathcal{G}_F^m \Psi_{0,0}, \quad m = 0, 1, \dots, n \quad (55)$$

satisfies (52). Also, this expression leads (by straightforward calculations) to the necessary scalar products:

$$\langle \langle \Psi_{0n,m} | \Psi_{0n,m'} \rangle \rangle \sim \delta_{m(n-m)}. \quad (56)$$

In turn, the associated functions  $\Psi_{kn,m}$  for  $k \neq 0$  satisfy:

$$(H - E_{kn})\Psi_{kn,m} = \Psi_{kn,m-1}, \quad E_{kn} = 2\lambda(n + 2k). \quad (57)$$

Taking into account that

$$(Q^+)^k (H - E_{0n}) = (H - E_{0n}) (Q^+)^k, \quad (58)$$

one can try to identify:

$$\Psi_{kn,m} = (Q^+)^k \Psi_{0n,m}. \quad (59)$$

It is easy to check that

$$\begin{aligned} \langle\langle \Psi_{kn,m} | \Psi_{kn,0} \rangle\rangle &\sim \langle\langle (Q^+)^k \Psi_{0n,m} | \Psi_{kn,0} \rangle\rangle \sim \\ &\sim \langle\langle \Psi_{0n,m} | (Q^+)^k \Psi_{kn,0} \rangle\rangle \sim \langle\langle \Psi_{0n,m} | \Psi_{0n,0} \rangle\rangle \sim \delta_{nm}. \end{aligned} \quad (60)$$

i. e.  $\Psi_{kn,0}$  is orthogonal to all  $\Psi_{kn,m}$  with  $m \neq n$ . In order to satisfy necessary conditions for all scalar products, one has to use an opportunity to add the solution  $\Psi_{kn,0}$  of the homogeneous equation (52) with arbitrary constant coefficient. This freedom is enough to fulfill the conditions:

$$\langle\langle \Psi_{kn,m} | \Psi_{kn,m'} \rangle\rangle \sim \delta_{m(n-m)}, \quad (61)$$

which mean that we deal with Jordan cells of matrix dimensionalities  $p_{kn} = n + 1$ . Analogous calculations show that:

$$\langle\langle \Psi_{kn,m} | \Psi_{kn',m'} \rangle\rangle \sim \delta_{nn'} \delta_{kk'} \delta_{m(n-m')}, \quad (62)$$

completing the prove that the Hamiltonian is block-diagonal with Jordan cells of dimensionality  $p_{kn} = n + 1$ .

## References

- [1] Gendershtein L.E. *JETP Lett.* 38 356 (1983).
- [2] Witten E., *Nucl. Phys.*, B188 (1981) 513.
- [3] Junker G., *Supersymmetric Methods in Quantum and Statistical Physics* (Springer, Berlin, 1996);  
Cooper F., Khare A. and Sukhatme U. *Phys. Rep.* 25 268 (1995);  
Bagchi B.K., *Supersymmetry in Quantum and Classical Mechanics*, Chapman, Boca Raton, 2001.
- [4] Bougie J., Gangopadhyaya A. and Mallow J.V., *Phys. Rev. Lett.*, 105 (2010) 210402; *J. Phys. A*, 44 (2011) 275307.
- [5] Cannata F., Ioffe M.V. and Nishnianidze D.N. *J. Phys. A* 35 1389 (2002);  
Ioffe M.V. and Valinevich P.A. *J. Phys. A* 38 2497 (2005)

- [6] Ioffe M.V., *J. Phys. A*, 37 (2004) 10363.
- [7] Ioffe M.V. and Nishnianidze D.N. *Phys. Rev. A* 76 052114 (2007);  
Ioffe M.V., Nishnianidze D.N. and Vulmevich P.A. *J. Phys. A* 43 485303 (2010).
- [8] Ioffe M.V. *SIGMA* 6 (75 (2010).
- [9] Cannata F., Ioffe M.V. and Nishnianidze D.N., *J. Math. Phys.*, 52 (2011) 022108.
- [10] Ioffe M.V., Krapitskaya E.V. and Nishnianidze D.N. *Annals of Phys.* 327 764 (2012);  
*Eurphys. Lett* 98 10013 (2012).
- [11] Andrianov A.A., Cannata F., Ioffe M.V. and Nishnianidze D.N. *Phys. Lett. A* 266 341 (2000).
- [12] Cannata F., Ioffe M.V. and Nishnianidze D.N. *J. Math. Phys.* 51 022108 (2010).
- [13] Cannata F., Ioffe M.V. and Nishnianidze D.N. *J. Phys. A* 45 295303 (2012).
- [14] Andrianov A.A., Borisov N.V., Eides M.I. and Ioffe M.V. *Phys. Lett. A* 109 143 (1985);  
Andrianov A.A., Borisov N.V. and Ioffe M.V. *JETP Lett.* 39 93 (1984); *Phys. Lett. A* 105 19 (1984); *Theor. Math. Phys.* 61 1078 (1984).
- [15] Kuru S., Tegmen A. and Vercin A. *J. Math. Phys.* 42 3344 (2001).
- [16] Bender C.M. *Contemp. Phys.* 46 277 (2005); *Rep. Prog. Phys.* 70 947 (2007).
- [17] Mostafazadeh A. and Batal A. *J. Phys. A: Math. Gen.* 37 11645 (2004);  
Mostafazadeh A. *Int. J. Geom. Meth. Mod. Phys.* 7 1191 (2010).
- [18] Cannata F., Ioffe M.V. and Nishnianidze D.N. *J. Math. Phys.* 50 052105 (2009).
- [19] Rodriguez M.A. and Winternitz P. *J. Math. Phys.* 43 1309 (2002) and references therein.
- [20] Bender C.M., Boettcher S. and Meisinger P.N. *J. Math. Phys.* 40 2201 (1999);  
Bender C.M., Brody D.C. and Jones H.F. *Phys. Rev. Lett.* 89 270401 (2002);  
Dorey P., Dunning C. and Tateo R. *J. Phys. A: Math. Gen.* 34 L391 (2001); *J. Phys. A: Math. Gen.* 34 5679 (2001);  
Mostafazadeh A. *J. Math. Phys.* 43 205 (2002); *J. Math. Phys.* 43 2814 (2002); *J. Math. Phys.* 43 3944 (2002);  
Ahmed Z. *Phys. Lett. A* 294 287 (2002);  
Japaridze G.S. *J. Phys. A: Math. Gen.* 35 1709 (2002).
- [21] Mostafazadeh A. *J. Math. Phys.* 43 6348 (2002);  
Samsonov B.F. and Roy P., *J. Phys. A: Math. Gen.* 38 L249 (2005);  
Andrianov A.A., Cannata F. and Sokolov A.V. *Nucl. Phys. B* 773 107 (2007).
- [22] Cannata F., Ioffe M.V. and Nishnianidze D.N. *Phys. Lett. A* 310 344 (2003); *Theor. Math. Phys.* 148 960 (2006); *Phys. Lett. A* 369 9 (2007).



მ. ბარდაველიძე, დ. ნიშნიანიძე  
სამგანზომილებიანი ფორმა ინვარიანტული მოდელი  
ექვიდისტანციური სპექტრით  
რეზიუმე

აგებულია სამგანზომილებიანი მოდელის კლასი, რომლებიც აკმაყოფილებენ სუპერსიმეტრიულ შეჯვარების თანაფარდობას, დამატებითი ოსცილატორის მსგავსი ფორმა ინვარიანტული პირობით. ნაჩვენებია, რომ მხოლოდ კომპლექსური პოტენციალების მქონე სისტემებში არა აქვს ადგილი ცვლადთა განცალკევებას. ამასთან მათი სპექტრი რეალური და ექვიდისტანციურია. სრულადაა ამოხსნილი ასეთი პოტენციალების სპეციალური შემთხვევა კვადრატული ურთიერთქმედებით. ნაჩვენებია, რომ სისტემის ჰამილტონიანი არადიაგონალურია და მისი ტალღური ფუნქციები და ასოცირებული ფუნქციები აგებულია ანალიზურად.

## მ. კოტიშაძე

აწლუ-ს ასოცირებული პროფესორი

### ბ. ალაგიძე

ანდრია რაზმაძის სახელობის ქუთაისის № 41 ფიზიკა-მათემატიკური საჯარო სკოლის  
მე-10 კლასის მოსწავლე

## ზოგიერთი ფიზიკური ეფექტის გამოყენება ენერგოდამზოგ ტექნოლოგიებში

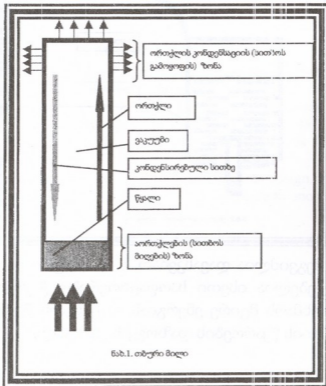
*სტატიაში მოცემულია სითხის აორთქლება-კონდენსირების საშუალებით სითბოს სწრაფი გადატანის ფიზიკურ ეფექტზე დამყარებული თბური მილის პრინციპის გამოყენება ენერგოდამზოგი ჭურჭლის კონსტრუქციაში. გამოთქმულია მოსაზრება, რომ ან გამოგონების გამოყენება დაზოგავს 20%-მდე თბურ ენერჯიას.*

ამჟამად საქართველოში და მსოფლიოში ძალიან მცირე ყურადღება ექცევა საყოფაცხოვრებო დონეზე ენერჯიის ხარჯვის ეკონომიურობას. ყველა ქვეყანაში მზადდება და გაყიდვაშია ენერგოტევადი საყოფაცხოვრებო ჭურჭელი (ქვაბები, ტაფები) და სხვადასხვა ტიპის მადულარები. ეს სისტემები მოიხმარენ დიდი რაოდენობის თბურ ენერჯიას და მიუხედავად ერთ ჯერზე მოხმარებული ენერჯიის თიჩქოსდა სიმცირისა, ჯამში დახარჯული ენერჯია საკმაოდ მნიშვნელოვანია. ასევე არ შეიძლება არ აღინიშნოს, რომ ტურისტებს სულ უფრო ხშირად სჭირდებათ მცირე ზომის მადულარები უკაცრიელ ადგილებში მოგზაურობისას ჩაის და ყავის მოსადულებლად და სასურველია ერთი ფინჯანი ყავის დასალევედ აუცილებელი არ იყოს კოცონის დანთება. სწორედ ამ პრობლემების გადაჭრის ერთ-ერთი მცდელობაა ჩვენი გამოგონება.

ჩვეულებრივ ჭურჭელში წყლის ან ნებისმიერი ნარევის გაცხელება ხდება ჭურჭლის გარსის გავლით, ანუ ჯერ ცხელდება გარსი, საიდანაც სითბო გადაეცემა შიგთავსს. ცხელი გარსიდან განუწყვეტლივ ხდება სითბოს გაცემა გარემოში, რის შედეგადაც დახარჯული სითბოს მხოლოდ მცირე ნაწილი გადაეცემა გასაცხელებელ სითხეს. ამასთან იზრდება პროდუქტის მომზადების დრო.

აღნიშნული ნაკლის აღმოსაფხვრელად აუცილებელია სითბოს მიწოდება პირდაპირ სითხეზე, ჭურჭლის გარსის გაუცხელებლად, სწორედ ასეა მოწყობილი ელექტრომაღლარა, მაგრამ ელექტროენერჯის მაღალი ფასის გამო ბუნებრივ აირთან შედარებით, მას სახლშიც იშვიათად ხმარობენ, ხოლო ტურისტებს ტყეში ან მთაში ელექტრომაღლარა საერთოდ არ გამოადგებათ. აქედან გამომდინარე აუცილებელია შეიქმნას რაიმეს წვის შედეგად მიღებული სითბოს მეშვეობით სითხის გასაცხელებელი მოწყობილობა, რომელიც სწრაფად და ენერჯის მცირე ხარჯით მიიღებს შედეგს.

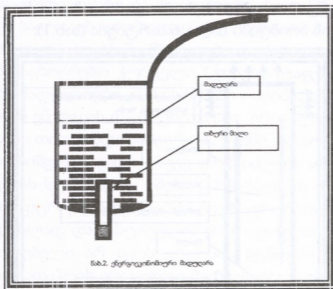
ჭურჭლის დასამზადებლად ამჟამად არსებული ლითონებიდან ყველაზე ეფექტურად მიიჩნევა სპილენძი (მაღალი სითბოგამტარობის გამო), რომლის ღირებულება საკმაოდ მაღალია. სწორედ დიდი სითბოგამტარობის მოწყობილობაა საჭირო გარედან სითბოს მიწოდებისთვის სითხისთვის, ჭურჭლის გათბობის გარეშე. ასეთი მოწყობილობა არსებობს და მას თბური მილი ჰქვია. მისი მოქმედების პრინციპი ძალიან მარტივია (ნახ.1):



ნახ.1. თბური მილი

თბური მილი [1] წარმოადგენს ჰერმენტულად დაბურულ ჭურჭელს, რომელშიც ჩასხმულია წყალი და ამოტუმბულია ჰაერი. აორთქლების ზონაში მიწოდებული სითბოს მოქმედებით წყალი სწრაფად აორთქლდება (რასაც ხელს უწყობს დაბალი წნევა ანუ ვაკუუმი) და იღებს სითბოს, ხოლო აორთქლების ზონაში კონდენსირდება და გასცემს სითბოს.

თუ ასეთ თბურ მილს მოვათავსებთ მადულარაში (ნახ.2), წყალს სითბო გადაეცემა ძალიან სწრაფად და ჭურჭლის გაუცხელებლად. შესაბამისად დაიხარჯება ნაკლები ენერგია და დრო. ამასთან სასურველია უშუალოდ მადულარას გარსი დამზადებული იყოს ცუდი სითბოგამტარობის მქონე მასალისაგან, რაც კიდევ უფრო იაფს გახდის მას.



ნახ.2. თერმოინოზოლი მადულარა

ამრიგად შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ თბური მილის გამოყენებით შესძლებელია ისეთი საოფაცხოვრებო ჭურჭლის შექმნა, რომელიც მოიხმარს მცირე ენერგიას, რაც ხელს შეუწყობს გამოლევადი ენერგიის წყაროების დაზოგვას (20%-მდე).

1. [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)

**მ. კოტიშაძე, ნ. ალავიძე**  
**ზოგიერთი ფიზიკური ეფექტის გამოყენება ენერგოდამზოგ**  
**ტექნოლოგიებში**  
**რეზიუმე**

რამდენად ეკონომიურად იხარჯება ბუნებრივი აირი საყოფაცხოვრებო საჭიროებისათვის? ეს კითხვა უახლოეს მომავალში უაღრესად აქტუალური გახდება. შეასაბამისად, აუცილებელია შეიქმნას ენერგოდამზოგი საყოფაცხოვრებო ჭურჭელი, რომელიც ნაკლებ ენერგიას მოიხმარს საჭირო პროდუქტის მოსამზადებლად, ვიდრე ამჟამად არსებული.

სტატიაში შემოთავაზებულია ენერგოდამზოგი საოჯახო ჭურჭლის კონსტრუქცია, რომლის მოქმედების პრინციპი ემყარება თბური მილის თვისებას სწრაფად და მცირე დანაკარგებით გადასცეს სითბო ერთი ადგილიდან (სითბოს წყარო), მეორე ადგილზე (წყალი ან სხვა პროდუქტი ჭურჭელში) ჭურჭლის გარსის გაცხელების გარეშე.

**M. Kotishadze, N. Alavidze**

**The use of some physical effects in energy saving technologies**

**Summary**

How much energy of natural gas can we save for domestic needs? This question will become highly topical in the nearest future. So, it is necessary to develop energy saving household utensils, which consumes less power for its needs, than the current ones.

The article offers energy saving home cupboards design, which is based on the principle of heat pipe to transfer heat from one place to another with the small losses without the heating of the membrane.



### 3. გელხვიმე

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

## დიოდი ვირტუალური კათოდი

*ნაშრომში განხილულია კლასიკური ორელექტროდიანი ელექტრონული მილაკის დიოდის საკითხი წრფივი ძლიერდენიანი რელატივისტური ელექტრონული კონის ამაჩქარებლის მაგალითზე, რომელიც უზრუნველყოფს სისტემაში ვირტუალური კათოდის აღძვრას.*

მე-XX საუკუნის მეორე ნახევარში მეცნიერ-მკვლევართა ხელში მძლავრი, ელექტრონული კონების ამაჩქარებლების აღმოჩენით, რომელთა უნიკალური პარამეტრები: -ელექტრონების კონის ენერგია  $10^5$ – $10^7$  ევ (ელექტრონ ვოლტი); დენის ძალა  $10^3$ – $10^5$  ა; იმპულსის ხანგრძლივობა  $10^{-8}$ – $10^5$  წმ; და სიმძლავრე  $10^8$ – $10^{13}$  ვტ. ახალი შესაძლებლობები გაჩნდა მეცნიერებისა და ტექნიკის ახალი წარმატებებისათვის. გადაიდგა ნაბიჯი თერმოზირთვული სინთეზის მართვის, ძლიერდენიანი რელატივისტური ზემადწალი სიხშირის ელექტრონიკის, ქიმიურ, გაზურ და მყარ გარემოში ელექტრონული ლაზერების, დიდ მანძილზე ენერჯის გადაცემის და სხვა პრობლემების გადაწყვეტის საქმეში.

პირველი ექსპერიმენტები ძლიერდენიანი რელატივისტური ელექტრონების კონების გამოყენებით ელექტრომაგნიტური გამოსხივების მისაღებად განხორციელდა აშშ-ი სამოცდაათიან წლებში, მაგრამ შედეგები, გამოსხივების მექანიზმის თვალსაზრისით არ იყო ზუსტად იდენტიფირებული და რაც მთავარია სისტემის მარგი ქმედების კოეფიციენტი (მქკ) შეადგენდა დაახლოებით 0,1%. იმავე პერიოდში (ყოფილ საბჭოთა კავშირში) გამოჩნდა თეორიული გამოკვლევები, რომლებიც ადასტურებდნენ, რომ გამოსხივებული ელექტრომაგნიტური ტალღები, ძლიერდენიანი რელატივისტური ელექტრონების საშუალებით, როგორც ვაკუუმში ისე პლაზმაში, დახასიათდებოდა შედარებით მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტით.

კვანტური გენერატორებისაგან განსხვავებით, რომლებიც აქტიური ნივთიერების ატომებისა და მოლეკულების ელექტრონე-



ბის ინდუქციურულ გამოსხივებას იყენებს, კლასიკურ გენერატორებში, გამოსხივების წყაროდ შეიძლება გამოყენებული იქნას ძლიერდენიანი რელატივისტური ელექტრონების იძულებითი გამოსხივება. ცნობილია, რომ ვაკუუმში აჩქარებულად მოძრავი ელექტრონი ასხივებს, ამავე დროს თუ ელექტრონის მოძრაობა იქნება დროის მიხედვით პერიოდული, მაშინ მისი გამოსხივება იქნება მონოქრომატული; ასეთი გამოსხივების მაგალითებია: ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მბრუნავი ელექტრონის ეგ.წ. ციკლოტრონული, (ხოლო რელატივისტური ელექტრონის შემთხვევაში სინქროტრონული გამოსხივება); აგრეთვე პერიოდულ მაგნიტურ ველში, იმ შემთხვევაში თუ გარემო არაერთგვაროვანია (ან იცვლება დროის მიხედვით) მაშინ მიუხედავად იმისა ელექტრონის მოძრაობა თანაბარია თუ არა ადგილი აქვს განოსხივებას, რომელიც ეგ.წ. ონდულატორული გამოსხივების სახელითაა ცნობილი [1], და რომელსაც აგრეთვე უწოდებენ გარდამავალ გამოსხივებას. ცხადია გამოსხივება იქნება გარდამავალი გარემოს ელექტრული (დეელექტრიკული შეღწევადობის ან გარდატეხის მაჩვენებლის) თვისებების ნებისმიერი ცვლილების შემთხვევაში. სწორედ ამ ტიპის ამოცანების გადაწყვეტის საქმეში ახალი სიცოცხლე შეიძინა ელექტრონიკაში ცნობილმა ორელექტროდიანმა ელექტრონულმა მილაკმა (დიოდმა) ფეთქებ-ემისიური კათოდით, იმპულსურ რეჟიმში, ძლიერდენიანი რელატივისტური ელექტრონული კონიი, ძლიერ მაგნიტურ ველში (2-4 ტესლა მაგნიტური ინდუქციით); /ამ ტიპის გენერატორებს ზოგჯერ თავისუფალ ელექტრონებზე მომუშავე ლაზერებსაც უწოდებენ/. ორელექტროდიანი მილაკის (დიოდის) ანალოგიურად წრფივ ამაჩქარებელში ძლიერდენიანი (რამოდენიმე ათეული კილო ამპერი) რელატივისტური ელექტრონული კონის ტრანსპორტირების საკითხი დაკავშირებულია დიოდის ფორმაზე და გეომეტრიულ ზომებზე. თეორიულად ცნობილია, რომ ცილინდრული ფორმის სისტემაში ტრანსპორტირებადი ელექტრონული კონის ზღვრული დენის მნიშვნელობა განისაზღვრება ფორმულით [2].

$$I_0 = 17 \frac{(v^2 - 1)^{3/2}}{2 \ln \frac{R}{r}} \quad (3a)$$

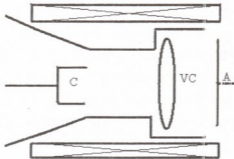
ფორმულაში  $\gamma = (1 - \frac{v^2}{c^2})^{-\frac{1}{2}}$  რელატივისტური ფაქტორია;  $v$

ელექტრონის მოძრაობის სიჩქარე, ხოლო  $c$  სინათლის სიჩქარე ვაკუუმში;

$R$  დიოდის ცილინდრული კამერის რადიუსი, ხოლო  $r$  – კათოდის რადიუსი, რომელიც განსაზღვრავს ელექტრონული კონის რადიუსს, ხოლო ტრანსპორტირებული კონის ფორმის შენარჩუნებას უზრუნველყოფს სოლენოიდის ერთგვაროვანი ძლიერი მაგნიტური ველი (დეიოდი მოთავსებულია სოლენოიდის შიგნით). როგორც (1) ფორმულიდან ჩანს ერთი და იმავე ელექტრონული კონის შემთხვევაში ცილინდრული ფორმის დიოდში ტრანსპორტირებული ელექტრონული კონის ზღვრული დენის მნიშვნელობა მით უფრო მცირეა რაც უფრო დიდია ცილინდრის რადიუსი ე.ი. მცირე რადიუსის ცილინდრიდან დიდი რადიუსის საფეხურზე გადასვლით იცვლება შესაბამისი ზღვრული დენის მნიშვნელობა რაც ტოლფასია იმისა, რომ გარდამავალ ზონაში ელექტრონების გარკვეული რაოდენობა განიცდის არეკვლას, ეს ფაქტი აიხსნება იმით, რომ აღნიშნულ უბანს გააჩნია უარყოფითი პოტენციალი (ასეთი ფუნქცია სუსტი დენის შემთხვევაში შეეძლო გაეკეთებინა ეგ. წ. ამრეკლ კათოდს); ვინაიდან ძლიერი დენის არსებობის შემთხვევაში რეალური ამრეკლი კათოდი არ არსებობს მაგრამ ელექტრონების არეკვლას მაინც აქვს ადგილი, ამიტომ ელექტრონების ამრეკლად მიჩნეულია ეგ.წ. ვირტუალური კათოდი [3], რომელიც უზრუნველყოფს სისტემაში ელექტრონების იძულებით გარდამავალ ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას, რომლის სიმძლავრემ აღნიშნული ელექტრონული კონის შემთხვევაში შეიძ-

ლება რამოდენიმე ათეულ გეგავატს გადააჭარბოს, ამავდროულად საკმაოდ მაღალი მარგი ქმედების კოეფიციენტით.

ნახაზზე ნაჩვენებია სოლენოიდის ძლიერ მაგნიტურ ველში მოთავსებული ძლიერდენიანი რელატივისტური ელექტრონების ტრანსპორტირებით აღძრული ვირტუალური კათოდი [4], რომელიც უზრუნველყოფს იძულებით გარდამავალ ელექტრომაგნიტურ გამოსხივებას ზემალაღი სიხშირის დიაპაზონში.



C - კათოდი  
VC - ვირტუალური კათოდი  
A - ანოდი

დიოდი ვირტუალური კათოდით

### ლიტერატურა

1. Богданкевич Л.С. Гелхვიдзе П.К. и др., Двойной резонанс в линейно поляризованном ондуляторе., //Крат. Сообщ. По физике №6, 1985 с,34.
2. Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. Устойчивост релятивистских электронных пучков и проблема критических токов, // Успехи Физ. Наук, 1971, т. 103, с. 609-640.
3. Гелхვიдзе П.К. СВЧ -генераторы на основе колебании виртуального катода.// Препринт, ИОФАН, №147, М. 1986 г. с.27.
4. Гелхვიдзе П.К. Транспортировка РЭП с предельным током. //Сообщения АН ГССР, 140, №1, 1990, с.45.

**P. Gelkhviidze**

**Diodes with the virtual methods**

**Summary**

The paper deals with the classical electron tube diodes objective linear accelerator sticks power current relativity an example of which is provided against the system of the virtual cathodes.



აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის დეპარტამენტის  
**ორფაზიანი სისტემის სითხე-აირის დინამიკის ექსპერიმენტ-  
ტალური გამოკვლევა ვიბროშერვის რეჟიმში**

მიუხედავად იმისა, რომ შერევა ფართო გამოყენებას პოულობს მრეწველობის სხვადასხვა სფეროებში, შერევის (ბარბოტაჟი, მექანიკური შემრევი, პულსაციური შერევა, შერევა ულტრაბგერების მეშვეობით) არსებულ ხერხებს აქვს მნიშვნელოვანი ნაკლოვანებანი. ყველა შემთხვევაში ადგილი აქვს მექანიკური ენერგიის უშუალო გადაცემას აღზნების წყაროებიდან შერეულ გარემოზე.

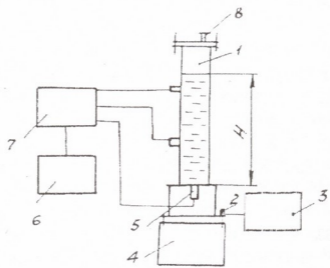
ამ ბოლო დროს ტექნოლოგიურ პროცესების ინტენსიფიკაციისას ფართოდ გამოიყენება ზემოქმედების მართვადი ვიბრაციული მეთოდები, რომლებაც დიდი ეფექტურობით გამოირჩევა. კერძოთ კი ვიბრაციული შერევის (ამ პროცესის) რეზონანსული ხასიათი საშუალებას იძლევა მცირე ენერგეტიკულ ხარჯების მეშვეობით მიღებული იქნას მის დინამიური თვისებების ეფექტური გამოყენება.

ზოგიერთ ტექნოლოგიურ პროცესების დროს აუცილებელია გაიზარდოს წნევა თხევად გარემოში. თხევად გარემოში წნევის გაზრდის შესაძლებლობის ექსპერიმენტალური შემოწმება რეზონანსული ვიბროშერვის რეჟიმში ჩატარებული იყო ექსპერიმენტების რამოდენიმე სერია.

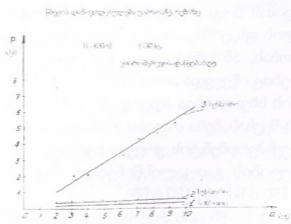
ექსპერიმენტები ჩატარდა ვიბროელექტროდინამიურ სტენდზე ИЭДС – 200. სტენდის მაგიდაზე მაგრდება ორგანიდან დამზადებული ცილინდრი გარე დინამეტრით 80 მმ. და შიდა დინამეტრით 50 მმ, ხოლო სიმაღლით H=800 მმ. სტენდიდან სისტემას ვიბრაციული ზემოქმედების პარამეტრები მიეწოდებოდა. ვიბროშერვის კონტროლო ხდებოდა ვიბროსენსორის КД-45 და ვიბროგამზომის SM-110 მეშვეობით. ჭურჭელში კედლის წნევის გაზომვისათვის მიმაგრებული იყო წინასწარ დაგრაღულირებული სამი სენსორი ДДМ. სენსორიდან მიღებული სიგნალები ძლიერდებოდა ტენეოსადგურის ТА-5 მეშვეობით. წნევის პულსაციების ჩაწერა



ხდებოდა შლეიფური ოსცილოგრაფით H-115. წნევის გასაზომად კი ბისათვის ჭურჭელში სითხის ზედაპირი ზენოდან დაკავშირებული იყო ატმოსფეროსთან (სურათ. 1)



სურ.1. ექსპერიმენტალური დანადგარის სქემა  
 1-ექსპერიმენტალური ჭურჭელი; 2- სენოსორული -KΦ-45; 3- ვიზრომზომი; 4 BΦДC-200; 5- სესონი წნევის - ΦΦM; 6- ოსცილოგრაფი; 7-ტენზოსადგური TA-5.



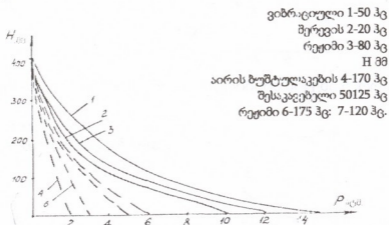
სურ.2.



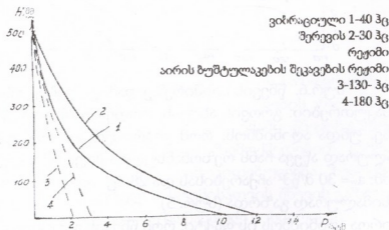
მუშა ცილინდრი გამდინარე წყლით ივსება განსაზღვრულ დონემდე. ცდების ჩატარებისას ცილინდრის შევსება ხდებოდა სამ სხვადასხვა დონეზე - 300, 500 და 600 მმ. ვიბრაციული ზემოქმედება ხორციელდებოდა 20-60 ჰგ. სიხშირის დიაპაზონში. ყოველი დონისათვის შევსების სიხშირის ქვედა და ზედა დიაპაზონი განისაზღვრება ვიზუალურად არსებული შერევისას სრულ მოცულობაში. ექსპერიმენტის მსვლელობის პროცესში ორფაზიან სისტემაში წნევის პულსაციის დაფიქსირება ხდებოდა 2 ჰგ. სიხშირის ინტერვალით მუდმივ ვიბროაჩქარებისას. გარე ზემოქმედების სიხშირეების ზოგიერთ შუალედებში სისტემა სითხე-აირისათვის დამახასიათებელია ჰაერის ბუშტულაკების რთული მოძრაობა. სითხე ინტენსიურად ჯერდება აირის ბუშტულაკებით, რომლებიც ჩნდება სითხისა და აირის საზღვარის რღვევის შედეგად. საზღვრის რღვევის შემდეგ მიღებული აირის ბუშტულაკების დიდი ნაწილი სწრაფად გადაინაცვლებს პულსაციაში მყოფ ბუშტულაკების გროვისაკენ და უერთდება მათ, ცვლის მის მოცულობას, და თვით სისტემის საკუთარ რხევის სიხშირეს. ვიბრაციული ზემოქმედების გარკვეულ პარამეტრებში დგება მომენტი, როდესაც სისტემის ბუშტულაკების გროვა და მისგან მოცილებული ბუშტულაკების რაოდენობა სტაბილური ხდება. ამ მომენტში ფიქსირდებოდა ჰიდროდინამიკური წნევის პულსაციები. ზემოქმედების სიხშირის გაზრდისას ზოგიერთ ვიწრო არეში წარმოიქმნება აირის ბალიში ჭურჭლის ფსკერზე, რომელიც აღწევდა გარკვეულ კრიტიკულ მოცულობას, ამ დროს ხდებოდა მისი მაქსიმალური პულსაციები, რომლებიც იწვევდა აირის ბუშტულების ინტენსიურ მოძრაობას ჭურჭლის სხვადასხვა ადგილას. ჭურჭლის სითხით ავსების ყოველ დონეს შეესაბამება თავისი რეზონანსული სიხშირე. ცდები ტარდებოდა ექსპერიმენტის ყოველ სერიაზე ვიბრაციული აჩქარების მუდმუვობის გათვალისწინებით. მაგალითად,  $H=300$  მმ;  $a_w= 130$  მ/წმ<sup>2</sup>,  $150$  მ/წმ<sup>2</sup> და  $180$  მ/წმ<sup>2</sup>.

ოსცილოგრამაზე წნევის პულსაციის გაშიფვრამ გვიჩვენა, რომ ჭურჭელში გაიზარდა ჰიდროდინამიკური წნევა. უნდა აღინიშნოს, რომ წნევა იზრდება ვიბრაციული ზემოქმედების ინტენსიუ-

რობის პირდაპირ პროპორციულად, ანუ ვიბრაციული აჩქარების გაზრდით, რომელიც წარმოიქმნება ვიბროშერევაში (სურ.2), როდესაც სითხეში არის ბუმბულაკების მდგრადი ვროვა პულსაციის შედეგად წარმოქმნილი ამ შემთხვევაში წნევის სიმაღლეზე განაწილების კანონი და წნევის დამოკიდებულება ვიბროაჩქარებაზე რთულდება. ამ დროს წნევა შესამჩნევად იზრდება (5-10 ჯერ) (სურ.3; 4)

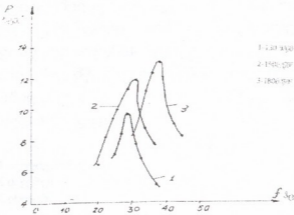


სურ.3. ვიბრაციის დროს წნევის განაწილება სიმაღლის მიხედვით

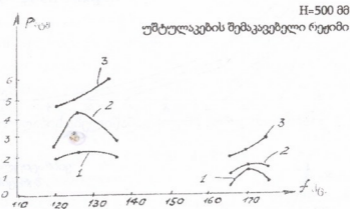


სურ.4. ვიბრაციის დროს წნევის განაწილება სიმაღლის მიხედვით





სურ. 5 წნევის სიხშირეზე დამოკიდებულება  $H=300$  მმ.

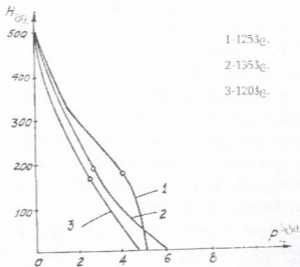


სურ.6. წნევის სიხშირეზე დამოკიდებულება

განსაკუთრებით: გროვის ახლოს, როდესაც ის არი ჭურჭელის ფსკერზე. უნდა აღინიშნოს, რომ ვიბრომერევის რეჟიმში წნევის მაქსიმალურად აწევა ჩანს რეზონანსულის სფეროში. მაგალითად,  $H=300$  მმ;  $a_w=30$  მ/წმ<sup>2</sup> აჩქარებისას და 28 ჰც სიხშირით ხდება წნევის მაქსიმალურად გაზრდა (სურ. 5)

საჭიროა აღინიშნოს ის ფაქტი, რომ წნევის გაზრდა დამოკიდებულია აგრეთვე ვიბრაციული ზემოქმედების ინტენსიურობაზე, ანუ ვიბროაჩქარების ზრდასთან ერთდ იზრდება წნევა.  $a_w=130$  მ/წმ<sup>2</sup>-ას  $P=9,5$  ატმ.,  $a_w=150$  მ/წმ<sup>2</sup>-ას  $P=12$  ატმ.,  $a_w=160$  მ/წმ<sup>2</sup>-ას  $P=13,2$  ატმ. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული წნევის მაქსიმუმი აღინიშნე-

ბა რეზონანსულ სიხშირისას, მაგრამ უნდა შევნიშნოთ, რომ ვიბრაციული ზემოქმედების ინტენსიურობის გაზრდა, თუ დანართში პარამეტრები უცვლელია, იწვევს რეზონანსული სიხშირის გადანაცვლებას უფრო მაღალი სიხშირეებისაკენ. ასე მაგალითად ჭურჭელში  $H=300$  მმ-ას სითხის სიმაღლისას და  $a_w=130$  მ/წმ<sup>2</sup> -ას ვიბროაჩქარებისას მოცემული ჭურჭელის რეზონანსული სიხშირე უდრის 28 ჰც,  $a_w = 150$  მ/წმ<sup>2</sup>-ას - 30 ჰც,  $a_w = 180$  მ/წმ<sup>2</sup>-ას - 38 ჰც.



სურ.7 სიმაღლის მიხედვით წნევის განაწილება

ამგვარად, რეზონანსული ვიბროშერევის საზღვრების სფეროში ჩატარებული ექსპერიმენტალური კვლევების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ წყალი-აირის ორფაზიან სისტემაში წნევის გაზრდა შესაძლებელია მასზე გარე ვიბრაციის ზემოქმედებით, გამოავლინა წნევის გაზრდის გარკვეული დამოკიდებულება ზემოქმედების პარამეტრებზე და მოცემულ სისტემისათვის წნევის გაზრდის მაქსიმალური შესაძლებლობა რეზონანსულ სიხშირისას.

ექსპერიმენტები ტარდებოდა ჭურჭლის სითხით 3 სხვადასხვა დონეზე აგებისას  $H=300, 400$  და  $500$  მმ. ვიბრაციული ზემოქმედება ხდებოდა 100-200 ჰც. დიაპაზონში. ჭურჭლის შევსების ყოველ დონეზე სიხშირე შეირჩეოდა ისე, რომ ჰაერის ბუმბულაკე-

ბის გროვა უნდა ყოფილიყო ერთ-ერთ სენსორთან და ხდებოდა წნევის პულსაციების რეგისტრირება. შემდეგ სიხშირე იზომებოდა ფიქსირებულ აჩქარებაზე ისე, რომ ბუმტულაკების გროვა გადაადგილდებოდა სენსორიდან ზევით ან ქვევით და ხდებოდა პულსაციების რეგისტრაცია.

მიღებული მონაცემები მოცემულია გრაფიკის სახით სურათებზე (6, 7). მონაცემთა ანალიზი გვამღევს საშვალებას გავაკეთოდ დასკვნა, რომ ჭურჭელში წნევის გადანაწილება დამოკიდებულია აირის ბუმტულაკების გროვის განლაგებაზე. წნევის გაზრდა შეინიშნება ჭურჭლის იმ არეში, სადაც მდებარეობს ბუმტულაკების გროვა, რაც უნდა გავითვალისწინოთ ამ ეფექტის გამოყენებისას რიგ ტექნოლოგიურ პროცესებში.

გამოქვეყნებული შედეგების ანალიზის და ჩატარებული კვლევების საფუძველზე შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი დასკვნები:

1. გარე ვიბრაციულ ზემოქმედების დროს რეზონანსულ ვიბროშერევის რეჟიმში წყალ-აირის ორფაზიან სისტემაში წნევა საგრძნობლად იზრდება (5-10 ჯერ).

2. მოცემული ანალიზი გვამღევს საშვალებას გავაკეთოდ დასკვნა, რომ ჭურჭელში წნევის განაწილება აიროვანი ბუმტების განლაგებაზე. წნევის გაზრდა შეინიშნება ჭურჭლის იმ არეში, სადაც მდებარეობს ბუმტულაკების გროვა, რაც უნდა გავითვალისწინოთ ამ ეფექტის გამოყენებისას რიგ ტექნოლოგიურ პროცესებში.

მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებული იყოს ტალღოვანი პროცესების გაანგარიშებისათვის, რომლებსაც აქვს ადგილი ორფაზიან სითხე-აირის დინებების დროს რეალურ ენერგეტიკულ დანადგარებში, აგრეთვე ვიბრაციული მოქმედების გაანგარიშებისა და სტაბილიზაციისათვის მრავალ ტექნოლოგიურ პროცესებში.

1. Гончаревич И.Ф., Фролов К.В. Теория вибрационной технологии – М.: Наука, 1981г.
2. Ганиез Р.Ф. Колебательные явления в многофазных средах и их использование в технологии – Киев: Техника, 1980г.
3. Ганиез Р.Ф., Пучка Г.Н. Динамика газовых пузырьков в колеблющейся жидкости. Прикладная механика – 1979. –Т.15
4. მათე მირიანაშვილი. ფიზიკის ზოგადი კურსი I ნაწილი (მექანიკა). გამომცემლობა „ცოდნა“ თბილისი - 1964 წ.

### მ.ბერძე ზ.ენდელაძე

#### ორფაზიანი სისტემის სითხე-აირის დინამიკის ექსპერიმენტალური გამოკვლევა ვიბროშერევის რეჟიმში

ორფაზიანი სისტემის სითხე-აირის ვიბრაციული შერევის დინამიკის ექსპერიმენტალური გამოკვლევისათვის აწყობილი იქნა საექსპერიმენტო მოწყობილობა, რომელზედაც ჩატარებული ექსპერიმენტების ანალიზი საშუალებას გვაძლევს გავაკეთოდ დასკვნა რომ ჭურჭელში წნევის განაწილება დამოკიდებულია აირის ბუშტულაკების გროვის განლაგებაზე. წნევის გაზრდა შეინიშნება ჭურჭლის იმ არეში სადაც მდებარეობს აირის ბუშტულაკების გროვა. მიღებული შედეგი უნდა გავითვალისწინოთ რიგ ტექნოლოგიურ პროცესებში.

**M. Berodze Z. Endeladze**

#### Two-Phase System of Liquid - Gas Dynamic Experimental Investigation in Vibrational Mixing Regime

Summary

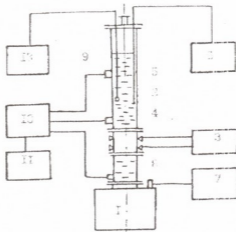
Two-phase system of liquid - gas vibrational mixing dynamics for an experimental investigation has been assembled experimental equipment, on which the experiments analysis has been carried out, affords us to make a conclusion that the distribution of gas pressure in vessel depends on the layout of the pile of gas bubbles. Pressure increasing is observed in the area of the vessel, where there is the pile of gas bubbles. Obtained result should be considered in number of technological processes.



## ტემპერატურის ფაქტორის გავლენა სითხე-აირის სისტემის რეზონანსულ ვიბრაციულ შერევაზე

ექსპერიმენტალურად ჩატარდა გამოკვლევა ტემპერატურული ფაქტორის გავლენისა სითხე-აირის სისტემის დინამიკისა და ვიბრაციულ შერევის პროცესზე. ექსპერიმენტალური კვლევები ტარდებოდა დანადგარზე, რომლის სქემა ნაჩვენებია (სურათზე 1), მუშა კამერა მაგრდებოდა ვიბროდინამიური სტენდის БЭДС-100 მაგიდაზე. მუშა კანერა წარმოადგენს ვერტიკალურ ცილინდრს, რომელიც დამზადებულია ორგანულ მინიდან  $D=80 \times 15$  და სიმაღლე 800 მმ., რომელიც ივსება სითხით შევსების სამ დონეზე: 500, 600, 700 მმ. სითხის გათბობა ხდება ტრანსფორმატორ PHO-250 - ის და კამერის შუა ნაწილზე მიერთებული გათბობის სექციის მეშვეობით. სითხის ტემპერატურის გაკონტრილება ხდებოდა ქრომელწვეთოვანი თერმოწყვილების მეშვეობით, რომლებიც აისახება პოტენციომეტრზე КСН-4. ვერტიკალური რხევების პარამეტრები (ამპლიტუდა, ვიბროაჩქარება), რომლებიც შეიქმნებოდა ვიბროსტენდით რეგისტრირდებოდა ვიბროგამზომი სისტემის SM-311 და სენსორის КД-35 მეშვეობით. სამუშაო კამერის სიმაღლეზე წნევის გადანაწილების გაზომვისათვის იდგმებოდა ტენზოსადგურები ТА-5 და ხდებოდა სიგნალის ჩაწერა შლეიფიან ოსცილოგრაფის H-115 (ლენტაზე. სითხეში წნევი პულსაციები იზომებოდა სპეციალურად დამზადებული პიეზოსენსორით და მილივოლტმეტრით QRV-2. კვლევები ტარდებოდა რეჟიმული პარამეტრების შემდეგ დაიაპაზონში: სიხშირე  $f=20-180$  ჰც, გადატვირთვა  $aw^2/g=2-15$ , ტემპერატურა  $t=30^{\circ}-90^{\circ}$  C. შერევის დაწყება განისაზღვრებოდა წნევის სენსორთან დაკავშირებულ ვოლტმეტრის ისრის მკვეთრი გადახრის მიხედვით, აგრეთვე ხმის ხასიათით და სითხეში შესული ჰაერის ბუშტულაკების მიხედვით. შერევის წარმოქმნის შემდეგ ხდებოდა ვიბროსტენდის გამორთვა და სითხე ჭურჭელში ჩერდებოდა მანამ, სანამ არ გაქრებოდა ჰაერის ბუშტულაკები.

ექსპერიმენტალური დანადგარის სქემა



1.-BCC-100; 2-მუშა კამერა; 3-PHO-250; 4-გამზარებლის რეაქტორი;  
5-თერმორეზისტორი; 6-KClI-4; 7-SM-311; 8-სენსორი KΦ-35; 9-წყლის  
სენსორი; 10-ტენზოსადგური; 11-ობილიგრაფი H-115; 12-  
პრეზონანსორი; 13-QRV-2;

სურ. 1.

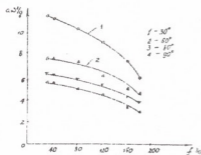
პირველად ჩატარებული ცდების სერიაში სითხე მუშა კამერაში ცხელდებოდა საჭირო ტემპერატურამდე, რომელიც მუდმივად ნარჩუნდებოდა გამათბობელი სისტემის ემევეობით. მუშა კამერაზე ხორციელდებოდა ვიბრაციული ზემოქმედება ფიქსირებულ სიხშირეებისას და განისაზღვრებოდა გადატვირთვები, რომლებიც აუცილებელი იყო ვიბრომერვის დასაწყებად მოცემულ სიხშირისა და ტემპერატურისას. (სურ. 2) წარმოდგენილია ცდის მონაცემები, რომლებიც მიღებულია 500 მმ. დონეზე მუშა კამერის შევსების შემთხვევაში. გადატვირთვის სიდიდე, რომელიც აუცილებელია ვიბრომერვის დაწყებისათვის, ფიქსირებულ სიხშირისას ტემპერატურის ზრდის შემთხვევაში მცირდება.

მეორედ ჩატარებული ცდების სერიაში ფიქსირებული ტემპერატურისა და გადატვირთვისას განისაზღვრებოდა სიხშირე, რომლის დროსაც იწყებოდა სითხის ვიბრომერვა. მაგალითის სა-



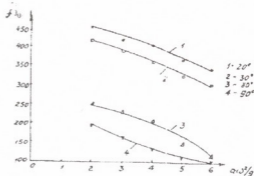
ხით (სურ.3) წარმოდგენილია ექსპერიმენტაკლური მონაცემები, რომლების მიღებული იყო ამ ცდების დროს. მუშა კამერის შიგნით ბის დონე შეადგენდა 600 მმ. ცდების შედეგად მიღებული მონაცემები მოწმობს იმაზე, რომ ტემპერატურის ზრდასთან ერთად ვიბრაციული ზემოქმედების სიხშირე, რომელიც აუცილებელია შერვის დასაწყებად, მცირდება.

სიხშირის დამოკიდებულება გადატვირთვაზე ვიბროშერვის დაწყებისას



სურ. 2.

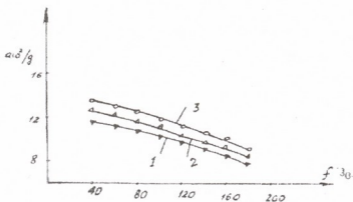
სიხშირის დამოკიდებულება გადატვირთვაზე ვიბროშერვის დაწყებისას



სურ. 3.

უნდა აღინიშნოს, რომ ტემპერატურის ზრდის დროს მცირდება სითხის სიბლანტე, კერძოდ წყლისათვის, როდესაც  $t=30^{\circ}C$ .  $\mu=81, 7 \cdot 10^{-5}$  ნ.ს./მ<sup>2</sup>, როდესაც ტემპერატურა არის  $t=80^{\circ}C$ .  $\mu=36, 2 \cdot 10^{-5}$  ნ.ს./მ<sup>2</sup> (როდესაც წნევა უდრის  $P=0,1$  მპ), ანუ ორჯერ მეტი. სიბლანტის პროცესზე გავლენის გამოკვლევებისათვის ჩატარებული იყო ცდები აცეტონზე ( $\mu=29, 3 \cdot 10^{-5}$  ნ.ს./მ), ეთილის სპირტზე და 20% წყალნარევეგლიცერინის ხსნარით ( $\mu=115 \cdot 10^{-5}$  ნ.ს./მ<sup>2</sup>,  $\mu=190 \cdot 10^{-5}$  ნ.ს./მ<sup>2</sup>), როდესაც ტემპერატურა უდრიდა 30C, ანუ „ცივი“ ექსპერიმენტის მეშვეობით ხდებოდა სიბლანტის ცვლის პოდელირება სხვა ფიზიკური თვისებების შეფარდებით მუდმივობისას. მიღებული ექსპერიმენტაკლური მონაცემები წარმოდგენილია (სურათზე 4). აქ ჩანს, რომ სიბლანტის კოეფიციენტის ცვლა პრაქტიკულად არ ახდენს გავლენას გადატვირთვის სიდიდეზე, რომლის დროსაც ხდება ფიქსირებული სიხშირის მქონე სითხის ვიბროშე-

გადატვირთვის დამოკიდებულება სიხშირეზე  
ვიბროშერევის დასაწყისში სხვადასხვა  
სითხეებისათვის



სურ.4.

ჩატარებული კვლევის შედეგებმა გვიჩვენა თუ, რა გავლენას ახდენს ტემპერატურის ფაქტორი ვიბროშერევის პროცესზე, რაც უკავშირდება სითხის ადუღებასთან ვიბრაციულ ზემოქმედებისას და შეიძლება გაეწიოს რეკომენდაცია ისეთი გაცხელებული სითხეების ვიბროშერევას, რომლების „ცივ“ მდგომარეობაში არ შეირევა მიუხედავად იმისა, რომ ვიბრაციას აქვს იგივე პარამეტრები. გადამოწმების მიზნით ჩატარებული იყო კვლევა, თუ რა გავლენას ახდენს ტემპერატურა სითხეების ნარევეზე (ინდუსტრიული ზეთი - 20 და წყალ). სითხის საერთო დონე უდრიდა 600 მმ, ზეთის დონე  $H=250$  მმ, შერევე ხდებოდა გადატვირთისას, რომელიც უდრიდა 10 სიხშირეების დიაპაზონში 30-დან 60 ჰც. -მდე. ვიბროსტენდის რხევის თითოეულ სიხშირეს რომლის დროსაც ხდებოდა სითხის შერევა, შეესაბამებოდა გაცხელების შესაფერისი ტემპერატურა. გაცხელების გარეშე გადატვირთების მოცემულ





დიაპაზონში შერევას არ ქონდა ადგილი. გარდა ამისა, შერევა არ ხდებოდა ნებისმიერ გაცხელების დროს, როდესაც სიხშირე 60-300 მადალი იყო.

გამოქვეყნებული შედეგების ანალიზის და ჩატარებული კვლევების საფუძველზე შეიძლება გაკეთდეს შემდეგი დასკვნები:

1. გარემოს ტემპერატურა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ვიბროშერევის დასაწყისზე, კერძოდ კი, ტემპერატურის გაზრდა იწვევს გადატვირთვის სიდიდის შემცირებას, რომელიც აუცილებელია ვიბროშერევის დაწყებისათვის.
2. ექსპერიმენტული მონაცემებით დადგინდა, რომ სიბლანტის კოეფიციენტის ცვლა პრაქტიკულად არ ახდენს გავლენას გადატვირთვის სიდიდეზე, რომლის დროსაც ხდება ფიქსირებული სიხშირის მქონე სითხის ვიბროშერევის რეალიზება.
3. მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებული იყოს ტალღოვანი პროცესების გაანგარიშებისათვის, რომლებსაც აქვს ადგილი ორფაზიან სითხე-აირის დინებების დროს რეალურ ენერგეტიკულ დანადგარებში, აგრეთვე ვიბრაციული მოქმედების განგარიშებისა და სტაბილიზაციისათვის მრავალ ტექნოლოგიურ პროცესებში.

**ლიტერატურა**

1. Гончаревич И.Ф., Фролов К.В. Теория вибрационной техники и технологии – М.: Наука, 1981г.
2. Ганиев Р.Ф. Колебательные явления в многофазных средах и их использование в технологии – Киев: Техника, 1980г.
3. Ганиев Р.Ф., Пучка Г.Н. Динамика газовых пузырьков в колеблющейся жидкости. Прикладная механика – 1979. –Т.15
4. მათე მირიანაშვილი. ფიზიკის ზოგადი კურსი I ნაწილი (მექანიკა). გამომცემლობა „ცოდნა“ თბილისი - 1964 წ.

მ.ბეროძე  
ტემპერატურის ფაქტორის გავლენა სითხე-აირის სისტემის  
რეზონანსულ ვიბრაციულ შერევაზე  
რეზიუმე



ექსპერიმენტალურად იყო გამოკვლეული ტემპერატურის ფაქტორის შესწავლა სითხე-აირის სისტემის დინამიკისა და სამუშაო გარემოს ვიბრაციული შერევის პროცესში. ექსპერიმენტების ანალიზმა აჩვენა, რომ გადატვიტვის სიდიდე, რომელიც აუცილებელია ვიბროშერევის დაწყებისათვის, ფიქსირებული სიხშირისას, მცირდება ტემპერატურის ზრდის შემთხვევაში, რაც გასათვალისწინებელია ტექნოლოგიურ პროცესებში.

**M. Berodze**  
**Temperature Factor Impact on Liquid-Gas Resonance**  
**Vibrational Mixing**  
**Summary**

Study of the temperature factor in the vibrational mixing process of liquid - gas system dynamics and working environment has been researched experimentally. Analysis of experiments has shown that the coefficient of restart, which is necessary for starting of vibrational mixing, at fixed frequency, decreases in case of temperature increase, which is considered in the technological processes.

თ.გვალია, მ.მაისაშვილი

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ენერგეტიკის და ტელეკომუნიკაციის  
დეპარტამენტი

## ზოგიერთი სასწავლო - კომპიუტერული ამოცანა AVR მიკროკონტროლერის გამოყენებით

ნაშრომში განხილულია სასწავლო - მეთოდური კომპიუტერული ამოცანების მეთოდოლოგია AVR - მიკროკონტროლერის მუშაობის პრინციპის პრაქტიკული შესწავლისთვის ტექნიკური და საბუნებისმეტყველო სპეციალობის სტუდენტების მიერ. განხილულია შესაბამისი ამოცანა. მოცემულია მისი პროგრამის ტექსტი ასსემბლერის ენაზე. მიღებული შედეგი შემოწმდა კომპიუტერული პროგრამა Proteus-ს საშუალებით. ნაშრომი ილუსტრირებულია 5 ნახაზით. ბოლოში თან ერთვის გამოყენებული ლიტერატურა.

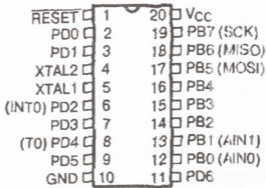
ჩვენს მიერ შედგენილი იქნა სასწავლო კომპიუტერული ამოცანები ასსემბლერის ენაზე, რომელთა საშუალებითაც ხდება კომპანია Atmel-ს მიერ დამუშავებული AVR მიკროკონტროლერის AT90S1200-ს დაპროგრამება და მისი შემოწმება კომპიუტერული პროგრამა Proteus-ს საშუალებით.

განხილული ამოცანის მიზანია დავაპროგრამოთ AVR მიკროკონტროლერის AT90S1200 რათა დაპროგრამების შედეგად მისი გამომყვანებზე შესაძლებელი გახდეს შუქდიოდების (შქდ) მიერთება და ჩართვა.

ნახ.1-ზე მოცემულია მიკროკონტროლერის AT90S1200-ს კორპუსის გამომყვანების სქემა.

იგი შეიცავს შეტანა/გამოტანის ორ B (8 ბიტანი) და D (7 - ბიტანი) პორტს. თავდაპირველად შევადგინოთ პროგრამა, რომელიც საშუალებას იძლევა ავანთოთ B პორტის PBC-ს გამოსასვლელზე შეერთებული შუქდიოდი.

შესაბამისი პროგრამა ასსემბლერის ენაზე მოცემულია ლისტინგი №1-ში. მუშა რეგისტრად გამოვიყენოთ რეგისტრი r16 და ავღნიშნოთ იგი temp-თ. temp = r16



ნახ.1

**Init** სექციაში განისაზღვრება გამომყვანების დანიშნულება. რადგან უნდა ავანთოთ მხოლოდ ერთი შქდ, გამოვიყენებთ ერთ გამომყვანს PBO-ს გამოსასვლელის სახით, რომელზედაც უნდა დავაყენოთ ლოგ.1. რადგან სხვა გამომყვანები სქემაში არ გამოიყენება, ისინიც უნდა განვიხილოთ, როგორც გამოსასვლელები და მათზეც დავაყენებთ ლოგ.1-ს. ამ მიზნით ხელსაყრელია გამოვიყენოთ ბრძანება **ser** (set register), რომელიც **temp** რეგისტრის ყველა ბიტს აყენებს ლოგიკური 1-ს მდგომარეობაში. მეორე და მესამე ბრძანებებით რეგისტრის შემცველობა გადაიგზავნება შეტანა/გამოტანის მონაცემთა გადაგზავნის მიმართულებების **DDRB** და **DDRD** რეგისტრებში.

როგორც ვიცით, მიკროკონტროლერის ჩართვისას გამომავალი რეგისტრებია **PortB** და **PortD**-ს გამოსავალები უნდა იმყოფებოდნენ გამორთულ მდგომარეობაში, ამიტომ მათი ყველა ბიტები უნდა იყოს დაგდებული. ეს ოპერაცია ხორციელდება **clr** (clear register) ბრძანებით, რომელიც **temp** რეგისტრში დააყენებს ლოგიკურ ნულებს, ხოლო შემდეგი ბრძანებებით ეს ნულები გადაეცემა **PortB** და **PortD**-ს გამოსავალებს.

მეორე ბლოკში შქდ-ს ჩასართავად PBO გამომყვანზე უნდა ჩართოს მაღალი ძაბვა, რისთვისაც **PortB** რეგისტრის 0 - ბიტი დაყენდება ლოგიკურ 1-ზე. ამისთვის ეს რიცხვი უნდა ჩაგვეტვირ-

თვა **temp**-ში დ და ამის შემდეგ გადაგვეტანა **PortB** რეგისტრში; მაგრამ ეს უმჯობესია გავაკეთოთ უფრო მარტივად. გამოვიყენებთ რა ბრძანებას **sbi** (set bit immediate)

**sbi ioreg, bit**

ეს ბრძანება ბიტს (**bit**) 0 ნომერით აყენებს შეტანა/გამოტანის **ioreg** რეგისტრში. (set bit in an I/o register).

ჩვენს შემთხვევაში **PortB** რეგისტრის 0 - ბიტი უნდა დავაყენოთ 1-ზე. ამისთვის შევასრულოთ ბრძანება, რომელიც აღნიშული ნიშნულა **Start** :-თ

Start:

**sbi Portb, 0** ;ჩავართოთ შქდ

და

**rgmp Start** ; ვუბრუნდებით ნიშნულა Start-ს

საბოლოოდ პროგრამა მიიღებს სახეს:

....."  
;ავტორი:

;თარიღი:

;ვერსია:

;ფაილის დასახელება: LED3

;AVR მოდელი: 1200

;ტაქტური სიხშირე 4 მგჰც

; შესასრულებელი ფუნქციები: შუქდიოდის ჩართვა.

....."  
.device at90s1200

.nolist

.include "C:\Program Files\Atmel\AVR

Tools\AvrAssembler\Appnotes\1200def.inc"

.list

;გამოცხადებები

```
.def temp = r16
```

```
;პროგრამის დასაწყისი
```

```
rgmp Init
```

```
Init:
```

```
ser temp ; PB0 გამოსავალია. დანარჩენები კი არ  
გამოიყენება. (0b11111111).  
out DDRE,temp ;  
out DDRD,temp ;PD0. . . PD7 არ გამოიყენება.  
(0b11111111).
```

```
clr temp ; B პორტის ყველა გამოსავალი  
გამორთულია (0b00000000).  
out PortB,temp ;  
out PortD,temp ; D პორტის ყველა გამოსავალი  
გამორთულია (0b00000000)
```

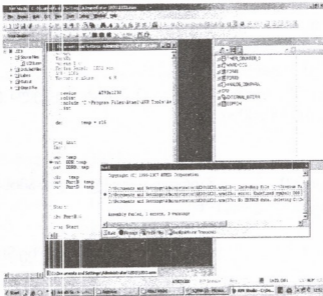
```
Start:
```

```
sbi PortB,0 ; ჩავრთოთ შუქდიოდი, ამისთვის PortB-  
ს 0 ბიტი დავაყენოთ ლოგ.1-ზე  
;(0b00000001)  
rjmp Start ; ვბრუნდებით ნიშნულზე Start
```



ნახ.2

მიღებული პროგრამა ჩაწერილია ორობით სისტემაში. იმისათვის, რომ მიკროკონტროლერმა იგი „წაიკითხოს“ საჭირო მისი ტრანსლირება 16-სისტემაში ანუ მივიღოთ ე.წ. **hex** - ფაილები. ამ პროცესს ასემბლირება ეწოდება.



ნახ.3

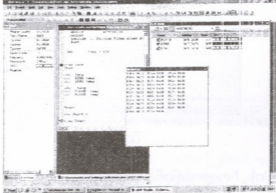
ასემბლერება მოხდა **AVR – Studio 4**- ს საშუალებით. ტრანსლაციის წარმატებით ჩატარება შეიძლება შევამოწმოთ ფანჯარაში (იხ. ნახ.2). თუ ასემბლერმა შეცდომა აღმოაჩინა ისარი დადგება პროგრამის იმ სტრიქონზე, რომელშიც მოხდა შეცდომა. (ნახ.3).



ამავე ფანჯარაში გაჩნდება ინფორმაციები შეცდომების შესახებ და გაფრთხილება (warning), მათი ლოკალიზებისთვის

პროგრამის შემოწმება ხდება სიმულაციის საშუალებით სიმულაციის მეთოდი მთლიანად პროგრამირებული მეთოდია. ამ დროს გამოიყენება სპეციალური პროგრამული უზრუნველყოფა, რომელიც ახდენს მიკროკონტროლერის სიმულირებას და გვაჩვენებს პროგრამის შესრულების დროს მასში მიმდინარე პროცესებს, კერძოდ როგორ იცვლება მისი რეგისტრების მდგომარეობა. ასევე პროგრამისტს შეუძლია თვითონ მოახდინოს შემავალი სიგნალების ცვლილება, მაგალითად გარკვეული რეგისტრის შემცველობის შეცვლით. ამ მეთოდის საშუალებით ადვილად შეიძლება შევამოწმოთ პროგრამის ქმედითუნარიანობა (ან არა ქმედითუნარიანობა).

სიმულაციის პროგრამა შედის AVR – Studio-4-ს გარემოში. შევამოწმოთ ჩვენს მიერ შედგენილი პროგრამა LED3 ამ გარემოში. AVR – Studio გადავიყვანოთ დამუშავების რეჟიმში. ამისთვის AVR – Studio-ს ფანჯარაში ჩავრთოთ ღილაკი (ისრის გამოსახულება). გაიხსნება ფანჯარა პროგრამის ტექსტით. პროგრამის პირველი სტრიქონზე (`rjmp Init`) აღინიშნება ყვითელი იპარი.



ნახ.4

გავხსნათ **PortB** ბლოკი, გამოჩნდება სანი რეგისტრი **PortB**, **PortD** და **PinB**.

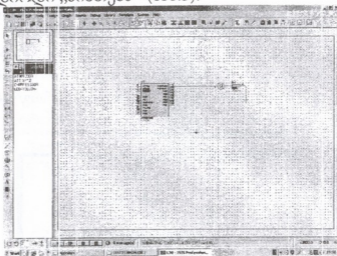
ასევე **View** მენიუში **Register** პუნქტის არჩევით შეიძლება დავინახოთ მუშა რეგისტრების შემცველობაც. ჩვენს შემთხვევაში ჩვენ





გვანტერებს რეგისტრი R16 (**temp**). შემდგომი სტრიქონზე გადასვლის შემდეგ დავინახავთ, რომ **temp** რეგისტრში განიჭება წითლად შეფერილი რიცხვი 0xFF (0b11111111). რომლებიც შემდეგ გადაიწერებიან **DDRB** და **DDR D** რეგისტრებში. ამის შემდეგ რეგისტრი **temp** და მას შემდეგ **PortB**, **PortD** რეგისტრები განულდება. შემდეგ **PortB** რეგისტრის 0-ბიტი დადგება 1-ზე. რასაც გვიჩვენებს **Worcspace** ფანჯრის შესაბამისი კვადრატის შეღებვა. ეს ოპერაცია შემდგომ სტრიქონზე გადასვლისას გამოიწვევს **PortB** რეგისტრის 0 ბიტის ავტომატურად 1-ზე დაყენებას. (იხ. ნახ. 4)

ამის შემდეგ დაწერილი პროგრამის პრაქტიკულად განხორციელებისთვის გამოვიყენებთ კომპიუტერული პროგრამა **Proteus-ს**. ვირტუალურ მიკროკონტროლერ AT90S1200 - ში შევიტანთ ასემბლირებულ პროგრამას და მას მივუერთებთ ასევე ვირტუალურ შუქდიოდს. დიოდი „აინთება“ (ნახ.5).



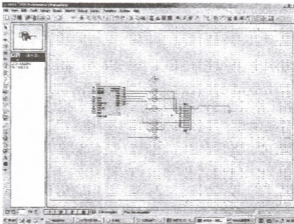
ნახ.5

თუ პროგრამის ბოლოსწინა სტრიქონში ბრძანებას შევცვლით ბრძანებებით

`ser temp ; temp რეგისტრში შევიტანეთ რიცხვი 0b11111111.`

`out PortB,temp ; PortB,-ს ყველა გამოსავალზე დგას ლოგ.1. ამი-`

## შედეგი მოცემულია ნახ. 6-ზე



ნახ. 6

ამოცანების გაცნობის შემდეგ სტუდენტს ეძლევა დავალება დამოუკიდებლად შეადგინოს და შეამოწმოს პროგრამები სხვადასხვა ვარიანტში რამოდენიმე შუქდიოდის ასანთებად. ასევე იგივე ამოცანები შეასრულოს D პორტის გამოყენებით.

### ლიტერატურა

1. Белов А.В. Самоучитель по микропроцессорной технике. СПб.: Наука и Техника, 2003.224 с. (დეპარტამენტის ელექტრონული ბიბლიოთეკა)
- 2 ს. დადუნაშვილი, მ. ცერცვაძე მიკროპროცესორული ტექნიკის საფუძვლები.. <http://www.gtu.ge> ტელეკომუნიკაცია/ენერჯია/კონსპექტი/ (ლექციების კონსპექტი) - თბილისი, სტუ. 2005. (დეპარტამენტის ელექტრონული ბიბლიოთეკა).
- 3 Мортон Д. Микроконтролеры AVR. Вводный курс. М., „Додека” 2006, 1001с. (დეპარტამენტის ელექტრონული ბიბლიოთეკა)
4. Ревич Ю. Практическое программирование Микроконтролеров Atmel

თ. გვალია. მ. მაისაშვილი

**ზოგიერთი სასწავლო - კომპიუტერული ამოცანა AVR  
მიკროკონტროლერის გამოყენებით**

ნაშრომში განხილულია კომპიუტერული ამოცანები, რომლებიც საშუალებას იძლევა შევისწავლოთ AVR მიკროკონტროლერის გამოყენების ფუნქციები და მათი გამოყენება პრაქტიკაში. ამ მიზნით მოცემულია მიკროკონტროლერ AT90S1200-ს შეტანა/გამოტანის ორი B (8 ბიტანი) და D (7 - ბიტანი) პორტების მუშაობის პროგრამა, პროგრამა შედგენილია ასემბლერის ენაზე. განხორციელდა პროგრამის ასემბლირება და ნაბიჯ - ნაბიჯ შემოწმება AVR - Studio-4-ს გარემოში. შემოწმდა მიკროკონტროლერი AT90S1200-ს პრაქტიკული მუშაობა კომპიუტერული პროგრამა Proteus-ში, ვირტუალური მიკროკონტროლერის AT90S1200-ს და შექდიოდებით შედგენილი ელექტრული წრედის საშუალებით. ამ სქემით ხდება ვირტუალურ მიკროკონტროლერ AT90S1200-ზე მიერთებული ვირტუალური შექდიოდების ჩართვა. შექდიოდების ჩართვამ აჩვენა, რომ პროგრამა სწორად იყო შედგენილი. შედეგები ილუსტრირებულია შესაბამისი ნახაზებით.

**T. Gvalia, M. Maisashvili**

**Some Teaching Computer Problems with using of AVR Microcontroller  
Summary**

The paper dwells on computer problems, which enable us to study the functions of AVR microcontroller outputs as well as their use in practice. For this purpose, there are considered the operating software for two B (8-byte) and D (7-byte) ports, which is written in an assembly language. There have been carried out the program assembling and step-by-step verification in AVR-Studio environment, and by means of the electric circuit composed of virtual light-emitting diodes, the practical operation of microcontroller AT90S1200 in Proteus software has been verified. Under this scheme, the virtual light-emitting diodes connected to virtual microcontroller AT90S1200 are switched on. Switching on the light-emitting diodes has shown that software is written correctly. The results are illustrated by appropriate drawings.

**ნ. ქავთარაძე, ი. კალანდაძე**  
აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
**ფიზიკის სწავლების მეთოდის უახლესი  
საკითხები**

მე-20 საუკუნის დასაწყისიდან მოყოლებული მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარება არნახული ტემპით მიმდინარეობს, რისთვისაც ცივილიზაციას საუკუნეები დასჭირდა. შესაბამისად დადგა დრო ჩვენი საზოგადოება შეუდგეს კლასიკურად, კვალიფიკაციურ დონეზე სპეციალისტთა მომზადების პროცესის საკითხების დამუშავებას, რათა ტექნიკური დარგები დაკომპლექტდეს შესაფერისი კადრებით.

განათლების მუშაკთა უპირველესი ამოცანა და მოვალეობაა საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა და მათ შორის ფიზიკის მეცნიერების სწავლება თანამედროვე მოთხოვნების შესაფერისად წარმართონ.

ფიზიკას, როგორ ფუნდამენტური მეცნიერების განვითარებას რევოლუციური ხასიათი მიეცა განსაკუთრებით ბოლო ათწლეულებში. იგი ტექნიკის მრავალი დარგის წარმოშობისა და განვითარებას აპირობებს. მნელია დავასახელოთ თანამედროვე მაღალგანვითარებული ტექნიკის რაიმე დარგი, რომელსაც საფუძვლად ფიზიკის ესა თუ ის იეორიული მონაპოვარი არ ედოს. ამჟამად შესამჩნევია, რომ სწავლება ჩარმოჩება მეცნიერებას. მეცნიერება წინ მიდის, მისი განვითარება კი მხოლოდ ძლიერ მეცნიერთა ვიწრო წრის საქმე გახდა.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე ფიზიკის შესწავლა მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს საწარმოო პროცესებში პრაქტიკოსი მუშაკის შეგნებულ, ორიენტირებულ და ნაყოფიერ მოქმედებას. დღევანდელიობიდან გამომდინარე სულ უფრო მზარდი ხდება მოთხოვნა ტექნიკური დარგის სპეციალისტებზე, რაც გარკვეულ მოთხოვნებს უყენებს საბუნებისმეტყველო საგნების სწავლებას როგორც სკოლაში ასევე უმაღლეს სასწავლებლებში. ამ მხრივ კი ფიზიკის საგნის შესწავლა-დაუფლებას ერთ-ერთი უმთავრესი მნიშვნელობა ენიჭება.

ცნობილია, რომ ფიზიკის როლი მეტად მნიშვნელოვანია ყოველმხრივ განვითარებული ადამიანის აღზრდაში, რადგან ფიზიკის საფუძველნი შესწავლა ხელს უწყობს მოზარდებში სწორი აზროვნების, ჩვევების ჩამოყალიბებას და მათს პროდუქტიულ გონებრივ და ფიზიკურ შრომას.

ამდენად, ფიზიკის სასკოლო კურსის მაღალ მეცნიერულ-მეთოდურ დონეზე დაყენება დიდი სოციალური და საგანმანათლებლო ამოცანაა. ჩვენი საზოგადოების მიერ ტექ. დარგის სპეციალისტთა კლასიკურად, კვალიფიციურ დონეზე მომზადების პროცესის საკითხების დამუშავებას გულისხმობს არა მხოლოდ მეცნიერების ახალი აღმოჩენების ყოფა-ცხოვრებაში დანერგვას, არამედ განათლების სისტემაში (სკოლებსა და უმაღლეს სასწავლებლებში) შესაბამისი, ადეკვატური განათლების მიღებას. ბუნებრივია, ფიზიკის სწავლების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი საფუძველია არა მხოლოდ მატერიალურ-ტექნიკური ბაზა, არამედ კვალიფიციურ პედაგოგთა ის შემადგენლობა, რომლებიც ფლოენ ამ დარგში დაგროვილი ცოდნის გადაცემის მეთოდებს.

პრაქტიკით დადასტურებულია, როგორი დადებითი შედეგით გამოირჩეოდა უმაღლეს პედაგოგიურ სასწავლებელში ფიზიკის სწავლების მეთოდის საკითხების დაუფლებისა და სტუდენტთა პედაგოგიური არაქტივის ჩატარების საქმე, რომლებიც ამჟამად არცერთ ეტაპზე არ ხორციელდება. ცნობილია, რომ პედაგოგის მიერ გაკვეთილის ჩატარება როგორ დიდ დახელოვნებას და გულისხმიერებას მოითხოვს, რადგან გაკვეთილზე არაერთი სასწავლო-სააღმზრდელო პროცესი ხორციელდება. მტკიცება არ სჭირდება იმ უბრალო ჭეშმარიტებას, რომ «აკადემიაში საჭიროა კაცი, რომელიც ცოდნას ფლობს, მაგრამ უფრო მეტად საჭიროა ის, ვინც ამ ცოდნის გადაცემის უზადლო ოსტატია». ასეთი ოსტატების-პედაგოგების მომზადება კი ხანგძლივი და დიდი შრომით მიიღწევა, რასაც ჩვენი განათლების სისტემას დიდი ძალისხმევა სჭირდება.

ფიზიკის სწავლების მეთოდის მეცნიერება თავისი დანიშნულებიდან გამომდინარე, ფლობს იმ ხერხებსა და მეთოდებს, რომ-



ლებიც ეხება ამ საგნის თითოეული საკითხის შესახებ ცოდნის გადაცემის იმ საშუალებებს, რომელთა დაუფლება აუცილებელია მომავალი ფიზიკის მასწავლებლისთვის. ფიზიკის, როგორც საგნის სირთულიდან გამომდინარე განსაკუთრებული ყურადღება სწორედ ფიზიკის სწავლების მეთოდის საკითხების დამუშავებას უნდა დაეთმოს, ეს თავისთავად ხელს შეუწყობს პედაგოგის მასალის მარტივად ახსნასა და მოსწავლეთა მიერ იოლად შეთვისებას, რაც აუცილებელი პირობაა მოზარდი თაობის აზროვნების განვითარებისა და ცოდნის დაუფლებისთვის.

არანაკლებ მნიშვნელოვანია ამჟამად მოღვაწე ახალგაზრდა ფიზიკის მასწავლებელთა კვალიფიკაციის ამაღლების საკითხი. მხოლოდ პედაგოგთა სერტიფიცირების სისტემა ვერ უზრუნველყოფს ისეთ პედაგოგთა გამოვლენას, რომლებიც კარგად არიან დაუფლებულნი ცოდნის გადაცემის მეთოდებს. აქ საკითხი ეხება პერიოდულად 4-5 წელიწადში ერთხელ პედაგოგთა კვალიფიკაციის ამაღლებისთვის ჩატარებულ ტრენინგებს, სადაც პედაგოგებს შესაძლებლობა ექნებათ თანამედროვე მეცნიერულ-ტექნოლოგიების მიღწევების შინაარსობრივად გაცნობასთან ერთად დაეუფლებიან ცოდნის ყოველი ახალი საკითხის გადაცემის მეთოდებს, ამასთან გაეცნობიან, დაამუშავებენ სხვა პედაგოგთა მოწინავე გამოცდილებას და სხვებსაც გაუზიარებენ ამ გამოცდილებას. სწორედ გამოცდილების გაზიარება და აზრთა გაცვლა-გამოცვლაა წარმატების საფუძველი.

ზოგადად ამა თუ იმ საგნის სწავლების მეთოდის შეიცავს იმ ძვირფას მარცვალს და საშუალებას, რომელსაც მოზარდებში ინტერესის აღძვრა და სიყვარული ჰქვია. საჯარო სკოლებში მოსწავლეთა მომზადების დონეს საბუნებისმეტყველო საგნებში კერძოდ, კი ფიზიკაში განაპირობებს პირველ რიგში ინტერესი საგნისადმი.

ამ მხრივ კი გასაცვალისწინებელია ზოგი რეკომენდაცია, რომელიც აუცილებლად გამოსადეგი იქნება თუნდაც ნებისმიერი დარგი პედაგოგისათვის:

სწავლა და გართობა საპირისპირო, ურთიერთგამომრიცხავი და, ამრიგად, ურთიერთდამატებითი პროცესებია, ერთი რომ წა-

მოიწვევს, მეორე უკან იხევს, ისინი ერთდროულად არ არსებობენ, აღზრდის ერთ-ერთი მთავარი მიზანია მოსწავლეებში ჩანერგვას და განავითაროს სწავლის სურვილი, რათა გართობისა და თამაშის პროცესში არ დათრგუნოს სწავლა. ამ სურვილებიდან განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ცნობისმოყვარეობა და ცოდნის აუცილებლობის შეგნება.

სკოლაში საბუნებისმეტყველო საგნების სწავლება შემოდის მეხუთე კლასიდან და მათი სწავლება საკმაოდ რთულ პროცესს წარმოადგენს. თითოეულ საგანში (ფიზიკა, ქიმია, ბიოლოგია, გეოგრაფია და ა.შ.) ხასიათდება სპეციფიკური ლექსიკონით, რაც იმას ნიშნავს, რომ კონკრეტული საგნის შესასწავლად (მიუხედავად იმისა, რომ იგი მშობლიურ ენაზეა დაწერილი) ბავშვი ჯერ ამ საგნისთვის დაჰახასიათებელ ლექსიკონს უნდა დაეუფლოს და მასში ჩადებული მინაარსი გაიზიაროს. სწორედ აქ სჭირდება პედაგოგს გამოიყენოს ერთ-ერთი ყველაზე ეფექტური მეთოდი – შეჯიბრება, რომლის დროსაც ობიექტურ მონაცემთა შეფასება ხდება წახალისებით ან წარმატების ნიშნით. დახელოვნებული მასწავლებელი დამატებითი მომენტების შეწონასწორების მაზნით გაკვეთილის სათანადო შუალედში წამოჭრის გასართობ საკითხს პარადოქსულ ან სხვა სახალისო თემაზე. გაკვეთილზე მოსწავლის ყურადღება და სწავლების მდგომარეობა დიდად არის დამოკიდებული პროცესის აზრიანობაზე, მასალის აღქმის ხარისხზე. ესმის თუ არა მოსწავლეს სასწავლო ინფორმაცია და გრძნობს თუ არა სიამოვნებას მოცემული საკითხის გაგებასა და მთელი ცოდნის ჰარმონიულობის გამო. უარყოფით შემთხვევაში მოსწავლე პროცესს ეთიშება და ეძლევა თვითგართობას. ამიტომაც უპირველესი როლი ცოდნის დაუფლებისთვის ენიჭება მოზარდებში ანტიერესის აღძვრას, რომლის გარეშე ვერანაირი შედეგი ვერ მიიღწევა. სწავლებაში მაქსიმალურ შედეგს განაპირობებს კლასიკურად შედგენილი სახელმძღვანელო და რა თქმა უნდა კვალიფიციური პედაგოგი.

რეკომენდირებულია შემოღებული იქნეს უნიფიცისებული სწავლებისათვის გათვალისწინებული სასწავლო წიგნი, რომლის შედგენაში მონაწილეობას მიიღებს რამდენიმე სპეციალისტი.



1. ფიზიკოს-ისტორიკოსი, რომელიც კონკრეტულ თემასთან დაკავშირებით შეადგენს მოკლე საინტერესო მასალას, რამაც უნდა მიიქციოს მოსწავლეთა ყურადღება და ხელი შეუწყოს ინტერესის აღძვრას. ამასთან იგი მოსწავლეებში ხსნის საკითხის დაუძლეობის შიშს.

2. ფიზიკოს-თეორეტიკოსი, რომელიც მოცემულ თემასთან დაკავშირებით ადგენს ისეთ თეორიას, რომელიც მოსწავლეებისათვის აქამდე უცნობი და საინტერესოა. მისი ახსნის შემდეგ მოსწავლეს სურვილი უჩნდება აღნიშნულთან დაკავშირებით დამატებითი ინფორმაცია მიიღოს.

3. ფიზიკოს-პრაქტიკოსი, რომლის მოვალეობაა თეორიის შესაბამისი მაგალითების და პრაქტიკული ხასიათის ცდების აღწერა, რადგან ყოველი თეორიის ღირებულება მის პრაქტიკულ განხორციელებაში პოულობს აღიარებას.

4. ფიზიკის მეთოდის სპეციალისტი, რომელიც თემაში შერჩეულ შინაარსობრივ მასალას დააღაგებს ჯერ ერთი, პრინციპით მარტივიდან რთულისკენ და მეორე, გაითვალისწინებს როგორ უმჯობესია – თეორია უსწრებდეს ისტორიულ და პრაქტიკულ მასალას, თუ ჯერ ისტორიული მასალა მივაწოდოთ მოსწავლეებს, შემდეგ კი ელემენტარული ცნებები, თეორია და ბოლოს კანონი ჩამოვაყალიბოთ შედეგის სახით. ფაქტიურად იგი ზედმიწევნით ამუშავებს წარმოდგენილ შინაარსს შესაბამისი მეთოდით, ლოგიკური პრინციპის დაცვით და ამით ზრდის მასალის იოლად გაგებისა და შეთვისების ხარისხს.

5. საგანთა შორის კავშირების დაცვის მიზნით სახელმძღვანელოს შედგენაში მონაწილეობას ღებულობენ ფიზიკის მომჯნავე საგნის სპეციალისტები: მათემატიკოსი, ქიმიკოსი, ბიოლოგი და ა.შ., რომლებიც განსაზღვრავენ როგორი მოცულობით და რა შინაარსით შევიდეს წიგნში ესა თუ ის მასალა, რომელმაც შემდეგში გაშლილი სახით ახსნა-განმარტება უნდა ჰპოვოს მომჯნავე საგნებში.

6. პედაგოგიკის წარმომადგენელი, რომელიც სახელმძღვანელოში შეტანილი მასალის ხარისხს აფასებს: თუ რამდენად შეესა-





საქართველოს ევროპული ცენტრი

ბამება მასალა თავისი შინაარსით და მოცულობით იმ ასაკობრივ ჯგუფს, როქელმაც იგი უნდა შეისწავლოს. მისი მხრიდან ცენტრადღება ეთმობა, თუ რამდენად შესამეცნებელი და ასათვისებელია მასალის შინაარსი.

7. ფილოლოგი, რომელიც გარკვეულ როლს ასრულებს მთლიანად სახელმძღვანელოს შინაარსის სწორი ლექსიკით და ასაკობრივი ჯგუფისათვის მისაღები მარტივი ტერმინოლოგიით შედგენა-ჩამოყალიბებაში. ამით მოსწავლეს საშუალება ეძლევა გაითავისოს საგნისათვის დამახასიათებელი ყოველი ახალი ტერმინი, მისი ახსნა, ადვილად აითვისოს საგნის ლექსიკა და შემდეგ თავისუფლად ჩამოაყალიბოს ნასწავლი მასალა.

8. ფსიქოლოგი, რომლის მონაწილეობა სახელმძღვანელოს შედგენაში აიხსნება იმ უზრალ მოტივითაც, რომ: ყოველი ახალი და უცხო საგნის შესწავლის დაწყებას (მიუხედავდ იმისა, რომ იგი მშობლიურ ენეზეა დაწერილი) თან სდევს მოზარდის მხრიდან ემოციური დამაბულობა, ახლის დამღევა ვერ დამღევის შიში. ამდენად, მასალის შინაარსობრივმა სიადვილემ ხელი უნდა შეუწყოს მოსწავლის ემოციური დამაბულობის მაქსიმალურდ შესუსტებას. სწორედ ფსიქოლოგებისა და პედაგოგების პრეროგატივია მოზარდი თაობის სწორად აღზრდა, სწავლება და შესასწავლი საგნების კლასების მიხედვით, ხოლო შემდეგ მათი შინაარსობრივად გასაგებად უზრუნველყოფა.

9. მედიცინის მუშაკი, რომლის მოვალეობასაც იმ გავლენის შეფასება შეადგენს, რომლის ხარისხმა, შრიფტმა, მოცულობამ და სხვა ფაქტორებმა შეიძლება გამოიწვიოს მავნე ზეგავლენა მოზარდის ჯანმრთელობაზე. ყველასათვის ცნობილია, რომ მოზარდთა ჯანმრთელობის დაცვა თითოეული ადამიანის მოვალეობაა.

სახელმძღვანელოს შინაარსობრივი მხარის და საკითხების თანამიმდევრობით დალაგების საქმე მეტად ფართო მასშტაბიანი სამუშაოს ჩატარებას მოითხოვს.

აქვე გვინდა განვიხილოთ ერთი კონკრეტული მაგალითი. თუ დღემდე არსებული სახელმძღვანელოებში ძალზე მწირი ინფორმაციაა თანამედროვე საკომუნიკაციო სისტემებისა და ტექ-

ნოლოგიების, კოსმოსური თანა-მგზავრებისა და აპარატების, თანამედროვე სატელეფონო კავშირების შესახებ, ვფიქრობთ, ამდღევანდროული და საჭიროა შინაარსობრივად და მეთოდურად დამუშავდეს მასალა სახელმძღვანელოებში შესატანად, ახალი ტექნოლოგიების შესახებ.

ბუნებრივია ერთის მხრივ, იგი უფრო საინტერესოს გახდის ფიზიკას, როგორც საგანს შესწავლის თვალსაზრისით.

მეორეს მხრივ, საჯარო სკოლის კურსდამთავრებულს წარმოდგენა უნდა ჰქონდეს იმაზე, თუ რა დანიშნულება აქვს ფიზიკას, როგორც საგანს საბუნებისმეტყველო მეცნიერების თანამედროვე ტექნოლოგიური პროცესების მიმდინარეობაში, როგორა ამ მხრივ მიღწეული შედეგები.

მესამე, ფაქტია, რომ თითქმის არ არსებობს ისეთი დარგი თვით მედიცინისა და იურისპრუდენციის ჩათვლით არ იყენებდეს და ზოგჯერ მთლიანად არ ეყრდნობოდეს ფიზიკოსთა მიერ შექმნილ ხელსაწყო-დანადგარების მიერ გაკეთებულ გამოკვლევებს თუ მეთოდებს. ამის მაგალითია თუნდაც თანამედროვე კომპიუტერული ტექნოლოგიებისა და ლაზერების აქტიური გამოყენება როგორც მეცნიერულ კვლევებში, ასევე მედიცინასა და სამხედრო საქმეში.

ცალკე განხილვის საგანია პედაგოგთა პერიოდული გამოცემებითა და დამხმარე ლიტერატურით მომარაგების საკითხი. ხოლო რაც შეეხება პედაგოგთა გადამზადებას და მათი კვალიფიკაციის ამაღლებას მიზანშეწონილია ფიზიკის პედაგოგები სისტემატიურად სრულყოფილდნენ არა მხოლოდ ცოდნის, არამედ ცოდნის გადაცემის ხელოვნებითაც, რაშიც მათ უნდა დაეხმაროს სწორად, თანამედროვე დონეზე დამუშავებული ფიზიკის სწავლების მეთოდიკა.

თემა ეხება მეტად დროულად საჭირო ფიზიკის სწავლების მეთოდის საკითხების დამუშავებას, საგნის სათანადო დონეზე სწავლებას სკოლებში, ახალი მოთხოვნების შესაბამისად. პედაგოგთა კვალიფიკაციის ამაღლებას და ფიზიკის სასკოლო სახელმძღვანელოების აგების ძირითად პრინციპებს.

**N. Kavtaradze, I. Kalandadze**  
**The Latest Questions of Physics Teaching Methods**  
**Summary**

The work deals with the too needed processing of the issues of teaching methods of Physics, with teaching of the subject at schools on dully level, in accord to new demands, raising the qualification of teachers and the main principles of compiling the school manuals of physics.



## მძლავრი მიწისძვრების გეოქიმიური წინამორბედების შესახებ

მძლავრი მიწისძვრების წინა პერიოდში მრავალჯერ იქნა დაფიქსირებული სხვადასხვა გეოქიმიური წინამორბედი. ამასთან, გეოქიმიური წინამორბედები არიან როგორც გრძელვადიანი და სანულოვადიანი, ასევე მოკლევადიანი. ასეთ გეოქიმიური გენეზისის ელემენტებს, მიეკუთვნებიან: რადონი, ოზონი, ნახშირორჟანგი, ჰელიუმი და ახვა. ამ სახის წინამორბედების წარმოშობა დაკავშირებულია პლეისტოსენის მუდმივად წარმოშობილი დრეკადი ტალღების გავრცელებასთან. ასე მაგალითად, ექსპერიმენტულად დადგენილი იქნა [1], რომ ულტრაბგერის ზემოქმედების შედეგად ინტენსიურად გამოიყოფა სხვადასხვა სახის აირები, რომლებიც გახსნილია წყალში. გარდა ამისა, ეს აირები გამოიყოფა მთის ქანებიდანაც. ამასთან, ცნობილია, რომ ულტრაბგერა არ ვრცელდება შორს გამოსხივების წყაროდან, ამიტომ ამ გზით არ შეიძლება ახსნილი იქნას შორ მანძილებზე ანომალიების წარმოშობა.

ნაშრომ [2]-ში, ჩვენს მიერ განხილული იქნა ნახშირორჟანგის შემცველობის ანომალური ცვლილებები დუშეთის 1992 წლის 24 ოქტომბრის მძლავრი მიწისძვრის წინ. გარდა ამისა, დაფიქსირებული იქნა ოზონის კონცენტრაციის ცვლილებები აღნიშნულ პერიოდში. ამასთან, ნაშრომში [3] ჩვენ მიერ განხილული იქნა რადონის კონცენტრაციის ცვლილება 1991 წლის რაჭა-სამაჩაბლოს მიწისძვრის წინა პერიოდში.

ნაშრომში განხილულია გეოქიმიური წინამორბედების წარმოშობის ერთი ფიზიკური მოდელი, რითაც შესაძლებელია ახსნილი იქნას ჩვენს მიერ დაფიქსირებული ანომალიები მძლავრი მიწისძვრის წინაპერიოდში.

ნაშრომ [4]-ში ჩვენს მიერ ნაჩვენები იქნა, რომ 1991-1992 წ.წ. (რაჭა-სამაჩაბლოში და დუშეთში) მომხდარი ძლიერი მიწისძვრების დროს შეიმჩნეოდა როგორც გეოქიმიური წინამორბედების

მნიშვნელოვანი ვარიაციები, ასევე დადამიწის ბუნებრივი ელექტრომაგნიტური ველის შემფოთებები. ამავე ნაშრომში ნაგვეს, რომ აღნიშნული სახის ვარიაციები შეიძლება განპირობებული იყოს დრეკადი (აკუსტიკური) ტალღების გავრცელებით დედამიწის ქერქში. ამასთან, გასათვალისწინებელია ულტრაბგერითი ტალღებიც, რომლებიც ყველაზე ეფექტურად გავრცელდებიან პლეისტოცენისმურ მიდამოში. ჩვენ ამ მონაცემებთან ერთად გავითვალისწინეთ სხვა სეისმოაქტიურ ზონებში ჩატარებული მსგავსი გაზომვების (თუნდაც ეს გაზომვები არ ყოფილიყო კომპლექსური) შედეგებიც. კერძოდ, შუა აზიაში (გარმის პოლიგონზე), აშშ-ში (კალიფორნიის შტატში), იაპონიაში და კარპატებში ჩატარებული გაზომვების შედეგები.

სხვადასხვა სეისმოაქტიურ რეგიონებში ჩატარებული კვლევების შედეგად დადგენილი იქნა როდონის კონცენტრაციის მკვეთრი ვარიაციები სხვადასხვა მძლავრი ჰიწისძვრების დროს [4-7]. გარდა ამისა,  $CO_2$ ,  $CH_4$  და სხვა აირების კონცენტრაციის გაზომვამ აჩვენა კარგი კორელაცია როდონთან [2,7]. კერძოდ, ამ აირების კონცენტრაციამ იწყო მომატება 2 დღით ადრე და მიწისძვრამდე რამდენიმე საათით ადრე ( $T \leq 10$  სთ), მათი კონცენტრაცია იყო მაქსიმალური და ფონურ მნიშვნელობას აღემატებოდა 2÷3-ჯერ.

ცნობილია, რომ ქიმიური რეაქციების სიჩქარე იზრდება ტემპერატურის ზრდასთან ერთად შემდეგი ფორმულის თანახმად [8]:

$$V = v^0 e^{-\frac{E}{RT}},$$

სადაც  $v$ -რეაქციის სიჩქარეა,  $T$ -აბსოლიტური ტემპერატურა,  $v^0$  და  $E$ -მუდმივი პარამეტრები. მარტივ რეაქციებში, რომლებსაც გააჩნიათ ერთი სტადია,  $E$ -აღნიშნავს იმინიმალურ ენერგიას (გათვლილს 1 მოლზე), რომელიც უნდა გააჩნდეს რეაგირებად ნაწილაკებს, რათა რეაქცია დაიწყოს. ამასთან დაკავშირებით  $E$ -ს უწოდებენ აქტივაციის ენერგიას. დედამიწის ქერქში მრავალი თერმოლინამიკურად მისაწვდომი რეაქცია არ რეალიზირდება იმის გამო, რომ არ არის საკმარისი აქტივაციის ენერგია.

დედამიწის ქერქში გაზების მიგრაცია ხორციელდება ფილტრაციის და დიფუზიის გზით. ძირითადი მნიშვნელობა აქვს ფილტრაციას, რომლის სიჩქარეც განისაზღვრება ქანების მელნევადობით და იცვლება ასეულ ათასობით. დიდი მნიშვნელობა აქვს ბზარებს, განსაკუთრებით ტექტონიკურ რღვევებს, რომლებიც მკვეთრად ზრდიან ფილტრაციას. გარდა ამისა, დედამიწის ქანებში კონცენტრაციის გრადიენტის ზეგავლენით წარმოიშობა მოლეკულური დიფუზია, რაც იწვევს კონცენტრაციის გადანაწილებას. აღსანიშნავია, რომ დიფუზია შესაძლებელია გარეშე ფაქტორების ზემოქმედების დროსაც, როცა წარმოიშობა ტემპერატურის, წნევის და ელექტრული პოტენციალის გრადიენტი (თერმოდიფუზია, ბაროდიფუზია, ელექტროდიფუზია). ამასთან, დიფუზიის სიჩქარე იზრდება ტემპერატურის მიხედვით.

გეოქიმიური გამოკვლევებით დადგენილია გაზური ანომალიების კონტრასტების დამოკიდებულება რაიონების ტექტონიკურ აქტივობაზე: ახალგაზრდა პლატფორმებზე და გეოსინკლინარულ მიდამოებში დაიშორება გაზური ანომალიების დიდი კონტრასტულობა ძველი პლატფორმის რაიონებთან შედარებით. ბუნებრივია ვივარაუდებთ, რომ სეისმოაქტიურ რაიონებში ნახშირწყალბადების (მეთანის  $CH_4$  დასხვა) მიგრაციისათვის პირობები დედამიწის ზედაპირის ქვედაფენებში კიდევ უფრო ხელსაყრელია.

ნაშრომში [9] ექსპერიმენტულ მასალაზე დაყრდნობით ნაჩვენებია, რომ მთელ რიგ შემთხვევებში ანომალური ზედადგენლობები გამოსახულია სხვადასხვა აირების მაკროკონცენტრაციებით და ალბათ, წარმოადგენს გაზურ ჭავლს, რომელც დაკავშირებულია სეისმურ რღვევებთან. ზოგჯერ შენიშნულია  $CO_2$ -ის (~30%-ით) და წყალბადის (~30%-ით) მნიშვნელოვანი კონცენტრაციები. ჩატარებულმა გამოკვლევებმა აჩვენეს, რომ ჰიპოცენტრულ მიდამოში სხვა დეფორმაციების რელაქსაციამ სუსტი მიწისძვრის დროსაც კი შეიძლება გამოიწვიოს ქანებიდან სითხეების მნიშვნელოვნად გაძლიერებული მიგრაცია მიწის ზედაპირის ქვედა ფენებში [2].

სეისმოაქტიურ ზონებში ბუნებრივი აირების სუბერვტიკა-



ლური ნაკადის სიმკვრივე მომატებულია და არათანაბარია ზედაპირის მიხედვით. იგი რეგულირდება გეოლოგიური სტრუქტურების (ქანების) თანამედროვე აქტივობით და მათი სეისმურობით; ამიტომ ქანების დეფორმაციის გაძლიერებას ყოველთვის თან ახლავს დედაქიწის ატმოსფეროში ბუნებრივი აირების ნაკადის სიმკვრივის მომატება, რომელთა მაქსიმალური მნიშვნელობა მიიღწევა მიწისძვრების კერის ზომების მომზადების დასკვნით სტადიაზე. როგორც შედეგი, ეს უკანასკნელი აისახება ანომალური ეფექტებით, რომელთა სიდიდე და ხანგრძლივობა დაკავშირებულია მოსამზადებელი სეისმური მოვლენის ენერგეტიკულ კლასზე და მანძილზე ეპიცენტრიდან დამხერის წერტილამდე.

არსებულ ფაქტობრივ მასალებზე დაყრდნობით შეგვიძლია ვივარაუდოთ, რომ მანტიაში მიმდინარე ტექტონიკური რღვევების შედეგად (ლითონოსფეროში ჰორიზონტალური გადაადგილებების შედეგად) და ჰიპოცენტრის მიდამოში რღვევის პროცესების დროს წარმოქმნილი აკუსტიკური ტალღის გავლის შედეგად მოხდება გეოქიმიური რეჟიმის ცვლილება არა მარტო მიწისძვრის მომენტში, არამედ მომზადების სტადიაშიც. ნაშრომ [10]-ში გამოთქმული მოსაზრების თანახმად დედაქიწის ქერქის აქტიური დეფორმაცია მოსამზადებელი მიწისძვრის კერის მიდამოში განაპირობებს ორთქლური და პლასტური წნევის ცვლილებას მიწისპირა ფენაში (ატმოსფეროს ჩათვლით), რაც გამოიწვევს ჭაბურღილებში წყლის დონისა და თვისებების ცვლილებას. ამასთან, მისი დიდი ნაწილი სწორედ ასეთ პირობებში დაიზიანება. ჩვენს მიერ ნაშრომ [3;4]-ში და აქ მოყვანილი გეოქიმიური პარამეტრების მნიშვნელოვანი ვარიაციები, ალბათ, გამოწვეულია აკუსტიკური ტალღების დედაქიწის ქერქში გავლით და მთელი რიგი გეოდინამიკური პროცესებით.

გარდა ამისა, სხვადასხვა სეისმოაქტიურ მიდამოებში ჩატარებული ექსპერიმენტების დროს ყოფილა შემთხვევა, როდესაც გეოქიმიური წინამორბედების ვარიაციები არ ყოფილა არსებითი. პირველ რიგში ეს დაკავშირებულია ეპიცენტრიდან მანძილზე, მეორეც, არსებითი მნიშვნელობა აქვს მიწისძვრის მომზადების კე-

რის ქიმიურ შემადგენლობას; მესამე, გასათვალისწინებელია ფი-  
ლაქნების როგორი სახის გადაადგილებას ჰქონდა ადგილი.

ალბათ, სწორედ ამით არის განპირობებული ის, რომ ზოგჯერ არ რეგისტრირდება აქ განხილული გეოქიმიური წინამორბედები-  
დან რომელიმეს მკვეთრი მომატება. საერთოდ, აუცილებელია აქ განხილული საკითაგების კომპლექსური შესწავლა მოცემული რე-  
გიონისათვის. არსებული ფაქტობრივი მასალა მიუთითებს იმის შესახებ, რომ აუცილებელია ყველა სეისმოაქტიური რეგიონისათ-  
ვის მოხდეს გამოყოფა ყველაზე მგრძობიარე გეოქიმიური წინა-  
მორბედის. ჩვენ შემთხვევაში არსებითია: როდონის, ოზონისა და ნახშირორჟანგის ვარიაციების კომპლექსური შესწავლა მზის აქ-  
ტივობისა და გეოელექტრომაგნიტური ველის ვარიაციების ცვლი-  
ლებასთან ერთად. თუ კი მოხდება მსგავსი კომპლექსური სახის დაკვირვებების გაგრძელება და გარკვეული სტატისტიკური მასა-  
ლის შეგროვება, მაშინ გაადვილდება მოცემული რეგიონისათვის მიწისძვრის საშუალო და მოკლევადიანი პროგნოზის სიზუსტის გაზრდა, რაც ერთობ აუცილებელია არა მარტო მოსახლეობისათ-  
ვის, არამედ ქვეყნისათვისაც.

დღეისათვის არსებული ექსპერიმენტული მასალა საშუალე-  
ბას იძლევა დასავლეთ საქართველოსათვის (ე.ი. კავკასიონის მთა-  
ვარი ქედის სეისმოაქტივობისათვის) დადგინდეს შემდეგი:

1. მძლავრი მიწისძვრების წინ მკვეთრად იმატებს როდონის, ნახშირორჟანგისა და ოზონის შემცველობა, როგორც მიწისქვეშა ფენაში, ასევე მიწისპირა ფენაში.
2. თეწრმულ, მინერალიზებულ წყლებში და მთის წყაროს წყალში როდონის კონცენტრაცია იზრდება საშუალოდ 3-4-ჯერ.
3. მთის გამდინარე წყლებში, ასევე მინერალიზირებულ წყლებში ნახშირორჟანგის მომატება ხდება არსებითი.
4. მიწისპირა ოზონის ვარიაციები არსებითია მოცემული რე-  
გიონისათვის, რაც შეიძლება აიხსნას დამზერის პუნქტის ადგილ-  
მდებარეობით. კერძოდ როცა, დამზერის პუნქტი იმყოფება რამ-  
დენიმე რღვევის ხაზის გადაკვეთის საზღვარზე, რასაც მოცემულ შემთხვევაში აქვს არსებითი მნიშვნელობა.





5. მიღებული ექსპერიმენტული მასალა მიუთითებს იმაზე, რომ არსებითი მნიშვნელობა აქვს არა მარტო ეპიცენტრამდე მანძილს, არამედ მოსალოდნელი მიწისძვრის მაგნიტუდასაც.

ამრიგად, ჩვენს მიერ ჩატარებული კვლევის შედეგები ცხადყოფენ, რომ დასავლეთ საქართველოში არსებული მინერალური და გრუნტის წყაროების შემდგომი შესწავლა სისტემატური ანალიზის საფუძველზე საშუალებას მოგვცემს დავადგინოთ ის საწყისი სეისმოაქტიურობის პერიოდი, როდესაც ადგილი აქვს სტრუქტურულ ცვლილებებს დედამიწის სიღრმეში და მის ზედაპირზე.

მამასადამე, ჩატარებული კვლევები ცხადყოფენ დასავლეთ საქართველოს მიწისქვეშა წყლების ბაზაზე მიღებული შედეგების გარკვეულ უპირატესობას წინა ათწლეულებში მიღებულ სხვადასხვა ჰიდროქიმიურ ლაბორატორიათა მონაცემებისაგან, რაც თავისთავად მეტყველებს უკანასკნელ პერიოდში ჩვენს რეგიონში სეისმოაქტიურობის თავისებურ გამოვლენაზე. ყოველივე ეს მოითხოვს მოცემული რეგიონისათვის ჩატარდეს ჰიდროგეოქიმიურ წინამორბედთა კომპლექსური გაზომვები, რაც საშუალებას მოგვცემს გამოვიყენოთ აქ განხილული აირების ცვლილებები მიწისძვრის საშუალოვადიანი და მოკლევადიანი პროგნოზის მეთოდთა სრულყოფის საერთო სასისტემაში.

ავტორები დიდ მადლობას უხდებიან ჩატარებულ დაკვირვებათა ხელმძღვანელს პროფესორ თ. ადეიშვილს: ზელნაწერის კორექტირებისა და სასარგებლო შენიშვნებისათვის.

### ლიტერატურა

1. Кисин И.Г. – Землетрсения и падземные воды. М. Наука. 1982.
2. Adeishvili T. Khvedelidze L. et al. – Bull. Acad. Sci. Georgia. V. 165. N1. 2002. P. 52-55.
3. ადეიშვილი თ. ხვედელიძე ლ. შაშიაშვილი ზ. - ქსტუს „სამეცნიერო შრომები“. N1(14), გვ. 201-207. ქუთაისი. 2004 წ.
4. ადეიშვილი თ. ხვედელიძე ლ. და სხვა - ქსტუს „სამეცნიერო შრომები“ N16(1), 2005 წ. გვ. 147-150.
5. Султанхсджаев А.Н. Хуссамиддинов С.С. – ДАН СССР. N5. СТ. 1087-



1090, T. 301. 1988.

6. მორდეხაშვილი შ. ეზეიშვილი ლ. - რესპუბლიკური სემინარი, მიწისძვრის გამომწვევი მიზეზები და მისი წინამორბედები. მოხსენებათა თეზისები. 28-30 აპრილი, ქუთაისი, 1993 წ. გვ. 41.
7. Абдулаев А.К. Войтов Г.И. Рудаков А.Н. - ДАН СССР. Т. 300, N6, С. 1337-1340, 1988.
8. Перельман А.И. - Геохимия М. Выс. Школа. 1989, 528С.
9. Зоркин Л.М. Зуба́рев С.Л. и др. - ДАН СССР Е. 235, N2, С.476-478.
10. Сафвский М.А. Монахов Ф.И. Семёнов А.Н. - ДАН СССР, Т.236, N1, С.77-79, 1977.

**ა. ხვედელიძე, ბ. კიკალიშვილი**

**მიწისძვრის წინამორბედების გეოქიმიური წინამორბედების შესახებ რეზიუმე**

ნაშრომში განილულია მიწისძვრის გეოქიმიური წინამორბედების ერთი ფიზიკური მოდელი. მოცემული მოდელის საშუალებით შესაძლებელია მოცემული რეგიონისათვის აიხსნას მძლავრი მიწისძვრის წინა პერიოდში დაფიქსირებული ანომალიები.

**L. Khvedelidze, Kh. Kikalishvili**

**About strong earthquake geochemical precursors**

**Summary**

In the work is discussed one physical model of origin strong earthquake geochemical precursors. With this model is possible to explain fixed anomalies in the different seismological active regions in the preperiod of the strong earthquake.

†გ. ონიანი, გ. თეთვაძე

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ინტეგრალ-დიფერენციალური ოპერატორების გამოყენება  
ბერგმანის სივრცის ანალიზური ფუნქციების პარამეტრულ  
და ინტეგრალურ წარმოდგენებში

აღვნიშნოთ  $C$ -თი კომპლექსურ რიცხვთა სიმრავლე, ხოლო  $B$ -თი და  $T$ -თი შესაბამისად ერთეულოვანი ღია წრე და წრეწირი  $C$ -კომპლექსურ სიბრტყეზე. ვთქვათ  $t_0 = e^{i\theta_0} \in T$  და  $\alpha > 1$  რაიმე ფიქსირებული რიცხვია. სიმრავლეს

$$\Delta(t_0) = \left\{ z \in B : |z - t_0| < \frac{\alpha}{2}(1 - |z|^2) \right\}$$

ეწოდება შტოლცის კუთხე წვეროთი  $t_0$  წერტილში.

ვიტყვით, რომ  $z$  წერტილი კუთხურად მიისწრაფვის  $t_0 \in T$  წერტილისაკენ თუ

$$\lim_{\Delta(t_0) \ni z \rightarrow t_0} |z - t_0| = 0,$$

და ამ ფაქტს ასე აღვნიშნავთ  $z \xrightarrow{\Delta} t_0$ .

განვიხილოთ  $f : B \rightarrow C$  და  $\varphi : T \rightarrow C$  ფუნქციები. ვიტყვით, რომ  $\varphi(t_0)$ -არის  $f$  ფუნქციის კუთხურიზღვარი  $t_0$  წერტილში,

თუ შტოლცის ნებისმიერი  $\Delta(t_0)$  კუთხისათვის

$$\lim_{\Delta(t_0) \ni z \rightarrow t_0} f(z) = \varphi(t_0).$$

აღვნიშნოთ  $L^p(T)$ -ით,  $H(B)$ -თი და  $H^p(B)$ -თი შესაბამისად ლებეგის სივრცე, ანალიზურ ფუნქციათა სივრცე  $B$ -ში და ჰარდი-რისის სივრცე.

თუ  $f \in H^p$  ( $p > 0$ ), მაშინ (იხ. [1], [2], [3])  $T$ -ზე თითქმის

ყველგან არსებობს კუთხური ზღვარი  $f^*(t) = \lim_{z \rightarrow t} f(z)$  და  $f^* \in L^p(T)$ .

ვთქვათ  $f \in L^1[0, l]$  ( $0 < l < +\infty$ ) და  $0 < \alpha < +\infty$ .  $f$ -ფუნქციის  $\alpha$ -რიგის წილადური ინტეგრალი ეწოდება ფუნქციას

$$D^{-\alpha} f(x) = f_{[\alpha]}(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x (x-t)^{\alpha-1} f(t) dt \quad (1)$$

ფუნქციის თეორემის გამოყენებით ადვილად დავრწმუნდებით, რომ  $f_{[\alpha]} \in L^1[0, l]$ .  $D^{-\alpha}$ -ოპერატორს გააჩნია შემდეგი თვისებები:

$$1. D^{-\alpha} \left( \frac{x^\gamma}{\Gamma(1-\lambda)} \right) = \frac{x^{\gamma+\alpha}}{\Gamma(1+\gamma+\alpha)}.$$

$$2. D^{-\alpha_2} (D^{-\alpha_1} f) = D^{-\alpha_1} (D^{-\alpha_2} f) = D^{-(\alpha_1+\alpha_2)} f,$$

3. თუ  $x$  არის  $f$  ფუნქციის ლეზევის წერტილი, მაშინ  $\lim_{\alpha \rightarrow 0} D^{-\alpha} f(x) = f(x)$ .

4. თუ  $\alpha \geq 1$  მაშინ  $D^{-\alpha}$ -უწყვეტია  $L^1[0, l]$  სივრცეში.

ახლა შემოვიღოთ  $\alpha$  ( $0 < \alpha < +\infty$ ) რიგის წილადური წარმოებულის ცნება. ვთქვათ  $0 < \alpha < +\infty$  რაიმე რიცხვია და  $p \geq 1$  რიცხვი განსაზღვრულია პირობით  $p-1 < \alpha \leq p$ . ვთქვათ  $f \in L^1[0, l]$  ფუნქციას

$$\frac{d^{p-1}}{dx^{p-1}} [D^{-(p-\alpha)} f(x)]$$

$[0, l]$ -ზე, თითქმის ყველგან აქვს წარმოებულო (არ არის აუციელებელი ის იქოს ჯამებადი). მაშინ ფუნქციას

$$D^\alpha f(x) = f^{[\alpha]}(x) = \frac{d^p}{dx^p} [D^{-(p-\alpha)} f(x)]. \quad (2)$$

ეწოდება  $f$  ფუნქციის  $\alpha$  რიგის წილადური წარმოებულო. თუ

$\alpha = p \geq 1$  მთელი რიცხვია, მაშინ

$$f^{[a]}(x) = \frac{d^\alpha}{dx^\alpha} f(x).$$

ადვილად დავრწმუნდებით, რომ ამ ოპერატორს აქვს შემდეგი თვისებები:

$$1. D^\alpha \left( \frac{x^\gamma}{\Gamma(1+\gamma)} \right) = \frac{x^{\gamma-\alpha}}{\Gamma(1+\gamma-\alpha)}$$

$$2. D^\alpha D^{-\alpha} f(x) = f(x)$$

$$3. D^\alpha D^{-\beta} f(x) = D^{\alpha-\beta} f(x)$$

$$4. D^{-\alpha} D^\alpha f(x) = f(x).$$

ვთქვათ  $f \in H(B)$  და  $f(z) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n z^n$ , მაშინ ადვილად

დავრწმუნდებით რომ სამართლიანია ტოლობები:

$$f_{[a]}(z) = D^{-\alpha} f(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Gamma(1+n)}{\Gamma(1+n+\alpha)} a_n z^n,$$

$$f^{[a]}(z) = D^\alpha f(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Gamma(1+\alpha+n)}{\Gamma(1+n)} a_n z^n,$$

ამ ფუნქციებს შესაბამისად ეწოდებათ ჰარდი-ლიტვუდის აზრით  $\alpha$ -რიგის წილადური ინტეგრალი და წილადური წარმოებულები, სადაც  $\Gamma$ -ეილერის ფუნქციაა. თუ გავიხსენებთ,

$f_1(z) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n z^n$  და  $f_2(z) = \sum_{n=0}^{\infty} b_n z^n$  ფუნქციების ადამარის

კომპოზიციის განმარტებას, მაშინ დავასკვნით რომ  $f_{[a]}$ -არის

$f(z) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n z^n \in H(B)$  და  $h(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Gamma(1+n)}{\Gamma(1+c+n)} z^n$  ფუნქციების

ადამარის კომპოზიცია, ხოლო  $f^{[a]}$  -ვი არის  $f \in H(B)$

ფუნქციისა და  $g(z) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Gamma(1+\alpha+n)}{\Gamma(1+n)} z^n$  ფუნქციის

კომპოზიცია. სტირლინგის ფორმულის თანახმად

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sqrt[n]{\Gamma(1+n) : \Gamma(1+\alpha+n)} = 1$$

ამიტომ  $h$  და  $g$  ფუნქციები ანალიზური ფუნქციები არიან  $B$ -წრეში. ასე რომ  $f^{[\alpha]}$  და  $f_{[\alpha]}$  ფუნქციები განსაზღვრული არიან კორექტულად.

ადვილად დავრწმუნდებით, რომ თუ  $m \in \mathbb{N}$ , მაშინ

$$D^m f(z) = f^{[m]}(z) = \frac{d}{dz} \left\{ z \frac{d}{dz} \left[ \dots z \frac{d}{dz} (zf(z)) \right] \right\} = \sum_{n=0}^m a_{mn} z^n f^{(n)}(z). \quad (3)$$

ვიტყვი, რომ  $f \in H(B)$  ფუნქცია ეკუთვნის ბერგმანის  $A^p(B)$  ( $p > 0$ ), სივრცეს, თუ

$$\|f\|_p^p = \int_B |f(z)|^p d\sigma < +\infty,$$

სადაც  $d\sigma = dx dy$ -არის ლებეგის ჩვეულებრივი ბრტყელი ზომა  $B$ -ში.

ვთქვათ  $f \in L^1(B)$  და განვიხილოთ ფუნქცია  $F: B \rightarrow \mathbb{C}$ , რომელიც  $\forall z \in B$  განსაზღვრულია ტოლობით:

$$F(z) = \frac{1}{\pi^2} \int_B \frac{f(t) d\sigma}{1-z\bar{t}}. \quad (4)$$

სამართლიანია შემდეგი თეორემები.

თეორემა 1. თუ  $f \in L^1(B)$ , მაშინ (4) ტოლობით მოცემული ფუნქცია ეკუთვნის ჰარდი-რისის  $H^p(B)$  სივრცეს  $\forall p \in (0, 1)$ .

დამტკიცება. ზოგადობის დაურღვევლად, შეგვიძლია ვიგულისხმოთ, რომ  $f(z) \geq 0$ ,  $\forall z \in B$ . გამოვყოთ  $F$  ფუნქციის ნამდვილი ნაწილი, ამისათვის ვისარგებლოთ პოლარული კოორდინატებით  $t = re^{i\theta}$  და  $z = \rho e^{i\varphi}$ , გვაქვს



$$\operatorname{Re} F(z) = \frac{1}{\pi^2} \int_B \frac{\operatorname{Re}(1-z\bar{t})f(t) d\sigma}{|1-z\bar{t}|^2} = \frac{1}{\pi^2} \int_B \frac{(1-r\rho \cos(\varphi-\theta))f(re^{i\theta}) d\sigma}{1+r^2\rho^2-2r\rho \cos(\theta-\varphi)}$$

$$\geq \frac{1}{\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_0^1 \frac{(1-r\rho)f(re^{i\theta})r dr d\theta}{(1-r\rho)^2} \geq \frac{1-\rho}{\pi^2(1-\rho)^2} \int_0^{2\pi} \int_0^1 f(re^{i\theta})r dr d\theta = \frac{1}{\pi^2(1-\rho)} \|f\| \geq 0$$

ამიტომ სმირნოვის თეორემის თანახმად (იხ. [1])  $F \in H^p, \forall p \in (0,1)$ .

თეორემა 2. თუ  $f \in A^1(B)$ , მაშინ

$$F(z) = \int_0^z f(t) dt \in H^p(B), \forall p \in (0,1).$$

დამტკიცება. მართლაც, რადგანაც  $f \in A^1(B)$ , ამიტომ კაზილას(იხ. [4]) თეორემის თანახმად

$$f(z) = \frac{1}{\pi^2} \int_B \frac{f(t) d\sigma}{(1-z\bar{t})^2},$$

საიდანაც მივიღებთ

$$F(z) = \int_0^z f(t) dt = \frac{1}{\pi^2} \int_B \left( \int_0^z \frac{d\tau}{(1-\tau\bar{t})^2} \right) f(t) dt = \frac{1}{\pi^2} \int_B \frac{f(t) dt}{1-z\bar{t}}.$$

ამიტომ თეორემა-1-ის თანახმად  $F \in H^p(B), \forall p \in (0,1)$ .

შედეგი. თუ  $f \in A^1(B)$ , მაშინ  $F(z) = \int_0^z f(t) dt$  ფუნქციას

$T$  წრეწირზე თითქმის ყველგან გააჩნია კუთხური ზღვარი.

ცნობილია, რომ (იხ. [2]) თუ  $f \in A^p(B), (0 < p \leq 1)$  და  $\alpha = 1 + [2p^{-1}]$ , მაშინ  $f_{[\alpha]} \in H^2(B)$  და სამართლიანია ტოლობა:

$$f(z) = \frac{(1 + [2p^{-1}])!^{2\pi}}{2\pi} \int_0^1 \frac{f_{[\alpha]}(e^{-u}) dt}{(1 - ze^{-u})^{2 + [2p^{-1}]}}$$

სადაც  $f_{[\alpha]}(e^{-u}) = \lim_{z \rightarrow e^{-u}} f_{[\alpha]}(z)$  - არის  $f_{[\alpha]}$  ფუნქციის სასაზღვრო

ფუნქცია, ამასთანავე  $f_{[a]}(e^{\prime\prime}) \in L^2(T)$ .



თეორემა 2-დან გამომდინარეობს, რომ  $F(z) = \int_0^1 f(t) dt$

ფუნქციისათვის სამართლიანია რისის პარამეტრული წარმოდგენა (იხ. [1], [3])

$$F(z) = z^m b(z) S(z) \sigma(z) e^{i\lambda} \quad (5)$$

სადაც  $b(z)$  - არის  $F(z)$ -ის ბლიაშკის ნამრავლი,  $S(z)$  - კი  $F(z)$ -ის მაქსიმალური ფუნქცია, ხოლო  $\sigma(z)$ -სინგულარული ფუნქციაა.  $\lambda$ -კი ნებისმიერი ნამდვილი რიცხვი. (5) ტოლობიდან იმის გათვალისწინებით, რომ  $f(z) = F'(z)$ , მივიღებთ

$$f(z) = \frac{d}{dz} [z^m b(z) S(z) \sigma(z) e^{i\lambda}], \quad (6)$$

ეს არის  $f \in A^1(B)$  ფუნქციის წარმოდგენა დამოუკიდებელი პარამეტრებით სადაც:

1.  $m$  - არაუარყოფითი რიცხვია;

2.  $b(z) = \prod_{n=1}^{\infty} \frac{|\alpha_n|}{\alpha_n} \cdot \frac{\alpha_n - z}{1 - \alpha_n z}$  არის ბლიაშკის ნამრავლი აგებული  $F(z)$  ფუნქციის  $\alpha_n$  ნულების მეშვეობით, რომლებიც აკმაყოფილებენ პირობას  $\sum_{n=0}^{\infty} (1 - |\alpha_n|) < +\infty$ ;

3.  $S(z) = \exp \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \ln |F(e^{i\theta})| \frac{e^{i\theta} + z}{e^{i\theta} - z} d\theta$ ;

4.  $\sigma(z) = \exp \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{e^{i\theta} + z}{e^{i\theta} - z} d\psi(\theta)$  - სადაც  $\psi : [0, 2\pi] \rightarrow C$

სინგულარული ფუნქციაა ( $\psi$  - არაზრდადია და  $\psi'(\theta) = 0$  თითქმის ყველგან  $[0, 2\pi]$ -ზე).

5.  $\lambda$  - ნამდვილი რიცხვია.

თუ  $0 < p < 1$ , მაშინ, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ  $f \in A^p(B)$



ფუნქციის  $\alpha = 1 + [2p^{-1}]$  რიგის წილადური ინტეგრალი  
 კუთვნის  $H^2(B)$ , ასეთი  $f_{[\alpha]}$  - ფუნქციისათვის აგრეთვე  
 სამართლიანია რისის წარმოდგენა

$$D^{-\alpha} f(z) = f_{[\alpha]}(z) = z^m b(z) S(z) \sigma(z) e^{i\lambda},$$

საიდანაც  $f(z) = D^\alpha D^{-\alpha} f(z)$  ტოლობის განოყენებით მივიღებთ  
 $f \in A^p(B)$  ფუნქციის პარამეტრულ წარმოდგენას:

$$f(z) = D^\alpha [z^m b(z) S(z) \sigma(z) e^{i\lambda}],$$

სადაც  $\alpha = 1 + [2p^{-1}]$ ,  $m \in Z$ ,  $b(z) = \prod_{n=1}^{\infty} \frac{|\alpha_n| \alpha_n - z}{\alpha_n (1 - \alpha_n z)}$  - არის  $f_{[\alpha]}$ -  
 ფუნქციის ნულების მეშვეობით აგებული ზღაპრის ნამრავლი,

$$S(z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \ln |f_{[\alpha]}(e^{i\theta})| \frac{e^{i\theta} + z}{e^{i\theta} - z} d\theta,$$

$$\sigma(z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{e^{i\theta} + z}{e^{i\theta} - z} d\psi(\theta),$$

სადაც  $\psi$  -სინგულარული ფუნქციაა,  $\lambda$  -ნამდვილი რიცხვია.

$\alpha$  პარამეტრის ნებისმიერი ( $\alpha \geq 0$ ) მნიშვნელობისათვის  
 განვიხილოთ  $B$  წრეში შემდეგი ფუნქციები:

$$1. C_\alpha(z, t) = \frac{\Gamma(1+\alpha)}{(1-z\bar{t})^{1+\alpha}}, \quad t \in T, z \in B,$$

$$2. H_\alpha(z, t) = 2C_\alpha(z, t) - C(0, t) = \Gamma(1+\alpha) \left[ \frac{2}{(1-z\bar{t})^{1+\alpha}} - 1 \right],$$

$$3. P_\alpha(z, t) = \operatorname{Re} H_\alpha(z, t) = \Gamma(1+\alpha) \left[ \operatorname{Re} \frac{2}{(1-z\bar{t})^{1+\alpha}} - 1 \right].$$

თუ  $\alpha = 0$ , მაშინ ფუნქციები:

$$C(z, t) = C_0(z, t) = \frac{1}{1 - ze^{-i\theta}}, \quad t = e^{i\theta}$$

$$H(z, t) = H_0(z, t) = \frac{2}{1 - z\bar{t}} - 1 = \frac{1 + z\bar{t}}{1 - z\bar{t}} = \frac{1 + ze^{-i\theta}}{1 - ze^{-i\theta}},$$

$$P(z, t) = P_0(z, t) = \frac{1 - |z|^2}{|1 - ze^{-i\theta}|^2} = \frac{1 - r^2}{1 + r^2 - 2r \cos(\theta - \varphi)},$$

სადაც  $z = re^{i\varphi}$ , შესაბამისად წარმოადგენენ: კოშის, შვარცის და პუასონის გულებს ერთეულოვანი წრისათვის.  $C(z, t)$ ,  $H(z, t)$  და  $P(z, t)$  ფუნქციების მწკრივად წარმოადგენებია

$$C(z, t) = \sum_{n=0}^{\infty} z^n e^{-in\theta},$$

$$H(z, t) = 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} z^n e^{-in\theta},$$

$$P(z, t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} r^{|n|} e^{in(\theta - \varphi)},$$

ამ ტოლობებიდან  $\alpha$  რიგის წილადური წარმოებულის განმარტების თანახმად გვაქვს:

$$C_\alpha(z, t) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Gamma(n+1+\alpha)}{\Gamma(n+1)} z^n e^{-in\theta}, \quad (6)$$

$$H_\alpha(z, t) = 2 \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Gamma(n+1+\alpha)}{\Gamma(n+1)} z^n e^{-in\theta} + \Gamma(1+\alpha), \quad (7)$$

$$P_\alpha(z, t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\Gamma(|n|+1+\alpha)}{\Gamma(1+|n|)} z^n e^{in(\theta - \varphi)}. \quad (8)$$

ეს მწკრივები აბსოლუტურად და თანაბრად კრებადი არიან  $B$  წრის ყოველ კომპაქტურ ქვესიმრავლეზე. ისინი შესაბამისად წარმოადგენენ: კოშის, შვარცის და პუასონის გულების  $\alpha$ -რიგის წილადურ წარმოებულებს.

სამართლიანია შემდეგი თეორემები:

თეორემა 2: თუ  $f \in A^p(B)$ ,  $0 < p \leq 1$  და  $\alpha = 1 + [2p]$ , მაშინ

შინ ადგილი აქვს ფორმულას

$$f(z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} C_\alpha(z, t) f_{[\alpha]}(e^{i\theta}) d\theta. \quad (9)$$

ეს თეორემა დამტკიცებულია ჩვენს მ იერ (იხ. [2]), აქ  $f_{[\alpha]}(e^{i\theta})$  აღნიშნავს  $f(z)$  ფუნქციის კუთხურ ზღვარს  $e^{i\theta}$  წერტილში, ეს ზღვარი არსებობს და  $f_{[\alpha]}(e^{i\theta}) \in L^2(I)$ .

თეორემა 3. თუ  $f \in A^p(B)$ ,  $0 < p \leq 1$  და  $\alpha = 1 + [2p^{-1}]$ , მაშინ  $\forall z \in B$

$$f(z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} H_\alpha(z, e^{i\theta}) u_\alpha(e^{i\theta}) d\theta + i \operatorname{Im} f(0), \quad (10)$$

სადაც  $u_\alpha = \operatorname{Re} f_{[\alpha]}$ .

დამტკიცება. თუ (9) ფორმულაში დავუწვებთ  $z = 0$ , მივიღებთ:

$$f(0) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f_{[\alpha]}(e^{i\theta}) d\theta \quad (11)$$

საიდანაც

$$\overline{f(0)} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \overline{f_{[\alpha]}(e^{i\theta})} d\theta. \quad (12)$$

თუ ვისარგებლებთ (9)-(12) ფორმულებით გვექნება:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} H_\alpha(z, e^{i\theta}) u_\alpha(e^{i\theta}) d\theta &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [2C_\alpha(z, e^{i\theta}) - 1] \frac{f_{[\alpha]}(e^{i\theta}) + \overline{f_{[\alpha]}(e^{i\theta})}}{2} d\theta = \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} C_\alpha(z, e^{i\theta}) f_{[\alpha]}(e^{i\theta}) d\theta + \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} C_\alpha(z, e^{i\theta}) \overline{f_{[\alpha]}(e^{i\theta})} d\theta - \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u_\alpha(e^{i\theta}) d\theta = \\ &= f(z) + \overline{f(0)} - \operatorname{Re} f(0) = f(z) + \operatorname{Re} f(0) - i \operatorname{Im} f(0) - \operatorname{Re} f(0) = f(z) - i \operatorname{Im} f(0), \end{aligned}$$

საიდანაც  $f(z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} H_\alpha(z, e^{i\theta}) u_\alpha(e^{i\theta}) d\theta + i \operatorname{Im} f(0)$ .

გებლეთ შემდეგი ადვილად დასამტკიცებელი ტოლობით:

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} C_\alpha(z, e^{i\theta}) \overline{f_{[\alpha]}(e^{i\theta})} d\theta = \overline{f(0)}.$$

თეორემა 4. თუ  $f \in A^p(B)$ ,  $0 < p \leq 1$  და  $\alpha = 1 + [2p^{-1}]$ , მაშინ  $\forall z \in B$  სამართლიანია ტოლობა

$$f(z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} P_\alpha(z, e^{i\theta}) f_{[\alpha]}(e^{i\theta}) d\theta.$$

დამტკიცება. ვისარგებლოთ ტოლობით  $D^\alpha D^{-\alpha} f(z) = f(z)$  და  $f_{[\alpha]} \in H$  დამოკიდებულებით, სადაც  $\alpha = 1 + [2p^{-1}]$ ,  $f_{[\alpha]}$  ფუნქცია ფიხტენგოლცის თეორემის (იხ. [ ]) თანახმად წარმოიდგინება პუასონის ინტეგრალით

$$f_{[\alpha]}(z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} P(z, e^{i\theta}) f_{[\alpha]}(e^{i\theta}) d\theta,$$

საიდანაც (8) ფორმულის თანახმად მივიღებთ

$$f(z) = D^\alpha D^{-\alpha} f(z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} P^{[\alpha]}(z, e^{i\theta}) f_{[\alpha]}(e^{i\theta}) d\theta = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} P_\alpha(z, e^{i\theta}) f_{[\alpha]}(e^{i\theta}) d\theta.$$

აქ ჩვენ ვისარგებლეთ ტოლობით:  $P^{[\alpha]}(z, e^{i\theta}) = P_\alpha(z, e^{i\theta})$ .

#### ლიტერატურა

1. Привалов И.И., Граничные свойства аналитических функций, М-Л, 1950.
2. ონიანია გ.ა., ანალიზურ ფუნქციათა ზანახის ზოგიერთი სივრცის შესახებ ერთეულოვან წრეში და პოლიწრეში. ქუთაისი, 1999.
3. Duren P.L., Theori of  $H^p$  spaces, New Yurk and London, Acad. Press, 1970.
4. Кабайла В., интерполяциянные последовательности для классов  $H^p$  в случае  $p < 1$ . Лит. Мат. Сб. 1963, 3, №1, 141-147.

†გ. ონიანი, გ. თეთვაძე

ინტეგრო-დიფერენციალური ოპერატორების გამოყენება ბერგმანის  
სივრცის ანალიზური ფუნქციების პარამეტრულ და ინტეგრალურ  
წარმოდგენებში  
რეზიუმე

ნაშრომში ინტეგრო-დიფერენციალური ოპერატორების მეშვეობით  
შესწავლილია ბერგმანის სივრცის ანალიზური ფუნქციების  
ერთეულოვან წრეში პარამეტრული და ინტეგრალური წარმოდგენები,  
როცა  $0 < p \leq 1$ .

†G. Oniani, G. Tetvadze

Using integro-differential operators of Bergman Space of the  
Parameteries and integral representations

Summary

Using integro-differential operators is studied parametric and integral  
representations of Bergman space analytic functions in the unit ball, of uben  
 $0 < p \leq 1$ .

# On the problem of statics of the theory of elastic mixture on finding optimal holes in an elastic square

*Abstract.* In the present work we consider one inverse problem of statics in the linear theory of elastic mixture for a square which is weakened by four unknown equal holes.

Unknown boundaries of the holes are found under the condition that tangential normal stress takes on them one and the same constant value.

$1^{\circ}$  The homogeneous equation of statics of the theory of elastic mixture in the complex form is written as [1]

$$\frac{\partial^2 U}{\partial z \partial \bar{z}} + K \frac{\partial^2 \bar{U}}{\partial \bar{z}^2} = 0, \quad U = \begin{pmatrix} u_1 + iu_2 \\ u_3 + iu_4 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

where  $u_p$ ,  $p = \overline{1,4}$ , are components of the displacement vector,

$$z = x_1 + ix_2, \quad \frac{\partial}{\partial z} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial}{\partial x_1} - i \frac{\partial}{\partial x_2} \right), \quad K = -\frac{1}{2} em^{-1},$$

$$e = \begin{bmatrix} e_4 & e_5 \\ e_5 & e_6 \end{bmatrix}, \quad m^{-1} = \begin{bmatrix} m_1 & m_2 \\ m_2 & m_3 \end{bmatrix}^{-1},$$

$$m_k = e_k + \frac{1}{2} e_{3+k}, \quad k = 1, 2, 3,$$

the  $e_q$ ,  $q = \overline{1,6}$  are expressed in terms of the elastic mixture [1].

In [1] M. Bashaileishvili obtained the representations:

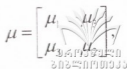
$$2\mu U = 2\mu(u_1 + iu_2, u_3 + iu_4)^T = A\varphi(z) + Bz\overline{\varphi'(z)} + 2\mu\overline{\psi(z)}, \quad (2)$$

$$TU = \begin{pmatrix} (TU)_2 - i(TU)_1 \\ (TU)_4 - i(TU)_3 \end{pmatrix} = \frac{\partial}{\partial S(x)} \left[ (A - 2E)\varphi(z) + Bz\overline{\varphi'(z)} + 2\mu\overline{\psi(z)} \right], \quad (3)$$

where  $\varphi = (\varphi_1, \varphi_2)^T$  and  $\psi = (\psi_1, \psi_2)^T$  are arbitrary analytic vector-

functions,  $\frac{\partial}{\partial S(x)} = n_1 \frac{\partial}{\partial x_2} - n_2 \frac{\partial}{\partial x_1}$ ,  $n = (n_1, n_2)^T$  is an arbitrary unit

vector of the outer normal,  $A = 2\mu m$ ,  $B = \mu e$ .



$$E = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$(TU)_p$ ,  $p = \overline{1,4}$ , are the stress components,

$$(TU)_1 = r_{11}^{\cdot} n_1 + r_{21}^{\cdot} n_2 = (a\theta' + c_0\theta'') n_1 - (a_1\omega' + c\omega'') n_2 - 2 \frac{\partial}{\partial S(x)} \begin{pmatrix} \mu_1 \\ \mu_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_2 \\ u_4 \end{pmatrix},$$

$$(TU)_2 = r_{12}^{\cdot} n_1 + r_{22}^{\cdot} n_2 = (a\theta' + c_0\theta'') n_2 + (a_1\omega' + c\omega'') n_1 + 2 \frac{\partial}{\partial S(x)} \begin{pmatrix} \mu_1 \\ \mu_5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_3 \end{pmatrix},$$

$$(TU)_3 = r_{11}^{\cdot} n_1 + r_{21}^{\cdot} n_2 = (c_0\theta' + b\theta'') n_1 - (c\omega' + a_2\omega'') n_2 - 2 \frac{\partial}{\partial S(x)} \begin{pmatrix} \mu_3 \\ \mu_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_2 \\ u_4 \end{pmatrix},$$

$$(TU)_4 = r_{12}^{\cdot} n_1 + r_{22}^{\cdot} n_2 = (c_0\theta' + b\theta'') n_2 + (c\omega' + a_2\omega'') n_1 + 2 \frac{\partial}{\partial S(x)} \begin{pmatrix} \mu_3 \\ \mu_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_3 \end{pmatrix};$$

$$\theta' = \text{div} u', \quad \theta'' = \text{div} u'', \quad \omega' = \text{rot} u', \quad \omega'' = \text{rot} u''.$$

Here  $\mu_1, \mu_2, \mu_3, a_1, a_2, c$ ,  $a = a_1 + b_1$ ,  $b = a_2 + b_2$ ,

$c_0 = c + d$ ,  $b_1, b_2$  and  $d$  are elastic constants [1].

Let us now consider the vectors

$$\tau^{(1)} = (r_{11}^{\cdot}, r_{11}^{\cdot})^T, \quad \tau^{(2)} = (r_{22}^{\cdot}, r_{22}^{\cdot})^T, \quad \tau = \tau^{(1)} + \tau^{(2)},$$

$$\eta^{(1)} = (\tau_{21}^{\cdot}, \tau_{21}^{\cdot})^T, \quad \eta^{(2)} = (\tau_{12}^{\cdot}, \tau_{12}^{\cdot})^T, \quad \eta = \eta^{(1)} + \eta^{(2)}, \quad \varepsilon^* = \eta^{(1)} - \eta^{(2)},$$

$$\sigma_n = \begin{pmatrix} (TU)_1 n_1 + (TU)_2 n_2 \\ (TU)_3 n_1 + (TU)_4 n_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1) \\ (2) \end{pmatrix} \tau \cos^2 \alpha + \tau \sin^2 \alpha + \eta \sin \alpha \cos \alpha, \quad (4)$$

$$\sigma_s = \begin{pmatrix} (TU)_2 n_1 - (TU)_1 n_2 \\ (TU)_4 n_1 - (TU)_3 n_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (2) \\ (1) \end{pmatrix} \tau \sin \alpha \cos \alpha + \frac{1}{2} \eta \cos 2\alpha - \frac{1}{2} \varepsilon^* \quad (5)$$

$$\sigma_t = \begin{pmatrix} [r_{21}' n_1 - r_{11}' n_2, r_{22}' n_1 - r_{12}' n_2] S \\ [r_{21}'' n_1 - r_{11}'' n_2, r_{22}'' n_1 - r_{12}'' n_2] S \end{pmatrix} =$$

$$\stackrel{(1)}{=} \tau \sin^2 \alpha + \stackrel{(2)}{\tau} \cos^2 \alpha - \eta \sin \alpha \cos \alpha$$

Here  $n = (n_1, n_2)^T = (\cos \alpha, \sin \alpha)^T$ ,  $S = (-n_2, n_1)^T = (-\sin \alpha, \cos \alpha)^T$  and  $\alpha(t)$  is angle between the outer normal to the contour  $L$  of the point  $t$  and  $ox_1$  axis.

Let us call the vector (6) tangential normal stress vector in the linear theory of elastic mixture.

Elementary calculations result in [4]

$$\sigma_n + \sigma_t \stackrel{(1)}{=} \tau + \stackrel{(2)}{\tau} = 2(2E - A - B) \operatorname{Re} \varphi'(t), \quad t \in L, \quad (7)$$

$$\sigma_n + 2\mu \left( \frac{\partial U_S}{\partial S} + \frac{U_n}{\rho_0} \right) + i \left[ \sigma_S - 2\mu \left( \frac{\partial U_n}{\partial S} - \frac{U_S}{\rho_0} \right) \right] = 2\varphi'(t), \quad (8)$$

where  $\frac{1}{\rho_0}$  is the curvature of the curve  $L$  at the point  $t$ ,

$$U_n = (u_1 n_1 + u_2 n_2, u_3 n_1 + u_4 n_2)^T, \quad U_S = (u_2 n_1 - u_1 n_2, u_4 n_1 - u_3 n_2).$$

Also when  $\sigma_n$  and  $\sigma_S$ , (see (4), (5)), are constant we can write

$$(A - 2E)\varphi(t) + Bt\overline{\varphi'(t)} + 2\mu\overline{\psi(t)} = -(\sigma_n + i\sigma_S)t + q, \quad q = \text{const}. \quad (9)$$



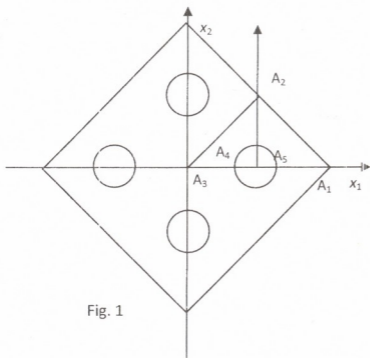


Fig. 1

Formulas (2), (3), (7) and (8) are analogous to the Kolosov-Muskhelishvili's formulas for the linear theory of elastic mixtures.

2°. In the work in the case of the linear theory of elastic mixtures we study the problem analogous to that solved in [2]. For the solution of the problem the use will be made of the generalized Kolosov-

Muskhelishvili's formula and the method developed in [2] and [4].

Let an isotropic elastic mixture occupy on the plane  $z = x_1 + ix_2$  a multiply connected domain  $G$ , which is square with vertices lying on the coordinate axes weakened by four unknown equal holes. The holes are intersected by the square diagonals and are symmetric both with respect to these diagonals and to the straight lines connecting middle points of the opposite square sides.

Assume that the vector  $\sigma_y$  is equal to zero on the entire boundary  $G$ , the vector  $U_n = 0$  on the sides of square, and an unknown part of the body  $\sigma_n = P$ . Suppose also that the body surface are absolutely smooth and hence the friction forces will be neglected.

The problem is formulated as follows: Find unknown holes and the stressed state of the body for the condition that the normal tangential stress on the hole boundaries takes constant value, i.e.  $\sigma_t = K^0$ ,



$$K^0 = (K_1^0, K_2^0)^T = const.$$

Since the problem is axisymmetric, we consider the shaded part of the square, i.e. the curvilinear pentagon  $A_1A_2A_3A_4A_5$  (Fig 1).

Introduce the notation:

$$A_k A_{k+1} = \Gamma_k \quad (k = 1, 2, 3), \quad \Gamma_4 = A_5 A_1, \quad \Gamma = \bigcup_{k=1}^4 \Gamma_k, \quad \text{the arc } A_4 A_5 \text{ we}$$

denote by  $\Gamma_5$  and the domain occupied by the curvilinear pentagon by  $D$ . The length of the square diagonal we denote by  $d^0$ .

Using the formulas (2), (7), (8) and (9) our problem is reduced to finding two analytic vector-functions  $\varphi(z)$  and  $\psi(z)$  in  $D$  by the boundary conditions:

$$\operatorname{Re} \varphi'(t) = H^0 = \frac{1}{2}(2E - A - B)^{-1}(P + K^0), \quad (10)$$

$$t \in \Gamma_5, \quad I_m \varphi'(t) = 0, \quad t \in \Gamma$$

$$(A - 2E)\varphi(t) + Bt\overline{\varphi'(t)} + 2\mu\overline{\psi(t)} = -pt + q, \quad t \in \Gamma_5, \quad (11)$$

$$\operatorname{Re} e^{-i\alpha(t)}(A\varphi(t) + Bt\overline{\varphi'(t)} + 2\mu\overline{\psi(t)}) = 2\mu U_n = 0, \quad t \in \Gamma. \quad (12)$$

The boundary conditions (10) are the vector form of the Keldysh-Sedov problem for the domain  $D$  [3]. A solution of the problem is  $\varphi'(z) = H^0$ . Hence we get

$$\varphi(z) = H^0 z + q_0, \quad q_0 = const, \quad z \in D. \quad (13)$$

Using (13) the boundary conditions (11)-(12) takes the form

$$\frac{1}{2}(P - K^0)t + 2\mu\overline{\psi(t)} = a_0 = (2E - A)q_0 + q, \quad t \in \Gamma_5, \quad (14)$$

$$\operatorname{Re} e^{-i\alpha(t)}(Ht + 2\mu\overline{\psi(t)}) = -\operatorname{Re}(Ae^{-i\alpha(t)}q_0), \quad t \in \Gamma, \quad H = (A + B)H^0, \quad (15)$$

Owing to  $\operatorname{Re}(te^{-i\alpha_k}) = \operatorname{Re}(e^{-i\alpha_k} A_k)$ ,  $t \in \Gamma_k$ ,  $k = \overline{1,4}$ ,

$\alpha_2 = \frac{3}{4}\pi$ ,  $\alpha_3 = \alpha_4 = \frac{3}{2}\pi$ , from (15) we find

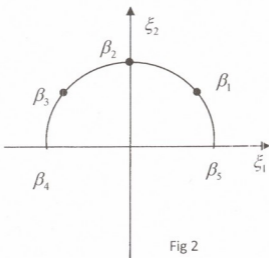


Fig 2

$$\operatorname{Re}(e^{-i\alpha_k} \overline{\psi(t)}) = h^0 \operatorname{Re}(e^{-i\alpha_k} A_k) - m \operatorname{Re}(e^{-i\alpha_k} q_0), \quad (16)$$

$$t \in \Gamma_k, \quad k = \overline{1,4}, \quad h^0 = \frac{1}{2} \mu^{-1} H$$

Thus our problem is reduced to the boundary value problem (15), (16).

By virtue of the formula  $z = \omega(\zeta)$ ,  $\zeta = \xi_1 + i\xi_2$ , we map conformally the domain  $D$  onto the semi-circle  $|\zeta| < 1$ ,  $\operatorname{Im} \zeta > 0$ . By  $\beta_k$ ,  $k = \overline{1,5}$ , we denote preimages the points  $A_k$  and assume that  $\beta_2 = i$ ,  $\beta_4 = -1$ ,  $\beta_5 = 1$  i.e. the arc  $A_4 A_5$  transforms into the diameter  $\zeta \in (-1; 1)$ . We map two points  $A_1$  and  $A_3$  onto the unknown points  $\beta_1$

and  $\beta_3$  (Fig 2).

As a result on the mapping the boundary conditions (15) and (16) take the form

$$h\omega(\sigma) + \psi_0(\sigma) = b_0 = \frac{1}{2}\mu^{-1}a_0, \sigma \in (-1; 1), \psi_0(\zeta) = \psi(\omega(\zeta)),$$

$$h = \frac{1}{4}\mu^{-1}(P - K^0), \quad (17)$$

$$\operatorname{Re}(e^{-i\alpha_k} \omega(\sigma)) = h^0 \operatorname{Re}(e^{-i\alpha_k} A_k) - m \operatorname{Re}(e^{-i\alpha_k} q_0), \sigma \in \gamma, \quad (18)$$

where  $\gamma$  is the mapping of  $\Gamma$ , i.e., is the semi-circle,

$$\operatorname{Re}(e^{-i\alpha_k} \omega(\sigma)) = \operatorname{Re}(e^{-i\alpha_k} A_k), \sigma \in \gamma, \quad (19)$$

Consider the vector-function

$$W(\zeta) = \begin{cases} h\omega(\zeta) - b_0, & |\zeta| < 1, \quad \operatorname{Im} \zeta > 0, \\ -\overline{\psi_0(\overline{\zeta})}, & |\zeta| < 1, \quad \operatorname{Im} \zeta < 0. \end{cases} \quad (20)$$

On the basis of (17)-(19) we conclude that the vector-function  $W(\zeta)$  is holomorphic in the circle and satisfies the boundary conditions:

$$\operatorname{Re}(e^{-i\alpha(\sigma)} W(\sigma)) = f(\sigma) = h \operatorname{Re}(e^{-i\alpha(\sigma)} A(\sigma)) - \operatorname{Re}(e^{-i\alpha(\sigma)} b_0), \sigma \in \gamma, \quad (21)$$

$$\operatorname{Re}(e^{-i\alpha(\sigma)} W(\sigma)) = f_0(\sigma) = -h^0 \operatorname{Re}(e^{-i\alpha(\sigma)} A(\sigma)) - m \operatorname{Re}(e^{-i\alpha(\sigma)} q_0), \sigma \in \gamma_0,$$

where  $\gamma_0$  is the mirror image of  $\gamma$  with respect to the diameter  $(-1, 1)$ .

The boundary conditions (21) are the vector form of the Riemann-Hilbert problem for a circle. A solution of the problem can be represented in the form [3] and [2]

$$W(\zeta) = \frac{\aleph(\zeta)}{2\pi i} \int_{\gamma \cup \gamma_0} \frac{\zeta + \sigma}{\sigma - \zeta} \frac{F(\sigma) e^{i\alpha(\sigma)}}{\sigma \aleph(\sigma)} d\sigma, \quad (22)$$

where (see (21))

$$F(\sigma) = \begin{cases} f(\sigma), & \text{for } \sigma \in \gamma, \\ f_0(\sigma), & \text{for } \sigma \in \gamma_0, \end{cases} \quad (23)$$

$$\aleph(\zeta) = \exp \left( \frac{1}{4\pi i} \int_{\gamma \cup \gamma_0} \frac{\zeta + \sigma}{\sigma - \zeta} \frac{2i\alpha(\sigma)}{\sigma} d\sigma \right), \quad |\zeta| < 1. \quad (24)$$

In our case

$$\begin{aligned} \alpha(\sigma) &= \frac{\pi}{4}, \quad f(\sigma) = \frac{\sqrt{2}}{2} h d_0 - \operatorname{Re} \left( b_0 e^{\frac{\pi i}{4}} \right), \quad \sigma \in \beta_1, \beta_2, \\ \alpha(\sigma) &= \frac{3}{4} \pi, \quad f(\sigma) = \frac{\sqrt{2}}{2} h d_0 + \operatorname{Im} \left( b_0 e^{\frac{\pi i}{4}} \right), \quad \sigma \in \beta_2, \beta_3, \\ \alpha(\sigma) &= \frac{3}{2} \pi, \quad f(\sigma) = -\operatorname{Im} b_0, \quad \sigma \in \beta_3, \beta_4 \cup \beta_5, \beta_1, \\ \alpha(\sigma) &= \frac{3}{2} \pi, \quad f_0(\sigma) = m \operatorname{Im} q_0, \quad \sigma \in \bar{\beta}_4, \bar{\beta}_3 \cup \bar{\beta}_1, \bar{\beta}_5, \\ \alpha(\sigma) &= \frac{3}{4} \pi, \quad f_0(\sigma) = -\frac{\sqrt{2}}{2} h^0 d_0 - m \operatorname{Im} \left( q_0 e^{\frac{\pi i}{4}} \right), \quad \sigma \in \bar{\beta}_3, \bar{\beta}_2, \\ \alpha(\sigma) &= \frac{\pi}{4}, \quad f_0(\sigma) = -\frac{\sqrt{2}}{2} h^0 d_0 + m \operatorname{Re} \left( q_0 e^{\frac{\pi i}{4}} \right), \quad \sigma \in \bar{\beta}_2, \bar{\beta}_1, \end{aligned} \quad (25)$$

where  $2d_0$  is the diagonal of the square.

Taking in formula (24) into account the values  $\alpha(\sigma)$  appearing in formulas (25), after calculations we obtain

$$\aleph(\zeta) = \frac{\aleph_1(\zeta)}{\sqrt{\aleph_1(0)}},$$

$$\aleph_1(\zeta) = \sqrt[4]{\frac{\zeta - \beta_2}{\zeta - \beta_1} \left( \frac{\zeta - \beta_3}{\zeta - \beta_2} \right)^3 \left( \frac{\zeta - \bar{\beta}_3}{\zeta - \beta_3} \right)^2 \left( \frac{\zeta - \bar{\beta}_2}{\zeta - \beta_3} \right)^3 \frac{\zeta - \bar{\beta}_1}{\zeta - \beta_2} \left( \frac{\zeta - \bar{\beta}_1}{\zeta - \beta_1} \right)^2}. \quad (26)$$

From (22) - (26) it follows the solution of our problem i.e.  $W(\zeta)$  vector-function to be bounded at the points  $\beta_2, \bar{\beta}_1, \bar{\beta}_3$  it is necessary and sufficient that

$$\int_{\gamma \cup \gamma_0} \frac{\beta_2 + \sigma}{\sigma - \beta_2} \frac{f(\sigma)}{\sigma \aleph(\sigma)} d\sigma = 0, \quad \int_{\gamma \cup \gamma_0} \frac{\bar{\beta}_j + \sigma}{\sigma - \bar{\beta}_j} \frac{f(\sigma) d\sigma}{\sigma \aleph(\sigma)} = 0, \quad j = 1, 3.$$

Having known the vector-function  $W(\zeta)$ , we can define the  $\psi_0(\zeta)$  and

$\omega(\zeta)$  by formula (22) and hence the stressed state of the body and the boundaries of unknown holes.

### References

1. Basheleishvili M. and Svanadze K., A New method of solving the basic plane boundary value problem of statics of the elastic mixture theory. Georgian Math. j. 8 (2001), N3, 427-446.
2. Gogolauri L. The problem of finding optimal holes in an elastic square. Proc. A. Razmadze Math. Inst. 150 (2009), 85-90.
3. Muskhelishvili N. Singular Integral Equations. (Russian) Nauka, Moscow, 1966
4. Svanadze K. On one problem of statics of the theory of elastic mixtures for a square which is weakened by a hole and by cuttings at vertices. Seminar of I. Vekua Institute of Applied Mathematics Reports vol. 38, 2012, 42-51.

### კ. სვანაძე

დრეკად ნარევთა ბრტყელი თეორიის სტატიკის ამოცანა დრეკად  
კვადრატში ოპტიმალური ხვრელების მოძებნის შესახებ  
რეზიუმე

ნაშრომში განიხილულია დრეკად ნარევთა წრფივი თეორიის სტატიკის ერთი შეზღუდული ამოცანა ოთხი უცნობი ტოლი ხვრელით შესუსტებული კვადრატისათვის.

შესწავლილია ფირფიტის დამაბული მდგომარეობა და მოძებნილია ხვრელების უცნობი საზღვარი იმ პირობით, რომ მასზე ტანგენციალური ნორმალური ძაბვა დეზულობდეს ერთი და იგივე მუდმივ მნიშვნელობას.

## მათემატიკური განათლება დაწყებით საფეხურზე საქართველოს სკოლებში

მათემატიკური განათლების დაწყებით საფეხურზე საქართველოს სკოლებში მეცნიერების განვითარებას თუმცა მოგვიანებით, მაგრამ მაინც შეაქვეს ცვლილებები სასკოლო პროგრამებში. რეფორმამდე მოქმედი სასკოლო პროგრამა წარმოადგენდა XIX საუკუნის დასასრულისა და XX საუკუნის დასაწყისის პედაგოგიური აზრის პროდუქტს.

მეცნიერების შემდგომმა სწრაფმა წინსვლამ გამოიწვია ის, რომ სასკოლო მათემატიკა დაშორდა მათემატიკას, როგორც მეცნიერებას, ამან კი განაპირობა ახალი პროგრამების შედგენა საშუალო სკოლებში. ცვლილებები ზედა კლასებიდან დაიწყო, მაგრამ ამან გამოიწვია ის, რომ უფსკრულმა რომელსაც ადგილი ჰქონდა უფროსი კლასების მათემატიკასა და უმაღლეს მათემატიკას შორის გადმოინაცვლა საწყის საფეხურზე. ყოველ კარგ წამოწყებას კარგი საძირკველი ძირიდან ესაჭიროება, ამიტომ პროგრამის შემდგენლებმა ცვლილებები დაიწყეს დაწყებითი საფეხურიდან. მათემატიკაში ექსპერიმენტები მიმდინარეობდა ნოვოსიბირსკში, მოსკოვში, პეტროგრადში, თბილისში, ქუთაისში და სხვ. ქუთაისში ექსპერიმენტალური სკოლები იყო VII, IX, და XVIII.

განათლების სისტემაში მიღწევები განპირობებულია მეცნიერების, მეთოდისტიკის, ფსიქოლოგიების და მასწავლებლების მრავალმილიონიანი არმიის ხანგრძლივი შემოქმედებითი მუშაობის შედეგად.

1921 წელს სახალხო განათლების მიერ დამტკიცებული იქნა შრომითი სკოლის პროგრამები. ამ პროგრამების მიხედვით მათემატიკა დაყოფილ იქნა ტრადიციულ დისციპლინებად - არითმეტიკა, ალგებრა, გეომეტრია, ტრიგონომეტრია. პროგრამები არ იყო თავისუფალი ნაკლოვანებებისგან: იყო მეტად გადატვირთული, შეიცავდა მრავალ კონტექსტებს, ნაკლებად იყო შეფასებული თეო-

რიის როლი, ამიტომ პროგრამებზე მუშაობა კვლავ გაგრძელდა.

დაიწყო ენერჯიული შემოქმედებითი ძიება სკოლებში სწავლე-ბის ისეთი ახალი შანაარსისათვის, რომელიც უფრო სრულყოფილად შეესაბამებოდა ახალი სკოლების აგების იმ პრინციპებს, რომლებიც განსაზღვრული იყო 1918 წლის დეკლარაციაში. ამ დეკლარაციის ყურადღების ცენტრში იყო ადამიანის შრომითი საქმიანობა და მას უნდა დაქვემდებარებოდა როგორც სწავლების შინაარსი, ისევე სწავლების მეთოდები, ამასთან დაკავშირებით განისაზღვრა შრომით სკოლაში სწავლების სამი ძირითადი საწყისი:

- დაკვირვების პრინციპი და ბუნების კანონების გამოყვანა;
- ადამიანთა შრომის პრინციპები;
- ადამიანთა საზოგადოების განვითარების პრინციპები,

შრომის რაციონალური ორგანიზაცია.

მიღებულ იქნა რა საფუძვლად ეს პრინციპები უახლოეს ხანში შემუშავებული იქნა პროგრამები არა ცალკეულ სასწავლო დისციპლინებში, არამედ კომპლექსურად, რომლებიც ერთიანობაში ქმნიდნენ სწავლებას ე. წ. კომპლექსურ სისტემას. ამ სისტემაში გამოიყოფოდა სამი ფაქტორი: ბუნება, შრომა, საზოგადოება. აქედან გამომდინარე შედგენილი იყო სასწავლო მასალა. თითოეული კომპლექსი შეიცავდა ცნობებს ბუნებაზე, შრომით საქმიანობაზე და საზოგადოებრივი ცხოვრების მოვლენებზე.

მათემატიკა (ისე, როგორც სხვა სასწავლო დისციპლინა) კომპლექსურ სისტემაში როგორც დამოუკიდებელი დისციპლინა არ იწავლებოდა, მისი ძირითადი ამოცანა იყო ევარჯიშა მოსწავლეები თვლაში და მათ მიერ შესწავლილი საგნების გაზომვაში, მოეხდინა გაზომვის შედეგად მიღებულ რიცხვებზე მოქმედებათა შესრულება.

სწავლების ამ სისტემას ჰქონდა თავისი დადებითი მხარეები: მიმართული იყო სწავლების ცხოვრებასთან დაკავშირებისაკენ, აჩვენებდა მოსწავლეებს საზოგადოებრივ სასარგებლო შრომას, ხელს უწყობდა მათ საზოგადოებრივ პოლიტიკურ აღზდას, მაგრამ ამ მეთოდით სკოლებში 10 წლის სწავლების პრაქტიკამ აჩვენა, რომ მას აქვს არსებითი ნაკლოვანებები, რომელთაგან ძირითადი



მდგომარეობს იმაში, რომ ამ სისტემით სწავლება არ აძლევდა მოსწავლეებს მათემატიკაში საკმარისად ღრმა და სისტემატიურ ცოდნას.



შემდეგში სახალხო განათლების სისტემამ გაითვალისწინა-რაც ეს მდგომარეობა 1931წელს გამოიტანა დადგენილება "დაწყებითი და საშუალო სკოლის შესახებ", რომლითაც უნდა შეემუშავებინათ ისეთი ახალი პროგრამები ცალკეულ სასწავლო დისციპლინებში, რომლებიც უზრუნველყოფდა მოსწავლეები დაუფლებოდნენ ზუსტად განსაზღვრულ სისტემატურ ცოდნას. ამ დადგენილებას მოყვა მთელი რიგი დადგენილებები სტაბილური სახელმძღვანელოების დღის რეჟიმის, გაკვეთილების სტრუქტურის, მასწავლებელთა მომზადებითა და სხვა. ამის შესაბამისად შედგენილ იქნა მათემატიკის პროგრამები. ეს პროგრამები შეიცავდნენ მათემატიკური მასალის ზუსტად განსაზღვრულ მოცულობას. მასში დაწვრილებით იყო მითითებული და გამოანგარიშებული ძირითადი შემთხვევები, ზუსტად იყო მოცემული მარტივი, შედგენილი, ტიპური ამოცანები, რომელთა ამოხსნას უნდა დაუფლებოდნენ მოსწავლეები ცალკეულ კლასებში. აღნიშნული იყო თუ რა ცოდნა უნდა მიეღოთ მოსწავლეებს წილადებზე და გეომეტრიულ მასალაზე.

ამ პროგრამის დამახასიათებელი თვისება ის იყო რომ სასწავლო მასალა მასში ცხადად იყო დალაგებული, ითვალისწინებდა მოსწავლეთა ასაკობრივ თავისებურებებს და აპის მიხედვით ხდებოდა სიძნელეთა ზრდა. პროგრამის ასეთი სისტემა უზრუნველყოფდა მოსწავლეთა მიერ მასალის სისტემატიზირებულ შესწავლას. დაწყებით საფეხურზე არითმეტიკის პროგრამა მოქმედებდა თითქმის მთელი 40 წლის განმავლობაში. მხოლოდ დროდადრო მასში შედიოდა უმნიშვნელო ხასიათის ცვლილებებში. რამდენადმე შემცირდა პროგრამის მოცულობა იმასთან დაკავშირებით, რომ შემცირდა სკოლის I კლასში მისაღები მოსწავლეების ასაკი.

პროგრამებთან შესაბამისობაში შეიქმნა სტაბილური სახელმძღვანელოები, მათ ძირითად შინაარს შეადგენდა გამოანგარიშებათა ჩვეულების დაუფლება ამოცანების ამოხსნისათვის. თეორი-

ულ მასალას (განსახედვრებებისა და წესების სახით) მათშივე  
მეტისმეტად მკირე ადგილი, მხოლოდ 1960 წელს, IV კლასის  
პროგრამაში, იქნა შეტანილი თეორიის ზოგიერთი საკითხი.

პროგრამების სტაბილურობამ ხელი შეუწყო არითმეტიკის მე-  
თოდის განვითარებას. დაწყებით საფეხურზე ცვლილებები მიმ-  
დინარეობდა თითქმის მთელი 50 წლის განმავლობაში.

მიუხედავად იმისა, რომ ამ პროგრამებით მუშაობისას არითმე-  
ტიკის სწავლებაში მიღწეული იქნა წარმატებები, ეს წარმატებები  
არ აკმაყოფილებდა არც მასწავლებელს, არც სახალხო განათლების  
ორგანოებს და არც მათემატიკურ, საზოგადოებას. შემდგომში ტექ-  
ნიკისა და მეცნიერების მძლავრმა განვითარებამ სკოლას წაუყენა  
უფრო მაღალი მოთხოვნები. საჭირო შეიქმნა სწავლება წარმართუ-  
ლიყო მეცნიერების თანამედროვე დონის შესაბამისად. გაიზარდა  
მოთხოვნები სწავლების თეორიული საფუძვლებისადმი, ამასთან  
დაკავშირებით ფართოდ გაიშალა ექსპერიმენტალური-კვლევითი  
მუშაობა, რომლებშიც მონაწილეობდნენ არამარტო მეთოდისტები,  
არამედ მათემატიკოსები, ფსიქოლოგები, პედაგოგები. ამ გამოკ-  
ვლევის შედეგად შემუშავებული იქნა დაწყებითი საფეხურისათ-  
ვის მათემატიკის ახალი პროგრამა, რომელიც მოწმდებოდა წლე-  
ბის განმავლობაში. დასაბუთდა ახალი პროგრამის უპირატესობა:  
ის, რომ ახლი პროგრამით მუშაობა ბავშვებისათვის უფრო საინ-  
ტერესო და სასარგებლოა, იგი ხელს უწყობს მოსწავლეთა სწრაფ  
განვითარებას და მათემატიკური მომზადების დონის ამაღლებას.  
პრობლემემატიკური იყო საკითხი იმის თაობაზე რომ საშუალო სკო-  
ლაში შექმნილიყო ერთიანი მათემატიკის კურსი. დაწყებით საფე-  
ხურზე განათლებია სისტემაში ძირფესვიანი ცვლილება მოხდა  
სამოცდაათიან წლებში, რაც დიდ მიღწევად შეიძლება ჩაითვა-  
ლოს. როგორია ეს პროგრამა, რით განსხვავდებოდა იგი ტრადი-  
ციულისაგან.

მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის ცვლილებები, რომლებიც  
განიცადა დაწყებითი საფეხურის მათემატიკის პროგრამამ. ადრე  
დაწყებით საფეხურზე მხოლოდ არითმეტიკა ისწავლებოდა.  
პროგრამა სრულებით არ გავს იმ უმნიშვნელო ცვლილებას, რომ-

ლებიც შეჰქონდათ მასში დრო და დრო. ადრე პროგრამები იცვლებოდა, მაგრამ იცვლებოდა დეტალებში, ძირფესვიანი ცვლილებები დაწყებითი საფეხურის პროგრამამ ამ ეტაპზე განიცადა. შეიცვალა საგნის სახელწოდება, ახალი პროგრამით არითმეტიკის ნაცვლად მათემატიკა ისწავლება. პროგრამაში არითმეტიკულ მასალასთან ერთად ალგებრის და გეომეტრიის ელემენტები შევიდა. ასე რომ დაწყებითი საფეხურის მათემატიკა კავშირი გახდა არითმეტიკული, ალგებრული და გეომეტრიული პროპედევტიკული კურსის, მაგრამ ეს დისციპლინები ერთმანეთისაგან იზოლირებულად კი არ ისწავლება, არამედ სწავლების პროცესში ურთიერთს განაპირობებენ: არითმეტიკა მიმართავს ალგებრას და გეომეტრიას, ალგებრა არითმეტიკას და გეომეტრიას და ეს უკანასკნელი წინა ორს. თვით არითმეტიკული მასალის შესწავლაშიც რომელიც პროგრამის ძირითად ნაწილს შეადგენს, არსებითი ცვლილებებია. პროგრამით გაცილებით მეტი ყურადღება დაეთმო თეორიას. ბავშვები ადრიდანვე ეცნობიან ნატურალურ რიცხვათა მიმდევრობის თვისებებს, არითმეტიკულ მოქმედებათა თვისებებს, მათ შორის კავშირს და თეორიის სხვა ისეთ საკითხებს, რომლებიც მათ ეხმარებათ გამოანგარიშებათა ხერხებისა და ამოცანების ამოხსნის სწავლებაში.

ყველაზე მნიშვნელოვანი ცვლილებები დაწყებით საფეხურზე მათემატიკის პროგრამამ რეფორმის პირობებში განიცადა. რეფორმით დაწყებით საფეხურზე შემოდებული იქნა ელემენტარული სკოლა, ელემენტარულ სკოლაში სწავლება 6 წლის განმავლობაში მიმდინარეობს. (I, II, III, IV, V, VI, კლ.). ელემენტარული სკოლის პროგრამა სტანდარტებთანაა შესაბამისობაში. იგი 4 მიმართულებისაგან შედგება,

- I. რიცხვები და მოქმედებები
- II. კანონზომიერება და ალგებრა
- III. გეომეტრია და რიცხვის აღქმა
- IV. მონაცემთა ანალიზი. ალბათობა და სტატისტიკა.

აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ელემენტარულ სკოლაში ხდება არითმეტიკული მასალის სრულყოფილად დაუფლება ალგებრულ



და გეომეტრიულ პროპედევტიკასთან ერთად, რაც შემდგომ საფეხურზე გამოიყენება. სწავლება შედეგზეა ორიენტირებული (ცოდნა პრაქტიკაში უნდა იქნეს გამოყენებული).

### ლიტერატურა

- 1) ქ. ზვიადაძე, თ. გიორგაძე - მათემატიკის სწავლების მეთოდოლოგია დაწესებით სკოლაში. ქუთაისი 2003 წ.
- 2) ჯ. ჯინჯიხაძე -მათემატიკის დაწესებითი კურსის სწავლების მეთოდოლოგია და ტექნოლოგიები. თბილისი 2011 წ.
- 3) I - IV კლ. მათემატიკის პროგრამები და სახელმძღვანელოები.

**ქ. ზვიადაძე, თ. გიორგაძე**  
**მათემატიკური განათლება დაწესებით საფეხურზე**  
**საქართველოს სკოლებში**  
**რეზიუმე**

განათლების საქმეში დაწესებით საფეხურზე საქართველოს სკოლებს განსაკუთრებული მიღწევები აქვს, რაც მეცნიერების, მეთოდისტიკის, ფსიქოლოგიების და მასწავლებელთა ხანგრძლივი შემოქმედებითი მუშაობის შედეგია.

ნაშრომში საუბარია აღნიშნულ მიღწევებზე.

**K. Zviadadze, T. Giorgadze**  
**Teaching Mathematics at Elementary Level in Georgian Schools**  
**Summary**

Georgian schools have special achievements at the elementary educational level due to the long-lasting creative work of scientists, methodologists, psychologists and educators.

The paper deals with the aforementioned achievements.

$\bar{E}_4$  სივრცეში

განვიხილოთ  $V_2$  ზედაპირი გაფართოებულ ევკლიდურ  $\bar{E}_4 = E_4 \cup E_3^*$  სივრცეში, სადაც  $E_3^*$  არის ელიფსური  $S_3$  სივრცის სტრუქტურის მქონე არასაკუთრივი ჰიპერსიბრტყე.

მივუერთოდ  $V_2$  ზედაპირს მოძრავი ნახევრადორთოგონალური რეპერი

$$R = \{A, A_i, A_\alpha\}$$

( $i, j, k, l, t = 1, 2; \alpha, \beta = 3, 4$ ),  $A \in V_2$ ,  $A_i \in T_2(A)$  ( $T_2(A)$ -მხე-  
ბი 2-სიბრტყეა  $V_2$  ზედაპირისადმი  $A$  წერტილში)-  
,  $A_\alpha \in N_2(A)$  ( $N_2(A)$  არის მხეები  $T_2(A)$  სიბრტყის ორთოგონალუ-  
რი დამატება),  $(AA_3) \perp (AA_4)$ ,  $\{A_i, A_\alpha\} \subset E_3^*$ .

ვთქვათ  $R$  რეპერის განმსაზღვრელი  $A, A_i, A_\alpha$  წერტილები გა-  
ჩენილია  $\bar{A}, \bar{A}_i, \bar{A}_\alpha$  ვექტორებით შესაბამისად.

$R$  რეპერის დერივაციულ ფორმულებს ექნებათ სახე:

$$d\bar{A} = \omega^i \bar{A}_i,$$

$$d\bar{A}_i = \omega_j^i \bar{A}_j + \omega_i^\alpha A_\alpha,$$

$$d\bar{A}_\alpha = \omega_\alpha^i \bar{A}_i + \omega_\alpha^\beta \bar{A}_\beta.$$

მაშასადამე,  $V_2$  ზედაპირი  $R$  რეპერში განისაზღვრება

$$\omega^\alpha = 0$$

დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემით, ხოლო  $\omega^i$ -მთავა-  
რი ფორმებია ( $A$  წერტილის  $V_2$  ზედაპირზე გადამაადგილებელი  
მთავარი პარამეტრების დიფერენციალების წრფივი ფორმები). თუ  
მოვახდენთ ამ სისტემის გარე დიფერენცირებას და გამოვიყენებთ

კარტანის ლემას, მივიღებთ

$$\omega_i^\alpha = b_{ij}^\alpha \omega^j \quad (b_{ij}^\alpha = b_{ji}^\alpha).$$

მაშასადამე,  $\omega_i^\alpha$  - მთავარი ფორმებია, ამ უკანასკნელი სისტემის გაგრძელებით ვპოულობთ:

$$db_{ij}^\alpha - b_{kj}^\alpha \omega_i^k - b_{ik}^\alpha \omega_j^k + b_{ij}^\beta \omega_\beta^\alpha = b_{ij}^\alpha \omega^i.$$

$\gamma_{ij} = \bar{e}_i \cdot \bar{e}_j$  ( $\bar{e}_i, \bar{e}_\alpha$  ვექტორები  $(AA_k)$  და  $(AA_\alpha)$  წრფეების მიმართველებია)  $-V_2$  ზედაპირის პირველი ძირითადი ტენზორის კომპონენტებია. ვპოულობთ:

$$d\gamma_{ij} = \gamma_{ik} \omega_j^k + \gamma_{jk} \omega_i^k.$$

$\bar{e}_3 \cdot \bar{e}_4 = 0$  ტოლობის დიფერენცირებით ვღებულობთ

$$\omega_3^4 + \omega_4^3 = 0$$

(როცა  $|\bar{e}_\alpha| = 1$ ). ანალოგიურად  $\bar{e}_i \cdot \bar{e}_\alpha = 0$  ტოლობას მიყვავართ

$$\omega_\alpha^k + \gamma^{ki} \omega_i^\alpha = 0$$

თანაფარდობებამდე, სადაც  $\gamma^{ki}$  არის  $V_2$  ზედაპირის მეტრიკული ტენზორის კონტრავარიანტული კომპონენტები [1].

ჩვენ ვამბობთ, რომ  $V_p$  ზედაპირზე მოცემულია წირთა  $\Sigma_p$  ბადე, თუ მასზე მოცემულია წირთა  $p$  ოჯახი ისე, რომ ყოველ წერტილზე  $A \in V_p$  გადის თითოეული ოჯახიდან მხოლოდ ერთი წირი და  $A$  წერტილში გადის წირებისადმი მხებები გააჩენენ  $V_p$  ზედაპირისადმი ამ წერტილში მხებ  $T_p(A)$  სიბრტყეს.

ვთქვათ  $V_2$  ზედაპირზე ან მის რაიმე არეზე მოცემულია წირთა  $(\omega^1, \omega^2)$  ბადე. ნომრავი რეპერის  $(AA_i)$  წიბოებად ავიღოთ მოცემული ბადის წირებისადმი მხებები  $A$  წერტილში. მაშინ  $\omega_i^j$  ფორმები მთავარია, ე.ი.

$$\omega_i^j = a_{ik}^j \omega^k.$$

ამ სისტემის გაგრძელებით მივიღებთ:

$$da'_{ik} - a'_{ic} \omega_k^c + a'_{ik} \omega_c^j + b'_{ik} \omega_c^a = a'_{ict} \omega^t.$$



საქართველოს  
აкадеმიის  
ნაშრომები

როცა  $A$  წერტილი გადაადგილდება  $V_2$  ზედაპირზე, წერტილებიდან თითოეული  $E_3^*$  არასაკუთრივ ჰიპერსიბრტყეში ზოგად შემოხვევაში, აღწერეს 2-ზედაპირს ( $A_i$ )-ს, რომლებზეც ბუნებრივად აღმოცენდებიან წირთა ( $\omega^1, \omega^2$ ) ბადეები. კერძოდ,  $A_i$  წერტილი ( $A_i$ ) ზედაპირზე აღწერს  $\omega^k$  წირს, როცა  $A$  წერტილი  $V_2$  ზედაპირზე  $\omega^k$  წირის გასწვრივ გადაადგილდება.

$V_p$  ზედაპირზე წირთა  $\Sigma_p$  ბადეს ეწოდება შეუღლებული, თუ მის ყოველ წერტილში ბადის წირებისადმი ნებისმიერი ორ მხებს აქვს შეუღლებული მიმართულება. შევნიშნოთ, რომ ნებისმიერი  $AM$  წრფე, რომელიც ეხება  $V_p$  ზედაპირს  $A$  წერტილში განსაზღვრავს მიმართულებას ამ ზედაპირზე მითითებულ წერტილში, ხოლო  $V_p$  ზედაპირზე  $AM$  და  $AN$  მიმართულებებს ეწოდებათ შეუღლებულები, თუ  $AM$  მხების  $AN$  მიმართულებით გადაადგილებისას ისინი ინფინიტიზიმალურად რჩება ზედაპირისადმი  $A$  წერტილში მხებ  $T_p(A)$  სიბრტყეში. იმისათვის, რომ  $\Sigma_p$  ბადე იყოს შეუღლებული, აუცილებელია და საკმარისი, რომ ყველა  $b_j^a$  ( $i \neq j$ ) იყოს ნულის ტოლი, როცა  $R$  რეპერის  $(AA_i)$  წიბოები ეხებიან ამ ბადის წირებს  $A$  წერტილში [2].

ცნობილია ასევე, რომ  $V_p$  ზედაპირს  $n$  განზომილებიან პროექციულ  $P_n$  სივრცეში ეწოდება  $p$ - შეუღლებული სისტემა თუ მასზე შეგვიძლია ავირჩიოთ წირთა ისეთი  $p$  ოჯახი, რომ 1) ზედაპირის ყოველ წერტილზე წრფივად დამოუკიდებელი მიმართულებებით გადის ბადის  $p$  წირი, 2) ნებისმიერი ოჯახის ნებისმიერი წირისადმი მხებები, რომლებიც აღებულია ნებისმიერი სხვა ოჯახის ნებისმიერი წირის გასწვრივ შეადგენენ ორგანზომილებიან განფენად ზედაპირს.  $R = \{A, A_i, A_\alpha\}$  რეპერში  $p$ -შეუღლებული სისტემა განისაზღვრება განტოლებათა შემდეგი სისტემის საშუა-

ლებით:

$$\omega^\alpha = 0,$$

$$\omega_i^j = a_{ij}' \omega^i + a_{ij}'' \omega^j, \quad (i \neq j),$$

$$\omega_i^\alpha = b_{ii}'' \omega^i. \quad [3]$$

ვთქვათ  $V_2$  ზედაპირი ორგანზომილებიანი შეუღლებული სისტემა  $(\omega^1, \omega^2)$  ზადით. გამოვიკვლიოთ წირთა ზადეები  $(A_i)$  ზედაპირებზე.

განვიხილოთ  $(A_1)$  ზედაპირი. გვაქვს:

$$d\bar{A}_1 = \omega_1' \bar{A}_1 + \omega_1^\alpha \bar{A}_\alpha = \omega_1' \bar{A}_1 + \bar{B}_{1\alpha} \omega^\alpha,$$

სადაც

$$\bar{B}_{11} = a_{11}^2 \bar{A}_2 + b_{11}'' \bar{A}_\alpha,$$

$$\bar{B}_{12} = a_{12}^2 \bar{A}_2.$$

$(A_1)$  ზედაპირს მივუერთოდ

$$R_1 = \{A_1, B_{11}, B_{12}, A_3\}$$

რეპერი. ვღებულობთ, რომ

$$\varphi_1^2 = \frac{1}{a_{12}^2} \left( a_{111}^2 - \frac{a_{11}^2}{b_{11}^4} b_{111}^4 - a_{12}^2 a_{11}^2 \right) \omega^1 + \frac{1}{a_{12}^2} \left( a_{112}^2 + a_{11}^2 a_{21}^1 - a_{12}^2 a_{12}^2 \right) \omega^2,$$

$$\varphi_1^3 = \frac{b_{111}^3}{b_{11}^4} \omega^1,$$

$$\varphi_2^1 = \frac{a_{12}^2}{b_{11}^4} b_{22}^4 \omega^2,$$

$$\varphi_2^3 = \frac{a_{12}^2}{b_{11}^4} b_{22}^3 \omega^2.$$

ანალოგიურად განვიხილება  $(A_2)$  ზედაპირი. დამტკიცებულია.

თეორემა 1. თუ  $V_2$  ზედაპირი ორგანზომილებიანი შეუღლებული სისტემა,  $b_{ij}'' \neq 0$ , მაშინ  $(A_i)$  ზედაპირებიც ორგანზომი-





ლებიან შეუღლებულ სისტემებს წარმოადგენენ.

ცნობილია შემდეგი: ვთქვათ  $V_p$  ზედაპირზე მოცემულია ერთგანზომილებიან ნორმალთა  $[A, \bar{e}_{\alpha_0}]$  ველი. მაშინ ამ ზედაპირზე  $b_{ij}^{\alpha_0}$  ტენზორის მიმართ შეიძლება ვიპოვოთ მთავარი მიმართულებები. მათი რაოდენობა  $p$ -ს ტოლია. ისინი  $b_{ij}^{\alpha_0} \xi^i \xi^j$  კვადრატული ფორმის მიმართ წყვილ-წყვილად შეუღლებულები და ორთოგონალურები არიან. მივიღებთ  $p$  რაოდენობის ერთგანზომილებიან  $\Delta_i^j$  განაწილებას, რომელთა ინტეგრალური წირები  $V_p$  ზედაპირზე ან მის რაიმე არეზე განსაზღვრავენ ორთოგონალურ ბადეს, რომელსაც ეწოდება სიმრუდის წირთა ბადე ერთგანზომილებიან  $[A, \bar{e}_{\alpha_0}]$  ნორმალთაველის მიმართ [4].

ვთქვათ  $V_2$  ზედაპირზე წირთა  $(\omega^1 \omega^2)$  ბადე წარმოადგენს სიმრუდის წირთა ბადეს  $[A, \bar{M}]$  საშუალო ნორმალის მიმართ, სადაც

$$\bar{M} = \frac{1}{2} \gamma^{ij} b_{ij}^{\alpha} \bar{A}_{\alpha}$$

ვექტორი არის  $V_2$  ზედაპირისადმი  $A$  წერტილში საშუალო სიმრუდის ვექტორი, ამასთან  $\bar{M} \neq \bar{0}$ .

მივმართოდ  $\bar{A}_3$  ვექტორი  $\bar{M}$ -ის მიმართულებით. მაშინ წირთა  $(\omega^1, \omega^2)$  ბადე იქნება ორთოგონალური და შეუღლებული  $\Phi^3 = b_{ij}^3 \omega^i \omega^j$  ასიმპტოტური ფორმის მიმართ. მაშასადამე,  $b_{ij}^3 = 0$  ( $i \neq j$ ).  $V_2$  ზედაპირისადმი  $A$  წერტილში საშუალო სიმრუდის ვექტორი იქნება

$$\bar{M} = \frac{1}{2} (b_{11}^3 + b_{22}^3) \bar{A}_3,$$

როცა  $b_{11}^4 + b_{22}^4 = 0$ .

გვაქვს:

$$d\bar{A}_1 = \omega^1 \bar{A}_1 + \bar{B}_{1r}' \omega^r,$$

სადაც

$$\bar{B}'_{11} = a_{11}^2 \bar{A}_2 + \bar{B}_{11}^\alpha \bar{A}_\alpha,$$

$$\bar{B}'_{12} = a_{12}^2 \bar{A}_2 + b_{12}^4 \bar{A}_4.$$

( $A_1$ ) ზედაპირის მივუერთო დრეპერი

$$R'_1 = \{A_1, B'_{11}, B'_{12}, A_3\}.$$

გამოთვლებით ვღებულობთ, რომ შესაბამისი ფორმებია.

$$\bar{\varphi}_1 = \frac{1}{a_{11}^2} (b_{12}^4 a_{11r}^2 - a_{12}^2 b_{11r}^4 - a_{12}^2 b_{12}^4 a_{1r}^2 - a_{12}^2 a_{11}^2 b_{2r}^4) \omega^r,$$

$$\bar{\varphi}_1 = \frac{1}{a_{11}^2} [a_{11}^2 (a_{11}^2 b_{2r}^2 + b_{11r}^4 + 2b_{12}^4 a_{1r}^2) - b_{11}^4 (a_{11r}^2 + a_{12}^2 a_{1r}^2)] \omega^r,$$

$$\bar{\varphi}_2 = \frac{1}{a_{11}^2} [b_{12}^2 (a_{12r}^2 + a_{11}^2 a_{2r}^1) - a_{12}^2 (a_{12}^2 b_{2r}^4 + b_{12r}^4 + b_{22}^4 a_{1r}^2 + b_{11}^4 a_{2r}^1)] \omega^r,$$

$$\bar{\varphi}_2 = \frac{1}{a_{11}^2} [a_{11}^2 (a_{12}^2 b_{2r}^4 + b_{12r}^4 + b_{22}^4 a_{1r}^2 + b_{11}^4 a_{2r}^1) - b_{11}^4 (a_{12r}^2 + a_{11}^2 a_{2r}^1)] \omega^r,$$

$$\bar{\varphi}_i = \bar{b}_{ij} \omega^j$$

$$\bar{\varphi}_i = \bar{b}_{ij} \omega^j$$

( $\bar{b}_{ij}$  და  $\bar{b}_{ij}$  წარმოადგენენ  $\omega^j$ -ს კოეფიციენტებს  $\bar{\varphi}_i^3$  და  $\bar{\varphi}_i^4$ -ის გაშლებში).

მაშასადამე,

$$\bar{\varphi}_i^j = \bar{a}_{ik}^j \omega^k,$$

სადაც

$$\bar{a}_{11}^1 = \frac{1}{a_{11}^2} (b_{12}^4 a_{111}^2 - a_{12}^2 b_{111}^4 - 2a_{12}^2 b_{12}^4 a_{11}^2),$$

$$a_{11}^{-2} = \frac{1}{a_{11}^2} (3a_{11}^2 a_{11}^2 b_{12}^4 + a_{11}^2 b_{111}^4 - b_{11}^4 a_{11}^2 - b_{11}^4 a_{12}^2 a_{11}^2)$$

$$a_{22}^{-1} = \frac{1}{a_{11}^2} (b_{12}^4 a_{122}^2 + b_{12}^4 a_{11}^2 a_{22}^1 - 2a_{12}^2 a_{12}^2 b_{22}^4 - a_{12}^2 b_{122}^4 - a_{12}^2 b_{11}^4 a_{22}^1),$$

$$a_{22}^{-2} = \frac{1}{a_{11}^2} (a_{11}^2 b_{122}^4 + 2a_{11}^2 b_{22}^4 a_{12}^2 - b_{11}^4 a_{122}^2).$$

იმის გათვალისწინებით, რომ წირთა  $(\omega^1, \omega^2)$  ზადე  $V_2$  ზედაპირზე ორთოგონალურია, გვექნება:

$$\omega_1^2 + \omega_2^1 = 0,$$

ესე იგი  $a_{ii}^2 = -a_{2i}^1$ .

თუ  $a_{11}^2 = b_{111}^4 = 0$ , მაშინ ვღებულობთ, რომ  $a_{111}^2 = 0$ . ანალოგიურად შეიძლება განვიხილოთ  $(A_2)$  ზედაპირი. დამტკიცებულია

თეორემა 2. ვთქვათ  $V_2$  ზედაპირზე წირთა  $(\omega^1, \omega^2)$  ზადე წარმოადგენს სიმრუდის წირთა ზადეს  $[A, \bar{M}] = [A, A_3]$  საშუალო ნორმალის მიმართ. თუ  $a_{ii}^j = b_{iii}^4 = 0$  ( $i \neq j$ ), მაშინ  $(A_i)$  ზედაპირზე წირთა  $(\omega^1, \omega^2)$  ზადე იქნება ნახევრად გეოდეზიური ( $\omega^j$  წირები - გეოდეზიურებია).

### ლიტერატურა

1. Базылев В.Т. - О многомерных сетях в евклидовом пространстве. Литовский математический сборник, VI, №4, 1965.
2. Базылев В.Т. - О многомерных сетях и их: преобразованиях. Сб. „Геометрия, 1963 (Итоги науки ВИНТИ АН СССР)“, М., 1965.
3. Смирнов Р.В. - Преобразование Лапласа  $p$ -сопряженных систем. ДАН СССР, т. 71, №3, 1950.
4. Эйзенхарт Л.П. - Риманова геометрия. ГИИЛ. М. 1948.

R. Khaburdzania  
 ON THE SURFACE  $V_2$  IN THE EXTENDED  
 EUCLIDEAN SPACE  $\bar{E}_4$



Abstract

The surface  $V_2$  is considered in the extended Euclidean space  $\bar{E}_4 = E_4 \cup E_3^*$ , where  $E_3^*$  is a non-proper hyperplane carrying the structure of the elliptical space  $S_3$ .

To the surface  $V_2$  we attach a moving semiorthogonal frame  $R = \{A, A_i, A_\alpha\}$  ( $i = 1, 2; \alpha = 3, 4$ )  $A \in V_2$ ,  $A_i \in T_2(A)$ , ( $T_2(A)$  is the tangential 2-plane to the surface  $V_2$  at a point  $A$ ),  $A_\alpha \in N_2(A)$  ( $N_2(A)$  is the orthogonal complement to the tangential plane  $T_2(A)$ ),  $(AA_3) \perp (AA_4)$ ,  $\{A_i, A_\alpha\} \subset E_3^*$ .

Let the net of lines  $V_2$  be given on the surface  $(\omega^1, \omega^2)$ . When the point  $A$  moves along the surface  $V_2$ , in the general case the points  $A_i$  describe in  $E_3^*$  the 2-surfaces  $(A_i)$ , on which nets of lines  $(\omega^1, \omega^2)$  arise.

The nets of lines  $(\omega^1, \omega^2)$  on the surfaces  $(A_i)$  are studied when 1)  $V_2$  is a 2-conjugate system with respect to the net of lines; 2) the net of lines  $(\omega^1, \omega^2)$  on  $V_2$  is a net of curvature lines with respect to the mean normal  $[A, \vec{A}_3]$ .

$V_2$  ზედაპირის შესახებ გაფართოებულ ევკლიდურ  $\bar{E}_4$  სივრცეში რეზიუმე

განიხილება  $V_2$  ზედაპირი გაფართოებულ ევკლიდურ  $\bar{E}_4 = E_4 \cup E_3^*$  სივრცეში, სადაც  $E_3^*$  არის ელიფსური  $S_3$  სივრცის სტრუქტურის მქონე არასაკუთრივი ჰიპერსიბრტყე.

მიფურთოდ  $V_2$  ზედაპირს მოძრავი ნახევრად ორთოგონალური რეპერი  $R = \{A, A_i, A_\alpha\}$  ( $i=1,2; \alpha=3,4$ ),  $A \in V_2$ ,  $(AA_3) \perp (AA_4)$   $A_i \in T_2(A)$  ( $T_2(A)$  მხები  $\alpha = 2$  - სიბრტყეა  $V_2$  ზედაპირისადმი  $A$  წერტილში),  $A_\alpha \in N_2(A)$  ( $N_2(A)$  არის მხები  $T_2(A)$  სიბრტყის ორთოგონალური დამატება),  $\{A_i, A_\alpha\} \subset E_3^*$ .

ვთქვათ  $V_2$  ზედაპირზე ან მის რაიმე არეზე მოცემულია წირთა  $(\omega^1, \omega^2)$  ბადე.  $A$  წერტილის  $V_2$  ზედაპირზე გადაადგილებისას,  $A_i$  წერტილიდან თითოეული  $E_3^*$ -ში, ზოგად შემთხვევაში, აღწერს 2-ზედაპირს  $(A_i)$ -ს, რომელზეც ბუნებრივად აღმოცენდება წირთა  $(\omega^1, \omega^2)$  ბადე. შესწავლილია  $(\omega^1, \omega^2)$  ბადეები  $(A_i)$  ზედაპირებზე, როცა 1)  $V_2$  ზედაპირი წარმოადგენს ორგანზომილები ან შეუღლებულ სისტემას  $(\omega^1, \omega^2)$  ბადის მიმართ, 2)  $V_2$  ზედაპირზე წირთა  $(\omega^1, \omega^2)$  ბადე წარმოადგენს სიმრუდის წირთა ბადეს  $[A, \bar{A}_3]$  საშუალო ნორმალის მიმართ.

ხშირად შემთხვევითი პროცესის ყოფაქცევის შესწავლა შეუძლებელია მათემატიკური მეთოდების გამოყენებით და ამ პროცესის მახასიათებლების გამოთვლა გარკვეულ სირთულეებთან არის დაკავშირებული. ასეთ დროს მიმართავენ სიმულაციის (ანუ შემთხვევითი პროცესის იმიტირების) მეთოდს, რომელიც რთული და სპეციფიკური პროცესების შესწავლის მძლავრ საშუალებას წარმოადგენს.

სიმულაციის მეთოდის არსი შემდეგში მდგომარეობს: იგება რეალური პროცესის შესაბამისი სტოქასტიკური მოდელი და შემთხვევითი რიცხვების გამოყენებით ხდება ამ მოდელის კონკრეტული რეალიზაციისათვის საჭირო ყოველი სიდიდის გენერირება. შემდეგ მთელი პროცესი მრავალგზის მეორდება და აღნიშნული პროცესის იმიტირებული რეალიზაციის გამოყენებით იგება რეალური პროცესის მახასიათებლების სტატისტიკური შეფასებები. აღსანიშნავია, რომ ამ შეფასებებისათვის საკმარისად ზუსტი შედეგის მისაღწევად (როგორც წესი) აუცილებელია დიდი რაოდენობის ექსპერიმენტების ჩატარება, რაც ამ მეთოდის მნიშვნელოვან ნაკლად ითვლება. ამიტომ, მიუხედავად იმისა, რომ სიმულაციის მეთოდი სხვა გამოთვლითი მეთოდებისგან გამოირჩევა სიმარტივით (როგორც პროგრამული ისე ალგორითმული და გამოთვლითი თვალსაზრისით), ამ მეთოდს, როგორც წესი იყენებენ იმ შემთხვევაში როდესაც პრობლემის ზუსტი მათემატიკური გადაწყვეტა ვერ ხერხდება და მიახლოებითი მეთოდების გამოყენება რთულია თუმცა კომპიუტერული ტექნიკის განვითარებასთან ერთად ამ მეთოდის გამოყენების არე მნიშვნელოვნად იზრდება. შევნიშნოთ, რომ სიმულაციის მეთოდით მიღებული მოდელის პარამეტრთა შეფასებების სიზუსტე ყოველთვის შეიძლება შერჩევის მოცულობის ზრდის ხარჯზე, რადგან შერჩევის მოცულობა, ზოგიერთი სტატისტიკური ამოცანისაგან განსხვავებით არ არის ფიქ-

სირებული და ანალიტიკოსის მიერ იმართება. აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ სიმულაციის მეთოდი სასარგებლოა არა მხოლოდ მოდელის აღსაწერად არამედ იმის შესასწავლადაც, თუ როგორ იცვლება კონკრეტული მოდელის ქცევა მისი პარამეტრების ცვლილებით (ე.წ. სცენარული ანალიზი).

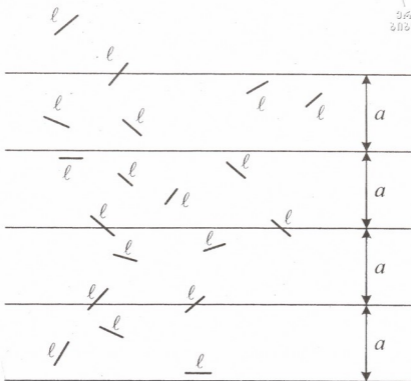
თუმცა სიმულაციის მეთოდის იდეა საკმაოდ ძველია მისი რეალური გამოყენება დაიწყო კომპიუტერის გამოჩენასთან ერთად, როდესაც ე.ნეიმანმა, ს.ულამმა და ე.ფერმიმ გამოიყენეს ის ბირთვული ფიზიკის რთული გამოთვლითი პრობლემების გადასაწყვეტად. სიმულაციის მეთოდის იდეა კი პირველად 1777 წელს გამოჩნდა ჟ.ბიუფონის ნაშრომში რომელშიც ფასდება რიცხვი  $\pi$  პარალელური წრფეებით დასერილ სიბრტყეზე ნემსის შემთხვევითი დაკდების საშუალებით. განვიხილოთ ეს მაგალითი, მასთან დავიცვათ შემდეგი პირობები:

1. დაშორება ამ წრფეებს შორის ერთი და იგივეა;

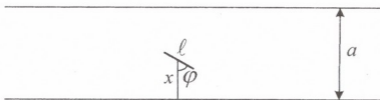
2. დაშორება ორ მეზობელ პარარელურ წრფეს შორის მეტია ნემსის სიგრძეზე;

3. ნახაზი იმდენად დიდი უნდა იყოს რომ მასზე დავარდნილი ნემსი მის გარეთ არ აღმოჩნდეს (ნახ.1.)

ვთქვათ, პარარელურ წრფეებს შორის დაშორება ტოლია  $a$  - სი, ხოლო ნემსის სიგრძე კი  $l$  -ის ( $l < a$ ). სიბრტყეზე შემთხვევით დავარდნილი ნემსის მდგომარეობა განისაზღვრება მისი შუა წერტილიდან უახლოეს წრფემდე მანძილით, რომელიც ავღნიშნოთ  $x$ -ით და  $\varphi$  კუთხით, რომელიც მოთავსებულია უახლოეს წრფესა და მისი შუაწერტილიდან გავლებულ პერპენდიკულარს შორის (ნახ.2.)



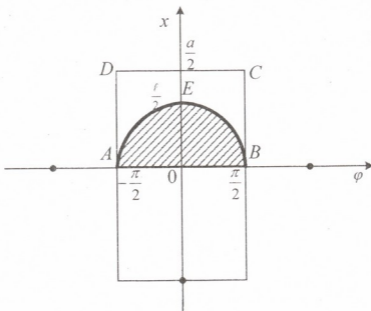
ნახ.1.



ნახ.2.

ცხადია, რომ  $0 \leq x \leq \frac{a}{2}$ ;  $-\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$ ;  $x = \frac{l}{2} \cos \varphi$  ფუნქცია გამოვსახოთ გრაფიკულად (ნახ.3.)





ნახ.3.

განვსაზღვროთ  $A$  ხდომილობის ალბათობა - "პარალელური წრფეების სიბრტყეზე შემთხვევით დავარდნილი ნემსი რომელიმე მათგანს გადაკვეთს".  $P(A) = \frac{m}{n}$ ; სადაც  $n$  არის საერთო "რიცხვი"

სიბრტყეზე დაგდებული ნემსის ყველა შესაძლო შემთხვევისა, ხოლო  $m$  - კი არის "რიცხვი" ყველა შესაძლო შემთხვევისა, როცა ნემსი გადაკვეთს რომელიმე პარალელურ წრფეს. ვერც  $m$ -ს და ვერც  $n$ -ს ვერ დავთვლით, რადგან ასეთი მდგომარეობები უსასრულოდ ბევრია. მაგრამ ნემსის მიერ რომელიმე პარალელური წრფის გადაკვეთისას ადგილი ექნება უტოლობას:  $x \leq \frac{\ell}{2} \cos \varphi$ . ამ პირობას

აკმაყოფილებს იმ წერტილების კოორდინატები, რომლებიც ეკუთვნიან დაშტრიხულ  $BEA$  ფიგურას (ნახ.3.) ამასთან ერთად ყველა შესაძლო მდგომარეობას ნემსისას ახასიათებენ ის წერტილები, რომლებიც მიეკუთვნებიან  $ABCD$  მართკუთხედს, ამიტომ გვექნება

:  $P(A) = \frac{S_{BEA}}{S_{ABCD}}$ . ცხადია, რომ  $S_{ABCD} = \frac{a\pi}{2}$ ,

$$S_{BEA} = \frac{1}{2} \ell \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \phi dl = \ell \quad \text{მაშინ} \quad P(A) = \frac{2\ell}{a\pi} \quad \text{აქედან კი}$$

$$\pi = \frac{2\ell}{aP(A)}$$

$P(A)$  ალბათობა შეიძლება მიახლოებით გამოვთვალოთ ნემსის მრავალჯერადი აგდებით. მაგალითად თუ ნემსი სიბრტყეზე დავარდა  $S$ -ჯერ და მასთან  $K$ -ჯერ დავარდნისას მან გადაკვეთა რომელიმე პარალელური წრფე, მაშინ საკმაოდ დიდი  $S$ -ებისათვის

$$P(A) \approx \frac{K}{S} \quad \text{აქედან კი} \quad \pi = \frac{2\ell S}{aK}$$

ჩვენ გამოვიყვანეთ მიახლოებითი ფორმულა რომლის საშუალებითაც შეილება მიახლოებით განსაზღვროთ  $\pi$  მნიშვნელობა; ცნობილია შემდეგი ცდები:

მეცნიერ-მკვლევარი	ცდის ჩატარების წელი	აგდებული ნემსების რიცხვი	მიახლოებითი მნიშვნელობა
ვოლფი	1850	5000	3,1596
ფოქსი	1895	1120	3,1419
ლაზარინი	1901	3408	3,1416

დამოუკიდებელი შემთხვევითი სიდიდეების მიმდევრობის სიმულაციით ასევე შესაძლებელია განსაზღვრული ინტეგრალის მიახლოებითი გამოთვლა დიდ რიცხვთა კანონის გამოყენებით. აქაც, ინტეგრალის გამოთვლით, სიზუსტის მისაღწევად, დიდი მოცულობის შერჩევაა საჭირო. ამიტომ ეს მეთოდი გამოყენებულია მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როდესაც ექსპერიმენტი მოდე-

ლირდება კომპიუტერზე. შემთხვევითი რიცხვების კომპიუტერზე/გენერირების თეორია მათემატიკის მნიშვნელოვან მიმართულებად გადაიქცა. ნამდვილი შემთხვევითი რიცხვების ნაცვლად (რომლებიც ჩნდებიან ფიზიკური პროცესების რეალიზაციის დროს) ხმარობენ ე.წ. ფსევდო შემთხვევით რიცხვებს, რომელთა კონსტრუირება ხდება დეტერმინისტული გამოთვლითი ალგორითმების საშუალებით. ფსევდოშემთხვევით რიცხვებთან დაკავშირებით ჩნდება შემდეგი კითხვა: რა აზრით შეიძლება ეს რიცხვები ჩაითვალოს შემთხვევითად, თუ მათი კონსტრუირება ხდება დეტერმინისტული გამოთვლითი ალგორითმების საშუალებით? 1965-1966 წლებში კოლმოგოროვმა და მარტინლიოფმა განმარტეს თუ როდის შეიძლება ნულებისა და ერთებისაგან შემდგარი მიმდევრობა ჩაითვალოს შემთხვევითად. მათი აზრით რაც უფრო რთულია ალგორითმი, რომლითაც აღიწერება აღნიშნული მიმდევრობა, მით უფრო შემთხვევითად შეიძლება ჩაითვალოს ის. მარტინლიოფმა აჩვენა, რომ რთული ალგორითმებით შედგენილი მიმდევრობები შემთხვევითობის ყველა არსებულ სტატისტიკურ ტესტს აკმაყოფილებენ.

შევნიშნოთ, რომ სიმულაციის მეთოდი სამეცნიერო ლიტერატურაში ხშირად მონტე-კარლოს მეთოდის სახელით მოიხსენიება, ეს სახელი იმით აიხსნება, რომ ეს მეთოდი იყენებს შემთხვევითი რიცხვების მიმდევრობებს, რომელთა როლში შეიძლება ავილოთ (მაგალითად) მონტე-კარლოს კაზინოში რეგულარულად გამოცხადებული თამაშების შედეგები, მაგრამ როგორც ავლნიშნეთ (დღეს) პრაქტიკაში შემთხვევითი რიცხვების გენერირება ხორციელდება კომპიუტერის საშუალებით.



**ლიტერატურა:**

1. ალბათობის თეორია და მათემატიკური ეკონომისტებისათვის  
ნ. ლაზრივა, მ. მანია, ა. მოსიძე, ა. ტორინჯაძე, თ. ტორონჯაძე, თ. შერვაშიძე; თბილისი 2000.
2. ალბათობის თეორიის ელემენტები; თ. გიორგაძე; ქუთაისი 2003.

**თ. გიორგაძე**  
**მოდელირების ზოგიერთი ასპექტი**  
**რეზიუმე**

შემთხვევითი პროცესის ყოფაქცევის შესწავლის მოდელირების ერთ-ერთი მეთოდია სიმულაციის ( ანუ შემთხვევითი პროცესის იმიტირების ) მეთოდი, რომელსაც ზოგჯერ მონტე-კარლოს მეთოდსაც უწოდებენ.

ნაშრომში განხილულია ამ მეთოდის წარმოშობის ისტორია და მისი მზარდი როლი შემთხვევითი პროცესების შესწავლის საქმეში.

**T. Giorgadze**  
**Certain Aspects of Modeling**  
**Summary**

The Simulation Method (the method of imitating random processes) is one of the means of modeling the study of the behaviour of random processes. The method is also referred to as the Monte Carlo Method.

The paper deals with the origins of this method and its increasing role in the study of random processes.

## ე. ბასილაძე

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

### ტურისტული პანორამა უნაგირას მთიდან

განხილულია ტურისტული პანორამების მნიშვნელობა დარგის განვითარებისათვის. ამ ფონზე კი უნაგირას ტურისტული თვალსაწიერი. ტოპოგრაფიული რუკებისა და პირადი დაკვირვებების საშუალებით დადგენილია საზღვრები, ფართობი. ვრცელი მასალაა ბუნებრივი და კულტურული ტურისტული ლანდშაფტების შესახებ. დასკვნით ნაწილში ჩამოთვლილია ის ღონისძიებანი, რომელთა გადაწყვეტა ხელს შეუწოებს ტურიზმის ფართოდ განვითარებას ამ რეგიონში.

პანორამა ბერძნული სიტყვაა. „პან“-ყველაფერი და „ორამა“-ხედი, სანახაობაა. ასევე რაიმე ვრცელი მიდამოს ხედი ჩვეულებრივ ზევიდან და ა.შ. უცხო სიტყვათა ლექსიკონი 1989, გვ.366. ხედის სილამაზეს უდიდესი მნიშვნელობა აქვს არა მარტო ტურისტულ-საექსკურსიო მარშრუტების შერჩევისას, არამედ ტურისტული მომსახურების ობიექტის ადგილის განსაზღვრისათვის.

საქართველოში მრავლადაა სპეციალურად მოწყობილი გადასახედი მოედნები. მათი აბსოლიტური უმეტესობა საუდელტეხილო გზებზეა, რომელთაგან აღსანიშნავია: კურორტ გუდაურათან, რიწის აღმართზე, დათვის ჯგრის უდელტეხილზე და სხვა.

იმერეთში ერთ-ერთი საუკეთესო პანორამული ადგილი, უნაგირას მთაა. იგი ქ. ქუთაისიდან აღმოსავლეთით პირდაპირი ხაზით 12 კმ. დაშორებით მდებარეობს. აღმართულია ოკრიბა-არგვეთის ქედზე (ზ.დ. 871მ.). უნაგირა, ქედის ჩადაბლებული ადგილია. ასეთად, მწვერვალის მიდამოები კლასიკურად ჩანს სამხრეთიდან. აქ არსებული გადასასვლელით (უნაგირათი) შიდა და სამხრეთ ოკრიბის სოფლები ერთმანეთს უკავშირდება საურმე გზითა და ბილიკებით. სწორედ აქედან დარქმევია მწვერვალსაც ეს სახელი. უნაგირა ამაყად დგას ქედზე არსებულ დოხორასა (ზ.დ. 608 მ.), საქოლავის (713 მ.) და გუმბრალას (853მ.) მთებს შორის. აგებულია კირქვებით. სამხრეთ ფერდობი დამრეცი, ჩრდილოეთი კი ციცა-

ბოა.

აღნიშნული ქედი და მისი მწვერვალები არც თუ ისე შორეულ გეოლოგიურ წარსულში იმდენად დაბალი იყო, რომ მის თხემს გარდი-გარდმო კვეთდნენ მდინარეები. განსაკუთრებით იქ, სადაც დღეს მადარას მღვიმე და მდინარე ტყიბულას სადრენაჟო კირქვების სასულეები მდებარეობენ. ე.წ. „სამხრეთ ოკრიბის შეცოცებასთან“ დაკავშირებით, ზედაპირული მდინარეები ვერ ასწრებდნენ ეროზიულ ჩაჭრას და გზას იკვლევდნენ სადრენაჟო კარსტულ ხვრელებში. ჩხეიძე ო. 2004. გვ. 269.

უნაგირაზე ასვლა მხოლოდ ქვეითად შეიძლება. უახლოესი სოფელი ცუცხვათი მისი ჩრდილო ფერდობის ძირშია, ხოლო სამხრეთით არსებული სოფლებისაგან გამოყოფილია საკმაოდ განიერი-სიმონეთის გორაკ-ბორცვიანი ზოლით, აქ ყველაზე ახლოს სოფელი-ნავენახევია. ამ სოფლებისათვის ამ მთას ადრევე შეუძენია სარიტუალო მნიშვნელობა და მწვერვალზეც ეკლესია აუშენებიათ. იგი წმ. გიორგის სახელზეა აგებული. ცუცხვათის (უნაგრეთის) მთის ეკლესია ერთნავიანი ბაზილიკაა, ნაშენია ქვიტკირისაგან. დღეს ნანგრევებადაა ქცეული. შენახულია მარტო ჩრდილოეთის და დასავლეთის კედლები, დანარჩენი სულ დანგრეულია. სამკვეთლოში (ჩრდილოეთის ნაწილი) არის ორი ჩუქურთმიანი ქვა. ხალხის გადმოცემით ეკლესია აშენებულია დავით აღმაშენებლის მიერ. ბოჭორიძე გ. იმერეთის ისტორიული ძეგლები. 1995 გვ. 81. ეკლესიის ირგვლივ ჩანს გალავნის ნაშთი. ეზო მთლიანად ხე მცენარეულობითაა დაფარული და ზაფხულის თვეებში პანორამული თვალთახედვა გაძნელებულია.

უნაგირას მთის ტურისტული პანორამული სივრცე, შეუიარაღებელი თვალთახედვით დაახლოებით 1800 კვ. კმ-ია. მისი საზღვარი ჩრდილოეთით გაუყვება რაჭის ქედის დასავლეთ დაბოლოება-ნაქერალის ქედს, ჩრდილო-დასავლეთით-ხვამლისა და ასხის მასივს, ჩრდილო-აღმოსავლეთი საზღვარი უფრო ახლოსაა და შემოსაზღვრულია მდ.მდ. ბუსასა და ტყიბულას წყალგამყოფით, სამხრეთით აჭარა-იმერეთის ქედის თითქმის თხემური ნაწილით, დასავლეთით კი ქ. ქუთაისით. ჩრდილოეთით შორეულ



ჰორიზონტის ხაზზე ჭაღარა კავაკასიონის მოქათქათე კონუსების სილუეტები მოჩანს, რაც კიდევ უფრო ალამაზებს ბუნებას. ამ საზღვრებს შორის მოქცეული ტერიტორია მდიდარია ტურისტულ-საექსკურსიო და რეკრეაციული რესურსებით. აქაა ბუნებრივი და ანთროპოგენური ობიექტები, როგორცაა: კარსტული რელიეფის, როგორც ზედაპირული, ისე მიწისქვეშა ფორმები (მღვიმეები, წვეარამები, ძაბრები), კლდოვანი ქარაფები, კანიონები, ჩანჩქერები, აქვალური ლანდშაფტები, ბუნებრივი თუ ხელოვნურად გაშენებული ტყეები, ეკლესია-მონასტრები, ციხეები და კოშკები, საყდრები. მრავალფეროვანია ეთნოგრაფიული რესურსები. ტერიტორიაზე შემონახულია რელიქტურ მცენარეთა სახეები, როგორცაა: კოლხური ბზა, იმერული მუხა, ურთხელი, ძელქვა და მრავალი სხვა. ახლო წარსულში ოკრიბის გორაკ-ბორცვები დაფარული იყო ჩაის პლანტაციებით, რაც კიდევ უფრო ალამაზებდა ბუნებას, თითქოს ვინმეს „დაევარცხნოს“ მიდამო - ასე გამოიყურებოდა ოკრიბის მსოფლიოში ერთ-ერთი მაღალხარისხოვანი ჩაის პლანტაციები.

უნაგირას მთაზე ასული ტურისტისათვის თვალთახედვის არეში, ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ადგილი, საქართველოში კირქვის უდიდეს მასივს, ხვამლის მთას უკავია. იგი აქედან ჩრდილო-დასავლეთით 28 კმ. დაშორებითაა. მისი სიდიდე ქვემო იმერეთის თითქმის ყველა დასახლებული პუნქტიდან ჩანს. იგი იმერეთ-ლეჩხუმის საზღვარზეა რიონ-ცხენისწყლის ხეობას შორის. უმაღლესი წერტილი ხვამლი ანუ შუქურა 2002 მეტრია. ბოლოვდება ვეება კირქვის ლოდით, რომელზეც გეოდეზიური ანძაა აღმართული. მასივს გეგმაში სამკუთხედისებრი ფორმა აქვს, რომლის წვერი 500-600 მ. სიმაღლის ქარაფით, სამხრეთით კონცხისებრ არის შემოჭრილი და მედიდურად გადმოჰყურებს იმერეთ-კოლხეთის თვალწარმტაც პანორამას. სამხრეთით გამოზნექილი ქარაფია, ჩრდილო-აღმოსავლეთით კი ტვიშის კლდეკარი-რიონის ხეობაში ეშვება. ჩხეიძე ო. 2003. გვ.193; ტვიშის კლდეკარში რიონის ჭორომიანი დინება საუკეთესო ადგილია რაფტინგისათვის. აქ შეიძლება საერთაშორისო საწყლოსნო სპორტული შეჯიბრებების ჩატარება;



მასივის მთლიანი სიგრძე 10,5, სიგანე კი 7 კმ-ია.

გრანდიოზულ სამხრეთ - ქარაფზე მოსჩანს მღვიმეთა მთა-ბუნე-  
ლი შესასვლელები, რომელთა მნიშვნელოვანი ნაწილი მხოლოდ  
მამაც მთასვლელებისათვის არის მისაწვდომი. ხვამლის ფლატეზე  
ათზე მეტი მღვიმეა. ჩხეიძე ო.2009. გვ. 85. მათგან მნიშვნელოვანია  
საკუთრივ ხვამლის მღვიმე, რომელიც ზ.დ-დან 1820 მეტრ სიმაღ-  
ლეზეა. მის თავზე ფლატის სიმაღლე 150 მ. აღემატება. მღვიმის  
ქვემოთ 42 მ. სიმაღლის ჩანჩქერებია. საკუთრივ ხვამლის მღვიმე  
„ხვამლის ზედა მღვიმედაც“ არის ცნობილი და აღიარებულია,  
როგორც ისტორიული ძეგლი. ეს ბუნებრივი მიუდგომელი მღვი-  
მე, დამატებით გაუმაგრებიათ შესასვლელში ამოშენებული კედ-  
ლით, რომელსაც XIII საუკუნეში ქართველი მეფეები იყენებდნენ  
მტრის შემოსევებისას თავიანთი განძეულობის სამალავად ანუ  
ბუნებრივ სეიფებად. მღვიმის წინ ამოშენებული კედლის სისქე 1,2  
მეტრია, სიმაღლე 8,5 მეტრი, სიგანე კი -5 მეტრი. მასში კარები და  
2 სარკმელია. მღვიმის შესასვლელის სიგანე 8-9 მეტრია, სიმაღლე -  
10 მეტრი, სიგრძე-10-12 მეტრი. მღვიმის ფსკერზე გამოძვლი ნაკა-  
დი ქმნის ზემოთ აღნიშნულ ჩანჩქერს. მღვიმის ქვემოთ ხელოვნუ-  
რად არის გამოჭრილი თარო, რომელიც მცველთა სადგომი უნდა  
იყოს. ამ მიდამოებშია მღვიმეები „ჯაფარიძის ნაბინავარი“ და  
„პირღია“. ჩხეიძე ო.2009. გვ.87.

მართალია უნაგირას მთიდან ვერ დავინახავთ ხვამლის ჩრდი-  
ლო დამრეც ფერდობს, მაგრამ არ შეიძლება ტურისტთა ყურადღე-  
ბა არ მივაქციოთ მთაზე არსებულ ეკლესიაზე. ეკლესია არა მხო-  
ლოდ სარიტუალო ნაგებობას წარმოადგენდა, არამედ იგი მტრის  
მოახლოებას, კოცონის დანთებით აცნობდა მახლობელ სოფლებს.  
ახლა აქ 17 ივნისის ყოველწლიურად „ხვამლობა“ იმართება.

ხვამლის მთის განუყოფელია სილამაზემ ჯერ კიდევ 1960-  
იან წლებში მიიქცია ყურადღება. 1968 წელს მოეწყო ექსპედიცია,  
მომავალში მისი ტურიზმში ჩართვისათვის. მუშავდებოდა პროექ-  
ტი სოფელ მექვენნიდან საბაგრო გზის გასაყვანად. შემდგომში ამ  
მიმართულებით არაფერი გაკეთებულა, თუ არ ჩავთვლით ხვამ-  
ლობის დღესასწაულის აღდგენას. უნდა აღინიშნოს ის, რომ ხვამ-



ლის მთის ტყეების მდგომარეობა მეტად სავალალოა. ტყის ხანგრძლივმა ექსპლოატაციამ მკვეთრად შეამცირა მათი ფართობი

ნაქერალას ქედით, ჰორიზონტი ჩრდილოეთიდან ისაზღვრება. „თითქოს კარნიზი შემოუყოლებიათ ტურისტული სახლისათვის“, ასეთად ჩანს იგი თავისი ფლატეებით, რომლებიც ზემოთ კირქვის ვეება კლდეებით მთავრდება. ნაქერალას ქედი, ამავე სახელის უღელტეხილის დასავლეთით 30 კმ-ზე ვრცელდება ტვიშის კლდეკარამდე. ჩხეიძე ო, ჯინჯიხაძე ფ, ჩხეიძე ს.2012. გვ. 199. აქ ტვიშის კლდეკართან მდ. რიონის მარცხენა ნაპირზე ორხვის კირქვული მასივის სამხრეთ ქარაფზე წარმოქმნილია ორხვის ისტორიულად ცნობილი მღვიმე (ზ.დ.1000, ქარაფის ძირიდან კი 100 მეტრზე.) მღვიმეს შესასვლელში კირქვით ნაგები მოაჯირი აქვს, შიგ ნაპოვნია ქვევრები, კერამიკის ნაწარმი და სხვა. აქედან აღმოსავლეთით ცხრაჯვარის მღვიმური კომპლექსია, რომელთა შესწავლაში დიდი როლი მიუძღვის ო.ჩხეიძეს (2012).

რაჭის ქედზე, დასავლეთიდან-აღმოსავლეთით, უღელტეხილთა და მწვერვალთა გეოგრაფია ასეთია: მ. ორხვი (1382მ), უღ.ქვაკუნტა (1353მ.), მ.თავშავა (1773 მ.), უსახელო მწვერვალი (1833 მ.), ცხრაჯვარი, უღ. ნაქერალა (1370 მ.). არცერთი დასახელებული პუნქტი ტყის ზონას არ სცილდება. მათ ჩრდილო ფერდობზე კოლხური ზზის ფართო გავრცელებაა. მათზე უამრავი კარსტული ფორმებია. მათი გამორჩევა ძნელია, განსაკუთრებით საფრთხილოა თოვლის დნობის დროს. მეტად საინტერესო და ბევრის მთქმელია ადგილთა ტოპონიმები, როგორებიცაა: „ძველ ახო“, „გობსათიბი“, „ბერების სათიბი“, „საჯინიბო“ ჩხეიძე ო. და სხვ.2012. გვ.206. სავარაუდოა, რომ აქ მოსახლეობა ადრიდანვე საქმიანობდა.

უნაგირადან ყველაზე ახლო ცხრაჯვარია. მწვერვალი ბოლოვდება ცხრაჯვარის საყდრის ნანგრევებით. ოდესღაც აქ ცხრა ხის ჯვარი ყოფილა აღმართული და სახელიც აქედან მიუღია. ახლა კი მრევლს უამრავი რკინის ჯვარი დაუდგამთ. საყდართან მისვლა 2 ბილიკით შეიძლება. ერთი სოფ. წყნორიდან, მეორე კი-აღმოსავლეთიდან, ქარაფის თავზე, მიემერთება ყოფილი პროფილაქტო-

რიუმიდან. აქ კი საავტომობილო გზით შეიძლება მგზავრობა/რუსთაველის სახელობის მთაზე 1960-იან წლებში ტყიბულის მე-შახტეტათვის აიგო დასასვენებელი სახლი ე.წ. პროფილაქტორიუმი. მან იმდენად გაითქვა სახელი, რომ იმერეთში ბავშვთა დასვენების საუკეთესო მაღალმთიანი კერა გახდა. ქარაფის თავზე გაკეთებული იქნა გადასახედი მოედნები, მოეწყო მისასვლელი გზისა და მიდამოს განათება. აგებული იქნა 3644 მეტრიანი სიღრმის საბაგროო გზა. გეწამე გ.1986. გვ.9.1990-იან წლებში ყველაფერი ისე განადგურდა, რომ მიდამო ბელიგირებულ ლანდშაფტს დაემსგავსა.

ოკრიბაში რელიეფის ფორმებიდან ყველაზე მეტ ტურისტულ ინტერესს მსოფლიოში ცნობილი ცუცხვათისა, ნავენახევისა და წყალდასავლის მღვიმეები იწვევს. გამოიმუშავეს რა მიწისქვეშა ხეობები, ცუცხვათის კარსტულ-ეროზიული ქვაბულის წყლები მაღარას (ცუცხვათის) მღვიმის საშუალებით გამოდიან მდ. ჭიშურის სახით ყვირილას ხეობაში. მდ. მაღარას ეროზიულ-კარსტული მოქმედებით ოკრიბა-არგვეთის სერის შემადგენლობაში ჩამოყალიბდა 12-13 სართულიანი გამჭოლი მღვიმოვანი, სადაც მთავარი გვირაბის სიგრძე 250 მეტრია. კარსტული გვირაბიდან გამოსვლის შემდეგ მაღარა ჭიშურად იწოდება. ჩხეიძე ო. 2009. გვ. 246. შაბათა-ლელის (მაღარის)მიწისქვეშა მონაკვეთის ჩასახვა - განვითარება უნდა დაწყებულიყო 800 ათას-1 მილიონი წლის წინათ. აქედან თითოეული სართულის წარმოქმნას უნდა დასჭირებოდა 72700 ან 91 ათასი წელი. ჩხეიძე ო. 2009. გვ. 249.

უნაგირას აღმოსავლეთით მდებარე, ტყიბულის ქვაბულის წყლები, ახალსოფლის კარსტული პოლიეს სამხრეთ ნაწილში, სასულებებში იკარგებოდა 400მ. აბსოლიტურ სიმაღლეზე და ვიწრო კარსტული(2 -2,5 კმ) მიწისქვეშა დინების შემდეგ კვლავ ზედაპირზე გამოდიოდა 300 მეტრით დაბალ ნიშნულზე. მდ. ძვერულას ორი მძლავრი ვოკლუზის სახით. ჩხეიძე ო. 2009. გვ.243.

შაორის ჰიდროელექტროსადგურის აგების საკითხის დადებითად გადაწყვეტამ განსაზღვრა კასკადის ქვედა საფეხურის - ტყიბულის (ძვერის) მარეგულირებელი სადგურის ბედი, რაშიც დიდ



როლს თამაშობს შაორის (ხარისთვალას) აუზის ჩამონადენის მდ-  
 ტყიბულაში გადმოგდება. წყალსაცავის შესაქმნელად გაკეთდა  
 1605 მ. სიგრძის მიწის კაშხალი. ჩარკვიანი მ. 1972. გვ. 197. წყალსა-  
 ცავის სიღრმე 12, 5 მ. სარკის ფართობი 12,1 კვ.კმ-ია. სანაპირო მი-  
 რითადად დაბალი და დამრეცია. მასში წყლის დონე ყველაზე მა-  
 ლალია აგვისტო-სექტემბერში, დაბალი თებერვალ-მარტში. დონე-  
 ების საშუალო წლიური ამპლიტუდა 575 სმ-ია. ქსე.ტ.10.1996. გვ.  
 90. წყალსაცავში 5 სხვადასხვა ზომის კუნძულია, მათგან ყველაზე  
 დიდი, 1,2 კმ. სიგრძისა და 0,5კმ. სიგანისაა. ნაპირებზე ალაგ-ალაგ  
 პატარა კლდეებია, ზოგან სილიანია. შუაგულში მაღალხეებიანი  
 ტყეა. კუნძული სანაპიროდან 1-2 კმ-ითაა დაშორებული და ამი-  
 ტომ ძლიერი ღელვის დროს რეზინის ნავით გადასვლა გარკვეუ-  
 ლი წესების ცოდნას მოითხოვს. გარშემოვლა, დიდიებული გარე-  
 მოს დათვალიერება, სილიან ნაპირზე კარვის გაშლა, კოცონის  
 დანთება, ვახშმობა, ღამის გათევა დიდ სიამოვნებას ანიჭებს ტუ-  
 რისტს. ძიძიგური თ. 2007. გვ. 69. წყალსაცავი მდიდარია თევზით.  
 თევზჭერის წესების დაცვით აქ კარგი პირობებია ასევე სათევზაო  
 ტურიზმის განვითარებისათვის.

ახალსოფლის ტაფობიდან 530 მეტრით უფრო მაღალ ნიშნულ-  
 ზე მდებარეობს მეორე, აგრეთვე დახშული შაორის ტაფობი, რომე-  
 ლიც ჰორიზონტის ხაზს მიღმაა, მასში ჩამდინარე წყლის უდიდე-  
 სი ნაწილი სწორედ ახალსოფლის ტაფობში გადმოდის, 1941 წ. გა-  
 დაწყდა ტყიბულსა და მისი ნახშირის მრეწველობის წყალმომარა-  
 გებისათვის შაორის წყაროების გამოყენება. ნაქერალას ქედში 1300  
 მ. სიგრძის გვირაბი გაიჭრა. გვირაბი კომპლექსურად გამოყენების  
 მიზნით დაპროექტდა. მასში ჰიდროელექტროსადგურის სადაწ-  
 ნეო მიღებსაც უნდა გაევილო. ჩარკვიანი კ. საბჭოთა საქართველოს  
 ელექტროენერგეტიკა. 1972. „საბჭოთა საქართველო“ თბილისი.  
 1972. გვ. 192. ყველაფერი ეს კარგად ჩანს ნაქერალას ფერდობზე  
 გვირაბს გარეთ. სადაწნეო მილსადენი, რომელიც იტალიიდანაა  
 ჩამოტანილი ორი ტოტისაგან შედგება. თითოეულის სიგრძე 2895  
 მეტრია, დიამეტრი დასაწყსში 1,4 მეტრი, ბოლოში კი 1,05 მ-ია. სა-  
 ქართველოში არც ერთ სადგურს არ აქვს ასე გრძელი საწნეო მილ-

სადენი (ჩარკვიანი კ.1972. გვ.146).

ოკრიბა ისტორიული ძეგლებით მდიდარია. არაფერს ვერ ვხედავთ ბოზთ გელათსა და მოწამეთის მონასტრებზე. მის კოპწია სოფლებში: მთავარანგელოზის ეკლესია-ბუეთში, წმინდა გიორგის სახელობის ეკლესია-ახალდაბაში, მრავალძალის წმინდა გიორგის ეკლესია-ძიროვანში, მთის წმინდა გიორგის ეკლესია, ანუ „მთასაყდარი“ (თასაყდარი)-სოფელ ძმურიდან 7 კმ -ის დაშორებით, ნაქერალს ქედის მაღალ „წმინდაგიორგის“ ანუ „მთაწმინდის“ (თაწმინდა) მთაზე. მისკენ სოფლიდან 2 ბილიკით ადიხარ. ეკლესია ქარაფის თავზე დგას; წმინდა გიორგის ეკლესია -სოფ. ძმუისში, ნათლისმცემლის ეკლესია-სოფხეთში, წმ. გიორგის ეკლესია სოფ. ჯონიაში, წმ. გიორგის ეკლესია-გურნაში, წმ. გიორგის ეკლესია - კისორეთში, სამების ახალი ეკლესია - სორმონში, წმ. გიორგის ეკლესია ჭოლევეში, კურსების ზედუბნის (ზედა უბნის) მაცხოვრის ეკლესია, წმ. გიორგის ეკლესია და ა.შ. ბოჭოიძე გ. 1985. იმერეთის ისტორიული ძეგლები. „მეცნიერება“ თბილისი. გვ. 82-120.

ოკრიბა-არგვეთის ქედის აღმოსავლეთ ნაწილში საყურადღებო ოქონის სერი, რომელიც სოფელ ჩხარშია. ეს უკანასკნელი XVII საუკუნიდან სავაჭრო-სახელოსნო დასახლებაა, ე. წ. ქალაქი. სოფელში შემონახულია ხუროთმოძღვრული კომპლექსი წმ. გიორგის სახელობის ეკლესია და სამრეკლო. მასში ინახებოდა სადგერის დიდი ჭედური ჯვარი, რომელიც ამჟამად ხელოვნების მუზეუმშია. ჩხარის მახლობლად დგას ოქონის მაცხოვრის ეკლესია (ქსე. ტ.11. გვ. 173). ოქონის სერი განედურად 3,5 კმ-ზეა გადაჭიმული. მისი აბსოლიტური სიმაღლე 435 მ-ია. შემოსილია უნიკალური მცენარეებით: ბელჭვით, უთხოვარით. ისინი ორგანული ბუნების ძეგლებია და შეტანილია წითელ წიგნში. ჩხეიძე ო, ჯინჯიხაძე ფ, ჩხეიძე ს. 2012. გვ. 87.

უნაგირადან სამხრეთით დამრეცად დახრილი ფერდობის ძირში, ერთ-ერთი დიდი სოფელი სიმონეთია, სადაც დაიბადა ქართველი მწერალი დავით კლდიაშვილი, აქვე მისი სახლმუზეუმი; უფრო შორს კი კარგად ჩანს იმერეთის ერთ-ერთი მსხვილი სამრეწველო ქალაქი -ხესტაფონი, რომელიც შავი მეტალურგიის ცენ-

ტრია. მას XX საუკუნის 20-იან წლებამდე ყვირილა ჰქვიოდა. მის დასავლეთით გადაშლილია ქვემო იმერეთის დაბლობი, რომლის დასავლეთ ნაწილში მუქ მწვანედ ჩანს საქართველოში მუხის ყველაზე დიდი დაცული ტერიტორია - აჯამეთის აღკვეთილი, რომელიც უახლოეს წარსულში ნაკრძალის სტატუს ატარებდა, შორს კი აჭარა-იმერეთის ქედის ჩრდილო ტყიანი ფერდობები თვალწარმტაცი ალპური მდელოებით. ლამაზად ჩანს ქ. ქუთაისის დიდი ნაწილიც, უფრო ახლოს მაცხოვრის ციხე-კოშკი, მთავარანგელოზის მთაზე ახლად აგებული მთავარანგელოზის სახელობის ეკლესია, მდ. ჭიშურას ხეობაში კი 1667 წელს, გელათის ეპისკოპოს-გედეონის მიერ აგებული ორმალიანი ხიდი (ქსე.ტ.7. გვ. 282). ხიდის მარცხენა მალის ძირი ისეა მონგრეული, რომ სასწრაფოდ საჭიროა გამაგრება.

ამდენად, აღნიშნული მთიდან დანახული ტურისტული პანორამა საკმაოდ გაშლილი ჰორიზონტით გამოირჩევა. ადგილი მდებარეობს ქვემო იმერეთში, მჭიდროდ დასახლებულ ტერიტორიაზე, ახლოსაა საქართველოს ქალაქებთან. განსაკუთრებით აღსანიშნავია ქ. ქუთაისთან სიახლოვე. პანორამის გეოგრაფიულ სივრცეში ხვდება მსოფლიო მნიშვნელობის კულტურული მემკვიდრეობის ძეგლები, ბევრია ტურისტებისათვის მეტად მნიშვნელოვანი ბუნების ძეგლები, მრავალფეროვნია ეთნიკური ყოფა და სხვა. ტურიზმის ფართო მასშტაბით განვითარებისათვის ამ წინამძღვრების გამოყენება აუცილებელია: უნდა მოხდეს მისასვლელი გზების კეთილმოწყობა და ახალი მონაკვეთების გაყვანა. დანაწევრებული რელიეფი საუკეთესო პირობებს ქმნის საჰაერო-საბაგრო გზების მშენებლობისათვის, რომლებიც დროის მცირე მონაკვეთში დააკავშირებს: მაღარას-უნაგირას მთას - წყალსაცავს, ნავენახევსა და მაღარას მღვიმეებს, სოფელ მექვენას-ხვამლის მთასთან. უნდა აღდგეს ტყიბულიდან რუსთაველის სახელობის მთასთან დამაკავშირებელი გზა. ხელი უნდა შეეწყოს სოფლებში საოჯახო ტურიზმის განვითარებას, განსაკუთრებით სოფ.სოფ. ცუცხვათსა და ჭალასთავში. უდიდესი ყურადღება უნდა დაეთმოს ორგანული სამყაროს დაცვას, ხვამლისა და ცხრაჯვარის მთების მიდამოებში. კი-



დევ უფრო მეტია ამ მხრივ გასაკეთებელი სოფლებში, სადაც ხელ-  
 ლუხლებელი ტყეები იშვიათი გახდა. აღდგენა-გამაგრებას მოითხოვს  
 თხოვს კულტურული მემკვიდრეობის ძეგლები. უპირველეს ყოვ-  
 ლისა თვით უნაგირას მთაზე მდებარე ეკლესია და ცუცხვათის ცი-  
 ხე.

**ლიტერატურა**

1. ბოჭორიძე გ. - იმერეთის ისტორიული ძეგლები - „მეცნიერება“, თბი-  
 ლისი 1995. გვ. 81
2. უცხო სიტყვათა ლექსიკონი 1989 გვ. 366
3. ქსე. ტ. 7. გვ. 282
4. ქსე. ტ. 11. გვ. 173
5. ჩარკვიანი მ.-საბჭოთა საქართველოს ელექტროენერგეტიკა - ნაწ. II.  
 თბ. 1972. გვ. 197.
6. ჩხეიძე ო. - იმერეთის გეომორფოლოგია - ნაწ. I, „მეცნიერება“, თბი-  
 ლისი 2003. გვ. 193
7. ჩხეიძე ო. - იმერეთის გეომორფოლოგია - ნაწ. II, „მეცნიერება“, თბი-  
 ლისი 2004. გვ. 269
8. ჩხეიძე ო. - იმერეთის ფიზიკური გეოგრაფია - ნაწ. II, ქუთაისი 2009.  
 გვ. 87
9. ჩხეიძე ო, ჯინჯიხაძე ფ, ჩხეიძე ს.-ოკრიბის ლანდშაფტები - ქუთაი-  
 სი 2012. გვ.87, 206.
10. ბიძიგური თ. - სამოგზაურო მთები ქუთაისის მიდამოებში - ქუთაისი  
 2007. გვ. 69.

**ე. ბასილაძე**  
**ტურისტული პანორამა უნაგირას მთიდან**  
**რეზიუმე**

იმერეთში ერთ-ერთი საუკეთესო პანორამული ადგილი უნაგირას  
 მთაა, რომლის გეოგრაფიული მდებარეობა ტურიზმის განვითარებისათ-  
 ვის ფრიად საყურადღებოა. პანორამული სივრცის ფართობი დაახლოე-  
 ბით 1800 კვ.კმ-ია. ამ ტერიტორიის ბუნებრივი და ანთროპოგენური რე-  
 სურსები მრავალფეროვანი და მდიდარია. განსაკუთრებით აღსანიშნავია:  
 კარსტული რელიეფის ფორმები - მრვიმეები, მრავალრიცხოვანი კულ-  
 ტურული მემკვიდრეობის ძეგლები, ეთნოგრაფიული მრავალფეროვნება,

ჰიდროტექნიკური ნაგებობანი და სხვა. ამ რესურსების ტურიზმში ფართოდ ჩართვა, უპირველეს ყოვლისა მოითხოვს ინფრასტრუქტურის განვითარებას. განსაკუთრებით დიდი ყურადღება უნდა დაეთმოს საჰაერო-საბაგრო გზების მშენებლობას, რასაც დანაწევრებული რელიეფიც უწყობს ხელს. ერთმანეთს უნდა დაუკავშირდეს: სოფ. ჭალასთავი - ნავენახევის მღვიმეს - უნაგირას მთას, ეს უკანასკნელი - ახალსოფლის წყალსაცავს, სოფ. მექვენა-ხვამლის მთას, აღსადგენია ქ. ტყიბულსა და რუსთაველის მთის დამაკავშირებელი საბაგრო გზა. უნდა გაფართოვდეს საოჯახო სასტუმროების ქსელი.

**E. Basiladze**

**Tourist panorama from the Unagiramountain  
Rezume**

Due to its very interesting location the Unagira mountain is one of the best places in Imereti region for tourism development. The total area of the panoramic space is approximately 1800 square kilometer. The territory is rich with natural and anthropogenic resources, especially with karst caves, ethnographic places and with monuments of cultural heritage. The development of infrastructure is essential in order to include all these resources in tourism business. The fragmented relief in this area greatly contributes construction of ropeways that is the most important. It can connect several attractive points to visit --- the village Chalastavi with the village Meqwena and with the Khvamlı mountain. The old cableway between the town Tkibuli and mountain Rustaveli should be rehabilitated. The network of village-type hotels need to be widened.

ო. ჩხეიძე, ფ. ჯინჯიბაძე, ს. ჩხეიძე

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი



## თანამედროვე რელიეფწარმომქნელი (გეოდინამიკური) პროცესები იმერეთში

*იმერეთის მხარეში თანამედროვე რელიეფწარმომქნელი გეოდინამიკური პროცესები დიდი სირთულით, მრავალფეროვნებითა და დინამიურობით ხასიათდებიან და თანადროულ ეტაპზე რელიეფის გარდაქმნა-მოდელირების საქმეში თვალსაჩინო როლს ასრულებენ. აქედან გამომდინარე მათ შესწავლას ენიჭება როგორც თეორიული, ასევე პრაქტიკული-სამეურნეო (კონსტრუქციული) მნიშვნელობა.*

იმერეთში თანამედროვე გეოდინამიკური პროცესების ხასიათს განსაზღვრავს გეოლოგიურ-მორფოლოგიური პირობები, კლიმატი, ჰიდროქსელი, ნიადაგ-მცენარეული საფარი, ნეოტექტონიკური მოძრაობები, ანთროპოგენის ზემოქმედება და სხვ. აღნიშნული კომპონენტების ერთობლივი მოქმედების რეჟიმი და მიმდინარეობა ხელსაყრელ პირობებს ქმნის გეომორფოლოგიური პროცესების ინტენსიური განვითარებისათვის. მათ გავრცელებაში მკაფიოდ ჩანს სიმაღლებრივი ზონალობის ხასიათი. ამ პროცესების კანონზომიერებათა გავლენა იმ მხრივაცაა საჭირო, რომ რელიეფი მიზნობრივად იქნას გამოყენებული სახალხო მეურნეობაში. არის შემთხვევები, როცა თანამედროვე გეოდინამიკური პროცესების გაუთვალისწინებლობას შედეგად მოსდევს მატერიალური ზარალი და ადამიანთა მსხვერპლიც. ამიტომ იყო, რომ ცალკეული პროცესების და მიყურადლების გამახვილება ჯერ კიდევ XVIII საუკუნეში დაიწყო, XX საუკუნის მეორე ნახევრიდან კი საავტომობილო, სარკინიგზო გზებისა და სხვა საინჟინრო მშენებლობებთან - დაკავშირებით განსაკუთრებით ფართოდ შეიქმნა საჭირო რელიეფზე მოქმედი პროცესების გამოვლინება-შესწავლა. საველე ფაქტობრივი მასალების თანდათანობით შეგროვებით შესაძლებლობა მიეცათ მეცნიერებს დაედგინათ რელიეფწარმომქნელი პროცესების გამოშწვევი მიზეზები და მოეცათ მათი სისტემატიზაცია. აქვე უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ ცალკეული პროცესების განსაზღვრა, მათი ურთიერთკავშირი და რელიეფზე ზემოქმედების ასპექტები



იმდენად განსხვავებულია ერთმანეთისაგან, რომ დღესაც არა  
გვაქვს საყოველთაოდ მიღებული ერთიანი უნიფიცირებული სისტე-  
ტმატიკა. უფრო მეტიც, აზრთა სხვადასხვაობაა არამარტო პროცე-  
სების კლასიფიკაციაში, არამედ თვით პროცესების და აგენტების  
დასახელების საკითხში და ამ პროცესთა მნიშვნელობის გაგებაში.  
მეცნიერთა უმრავლესობას სწორად მიაჩნია, რომ გეომორფოლო-  
გიური პროცესები მხოლოდ ეგზოგენური წარმოშობის არ არის,  
არამედ მასთან ერთად მონაწილეობს ენდოგენურიც, კერძოდ, ნე-  
ოტექტონიკური მოძრაობები. ამ უკანასკნელთა როლი განსაკუთ-  
რებით დიდია ეროზიულ, აკუმულაციურ, კარსტულ და სხვა პრო-  
ცესებზე. ერთ მთლიანობაში თანამედროვე გეოდინამიკური პრო-  
ცესები იმერეთის ტერიტორიაზე დღემდე არავის განუხილავს,  
რადგან მათი სპეციალური კვლევა არავის ჩაუტარებია, მაგრამ  
ცალკეულ პროცესებზე ცნობები გვხვდება გეოლოგიურ და გეო-  
მორფოლოგიურ შრომებში. გეოლოგიურიდან მნიშვნელოვანია ა.  
ჯანელიძის (1940), დ.ჩხეიძის (1959), ი.სალინაძის(1961) და სხვ. გე-  
ომორფოლოგიურიდან: ლ.მარუაშვილის (1941,1954), ნ.ასტახოვის  
(1959), შ.ყიფიანისა და ზ.ტატაშიძის (1962,1963), ზ.ტატაშიძის  
(1959), შ.ყიფიანის (1959), გ.ჩანგაშვილის (1963), ო.ჩხეიძისა  
(1968,1969,2000) და სხვ. შრომები. იმერეთის რთული გეოლოგიუ-  
რი და ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობები მოზაიკურ გამოვლი-  
ნებას პოულობს გეომორფოლოგიურ პროცესებში და, ამ მხრივ, ი-  
მერეთი საქართველოს მასშტაბით ერთ-ერთ ტიპიურად საინტე-  
რესოს წარმოადგენს, რომლის რელიეფის ჩამოყალიბება მიმდინა-  
რეობდა ხანგრძლივი გეოლოგიური პერიოდის მანძილზე, მაგრამ  
რელიეფის გარდაქმნისა და ახალ-ახალი ფორმების ჩასახვა-განვი-  
თარებას ადგილი აქვს დღევანდელ ეტაპზეც აქტიურად მოქმედი  
გეომორფოლოგიური პროცესების: გამოფიტვა, ეროზია, აკუმულა-  
ცია, კარსტული პროცესები, მეწყრული, გრავიტაციული, ღვარცო-  
ფული, ნეოტექტონიკური და ა.შ. მოქმედებით. გამოფიტვა უნი-  
ვერსალური გეომორფოლოგიური პროცესია, რომელიც ყველგან  
მიმდინარეობს. ამ ცნებაში იგულისხმება ამგებელი ქანების დაშ-  
ლა-დაქუცმაცების პროცესი, რომელიც წარმოებს ტემპერატურის

(ფიზიკური გამოფიტვა), წყლის (ქიმიური) და ცოცხალი ორგანიზმების (ბიოლოგიური გამოფიტვა) მოქმედებით. მათ შემდეგ ანთროპოგენური გამოფიტვა (მშენებლობებთან და წიაღისეულის მოპოვებასთან დაკავშირებით ადგილი აქვს ქანების დაშლას). გამოფიტვის მთავარი სახეების (ფიზიკური, ქიმიური, ბიოლოგიური) მოქმედების სარბიელს წარმოადგენს დედამიწის ქერქის ზედაპირული ფენა. მისი ხასიათი უშუალოდ უკავშირდება რელიეფს, ჰიდროლოგიას, ლითოლოგიურ-ტექტონიკურ პირობებს, ჰავას, ნიადაგ-მცენარეულ საფარს, ადამიანთა საქმიანობას და სხვ. ფაქტორებს. იმერეთში ფიზიკური გამოფიტვა განსაკუთრებულ გეომორფოლოგიურ მნიშვნელობას იძენს და ხვამლის მასივების, რაჭისა და მესხეთის ქედების შიშველ ქარაფოვან უბნებში და თხემისპირაზოლში, სადაც გამოფიტვას განიცდის მეტწილად მუქი ფერის მკვრივი პორფირიტები (რაჭის ქედის აღმოსავლეთ ნაწილი, ჩრდილო ოკრიბა), ცარცული კირქვები; მესხეთის ქედზე კი პალეოგენური ვულკანოგენური ტუფოგენური ქანები, ქვიშაქვები. ტუფკონგლომერატები და ა.შ. ფიზიკური გამოფიტვა ფართო ხასიათს იძენს ასევე სამგურალისა და ოკრიბა-არგვეთის კირქვული სერების შიშველ კალთებზე; გოდორას, დოხორას, სათაფლიას, ეწერის, ცხუნკურ-ქვილიშორის და სხვ. კირქვიან მაღლობებსა და მთებზე, ხეობათა შიშველ-ქარაფოვან კალთებსა და წყალგამყოფთა თხემებზე. ამ მხრივ, საყურადღებოა მდ. რიონის ხეობა გუმათსა და ტვიშს შორის, ცხენისწყლის ხეობა გელა ვერსა და სარწყველას მონაკვეთზე, მდ. წყალწითელას კირქვიანი კანიონი, ყვირილასა და მის შენაკადთა კანიონები, ძირულას, ჩხერიმელას, ხანისწყლის, საკრაულას, სულორის წყლისა და მათი შენაკადების ვიწროეროზიულ ხეობათა გაშიშვლებული კალთები. გამოფიტვის პროცესის გეომორფოლოგიურ შედეგს წარმოადგენს ფლატე-გაშიშვლებები, დელუვიური შლეიფები, ქვაყრილები, მცივანას კონუსები და ა.შ. ეს უკანასკნელი, ზოგან მათი სიძველის გამო თხელი ნიადაგ საფარით არის დამაგრებული ადგილზე. მოძრავი გამოფიტული ქვაყრილები მეტწილად ფართო გავრცელებით ხასიათდება ასხის, ხვამლის, ორხვის, ნაქერალას, რაჭის ქედის სამ-

ხრული ქარაფების (განსაკუთრებით მ.ლებეურის კალთებზე) ძირში და სხვა, სადაც მცენარეული საფარი სრულეებით არაა წარმონაქმნებზე), ანდა მეჩხრადაა (ძველნაყარებზე). ზემო დასახელებულ ადგილებში სჭარბობს ფიზიკური გამოფიტვა, რომელიც შეპირობებულია ტემპერატურის მკვეთრი რყევადობით, ჰიფსომეტრიით, ფერდობთა დიდი დახრილობით, ექსპოზიციით, ლითოლოგიური პირობებით (კირქვები, პორფირიტები, დიორიტული პორფირიტები, ბაზალტები, ტემენიტები, მკვრივი ქვიშაქვები, ფურცელა ფიქლები, პალეოგენური ტუფოგენური ქანები და სხვ.), ზედაპირული გაშიშვლებებით, ქანების ნაპრალიანობით. ნაპრალიანობა ყველაზე მეტად დამახასიათებელია პორფირიტების, დიორიტ-პორფირიტებისათვის (ქუთაისში ჭომის და ქვატაფის მასივები), ტემენიტებისათვის (კურსები), გრანიტებისათვის (მდ.რიკოთულას ხეობა) და სხვა, რომელთა შიშველ ქარაფოვანი კალთების ძირზე დაფენილი გამოფიტული ქვა-ლოდნარი და ღორღნალი მასალით წარმოქმნილია მომცრო ბორცვნალი ტალღოვანი რელიეფი. მდ.რიონის (სს.მექვენა-ნამოხვანი), ცხენისწყლის (სს.ღვედი-ოყურეში), ხანისწყლის (მდ.მდ.ქერშავეთასა და ლაშურას შესართავებს შორის), წაბლარის წყლის და საკრაულას ხეობათა კალთებზე. ფიზიკური გამოფიტვა ინტენსიურია ხვამლორხვისა და ნაქერალას სამხრულ ქარაფზე.

ტენიანი კლიმატის გამო იმერეთის მხარეში ქიმიური გამოფიტვა დიდი ინტენსივობით მიმდინარეობს, რის გამოც კირქვულ მასივებზე (ასხი, ხვამლი, რაჭის ქედი, წყალტუბოს ვაკე, ოკრიბა-არგვეთის სერი, ზემო იმერეთის პლატო წარმოქმნილია შრატული ველები, კარსტული ძაბრები, წკვარამები, უვალეები, მღვიმეები და სხვა სახის კარსტული ფორმები. სამხრეთ იმერეთში (პალეოგენურ წყებებზე), კოლხეთის (იმერეთის) ვაკე-დაბლობზე და, საერთოდ, მთისწინეთებში ვითარდება სხვადასხვა სახის და სისქის ნიადაგური საფარი. ბიოლოგიური გამოფიტვა ტყის ხშირი მცენარეული საფარის გამო მეტ აქტიურობას ამჟღავნებს აჭარა-იმერეთის ქედის ჩრდილო კალთებზე და ოკრიბის მთელ ცენტრალურ ნაწილში, რომელიც ქიმიურ გამოფიტვასთან ერთად აძლიერებს ნიადაგური

საბურველის სიმძლავრეს. ხონი-წყალტუბო-ორპირის პარალელურზე გავრცელებული ყვითელმიწები ქიმიური და ბიოლოგიური გამოფიტვის პროდუქტებია, ქიმიური გამოფიტვით წარმოიქმნება ელუვიურ-დელუვიური და ნიადაგური საბურველი, რომელიც თავის მხრივ ქმნის ოპტიმალურ პირობებს დენუდაციისათვის, მეტადრე დამეწყვრისა და, საერთოდ, სხვა გეომორფოლოგიური პროცესებისათვის. ამდენად, გამოფიტვა თავისი სახეებით და დაპაზონით რელიეფის გარდაქმნის და თავისებურ ფორმათა წარმოქმნის ერთ-ერთ აქტიურ ფაქტორად გვევლინება. თანადროულ რელიეფწარმომქმნელ გეომორფოლოგიურ პროცესთა შორის წამყვანი როლი **ეროზიას** ეკუთვნის, რომლის ინტენსივობას განსაზღვრავს ჰიფსომეტრია, რელიეფის დახრილობა, სუბსტრატის ლითოლოგიური აღნაგობა, ჰავა, ნეოტექტონიკური მოძრაობები, მცენარეულობის სიმცირე და სხვ. იმერეთის მთიანი მხარის აზვევბასა და მასთან დაკავშირებული ეროზიის გააქტიურებაზე მიუთითებს ღრმად დანაწევრებული რელიეფი, ხეობათა ფერდობების დიდი დახრილობა, უმეტესად მესხეთის ქედის ფარგლებში, შეფარდებითი სიმაღლეების ზრდა, დენუდაციის მკვეთრი გამოვლინება, ექსპოზიციის უწყვეტი განახლება, ტერასათა ფორმირება, ხეობათა თავისებური განივი პროფილები და სხვა. ხსენებული მიზეზებითაა განპირობებული იმერეთში მთა-ხეობათა რელიეფის ტიპიური ალპური ბუნება.

ადგილის სიმაღლის მატებასთან ერთად დანაწევრების ხარისხი (ვერტიკალური ჩაჭრილობის სიღრმე) მატულობს ქუთაისიდან ჩრდილოეთით, სამხრეთისა და აღმოსავლეთის მიმართულებით. ხვამლ-ორხვის მასივებში კერძოდ, ტვიშის კლდეკარში. რიონის ჩაჭრის სიღრმე 1600-1700 მ შეადგენს, ამდენივეა ჩაჭრის სიდიდე ცხენისწყლის ხეობის ხვამლ-ასხის (სარეწკელას კლდეკარი) გადაკვეთის ზოლში. მდ.ხანისწყლისა და მის შენაკადთა ხეობების ჩაჭრის მაჩვენებლები 700-800 მეტრიდან 1500 მ შუალედში მერყეობენ.

საკმაოდ რთული ეროზიული დანაწევრებით ხასიათდება ოკრიბის ტერიტორია იურული (პორფირიტული) და ცარცული კირ-

ქვების გადაკვეთის უბნებში (საშუალოდ 400-500 მეტრია ხეობათა ვერტიკალური ჩაჭრა). მაგალითად მდ.ლეხი და რის პორფირიტების აგებული ხეობა ქვემო დინებაში, ს.ჭაშლეთთან, გუგუნიის (883) თხემიდან ჩაჭრილია 633 მეტრ სიღრმეზე. დაკარსტის გამო ზედაპირული ეროზია რამდენადმე შეზღუდულია იმერეთის - კირქველ მასივებზე გარდა "ტრანზიტულმდინარეთა" კანიონებისა, სამაგიეროდ, აქტიურია მიწისქვეშა წყლების მოქმედება და მთელ რიგ უბნებში გამომუშავებულია კარსტული გვირაბები. ასე, - რომ იმერეთის მთიან ზოლში დადებითი ნეოტექტონიკური მოძრაობის ფონზე ადგილი აქვს ინტენსიურ სიღრმით ეროზიას და ხეობათა გაღრმავებას, ხოლო კოლხეთის (რიონ-ცხენისწყალ-ყვირილას) დაბლობზე წამყვანია გვერდითი ეროზია, ხეობათა კალაპოტების გაგანიერება, ჭალების გამორეცხვა.

მოქმედი გეოდინამიკური პროცესებიდან მნიშვნელოვანია **აკუმულაციური** პროცესები, რომლის გეომორფოლოგიურ შედეგს წარმოადგენს ალუვიური ჭალები, ტერასები, კუნძულები, ნარიონალები, აკუმულაციურ-ალუვიური ზვინულები, გამოზიდვის კონუსები. მდინარეული მასალის აკუმულაციაა წარმოქმნილი იმერეთის დაბლობი. საინტერესოა რიონ-ცხენისწყლისა და ყვირილას მსხვილი გამოზიდვის კონუსები, აღნიშნული კონუსების ფორმირებაში მნიშვნელოვანი როლი რეგრესიულმა აკუმულაციამ შეასრულა.

გეოდინამიკური რელიეფწარმოქმნელი პროცესებიდან განსაკუთრებით აქტიური და მობილურ-დინამიურია **მეწყრული** პროცესები. ქუთაისში მეწყრების მოქმედებით დარღვეულია გოჭოურას, ჭომის, მწვანე ყვავილასა და საღორიის ტერასების მორფოლოგია. მეწყრები ძლიერი ინტენსივობითაა გამოვლინებული ზემო იმერეთის პლატოზე. ჩრდილო-დასავლეთ იმერეთში, სამხრეთ იმერეთის მთისწინეთში (სს.ბაგინეთი-ბაბოთი-სადემეტრაო, ოზჩა-სვირი და სხვ.) და სხვა მრავალ უბანში. მეწყრული პროცესები ყველაზე უფრო ფართო არეალით არის გავრცელებული იმერეთში. ისინი ყველაზე აქტიურად მონაწილეობენ თანამედროვე რელიეფის გარდაქმნაში და თანაც დიდ ზიანს აყენებენ სახალხო მე-



ურნეობაში ვარგის მიწის ფონდს.

თანამედროვე გეოდინამიკურ პროცესებს მიეკუთვნება **ღვარცოფები**. ღვარცოფული რელიეფის ფორმებიდან ტიპიური გამოზიდვის კონუსებია, რომლებიც მშრალი ხევების დაბოლოებებზე - და მუდმივნაკადთა შესართავებში გვხვდებიან. იმერეთში გამოიყოფა ღვარცოფების გავრცელების ორი რაიონი: I.სელური ღვარების მნიშვნელოვანი ინტენსივობით გამოვლინების რაიონი, რომელიც მოიცავს ჩრდილო-დასავლეთ იმერეთს მდ.ცხენისწყლის ხეობიდან მ.ვაშლარამდე და მდ.ყვირილას აუზის ზემოდინებას. II. სელური ღვარების საშუალო ინტენსივობის გამოვლინების რაიონი, მოიცავს იმერეთის ტერიტორიის ყველაზე მეტ ნაწილს, კერძოდ წყალტუბოს ვაკის ცენტრალურ ზოლს, ოკრიბის ჩრდილო ზოლის გამოკლებით, ზემო იმერეთის მთისწინეთსა და მესხეთის ქედის ჩრდილო ფერდობს.

**კლდეზავები** ითვლებიან რელიეფწარმომქმნელ თანადროულ პროცესად. კლდეზავები გვხვდება,მდ.მდ.ყვირილას, ჩიხურას, ხანისწყლის, ქერშავეთას, წაბლარისწყლის, ჩხერიმელასა და სხვათა ხეობების მკვრივი ქანებით აგებულ უბნებში, რომლებსაც მორფოლოგიურად შეესატყვისება 3-4 მეტრიდან დაწყებული რამდენიმე ათეული მეტრის შეფარდებითი სიმაღლის ბორცვები და სერები.

თანამედროვე გეოდინამიკური პროცესებიდან ენდოგენური ძალების გამოვლინებას წარმოადგენს **ნეოტექტონიკური მოძრაობები**. ისინი გამოხატულია დიფერენცირებული სახით აზევებით ან დაძირვით. აზევებას უკავშირდება ეროზიული პროცესებისა და ეროზიული დანაწევრების ზრდა (შესაბამისად ყალიბდება ეროზიული რელიეფის ფორმები), დაძირვას კი აკუმულაციური პროცესები და შესატყვისი რელიეფის - აკუმულაციური ტერასების ფორმირება, გამოზიდვის კონუსების წარმოქმნა, და, ფაქტიურად, ტერასების ფორმირება, აღნიშნულიდან გამომდინარე იმერეთის თანამედროვე რელიეფი ჩამოყალიბდა სარმატული საუკუნის შემდეგ მიმდინარე ნეოტექტონიკური მოძრაობებისა და ეგზოგენური რელიეფწარმომქმნელი პროცესების ერთობლივი შერ-



წყმული მოქმედებით. ყველაზე თვალსაჩინოდ ნეოტექტონიკური მოძრაობები განაპირობებენ გამოზიდვის კონუსების შექმნას და სიღრმითი ეროზიის გაძლიერებას. გამოზიდვის კონუსების გავრცელების ერთ კონკრეტულ უბნად ამჯერად შეიძლება დავასახელოთ რიონის ხეობა სს. ოფურჩხეთ-მექვენისა და ტვიშის ფარგლებში, ხოლო სიღრმითი ეროზიის მომეტებული გაძლიერების მაგალითად ქ. ქუთაისში მდ. რიონის კალაპოტი ჯაჭვის ხიდისა და თეთრი ხიდის მონაკვეთზე, სადაც კირქვიან კალაპოტში ალუვიონი მთლიანად ირეცხება. ანალოგიური სურათია მდ. წყალწითელას კანიონის კალაპოტში გოდოგნის ხიდს ზემოთ გელათის ტაფობამდე.

ასე რომ იმერეთის მხარეში ზემოდასახელებული გეოდინამიკური პროცესები დიდი სირთულით, მრავალფეროვნებითა და დინამიურობით ხასიათდებიან და თანადროულ ეტაპზე რელიეფის გარდაქმნა-მოდელირების საქმეში თვალსაჩინო როლს ასრულებენ. აქედან გამომდინარე მათ შესწავლას ენიჭება როგორც თეორიული, ასევე პრაქტიკული-სამეურნეო (კონსტრუქციული) მნიშვნელობა.

#### ლიტერატურა:

1. დევდარიანი გ. ოკრიბის ფიზიკურ-გეოგრაფიული დახასიათებისათვის. თსუ შრ. ტ.90,1963.
2. მარუაშვილი ლ. მეწყრები და კლდეზვავები საქართველოში. ჟურნ. "მეცნიერება და ტექნიკა"12,1954.
3. ტატაშიძე ზ. მეწყრები და კლდეზვავები მდ. ყვირილას აუზში საქ. გეოგრ. საზ. შრ., ტ.3,1958.
4. ჩხეიძე ო. თანამედროვე გეომორფოლოგიური პროცესები და რელიეფის ზოგიერთი ფორმა რიონ-ცხენისწყლის მდინარეთაშუეთში. ქუთ. პედ. ინსტ. შრომები, ტ.31,1968.
5. წერეთელი ე., გობეჯიშვილი რ. და სხვა. ბუნებრივი ეგზოდინამიკური კატასტროფების მდგომარეობა და ანთროპოგენური დატვირთვის საშიშროების რისკი საქართველოში;მათი მართვის ოპტიმიზაციის ქმედებები. გეოგრაფიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული.14(83) გვ.50-63.
6. Джанелидзе А.И. Геологические наблюдения в Окрибе, Тб.,1940,ст.408.

ო. ჩხეიძე, ფ. ჯინჯიხაძე, ს. ჩხეიძე  
თანამედროვე რელიეფწარმომქნელი (გეოდინამიკური)  
პროცესები იმერეთში  
რეზიუმე

იმერეთში თანამედროვე გეოდინამიკური პროცესების ხასიათს განსაზღვრავს გეოლოგიურ-გეომორფოლოგიური პირობები, კლიმატი, ჰიდროქსელი, ნიადაგ-მცენარეული საფარი, ნეოტექტონიკური მოძრაობები, ანთროპოგენის ზემოქმედება. შრომაში თანამედროვე რელიეფწარმომქნელი პროცესებიდან გაანალიზებულია გამოფიტვის სახეები, ეროზია, აკუმულაცია, კარსტული პროცესები, მეწყრული, ღვარცოფული, ნეოტექტონიკური. ფიზიკური გამოფიტვით წარმოქმნილი ქვა-ლოდნარი მასალა ხვამლის და ორხვი-ნაქერალას სამხრეთ კალთების ძირში ქმნის რელიეფის მობილურ ფორმებს (მცვივანა კონუსებს, გამოზიდვის კონუსებს, დელუვიურ შლეიფებს). ამავე ზოლში გვხვდება გრავიტაციული ფორმები კლდეზვავების სახით. ქიმიური გამოფიტვა და საერთოდ, დაკარსტით არის წარმოქმნილი წყალტუბოს მღვიმური სისიტემა, ოკრიბისა და ზემო იმერეთის პლატოს კარსტული რელიეფის ფორმები (მღვიმეები, ჭები, კარსტული ძაბრები, უვალეები და პოლიები, კარრული ფორმები და სხვ.). ეროზიული პროცესები ნეოტექტონიკური მოძრაობების ფონზე განაპირობებენ იმერეთის მდინარეთა ხეობების გადაღრმავებას, ფერდობების და წყალგამყოფების ჩამორეცხვა-ნიველირებას. აკუმულაციური პროცესები იწვევენ რიონ-ცხენისწყალ-ყვირილას და სხვა მდინარეთა კალაპოტებში ალუვიური კუნძულების და ჭალების წარმოქმნას. აკუმულაციური პროცესებითაა წარმოქმნილი რიონ-ცხენისწყლისა და ყვირილას მძლავრი გამოზიდვის კონუსები. ღვარცოფული გამოზიდვის კონუსების ტალღოვანი რელიეფის ფორმები ფართოდაა გავრცელებული ხვამლ-რაჭის ქედის სამხრეთ ფერდობის ძირში, ბუმბუას ხიდი-გორდის მონაკვეთზე, ლებურის მთის სამხრეთ კალთაზე და სხვა უზნებშიც. მეწყრული რელიეფის ფორმები ფართოდ ვრცელდება სამხრეთ იმერეთის მთისწინეთში, შიდა ოკრიბაში, ოყურემ-ღვედის მონაკვეთზე (მდ. ცხენისწყლის ხეობა), ოფურჩხეთ-მექვენის მონაკვეთზე (რიონის ხეობა), ჭიათურის პლატოზე და ა.შ. ასე, რომ ზემოაღნიშნული რელიეფწარმომქნელი პროცესები დიდი სირთულით, მრავალფეროვნებით და დინამიურობით ხასიათდებიან, რომლებიც თვალსაჩინო როლს ასრულებენ იმერეთის რელიეფის მოდელირებაში.



O. Chkheidze, P. Jinjikhadze, S. Chkheidze  
Present Relief-developing (Geodynamic) Processes in Imereti



Summary

In Imereti the nature of present geodynamic processes is determined by geological and geomorphological conditions, climate, hydronet, soil and plant blanket, neotectonic movements and anthropogen effect. The paper introduces the analysis of the types of attenuation of the present relief-developing (Geodynamic) processes.

The stone-rock stuff developed by selsneotectonic physical attenuation at the bottom of the southern slopes of Khvamli and Orkhvi-Nakerala create mobile forms (gravitation fans, alluvial fans, deluvial floats). In this part of the area we can find gravitation forms presented in the shape of rockavalanche. Chemical attenuation and generally Tskaltubo cave system, the cave-type relief forms of the heights of Okriba and Upper Imereti (caves, wells, carst funnels, uvulas, and poljes, carr lands and others), erosion processes on the background of neotectonic movements cause deepening the gorges of the rivers in Imereti, denuding the slopes and waterdividers. Due to accumulation processes alluvial islands and boskets have been created in the water-beds of the Rioni- Tskenistskali -kvirila and other rivers.

Accumulation processes have also caused the huge alluvial fans of Rioni-Tskenistskali -kvirila. Wavy relief forms of torrential alluvial fans are widely spread at the bottom of southern declensions of the Khvamli- Racha Range, in the area of Bumbua Khidigordi, on the southern slope of Libeuri mountain and in other areas. The avalanche type relief forms are also introduced in Southern Imereti Mtistsineti and Inner Okriba, on the territory of Okureshi-Ghvedi (the gorge of Tskenistskali), Chiatura height and etc.

Based on the research we can conclude that the above mentioned relief forming processes are characterized by complexity, variety and dynamic nature which play a great role in formation of the Imereti relief.

**ე. გორდაძე, ც. ჟორჯოლიანი**

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

## **საქართველოში ადვენტირებული ცხოველები**

ცხოველთა ტრანსლოკაცია ხდება იმიგრანტების აქტიური ან შემთხვევითი შემოსვლით. ტრანსლოკაცია ძირითადად ხდება ინვაზიური სახეებით, რომლებიც უარყოფითად მოქმედებს აბორიგენულ ფორმებზე. განსახლებას ყოველთვის არ მოყვება გეოგრაფიული გავრცელება. საქართველოში ადვენტირებული 55 სახის ცხოველიდან მხოლოდ ერთმა — ქამელეონმა ვერ განიცადა გეოგრაფიული გავრცელება.

ცხოველთა ტრანსლოკაციის ერთ-ერთი გზა არის მათი შემთხვევითი შემოსვლა ამა თუ იმ ტერიტორიაზე. ასეთ ცხოველებს გზადმოყოლილ ანუ ადვენტირებულ ცხოველებს უწოდებენ. ადვენტირებული ცხოველების შემოსახლების ორი გზა არსებობს, აქტიური და პასიური.

აქტიური განსახლება ხდება ცხოველის მიერ თავისი სამომრავო ორგანოებით: აქტიური განსახლების უნარი სხვადასხვა ცხოველებში განსხვავებულია. ზღვის ცხოველებში აქტიური განსახლება უფრო მკვეთრადაა გამოხატული ვეშაპისნაირებსა და ზოგიერთ ზვიგენებში. ხოლო შედარებით უმნიშვნელოდ სელაპებში, სირენებში, თავფეხიან მოლუსკებსა და სხვა ცხოველებში.

მტკნარი წყლის ცხოველებს შორის აქტიური განსახლების უნარი შესწევთ თევზებს, მოკლემუცლიან და გრძელმუცლიან კიბოებს, წყლის კუებს, წყლის მეორეულ ძუძუმწოვრებს, წყლის მწერებს და სხვა.

აქტიური განსახლების უნარი კარგადაა გამოხატული ხმელეთის ძუძუმწოვრებსა და ფრინველებში. ხმელეთის ცხოველებს დიდი მანძილების გადალახვაში ხელს უწყობს სწრაფად სირბილის ან ფრენის უნარი.

ცხოველთა აქტიური განსახლება ყოველდღიური მოვლენაა და იგი დღესაც ხდება ჩვენს თვალწინ. ყველა ცხოველი ცდილობს

განსახლდეს და თავისი არეალი გაიფართოვოს, თუკი ჰაბიტატი აძლევს ამის საშუალებას.



პასიური განსახლების შემთხვევაში ცხოველის განსახლება ხდება მისდა უნებურად, გარემო ფაქტორთა ზეგავლენით: ქარით, წყლის დინებით, მცურავი მორებითა და მცურავი კკუნძულებით, ცხოველებით, სატრანსპორტო საშუალებებით და სხვა.

ცხოველთა განსახლებას ყოველთვის არ მოყვება გეოგრაფიული გავრცელება. იმისათვის, რომ განსახლებას გეოგრაფიული გავრცელება მოყვეს, საჭიროა რამდენიმე პირობა:

1. განსახლებულ ცხოველს უნდა დახვდეს შესაფერისი ჰაბიტატი, ყველა ძირითადი კომპონენტებით.

2. უნდა მოხდეს იმიგრანტის აბორიგენულ ფორმებთან კოჰაბიტაცია ან იმიგრანტმა უნდა განდევნოს აბორიგენული ფორმები. მაგ. საქართველოში რუხი ვირთაგვას შემოსვლამ, განდევნა შავი ვირთაგვა და დაიკავა მისი ჰაბიტატი.

3. აუცილებელია განსახლდეს წყვილი (დედალ-მამალი) ინდივიდი ან უკიდურეს შემთხვევაში მაკე მდედრი. მაგ. საქართველოში 1936-39 წლებში ციტრუსების სარგავ მასალას აფრიკიდან შემოყვა ქამელეონები. მაგრამ მათ შემოსვლას გეოგრაფიული გავრცელება არ მოყოლია, რადგან განსახლდა ერთეული ინდივიდი სხვადასხვა წლებში. მიუხედავად სასურველ ჰაბიტატში მოხვედრისა.

საყურადღებოა, რომ ოკეანური კუნძულების მეტი ნაწილის ცხოველთა მოსახლეობა დაკომპლექტებულია პასიური განსახლების გზით.

საქართველოს ფაუნაში ახალი ელემენტების მოხვედრა უძველესი დროიდან ხდებოდა. ამიტომ ამა-თუ იმ ქვეყნის ფაუნის ცვლა ისტორიულ-გეოლოგიურ პროცესებს უნდა დაუკავშიროთ.

საქართველოს ფაუნის ცვლა წარსულ გეოლოგიური პერიოდიდან იწყება. როდესაც საქართველოს ტერიტორია ახალევქსინური ტბით იყო დაფარული. ტბა რომელსაც სიდიდის გამო ზღვად მოიხსენიებენ, მტკნარი წყლის ფორმებით იყო დასახლებული. მიწისძვრის შედეგად დღევანდელი ბოსფორის სტრუქტით ახალევ-



ქსინური ტბა ხმელთაშუა ზღვას შეუერთდა. ხმელთაშუა ზღვა უფრო მაღლა მდებარეობს ვიდრე ახალევქსინური ზღვა, ამიტომ ხმელთაშუა ზღვიდან ბოსფორის სრუტით გიგანტური ჩანჩქერი გადმოედინა ახალევქსინურ ტბაში, რამაც გამოიწვია მარილიანობის სწრაფი მომატება და მტკნარი წყლის, ფორმების შეცვლა, ოკეანური-მარილიანი წყლის ფორმებით. ბოსფორის სრუტით შავ ზღვაში დღესაც ხდება ხმელთაშუა ზღვის წყლის გადმოსვლა. შავი ზღვა ყველაზე ახალგაზრდა ზღვაა, მისი ასაკი 8 000 წელს ითვლის. შავი ზღვის ფაუნა დღესაც იცვლება ხმელთაშუა ზღვის ფორმებით. შავი ზღვის ყველაზე ახალგაზრდა იმიგრანტებს წარმოადგენენ: მედუზები, ფირფიტლაცუჭიანი და თავფეხიანი მოლუსკები, კანკლიანები, ზღვის თევზები: თინუსი, შიმშერი, გველთევზი და სხვა. მუცელფეხიანი მოლუსკი რაპანა, ნაწლავდრუიანებიდან – ბეროე და სხვა. შავი ზღვის ფაუნის 80 % ხმელთაშუა ზღვის მკვიდრია.

განსაკუთრებით დიდი ცვლილებები განიცადა საქართველოს ფაუნამ მას შემდეგ რაც ტექნოგენური ფაქტორი გახდა მძლავრი, რამაც ხელი შეუწყო ცხოველთა პასიურ განსახლებას.

საქართველოში ადვენტირებულია 5 სახის ნაწლავდრუიანი, 3 სახის რბილტანიანი, 39 სახის მწერი, 3 სახის თევზი, 2 სახის ქვეწარმავალი, 2 სახის ფრინველი და 4 სახის მუძუმწოვარი.

თითქმის ყველა მათგანი უარყოფით გავლენას ახდენს საქართველოს ფლორასა და ფაუნაზე, ამიტომ ბევრი მათგანი საკარანტინო ფორმად ითვლება.

საქართველოში ადვენტირებული ცხოველები



ჯგუფები	№	ადვენტირებული სახეები	გავრცელდა თუ არა	
1	2	3	4	
ნაწლავლრუიანები	1	ბეროვ	+	
	2	ძირპირა	+	
	3	ზღვის ლამბაქი	+	
	4	ცხენის აქტინია	+	
	5	სამანწკა	+	
	რბილტანიანები	6	მიდია	+
		7	რაპანა	+
მწერები	8	ციტრუსოვანთა ფარიანა	+	
	9	ვაზის ფილოქსერა	+	
	10	იაპონური ჩრჩილის ფარიანა	+	
	11	კალიფორნიული ფარიანა	+	
	12	თუთის ფრთათეთრა	+	
	13	იაპონური ცვილისებური ფარიანა	+	
	14	კომსტოკის ცრუფარიანა	+	
	15	ციტრუსების ფქვილისებური ცრუფარიანა	+	
	16	ხაოიანი ფრთათეთრა	+	
	17	კარტოფილის ჩრჩილი	+	
	18	ციტრუსების მენადმე ჩრჩილი	+	
	19	ციტრუსების შავი ფრთათეთრა	+	

20	დელტისმაგვარი ცრუფარიანა	+
21	იაპონური ცრუფარიანა	+
22	ფესვის ცრუფარიანა	+
23	ციტრუსების აღმოსავლური ფარიანა	+
24	ორქიდის ფარიანა	+
25	ფიფქისებური პატარა ფარიანა	+
26	ქაცვიანი ფარიანა	+
27	არაუკარიას ფარიანა	+
28	პალმის ფქვილისებური ფარიანა	+
29	აზიური ნაირჭამია მემარცვლია	+
30	თეთარშინი ხოჭო	+
31	იაპონური ხოჭო	+
32	ტრივოდერმა სტერნალე	+
33	ტროგოდერმა ლონგისეტოზუმი	+
34	კაკაოს ცრუქერქიჭამია	+
35	ყავის ქერქიჭამია	+
36	აღმოსავლური ნაყოფის ბუზი	+
37	ვაშლის ბუზი	+
38	ტომატის ჩრჩილი	+
39	კარტოფილის კოსტარიკული ჩრჩილი	+
40	თესლის ალურა	+
41	ლაქის ცრუფარიანა	+
42	არაფარდი პარკიმხვევია	+

	43	ნაძვის დიდი ლაფანჯამია	+
	44	კოლორადოს ხოჭო	+
თევზები	45	შავი ზღვის თინუსი	+
	46	შიშშერი	+
	47	მდინარის გველთევზი	+
ქვეწარმავლები	48	კასპიის თითტიტველი გე- კონი	+
	49	ქამელეონი	-
ფრინველები	50	საყელოიანი გვრიტი	+
	51	მცინარა გვრიტი	+
ძუძუმწოვრები	52	მიწის კურდღელი	+
	53	მაჩვზღარბი	+
	54	წითელი მგელი	+
	55	რუხი ვირთაგვა	+

### ლიტერატურა

1. კოპალიანი ნ., შესავალი კონსერვაციულ ბიოლოგიაში, 2002 წ.
2. ჟორჯოლიანი ც., გორდაძე ე., ბუნების დაცვა და ბუნებრივი რესურსების რაციონალური გამოყენება, 2010 წ.
3. ჟორჯოლიანი ც., გორდაძე ე., კონსერვაციული ბიოლოგია და საქართველოს დაცული ტერიტორიები., 2013 წ.
4. აფთარი, გიურზა და სხვები., სახეობათა კონსერვაციის სამეცნიერო ცენტრი, თბილისი, 2002.
5. w w w. fauna - flora. ozg.

ე. გორდაძე, ც. ჯორჯოლიანი  
საქართველოში ადვენტირებული ცხოველები  
რეზიუმე

ცხოველთა ტრანსლოკაციის ერთ-ერთი გზა არის მათი შემთხვევითი შემოსვლა ამა თუ იმ ტერიტორიაზე. საქართველოს ფაუნაში ახალი ელემენტების მოხვედრა უძველესი დროიდან ხდებოდა და დღესაც ხდება. საქართველოში ადვენტირებულია 5 სახის ნაწლავღრუიანი; 3 სახის რბილტანიანი, 39 სახის მწერი, 3 სახის თევზი, 2 სახის ქვეწარმავალი, 2 სახის ფრინველი და 4 სახის ძუძუმწოვარი. თითქმის ყველა მათგანი უარყოფით გავლენას ახდენს საქართველოს ფლორისა და ფაუნის აბორიგენულ სახეებზე.

**E. Gordadze Ts. Jhorjholiani;**  
**Adventitious Animals in Georgia**  
**Summary**

One way of animals translocation is their random entering into territory. New elements appeared in Georgian fauna from the ancient times and still do. There are 5 species of coelenterates, 3 species of mollusca, 39 species of insects, 3 species of fish, 2 species of reptiles, 2 species of birds and 4 species of mammals which are adventitious for Georgia. Almost all of them have a negative influence on aboriginal flora and fauna of Georgia.



## საქართველოში აკლიმატიზებული და რეაკლიმატიზებული ცხოველები

ლიტერატურული, ისტორიული და არქეოლოგიური წყაროები შეიცავს უხვ მასალას საქართველოში ცხოველთა აკლიმატიზაციის ისტორიის შესახებ. აკლიმატიზაციას ახდენენ როგორც სამეურნეო, ისე დეკორაციული მიზნით. ცხოველთა აკლიმატიზაციამდე საჭიროა კარგად იქნას შესწავლილი ის შედეგები რაც შეიძლება აკლიმატიზაციას მოჰყვეს. განსაკუთრებით დადებითი შედეგები მოგვცა თევზების აკლიმატიზაციამ. როგორც მალარის დამღვვის საქმეში (გამბუზია), ისე სამეურნეო თვალსაზრისით. მაგრამ ზოგიერთი სახის ძუძუმწოვრის (ენოტისებური ძაღლი და ალტაური ციყვი) აკლიმატიზაციამ დადებითი შედეგები ვერ მოგვცა.

ამა თუ იმ ქვეყნის ტერიტორიაზე უცხო ორგანიზმების ხელოვნურად გადატანას დიდი ხნის ისტორია აქვს. ისტორიული, არქეოლოგიურ და ლიტერატურულ წყაროებში ჩვენ ვხვდებით უხვად გაბნეულ მასალას მცენარეთა თუ ცხოველთა რეკონსტრუქციის შესახებ.

ცოცხალ ორგანიზმთა აკლიმატიზაციას ახდენს ადამიანი, რითაც იგი გავლენას ახდენს ფაუნის შემადგენლობაზე. საქართველოში დღეისათვის აკლიმატიზებულია: მწერების 5, თევზების 7, ფრინველების 7 და ძუძუმწოვრების 7 სახე.

ამათგან მწერების, თევზების და ფრინველების აკლიმატიზაციას რაიმე უარყოფითი შედეგები არ გამოუწვევია, მაგრამ ძუძუმწოვრების ზოგი სახის აკლიმატიზაციამ გამოიღო უარყოფითი შედეგები.

დადებითად დამთავრდა: ნუტრიას, ჯიხვის, კავკასიური ჯიხვის და ჯეირანის აკლიმატიზაცია.

მაგრამ უარყოფითი შედეგები გამოიღო ენოტისებური ძაღლის და ალტაური ციყვის აკლიმატიზაციამ.

კლასი	№	სახე	შედეგი
1	2	3	4
მწერები	1	თუთიის აბრეშუმმხვევია -	+
	2	როდოლია -----	+
	3	კრიპტოლემუსი -----	+
	4	ლინდორუსი -----	+
	5	დიდი რიზოფაგესი -----	+
თევზები	6	გამბუზია -----	+
	7	ცისარტყელა კალმახი ----	+
	8	ევროპული ჭაფალა----	+
	9	ლადოგური რიპუსი -----	+
	10	ლაგოგური სიგი -----	+
	11	თეთრი ამური -----	+
ფრინველები	12	სქელშებლა -----	+
	13	რუხი ასტრილდი -----	+
	14	სენეგალური ასტრილდი -	+
	15	ციცარი -----	+
	16	ინდაური -----	+
ძუძუმწოვრები	17	სირაქლემა -----	+
	18	ალტაური ციყვი -----	-
	19	ნუტრია -----	+
	20	ენოტისებური ძაღლი ----	—
	21	კავკასიური ჯიხვი -----	+
	22	ჩვეულებრივი ჯიხვი ----	+
	23	ჯეირანი -----	+

#### ლიტერატურა

1. ალექსიძე გ, მავნე და სასარგებლო მწერები, 1980 წ.
2. ჟორჟოლიანი ც., გორდაძე ე., ბუნების დაცვა და ბუნებრივი რესურსების რაციონალური გამოყენება, 2010 წ.
3. ჟორჟოლიანი ც., გორდაძე ე., კონსერვაციული ბიოლოგია და საქართველოს დაცული ტერიტორიები, 2013 წ.



ც. ჟორჯოლიანი, ე. გორდაძე

საქართველოში აკლიმატიზებული და რეაკლიმატიზებული ცხოველები  
რეზიუმე

აკლიმატიზაცია ანუ უცხო სახეების გადაყვანა ამა თუ იმ ტერიტორიაზე იძლევა დადებით ან უარყოფით შედეგებს. დღეისათვის საქართველოში აკლიმატიზებულია 23 სახის ცხოველი, ამათგან: მწერების ხუთი, თევზების შვიდი, ფრინველების ხუთი და პუპუმწოვრების ექვსი სახე. აკლიმატიზაციის ორი შემთხვევის გარდა (ალტაური ციყვი და ენოტისებური ძაღლი), აკლიმატიზაციამ დადებითი შედეგები გამოიღო.

**Ts. Jhorjholiani, E. Gordadze**  
**Animals Acclimatized and Reacclimatized in Georgia**  
**Summary**

Acclimatization or transferring strange species to certain territory may have negative or positive results. Today 23 species are acclimatized in Georgia: 5 species of insects, 7 species of fish, 5 species of birds and 6 species of mammals. Acclimatization has had a positive result except two cases (Altai Squirrel and Raccoon Dog)

## Mn-ის გავლენა ბოსტნეულ მცენარეებში მორფოლოგიურ ნიშან-თვისებებზე

*შესწავლილია: ბოსტნეულ მცენარეებში (ქინძი(Coreandrum), ოხრახუმი (Petroselinum crispum Mill), წიწაკა(Capsikum annum L.), პომიდორი ( Lycopersicum esculantum Mill) მანგანუმის გავლენა ფესვისა და ღეროს ზრდაზე , ფოთლების რაოდენობაზე. კალიუმ პერმანგანატის 0,02%-იანი ხსნარით, თესვების თესვის წინა დამუშავებამ საკვლევი მცენარეებიდან ყველაზე დადებითად იმოქმედა წიწაკას, შემდეგ ოხრახუმის და პომიდორის შესწავლილ მორფოლოგიურ ნიშან-თვისებებზე, ქინძისათვის მანგანუმი ნაკლებად ეფექტური გამოდგა.*

მიკროელემენტები აუცილებელია ცოცხალ ორგანიზმებში ნივთიერებათა ცვლის ნორმალური პროცესებისათვის, ისინი დაკავშირებულია ვიტამინებთან, ჰორმონებთან, ფერმენტებთან, ამიტომ მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ ორგანიზმთა ზრდა-განვითარებაში.

მიკროელემენტების წყაროა ნიადაგში დედა-ქანის ქიმიური ელემენტები, ასევე გაზები, მეტეორიტული ნალექები, კვამლი, ვულკანები.მიკროელემენტები გვხვდება ნიადაგის მაგარი ფაზის ნაწილაკებში და ზედაპირულ კოლოიდებში.ნიადაგში მიკროელემენტების შემცველობა ვეგეტაციის პერიდში დინამიკურია, მაგ მანგანუმის, სპილენძის, და რკინის შემცველობა უდიდესი რაოდენობით არის გაზაფხულზე, როდესაც ტენი დიდი რაოდენობითაა და ანაერობული პროცესები მიმდინარეობს. ზაფხულის დასაწყისში ამ ელემენტთა მცენარისათვის შესათვისებელი ფორმა მცირდება. სხვადასხვა ტიპის ნიადაგებში მიკროელემენტების შემცველობა განსხვავებულია, მაგ თუთია გროვდება მდელო და ლებიან ეწეროვან ნიადაგებში, მუქ ეწეროვან ნიადაგებში კი უმცირესი რაოდენობითაა, სპილენძი გროვდება მორწყუ და ლებიან ნიადაგებზე, კობალტს არ ახასიათებს დიფერენციაცია ნიადაგის ტიპების მიხედვით. მანგანუმის და მოლიბდენის შემცველობა ნიადაგის ღრმა ფენებში მცირდება (1, 3).

მცენარისათვის მიკროელემენტების მიწოდება მიკროსასუქე-

ბის სახით აუმჯობესებს მის ზრდა-განვითარებას, ადიდებს საკვლევას, მაგრამ მიკროელემენტები განსხვავებული მქდებენ სხვადასხვა სახეობის (ჯიშების) მცენარეზე, უფრო მეტიც ერთი და იგივე მიკროელემენტი განსხვავებულ გავლენას ახდენს ერთი და იგივე მცენარეზე ვეგეტაციის სხვადასხვა ფაზაში, ამიტომ აუცილებელია მცენარისათვის საჭირო მიკროელემენტების ზუსტი დოზის დადგენა ნიადაგების ტიპების მიხედვით. მცენარეს მიკროელემენტები შეიძლება მივაწოდოთ მაშინ, როდესაც მათი რაოდენობა არ აჭარბებს გარკვეულ ნიშნულს, მაგ Mn - 40,0 Mo -0,20, Co-1,5 Zn -0,3, B -0,5მგ/კგ-ში(2).

მიკროელემენტები მცენარეს შეიძლება მიეწოდოს სამი ხერხით: 1) ფესვთა სისტემით ნიადაგში სასუქების შეტანით, 2) ფოთლებზე სუსტი ხსნარის შესხურებით, 3) თესლების თესვისწინა და მუშავებით მიკროელემენტთა მარილების წყალხსნარებში (7).

ჩვენ შევისწავლეთ მანგანუმის გავლენა ბოსტნეულ მცენარეთა მორფოლოგიურ ნიშან-თვისებებზე.

ბოსტნეული მცენარეები მნიშვნელოვანი საკვები პროდუქტია, იგი გამოიყენება უმად, მოხარშული, შემწვარი, მწნილად, ჩირად, საკმაზ-სანელებლად, სამკურნალოდ. უძველესი დროიდან ექიმები ბევრ დაავადებას მკურნალობდნენ ბოსტნეულით, მაგ. ბოლოკის წვენს იყენებდნენ საჭმლის მომწელებელი სისტემის მოქმედების ხელშემწყობ საშუალებად, სურავანდისა და შარდის ბუშტში კენჭის გაჩენის საწინააღმდეგოდ, წიწმატს - სისხლის გამწმენდად და ტუბერკულოზის საწინააღმდეგოდ. კომბოსტოს - ჭრილობების შესახორცებლად და ა.შ.

ბოსტნეული შეიცავს: ორგანულ მუავებს, ვიტამინებს, არომატულ და მთრიმლავ ნივთიერებებს, ცილებს, წყალს და სხვა ბიოლოგიურად აქტიურ ნივთიერებებს, ბოსტნეულის მიღების ნორმა დღე-ღამეში 300-400 გრამია.

მანგანუმი მნიშვნელოვანი მიკროელემენტია, იგი შედის ფერმენტების (ლაქტაზა მალაკონზიმების) შედგენილობაში, ადიდებს პეროქსიდაზს და ინვერტაზას აქტივობას, მონაწილეობს ფოტოსინთეზის პროცესში, კერძოდ წყლის ფოტოლიზში და სუნ-



თქვაში. მანგანუმი ნიადაგში გვხვდება ორი, სამი და ოთხჯერ ტოვანი ნაერთების სახით მცენარისათვის მისაწვდომია მხოლოდ ორვალენტოვანი ნაერთები (4, 5).

ექსპერიმენტებით დადგენილია, რომ მანგანუმის დეფიციტის დროს ფერხდება ან საერთოდ ჩერდება მცენარის ზრდა, ვითარდება ქლოროზი, პომიდორში ფოთლები არის ღია მწვანე ფერის შემდეგ კი ყვითლდება, ფოთლების გაყვითლება იწყება მთავარი ძარღვიდან დაცილებით ფოთლის ფირფიტის კიდეებში, პროცესის გაძლიერებისას სიყვითლე უფრო შესამჩნევი ხდება, ძარღვები კი ინარჩუნებს მწვანე შეფერილობას. ლობიოში მანგანუმის ნაკლებობის პირველი სიმპტომები ფოთლის მწვანე შეფერილობის დაკარგვაა, ისპანახში მანგანუმის დეფიციტის დროს ფოთლები ნაოჭდება, ჩნდება წვრილი ლაქებიანი ქლოროზი, კარტოფილი კი Mn-ის ნაკლებობისას ვეგეტაციის ადრეულ ფაზაში იღუპება (6).

საკვლევად ავიღეთ ჩვენს პირობებში ფართოდ გავრცელებული ბოსტნეული მცენარეები: ქინძი (*Coreandrum*), ოხრახუმი (*Petroselinum crispum* Mill) - ჯიში „ქუთაისის“, წიწაკა (*Capsikum annum* L.) - ჯიში „მეგრული“. პომიდორი (*Lycopersicum esculantum* Mill) - ჯიში „ბაზრის საკვირველება“.

საკვლევ მცენარეთა თესლები თესვის წინ 24 საათის განმავლობაში მუშავდებოდა  $KMnO_4$ -ის 0,02% -იანი ხსნარით, საკონტროლო თესლები კი გამოხდილი წყლით. შეშრობის შემდეგ თესლები გადაიტანებოდა პეტრის ჯამბზე წყლის კულტურების გამოსაყვანად. თესლების თესვისწინა დამუშავება უფრო ეფექტურია მიკროელემენტების გავლენის შესასწავლად, რადგან ამ შემთხვევაში ყველა თესლი მაქსიმალურად ითვისებს მიკროელემენტს, ადრე იწყება ჩანასახის ზრდა, აქტიურდება ნივთიერებათა ცვლა, ემბრიონალური უჯრედების დაყოფის გზით წარმოქმნილ ახალ უჯრედებზე ვრცელდება მიკროელემენტების გავლენა. მორფოლოგიური ნიშან-თვისებების შესწავლა ხდებოდა მორფომეტრული მეთოდით, გაზომვები და დათვლა ხდებოდა 60-80 ნიმუშიდან ვეგეტაციის სხვაასხვა ფაზაში. მონაცემები სტატისტიკურად მუშავდებოდა სტიუდენტის მეთოდით. წინამდებარე ნაშრომში

**KMnO<sub>4</sub>-ის 0,02%-იანი ხსნარის გავლენა მორფოლოგიურ  
 ნიშან-თვისებებზე**

ცხრილი 1

მცენარე	ფესვის სიგრძე 2 ფესვის გამოღებისას (სმ)	ფესვს სიგრძე ყვავილობამდე (სმ)	მიწისზედა ნაწილების სიგრძე (სმ)	ფოთლების რაოდენობა
ქინძი	(0,5 ± 1) 0,9 ± 1	(3,8 ± 1) 4,42 ± 0,8	(2,1 ± 2) 5,5 ± 1	(4,5 ± 0,9) 5,5 ± 1
ობრაბუში	(2,0 ± 2) 2,1 ± 0,7	(3,0 ± 2) 5,0 ± 1	(5,3 ± 1) 7,0 ± 3	(3,5 ± 0,9) 6,5 ± 1
წიწაკა	(2,1 ± 1) 4,2 ± 1	(2,1 ± 0,5) 5,7 ± 1	(17 ± 2) 21 ± 1	(52 ± 1) 60 ± 0,7
პომიდორი	(25 ± 0,7) 25,7 ± 2	(25 ± 1) 28 ± 2	(32 ± 0,8) 38 ± 2	(12,5 ± 0,8) 13,5 ± 1

ფრჩხილებში მოთავსებულია საკონტროლო მაჩვენებლები.

როგორც ცხრილიდან სჩანს Mn აუმჯობესებს საცდელ მცენარეებში მორფოლოგიურ მაჩვენებლებს, თესლების თესვისწინა დამუშავების დადებითი ზეგავლენა შეიძინევა, როგორც ფესვების და მიწისზედა ნაწილების, ასევე ფოთლების რაოდენობის გადიდების შემთხვევაში, თუმცა ეფექტი განსხვავებულია სხვადასხვა მცენარეში ვეგეტაციის სხვადასხვა ეტაპზე.

KMnO<sub>4</sub> -ით თესლების თესვისწინა დამუშავებამ სარწმუნოდ დადებითი ზეგავლენა მოახდინა წიწაკის განვითარების ყველა სტადიაზე. საკონტროლო მაჩვენებლებთან შედარებით ფესვების სიგრძე 2 ფესვის გამოღებისას გაიზარდა 2 სმ-ით, ფესვების უდიდესი სიგრძე ყვავილების გამოღებამდე კი - 3,6 სმ-ით მეტია საკონტროლო მაჩვენებელთან შედარებით. ღეროს სიმაღლემ საშუა-

ლოდ 14 სმ-ით მოიმატა, ფოთლების რაოდენობა კი 1,15-ჯერ გაიზარდა.

პომიდორის შემთხვევაში მანგანუმის ზემოქმედება უფრო დადებითად გამოიხატა ღეროს სიმაღლის მომატებაში(6 სმ) ფესვების სიგრზე და ფოთლების რაოდენობა მკვეთრად არ შეცვლილა საკონტროლო მაშვენებლებთან შედარებით.

ობრაზუში ფესვების სიგრზე ყვავილობამდე გაიზარდა 2 სმ-ით, თუმცა 2 ფესვის გამოლების სტადიაზე იგი საკონტროლო მცენარეთა ფესვების სიგრძისაგან ოდნავ (0,7 სმ-ით) განსხვავდება, ღეროს სიმაღლემ კი მკვეთრად მოიმატა, ფოთლების რაოდენობა 1,8-ჯერ გაიზარდა.

$KMnO_4$  -ის 0,02%-იანი ხსნარით თესლების თესვისწინა დამუშავებამ საკვლევ მცენარეებში ყველაზე დადებითად იმოქმედა წინაკაზე, შემდეგ ობრაზუსა და პომიდორზე, ქინძისათვის კი ნაკლებად ეფექტური გამოდგა.

### ლიტერატურა

1. Бутюцкий Н.П. "Микроэлементы и растение." С.П.Б. 1999
2. Гудвин Т. Мерсер Э."Ведение в биохимию растений"М. 1986 Т I-II
3. N.Mangaladze and other "The effect of microelements on the activity of enzymes in vegetables"saq. Mec. Akademiis "macne". Biology B 2006 -1 t. 4. p. 84-87.
4. Семихатова О.А. Чиркова Т.Б. Дыхание растений С П. Б., 2003.
5. Тарчевский И. А. Метаболизм растений при стрессе Казань 2001
6. Чиркова Т. В. Пути адаптации растений к гипоксии и аноксии. Л 1988.
7. Школьник М. Я. Микроэлементы в жизни растений. Л. 1974



ნ. მანგალაძე, ნ. კილაძე, თ.ჭიჭიშვილი  
Mn-ის გავლენა ბოსტნეულ მცენარეებში მორფოლოგიურ  
ნიშან - თვისებებზე  
რეზიუმე



მიკროელემენტები აუცილებელია ცოცხალ ორგანიზმებში ნივთიერებათა ცვლის ნორმალური პროცესებისათვის, ისინი დაკავშირებულია ვიტამინებთან, ჰორმონებთან, ფერმენტებთან, ამიტომ მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ ორგანიზმთა ზრდა-განვითარებაში. მცენარისათვის მიკროელემენტების მიწოდება მიკროსასუქების სახით აუმჯობესებს მის ზრდა-განვითარებას, ადიდებს მოსავლიანობას, მაგრამ მიკროელემენტები განსხვავებულად მოქმედებენ სხვადასხვა სახეობის (ჯიშების) მცენარეზე, უფრო მეტიც ერთი და იგივე მიკროელემენტი განსხვავებულ გავლენას ახდენს ერთი და იგივე მცენარის ვეგეტაციის სხვადასხვა ფაზაში, ამიტომ აუცილებელია მცენარისათვის საჭირო მიკროელემენტების ზუსტი დოზის დადგენა ნიადაგების ტიპების მიხედვით.

შევისწავლეთ მანგანუმის 0,02% იანი ხსნარის გავლენა ბოსტნეულ მცენარეთა (ქინძი, ოხრახუში, წიწაკა, პომიდორი) წყლის კულტურებში მორფოლოგიურ ნიშან-თვისებებზე. Mn აუმჯობესებს საცდელ მცენარეებში მორფოლოგიურ მაჩვენებლებს, თესლების თესვისწინა დამუშავების დადებითი ზეგავლენა შეიმჩნევა, როგორც ფესვების და მიწისზედა ნაწილების, ასევე ფოთლების რაოდენობის გადიდების შემთხვევაში, თუმცა ეფექტი განსხვავებულია სხვადასხვა მცენარეში ვეგეტაციის სხვადასხვა ეტაპზე.

**H. Mangaladze, H. Kiladze, T. Cheishvili**  
**The influences of Mn on the morphological characteristics of the**  
**vegetable plants**

**Summary**

Microelements is essential in the living organisms for normal metabolic processes, they are related with vitamins, hormones, enzymes, therefore they play an important role in the development and growth of organisms. Providing plants with microelements in the form of micro fertilizers improves it's growth-development, increases productivity, but microelements act differently on the different kind of plants, furthermore the same microelements have different kind of affects in the different vegetation phases on the same kind of plant's, that's why it is important the establishment of the exact doze of plant's nessary microelements according to the type of soils.

We investigated the influences of Manganese of 0.02% solution on the morphological Characteristic of the vegetable plant's(coriander, parsley, pepper, Tomato) in water cultures.

Mn improves morphological indicators in experimental plants, during seeds pre-sow cultivation the positive impact is observed, as roots and above-ground parts, also in case of magnification the number of leaves, although the effects are different in the different phases of vegetation in different kind of plants.

## შ. ჯინჯოლია

აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

### უჯრედის ბიოლოგიის ისტორია და პერსპექტივები

წაშრომში გადმოცემულია უჯრედის ბიოლოგიის მთავარი მიღწევები XX საუკუნეში. განხილულია საკითხები: 1. უჯრედის ბიოლოგიის საწყისები და ვიტალიზმის ეპოქა. 2. ულტრასტრუქტურა და უჯრედის კომპარტმენტალიზაცია. 3. სისტემური ბიოლოგიის და ბიოინფორმატიკის დასაწყისი. 4. განვითარების უჯრედული ბიოლოგია. 5. უჯრედული ბიოლოგია და ორგანოთა ტრანსპლანტაცია. 6. XXI საუკუნის ახალი მეგა პროექტები.

XX საუკუნის დასაწყისში ნიუ-იორკის დ. ჰოპკინსის უნივერსიტეტში მუშაობისას რ. ჰარისონმა მიკრობიოლოგების მიერ შემუშავებული დაკიდებული წვეთის მეთოდის გამოყენებით მიზნად დაისახა მარტივ ქიმიურ პირობებში ნერვული უჯრედების ზრდის მექანიზმის შესწავლა. 5 წლის განმავლობაში რ. ჰარისონმა მრავალი ცდა ჩაატარა ძუძუმწოვრებისა და ადამიანის ექსპლანტანტის სტერილურ პირობებში გასაზრდელად [1,2].

რ. ჰარისონის მიერ ჩატარებული კვლევებიდან 35 წლის შემდეგ ა.შ.შ შემუშავებული იქნა პოლიომიელიტის საწინააღმდეგო ვაქცინა ი.სოლკმა მოახდინა ადამიანის პირველი ვაქცინაცია პოლიომიოლიტზე.

XX საუკუნის დასაწყისში ექსპერიმენტარული ბიოლოგიის განვითარება შეფერხებული იყო ყველა მიმართულებით ვიტალიზმის წარმომადგენლების მიერ. ვიტალისტები თვლიდნენ რომ ყველა ქიმიური და ფიზიკური პროცესები იმართებოდა არამატერიალური ძალებით. ვიტალიზმის წარმომადგენლები ბატონობდნენ ევროპისა და ა.შ.შ-ის უნივერსიტეტებში არ ფინანსირდებოდა ექსპერიმენტული ბიოლოგიის, ბიოქიმიის და მოლეკულური ბიოლოგიის განვითარება. მიუხედავად ამისა ძალას იკრებდა ექსპერიმენტული მორფოლოგია ვინაიდან მეფობდა კ.ლინეს შეხედულებები ორგანოთა კოდირებული ფუნქციისა მის მორფოლოგიურ მოწყობაზე. მორფოლოგიური მონაცემები გახდა კატალიზატორი უჯრედის ბიოლოგიის განვითარებისათვის.



ჟ. ლიობმა პირველმა მოახდინა დემონსტრირება რომ იზოლირებული კვერცხუჯრედი კულტურაში არა მარტო ცოცხლობს და არამედ ინარჩუნებდა განაყოფიერების ავტომატიკას.

ჟ. ლიობმა იწინასწარმეტყველა რომ მემკვიდრეობის მასალა და უჯრედის ქცევა დაშიფრულია ქიმიურ ენაზე. ჟ. ლიობი იყო ყველაზე პოპულარული მეზრძოლი ვიტალიზმის წინააღმდეგ.

ა. კარელმა (ნობელის პრემიის ლაურიატი) 1912 წელს დააფუძნა პირველი სპეციალიზირებული ლაბორატორია უჯრედის კულტურისა როკფელერის უნსტიტუტში ნიუ-იორკში. ა.კარელმა ძლიერი დარტყმა მიაყენა ვიტალიზმს მან იწინასწარმეტყველა უჯრედების კულტურის დიდი როლი მედიცინაში, მისი აზრით მხოლოდ უჯრედი არის ერთადერთი მორალურად მიღწევადი ფორმა ექსპერიმენტებისა ადამიანზე. დაასაბუთა რომ შეუზღუდავი პროლიფერაცია შესაძლებლობას იძლევა გადიდდეს სომატური უჯრედების ბიომასა იმ მამტაბებში, რომელიც შეესაბამება ორგანიზმის ზომას. გამოთქვა მოსაზრება რომ უჯრედთა ტრანსლანტოლოგია გამოყენებული იქნება, როგორც ალტერნატივა ორგანოთა ტრანსპლანტაციისა. პირველმა გვიჩვენა თუ რა გზით შეიძლება გამოყენებული იქნას ადამიანის და ცხოველების უჯრედები ადამიანის ავადმყოფობის მექანიზმის შესასწავლად.

1907 წელს დ. ვილსონმა პირველად აღწერა რეგენერაციის საოცარი ფენომენი. ინდივიდები დაშალა შემადგენელ უჯრედებად. შემდეგ ხელახლა შექმნა ორგანიზმი უჯრედთა სპონტანური აგრეგაციის ხარჯზე.

XX საუკუნის შუა წლებში მ.სტეინბერგმა შექმნა სწავლება დისოცირებული ემბრიონალური უჯრედების თვითაგებისა ბუბუმწოვრების ფუნქციონალურ ქსოვილებში [3].

ეუკარიოტული და პროკარიოტული უჯრედების ულტრასტრუქტურის შესწავლა წინ წაიწია ელექტრონული მიკროსკოპის ეპოქაში. უჯრედების ულტრა თხელი ანათლების პირველი ელექტრონოგრაფები გამოყენებული იქნა კ.პორტერის ა.კლოდის მიერ 1944 წელს. მეცნიერთა ეს ჯგუფი კარგა ხნის მანძილზე ლიდერი იყო უჯრედის ბიოლოგიაში.



1974 წელს კ.დე დიუვა და ა.კლოდმა ნობელის პრემია მიიღეს ეუკარიოტული უჯრედების კომპარტმენტალიზაციის კანონზომიერების ჩამოყალიბებისათვის.

XX საუკუნის 50 წლებში გაჩნდა იდეა უჯრედების „ნანოკომპარტმენტიზაციისა“ ამ მიმართულების ინიციატორი ბიოლოგიაში იყო ფიზიკოსი რ. ფეინმანი (ნობელის პრემიის ლაურიატი). პირველი ინფორმაცია უჯრედების ნანო-კომპარტმენტების შესახებ მოცემული იქნა კომფოკალური და მასკანირებული ელექტრონული მუკროსკოპიის სპეციალიზისტების მიერ.

XX საუკუნის 60 წლებში უჯრედის ბიოლოგია გადადის კვლევის ახალ სტრატეგიაზე სისტემურ მიდგომაზე. უჯრედის არქიტექტონიკის და წესრიგის შესწავლაზე. უჯრედში შემავალი და გამომავალი რეაქციების კავშირის ახსნაში დიდი როლი ითამაშა კიბერნეტიკამ.

მრავალი ექსპერიმენტის შემდეგ ბიოლოგიაში ვიტალიზმის ნაცვლად შემოვიდა ბიოინფორმატიკა. XX საუკუნის ფიზიკოსებმა პირველად ჩამოაყალიბეს ფორმულირება თუ როგორ ხდებიან არაცოცხალი მოლეკულები მიზანმიმართულ ცოცხალ უჯრედებად. როდის და როგორ გადაიქცევიან ორგანიზებული ნივთიერებები არსებებად. თუ როგორ უკავშირდებიან მოლეკულები მეგაბაიტების სამყაროს.

დიდია ფიზიკოს ე.შრეიდინგის გადამწყვეტი როლი გენის კონცეფციის მატერიალიზაციაში. მისმა იდეამ კოლინეარული კოდის შესახებ შესაძლებელი გახადა შეერთებინათ ერთად დნმ(რნმ) და ცილის სამყარო. ე.შრეიდინგი უჯრედებს განიხილავდა როგორც „საოცრების კიბეს“ სადაც მარტივი ქიმიური რეაქციები იწვევენ აუხსნელ წესრიგს. ლ. სცილარდმა პირველად იწინასწარმეტყველა რომ უჯრედები მუშაობენ როგორც „ქაოსის ქილერები“ უჯრედები ახდენენ ენერჯის იმპორტირებას, ენტროპიის ექსპორტირებას. ევოლუციის მსვლელობისას უჯრედები და ორგანიზმები ერთმანეთში კი არა ომობენ არამედ ებრძვიან შემომსახდვრელი არის ქაოს. ორგანიზებული და რეგულატორული მეგაბაიტები მინიმიზირებენ ალბათობის კანონს უჯრედის შიგნით.



უჯრედების სტრუქტურები მომზადებულია ახალი ინფორმაციის შესანახად, თავმოყრისათვის, ცირკულაციისა და გენერაციისათვის ახალი ინფორმაციის თავმოყრა ვლინდება უჯრედის ახალ ფენოტიპში ან ახალი ორგანიზმის ქცევაში. მხოლოდ ორგანიზებული სისტემები არ ხურდება ინტენსიური უჯრედული მეტაბოლიზმის დროს [4].

ნ.ვინერმა მოგვცა კონცეფცია ცოცხალი უჯრედების, როგორც ინფორმაციული ჩიპებისა. უჯრედებში შემავალი ენერგია, ნივთიერებები და ინფორმაცია პერიკოდირდება მიმართულ ფიზიოლოგიურ პასუხად და უჯრედების მთლიან ადევკატურ ქცევად.

ადამიანის ინსულინის პირველი გენი ამუშავდა ნაწლავის ჩხირის კულტურაში 1982 წელს. ჰეპატიტის ვირუსის საწინააღმდეგო პირველი რეკომბინანტური ვაქცინა მიღებული იქნა საფუარის უჯრედების კულტურაში 1986 წელს.

1973 წელს ს.ლურიემ და მ.დელბროკმა შექმნეს მოდელი ნაწლავის ჩხირში ფაგების ლაბოატორიული ევოლუციის შესასწავლად. მოლეკულურმა ბიოლოგიამ პირველად მოგვცა საშუალება ევოლუციის შესწავლისა სინჯარაში.[5].

XX საუკუნის ორმოცდაათიან წლებში ბიოქიმიკოსი დ.კომლანდი სწავლობდა ბაქტერიების ქცევას. მან აჩვენა რომ ნაწლავის ჩხირის უჯრედებს შეუძლია ახალი სიგნალების დეტექტირება 10 000 ძველ სიგნალს შორის რომ მიეღო ერთადერთი სწორი გადაწყვეტილება გადარჩენილიყო სიკვდილის მუქარისაგან. დ.კომლანდმა პირველად მიაპყრო ყურადღება ციტოქონჩხის ფუნქციის ორმაგ ბუნებას. ახალი გადაწყვეტილების მიღებისას რეგეპტორებიდან მიღებული ახალი ინფორმაციის ფორმირება და ჩონჩხის რეორგანიზაცია პრაქტიკულად ერთდროულად ხორციელდება. ანალოგიური ფენომენი იქნა აღმოჩენილი ეუკარიოტულ უჯრედებშიც [6].

XX საუკუნის 60 წლებში ფ. ჟაკობმა და ჟ. მონომ გამოთქვეს მოსაზრება რომ სასიგნალო ბადე რომელიც აკავშირებს გარე რეგეპტორებს ორგანიზმის გენომთან მართავს პრო და ეუკარიოტული უჯრედების ქცევას. გარდა ამისა ევოლუციურად მსგავსი სიგ-

ნალების სისტემა მართავენ ყველა უჯრედებს (რაც სამართლიანია E coli-სათვის ის მუშაობს ადამიანშიც).

1931 წელს პ. ნიხანსმა შეძლო ცხოველთა ფუნქციონალურად სრულყოფილი უჯრედების გაყინვა. შემდგომში ცხოველთა უჯრედების გაყინვით თერაპიამ მისი სახელწოდება მიიღო.

ახალი ეტაპი უჯრედთა ტრანსპლანტაციაში იყო მცდელობა 1985 წელს მოძრაობითი აქტივობს მძიმე ფორმის დარღვევების მკურნალობისა პარკისონის დაავადებისას.

უჯრედთა გადანერგვა ნაბიჯნაბიჯ ვითარდება სხვადასხვა ქვეყანაში. დღეისათვის ჰემატოგენური და მეზენქიმური ღეროვანი უჯრედების გადანერგვა ხორციელდება ჰემატოლოგიაში, ონკოლოგიაში, ზოგიერთი იმუნოდეფიციტის შემთხვევაში. აუცილებელია გამოიყოს მიღწევები უჯრედების ექსპერიმენტული გადანერგვისა უმაღლესი და უმდაბლესი ორგანიზმების ემბრიოგენეზის შესასწავლისათვის. ემბრიონალური ინდუქციის მექანიზმები, ექტო-მეზო-ენდოდერმის, ემბრიონალური ქსოვილების განვითარების პოტენციალი ახსნილი იქნა აუტო და ალოგენური ტრანსპლანტაციით. დღესდღეობით ფეტალური ქსოვილები და უჯრედები რჩებიან ინფორმაციის უნიკალურ წყაროდ პოსტ-გასტრული გენომიკის, ორგანოგენეზის, მეორადი ინდუქციის, ტერმინალური სომატური პარენქიმის და დეფინიტური ორგანოების და ქსოვილების შესასწავლად [7].

ტრადიციული საგრანტო აკადემიური კვლევები უჯრედის ბიოლოგიაში XX საუკუნეში არ იძლეოდნენ შესაძლებლობას მეცნიერები გამოსულიყვნენ კერძო საკითხების და დეტალების შესწავლის გარეთ, არ ხდებოდა ცენტრალური გლობალური პრობლემების შესწავლა.

მომავალი ეკუთვნის ახალი იდეების ნადნობს დიდი კორპორაციული კაპიტალით. ასეთების რიცხვს ეკუთვნის მეგა პროექტი „ადამიანის გენომი“, რომელმაც ორგანიზება გაუკეთა 300 საერთო შორის ლაბორატორიის 15 წლიან მუშაობას, წელიწადში 200 მილიონი დოლარის ბიუჯეტით [8].

პირველმა მეგა პროექტმა „ადამიანის გენომი“ შექმნა მეთოლო-



გიური პლათფორმა მიმავალი შემდგომი მეგა პროექტებისათვის/ მტკიცება იმისა რომ უჯრედულმა ბიოლოგიამ დღეისათვის მიაღწია თვის მწვერვალს და შეძლო ბუნების საიდუმლოების ახსნა ვერ უძლებს კრიტიკას. მეცნიერებათა თვისებურება მდგომარეობს იმაში რომ, როგორც მოიხსნება პასუხი კითხვაზე წარმოიშობა უამრავი ახალი კითხვები.

უკანასკნელ წლებში მიღებული მიღწევები უკვე გახდა ისტორიის საკუთრება. ისინი წარმოადგენენ საფუძველს - ფუნდამენტსახალი აღმოჩენებისათვის.

### ლიტერატურა

1. Harrison R.G. Further experiments on the development of peripheral nerves. Am. J. Anat. 1906: 5: 121-31
2. Harrison R.G. The outgrowth of the nerve fiber as a mode of protoplasmic movement. J. Exp. Zool. 1910: 9: 787-46
3. Steinberg M.S Reconstruction of tissues by dissociated cells. Some morphogenetic tissue movements and the sorting out of embryonic cells may have a common explanation. Science 1963: 41: 401-8
4. Gatenby R.A Frieden B.E. information theory in living systems, methods, applications, and challenges. Bull. Math. Biol. 2007: 69: 635-57
5. Drexler Wang J.L Dual localization: proteins in extracellular and intracellular compartments. Acta Histochem. 2006: 14: 295 -305.
6. Репин В. С. Клеточной биологии-100лет уроки на будущее. Ж клеточная трансплантология и тканевая инженерия 3 2007.

**Sh. Jinjolia**

### History and Prospects of Cell Biology

#### Summary

The paper dwells on major achievements of Cellular Biology in the twentieth century. There are considered the following issues: 1. Foundations of Cell Biology and the Age of Vitalism; 2. The Ultrastructure and Cell Compartmentalization; 3. Foundations of Systems Biology and Bio-Informatics; 4. Developmental Cell Biology; 5. Cell Biology and Organ Transplantation; 6. New Mega-Projects in the twenty-first century.



თ. ეფრემიძე. დეაწლმოსილი აღმზრდელის და მოქალაქის დროცენტ ვლადიმერ(კაკო) სულავას (1913-1962) საიუბილეო ხსოვნა_____	3
ი. ლექვიანაძე. კაკო სულავა და მათე მირიანაშვილი_____	7
თ. ეფრემიძე. თეორიული ფიზიკის განვითარების ეტაპები აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტში_____	18
თ.ადეიშვილი, ნ.ოქროჭელიძე. ასტრონომიული, გეოფიზიკური და კოსმოსური გამოკვლევები ქუთაისის უმაღლეს სასწავლებლებში	28
ზ. ბართაია, მ. ვერულაშვილი, ზ. ენდელაძე. ხახუნის ძალა და მისი თვისებები_____	35
დ. თედორაძე, მ. საღინაძე. პროთიუმის იონის გამოკვლევა ჰიპერსფერულ ფუნქციათა მეთოდით_____	42
გ. ტომარაძე, გ. ჭარხალაშვილი. რელატივისტური ელექტრონული პლაზმის ჰიდროდინამიკა_____	49
T. Khachidze. HIDDEN SYMMETRIES_____	56
M.Bardavelidze. D. Nishnianidze. Three-Deminsional shape invariant model with equidistant speqtrum_____	64
მ. კოტიშაძე, ნ. ალავიძე. ზოგიერთი ფიზიკური ეფექტის გამოყენება ენერგოდამზოგ ტექნოლოგიებში_____	76
პ. გელხვიძე. დიოდი ვირტუალური კათოდით_____	80
მ.ბეროძე ზ.ენდელაძე. ორფაზიანი სისტემის სითხე-აირის დინამი- კის ექსპერიმენტალური გამოკვლევა ვიბროშერევის რეჟიმში_____	84
მ.ბეროძე. ტემპერატურის ფაქტორის გავლენა სითხე-აირის სისტემის რეზონანსულ ვიბრაციულ შერევაზე_____	92
თ.გვალია. მ.მაისაშვილი. ზოგიერთი სასწავლო - კომპიუტერული ამოცანა AVR მიკროკონტროლერის გამოყენებით_____	98
ნ. ქავთარაძე, ი.კალანდაძე. ფიზიკის სწავლების მეთოდის უახლესი საკითხები_____	107

ლ. ხვედელიძე, ხ. კიკალიშვილი. მძლავრი მიწისძვრების გეოქიმიური წინამორბედების შესახებ	115
გ. ონიანი, გ. თეთვაძე. ინტეგრო-დიფერენციალური ოპერატორების გამოყენება ბერგმანის სივრცის ანალიზური ფუნქციების პარამეტრულ და ინტეგრალურ წარმოდგენებში	122
K. Svanadze On the problem of statics of the theory of elastic mixture on finding optimal holes in an elastic square	133
ქ. ზვიადაძე, თ. გიორგაძე. მათემატიკური განათლება დაწყებით საფეხურზე საქართველოს სკოლებში	142
რ. ხაბურძანია. $V_2$ ზედაპირის შესახებ გაფართოებულ ევკლიდურ $\bar{E}_4$ სივრცეში	148
თ. გიორგაძე. მოდელირების ზოგიერთი ასპექტი	157
ე. ზასილაძე. ტურისტული პანორამა უნაგირას მთიდან	164
ო. ჩხეიძე, ფ. ჯინჯიხაძე, ს. ჩხეიძე. თანამედროვე რელიეფ-წარმომქნელი (გეოდინამიკური) პროცესები იმერეთში	175
ე. გორდაძე, ც. ჟორჟოლიანი. საქართველოში ადვენტირებული ცხოველები	185
ც. ჟორჟოლიანი, ე. გორდაძე. საქართველოში აკლიმატიზებული და რეაკლიმატიზებული ცხოველები	192
ნ. მანგალაძე, ნ. კილაძე, თ. ჭეიშვილი. Mn-ის გავლენა ბოსტნეულ მცენარეებში მორფოლოგიურ ნიშან-თვისებებზე	195
შ. ჯინჯოლია. უჯრედის ბიოლოგიის ისტორია და პერსპექტივები	202

კომპიუტერული უზრუნველყოფა: ნინო პატარაია

წიგნი დაკაბადონდა და დაიბეჭდა აკაკი წერეთლის  
სახელმწიფო უნივერსიტეტის სტამბაში.

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 2013.

პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 13,125.

92/2

F 201  
2013