



განვითარების შემდეგი ეტაპი (1956-1993)

პლაზმის ფიზიკა

ერთ-ერთ მთავარ სამეცნიერო მიმართულებას, რომელიც პრაქტიკულად ინსტიტუტის დაარსებიდან ჩაისახა, წარმოადგენს პლაზმის ფიზიკა. სფტი-ში ამ დარგში კვლევების დასაწყისად შეიძლება ჩაითვალოს 1947 წლის შუახანი, როდესაც მანფრედ ფონ არდენეს ხელმძღვანელობით ჩატარდა იზოტოპების ელექტრომაგნიტური მეთოდით გაყოფის პირველი კვლევითი სამუშაოები. ამ მეთოდმა იმ დროს ვერ ჰპოვა სათანადო გამოყენება $^{235}\text{U}_{92}$ -ის იზოტოპების მისაღებად, მაგრამ ამით საფუძველი ჩაეყარა მთელი რიგი ახალი მიმართულებების განვითარებას, როგორიცაა: მასსპექტრომეტრია და მასსპექტროგრაფია, ამაჩქარებლების ტექნიკა, იზოტოპების განცალკევება, იონური ლევირება მაღალი ინტენსივობის პლაზმური წყაროების და მაღალი სიმკვრივის იონური კონების ფოკუსირებისა და იონურ-ოპტიკური სისტემების შესაქმნელად.

მაღალი სიმკვრივის დენის წყაროებისა და იონური ოპტიკის დარგში განხორციელებულმა კვლევებმა სტიმული მისცა გაზური განმუხტვის ფიზიკის მიმართულებით ამოცანების ფართო სპექტრის გადანყევას. ამ სამუშაოების შესრულებით მიღებულმა შედეგებმა საშუალება მისცა ინსტიტუტის მეცნიერებს ჩამოეყალიბებინათ მაღალი სიმკვრივის დენის პლაზმური წყაროს შექმნის პრინციპები იმ დროისათვის ემისიური დენის სიმკვრივის რეკორდული მაჩვენებლით. მალე ამ იდეების ხორცმესხმა მოხდა დამუხტული ნაწილაკების ამაჩქარებლებზე როგორც სსრკ-ში, ასევე საზღვარგარეთ. ასე მაგალითად, ქ. დუბნის 10 გეე ენერგიის სინქროფაზოტრონზე გამოყენებუ-

The Further Development of the Institute (1956-1993) Plasma Physics

Plasma physics is one of the main research directions born in SIPT practically from the very beginning. The mid-1947 should be considered the start of research in this area, when the first works on the development of an electromagnetic method of nuclear isotopes separation were carried out under the leadership of the German physicist Manfred von Ardenne; (at that time this method did not find application for producing $^{235}\text{U}_{92}$, but it gave start to a number of new directions: mass spectrometry and mass spectrography, accelerating equipment, separation of isotopes, ion doping), to the development of profound research in high-intensity sources and ion-optic systems of selection and focusing of high-intensity ion beams.

Investigations in the sections of plasma physics as high-intensity sources and ion optics stimulated setting out of a wider circle of problems of urgent aspects of gas discharge physics. The results of these works enabled scientists of the Institute to form the principles of construction of high-intensity plasma sources with record density of ion emission current that were soon found practical application on charged particle accelerators both in the USSR and abroad. Thus, for example, the SIPT-developed high-intensity source of protons was used on the 10-GeV synchrophasotron in Dubna.

On the basis of the same works, SIPT developed the first in the USSR mass

ლია სფტი-ში შექმნილი მაღალი სიმკვრივის პროტონული დენის წყარო.

აღნიშნული სამუშაოების შედეგების საფუძველზე სფტი-ში შეიქმნა (პირველად სსრკ-ში) მასსპექტროგრაფი, რომელშიც გამოყენებულია ბირთვების მასების განსაზღვრის ერთ-ერთი ყველაზე პრეცედენტი მეთოდი. სამუშაოები სრულდებოდა ინსტიტუტის ორივე ტერიტორიაზე სინოპსა და აგუძერაში. სინოპში დამზადდა მ. არდენეს კონსტრუქციის ორი მასსპექტრომეტრი, ერთფოკუსიანი და ორმაგი ფოკუსირების (პასუხისმგებელი ვ. დოროხოვი). აგუძერაში შუტცეს კონსტრუქციის 60-გრადუსიანი სექტორული მაგნიტური კუთხის მასსპექტროგრაფის სრულყოფის სამუშაოებს ხელმძღვანელობდა ქალბატონი ქ. ორჯონიკიძე. მისი თბილისში სტაბილური იზოტოპების ინსტიტუტში გადასვლის შემდეგ სამუშაოებს ხელმძღვანელობდა ო. სამადაშვილი. ხელსაწყო ხასიათდებოდა მაღალი შუქძალითა და იონური ოპტიკური გამოსახულების მცირე დამახინჯებით, რის შედეგად შესაძლებელი გახდა ბირთვების მასების განსაზღვრის სიზუსტის ორი რიგით ამაღლება [1]. აღნიშნული წარმოადგენდა მსოფლიო მნიშვნელობის მიღწევას, რომელმაც მნიშვნელოვნად შეუწყო ხელი მეთოდის შემდგომ განვითარებასა და მის ფართო გამოყენებას. დიდი სიზუსტით ბირთვების მასების განსაზღვრამ სფტი-ს მეცნიერთა ჯგუფს ქ. გ. ორჯონიკიძის ხელმძღვანელობით ბირთვების ფუნდამენტური კანონზომიერების კვლევისა და რიგი ენერგეტიკული მახასიათებლების განსაზღვრის შესაძლებლობა მისცა.

დიდი სიზუსტის მასსპექტროგრაფზე ჩატარებული კვლევების შედეგად ბირთვების ბმის ენერგიის მიხედვით განხორციელდა 1500-ზე მეტი სტაბილური ბირთვის სისტემატიზება, რადიოაქტიური ბირთვების მუდმივების დადგენა. სფტი-ში განსაზღვრული ბირთვების მასის სიდიდეები, გამოქვეყნებულია ბირთვული მუდმივების ცხრილებში, რომლებიც პერიოდულად ქვეყნდება ბირთვული ფიზიკის საერთაშორისო კომისიის მიერ.

პლაზმის ფიზიკის დარგში კვლევები ვითარდებოდა ორი მიმართულებით: კვაზისტაციონარული და იმპულსური მოვ-

spectrograph, in which one of the most precision techniques for measuring nuclear masses had been used. The works were conducted on both research sites of the Institute in Sinop, where two mass-spectrometers of the von Ardenne's design with and another one with double focusing (resp. executor V. Dorokhov); in Agudzera the works on the improvement of the Schütze-design mass-spectrograph with a 60-degree angle sector magnet were headed by G.K. Orjonikidze after her transfer to Tbilisi Institute of Stable Isotopes (ISI), the lab became headed by O. Samadashvili.

The device had a powerful light intensity and small error of ion-optic imaging, as a result of which the precision of measuring nuclear masses increased twice [1]. It became a scientific achievement of global significance. It significantly contributed to the all further development of the given methods and their joint application. High precision measurement of the nucleus and atom masses enabled a group of SIPT scientists to discover and investigate a whole series of fundamental regularities in the energy characteristics of nuclei.

As a result of measurements on precision mass spectrograph, they managed to systematize nuclei masses according to the binding energy of neutron pairs of over 1500 nuclei of stable and radioactive isotopes. Nuclei masses measured by SIPT are used in the Tables of atomic and nuclear constants, periodically published by the International Commission of Nuclear Physics.

Research in the area of plasma physics developed in two directions: quasi-stationary and pulse phenomena in plasma. Our scientists, jointly with the colleagues from Kurchatov Research Institute of Atomic Energy, Budker Atomic Research Institute, Efremov Research Institute of Electrophysical Equipment, Troitsky Institute of Thermonuclear Research,



ქ. ორჯონიკიძე მასსპექტრომეტრიის ლაბორატორიაში თანამშრომლებთან
ო.სამადაშვილსა და ვ.მელაშვილთან ერთად

**K.G. Orjonikidze with co-workers (O. Samadashvili, V. Melashvili)
at the mass spectrometer**

ლენები პლაზმაში. ჩვენმა მეცნიერებმა კურჩატოვის ატომური ენერგიის ინსტიტუტის, ბუდკერის სახ. ბირთვული კვლევების ინსტიტუტის, ეფრემოვის სახ. ელექტროფიზიკური აპარატურის სკი-ს, ინოვაციური და თერმობირთვული კვლევების ტროიციის ინსტიტუტის, იოფეს სახ. ფტი-ს, ხარკოვის ფტი-ს, ლეხედევის სახ. ფიზიკის ინსტიტუტის მეცნიერებთან თანამშრომლობით უდიდესი წვლილი შეიტანეს მაღალტემპერატურული პლაზმის თვისებების ექსპერიმენტულად შესწავლასა და შედეგების თეორიულ გააზრებაში. აღნიშნული სამუშაოების ინიციატორი გახდა ი.ვ. კურჩატოვი. სხვადასხვა წლებში აღნიშნულ სამუშაოებს ხელმძღვანელობდნენ აკადემიკოსები ლ.ა. არციმოვიჩი და ბ.ბ. კადომცევი. ამჟამად ამ მიმართულებას რუსეთსა და დსთ-ს ქვეყნებში ხელმძღვანელობს აკადემიკოსი ე.პ. ველიხოვი.

Ioffe Institute of Physics and Technology, Kharkov Institute of Physics and Technology of the Academy of Sciences of the UkSSR, Lebedev Physics Institute, have made a great contribution to the forming of a file of experimental data concerning the high-temperature plasma properties and their theoretical comprehension. The leader of these works was I.V. Kurchatov' in different years, these works were headed by the academicians L.L. Artsimovich and B.B. Kadomtsev; at present they are headed in Russia and the CIS countries by the academician E.P. Velikhov.

კვაზისტაციონარული პროცესები.

50-იან წლებში ი.ვ. კურჩატოვის ინიციატივით სფტი-ში დაიწყო ტოროიდული პლაზმის შესწავლა. ამოცანად დაისახა მაღალი სიხშირის ველის დამაგნიტებულ პლაზმასთან ურთიერთქმედების კვლევა. ძირითადი შედეგები მიღებული იქნა P-0 და P-02 სტელარატორებსა და PT-4 და P-05 ტოკამაკებზე, რამაც საშუალება მისცა გაეკეთებინათ შემდეგი დასკვნები:

- პლაზმის ტალღის სიგრძის 0.5-5.0 მკმ დიაპაზონში (ე.წ. ალფენის ტალღები) გაზურებისას აღმოჩენილი იქნა ახალი მოვლენა, დამაგნიტებულ პლაზმაში ისეთი მიმართულების დენის გაჩენა, რომელიც ემატება „ჯოულის დენს“ და ხელს უწყობს ტემპერატურის ამაღლებასა და პლაზმური ზონარის სტაბილიზაციას. აღმოჩენის ავტორების თანხმობით (რ.ა. დემირხანოვი, დ.ვ. ჭკუასელი, ი.ვ. კურსანოვი, მ. კიროვი, ი. სავჩენკო...) ამ დენებს „ჩაჭერის“ დენი ეწოდათ. დამაგნიტებულ პლაზმაში მაღალი სიხშირის ველით დამატებითი ენერგიის შეყვანა მეტად ეფექტური გამოდგა პლაზმური ზონარის უფრო მაღალ ტემპერატურამდე გასაცხელებლად და სტაბილიზაციისათვის. ამ აღმოჩენის შემდეგ აღნიშნულმა მეთოდმა საყოველთაოდ ფართო გამოყენება ჰპოვა.

- ფიზიკოსების ჯგუფმა (რ. დემირხანოვი, ა. პოპოვი, ა. გევორკოვი) ხფტი-ს თანამშრომლებთან ერთად პირველად გამოავლინეს, რომ დამაგნიტებულ პლაზმაში პროტონებისა და მძიმე იონების ურთიერთქმედებას გააჩნია კოლექტიური ხასიათი; პლაზმასთან დამუხტული ნაწილაკების ნაკადის კოლექტიური ურთიერთქმედების ეფექტთან დაკავშირებულია ისეთი ფუნდამენტური პროცესები, როგორიცაა პლაზმის არანონასწორული მდგომარეობების ევოლუცია, პლაზმაში რხევების აღძვრა, პლაზმის რადიოგამოსხივება, დამუხტული ნაწილაკების ნაკადის ენერგიის დისიპაცია დაჯახების გარეშე.

- 1960-1972 წწ. შესრულდა მაღალი სიმკვრივის დამუხტული ნაწილაკების ნაკადისა და იონების კოლექტიური აჩქარების ახალი მეთოდების კვლევები. ნაპერწკლოვან წყაროში ანომალურად სწრაფ იონებზე დაკვირვებამ ისინი 1960 წელს ელექტრონების კონით იონების აჩქარების ეფექტამდე მიიყვანა. 200 კევ ენერ-

Quasi-Stationary Processes. In the 50s, at Kurchatov's initiative the investigation of toroidal plasma started in SIPT. The aim was to study relationships with the magnetized plasma of high-frequency field (HFF). The basic results were obtained on stellarators R-O and R-02 and on tokamaks RT-4 и R-05, which made it possible to make the following conclusions:

- In plasma heating process within frequencies 0.5-5 μm (so-called Alfvén waves), a new phenomenon was found – appearance in the magnetized plasma of a current of the same direction, which is added to “Joule” current and facilitates temperature rising and stabilization of the plasma column/pinch. In agreement with the authors of the discovery – R.A. Demirkhanov, D.V. Chkuaseli, Yu.V. Kursanov, M. Kirov, I. Savchenko, these currents were called the “capture currents”. The introduction into magnetized plasma of additional energy by means of high-frequency field (HFF) was found to be a very effective means for heating the plasma pinch to higher temperatures and its stabilization. After this discovery, the given technique started to be used everywhere.

- A group of physicists (R. Demirkhanov, A. Popov, A. Gevorkov), together with specialists from Kharkov Institute of Physics, found for the first time that the interaction of protons and heavy ions with plasma in the magnetized plasma was of collective nature; with the effect of collective interaction of flows of charged particles are associated such fundamental processes as the evolution of the non-equilibrium state of plasma, the excitement of plasma oscillations, plasma radiation, collisionless dissipation of flow energies of charged particles.

- During 1960-1972, investigation of high-intensity charged beams and novel techniques for collective ion acceleration were conducted. Observation of abnormally rapid ions in a sparker led to the discovery

გიის ელექტრონულ კონაში მოხერხდა 5 მეგ ენერგიის პროტონებისა და 10-20 მეგ ენერგიის ნახშირბადის იონების მიღება. აღმოჩენილი ეფექტი აკადემიკოს ვ.ი. ვექსლერის იდეის – თვითშეთანხმებული ველთა იონების აჩქარების დამტკიცებას წარმოადგენდა. რამდენიმე წლის შემდეგ მსგავსი ამაჩქარებელი პროცესი აღმოჩენილი იქნა აშშ-ში. აღნიშნულმა აღმოჩენამ შესაძლებლობა მისცა შემდგომში სფტი-ში შეექმნათ იონებისა და ელექტრონების მაღალი სიმკვრივის დენის წყაროები, რომელთაც გამოყენება ჰპოვეს სხვადასხვა ტიპის იმპულსურ ამაჩქარებლებში.

1986 წელს ამოქმედდა გაცილებით მძლავრი თერმობირთვული დანადგარი-ტოკამაკი P-05, რომელზედაც 0,1 წმ-ის განმავლობაში მიიღეს $5,8 \cdot 10^7$ °C ტემპერატურის D-D პლაზმა.

სფტი-ში თეორიულად დამუშავდა და ექსპერიმენტულად განხორციელდა პლაზმის დინამიკური სტაბილიზაციის მეთოდი. თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევებით დადგინდა, რომ ეს მეთოდი განსაკუთრებით ეფექტურია ხრახნული რეზონანსის პირობებში, რაც იწინასწარმეტყველეს და აღმოაჩინეს სფტი-ს თანამშრომლებმა. მართული თერმობირთვული რეაქციების კვლევებში განსაკუთრებულ მიღწევად უნდა ჩაითვალოს სტელარატორზე განხორციელებული P-0 ექსპერიმენტი, რომელმაც გამოავლინა მეტად სახიფათო „მონყვეტის“ არამდგრადობის სტაბილიზაციის შესაძლებლობა უკუკავშირის მეთოდით. 1975 წ. სოხუმის ფიზიკა-ტექნიკისა და უკრაინის მეცნიერებათა აკადემიის კიბერნეტიკის ინსტიტუტებმა ერთობლივად წარმოადგინეს წინადადება და მეცნიერულად დაამუშავეს სტაბილიზაციის ახალი კომბინირებული მეთოდი, რომელიც აერთიანებს მრავალპოლუსიან დინამიკურ და უკუკავშირის მეთოდებს. P-01 დანადგარზე შესრულებულმა ექსპერიმენტებმა დაადასტურეს თერმობირთვული რეაქციების მართვის ახალი მეთოდის უპირატესობა, განსაკუთრებით გახურების დამატებითი წყაროების გამოყენების პირობებში.

1992 წლიდან კვაზისტაციონარული პლაზმის თვისებების კვლევა ხორციელდებოდა მძლავრ ტოკამაკ – TMP-ზე (დიდი რადიუსი 550 მმ, მცირე რადიუსი – 150

of the effect of ion acceleration by electron jet – at the electron jet energy in 200 keV, protons with energy of 5 MG and carbon ions with energy of 10-20 MG were produced. The discovered effect was conformation of the idea of academician V.I. Veksler on the acceleration of ions in self-consistent fields. Such accelerating process was discovered in the USA many years later. This discovery made it possible for SIPT to create in the future high-intensity ion and electron sources that were found practical application in pulse accelerators of different types.

In 1986 a more powerful thermonuclear plant – *Tokamak* R-05 was commissioned, making possible to produce in the course of 0.1 sec the hardly generated at the time $5.8 \cdot 10^7$ °C D-D plasma.

SIPT theoretically developed and experimentally implemented a multipolar technique for dynamic plasma stabilization. The theoretical and experimental studies demonstrated that this technique was particularly efficient upon screw resonance, which had been predicted and discovered by SIPT employees. A particular progress in the research of controlled fusion should be considered an experiment made on the P-0 stellarator, which identified the possibility of stabilization of rather dangerous “detachment” instability by the feedback method. In 1975, SIPT in cooperation with the Institute of Cybernetics of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR proposed and scientifically developed a new combined stabilization technique, which incorporated the multipolar dynamic method and the feedback method. The experiments made on the installation R-01 confirmed advantages of this technique in fusion control, especially under conditions of applying additional sources of heating.

Since 1992 investigations of the properties of quasi-stationary plasma have been carried out on a powerful tokamak TMP (large

მმ, მაგნიტური ველის ინდუქცია 15 ტესლა, ჯოულის დენის ძალა 200 კა). თეორიული გათვლების თანახმად სრული სიმძლავრით მომუშავე დანადგარზე უნდა მიეღწიათ პლაზმის ძალიან მაღალ ტემპერატურამდე ($T \approx 10^8^\circ\text{C}$, $n \approx 10^{14}\text{სმ}^{-3}$). მართვადი თერმობირთვული სინთეზის მეცნიერული კვლევების პროგრამის რეალიზაციამ მოითხოვა მთელი რიგი ვაკუუმურ-ტექნოლოგიური საკითხების გადაწყვეტა და დამუშავების დიდი კომპლექსის განხორციელება, რომელიც მოიცავდა მაღალტემპერატურული პლაზმის პარამეტრების გამზომი სპეციალური მეთოდებისა და აპარატურის, მაღალი სიხშირის მძლავრი ველების გენერაციის მოწყობილობების, მაღალი ენერგიის დამაგროვებელი კომპლექსების, ზემოთხსენებული მაგნიტური ველების სპეციალური სისტემების და სხვ. შექმნას, რომელთაგან თითოეული წარმოადგენდა მსხვილ, დამოუკიდებელ მიმართულებას. აღნიშნული კვლევებსა და ახალი ტიპის სამეცნიერო-კვლევითი დანადგარების შექმნაში დიდი წვლილი მიუძღვის სტალინური პრემიის ლაურეატს დავით ვიქტორის ძე ჭკუასელს. მის მიერ რ. ადემირხანოვთან და ცოლ-ქმარ ვ. მ. და მ. ი. გუსევებთან ერთობლივად დამუშავებული

radius $R = 550\text{ mm}$, small radius $r = 150\text{ mm}$, magnetic field induction made $V \approx 15\text{tesla}$, and Joule current strength $I \approx 200\text{kA}$).

According to theoretical calculations, much higher values of plasma parameters ($T \approx 10^8^\circ\text{C}$, $n \approx 10^{14}\text{cm}^{-3}$) should have been obtained upon full operation of the plant.

The implementation of the program of research in controlled fusion required the solution of a whole number of vacuum-technology problems and the conduct of a large set of developments on the creation of special techniques and equipment for measuring high-temperature plasma parameters, devices for generating powerful high-frequency fields, sets for accumulation of large energy, special systems with super-power magnetic fields, etc., each representing a large independent direction.

Much contribution to these researches and the construction of research plants and installations of new types has been made by David Chkuaseli – Stalin Prize winner.



ტოკამაკი TMP

Tokamak TMP

იქნა მაღალი სიმკვრივის იონური დენის წყაროები. აღნიშნულმა შემდგომში გამოყენება ჰპოვა იონური იმპლანტაციის დანადგარის შექმნასა და სარაკეტო იონური ძრავების დამუშავებაში, რომელსაც ვ.მ. კურჩატოვის ატომური ენერგიის ინსტიტუტში ხელმძღვანელობდა აკადემიკოსი ლ.ა. არციმოვიჩი. მოგვიანებით, ამავე ინსტიტუტში მიიწვიეს ცოლ-ქმარი გუსევი.

იონური ლეგირება. აღნიშნულმა დამუშავებებმა მნიშვნელოვანი როლი შეასრულეს მიკროელექტრონიკის მრავალი თანამედროვე დანადგარის ეფექტური ტექნოლოგიებით აღჭურვაში, ხოლო სფტი-ში და მთლიანად სსრკ-ში, საფუძველი ჩაეყარა ახალ მიმართულებას – იონურ ლეგირებას [2-3]. სფტი-ში იონური იმპლანტაციის ლაბორატორიას, სსრკ-ში პირველს, რომელსაც იმ დროისათვის უნიკალური ექსპერიმენტული ბაზა გააჩნდა, რომლის ანალოგი სსრკ-ში არ არსებობდა. დანადგარი შეიქმნა 1945 წელს ქ. სვერდლოვსკიდან დემონტირებული ციკლოტრონის ვაკუუმურკამერიანი 300 ტონიანი მაგნიტის ბაზაზე, რომელსაც გააჩნდა იონების ტრანსპორტირების სამი დამოუკიდებელი არხი. იონური იმპლანტაციის ლაბორატორიას 1962 წლიდან ხელმძღვანელობდა პროფესორი ა. ი. გულდამაშვილი, ხოლო ანალოგიურ – იონური ბომბარდირების ლაბორატორიას კურჩატოვის ინსტიტუტში - ვ. მ. გუსევი (1963 წ.). აღნიშნული სამუშაოების დაწყება განპირობებული იყო ინსტიტუტში თერმოელექტრული და თერმოემისიური ხელსაწყოთმშენებლობის საკითხების ფართო გაშლით, რომელიც მოითხოვდა განსაზღვრული თვისებების მაღალეფექტურ მასალებს, რომელთა მიღება სხვა ტექნოლოგიებით შეუძლებელი იყო.

დანადგარის იონების ტრანსპორტირების არხებში გათვალისწინებული იყო: მაღალტემპერატურული აორთქლებით თხელი ფირების დაფენისა და ლეგირების განხორციელების შესაძლებლობა; კრისტალების ლეგირება 0.05 გრადუსის სიზუსტით მობრუნებით მონოკრისტალების კრისტალოგრაფული ორიენტაციის მიმართ კანალირებისა და ბლოკირების ორიენტაციული ეფექტების გამოყენებით; იმპლანტაცია და ზეგამ-

On the basis ion sources of high-density current developed by him in cooperation with R. Demirkhanov and the married couple V.M. and Mi.I Gusevs, which further found application in the construction of ion implantation plants and development of ion-engine rockets, the research continued by the group of academician L Artsimovich in Kurchatov Institute of Atomic Energy, where the Gusevs were also invited for work.

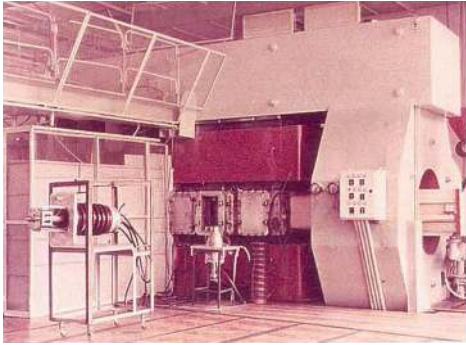
Ion Implantation. These developments played significant part in equipping with effective technologies of many modern microelectronic plants/installations and initiated new trend in SIPT and USSR as a whole – ion doping [2-3], ion-implantation laboratory, first in USSR, with the unique experimental basis at the time, analogues of which did not exist in post Soviet Union. The device was created in 1945 based on 300-ton magnet with an evacuated vessel/vacuum chamber, dismantled at the Combine of Electromagnetic Separation of Isotopes (Sverdlovsk-45), and had three independent channels for transporting ions. The ion-implantation lab was headed by A.I. Guldashvili in the laboratory of ion doping, in SIPT (from 1962), and by V.M. Gusev in the ion bombardment laboratory (IBL), in Kurchatov's Institute (1963). The beginning of these works was conditioned by development in the Institute of thermoelectric and thermo-emission instrument-making, requiring high-performance materials with set parameters, the production of which by other technologies did not seem to be possible.

Ion transportation device channels provided for: coordination of applying films by evaporation with implantation of crystals at the angle of 0.05° in relation to crystallographic directions of single crystals, with the application of the orientation effects of channeling and blocking; implantation and investigation of superconductivity on helium refrigerator with low-resistant windings

ტარული მოვლენების კვლევა გერმანიუმ-ნიობიუმის შენადნობის დაბალმზრ გრადნილიან ჰელიუმის კრიოსტატზე რეზერფორდის იონების უკუგაბნევის სპექტროსკოპის გამოყენებით; იონებით იმპლანტირებული მასალების მიკროანალიზი; დანადგარზე დამუშავებული იყო მენდელეევის პერიოდული სისტემის უმრავლესი ელემენტების იზოტოპებით ლეგირება 10-1600 K ტემპერატურულ და 5-1000 კეე ენერგეტიკულ დიაპაზონებში. ლაბორატორიაში შექმნილ ექსპერიმენტულ ბაზაზე ჩატარებულ იქნა ფართომასშტაბიანი სამუშაოები რადიაციული პროცესების მეცნიერული საფუძვლების შესასწავლად, რომლებიც მიმდინარეობს მასალათა იონებით იმპლანტაციის დროს მაღალი ფლუენსებითა და დამაზიანებელი დოზებით; ტექნოლოგიის განმასხვავებელი უპირატესი თავისებურებების დასადგენად; იონური იმპლანტაციის როლის დასადგენად; ახალი კლასის მასალების მისაღებად ნონასწორულ, არანონასწორულ, მეტასტაბილურ და ნანოკრისტალურ მდგომარეობებში, რომლებიც მნიშვნელოვნად განსხვავებულია ნონასწორულ თერმოდინამიკურ პირობებში, და მათი გამოყენების შესაძლებლობის გასარკვევად მეცნიერებისა და ტექნიკის სხვადასხვა დარგში. ფართო კვლევები მიმდინარეობდა ძირითადად იონებით იმპლანტირებული მასალების ელექტროფიზიკური, ფიზიკურ-მექანიკური და სხვა თვისებების შესასწავლად, ტექნოლოგიის ოპტიმიზაციის მიზნით და მასალების შერჩევისათვის ნახევარგამტარული მიკროელექტრონიკისა და ნახევარგამტარული ხელსაწყოთმშენებლობისათვის, სითბური და ბირთვული გამოსხივების ელექტრულ ენერგიად გარდამქმნელებისათვის, ატომური მეცნიერებისა და ტექნიკისათვის. პირველად ყოფილ საბჭოთა კავშირში აღმოჩენილია ბორის იონების კანალირების მოვლენა სილიციუმში და დადგენილია კანალირებული იონების არსებობა იმ შემთხვევაშიც კი, როდესაც იონების კონის დაცემის კუთხე 3-4-ჯერ ამეტებს ლინდჰარტის კრიტიკულ კუთხეს. პირველად ექსპერიმენტულად არის აღმოჩენილი მაღალენერგეტიკული იონების კრისტალებთან ურთიერთქმედების მნიშვნელოვანი თავისებურებანი, რომლებიც დაკავშირებულია ორიენტა-

from the germanium-columbium alloy with the assistance of Rutherford backscattering spectrophotometry and microanalysis of ion-implanted materials; a technique for doping targets by isotopes of most elements of the Periodic Table in the range of energy 5-1000 keV and the temperature range 10-1600K.

Large-scale works were carried out at the established experimental base of the laboratory to study the scientific principles, radiation processes taking place upon implantation of materials with ions with high fluencies and damaging doses, to identify distinctive advantages of the ion implantation technology in the making of new-class materials in equilibrium, non-equilibrium, metastable and nano crystal positions, under significantly different conditions of equilibrium dynamics and to specify the possibility of their application in different areas of science and technology. In general, comprehensive investigations of electrophysical, physical-mechanical and other properties of ion-implanted materials for the purpose to optimize the technology and selection of materials for semiconductor microelectronics and semiconductor instrument-making, convertors of thermal and nuclear radiation into electric energy, for nuclear science and technology. For the first time in the USSR, the phenomena of boron ion channeling in silicon were discovered and the existence of channeled boron ions was identified even where the hade of the ion beam three-four times exceeds the Lindhard critical angle. For the first time experimentally identified were important peculiarities of interaction of high-energy ions with crystals, associated with the manifestation of orientation effects. The methods of registration of contributions of channeled and non-channeled ions to the formation of a deposit profile of implanted ions, and the damaging profile are proposed. The ratios for calculation of the contribution of non-channeled, de-channeled, well-



იონური იმპლანტაციის დანადგარი

Ion implantation installation



ა.ი. გულდამაშვილი იონური იმპლანტაციის დანადგარის მართვის პულტთან თანამშრომლებთან: ი. ამირხანოვასთან, ვ. გოლუბკოვსა და ს. ზასლავსკისთან ერთად

**A. Guldashvili with co-workers –
I. Amerkhanova, V. Golubkov, S. Zaslavsky,
at the control board of the ion implantation
installation**

ციული ეფექტების გამოვლინებასთან. შემოთავაზებულია აღრიცხვის მეთოდები კანალირებული და არაკანალირებული იონების წვლილისა იმპლანტირებული იონების ჩალაგების პროფილის ფორმირებაში და დაზიანებადობის პროფილში. მიღებულია დამოკიდებულებანი არაკანალირებული, დეკანალირებული, კარგად კანალირებული და არხებში ჩაჭერილი იონების წვლილის გათვლისათვის იმპლანტაციის ფლუენსის, ენერგიის, იონების დაცემის კუთხის, სიბრტყისა და კრისტალოგრაფიული მიმართულების გათვალისწინებით. იმპლანტირებისას მყარი სხეულების სტრუქტურის ცვლილების დადგენილმა კანონზომიერებებმა შესაძლებელი გახადა მოლიბდენის, ნიობიუმის და ვოლფრამის ემისიურ-ადსორბციული და მექანიკური თვისებების მიმართული და მართვადი ცვლილებები. კერძოდ, პირველად იყო მიღწეული ელექტრონების გამოსვლის მუშაობის პრეციზიული ცვლილება 3,2-7,5 ევ ინტერვალში, რამაც საშუალება მოგვცა შექმნილიყო ეფექტური ელექტროდები თერმოემისიური გარდამქმნელებისათვის. ძნელდნობადი ლითონების ნახშირბადისა და აზოტის იონებით დასხივებისას 100-600 K ტემპერატურულ უბანში, პირველად სინთეზირებულია კარბიდების და ნიტრიდების დიდი სიმტკიცის შე-

channeled and channel-entrapped ions depending on the implantation fluence, energy, hade and plane of incidence of ions, the crystallographic direction are established.

The established regularities of solid body structure changes upon implantation made it possible to implement the directed and controlled change of emission-absorptive and mechanical properties of molybdenum, niobium and tungsten. In particular, for the first time the precision change of the operation of electron yield in the range of 3.2-7.5 eV was achieved, which allowed making effective electrodes for thermal emission convertors. For the first time, upon radiation of hard-alloy metals in the temperature range of 100-600 K by carbon and nitrogen ions, high-strength carbide and nitride alloys were synthesized. In the mid-60s, a trigger cell on silicon ion-implanted diodes, with the switching time of less than 0.1 μ sec. A high-capacity condenser (made from titanium pentoxide), ohmic contacts and current conductors were produced by electron-beam vacuum evaporation. The progress achieved in this field by the 60s

ნადნობები. 60-იან წლების შუა ხანებში შეიქმნა ტრიგერული უჯრედი სილიციუმის იონ-იმპლანტაციურ დიოდებზე, გადართვის დროით $< 0,1$ მკს. ტიტანის პენტაოქსიდისგან დამზადებული დიდი ტევადობის კონდენსატორი, ომური კონტაქტები და დენშემყვანები იქმნებოდა ელექტრონულ-სხივური აორთქლებით ვაკუუმში. 1960-იან წლებში შეიქმნა p-n გადასასვლელიანი დიოდი არგონისა და სილიციუმის იონებით სილიციუმის მონოკრისტალის დასხივებით; განხორციელდა ოქსიდების და სილიციუმის ნიტრიდების სინთეზი მაღალი გამრღვევი ძაბვებით და მაღალი დიელექტრიკული შეღწევადობით.

იონური ლეგირების ლაბორატორია ნაყოფიერად თანამშრომლობდა ლომონოსოვის სახ. მოსკოვის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ბირთვული ფიზიკის სკი-თან (პროფ. ვ. კულიკაუსკასის ჯგუფი), სანკტ-პეტერბურგის ელექტროფიზიკური აპარატურის სკი-თან, უკრაინის მეცნიერებათა აკადემიის ხარკოვის ფტი-თან და ვერკინის სახ. ხარკოვის დაბალი ტემპერატურების ფტი-თან, მოსკოვის ნახევარგამტარული ელექტრონიკის სკი-თან („პულსარი“) და სხვ. ეს ურთიერთობები ახლაც შენარჩუნებულია.

სფტი-ში იონური ინჰლანტაციის ტექნოლოგიის და ლაბორატორიის შექმნაში დიდი წვლილი მიუძღვით სხვადასხვას თაობის სპეციალისტებს: დ. ჭკუასელს, ა. გულდამაშვილს, მ. გუსევეს, უ. ნიკოლაიშვილს, ი. კირვალაძეს, ე. დიასამიძეს, ს. ზასლავსკის, ა. სიჭინავას, ც. ნებიერიძეს, ტ. კარპენკოს, შ. ჩობალაურს, მ. კინწურაშვილს, გ. აფანასიევს, რ. ქუთელიას, მ. სეკანიას, მ. ფირცხალავას, ვ. გოლუბკოვს, ა. კალინინს, ტ. აკრბას, რ. ნულაიას, ტ. შაუმინს, ი. ცეკვაძეს, კ. სიჭინავას და სხვებს.

იმპულსური პროცესები პლაზმაში. პლაზმაში პინჩ-ეფექტის კვლევები. აღნიშნული მიმართულების დამუშავებად სფტი-ში ითვლება ილია ქვარცხავა – სფტი-ს დირექტორი 1958-1961 წწ. კვლევები ამ მიმართულებით დაიწყო გასული საუკუნის 50-იან წლებში. სხვადასხვა გარემოში მავთულების

includes: the making of a diode with p-n transfer upon radiation with single crystals of silicon, electronic conductance, argon and silicon ions; synthesis of silicon oxides and nitrides with high discharge voltage and high permittivity.

The Laboratory of Ion Implantation fruitfully collaborated with and still is in contact with the Institute of Nuclear Physics of the Moscow State University (group of Prof. V. Kulikauskas), the St. Petersburg Scientific-Research Institute of Electrophysical Equipment, the Kharkov Institute of Physics and Technology and the Institute of Low Temperature Physics and Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine, the Moscow Research Institute “Pulsar” for Semiconductor Electronic Technology, etc.

In the establishment of ion-implantation technology in SIPT active participation in different years were taking by D.V. Chkuaseli, A. Guldashvili, V.M. and M.I. Gusevs, U.D. Nikolaishvili, I.D. Kirvalidze, E.M. Diasamidze, S.A. Zaslavsky, A.V. Sichinava, Ts.M. Nebieridze, T.T. Karpenko, Sh.A. Chobolauri, M.Sh. Kintsurashvili, G.V. Afanasyev, R.N. Kutelia, M.A. Sekania, M.V. Pirtskhalava, V.B. Golubkov, A.N. Kalinin, T.M. Agrba, R.B. Tsulaia, T.A. Shaumyan, I.A. Tsekava, K.G. Sichinava, and others.

Pulse Processes in Plasma. Research of Pinch Effects in Plasma.

The founder of this scientific and technical direction in SIPT was Ilia Kvartskhava - SIPT Director in 1958-1961. Researches in this

direction started in the 50s of the last century. Based on the studies of electric explosions of wires in different environments, a direction of plasma research in pinch discharges

ელექტრული აფეთქების კვლევების საფუძველზე ჩამოყალიბდა პინჩ-განმუხტვებისა და კოაქსიალურ ამაჩქარებელში წარმოქმნილი პლაზმის კვლევების მიმართულება (ი. ქვარცხავა, კ. კერვალიძე, ნ. რაზმაძე, გ. ზუკაკიშვილი, ი. ღვალაძე, რ. მხეიძე, ი. მატვეევი, ზ. ჭკუასელი, ნ. რეშეტნიაკი, ბ. წურწუმია, მ. ხაუტიევი, ა. ჩხაიძე, ი. ბუტოვი და სხვ.). აღნიშნული ჯგუფის მრავალი ნაშრომი პიონერული იყო. ასე მაგალითად, დადგენილ იქნა, რომ პინჩ-განმუხტვის სანყის ეტაპზე პლაზმის სკინ-ფენაში წარმოიქმნება დენების განაწილების სივრცული პერიოდული სტრუქტურა (ბოჭკოვანი სტრუქტურა), რომელიც შენარჩუნებულია დენიანი გარსის მაქსიმალურ შეკუმშვამდე. მოგვიანებით ანალოგიური სტრუქტურები აღმოჩენილ იქნა სსრკ-ისა და საზღვარგარეთის სხვა ლაბორატორიებში, რომელსაც „ქვარცხავას ბოჭკოვანი სტრუქტურები“ ეწოდა. შემდგომმა კვლევებმა აჩვენეს, რომ პინჩ-პლაზმაში „ბოჭკოვანი სტრუქტურების“ გარდა შესაძლებელია წარმოიქმნას ჩაკეტილი დენიანი კონტურები, რომლებშიც ცირკულირებენ საკმარისად დიდი დენები. ასეთ მარყუჟებს შორის ურთერთქმედება იწვევს დენიანი პინჩ-კამერის სწრაფად შევსებას პლაზმით, რომელიც ინარჩუნებს პინჩის სიმეტრიას. ამ აღმოჩენამ განაპირობა ცხელი და მდგრადი პლაზმის მისაღები დანადგარის შექმნა. მასში ჩაიხშობა, ან გამოიყენება განმუხტვის თვითორგანიზაციის პროცესები: კომბინირებული პინჩები, მრავალგარსიანი პინჩები „გაზური“ კედლებით და სხვ.

შესრულდა ასევე θ - და კომბინირებულ Z -პინჩებში მაღალტემპერატურული, მკვრივი პლაზმის არამდგრადობების მაგნიტურ-ჰიდროდინამიკური შეკავებისა და სტაბილიზაციის კვლევების ციკლი. Z -პინჩში აღმოჩენილი იქნა პლაზმონების დისკრეტული აჩქარების მოვლენა, რაზედაც არსებით გავლენას ახდენენ ელექტროდებთან მიმდინარე პროცესე-

and coaxial accelerators was formed (I. Kvartskhava, K. Kirvalidze, N. Razmadze, G. Zukakshvili, I. Gvaladze, R. Mkhaidze, I. Matveev, Z. Chkuaseli, N. Reshetnyak, I. Butov, B. Tsurtsumia, M. Khautiev, A. Chkhaidze, et al). Many investigations conducted by this group were pioneering. Thus, for example, it was found that at the initial stage of pinch discharge, in a skin layer of plasma a space-periodic current distribution structure (fibrous structure) is formed that exists

until maximum compression of the current covering. Similar structures were found later in other research laboratories of the USSR and abroad and were called “Kvartskhava’s fibrous structures”. Further studies demonstrated that in addition to “fibrous structures”, pinch plasma may form closed current loops, where rather powerful current circulate. Interaction of these loops leads to a rapid filling of a pinch chamber with plasma and current, preserving thus the pinch symmetry. This discovery made it possible to construct installations for generating stable and hot plasma, wherein the discharge self-organization processes (combined pinches, multilayer pinches with “gaseous” wall, etc.) are either removed or used.

A whole cycle of studies was also carried out on the preservation and stabilization of MHD instabilities of high-temperature, dense plasma in θ - and Z -pinches. The phenomenon of discrete acceleration of plasmons was found in Z -pinch, which is greatly affected by the processes going in the vicinity of electrodes. These experiments conditioned intensive investigations of foreign scientists, which confirmed the results obtained in Sukhumi. The American scientist G. McMillan discovered the same effect discrete acceleration of plasmons, which was later called “the Kvartskhava-McMillan electro-dynamic acceleration effect”. A new mechanism or accelerating charged particles in Z -pinches was proposed. After publication of these works Ilia Kvartskhava was invited to the USA, where he read a cycle of lectures in the conducted research; thereafter, they were

ბი. აღნიშნულმა ექსპერიმენტებმა განაპირობეს უცხოეთში კვლევების გააქტიურება, რომლითაც დადასტურდა სოხუმში მიღებული შედეგების სამართლიანობა. ამერიკელმა ფიზიკოსმა

გ. მაკმილანმა აღმოაჩინა ანალოგიური პლაზმონების დისკრეტული აჩქარების ეფექტი. შემდგომში მას უწოდეს ელექტროდინამიკური აჩქარების ქვარცხავა-მაკმილანის ეფექტი. შემოთავაზებული იქნა Z-პინჩებში დამუხტული ნაწილაკების აჩქარების მექანიზმი. აღნიშნული ნაშრომების გამოქვეყნების შემდეგ ი. ქვარცხავა მიიწვიეს აშშ-ში, სადაც მან წაიკითხა ლექციების ციკლი განხორციელებული კვლევების შესახებ. ისინი გამოქვეყნდა აშშ-ში პლაზმის ფიზიკის საკითხებზე მიძღვნილ ორ ფუნდამენტურ მონოგრაფიაში.

აღნიშნული ფუნდამენტური კვლევები სფტი-ში განხორციელდა КП-1, КП-1М (სამუშაოებს ხელმძღვანელობდა გ. ზუკაკიშვილი) და КП-2 დანადგარებზე (ი. ღვალაძე), რომლებზე მიიღეს მკვრივი $n=(2\div 4)10^{16}\text{см}^{-3}$, მაღალტემპერატურული $CT<350000^{\circ}\text{C}$ и $T_n<1,6\cdot 10^6^{\circ}\text{C}$ პლაზმა $10\div 100$ მკნმ-ის განმავლობაში.

გაზური დინამიკური ჩამჭერი. 80-იანი წლების ბოლოს სფტი-ში, კომბინირებული პინჩის დანადგარის ბაზაზე შეიქმნა გაზური დინამიკური ჩამჭერი ГДЛКП-2М, შემდეგი პარამეტრებით: ენერგია - 10 მგჯ, პინჩის სიგრძე - 500 სმ, მაგნიტური სარკეების არეკვლის კოეფიციენტების შეფარდება - ≤ 100 , მაგნიტური ინდუქცია - 15 ტლ.

ჩამჭერის ინჟექტორად გამოიყენებოდა 300 სმ θ -პინჩი, აქტივობის მაქსიმალურ



ი.ფ.ქვარცხავა
სფტი-ის დირექტორი,
1958-1962 წწ.

I.F. Kvartskhava –
SIPT Director in
1958-1962

included in two fundamental monographs on the problems of plasma physics published in the USA.

In SIPT these fundamental researches were conducted on installations KP-1, KP-1M (leader of research G. Zukakishvili, KP-2 (leader I. Gvaladze), on which the dense— $n(2\div 4)10^{16}\text{cm}^{-3}$, high-temperature – $CT<350000^{\circ}\text{C}$ и $T_n<1,6\cdot 10^6^{\circ}\text{C}$) plasma during $10\div 100$ μsec was generated.

Gas Dynamic Trap. In the late 80s, in SIPT, on the basis of the combined pinch installation a gas-dynamic trap GDP-2M was designed, the parameters of which were as follows: energy – 10MJ, pinch length – 500cm, the magnetic mirror reflection ratios – ≤ 100 , magnetic induction – $B=15\text{T}$.

A 300-cm θ -pinch was used as the trap injector; the time of getting the maximum inductance (15T) made ~ 4.5 μsec , and of

(15 ტესლა) მნიშვნელობაზე გასვლის დრო შეადგენდა ~ 4,5 მკწმ, ხოლო ვარდნის დრო შეადგენდა ~ 150 მკწმ. დანადგარზე არსებული კვლევების პროგრამა მრავალფუნქციური იყო, რომელთაგან ერთ-ერთს წარმოადგენდა რადიაციული მასალათმცოდნეობის საკითხებისათვის საჭირო ნეიტრონების მძლავრი გენერატორის პარამეტრების დადგენა.

პლაზმური ფოკუსი. სფტი-ში ამ მიმართულებით კვლევებს დიდი ხნის ისტორია გააჩნია. პლაზმური ფოკუსი წარმოადგენს დანადგარს, რომელიც საშუალებას იძლევა მივიღოთ ელექტრონების, იონების, ცხელი პლაზმის, ნეიტრონებისა და ხისტი რენტგენული გამოსხივების კონები, რომელთა პარამეტრები წყალბადის ბომბის აფეთქების გამოსხივების სპექტრის მსგავსია. დიდი ხნის განმავლობაში სწორედ ეს წარმოადგენდა ინსტიტუტის მთავარ ამოცანას.

პლაზმურ ფოკუსურ КРФ-1 და КРФ-3 დანადგარებზე მთელი რიგი ორიგინალური შედეგები იქნა მიღებული:

- КРФ-1 დანადგარზე (100 კჯ ენერგიის მარაგი) ნეიტრონების გამოსავალმა D-D პლაზმაში შეადგინა $\sim 10^{11}$ ნეიტრონი/განმუხტვა;
- D-D პლაზმაში ლითიუმის ორთქლის შერევით ნეიტრონების გამოსავალი 5-6-ჯერ იზრდებოდა;
- КРФ-3 დანადგარზე მიღებული იქნა ხისტი რენტგენული გამოსხივება დოზით $\sim 10^{12}$ რენტგენ/წმ და გამოსხივების ენერგიით 15-20 კეე იმპულსში (~ 20 მკწმ);
- მიღებული იქნა ~ 100 კა/სმ² ელექტრონების დენის სიმკვრივისა და რამდენიმე მეგ ენერგიის ელექტრონების კონა.
- D-D პლაზმაში Ar და Xe ინერტული აირების შეყვანის შემდეგ (ელექტროდებზე 40 კვ-მდე ძაბვის მოდებისას) შეიმჩნეოდა $\sim 10^{23}$ სმ⁻³ სიმკვრივის, $\sim 10^6$ °C ტემპერატურისა და ~ 50 მკმ ზომის ნერტილოვანი

fall ~ 150 μ sec. The research program to be performed on the device was multipurpose, one of which was to identify parameters of a powerful neutron generator for solving a number of radiation material science problems.

Plasma Focus. Investigations in this direction have also a long history in the Institute. Plasma focus is an installation that makes possible to produce cathode, ion, hot plasma, neutron beams and rigid X-radiation with unique parameters, with a similar radiated spectrum upon explosion of a hydrogen bomb (i.e. imitating the explosion). This had been one of the priority tasks of the Institute for many years.

On plasma-focus installations KPF-1 и KPF-3, a whole number of original results were obtained:

- In KPF -1 (at the accumulated energy of 100kJ) the yield of D-D neutrons in plasma made $\sim 10^{11}$ n/discharge;
- In D-D nplasma, upon mixing of lithium the yield of neutrons increased 5-6 times;
- In KPF-3 the received rigid radiation amount of energy 20-15keV within impulse (~ 20 μ sec) $\sim 10^{12}$ P/s;
- Further the cathode beams with current density of ~ 100 kA and energy of several MV were studied;
- Upon entry in D-D plasma of atoms of inert gases Ar and Xe (with the difference of potentials on cathodes < 40 kV), the occurrence of plasma point formations of density $\sim 10^{23}$ cm⁻³, temperature $\sim 10^6$ °C and size ~ 50 μ m, in which the electric force reached $> 10^7$ V/cm. In the radiation spectrum, the occurrence of multivalent ions (up to neon ions) was observed, with energy of several MV for nucleon and having a



გაზური დინამიკური ჩამჭერი ГДПКП-2М
Gas Dynamic Trap (GDT-2M)

პლაზმური წარმონაქმნები, სადაც ელექტრული ველის დაძაბულობა აჭარბებდა 10^7 ვ/სმ. პლაზმურ ფოკუსში, გამოსხივების სპექტრში გამოვლინდა დისკრეტული ხასიათის მრავალმუხტიანი იონები (ნეონის იონების ჩათვლით) რამდენიმე მევ/ნუკლონი ენერგიით, რომლის ახსნა შესაძლებელია მხოლოდ აღნიშნული მიკროსტრუქტურაში კონცენტრირებული ელექტრული ველის „ჩართვით“. მიღებული შედეგების ანალიზის საფუძველზე აკადემიკოსმა რ.გ. სალუქვაძემ გამოთქვა ჰიპოთეზა, რომ კოსმოსურ სივრცეში არსებულ მაღალი ელექტრომაგნიტური დაძაბულობის წარმონაქმნებში (ნისლეულები), მიმდინარეობს პირველადი კოსმოსური ნაწილაკების, პროტონების აჩქარება ზემოაღნიშნულ $\sim 10^{13}$ - 10^{15} მევ ენერგიამდე.

კვლევები პლაზმის ფიზიკისა და თერმობირთვული სინთეზის დარგის ცალკეული მიმართულებით სრულდებოდა ი. ქვარცხავას, რ. დემირხანოვის, დ. ჭკუასელის ხელმძღვანელობით ქვემოთ ჩამოთვლილი მეცნიერებისა და სპეციალისტების მიერ: ა. კიროვი, ი. კირვალი-

discrete character, which can be explained only with the “participation” of the above-mentioned microstructure with concentrated electric force. On the basis of the data obtained by Academician R.G. Salukvadze, a hypothesis was advanced that in space, in the existing formations (nebulas) with high electromagnetic density, acceleration of primary space particles – protons up to super-high energies $\sim 10^{13}$ – 10^{15} MV takes place.

Investigations in the area of plasma physics and thermonuclear fission in individual directions were carried out by collectives of scientists and specialists under the leadership of I.F. Kvartskhava, R.A. Demirkhanov and D.V. Chkuaseli; research workers: A.G. Kirov, I. Kirvalidze, K.N. Kervalidze, V.P. Sidorov, N.A. Razmadze, S.N. Lozovsky, I.S. Savchenko, G.I. Zverev, I.Ya. Butov, Yu.S. Gvaladze, N.N. Zhukov, G.G. Zukakishvili, Yu.V. Matveev, R.D. Meladze, A.A. Pluto, N.G. Reshetnyak, K.V. Suladze, Z.D. Chkuaseli, E.Yu. Khautiev, I.V. Golovin, G.E. Murgulia, V.N. Ryzhkov, S.M. Temchin, B.A. Tskhadaia, B.B. Emukhvari, and others.

იძე, კ. კერვალიძე, ვ. სიდოროვი, ნ. რაზ-
მაძე, ს. ლოხოვსკი, ი. სავჩენკო, გ. ზვე-
რევი, ი. ბუტოვი, ი. ღვალაძე, ნ. ჟუკოვი,
გ. ზუკაკიშვილი, ი. მატვეევი, რ. მელაძე,
ა. პლუტო, ნ. რეშეტნიაკი, კ. სულაძე, ზ.
ჭკუასელი, ე. ხაუტიევი, ი. გოლოვინი,
გ. მურლულია ვ. რიჟკოვი, ს. ტემჩინი, ბ.
ცხადაია, ბ. ემუხვარი და სხვ.

სფტი-ში მრავალწლიანი კვლევების შედე-
გებით, მსოფლიოს სხვადასხვა ლაბორატო-
რიებში მიღებულ მონაცემთა გათვალის-
წინებით, მეცნიერებს საშუალება მიეცათ
დაეწყოთ ოპტიმალური თერმობირთვული
რეაქტორის შექმნის სამუშაოები.

რუსეთ-ამერიკული თანამშრომლობის
ერთობლივ პროგრამაში თერმობირ-
თვული სინთეზის საკითხებზე, კერძოდ,
თერმობირთვული რეაქტორის სადე-
მონსტრაციო პროტოტიპის შექმნაში
სფტი-ში მიმდინარე კვლევები დინამიკუ-
რი მართვის სისტემების შემუშავებაზე
ფიგურირებს როგორც დამოუკიდებელი
მიმართულება.

სითბური ენერგიის პირდაპირი გარდაქმნა ელექტრულში და დე- ნის ავტონომიური წყაროები

კოსმოსური ტექნიკის სწრაფმა განვითა-
რებამ განაპირობა კოსმოსური აპარატის
საბორტო სისტემის კვების ელექტრული
ენერგიის ავტონომიური სისტემების შექ-
მნის აუცილებლობა. გასული საუკუნის
50-იანი წლებიდან დაიწყო ინტენსიური
კვლევითი სამუშაოები სითბური ენერგი-
ის ელექტრულში გარდაქმნის სხვადას-
ხვა მეთოდების დასამუშავებლად. სსრკ
საშუალო მანქანათმშენებლობის სამი-
ნისტროს ხელმძღვანელობის გადაწყვე-



პლაზმური ფოკუსი

Plasma Focus

The data obtained as a result of long-term
research in SIPT, with due regard for the
results of other laboratories both in the USSR
and abroad, made it possible to initiate the
development of an optimal thermonuclear
reactor.

In the Soviet-American program of
collaboration in controlled operation
thermonuclear fusion research, the
investigations conducted in SIPT appear to
be an independent direction and are aimed
at constructing a prototype of demonstration
controlled thermonuclear reactor.

Direct Conversion of Thermal Energy into Electrical and Independent Power Sources

Rapid development of space technology
conditioned the necessity of creation of
independent supply sources providing the
spacecraft onboard systems with power.
In the second half of the 1950s intensive
work was initiated to investigate different
techniques for conversion of thermal energy
into electrical. The Ministry of Srednego
Mashinostroenia of the USSR decided
to involve SIPT in the research work.
The research was carried out in two main
directions: thermal electricity and thermal
emission. The work was headed by I.
Gverdsiteli, an outstanding specialist in the

ტილებით ამ სამუშაოებში ჩაერთო სფტი. ინსტიტუტში სამუშაო ძირითადად ორი, თერმოელექტრული და თერმოემისიური (გარდამქმნელების) მიმართულებით წარიმართა. ამ საქმის სულისჩამდგმელი გახდა ატომური ენერგეტიკის გამოჩენილი სპეციალისტი და სამეცნიერო სამუშაოების ორგანიზატორი ირაკლი გრიგოლის ძე გვერდნითელი. 1963-1981წწ. ი. გვერდნითელი ხელმძღვანელობდა სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ენერგიის გარდაქმნის საბჭოს თერმოელექტრული გარდამქმნელების სექციას.



ი. გ. გვერდნითელი
სმა-ს ვიცე-პრეზიდენტი,
სფტი-ს დირექტორი
(1962-1969წწ), სახელმწიფო
პრემიის ლაურეატი
I.G. Gverdtsiteli,
Academician of GSSR
Academy of Sciences,
SIPT Director (1962-1969),
USSR State Prize winner

field of atomic energy and the organizer of the research. In 1963-1981, I. Gverdtsiteli was the Chairman of the Section of Thermal Emission Converter, the Scientific Council for Energy Conversion of the USSR Academy.

ნახევარგამტარების ფიზიკა და თერმოელექტრული გარდამქმნელები

50-იანი წლების დასაწყისიდან სფტი-ში დაიწყო კვლევითი სამუშაოების განვითარება ნახევარგამტარების ფიზიკა-სა და ტექნოლოგიაში. მათი საჭიროება განპირობებული იყო ახალი სწრაფგანვითარებადი ნახევარგამტარული ელექტრონიკისათვის მეტად საჭირო, მაღალეფექტური მასალების – სილიციუმისა და გერმანიუმის მისაღებად. თავდაპირველად სამუშაოები სრულდებოდა ატომური პროგრამისაგან ჩამოშორებულ გერმანელ სპეციალისტებთან ერთად. როგორც ნიკოლაუს რიელი მისი სოხუმში გადაყვანის შემდეგ იგონებს: „ის სამუშაოები, რომლითაც ვიყავი დაკავებული, ეკუთვნოდა მყარი სხეულების ფიზიკი-

Physics of Semiconductors and Thermoelectric Converters

In the early 1950s, Sukhumi Institute of Physics and Technology (SIPT) started to develop researches in physics and semiconductor technologies. Their origin was conditioned by the exigency of producing new native highly efficient materials – germanium and silicon for, rapidly developing semiconductor electronics. Initially, the works were conducted in cooperation with German specialists who had been released from the atomic project. As recollects Nikolaus Riehl after transfer to Sukhumi: “the work concerned to me belonged research in solid-state physics, as well as other researches associated to certain extent with chemistry... After

სა და სხვა, ქიმიის საკითხებთან ასე თუ ისე დაკავშირებულ კვლევებს... ორნახევარწლიანი კარანტინის შემდეგ როგორც იქნა დადგა ჩვენი გერმანიაში გამგზავრების დღეც. შესრულდა გენერალ ზავენიაგინის მიერ მოცემული პირობა – ორიდან სამ წლამდე [4]. აქ გერმანელი მეცნიერები საბჭოთა სპეციალისტებთან ერთად მუშაობდნენ სილიციუმისა და გერმანიუმის მონოკრისტალების მიღების ტექნოლოგიებისა და დანადგარების დამუშავებაზე ორ ლაბორატორიაში. ერთი მათგანი, რომელსაც ბ.პ. მიტრენინი ხელმძღვანელობდა იმყოფებოდა სინოპში, ხოლო მეორე-აგუძერაში ვ. ხაჩიშვილის ხელმძღვანელობით, სადაც იღებდნენ დნობისთვის საწყის მასალას. 1953 წლის ბოლოს სოხუმში დაბრუნდა იმ დროს აღიარებული ექსპერიმენტატორი, სტალინური პრემიის ლაურეატი შ. ბურდიაშვილი, რომელმაც გააგრძელა მუშაობა ბ.პ. მიტრენინის ლაბორატორიაში. უკვე, ერთი წლის შემდეგ, შ. ბურდიაშვილის მიერ მიღებული იქნა მონოკრისტალური გერმანიუმი მის მიერვე შექმნილ დანადგარზე, სადაც ტემპერატურული ნონასწორობისათვის, მონოკრისტალების ზრდის ტექნოლოგიურ პროცესებში პირველად, ტიგელი შიხტასთან ერთად ბრუნავდა მადედებლის ბრუნვის საპირისპიროდ. ჯგუფი, რომლის შემადგენლობაში შედიოდნენ შ. ბურდიაშვილი, ვ. ხაჩიშვილი, ნ. შამბა, ვ.კ. კოვირზინი, ბ.პ. მიტრენინი და სხვ., შეუდგა მონოკრისტალური სილიციუმის მიღების მეთოდების დამუშავებას.

1955 წელს გერმანელი სპეციალისტები დაბრუნდნენ სამშობლოში. სოხუმელი სპეციალისტების სასახელოდ უნდა ითქვას, რომ მათ წარმატებით გაართვეს თავი სამუშაოებს. 1955 წლის მაისში სფტი-ში ჩატარდა ნახევარგამტარული სილიციუმის საკითხებზე პირველი საბჭოთა კონფერენცია. კონფერენციის მუშაობაში მონაწილეობდნენ საკავშირო დაქვემდებარების საწარმოები და ინსტიტუტები: „გირედმეტი“, სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის მეტალურგიის ინსტიტუტი, სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის რადიოელექტრონიკის ინსტიტუტი, სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ლენინგრადის ფიზიკა-ტექნიკის ინსტიტუტი, უკრაინის სსრ მეცნიერებათა აკადემიის ხარკოვის

two and a half years of our quarantine the day of our departure for Germany came at last. The term from two to three years promised by Zavenyagin was complied with” [4]. German scientists together with soviet experts worked on the development of technology and plant for producing silicon and germanium single crystals in two laboratories in Sinop under leadership of B.P. Mitrenin and in Agudzera, in the laboratory headed by V. Khachishvili, where the starting materials for smelting was produced. In the end of 1953, the Stalin Prize winner, Sh. Burdiashvili, having already gained the name of a skilled experimenter, returned to Sukhumi and started to work in the laboratory headed by B.P. Mitrenin. Already in two years, he produced single crystal of germanium on the plant designed thereby, where, in order to balance the temperature field, for the first time the crucible with charge was rotating in the direction opposite to the target rod rotation. A group composed of Sh.S. Burdiashvili, V. Khachishvili, N. Shamba, V.K. Kovirzina, B.P. Mitrenin and others, set out the development of techniques for producing silicon single crystal.

By 1955 German specialists left SIPT and returned home; however, to the credit of Sukhumi specialists, they continued jointly initiated research works and successfully finished them. The result of these works was that in the end of May 1955 the All-Union meeting on semiconducting silicon was held in SIPT. Among the meeting participants were the leading in this area institutes and enterprises of the USSR: GIREDMET (State Research and Design Institute of Rare Metal Industry), Institute of Metallurgy of the USSR Academy of Sciences, Leningrad Institute of Physics and Technology (LIPT) of the USSR Academy of Sciences, Kharkov Institute of Physics and Technology of the Ukrainian SSR Academy of Sciences, etc. This is how the meeting participant, researcher of LIPT, Dr. Sci., Professor Academician V.N. Ro-

ფიზიკა-ტექნიკის ინსტიტუტი და სხვ. აი, როგორ იხსენებს ძირითად საკითხებს ამ კონფერენციის მონაწილე, ლენინგრადის ფიზიკა-ტექნიკის ინსტიტუტის თანამშრომელი, რუსეთის საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა აკადემიის ნამდვილი წევრი, ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი ვ. ნ. რომანენკო სტატიაში, რომელიც მიეძღვნა საბჭოური სილიციუმის 50 წელს [5]: „ალბათ, მხოლოდ სოხუმის ინსტიტუტმა დაიწყო ამ პერიოდში კრისტალოგრაფიული საკითხების შესწავლა, რომელიც სილიციუმთან იყო დაკავშირებული. ამ ინსტიტუტის სილიციუმის ჯგუფის ხელმძღვანელის ბორის პეტრეს ძე მიტრენინის დამსახურება ასევე იმაშია, რომ უშუალოდ მისი ხელმძღვანელობით, სილიციუმის მიღებასთან დაკავშირებული საკითხების გადაჭრასთან ერთად პირველი კონფერენციის დამთავრების შემდეგ იმავდროულად, სსრკ-ში პირველად დაიწყო კვლევითი სამუშაოები Ge-Si მყარი ხსნარების შენადნობების მიღების ტექნოლოგიის დასამუშავებლად.

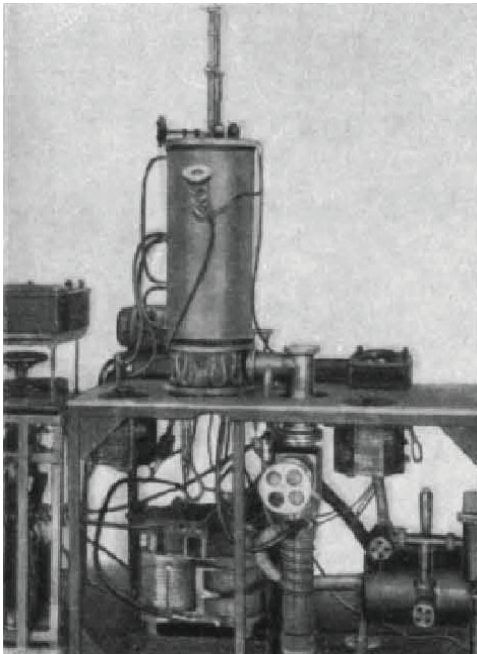
თითქმის იმავე დროს, Ge-Si მყარი ხსნარების მიღებაში ჩაერთო სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის მეტალურგიის ინსტიტუტი. სოხუმის ინსტიტუტში სანყისი მასალის მისაღებად იყენებდნენ იოდიდურ რეაქციას. დროთა განმავლობაში ისწავლეს ამ მეთოდით შედარებით დიდი მონოკრისტალური ნიმუშების მიღება“.

შემდეგ ვკითხულობთ: „მონოკრისტალების მისაღები დანადგარები, რომლებიც სოხუმში მზადდებოდა, მნიშვნელოვნად განსხვავდებოდნენ სხვა ორგანიზაციებში დამზადებული ანალოგიური დანადგარებისაგან. აღნიშნულის ორი მიზეზი არსებობდა: პირველი უკავშირდებოდა რთულ ტექნოლოგიებთან მუშაობის დიდ გამოცდილებას, მეორე კი იმ ფაქტს, რომ პრობლემის გადაწყვეტაში მონაწილეობდნენ გერმანელი სპეციალისტები, რომლებიც სოხუმის ინსტიტუტში იხდიდნენ სარეპარაციო გადასახადს. ამ ჯგუფს გააჩნდა ტექნოლოგიური სამუშაოების განსხვავებული გამოცდილება და ტრადიცია. სწორედ გერმანელთა ჯგუფმა პირველად დააპროექტა უტიგელო ვერტიკალური ზონური დნობის დანადგარი

manenko remembers it in an article dedicated to the 50th anniversary of the Conference [5]: “Probably only Sukhumi Institute started research in silicon-related crystallographic problems in that period. The merit of the head of the Institute’s silicon group Boris Mitrenin consisted also in the fact that under his leadership within the scope of the silicon problem solution, almost right away after the end of the Conference, the first in the USSR researches in the techniques for producing solid solution alloys Ge-Si were initiated. Almost concurrently the Institute of Metallurgy of the USSR Academy of Sciences started to work on the Ge-Se solutions. To produce the starting materials, the iodide reaction was used at Sukhumi Institute. Eventually, these techniques were mastered to produce even relatively larger single-crystal samples”.

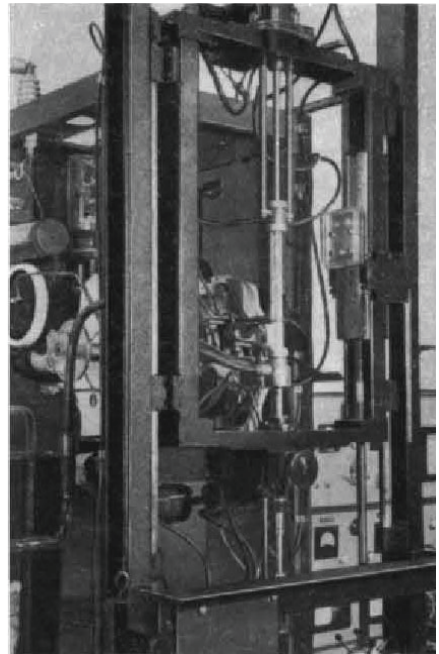
Further we read: “The growing plants designed and manufactured in Sukhumi significantly differed from those developed in other institutions. The reasons if it were two. The first: the Institute possessed a wide experience of working with complex technologies. The second reason: during the initial period of researches, they were performed by a group of German scientists being engaged in the Institute to work for reparation payments. The group also possessed other traditions of engineering work. It was exactly the German group that designed, in particular, a plant of vertical crucibles melting in the form of a traveling tubular vacuum chamber. The heater was naturally outside. By the moment of the Conference beginning the group had already returned to Germany, and to remember all the names of its members now seems to be impossible”.

“The Sukhumi group under the leadership of B.P. Mitrenin presented also reports on the research of crystallographic orientation of grains in ingots and measurements of physical properties of silicon polycrystals. The crystallographic research in those and next years was performed by N.A. Sham-



გრაფიტის გამაცხელებლიანი სილიციუმის მონოკრისტალის ამოსაწევი დანადგარის საერთო ხედი. სფტი-ს დამუშავება [6]

General view of the SIPT-developed plant for drawing silicon single crystals with a graphite resistance heater [6]



უტიგელო ზონური დნობის დანადგარის საერთო ხედი მაღალსიხშირული დენების გამათბობლით. სფტი-ს დამუშავება [7]

General view of the SIPT-developed plant for crucibles zone melting with heating of the rod with high-frequency currents [7]

გარეგამახურებლიანი მოძრავი მილი-სებრი ვაკუუმური კამერით. კონფერენციის დაწყებამდე ეს ჯგუფი უკვე დაბრუნებული იყო გერმანიაში, ასე რომ, მონაწილეების სახელების გახსენება ამჟამად მიძნელდება კიდევ. სოხუმის ჯგუფმა, რომელიც ბ.პ. მიტრენინის ხელმძღვანელობით მუშაობდა, წარმოადგინა ასევე მოხსენება, რომელიც ეხებოდა სხმულში მარცვლების კრისტალოგრაფიულ ორიენტაციისა და პოლიკრისტალური სილიციუმის ფიზიკური თვისებების გაზომვებს. კრისტალოგრაფიულ კვლევებს იმ წლებში და შემდგომში ატარებდა ნ.ა. შამბა, რომელიც შემდეგ დოქტორი გახდა. მასალების ფიზიკური თვისებების გაზომვები ტარდებოდა ი.დ. კირვალიძის ხელმძღვანელობით. სოხუმში იოდური სილიციუმის მიღებაზე მოხსენება გააკეთა ქიმიურ მეცნიერებათა კანდი-

ბა, the future doctor of sciences. Physical measurements of material properties were conducted under the leadership of I.D. Kirvalidze. A report on the production of iodide silicon in Sukhumi was made by Candidate of Chemical Sciences Inozemtseva. The n-type material could only be produced at the time from iodide silicon produced exclusively in Sukhumi. Further development of the silicon problem, which had been shaped in this purely research style in Sukhumi in the first year of work and completed by the Sukhumi Conference, lasted for another half a year. Further solution of the silicon problem required serious technological developments and making of industrial production. In this context, 1955-56 Sukhumi Institute advanced. The large amounts of starting material for melting were produced there...

დატმა ი.ა. ინოზემცევამ. იმ დროს n-ტიპის მასალის მიღება შესაძლებელი იყო მხოლოდ სოხუმში მიღებული იოდიდური სილიციუმისგან. სილიციუმის საკითხის შემდგომი განვითარება წმინდა კვლევითი მიმართულებით, რომელიც მუშაობის პირველ წელს ჩამოყალიბდა და დასრულდა სოხუმის კონფერენციით, გაგრძელდა კიდევ დაახლოებით წელიწადნახევარს. სილიციუმის პრობლემის შემდგომი განვითარება მოითხოვდა სერიოზულ ტექნოლოგიურ დამუშავებებსა და ინდუსტრიული წარმოების შექმნას. ამ მხრივ 1955/56 წწ. დაწინაურდა სოხუმის ინსტიტუტი. აქ პირველად დაიწყო მასალების დნობისათვის საწყისი ნაშაღის დიდი რაოდენობით წარმოება. სოხუმშივე შეიქმნა ჩოხრალსკის მეთოდით სილიციუმის კრისტალების ამოზრდის პირველი დანადგარი, რომელსაც უდავოდ დიდი მნიშვნელობა გააჩნდა.“ ეს დანადგარი დააპროექტა და შეიმუშავა შ. ბურდიაშვილმა. მანვე ამავე დანადგარზე 1956 წ., პირველმა სსრკ-ში მიიღო მონოკრისტალური სილიციუმი [6].

“ყველა მიღწევა სილიციუმის ტექნოლოგიაში, როგორც მასსოვს (იხსენებს ვ.ნ. რომანენკო [5]), ოფიციალურად გადაეცა „გირედმეტს“. სოხუმში დამუშავებული დანადგარი გახდა „რედმეტის“ სხვადასხვა სერიის დანადგარების წინამორბედი, რომლებიც შემდეგ „გირედმეტის“ საკონსტრუქტორო ბიუროში შეიქმნა. სოხუმის ინსტიტუტმა შემდგომში ძალისხმევა ძირითადად წარმართა თერმოელექტრული მასალების, კერძოდ Ge-Si შენადნობების მიმართულებით. შემდგომში ამ დარგში მათ სერიოზულ წარმატებას მიაღწიეს.“ პროფესორ ვ. რომანენკოს ფართო ციტირებას იმიტომ ვახდენთ, რომ ბოლო დროის მიმოხილვით სტატიებში, რომელიც ეძღვნება ნახევარგამტარული ტექნოლოგიების განვითარებას სსრკ-ში, სფტი-ს როლი ამ დარგის განვითარებაში ხშირად იგნორირებულია.

1958 წელს, კოსმოსური სივრცის ათვისების აუცილებლობასთან დაკავშირებით, ინსტიტუტს დაევალა ბირთვულ საწვავზე მომუშავე ენერგიის თერმოელექტრული გარდამქმნელის დამუშავება. ამ

The first plant for drawing silicon by the Chokhralsky method known for many advantages was designed in Sukhumi”. The said plant was developed and designed by Sh. Burdiashvili. It was the plant’s designer who in 1956 received single crystal of silicon for the first time in the USSR [6].

“All the starting developments of Sukhumi Institute on silicon technology were, as far as I know, recalls V.N. Romanenko [5]), were officially transferred to GIREDMET. The Sukhumi-developed plant served as a prototype of the first plants of the well-known series of REDMET plants of various numbers, which subsequently made in the design bureau of GIREDMET.

“Later on Sukhumi Institute focused the main efforts on thermoelectric materials, in particular Ge-Si alloys. Serious progress in this direction was made subsequently there”. Such wide citation of the recollections of Professor V.N. Romanenko was dictated by the following consideration: in the survey works on the history of development of semiconductor technology in the USSR the role of SIPT in this area was disregarded.

In 1958, in connection with the necessity of mastering outer space, the Institute was charged with a task of developing a thermoelectric energy transformer, run on nuclear fuel. The selection of SIPT for performing this task was conditioned by its successes and achievements in germanium-silicon technology.

In 1958-1964, devices and equipment for synthesis and study of solid alloys were developed and manufactured; high-performance thermoelectric materials were produced on the basis of Ge-Si; a technology for high-temperature (~1000° C) switching transfers was developed and high-temperature thermoelectric batteries and generators were made. Based on these works, headed by director of the Institute, Academician I.G.

ამოცანის შესრულების სფტი-ზე დაკისრება განაპირობა გერმანიუმ-სილიციუმის ტექნოლოგიაში მიღწეულმა წარმატებებმა.

1958-1964 წწ. სფტი-ში დამუშავდა და შეიქმნა ხელსაწყო-დანადგარები Ge-Si მყარი შენადნობების სინთეზისა და კვლევისათვის. Ge-Si-ის ფუძეზე დამზადდა მაღალეფექტური თერმოელექტრული მასალები, დამუშავდა მაღალი ტემპერატურის ($\sim 1000^{\circ}\text{C}$) კომპუტაციური გადასასვლელები და შეიქმნა მაღალტემპერატურული თერმოელექტრული ბატარეები და გენერატორები. ამ სამუშაოებზე დაყრდნობით 1964წ. ინსტიტუტმა, რომელსაც მაშინ ი. გვერდნითელი ხელმძღვანელობდა, ი.ვ. კურჩატოვის სახ. ატომური ენერგიის (აეი), პოდოლსკის სამეცნიერო-კვლევით (პნიტი) და ხარკოვის ფიზიკა-ტექნიკის (ხფტი) ინსტიტუტებთან ერთობლივი თანამშრომლობით შექმნეს მსოფლიოში პირველი ბირთვული ენერგეტიკული დანადგარი (ბედ) ჩაშენებული თერმოელექტრული გენერატორით (თეგ) „რომაშკა“ სიმძლავრით ~ 500 ვტ. რეაქტორ-გარდამქმნელი „რომაშკა“ ამოყმედდა 1964 წლის 14 აგვისტოს და უწყვეტ რეჟიმში იმუშავა 15000 სთ. ამ დროის განმავლობაში განხორციელდა რეაქტორ-გარდამქმნელის მუშაობის რეჟიმების გამოცდის ფართო პროგრამა და ჩატარდა დანადგარის სხვადასხვა კვანძებისა და სამუშაო მახასიათებლების კვლევა.

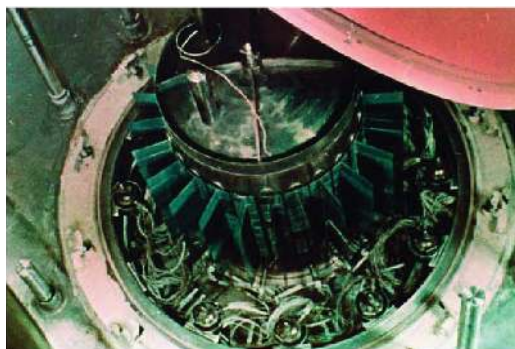
ამ გამოცდებმა შესაძლებელი გახადა სისტემის თბოენერგეტიკული და ფიზიკური მახასიათებლების შესწავლა მუშაობის როგორც სტაციონარულ, ასევე არასტაციონარულ რეჟიმებში. დანადგარის დემონტაჟისას ჩატარდა მისი ყველა შემადგენელი ელემენტის ანალიზი. მიღებულმა შედეგებმა დაადასტურეს სისტემის მაღალი საიმედოობა და ძირითადი სამუშაო პარამეტრების სტაბილურობა. აღნიშნული სამუშაოების შედეგები მოხსენდა ატომური ენერგიის მშვიდობიანი გამოყენების 1964 წლის ჟენევის საერთაშორისო სიმპოზიუმზე, რომელმაც მსოფლიოს გამოჩენილი სპეციალისტების უდიდესი ინტერესი გამოიწვია.

Gverdtsiteli, the first in the world nuclear power plant (NPP) with a built-in thermoelectric generator “Romashka” (TEG), of $\sim 500\text{W}$ capacity was built at the Institute.

The reactor-transformer “Romashka” was consummated and worked without interruptions about 1,500 hours. During this time, a wide test program of the reactor-transformer operation modes and a comprehensive study of the different plant units and their operating characteristics were carried out. These studies helped investigate the thermoelectric and physical characteristics of the system under both the steady-state and unsteady operating modes. Upon dismantling of the plant an analysis of all its elements was made. The obtained results confirmed a high reliability degree of the system and stability of the main operating parameters.

The results of these works were reported at the 1964 International Symposium on Peaceful Utilization of Atomic Energy, having provoked great interest and impression of the world specialists.

Thermoelectric instrument-making at SIPT developed in two directions. First – building of powerful TEGs of space destination in the composition of the NPP and their serial production; second – the making of TEGs of average and low capacity running on iso-

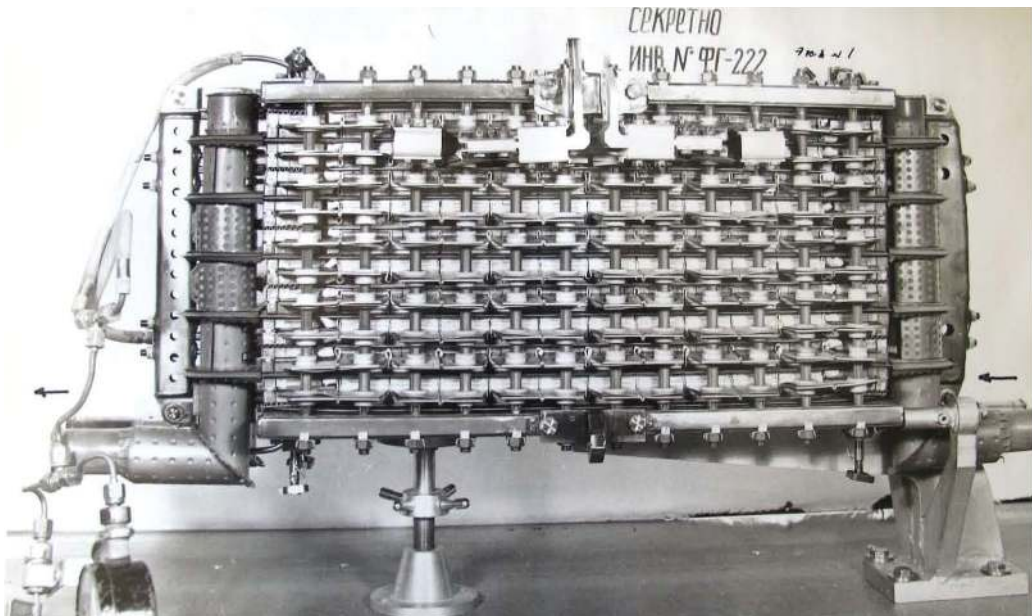


ბირთვული ენერგეტიკული დანადგარი
“რომაშკა”

NPP “Romashka”

თერმოელექტრული ხელსაწყოთმშენებლობა სფტი-ში ვითარდებოდა ორი მიმართულებით. პირველი – კოსმოსური დანიშნულების ბირთვული ენერგეტიკული დანადგარის (ბედ) შემადგენელი დიდი სიმძლავრის თეგ-ის შექმნა; მეორე – რადიოიზოტოპურ სათბობზე მომუშავე საშუალო და მცირე სიმძლავრის თეგების შექმნა ძნელადმისაწვდომ ადგილებსა და სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგში გამოსაყენებლად. სფტი-ში 1965-1967 წ. დამუშავდა კ. ბარბაქაძის მიერ საშუალო ტემპერატურული მასალების $PbTe(n)$ და $GeBiTe$ დაბალი ელექტრული წინააღმდეგობის კომპუტაციური გადასვლები, ვ. კარჟავინისა და ფ. ბასარიას მიერ ანტისუბლიმაციური დანაფარები და მაღალი ეფექტურობის თერმოელექტური ბატარეის ორკასკადიანი თეგის შესაქმნელად. 1968 წელს სფტი-ში დასრულდა 1 კოსმოსური დანიშნულების 2,8 კვტ სიმძლავრის ორკასკადიანი თეგის „БУК“ (БЭС-5) შექმნის სამუშაოები. პირველი კასკადი მუშაობდა $715-530^{\circ}C$ ტემ-

პეიზი ფუელისათვის სივრცეში უდრავს და სხვადასხვა სექტორების ეკონომიკისათვის. 1965-1967 წ. სფტი-ში შეიქმნა ცნობილი საშუალო ტემპერატურის მასალების $PbTe(n)$ და $GeBiTe(p)$ კომუტაციური კავშირით დაბალი ელექტრული წინააღმდეგობისა და მაღალი თერმალური გამტარუნარიანობის მქონე თერმოელექტური ბატარეის პროექტი, რომელიც შეიქმნა კ. ბარბაქაძის მიერ. 1968 წ. სფტი-ში დასრულდა 1 კოსმოსური დანიშნულების 2,8 კვტ სიმძლავრის ორკასკადიანი თერმოელექტური ბატარეის „БУК“ (БЭС-5) შექმნის სამუშაოები. პირველი კასკადი მუშაობდა $715-530^{\circ}C$ ტემ-



ბირთვული ენერგეტიკული დანადგარ „БУК“-ის გამოსატანი
თერმოელექტრული გენერატორი

External panel for TEG – „БУК“ intended for operation in the composition
of the NPP on spacecraft

პერატურულ დიაპაზონში. მეორე კასკადის მუშაობის ტემპერატურული ინტერვალი შეადგენდა 530-350°C. „რომაში-საგან“ განსხვავებით აღნიშნული თეგი დამზადდა გადასატანი გარდამქმნელი პანელით. ცხელ ზონაში სითბოს მიწოდება ბირთვული ენერგეტიკული დანადგარიდან ხორციელდებოდა Li-K-იანი სითბომატარებლით, რითაც პრაქტიკულად გამოირიცხა დასხივების გავლენა თეგის საკონსტრუქციო კვანძზე.

მრავალწლიანი ყოველმხრივი გამოცდების შემდეგ 1975 წელს „БҮК“ ჩაუშვეს სერიულ წარმოებაში და 30-ზე მეტი ეგზემპლარი წარმატებით მუშაობდა კოსმოსურ აპარატებში სერიით „კოსმოსი“. აღნიშნული სამუშაოებისათვის ინსტიტუტის წამყვანი თანამშრომლები დაჯილდოვდნენ სახელმწიფო ჯილდოებით, ხოლო სამუშაოთა ხელმძღვანელმა ი.გ. გვერდნითელმა 1974 წელს მიიღო სსრკ-ის სახელმწიფო პრემია „თერმოელექტრული გარდამქმნელიანი ბირთვულ-ენერგეტიკული დანადგარის“ შექმნისათვის. 1972 წელს სფტი-ში დამუშავდა დაბალტემპერატურული თერმოელექტრული მასალების ($n\text{-Bi}_2\text{Te}_3\text{-Bi}_2\text{Se}_3$ და $p\text{-Bi}_2\text{Te}_3\text{-Sb}_2\text{Te}_3$) მიღების ტექნოლოგია და მათ საფუძველზე დამზადდა თერმოელექტრული ბატარეები. აღნიშნულით მნიშვნელოვნად გაფართოვდა სფტი-ში დამზადებული თეგ-ების ნომენკლატურა, რომელიც უკვე მოიცავდა სრულ ტემპერატურულ დიაპაზონს. 1975 წელს სფტი-ში შეიქმნა მთელი რიგი თეგები („Лимон“, „Бэ́та“, „Ре́ут“, „Го́нг“, „Го́рн“ და სხვ.), რომლებიც მუშაობდნენ რადიოიზოტოპურ სანვავზე ტემპერატურის სხვადასხვა დიაპაზონში. გამოსავალი სიმძლავრე შეადგენდა 8-70 ვტ 10 წელზე მეტი რესურსით.

ყველა ზემოთაღნიშნული თეგი იყო სხვადასხვა დანიშნულების, ისინი უზრუნველყოფდნენ ობიექტებს კოსმოსში, ხმელეთსა და ზღვაში; გამოიყენებოდა როგორც კვების ავტონომიური სისტემები ავტომატურ სანავიგაციო, რადიომეტროლოგიურ და სამეცნიერო-კვლევით ობიექტებზე მთლიანი რესურ-

structural units of the TEG.

After long-term and comprehensive studies “BUK” was put in the serial production in 1975 and more than 30 specimens were successfully operating on the “Cosmos” series spacecraft. For these works the leading researchers of the Institute were decorated with government awards, while the head of works I.G. Gverdtsiteli became a winner of the State Prize of the USSR in 1974 for “construction of a nuclear power plant with a thermoelectric energy transformer”.

In 1972, a technology for producing low-temperature thermoelectric materials (Bi_2Te_3 – Bi_2Se_3 – n-type and Bi_2Te_3 – Sb_2Te_3 – p-type) and manufacturing thermoelectric batteries on their basis was developed at SIPT. This significantly extended the range of TEGs produced at SIPT, which had already covered the whole temperature span. In 1975, a whole number of TEGs (“Lemon”, “Beta”, “Reut”, “Gong”, “Gorn”, etc.) running on radioisotope fuel, at different temperature ranges, with the output electric power of 8-70 watts and a more than 10-year reserve was manufactured.

All the above-listed TEGs were of different destination and they supported the appropriate objects in space, on land and at sea, as autonomous feed systems for automatic navigation, radio-metrological and research objects/facilities during the whole reserve period. During the same period, the serial production of TEG “Rhythm” for a radioisotope cardiac stimulator, with the capacity of 0.23 watts, started at SIPT. In the 80s SIPT was engaged in the works on low-power (micro-watt) film-type TEGs “Hermes”, “Signal”, etc. for the use in microelectronics, medicine and military area.

In 1989, a modernized TEG “BUK” with the doubled operation reserve at the expense of improved switching parameters of thermocouples was completed and put into serial

სის განმავლობაში. ოთხმოციან წლებში სრულდებოდა სამუშაოები ფირების ტიპის თევების „Гермес“, „Сигнал“ და სხვათა შესაქმნელად მიკროელექტრონიკაში, მედიცინასა და სამხედრო დარგში გამოსაყენებლად.

1989 წელს ინსტიტუტში დასრულდა თევ „БУК“-ის მოდერნიზაცია. თერმოელემენტების კომუტაციის პარამეტრების გაუმჯობესებით ორჯერ გაიზარდა მისი მუშაობის რესურსი და გაშვებული იქნა სერიულ წარმოებაში. თერმოელექტრულ ხელსაწყოთმშენებლობაში სფტი-ში მნიშვნელოვან ეტაპს წარმოადგენდა ბირთვული ენერგეტიკული გენერატორის შემადგენელი თევ „Гамма-2“-ის დამუშავება წყალში დიდ სიღრმეზე სამუშაოდ, რომელიც გამოიყენებოდა ინსტიტუტში დამუშავებულ რგოლისებურ თერმოელექტრულ მოდულში. ოთხმოციანი წლების ბოლოს სფტი სხვა ორგანიზაციებთან ერთად შეუდგა პროგრამის დამუშავებას, რაც წარმოადგენდა ამერიკული SP-100 პროგრამის ანალოგს. პროგრამა ითვალისწინებდა 100 კვ სიმძლავრისა და 7 წლის რესურსის მქონე თევის შექმნას. აღნიშნული მიმართულებით შეიქმნა ბლოკური ტიპის თევი „Глория“, რომლის ტირაჟირებით შესაძლებელია ნებისმიერი სიმძლავრის მიღება. კონვენსიასთან დაკავშირებით ეს სამუშაოები შეწყდა.

80-იანი წლების ბოლოს სფტი-ში დაიწყო ეკოლოგიურად სუფთა უფრეონო სამაცივრო ტექნოლოგიის სამუშაოები, რაც ეფუძნებოდა პელტიეს უკუეფექტს დაბალტემპერატურული მაღალეფექტური თევების გამოყენებით. ინსტიტუტში შექმნილი იყო მიკროგამაცივებელი კვანძები ($5 \times 10 \times 10 \text{ мм}^3$), რომლებიც შედგებოდა ასი თერმოელემენტისაგან და უზრუნველყოფდა სპეციალური დანიშნულების მონყობილობებში ფოტოდეტექტორების ტემპერატურის სტაბილიზაციას (კ. ბარბაქაძე, ი. შევჩენკო, ვ. სერჟანტოვი, პ. ინგლიზიანი და ა. სოკოლოვი).

სფტი-ში თერმოელექტრული ხელსაწყოთმშენებლობის განვითარებასა და ფორმირებაში სხვადასხვა ეტაპზე მნიშვნელოვანი ღვაწლი მიუძღვით სხვა-

production at the Institute. In thermoelectric instrument-making, a significant stage at SIPT was the development of “Gamma” TEGs in the composition of NPPs for operation under deep-water conditions, in which the thermoelectric ring-type module developed at the Institute was used. In the late 80s, SIPT in collaboration with other institutions set out the development of a program similar to the American SP-100, which consisted in the construction of a TEG with the operation capacity of ~100 kilowatts and ~7-year endurance. The works in this direction were initiated: a block-type TEG “Gloria” capable of generating any powers upon replication was constructed. The works were stopped because of conversion.

In the late 1980s, SIPT initiated the works on designing an environmentally safe refrigeration technique (without Freon) based on the Pelté’s converse effect with the application of high-performance low-temperature TEGs. Micro-refrigeration units ($5 \times 10 \times 10 \text{ mm}^3$), containing up to 100 thermocouples providing temperature stabilization of photodetectors has been developed and fabricated (K.Barbakadze) in SIPT assigned for special purpose items.



რადიოიზოტოპური თევი „Beta-M“
Radioisotope TEG “Beta-M”

დასხვა თაობის მეცნიერებსა და სპეციალისტებს. ესენია შ. ბურდიაშვილი, ი. კერვალიძე, ნ. შამბა, ბ.პ. მიტრენინი, ი.ა. ინოზემტოვა, ს. ლალიკინი, პ. ჭელიძე, ვ. ხაჩიშვილი, რ. შვანგირაძე, ი. ასათიანი, ნ. ცქირია, ვ. ჟუკოვი, შ. გოგიჩაიშვილი, ე. ლომაძე, თ. მოზდოკელი, ე. ოზიაშვილი, კ. ბარბაქაძე, თ. ალექსანდროვა, ი. ამირხანოვა, კ. არტიომოვა, ფ. ბასარია, ვ. კარჟავინი, ო. გოგიშვილი, ნ. გრეჩკო, თ. ვეკუა, მ. ზალდასტანიშვილი, რ. ინგლიზიანი, გ. კალანდაძე, კ. კვიცინია, ვ. კობიაკოვი, ვ. კოვირზინი, ს. კონონიხინი, ი. ლავრინენკო, ვ. ლობზინი, ვ. მარჩენკო, ა. მათითაშვილი, თ. ლომთათიძე, რ. შვანგირაძე, ა. ბიგვა, ვ. მელაშვილი, ი. ოვსიანკო, ი. როგოვოი, ო. სამადაშვილი, ი.პრილეპო, ვ. სერჟანტოვი, ა. სოკოლოვი, ნ. სუდაკი, ა. ფრენკელი, ვ. შეროზია, ვ. ჩამაგუა, თ. მეიშვილი, ა. ჩილიკიდი, ს. ჩურიპოვი, მ. ბილისეიშვილი, ვ. ცხომარია, ო. სულავა და სხვები.

მეცნიერების და ტექნიკის ამ მნიშვნელოვან სფეროში ჩატარებულ კვლევათა თეორეული და პრაქტიკული შედეგები გამოქვეყნებულია სამეცნიერო ჟურნალებში, მოხსენებულია საერთაშორისო სამეცნიერო ფორუმებზე. ბევრი მათგანი დაცულია საავტორო უფლებით. უნდა აღინიშნოს მონოგრაფიები, რომლებშიც ასახულია ძირითადი ტექნოლოგიური და პრაქტიკული მიღწევები ამ მნიშვნელოვანი მიმართულებით: „Анализ бора и его соединений“ и «Анализ полупроводниковых сплавов» М., Атомиздат, 1965. ავტორები მ. ვასილიევა, ვ. ლოლიკინა, ნ. მახარაშვილი, ა. სოკოლოვა, ვ. სოიფერი და ნ. ცქირია.

დაბალტემპერატურული პლაზმის ფიზიკა და თერმოემისიური გარდამქმნელები.

1957 წ. ი.გ. გვერდნითელის ხელმძღვანელობით დაიწყო სხვადასხვა ელექტროდისანი ექსპერიმენტული თერმოელექტრული გარდამქმნელების კვლევები. პარალელურად შეუდგნენ რეაქტორ-გარდამქმნელის შემადგენელი თერმოემისიური

At different stages of development and formation of thermoelectric instrument-making at SIPT a significant contribution was made by scientists and specialists of several generations: Sh. Burdiashvili, I. Kirvalidze, N. Shamba, B.P. Mitrenin, I.A. Inozemtseva, M. Kobaladze, S. Lalikin, P. Chelidze, V. Khachishvili, R. Shvangiradze, Ya. Asatiani, N. Tsikoria, V. Zhukov, Sh. Gogichaishvili, V. Kekelia, E. Lomadze, E. Oziashvili, K. Barbakadze, T. Aleksandrova, T. Mozdokeli, I. Amirkhanova, K. Artyemova, V. Kakulia, F. Basaria, V. Karzhavin, O. Gogishvili, N. Grechko, T. Vekua, Z. Gvaramia, M. Zaldastanishvili, R. Inglizyan, G. Kalandadze, K. Kvitsinia, V. Kobayakov, V. Kovirzin, S. Kononikhin, S. Krivoruchko, I. Lavrinenko, V. Lobzin, V. Marchenko, A. Matitashvili, T. Lomtadze, R. Shvangiradze, A. Bigvava, V. Melashvili, I. Ovsyanko, I. Rogovoy, O. Samadashvili, I. Prilepo, V. Serzhantov, A. Sokolov, N. Sudak, A. Frenkel, V. Sherozia, T. Meishvili, V. Chamagua, A. Chilikidi, S. Churipov, M. Biliseishvili, V. Tskhomaria, O. Sulava and many others.

The importance of the researches in this field was proved by both: practical results in the form of technology and products and a large number of publications, should be marked out, the monograph “Analysis of boron and its compounds” and “Analysis of semiconductor alloys” by N.G. Tskiria, M.T Beshikdashyan., M.G. Vasileva, L.V. Ermakova, V.M. Lalykina, as a result of their many years of serious researches.

Law-Temperature Plasma Physics and Thermal Emission Convertors

In 1957, under the leadership of I.G. Gverdsiteli, SIPT initiated investigation of experimental thermal emission convertors (TEC) with different electrodes. In parallel, the work on design and technology of making thermal emission electrogenerating

ელექტროგენერაციული არხების დამუშავებას. სფტი-ში მიღებული ტრადიციების შესაბამისად ჩამოყალიბდა ლაბორატორიები თერმოემისიური ელექტროგენერაციული არხების შექმნის სრული ციკლის უზრუნველსაყოფად, რაც მოიცავდა თერმოემისიური გარდამქმნელებისა და არხების კონსტრუქციების დამუშავებას, მასალათმცოდნეობით და თერმოემისიურ კვლევებს, ელექტროდების მასალების შერჩევას (ძნელდნობადი მეტალებისა და შენადნობების ზედაპირების სტრუქტურის კვლევა, ზედაპირების ქიმიური შედგენილობა, მასალების ემისიური მახასიათებლები), დამზადება, სითბური და რეაქტორული გამოცდები, სხვადასხვა კვანძების მასალათმცოდნეობითი კვლევები. პარალელურად მუშავდებოდა თერმოემისიური გარდამქმნელის მუშა სხეულის ორთქლის წყაროები (ა. კალანდარიშვილი). ამუშავებდნენ აგრეთვე თერმოემისიური არხებისა და თხევადმეტალური კონტურის ჰერმეტიზაციის დიაგნოსტიკისა და კონტროლის სისტემებს ბირთვული ენერგეტიკული დანადგარის უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად (მ. შარტავა, ვ. კუჭუხიძე). 60-იანი წლების შუა პერიოდში უზბეკეთის ბირთვული ფიზიკის ინსტიტუტში (დასახლება ულუგბეიკი) პოდოლსკის სამეცნიერო-კვლევით ტექნოლოგიურ ინსტიტუტთან ერთად შეიქმნა სტენდი სრული ინფრასტრუქტურით ელექტროგენერაციული არხების რეაქტორული გამოცდებისათვის (გ. ქარუმიძე, ბ. მსხალაია). 70-იანი წლების ბოლოს ასეთი გამოცდები

channels (EGC) in the composition of the reactor transformers According to the tradition adopted in SIPT, the institute set up laboratories to ensure full cycle (from idea to the device) of manufacture of EGC, including designing TEC and EGC,

material and thermal emission studies, and as a result the selection of materials for electrodes (research in surface structures of refractory metals and alloys, chemical composition of surfaces, emission characteristics of materials), manufacture, thermal and loop tests and post-reactor material studies of different EGC units. In parallel, the work on sources of steam of the working medium for TEC (Ar. Kalandarishvili), on the development of control systems and diagnosis of depressurization of EGC and the liquid metal contour, providing for radiation safety was under way (Sh. Shartava, V. Kuchukhidze).

Together with PNIITI (Podolsk Research Institute of Technology) a test board equipped with necessary infrastructure for conducting loop tests of EGC was constructed in the Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Uzbek SSR (Ulugbek settlement) in the mid-60s. (G. Karumidze, B. Mskhalaia). From the end of the 70s these investigations were carried together with NPO (research industrial association)



თეგის კვანძების რესურსული გამოცდების სითბური სტენდი

TEG nodes recourse tests thermal stand



თეგის რესურსული გამოცდების სითბური სტენდი

TEG resource tests thermal stand

ტარდებოდა გაერთიანება „ენერგიასთან“ ერთად უკრაინის მეცნიერებათა აკადემიის ბირთვული კვლევების ინსტიტუტში (კიევი). რეაქტორული გამოცდების შემდეგდროინდელი სხვადასხვა კვანძის მასალათმცოდნეობითი და ელექტროფიზიკური კვლევები სრულდებოდა ცხელ კამერებში ყაზახეთის ბირთვული კვლევების ინსტიტუტში (ალმა-ატა).

60-იანი წლების პირველ ნახევარში საძიებო და კვლევითი სამუშაოების შედეგად მსოფლიოში პირველად სფტი-ში დამუშავდა თერმომემისიური გარდამქმნელების მუშაობის გაცილებით ეფექტური რკალური (პლაზმური) რეჟიმი. ამჟამად თერმომემისიური გარდამქმნელის მუშაობის ეს რეჟიმი საყოველთაოდ გამოიყენება ელექტროგენერაციის არხებში.

სფტი-ში დამუშავდა ერთ- და მრავალელემენტიანი (გირლანდის ტიპის) თერომემისიური გარდამქმნელი (დ. ცეცხლაძე) და დაიწყო მათი წარმოება. დამუშავდა და შეიქმნა რადიომზომი აპარატურა თერმომემისიური გარდამქმნელებისა და ენერგოგენერაციის არხების გამოსავალი პარამეტრების გაზომვებისათვის როგორც თბურ, ასევე სარესურსო გამოცდებში. დამუშავდა მრავალელემენტიანი ენერგოგენერაციის არხების გახურებისა და ვოლტ-ამპერული მახასიათებლების განსაზღვრის მეთოდები,

“Energy” of the Institute of Nuclear Research of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR (Kiev). The post-reactor material and electrophysical studies of different units of were carried out in hot chambers of the Institute of Nuclear Research of the Academy of Sciences of the Kazakhstan SSR (Alma-Ata).

As a result of research and development works carried out in the first half of the sixtieths, for the first time in the world SIPT succeeded in finding the most effective method of arc-plasma welding of the TEC operation. Currently, the TEC's arc-plasma operation mode is applied in all the developed EGC.

Designs of single- and multiple-unit (garland-type) element (D. Ceckhladze) of TEC were developed and manufactured in SIPT. Radio metering equipment to investigate output parameters of TEC and EGC, both upon thermal and non-thermal backup tests was designed. A method and technique for heating multi-unit EGC and taking down tungsten characteristics of TEC based on the converse current principle were elaborated.



თეგ-ის გამომავალი პარამეტრების რადიოგამზომი აპარატურა

Radio metering equipment for studying output parameters of TEC developed by SIPT



მრავალელემენტიანი თეგის „გირლანდული“ ტიპის კონსტრუქცია

Design of a garland-type multi-unit TEC, developer - SIPT

რომლებიც დამყარებულია უკუდენების პრინციპზე.

თერმოემისიური გარდამქმნელების დამუშავების პროცესში ელექტროდების განმხოლოებისათვის ათვისებულ იქნა კორუნდისა და იტრიუმის შემცველი კერამიკული ჰერმეტიკული მაკავშირებელი, დამუშავდა და შეიქმნა თევების მრავალშრიანი მეტალ-კერამიკული ანოდური კვანძების სანარმოო უბანი. მიღებულმა კვანძებმა წარმატებით

გაიარეს მაღალტემპერატურული სარესურსო გამოცდა აგრესიული გარემოსა და მაღალი დატვირთვის პირობებში. შეიქმნა უნიკალური ექსპერიმენტული კომპლექსი თევების მასალების ემისიურ-აბსორბციული, ფიზიკურ-მექანიკური, თბო- და ელექტროფიზიკური თვისებების შესასწავლად ფართო ტემპერატურულ დიაპაზონში. შეიქმნა თევისა და ენერგოგენერაციის არხის ცალკეული კვანძების ელექტრონულ-სხივური მეთოდით შედუღების უბანი. აღნიშნულიდან უმრავლესობა წარმოადგენდა პიონერულ სამუშაოებს და დაცული იყო შესაბამისი დოკუმენტაციით. წარმოებული სამუშაოების შედეგები რეგულარულად ქვეყნდებოდა როგორც საბჭოურ, ასევე საზღვარგარეთულ სამეცნიერო პერიოდიკაში. წამყვანი სპეციალისტები თერმოემისიური გარდამქმნების მიმართულებით აქტიურად მონაწილეობდნენ საერთაშორისო კონფერენციებისა და სიმპოზიუმების მუშაობაში.

სამუშაოების შედეგების რეალიზაცია განხორციელდა ბირთვულ ენერგეტიკულ დანადგარებში „ენისეი“-სა და „ტოპაზ“-ში, რომელიც შეიქმნა შემდეგი ინსტიტუტების კოოპერირებით: ი.ვ. კურჩატოვის სახ. აეი, პნიტი (ქ. პოდოლსკი), ცკბმ (ქ. ლენინგრადი), სამეცნიერო-კვლევითი გაერთიანება „ენერგია“ (ქ. კალინინგრადი), სკგ „კრასნაია ზვეზდა“, ფიზიკა-ენერგეტიკის ინსტიტუტი (ქ. ობნინსკი) და სხვ.

1987-1988წწ. დანადგარებმა გაიარეს სახმელეთო სითბური და საფრენი გამოცდები „კოსმოს-1818“ და „კოსმოს-1867“ ხომალდებზე და აჩვენეს შექმნილი კონსტრუქციის ელექტრომაგნიტიზირებელი არხის მაღალი ეფექტური მუშაობა ხისტი რადიაციისა და აგრესიული გარემოს პირობებში, ასევე მისი მყისიერი მდგრადობა დიდი გადატვირთვის შემთხვევაში.

In the course of development of TEC for electric demarcation of electrons production of high-temperature pressure seals with alundum and yttrium ceramics were put into production; a section for making multi-layer cermet anodic units of TEC was designed and successfully underwent high-temperature backup testing in aggressive media and at high loads. A unique experimental complex was created to study: emission-adsorption, physical-chemical, thermal- and electrophysical properties of TEC materials within a wide temperature range. A section of arc-plasma welding of individual units of TEC and EGC was established. Most above-listed developments were pioneering and protected by corresponding certificates. The results of their research the leading researchers of the Institute published in the press and reported at All-Union and international meetings on thermal emission problems being held in Germany, USA, Netherlands, France, Italy, etc. The results of these researches were implemented in the NPPs “Enisey” and “Topaz“ being created in collaboration with Kurchatov Research Institute of Atomic Energy, PNIITI (Podolsk), Central Design Bureau of Engineering (Leningrad), NPO “Energy” (Kaliningrad), NPO “Krasnaya Zvezda”, Physics and Energy Institute (Obninsk), etc. The underwent land thermal and flight tests in 1987-1988 on spacecraft “Cosmos – 1818”, “Cosmos – 1867” and manifested high performance of the TEC developed under hard conditions of radiation, in aggressive media and efficiency upon overloads.

The evidence of great merit of scientists and specialists of SIPT (being the parent institution in the area of thermal emission conversion in the USSR) in the construction of spaceship NPPs with thermal conversion of energy, was the holding in Sukhumi of the 2nd International Conference: “Nuclear Energy in Space”. Physics of Thermal Emission Convertors”. A great contribution in the successful organization and holding of



ბირთვული ენერგეტიკული
დანადგარი "ენისეი"

NPP "ENISEY"

ენერგიის თერმოემისიური გარდამქმნელებიანი კოსმოსური ბირთვული ენერგეტიკული დანადგარების შექმნაში სფ-ტი-ის (რომელიც თერმოემისიური გარდაქმნის მიმართულებით სსრკ-ში სათაო საწარმოს წარმოადგენდა) მეცნიერებისა და სპეციალისტების უდიდესი ღვაწლის დასტურად 1991 წლის ოქტომბერში სოხუმში ჩატარდა მეორე საერთაშორისო კონფერენცია „ბირთვული ენერგეტიკა კოსმოსში. თერმოემისიური გარდამქმნელების ფიზიკა“. კონფერენციის მაღალ დონეზე ჩატარებისა და ორგანიზაციის საქმეში დიდი წვლილი შეიტანა ინსტიტუტის დირექტორმა, აკადემიკოსმა რ. სალუქვაძემ. კონფერენციის მუშაობაში აქტიურად მონაწილეობდნენ ინსტიტუტის წამყვანი თანამშრომლები, რომელთა ნაშრომებმა საყოველთაო აღიარება მოიპოვეს.

ამ კონფერენციის შედეგად აშშ-სა და სსრკ-ის მთავრობები შეთანხმდნენ აშშ-ის მიერ პროექტ „ტოპაზის“ შეძენაზე. აშშ-ს მიერ შეძენილი „ტოპაზის“ კომპლექტი განთავსდა ქ. ალბუკერკის უნივერსიტეტში, საგანგებოდ მისთვის შექმნილ საცდელ ცენტრში. აშშ-რუსეთის



ბირთვული ენერგეტიკული
დანადგარი "ტოპაზი"

NPP "TOPAZ"

the Conference was made by SIPT Director, Academician R.G. Salukvadze. Together with leading world specialists in the field of space engineering and thermal emission instrument-making, the leading specialists of the Institute took active participation in the Conference work, the reports of which were generally recognized.

The result of this Conference was the making of a contract between the USSR and the USA on the purchase of the "Topaz" Project. The "Topaz" NPP set bought by the USA is installed at one of the US universities in a specially established for test center. Within the framework of a joint USA-USSR program together with specialists of other organizations active participation in the commissioning works specialists of SIPT were also taking place. The head of laboratory for thermal and reactor tests, professor of technical sciences A.G. Kalandarishvili for half a year was invited to the State Ohio, USA for working there, and his monograph



ვ.კ. ცხაკაია
ფიზ-მათ
მეცნიერებათა
დოქტორი,
სახელმწიფო
პრემიის ლაურეატი
Tskhakaia V.K.,
Doctor of physical
and mathematical
sciences, Georgian
SSR State Prize



ა. გ. კალანდარიშვილი
პროფესორი,
ტექნიკურ
მეცნიერებათა
დოქტორი, სახელმ-
წიფო პრემიის ლაუ-
რეატი
Kalandarishvili A.G.
Professor, Doctor
of technical Sciences,
State Georgian SSR
State Prize Laureate



ლ. მ. წაქაძე
ფიზ-მათ
მეცნიერებათა
დოქტორი,
სახელმწიფო პრემი-
ის ლაურეატი
Tsakadze L.M.,
Doctor of physical
and mathematical
sciences, Georgian
SSR State Prize Lau-
reate



ნ.ე. მენაბდე
სახელმწიფო
პრემიის
ლაურეატი
Menabde N.E.,
Candidate of
Technical Sci-
ences, Georgian
SSR State Prize
Laureate

ერთობლივი პროგრამის ფარგლებში, სხვა ორგანიზაციების წარმომადგენლებთან ერთად ობიექტის საექსპლუატაციოდ გაშვების სამუშაოებში აქტიურად მონაწილეობდნენ სფტი-ის სპეციალისტები. სითბური და რეაქტორული გამოცდების ლაბორატორიის ხელმძღვანელი ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი ა.გ. კალანდარიშვილი ნახევარი წლით მიიწვიეს ოჰაიოს შტატში სამუშაოდ, ხოლო მისი მონოგრაფია „მუშა სხეულის ორთქლის წყაროები ენერგიის თერმომისიურ გარდამქმნელებში“ (M.: Энергоатомиздат, 1986 г., 186 с.) ითარგმნა ინგლისურ ენაზე და გამოსცა ლოს-ალამოსის ლაბორატორიის გამომცემლობამ 1989 წელს.

სფტი-ის თერმომისიური ხელსაწყოთმშენებლობის ერთ-ერთ ლიდერად ჩამოყალიბებაში აქტიურად მონაწილეობდნენ სხვადასხვა თაობის მეცნიერები და სპეციალისტები: ი. ნიკოლაევი, ნ. მენაბდე, ვ. ცხაკაია, დ. ცეცხლაძე, ა. კალანდარიშვილი, ლ. წაქაძე, ი. სჟენოვი, ი. ასათიანი, ა. ბახტაძე, გ. ქარუმიძე, ბ. მსხალაია, ა. ბზიკაძე, რ. კუჩეროვი, ვ. კარახანოვი, გ. ტყემელაშვილი, ა. გულდამაშვილი, ი. ელოშვილი, ბ. ზიკოვი, ა. ლეიბა, ზ. ოგანეზოვი, რ. კარაგოზიანი, გ. მაილოვი, გ.

“Sources of Working Heat Steams for Thermal Emission Energy Convertors - M.: Energoatom Publishers, 1986r., 186 pages was translated in English and was published in the USA by the Los Alamos Laboratory publishers in 1989 (NLN 633-89).

Active part in the formation of SIPT as one of the leaders of thermal emission instrument making took the scientists and specialists of different generations: Yu.N. Nikolaev, S.A. Eremin, K.G. Orjonikidze, I.Jvania, N.E. Menabde, V.K. Tskhkakaia, D.L. Tsetskhladze, A.G.Kalandarishvili, L.M.Tsakadze, I.K. Szhenov, G.I. Kalandadze, Ya.V. Asatiani, A.B.Bakhtadze, G.S. Karumidze, B.A. Mskhalaia, A.G. Kudziev, A.B. Bzikadze, R.Ya. Kuchero, V.A. Karakhanov, G.I. Tkeshelashvili, A.I. Guldamashvili, Yu.L. Eloshvili, V.I. Uvarov, B. Zykov, A.S. Leiba, Z. Oganezov, R.M. Karagozyan, G.M. Mailov G.L. Kakulia, B.R. Bondarenko, M.M. Karlenko, L.Ya. Garber, B.N. Igumnov, Yargin, O.F. Kozlov, V.P. Zaitsev, V.A. Bisko, A.N.

კაკულია, ბ. ბონდარენკო, მ. კარპენკო, ლ. გარბერი, ბ. იგუმნოვი, ვ. იარიგინი, ო. კოზლოვი, ვ. ბისკო, ა. ბურკოვი, ს. ჭკადუა, ს. კრივონოსოვი, პ. ჩილინგარამილი, შ. შარტავა, ვ. კაშია, ი. ნარდაია, ვ. კუჭუხიძე, ა. სტოროჟენკო, ი. რუბანოვი, ვ. სელივანოვი, თ. სორდია, ვ. მოროზოვი, ბ. ერმილოვი, ვ. კობიაკოვი, ე. დიასამიძე, ს. ზასლავსკი, ნ. გარშინი და სხვ.

1989 წელს თერმოემისიურ ხელსაწყოთ-მშენებლობაში წამყვანი მეცნიერების ჯგუფს ვ. ცხაკაიას, დ. ცეცხლაძის, ა. კალანდარიშვილის, ლ. ნაქაძის და ნ. მენაბდის შემადგენლობით მიენიჭა საქართველოს სსრ სახელმწიფო პრემია სამუშაოთა ციკლისათვის „ენერგიის თერმოელექტრული გარდამქმნელი მასალების თვისებების შესწავლა“.

ინსტიტუტში შესრულებული სამუშაოები ამ სფეროში მოხსენებულია მესამე საერთაშორისო კონფერენციაზე „Thermionic Power Generation“ (Julich, FRG) და მეოთხე საერთაშორისო კონფერენციაზე „On Direct Energy Conversion (USA)“, გამოქვეყნებულია პრეპრინტებში, პერიოდულ ლიტერატურაში, აგრეთვე ბევრი ტექნიკური და ტექნოლოგიური გადან-ყვეტა დაცულია საავტორო უფლებებით. ამ მიმართულებით ასევე გამოცემულია მონოგრაფიები, რომლებშიც ასახულია ინსტიტუტის ძირითადი მიღწევები:

- Каландаришвили А. Г. Источники рабочего тела для термоэмиссионных преобразователей энергии. – Москва: ЭнергоАтомИздат, 1986 г. – 186 с. (მონოგრაფია ითარგმნა ინგლისურ ენაზე და გამოცემულია აშშ-ში ლოს ალამოსის ლაბორატორიის მიერ 1989 წელს - A. G. Kalandarishvili. Working Medium Sources for Thermoionic Power Converters).

- Квасников Л. А., Кайбышев В. З., Каландаришвили А. Г. Рабочие Процессы в Термоэмиссионных Преобразователях Ядерных Энергетических Установок. М.: Издательство МАИ, 2001. – 208 с.

Burkov, S.S. Chkadua, S.D. Krivonosov, P.D. Chilintarashvili, A.A. Makasarashvili, Sh.Sh. Shartava, V.D. Kashia, Yu.I. Nardaia, V.A. Kuchukhidze. A.M. Storozhenko, G.Ya. Zobnin, V.K.Mikheev, M.A. Kadaria, Yu. K. Rubanov, V.V. Selivanov, T.D. Sordia, V.A. Morozov, B. Yermilov, V.P. Kobayakov, V.A. Mikheev, E. M. Diasamidze, N.A. Garshion, A.M. Sarkisyan, A.G. Zarnadze, A.D. Bigaeva, S.A. Zaslavski, etc.

Main achievements of the institute in this field have been presented in the reports at the III International Conference on thermionic energy conversion (Julich, FRG) and the IV International Conference on direct energy conversion (USA), in preprints, periodical literature, many developments were protected by copyright. Monographs on this subject were also issued:

- Kalandarishvili A.G. Sources of working medium for the thermoemission energy converters – M.: Energoatomizdat, 1986. – p.186. (withstood two editions in 1993, p.304) and published in USA in 1989. Publishing of Los-Alamos Lab.

- Kvasnikov L.A., Kaibishev V.Z., Kalandarishvili A.G. Working processes in thermoemission converters of the nuclear energy devices M.: Publ. “MAI”, 2001, p.208

ხელსაწყოთმშენებლობა

ინსტიტუტში ერთ-ერთ ტრადიციულ მიმართულებას წარმოადგენდა რადიოფიზიკური და რადიოელექტრონული ხელსაწყოთმშენებლობა, რომელიც გასულ საუკუნის 70-იანი წლებიდან ჩამოყალიბდა დამოუკიდებელ სამეცნიერო-კვლევით მიმართულებად და ინსტიტუტის საცდელ-საკონსტრუქტორო სამუშაოებს შორის პრიორიტეტული გახდა. რიგი ხელსაწყოების, განსაკუთრებით კოსმოსური აპარატების მართვის ავტომატური სისტემების, კვების ავტონომიური სისტემების მეორეული წყაროების, მიწისზედა მართვის საკონტროლო-გამზომი აპარატურის, მძლავრდენიანი გარდამქმნელებისა და ელექტრონული იმიტაციების დამუშავებისა და წარმოების მნიშვნელოვანი ნაწილი სფტი-ს ევალებოდა. ხელსაწყო-აპარატურა მიეწოდებოდა კოსმოსური თანამგზავრების მართვის ცენტრებს გოლიცინოში, ბაიკონურში, სემიპალატინსკში, კრასნოიარსკში, ასევე დარგის პარტნიორ ინსტიტუტებს. სსრკ-ს დაშლის შემდეგ, 90-იანი წლების მიჯნაზე შეფერხდა კრასნოიარსკის გამოყენებითი მექანიკის სამეცნიერო-საწარმოო გაერთიანებისთვის, კოსმოსური თანამგზავრების მართვის ცენტრებისთვის განკუთვნილი საკონტროლო-გამზომი აპარატურის კომპლექტ „ჰორიზონტის“ (ე. წ. ხელსაწყო 11 H5190) ვოლტამპერული მახასიათებლის მზომი ბლოკების და კვების მძლავრდენიანი ტექნოლოგიური წყაროების (ხელსაწყო 11 H5191) მიწოდება, რამაც სერიოზული პრობლემები შეუქმნა ტრადიციულ პარტნიორებს, რადგანაც ინსტიტუტში დამუშავებული ამ ხელსაწყოების ერთადერთი მწარმოებელიც სფტი იყო. ინსტიტუტის ახალ პირობებში ადაპტაციისა და რეორგანიზაციის შემდეგ დამკვეთთა დაჟინებული თხოვნით ხელსაწყოთა მიწოდება განახლდა, უფრო მეტიც, შეიქმნა თანამშრომლობის ერთობლივი პერსპექტიული პროგრამა, რომელიც ითვალისწინებდა რიგი ხელ-

Instrument Engineering

Radiophysical and radio-electronic instrument-making became one of the traditional directions in the Institute. It was established as an independent scientific-research direction since the 1970s and had a priority among the development activities of the Institute. SIPT was entrusted with a substantial part of the development and manufacture of a number of devices: spaceship automatic control systems, secondary indirect power supply sources, ground-based control instrumentation, high-current transducers and electronic simulators. Devices and equipment were provided to space satellite control centers in Golitsino, Baikonur, Semipalatinsk and Krasnoyarsk, also to branch institutions. After the breakdown of the USSR, at the beginning of the 90s supplies of the voltage-current characteristic measuring blocks and high-current power supply technological sources of the control instrumentation – the set “Horizon” (the so-called instrument



ნ.ი.ლეონტიევი
სფტი-ს დირექტორი
(1969-1974),
სსრკ სახელმწიფო
პრემიის ლაურეატი

N.I. Leontyev,
SIPT director
(1969-1974),
USSR State Prize
Winner

საწყო-აპარატურის მოდერნიზაციას, სრულყოფას და ხანგრძლივ მიწოდებას.

ინსტიტუტში დაგროვილმა მდიდარმა გამოცდილებამ რადიოელექტრონულ ხელსაწყომშენებლობაში განაპირობა სფტი-ს მონაწილეობა სსრკ-ის ერთიანი სათანამგზავრო („რადუგა“, „ეკრანი“ და „ჰორიზონტი“) კავშირგაბმულობის სისტემის შექმნაში. რაშიც მას სოლიდური წვლილი მიუძღვის. ეს იყო გლობალური, მრავალპარამეტრიანი და ურთულესი ტექნიკურ-ტექნოლოგიური დავალება, რომელშიც ათობით სამეცნიერო, საკონსტრუქტორო დაწესებულება და საწარმო, ათასობით მეცნიერი და სპეციალისტი იყო ჩართული. ამავე დროს, ამოცანა განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენდა 1980 წლის მოსკოვის ოლიმპიადის მოახლოებასთან დაკავშირებით.

ამ ამოცანაში დავალების ინსტიტუტის წილი გულისხმობდა ორი საბორტო ხელსაწყოს და მათი მართვა-კონტროლის მიწისზედა კომპლექსური აპარატურის შექმნასა და მიწოდებას.

საბორტო აპარატურათაგან პირველი გულისხმობდა მზის ენერგიის სათანამგზავრო წყაროდან მიღებული დენის გადამრთველის დამზადებას ძაბვის მაღალი სტაბილიზაციით (10^{-5} ვ სიზუსტით) 6,3; 36; 110-ვოლტიან ნომინალებზე და ორბიტის „ბნელ“ არეებში მზის გენერატორის ქიმიურ დენის წყაროებზე გადამრთველის შექმნას სტაბილურობის დონის შენარჩუნებით; ხოლო მეორე - სატელევიზიო სიგნალის გამომსახივებელი კლისტრონის მაღალსტაბილური 1400 ვოლტიანი ძაბვის ფორმირებას - ე. წ. მეორეული გარდამქმნელის შექმნა-დამზადებას; მესამე - მიწისზედა მართვის კომპლექსური აპარატურის დაპროექტება-დამზადებას.

ინსტიტუტის სპეციალისტებმა საკმაოდ შემჭიდროვებულ ვადებში (1977-1979 წწ.) ბრწყინვალედ გაართვეს თავი ამ ამოცანებს.

11H5190) designated for Krasnoyarsk Scientific and Production Association of Applied Mechanics and to space satellite control centers was interrupted, which created serious problems to traditional partners. For SIPT it was the only developer and manufacturer of these instrumentation. After adaptation and reorganization of the Institute under new conditions and at the insistent demands of the customers, the supply of instrumentation was renewed. Moreover, a joint prospective cooperation program was established, providing modernization, perfection and long-term supply of a number of instruments.

The rich experience accumulated in the Institute in the area of radio electronics engineering conditioned the participation of SIPT in the creation of uniform satellite (“Raduga” (Rainbow), “Ekran” (Screen) and “Gorizont” (Horizon)) communication system, to which the Institute’s contribution is rather great. It was a global, multiparametric and most complex technical assignment, in which dozens of scientific, design institutions and enterprises, thousands of scientists and specialists were involved. At the same time, the assignment acquired a special importance connected with the approaching of the 1980 Moscow Olympic Games.

The Institute’s share in this assignment implied the development and supply of two onboard devices and of their ground-based control and debugging equipment.

Out of the onboard equipment, the first implied the manufacture of a transducer/switch of current generated by a solar power satellite source with high stabilization (to 10^{-5} V), on 6.3; 36; 110-voltage nominal and the development and construction of a switch/commutator to chemical current sources of solar generator in the “dark” areas of the orbit with the stable level retaining; while the second – formation of high-stable 1400 V voltage of the television signal

სხვა მიღწევათა ფონზე, ამ დიდ საქმეში შეტანილი განსაკუთრებული წვლილისთვის ინსტიტუტი შრომის წითელი დროშის ორდენით დაჯილდოვდა და მის გადმოსაცემად სოხუმში საშუალო მანქანათმშენებლობის მინისტრი ვ. სლავსკი ჩამოვიდა. აღნიშნული სამუშაოების შესრულებისათვის, მის ხელმძღვანელს პროფესორ ნიკოლოზ ივანეს ძე ლეონტიევს 1980 წელს მიენიჭა საკავშირო სახელმწიფო პრემია, ხოლო პროექტის მონაწილე 40-მდე წამყვანი მეცნიერ-თანამშრომელი დაჯილდოვდა სხვადასხვა სახელმწიფო ჯილდოებითა და პრემიებით.

მოგვიანებით ამ მიმართულებით ინსტიტუტის პოტენციალის საქართველოს ეკონომიკაში ინტეგრაციისთვის დაგროვილი გამოცდილება მიმართულ იქნა მეცნიერებატევადი და რესურსდამზოგი ხელსაწყო-აპარატურის შექმნასა და ფართო მოხმარების საქონლის გამოშვების გაფართოებისაკენ. დამუშავდა პროექტი (გ. ბოკუჩავა) და ტექნიკური გადაწყვეტილებები ზემოთ აღნიშნული ხელსაწყოს თანამედროვე ელემენტთა ბაზაზე მძლავრდენიანი უნივერსალური ტექნოლოგიური კვების წყაროს შესაქმნელად სხვადასხვა დანიშნულების რადიოელექტრონული აპარატურის, სასიგნალიზაციო და სხვა მართვის ელექტრონული სისტემებისათვის.

აღნიშნულ სამუშაოებში განსაკუთრებული წვლილი მიუძღვით ი. ვენედიქტოვს, ნ. ოლიფერჩუკს, მ. ჩერკასოვს, ი. გრიცს, ა. კუჩერიაევს, ბ. მაზმანიდს, გ. მაილოვს, ე. ავეტისოვს, გ. ჯღამაძეს, ა. ჯოჯუას, ა. ვოზნიუკს, თ.გოგიას, ი. რეპინს, ზ. ისაკაძეს, რ. კვიცინიას, ა. ნეკლიუდოვს, ა. ხვედელიძეს, ი. აბოიანს, ს. აბოიანს, ს. ზახაროვს, ვ. ისაჩენკოს, გ. მაკალათიას, გ. გულბანს, ლ. კოლესნიკოვს, ვ. ლ. ლომაკინს და მრავალ სხვას.

რადიოფიზიკური ხელსაწყოთმშენებლობის მნიშვნელოვან მიღწევას წარმოადგენს უნივერსალური ელექტრონული სპექტროსკოპის შექმნა (სამუშაოების

radiating klystron – the development and manufacture of the so-called secondary commutator/transducer; the third – design and manufacture of ground-based complex control equipment.

The Institute's specialists perfectly coped with these tasks in rather limited times.

Against the background of other achievements the Institute was decorated with the Order of the Red Banner of Labor. Minister of Srednego Mashinostroyeniya Y. Slavski arrived to Sukhumi to deliver the award. Professor Nikolay Leontyev was awarded the All-Union State Prize, while up to 40 leading research workers participating in the project were decorated with different state awards and prizes for implementation of the above mentioned work.

In the direction for integration of the Institute's potential into the national economy, the accumulated experience is directed at the development of science-intensive and resource-saving devices and instruments and widening the production of consumer goods. A project (G. Bokuchava) and engineering solutions for making a universal power supply source on the basis of modern elements of the above-mentioned device for radio electronic equipment, electronic signaling and other control systems.

An important contribution to the works was made by I. Venediktov, N. Oliferchuk, M. Cherkasov, I. Grits, A. Kucheryaev, B. Mazmanidi, G. Mailov, E. Avetisov, G. Jghamadze, A. Jojua, A. Voznyuk, T. Gogia, I. Repin, Z. Isakadze, R. Kvitsinia, A. Neklyudov, A. Khvedelidze, I. Aboyan, S. Aboyan, S. Zakharov, V. Isachenko, G. Makalatia, G. Gulbani, L. Kolesnikov, V. Lomakin and many others.

Serious achievement in radiophysical instrument-making was the development

ხელმძღვანელები ბ.ზიკოვი და ი. ნარდაია), რომლითაც ხორციელდებოდა ზედაპირების კომპლექსური კვლევა ელექტრონული აღგზნებით: ნელი ელექტრონების დიფრაქციის, ელექტრონული ოჟე-სპექტროსკოპიის, დაბალენერგეტიკული ზღურბლური ელექტრონული სპექტროსკოპიითა და სხვა მეთოდებით.

უნივერსალურმა ელექტრონულმა სპექტროსკოპმა ფართო გამოყენება ჰპოვა ისეთი პროცესების შესწავლისას, როგორიცაა ადსორბცია, ჟანგვა, კოროზია, ადგენია თერმოემისიურ გარდამქმნელებში და სხვა. ამ უნიკალური სპექტროსკოპით შესაძლებელია ზედაპირების ატომური სისუფთავის განსაზღვრა ერთ-ორი რიგით უფრო მაღალი მგრძნობიარობით ვიდრე ეს შესაძლებელია ოჟე-სპექტროსკოპიაში. უნივერსალურ ელექტრონულ სპექტროსკოპს სსრკ-ში არ გააჩნდა ანალოგი და იგი თავისი პარამეტრებით არ ჩამოუვარდებოდა საზღვარგარეთის საუკეთესო ანალოგებს.

ინსტიტუტში შეიქმნა რადიომეტრული აპარატურა ცხელი პლაზმის პარამეტრების განსაზღვრისათვის საკუთარ ექსპერიმენტებში საჭიროებისა და დამკვეთებისათვის. მაგალითად, რამდენიმე ნიმუში მიეწოდა სსრკ-ს პარტნიორ საწარმოებს, ასევე გაიგზავნა მექსიკასა და ლიბიაში.

ინსტიტუტში დამუშავდა სითბური ენერგიის თერმოემისიური მეთოდით ელექტრულში გარდაქმნის ფიზიკური და ტექნოლოგიური პროცესების კვლევისა და თერმოემისიური ელექტრომაგნენირებელი ელემენტების და მათი კვანძების რეაქტორული და სითბური ხანგრძლივი რესურსული გამოცდების ავტომატიზირებული მართვის რადიოელექტრონული აპარატურის კომპლექსი.

აპარატურის კომპლექსები მიეწოდა ი. კურჩატოვის სახელობის ატომური ენერგიის ინსტიტუტს, პოდოლსკის სამეცნიერო-საწარმოო გაერთიანება „ლუჩს“, ობნინსკის ფიზიკო-ენერგეტიკულ ინ-

and construction of a universal electron spectroscope (leaders of the work B. Zykov and Yu. Nardaia) with the application of different methods of surface research with electronic excitation: slow electron diffraction, electron Auger spectroscopy, low-energy threshold electron spectroscopy and other methods.

The universal electron spectroscope found a wide application in studying such processes as adsorption, oxidation, corrosion, adhesion in thermal emission converters, etc. This unique spectroscope allows measuring the surface atomic condition by one-two orders of higher precision as in the case of Auger spectroscopy.

The universal electron spectroscope had no analogues in the USSR and was no inferior to the best foreign prototypes by its parameters.

Radiometric instruments for measuring the hot plasma parameters were constructed in the Institute for own experimental needs and for customers. For example, several samples of these instruments were supplied to the USSR enterprises, also to Mexico and Libya.

The Institute developed a set of radio electronic equipment for studying physical and technological processes of conversion



უნივერსალური ელექტრონული
სპექტროსკოპი
Universal electron spectroscope

სტიტუტსა და ნიუ-მექსიკის შტატის ქ. ალბუკერკეს უნივერსიტეტს 1990 წელს აშშ-ს მიერ შესყიდულ რეაქტორ-გარდამქმნელ „ტოპაზისათვის“ სპეციალურად შექმნილ სტენდზე.

ხორციელდებოდა ფართო კვლევები გარდამქმნელების ტექნიკის დარგში, რის შედეგადაც დამუშავდა და შეიქმნა ახალი ტიპის დენის სტატიკური გარდამქმნელები. ისინი ასრულებდნენ მეორადი წყაროების როლს ელექტროკვების ავტონომიურ სისტემებში. ასე მაგალითად, რადიოიზოტოპური დანადგარის ბაზაზე დამუშავდა კვების წყარო „რეუტ-2“ 10 წლიანი რესურსით ავტომატურ სანავიგაციო ხელსაწყოებში გამოსაყენებლად. აღნიშნული მიმართულებით რ. შვანგირაძის ხელმძღვანელობით მუშავდებოდა ფენოვანი ნახევარგამტარული თერმოელექტრული გარდამქმნელები (ე.წ. „ატომური ელემენტები“). სამუშაოებში მონაწილეობდნენ შ. ჯამაგიძე, ვ. ჩატოვი, კ. კობახიძე, ა. თოდუა, ლ. ჩატოვა, ე. ფრენკელი, ა. ჩერკასოვი და სხვ.

სფტი-ში თვითუზრუნველყოფის მიღებული ტრადიციების შესაბამისად რადიოაქტიური ფონის შემცველი დანადგარების შექმნასთან ერთად მიმდინარეობდა რადიოაქტიური გამოსხივების რეგისტრაციის მეთოდებისა და ხელსაწყოების შექმნის სამუშაოები. ასე, მაგალითად, მონოკრისტალურ სილიციუმზე პირველად შეიქმნა იონებით ლეგირებული სპექტრომეტრული დეტექტორი (ა. გულდამაშვილი), რომლითაც ხორციელდებოდა სითბური ნეიტრონების რეგისტრაცია 1%-იანი ეფექტურობით. დამუშავდა, ასევე, აჩქარებული ნაწილაკების კოორდინაციულ-მგრძნობიარე დეტექტორი სივრცული გარჩევადობით ~1%, რომელიც არ ჩამოუვარდებოდა საზღვარგარეთულ საუკეთესო ანალოგებს.

ბირთვული ფიზიკის დარგში განხორციელებულმა კვლევებმა განაპირობა გამოსხივების სამუშაოები დეტექტორების სრულყოფისათვის. ორგანული მასა-

of thermal energy into the electric by the thermal emission technique and automated control of the reactor and thermal life tests of the thermal emission elements and their components.

Hardware was supplied to Kurchatov Institute of Atomic Energy, Podolsk Scientific and Production Association “Luch”, Obninsk Institute of Nuclear Energy and New Mexico State University Albuquerque Center, for a board of specially made for the reactor converter “Topaz” purchased by the U.S.A. in 1990.

Comprehensive studies in the area of converter equipment were carried out, as a result of which new types of static current converters serving as secondary sources in the autonomous power supply systems were designed. Thus, on the basis of a radioisotope energy installation a supply source “Reut-2” with a 10-year resource to be used in automatic navigation beacons was developed. The works in this direction, on the production of film semiconductor thermo-photo- electrical converters (so-called “atomic elements”) were conducted under the leadership of R.R. Shvangiradze with the participation of Sh.Z. Jamagidze, V.A. Chatov, K.A. Jobakhidze, A.A. Todua, L.A. Chatov, E.M. Frenkel, A. Cherkasov and others.

In SIPT according to the accepted tradition of self-sufficiency, together with the developments of installations and articles with radioactive background, the works on the construction of radiation registration devices and methods were also performed. Thus, for the first time the ion-implanted spectrometric detector (developer – A.I. Guldashvili) for thermal neutrons with registration efficiency up to 1% and the coordinate-responsive detector of accelerated particles with the spatial resolution of ~1%, not inferior to best foreign prototypes were developed.

ლებისა და ნივთიერებაში ენერგიის გადატანის შესწავლის პროცესში სფტი-ში დამუშავდა და შეიქმნა თითქმის მყისიერი გამოძახილის მქონე მაღალეფექტური პლასტმასის სცინტილატორები, რომელთაც გააჩნიათ სათანადო თვისებები სხვადასხვა სახის ბირთვული გამოსხივების დეტექტორებისათვის. ი. როზმანისა და კ. კავირზინას ხელმძღვანელობით დამუშავდა პლასტმასის სცინტილაციური დეტექტორი “ЧИС-Т4А” გამა გამოსხივებისა და სწრაფი ნეიტრონების რეგისტრაციისთვის. ინსტიტუტში შექმნილმა პლასტმასის სცინტილატორებმა ფართო გამოყენება ჰპოვეს მაიონიზებული გამოსხივების დეტექტორებში. სამუშაოებში მონაწილეობდნენ ე. ანდრეევი, ბ. ბარონი, დ. ვიქტოროვი, ს. კილინი, ე. ლომაძე, ა. ცვეტკოვა, ვ. შონია, ნ. ელისტრატოვი და სხვ.

ინჟექტორებისა და ამაჩქარებლების ფიზიკა და ტექნიკა

მაღალი სიმკვრივის დენის პირველი ინჟექტორი ინსტიტუტში შეიქმნა გასული საუკუნის 40-იანი წლების ბოლოს, როდესაც მიმდინარეობდა ურანისა და ლითიუმის იზოტოპების ელექტრომაგნიტური განცალკევების სამუშაოები მანფრედ ფონ არდენესა და მაქს სტეენბეკის ხელმძღვანელობით. ამ სამუშაოებით სფტი-ში საფუძველი ჩაეყარა ამაჩქარებლების ტექნიკის განვითარებას.

1953 წელს ინსტიტუტში მწყობრში ჩადგა ამიერკავკასიაში პირველი ციკლოტრონი, რომელსაც შეეძლო დეიტრონებისა და პროტონების 10-20 მევ ენერგიამდე აჩქარება 100 მა დენის შემთხვევაში. ციკლოტრონი გამოიყენებოდა ბირთვული რეაქციების საკვლევად და რადიოაქტიური იზოტოპების დასაგროვებლად ბირთვების მასების ფართო დიაპაზონში. საყოველთაო ყურადღება მიიპყრო სამუშაოებმა, რომლებიც ეხებოდა რადიოაქტიური იზოტოპების გამოსვლის კვთების გაანგარიშებას და ატომბირთვების

The research carried out in the area of nuclear physics initiated the development of works on the perfection of radiation detectors. The studies of organic materials and transfer of energy in a substance carried out in SIPT made it possible to develop and construct high-performance plastic scintillators with ultraspeed response time (highlighting) and properties for nuclear radiation detectors of various purpose. Under the leadership of I.M. Rozman and K.A. Kovirzina a plastic scintillating detector SPS-T4A was developed for registration of gamma rays and fast neutrons. The Institute-developed plastic scintillators found a wide application in the ionizing radiation detectors. Participants in the works were: E.A. Andreev, B.E. Baronn, D.V. Viktorov, L.I. Karsgishvili, S.F. Kilin, E.D. Lomadze, A.T. Tsvetkova, V.M. Shonia, N.P. Elistratov and others.

Physics and Engineering of High-current Injectors and Electron and Ion Accelerators

The first high-current injector was constructed at the Institute in the late 1940s of the last century, when the works on electromagnetic separation of uranium and lithium ions were conducted under the leadership of Manfred von Ardenne and Max Steenbeck. These works initiated the development of accelerating equipment in SIPT.

In 1953 SIPT the first in the South Caucasus cyclotron began working, which allowed to accelerate deuterons and protons up to the energy of 10-20MV, with the intensity over 100mA. It was designated for research of nuclear reactions and producing radioactive isotopes in a wide range of nuclear masses. Great attention was drawn to the Institute-conducted works on the calculation of section, yield of radioactive isotopes and beta-spectrometry of atomic nuclei, in particular, the results of the measurement of

ბეტა-სპექტროსკოპიას. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი იყო მეტად მცირე სი-
ცოცხლის ხანგრძლივობის მქონე იზო-
ტოპების ენერგეტიკული მახასიათებლე-
ბის დადგენა ბეტა-სპექტროსკოპის ციკ-
ლოტრონთან ერთობლივი ვაკუუმური
შეპირიპირების საშუალებით.

სხვადასხვა დროს შექმნილი დუაპლაზ-
მატრონები, იონების მოცულობითი და
ზედაპირული წყაროები მაღალი ინტენ-
სივობის პროტონებისა და იონების ნაკა-
დის მიღების საშუალებას იძლეოდა. (დ.
ჭკუასელი, ი. კურსანოვი, ო. პოროშინი,
ი. სკრიპალი, უ. ნიკოლაიშვილი, ა.პლუ-
ტო, ა. გევორქოვი).

სფტი-ში მაღალი სიმკვრივის დენის წყა-
როებზე და იონურ ოპტიკაში მიმდინარე
სამუშაოები პლაზმის ფიზიკის პრობ-
ლემური საკითხების ფართო განხილვის
საშუალებას იძლეოდა. მიღებულმა შე-
დეგებმა შესაძლებელი გახადა ჩამოეყა-
ლიბებინათ მაღალი სიმკვრივის დენის
პლაზმური წყაროების შექმნის ფიზი-
კური პრინციპები, რომლებმაც შემდეგ
განხორციელება ჰპოვეს დამუხტული
ნაწილაკების ამაჩქარებლებზე როგორც
სსრკ-ში, ასევე საზღვარგარეთ.

ინსტიტუტში აღნიშნული მიმართულე-
ბით სამუშაოები ინტენსიურად წარი-
მართა მაღალი ენერგიის ფიზიკის ცნო-
ბილი სპეციალისტის რევაზ სალუქვაძის
მოსვლის შემდეგ. ელექტრონების ინ-
ჟექტორის ბაზაზე ჩვენთან შეიქმნა მა-
ღალი სიმკვრივის ელექტრონული დენის
წრფივი რეზონანსული ამაჩქარებელი.
აღნიშნული ტიპის ამაჩქარებლებმა დი-
დი გამოყენება ჰპოვეს, როგორც დიდი
პროტონული სინკროტრონების ინჟექ-
ტორებმა. უკანასკნელ წლებში მათ ფარ-
თოდ იყენებენ ისეთ დარგებში, როგორი-
ცაა რადიაციული თერაპია, ნახევარგამ-
ტარული ხელსაწყოების, ლითონებისა და
სხვა კოსტრუქციული მასალების კვლე-
ვა, ქსოვილებისა და კოსმოსური ტექნი-
კის ნიმუშების ექსპერიმენტული დასხი-
ვება და ა.შ.

სფტი-ში მასალათმცოდნეობის მიმარ-

energy characteristics of short-lived isotopes
by the method of vacuum coupling of the
cyclotron with the beta-spectroscopy.

The constructed at different time
duoplasmatron ion sources, volume and
surface ion sources made it possible to
produce protons and high-intensity ions
(D. Chkuaseli, I. Kursanov, O. Poroshin,
I. Skripal', U. Nikolaishvili, A. Plyutto, A.
Gevorkov).

The works on high-current sources and ion
optics stimulated in SIPT the setting out of
a wide spectrum of research in the problems
of plasma physics. The obtained results
allowed formulating the physical principles
of the construction of high-current plasma
sources with high density of the ion emission
currents, which further found application on
the accelerators of charged particles both in
the USSR and abroad.

The works in this direction became
particularly intensive with the appearance at
the Institute of an outstanding expert in High
Energy Physics Revaz Salukvadze.

Linear high-current resonance electron
accelerators were constructed on the basis
of the electron injector. The linear resonance
accelerators found wide application as
injectors of large proton synchrotrons.
However, lately they are being successfully
applied in such areas as radiation therapy,
testing of semiconductor devices,
investigation of metals and other structural
materials, experimental irradiation of tissues
and space technology specimens, etc.

A test bench for material engineering
studies was arranged in SIPT, including two
sections of linear high-current (HC) proton
and negative hydrogen ion accelerator – the
first section with the spatially uniform HC
focusing up to the energy of 1.96 MV and the
second section with the spatially periodical
HC focusing up to the energy of 7 MV.

თულებით კვლევებისათვის შეიქმნა სტენდი, რომელიც შედგებოდა ორი სექციისაგან პროტონების მაღალსიხშირული წრფივი და წყალბადის უარყოფითი იონების ამაჩქარებლისაგან. პირველი სექცია წარმოადგენდა მაღალსიხშირულ, 1,96 მევ ენერგიამდე სივრცულად ერთგვაროვანი ფოკუსირების ამაჩქარებელს, ხოლო მეორე სექცია 7 მევ ენერგიამდე სივრცულად პერიოდული ფოკუსირების ამაჩქარებელს. აღნიშნული კვლევების დაწყების მომენტისათვის მსოფლიო პრაქტიკაში არ არსებობდა მაღალსიხშირულ კვადრუპოლურ სისტემებში უარყოფითი იონების აჩქარების გამოცდილება. 1-1,5 მევ ენერგიამდე სხვადასხვა სახის იონების ასაჩქარებლად შემოთავაზებულ იქნა ამაჩქარებლის ორიგინალური კონსტრუქცია ნახევრად ცილინდრული რეზონატორების ბაზაზე. ასეთი ამაჩქარებელი წარმოადგენს ერთმანეთში ჩაღებულ კოაქსიალურ („მატრიოშკის“ ტიპის) ტალღის სიგრძის მეოთხედტალღოვანი რეზონატორების

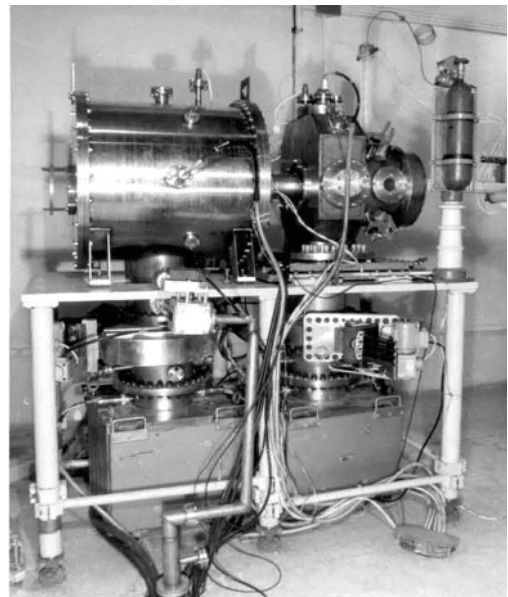
By the start of investigations on the material-engineering test bench of SIPT, the world practice had no experience of negative ion acceleration in the structures with HC of quadrupole focusing. To investigate the possibilities of such structures, for the first time in the world the negative hydrogen ions were accelerated on the, up to the energy of 1.96 and 7MV and detailed studies of the parameters of these ion beams were carried out.

To accelerate different kinds of ions up the energy of 1-1.5 MV, an original design of an accelerator on the basis of semi-cylinder resonators was proposed. Such an accelerator represents a chain of inserted into one another (“matryoshka”-type) coaxial quarter-wave resonators, stuffed into independently from one another. At that, the structure had small dimensional sizes, while the power loss because of the voltage division was reduced in proportion with the number of



რ. გ. სალუქვაძე
საქართველოს მეცნიერებათა
აკადემიის აკადემიკოსი, სფტი-ს
დირექტორი (1974-2000),
სახელმწიფო და
პ. მელიქიშვილის სახელობის
პრემიების ლაურეატი

R.G. Salukvadze
Academician of AS GSSR,
SIPT director (1973-2000),
Georgian SSR State Prize and
P. Melikishvili Prize Winner



სფტი-ში შექმნილი ამაჩქარებელი
ნახევრად-ცილინდრული მეოთხედტალღოვანი
რეზონატორების ბაზაზე („მატრიოშკა“)

**SIPT-developed accelerator on the basis
of semi-cylinder resonators (“Matryoshka”)**

ჯაჭვს, რომლებიც ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად იკვებებოდნენ, ამასთან სტრუქტურას გააჩნდა მცირე გაბარიტული ზომები, ხოლო სიმძლავრის დანაკარგები ძაბვის გაყოფის გამო მცირდებოდა რეზონატორების რაოდენობის პროპორციულად. პირველი რეზონატორის შიდა გამტარში განთავსებული იყო ერთი ან ორღრეოიანი შემკრები, რომელიც ნაკადის აჩქარების რეჟიმში მაღალი კოეფიციენტით ჩაჭერას უზრუნველყოფდა. ნახევრადცილინდრული რეზონატორების გამოყენებით შესაძლებელი გახდა რეკორდული მახასიათებლის (10-12) მევ/მ ამჩქარებლის შექმნა. აღნიშნული იონების წყაროთაგან ერთი, რომელიც 2 მევენერგიის მაღალსიხშირული ამჩქარებლისათვის შეიქმნა, გამოიყენეს იონური ლეგიონების დანადგარისთვის. ის იძლეოდა ერთ ამჩქარებელ სტრუქტურაში 10-75 მასების ინტერვალში იონების აჩქარების საშუალებას.

ამჩქარებლების ტექნიკაში მიღწეულმა წარმატებებმა განსაზღვრეს 70-ანი წლების ბოლოს სტრატეგიული თავდაცვითი ინიციატივის საბჭოურ პროგრამაში სფტი-ს ჩართვა. ამ პროგრამის ფარგლებში შეიქმნა ამჩქარებლები „ტაიფუნი“, „ვულკანი“ და B-6F.



I-2M



**„ტაიფუნი“
«Typhoon»**



**„ვულკანი“
«Volcano»**

სფტი-ში ჩატარებულმა კვლევებმა დაადასტურა ახალ ფიზიკურ პრინციპებსა და ტექნიკურ გადაწყვეტაზე დამყარებული სხივური საბორტო იარაღის შექმნის შესაძლებლობა. 1986 წელს რეიკიავიკში სსრკ-სა და აშშ-ს ლიდერების შეხვედრის შემდეგ რაკეტსაინინალმდეგო თავდაცვის პროგრამის ფარგლებში ხელი მოეწე-

ნა. The inner conductor of the first resonator contained a single- or double-gap buncher, which enabled a sufficiently high beam capture factor to the acceleration mode. With the use of semi-cylinder resonators a record-pace accelerator $(10 \div 12) \div \text{MV/m}$ was constructed. One such high-current ion source for HC 2 MV accelerator was used in the ion doping/installation plant. It allowed accelerating ions within the range of masses 10-75 by the same accelerating structure.

The number of resonators in the SCA may be rather large, although with the growth of their number the accelerator's diameter is also increased, which may lead to higher types of oscillations in additions to the general ones in large-diameter resonators.

The progress of SIPT in the development of acceleration equipment conditioned the incorporation of the Institute in the early 1970s into the Soviet SDI (Strategic Defense Initiative). Within the framework of the Program, accelerators “Typhoon”, “Volcano“, and B-6G were constructed. These accelerators were based on the concepts and technical solutions developed in SIPT during decades.

The works performed in SIPT confirmed the possibility of making of on-board nuclear weapon based on novel physical principles and technical solutions. In 1986, after the Reykjavik meeting of the USSR and USA (leaders Mikhail Gorbachov and Ronald Reagan) within the framework of the anti-

ცხრილში მოყვანილია ამაჩქარებლების ზოგიერთი პარამეტრი:
The parameters of the accelerators are given in the table below:

პარამეტრი Parameter ამაჩქარებელი Accelerator	I-2M H-2M	“Typhoon” “ტაიფუნი”	“Volcano” “ვულკანი”
კონის ენერგია,მეგ Beam energy, MV	0.02÷0.1	0.1÷0.4	1.2
დენი კონაში, კა Beam current, kA	10÷70	20÷80	1.5
იმპულსის ხანგრძლივობა, წმ Pulse duration, sec	$(1\div2)10^{-6}$	$(1\div2)10^{-6}$	$3\cdot10^{-3}$
პიკური სიმძლავრე, ვტ On-peak power, watt	10^8	10^9	10^{10}

რა ხელშეკრულებას აღნიშნული პროგრამების შეწყვეტის შესახებ.

ინსტიტუტის წამყვან სპეციალისტებს: დურმიშხან ირემაშვილს, სერგეი კურილნიკოვს, ტარიელ ოსეფაშვილს, რევაზ სალუქვაძეს, ანატოლი ტიმოშენკოს, ოლეგ უშაკოვს მიენიჭათ 1985 წლის საქართველოს სსრ სახელმწიფო პრემია პროექტისათვის: „ნანო- და მიკრონამის ხანგრძლივობის სუსტად რელატივისტური და დიდი დენების ელექტრონების ამაჩქარებლის დამუშავება 1970-1983 წლებში“.

ეს ფაქტი არის სფტი-ის სპეციალისტების დიდი ჯგუფის: დ. ჭკუასელის, ი. კირვალდიის, ა. კუჩერიავის, ა. პლუტოს, ო.

missile sub-program an Agreement on the Termination of the above-mentioned projects was signed.

For “the development of weakly relativistic high-current electron accelerators of nano- and microsecond duration and their application in special investigations” (1970-1983) a group of leading specialists (Durmishkhan Iremashvili, Sergey Kurilnikov, Tariel Osepashvili, Revaz Salukvadze, Anatoly Timoshenko, Oleg Ushakov) became the 1985 GSSR State Prize winners in science and technology.

This was acknowledgment of progress



დ. ვ. ირემაშვილი
სსრ სახელმწიფო
პრემიის ლაურეატი

D.V. Iremashvili
GSSR State Prize
winner



ტ. ა. ოსეფაშვილი
სსრ სახელმწიფო
პრემიის ლაურეატი

T.A. Osepashvili
GSSR State Prize
winner



ა. პ. ტიმოშენკო
სსრ სახელმწიფო
პრემიის ლაურეატი

A. P. Timoshenko
GSSR State Prize
winner



ო. ა. უშაკოვი
სსრ სახელმწიფო
პრემიის ლაურეატი

O.A. Ushakov
GSSR State Prize
winner

გეთიას, ტ. ოსეფაშვილის, გ. დგებუაძის, ა. შიმკოს, ვ. სუხომლინოვის, ი. უდოვიჩენკოს, ი. პავლოვას, თ. ახალაიას, ბ. ბენდელიანის, ვ. ჭანტურიძის, ა. ფაჩულიას, ნ. ოლიფერჩუკის, ნ. მარკოზიანისა და სხვ. დამსახურების აღიარება ამაჩქარებელი ტექნიკის დამუშავების დარგში.

of the work in the area of accelerating equipment of a large group of scientists and experts of different generations of SIPT: D.K. Chkuaseli, I.K. Kirvalidze, A.G. Kucheryaev, A.A. Plyutto, G.N. Dgebuadze, A.A. Shimko, Yu.G. Getia, V.A. Sukhomlinov, Yu.P. Udovichenko, Yu.A. Pavlova, T. S. Akhalaia, B. G. Bendeliani, V. G. Chanturidze, A.A. Pachulia, N.L. Oliferchuk, N.S. Markozyan, et al.

მაღალი ტექნოლოგიები სფტი-დან

High Technologies from SIPT

იზოტოპების განცალკევების ტექნოლოგია. საბჭოთა კავშირში იზოტოპების განცალკევების სამუშაოები ისტორიულად, როგორც ეს ზემოთ უკვე აღინიშნა, 1945 წელს დაიწყო სოხუმში. მაშინ ტექნოლოგიური მიმართულების ბირთვში შედიოდნენ გერმანელი მეცნიერები. მ. არდენე, გ. ჰერცი, ჰ. ბარვიხი, ი. მოლენფორდი, კ-ფ. ზიულკე და სხვები. საბჭოთა სპეციალისტებიდან პირველები იყვნენ ი. გვერდნიშვილი, ტ. გაგუა, ქ. ორჯონიკიძე, ა. ბახტაძე, გ. თევზაძე, ვ. ასათიანი, ვ. ცხაკაია, ი. ნიკოლაევი, ე. ოზიაშვილი, ა. კარამიანი, ვ. ვლასენკო, რ. კუჩეროვი, ი. ამირხანოვი და სხვ. 1950 წლიდან სოხუმის ფტი-ში დაიწყო მხოლოდ მსუბუქი იზოტოპების (ბორი, ნახშირბადი, აზოტი, ჟანგბადი, ნეონი და სხვ.) მიღების ტექნოლოგიაზე სპეციალიზება. მათზე მოთხოვნილება, განსაკუთრებით ბორის იზოტოპებზე, მწვავედ იდგა საბჭოთა კავშირში რეაქტორების მშენებლობის ზრდასთან დაკავშირებით. B^{10} იზოტოპი ძირითადად გამოიყენება მშთანთქმელი და ე. წ. ავარიული ლეროების მასალათმარეგულირებელ კვანძებში, რომლებიც აკონტროლებენ ნეიტრონების ნაკადს რეაქტორში. იზოტოპების მიღების ბაზურ ტექნოლოგიებად მიიღეს დაბალტემპერატურული და მაღალტემპერატურული რეაქტიფიკაცია, ქიმიური იზოტოპური გაცვლა და მასური დიფუზია.

მსუბუქი ელემენტების ჯგუფზე ყურადღების ასეთი კონცენტრაციის შედეგად

The Technology of Isotopes Separation.

The works on isotope separation of isotopes in the USSR were historically, as stated above, initiated in 1946 in Sukhumi. The main core of engineering specialists made German scientists: von Ardenne, G. Hertz, H. Barwich, Zühlke, Muellenpford, and others. Out of the Soviet specialists, the pioneers were I.G. Gverdsiteli, K.G. Orjonikidze, T.A. Gagua, K. Orjonikidze, A.B. Bakhtadze F.Ya., Asatiani, V Tskhakaia, Yu.V. Nikolaev, E.A. Oziashvili, A.T. Karamyan, V.A. Vlasenko, R.Ya. Kuchеров, I.B. Amirkhanov, and others.

Since 1950, Sukhumi Institute of Physics and Technology (SIPT), out of the whole group of isotopes of heavy, mean and light masses, started to specialize exclusively on the techniques for producing light isotopes (of boron, carbhydrate, nitrogen, oxygen, neon, etc.). The need for the latter, particularly boron isotopes was especially urgent in connection with the growth of nuclear reactor industry in the USSR. B^{10} was used generally as a material for saturation rods of controls, controlling neutron flows in the reactor and in the composition of, the so-called, emergency rods. As basic techniques for producing isotopes were taken the following: rectification (low-temperature and high-temperature); chemical isotope exchange (different systems); mass-diffusion.

ფტი-ში გასული საუკუნის 60-იანი წლების დასაწყისში შეიქმნა ძირითადი მსუბუქი იზოტოპების გამამდიდრებელი დანადგარების პირველი პროტოტიპები. გერმანელი სპეციალისტების ტრადიციების მემკვიდრეობის შესაბამისად ყველა სამუშაოს მიზანს წარმოადგენდა პრაქტიკული შედეგების მიღწევა. იმავე წლებში საფუძველი ჩაეყარა ქმედით ტრადიციებს, რაც ითვალისწინებდა მიმდინარე კვლევებისა და დამუშავების მოთხოვნილებათა სრულ თვითუზრუნველყოფას ძირითადი ფიზიკურ-ექსპერიმენტული, ვაკუუმურ-ტექნოლოგიური, ელექტროტექნიკური მოწყობილობებით, რეგისტრაციის, ანალიზის, კონტროლისა და მართვის აპარატურით, მაღალი დონის საზეინკლო და სამინანბრო სამუშაოებით. აღსანიშნავია რომ მინამბერთა უმრავლესობა საქართველოში სტაჟირებას გადიოდა სფტი-ში ა. გასპაროვის ხელმძღვანელობით. საგულისხმოა ისიც, რომ კვლევითი საქმიანობა წარმოებდა უპირატესად საკუთარი წარმოების დანადგარებსა და ხელსაწყოებზე. აღნიშნულის განხორციელების საშუალებას იძლეოდა მდიდარი მატერიალურ-ტექნიკური ბაზისა და უმაღლესი კვალიფიკაციის სპეციალისტების არსებობა, რომლებსაც გავლილი ჰქონდათ მონინავე გერმანული სამეცნიერო-ტექნიკური სკოლა. საბჭოთა კავშირში პირველი საცდელი-სამრეწველო დანადგარები მსუბუქი იზოტოპების განცალკევებისათვის და მოწყობილობები შექმნილი იქნა სფტი-ში.

1962 წელს ი. გვერდნითელის ინიციატივით საშუალო მანქანათმშენებლობის სამინისტრომ მიიღო გადაწყვეტილება იზოტოპების წარმოების ყველა სამუშაოს სოხუმიდან თბილისში გადატანის შესახებ. 7 ჰექტარი ფართობის ტერიტორიაზე დაიწყო სოხუმის ფტი-ს თბილისის ფილიალის მშენებლობა. 1964 წლისათვის დასრულდა სამუშაოების პირველი რიგი და გაიშვა B^{10} იზოტოპის გამამდიდრებელი დანადგარი „ენგური“ (BF_3 -ის დაბალტემპერატურული რექტიფიკაცია). 60-წლების ბოლოს გამოიყენეს ე. წ. ქიმიური იზოტოპური გაცვლის მეთოდი (ანიზოლური მეთოდი წარმო-

As a result of such concentration on light group, the first prototypes of concentration plants for main light isotopes were constructed by the early 60s at SIPT. According to the inherited tradition of the German specialists, all the SIPT works aimed at achieving the practical result. The Institute continued the traditions of full self-sufficiency of the needs of conducted research and development work established in those years proved to be very productive: main physical, experimental, vacuum-engineering, electrical equipment, the recording, analyzing and controlling facilities, skilled mechanical, glass-blowing works, etc. (by the way, most glass- and quartz-blowers in Georgia did practical work at SIPT under the leadership of A.N. Gasparov). Researches were conducted, as mentioned above, on the plants and facilities of own production, to which the unique material and technical basis and the availability of highly skilled specialists, having undergone the most advanced at the time scientific and German technical training, greatly contributed. The first in the USSR experimental-industrial plants for production of light isotopes, the design and manufacture of which were pioneered at SIPT.

In 1962, on the initiative of I.G. Gverdtsiteli, the authorities of the USSR Ministry of Srednego Mashinostroyeniya (Minsredmash) decided to transfer all the works on isotopes production from Sukhumi to Tbilisi. The construction of a Tbilisi branch of SIPT was started on the territory of ~700 ha. By 1964 the first turn of the construction in Tbilisi was finished and the first plant “Inguri” for enriching B^{10} (low-temperature trifluoride rectification) was commissioned. In the end of 1960s, the so-called isotope exchange technique was applied (anisole process – the technology of counter-flow chemical isotope exchange between BF_3 in gaseous phase and its complex compound with the organic complexing agent in liquid – anisole, on the



ადგენს საპირისპიროდ მიმდინარე ქიმიურ იზოტოპურ გაცვლას გაზის ფაზაში არსებულ BF_3 -სა და სითხის მდგომარეობაში არსებულ ორგანული კომპლექსების წარმოქმნელ ანიზოლს შორის, რის საფუძველზე ამჟამადაც ხორციელდება გამაცალკავებელ კოლონებში ბორის იზოტოპების განცალკება).

მსუბუქი ელემენტების სტაბილური იზოტოპების წარმოების ორგანიზაციისა და რიგი მნიშვნელოვანი ტექნიკური და ტექნოლოგიური შედეგების მიღებისათვის წამყვანი სპეციალისტების ჯგუფს მიენიჭა საბჭოთა კავშირის სახელმწიფო პრემია. ესენი იყვნენ ა. ბახტაძე, ქ. ორჯონიკიძე, გ. თევზაძე, ე. ოზიაშვილი, ფ. ასათიანი. ისინი იდგნენ სფტი-ში იზოტოპების მიღების სათავეებთან და გააგრძელეს თავიანთი მოღვაწეობა თბილისში, სტაბილური იზოტოპების სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში.

მოკლე ვადებში თბილისის ფილიალი იქცა დამოუკიდებელ ორგანიზაციად. სტაბილური იზოტოპების კვლევითი ინსტიტუტის პირველ დირექტორად დაინიშნა ტ. გაგუა. ამჟამად არსებული მაღალი ტექნოლოგიების ეროვნული ცენტრი საყოველთაოდ არის ცნობილი. მსოფლიოში ის ლიდერია სტაბილური იზოტოპების წარმოებაში. ამჟამად მაღალი ტექნოლოგიების ეროვნულ ცენტრს ხელმძღვა-

basis of which the risers implementing the separation of boron isotopes.

SIPT's key personnel: A.B.Bahtadze, K.G.Ordzhonikidze, G.A.Tevzadze, E.D.Oziashvili, V.Ya.Asatiani participating from the very first stages in isotopes obtaining under SIPT, continuing their activities in Tbilisi Institute of Stable Isotopes (ISI) were awarded the USSR State Prize for organizing the production of element stable isotopes and obtaining number of significant technical and technological results.

Soon Tbilisi branch became an independent organization – Tbilisi Institute of Stable Isotopes (ISI), and T.A. Gagua was appointed its first director. At present ISI is the National High Technology Center – the world-known enterprise, world leader in the production of stable isotopes, headed by Doctor of Physical and Mathematical Sciences G.G. Esadze. A great contribution to the formation of the Institute was made by the scientists and engineers of SIPT – I.G. Gverdtseteli, P.V. Chelidze, T.A. Gagua, G.A. Tevzadze, A.B. Bakhtadze, T.G. Abzianidze, G.S. Karumidze, N.K. Tsikoria, Yu.V. Nikolaev, B. Mskhalaia, K.G. Orjonikidze, E.D.



ფ. ი. ასათიანი
ტექნ. მეცნ. დოქ-
ტორი,
სსრკ სახელმწიფო
პრემიის ლაურეატი

P.Ya. Asatiani
Dr. techn. Sciences,
Ph.D., Laureate of the
USSR State Prize



ე. დ. ოზიაშვილი
ქიმიურ მეცნ. დოქ-
ტორი,
სსრკ სახელმწიფო
პრემიის ლაურეატი

E.D.Oziashvili
Dr. chem. Sciences,
Laureate of the
USSR State Prize



გ. ა. თევზაძე
ტექნ. მეცნ. დოქ-
ტორი,
სსრკ სახელმწიფო
პრემიის ლაურეატი

G.A.Tevzadze
Dr. techn. Sciences,
Laureate of the USSR
State Prize



ა.ბ. ბახტაძე
ტექნ. მეცნ. დოქ-
ტორი,
სსრკ სახელმწიფო
პრემიის ლაურეატი

A.B.Bahtadze
Dr. techn. Sciences,
Laureate of the
USSR State Prize

ნელობს ფიზ. მათ. მეცნ. დოქტორი გიორგი ესაძე. ინსტიტუტის გაშლასა და განვითარებაში დიდი წვლილი შეიტანეს სფტი-ს მეცნიერებმა და ტექნიკურმა თანამშრომლებმა: ი. გვერდნითელი, პ. ჭელიძე, ტ. გაგუა, გ. თევზაძე, ა. ბახტაძე, თ. აბზიანიძე, გ. ქარუმიძე, ნ. ცქირია, ი. ნიკოლაევი, ბ. მსხალაია, ქ. ორჯონიკიძე, ე. ოზიაშვილი, ა. ქარუმიძე, პ. ასათიანი, ა. გულდამაშვილი, შ. კობალაძე, ვ. ხაჩიშვილი, გ. ფირცხალაიშვილი, ფ. კამინსკი, ა. კუძიევი, გ. ტყეშელაშვილი, გ. კალანდაძე და სხვ. მრავალი მათგანი სამუშაოდ დარჩა თბილისში და მონაწილეობდა უნიკალური ინსტიტუტის შემდგომ ზრდასა და განვითარებაში.

კრიოვაკუუმური ტექნოლოგია. პლაზმის ფიზიკის, ბირთვული, კოსმოსური თუ სფტი-ში დამუშავებული სხვადასხვა კვლევებისათვის საჭირო დანადგარები მოითხოვდა მაღალი ხარისხის ვაკუუმის მიღებისა და მისი ხანგრძლივად შენარჩუნების აუცილებლობას ნახშირწყლების შემცველი მინარევების გარეშე. აღნიშნულ დანადგარებისადმი წაყენებული საექსპლუატაციო მოთხოვნები მეტად მკაცრი იყო: მუშაობა გაზების დიდი დატვირთვის, მძლავრი ელექტრომაგნიტური გამოსხივების, მაღალი რა-

Oziashvili, A.A. Kuchukhidze, P. Ya. Asatiani, A.I. Guldamashvili, M.A. Kobaladze, V.I. Khachishvili, G.P. Partskhalashvili, V.A. Kaminski, A. Kudziev, G.I. Tkeshelashvili, G.N. Kalandadze, and others. Many of them remained to work in Tbilisi and contributed thus to further growth and formation of the unique institute.

Cryogenic Vacuum Technology. Developments of SIPT in the area of plasma physics, installations for space and thermonuclear research, accelerating equipment, thermal physical and technological equipment required the availability of pumping facilities and maintenance of carbon-free fine vacuum. Additionally, these systems were to meet the strict service conditions: large gas loads, the presence of powerful electromagnetic fields, the impact of powerful radiation background,



CCP-8D
Cryopump CCP-8D



CCP-10D
Cryopump CCP-10D

კრიოტუმბოს პარამეტრები Cryogenic pump parameters	CCP-8D	CCP-10D
შემაველი მილტუჩა პარამეტრი, მმ Bushing holder's size, mm	500	630
ქაჩვის სიჩქარე, მ ³ /წმ Pumping speed, m ³ /s	8	10
მაქსიმალური მიღწევადი ვაკუუმი, პა Maximum allowed vacuum, Pa	$1 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{-11}$
მუშა წნევა, პა Working pressure, Pa	$10^{-3} - 10^{-10}$	$10^{-3} - 10^{-10}$
მაცივარაგენტი Refrigerant	LHe	LHe
მაცივარაგენტის ხარჯი, ლ/დღე-ღამე Refrigerant consumption, l/day	80	90
ასა, კგ Weight, kg	45	55

დიაციული ფონის, ამოტუმბვის მაღალი სიჩქარეებისა და ა.შ. პირობებში, რამაც განაპირობა კრიოგენული ვაკუუმური სისტემების უალტერნატივოება და კრიოვაკუუმური ტექნოლოგიების შემდგომი განვითარება სფტი-ში.

აღნიშნული ტექნოლოგიების განვითარებას ხელი შეუწყო ინსტიტუტში არსებულმა მძლავრმა კრიოგენულმა უბანმა, რომელიც აკადემიკოს პეტრე კაპიცას ინიციატივითა და უკრაინის სსრ ხარკოვის დაბალი ტემპერატურების ფიზიკა-ტექნიკის ინსტიტუტის ტექნიკური ხელშეწყობით შეიქმნა. კრიოგენული უბანი, რომელსაც სხვადასხვა წლებში ხელმძღვანელობდნენ ლ. პოლუნინი, ს. კაკულია, ნ. ფანგანი, ზ. კერვალაძე,

the necessity of high pump speeds, etc. The conduct of investigations (research) for solving this task confirmed the necessity of cryogenic vacuum pumping facilities and started the development of cryogenic vacuum technology in SIPT.

The development of this field was contributed by the presence in the Institute of a powerful cryogenic section set up on the initiative of the Academician Pyotr Kapitsa as far back as the 50s with the technical assistance of Kharkov Institute for Low Temperature Physics and Engineering of the Ukrainian SSR Academy of Sciences. This section, headed in different years by L.P. Palunin,

მთლიანად უზრუნველყოფდა თხევადი ჟანგბადით, ჰელიუმით, წყალბადითა და არგონით ინსტიტუტისა და დასავლეთ საქართველოს მოთხოვნილებებს.

თხევად ჰელიუმზე მომუშავე პირველი ექსპერიმენტული კრიოგენული ტუმბოს CCP-8D-ს ტესტირება ჩატარდა ამაჩქარებელზე და შემდგომში მთლიანად შევიდა ამაჩქარებელ „ვულკან“-ის კომპლექტში. კრიოტუმბო დამზადებული იყო ტიტანისაგან, ხოლო მისი მუშა ზედაპირის სორბციული თვისებების გასააქტიურებლად გამოიყენებოდა ინსტიტუტში დამუშავებული ვაკუუმური დაფენის ტექნოლოგია.

ტუმბოების პარტია გაეგზავნა ნოვოსიბირსკის ბირთვული კვლევების ინსტიტუტს. მოგვიანებით ინსტიტუტში შეიქმნა უფრო მძლავრი კრიოტუმბო CCP-10D, რომელიც მაღალი ვაკუუმით უზრუნველყოფდა სპეცდანიშნულების ამაჩქარებელ კომპლექსს „Б-6Г“.

შემდგომში ნომენკლატურა გაფართოვდა, დაპროექტდა და შეიქმნა კრიოტუმბოები თხევად აზოტზე (CSP-0,5D, CSP-8D და სხვ.), რომელთაგან CSP-0,5D სერიის ტუმბოები გაიგზავნა სანარმოო გაერთიანება „ორიონ“-ში (ქ.მოსკოვი) და ჩართული იქნა ფირების ვაკუუმური დაფენის კომპლექსში.

კრიოტუმბოების შექმნას წინ უძღოდა გ. დგებუაძის ჯგუფის მიერ განხორციელებული კვლევები მასალების თბოფიზიკური თვისებების, რადიაციამდეგობისა

S.V. Kakulia, N.S. Fangani, Z.K. Kervalidze, fully met the Institute's and the entire West Georgia's liquefied (nitrogen, helium, oxygen) requirement.

The first experimental cryogenic pump CCP-8D of liquid helium was tested on the accelerator, becoming later a component of the “Volcano” accelerator set. The cryogenic pump was completely made of titanium, while for producing a developed sorption active area of large capacity the vacuum deposition technology developed in the Institute was used.

A consignment of these pumps was forwarded to the Novosibirsk Institute of Nuclear Physics. Later on, the institute developed a cryogenic pump CCP-10D with higher performance ensuring pumping of the set on the accelerating installation of special designation “B-6G”. Some parameters of these pumps are given in the Table below.

Later on the nomenclature was widened; cryogenic pumps on liquid nitrogen (CSP-0.5D, CSP-8D, etc.) were designed and manufactured. A series of cryogenic pumps CSP-0.5D on liquid nitrogen was sent to the “Orion” Research and Production Association (Moscow), where it was incorporated in the operation of the set of vacuum layering.

The manufacture of cryogenic pumps was preceded by the investigations of thermal

ჩამკეტები

Shutters



БШЗ-80

BSHZ-80



E3III-100

BSHZ-100

და საინჟინრო გათვლები თბოიზოლაციური მახასიათებლების შესახებ, რომელთა უმრავლესობა საავტორო უფლებებითაა დაცული.

ინსტიტუტში შეიქმნა ასევე სწრაფი ქმედების ვაკუუმური ჩამკეტები, რომლებიც ვაკუუმური სისტემების გეგმიურ და ავარიულ სიტუაციებში გაჩერებისას უზრუნველყოფდა ვაკუუმური სისტემების პერმეტულობას.

physical properties of materials, studying their radiation resistance, engineering calculations of thermal insulation, which were conducted by a group of specialists under the leadership of G.N. Dgebuadze. Most of these developments were patented.

SIPT also developed fast shutters ensuring thermicity of vacuum systems upon scheduled outage and emergency shutdowns of high-vacuum plants.

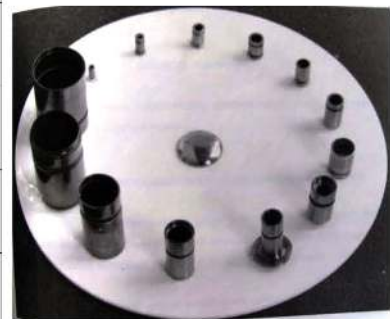
კერამიკული ნამზადების წარმოების ტექნოლოგია. ინსტიტუტში განხორციელებულმა ტექნოლოგიურმა კვლევებმა მოითხოვა სხვადასხვა ტიპის დანადგარებისათვის კერამიკული და მეტალ-კერამიკული კვანძების შექმნა, რომელთაც აგრესიულ გარემოში შეეძლოთ მუშაობა. მიღწეულმა შედეგებმა შემდგომში სახალხო მეურნეობის სხვადასხვა დარგში ჰპოვეს გამოყენება.

Ceramics Production Techniques. The works performed in SIPT in the area of direct conversion of thermal energy into electrical, accelerating equipment, plasma physics, etc., posed the developed a problem of making ceramic and metal-ceramic units that met the strictest conditions of operation and found a wide application in different sectors of the national economy.

ტექნიკური მახასიათებლები

Specifications

გეომეტრული ზომები Specifications	
შიდა დიამეტრი Inner diameter	2÷25 მმ /mm
გარე დიამეტრი External diameter	5÷30 მმ / mm
მეტალისა და კერამიკული ფენების სისქე Metal and ceramic layers' thickness	0,3÷1 მმ /mm
საიზოლაციო ფენის ელექტრონინალობა Insulating barrier resistivity	≥1 მეგომი / MΩ
იზოლაციის დიელექტრიკული წინააღობა Insulation strength	≥ 2 კვ/მმ / kW/mm
გაზის გადინების სიჩქარე Gas (helium) cleanup rate	≤10 ⁻⁸ მპ პა/წმ /Pa/s
მუშა ტემპერატურების ინტერვალი Operating temperature range	-50÷200 °C
ნიობიუმის მანქეტებისათვის For niobium cuffs	-50÷1100 °C
გარანტია Guarantee	>10 წელი /years



სფტი-ში დაიწყო კოაქსიალური მეტალ-კერამიკული ჰერმეტიკული შეყვანის წარმოება ორი ტიპის მანქანებით: რკინა-ნიკელის შენადნობისა (საშუალოტემპერატურული) და ნიობიუმის ფუძეზე მიღებული შენადნობებისაგან (მაღალტემპერატურული).

ელექტროსაიზოლაციო მასალად ალუმინის ოქსიდი გამოიყენებოდა, ხოლო კერამიკული და მეტალური დეტალების შეერთება დიფუზური შედუღებით ხორციელდებოდა. სფტი-ში წარმოები მეტალკერამიკული ჰერმეტიკული შეყვანი ფართოდ გამოიყენებოდა ელექტროვაკუუმურ, გაზონალიზურ, თერმოემისიურ და თერმოელექტრულ ხელსაწყოთმშენებლობაში, დენის ქიმიურ წყაროებში, მაღალი ძაბვის დანადგარებში და სხვ. ასევე, ჰერმეტიკული შეყვანების დიდი პარტია მიენოდებოდა მომიჯნავე ორგანიზაციებსა და ელექტროვაკუუმურ ხელსაწყოთმშენებელ საწარმოებს. სფტი-ში მიმდინარეობდა ალმასის ბურლების წარმოება, რომლის საწარმოო ტექნოლოგია საავტორო უფლებით იყო დაცული. ბურლების კონსტრუქციულ თავისებურებას

წარმოადგენდა ალმასის გვირგვინის ახლებური, ნალისებრი ფორმა. ბურლების დამზადების ხერხი უზრუნველყოფდა ალმასის გვირგვინის ფორმირებასა და ბურლის კორპუსთან მის საიმედო დამაგრებას. აღნიშნული ბურლებით შესაძლებელი იყო მცირე დიამეტრის ნახვრეტების

ეფექტური გაბურღვა როგორც კერამიკულ, ასევე ნახევარგამტარულ მასალებში, მინაში, კვარცში, სიტალში, ფერიტში და სხვ. აწარმოებდნენ სხვადასხვა დიამეტრის ალმასის ბურლებს (0.3–6 მმ).

პლანეტა ვენერადან ნიადაგის სინჯის ასაღებად საგანგებოდ შეიქმნა ალმასის ბურლიანი მიკროსაბურლი, რომელიც წარმატებით გამოიყენეს კოსმოსურ აპარატ „ვენერა-3“-ზე და პლანეტის ნიადაგის სინჯი დედამიწაზე იქნა ჩამოტანილი.

The production of coaxial metal-ceramic hermetic feed-through seals was arranged in SIPT.

A wide range of hermetic feed-through seals used to be produced in SIPT: for two types of cuffs from nickel-iron alloy (average temperature) and niobium-base alloy (high temperature). Aluminum oxide serves as an insulating layer, while connection of ceramic and metal parts of the hermetic feed-through seals was carried out with the help of diffusion welding.

The SIPT-manufactured hermetic feed-through seals found the widest application in the area of electric vacuum and gas analyzing, thermal emission and thermoelectric instrument-making, in chemical current sources, in high-voltage installations and in many other areas.

Large consignments of hermetic feed-through seals were delivered to allied organizations and enterprises of electric vacuum instrument-making.

SIPT arranged the production of diamond drills, the manufacturing method of which was patented. The design peculiarity of the drills was a new horseshoe-shaped diamond crown. The drills manufacture method ensured the diamond crown formation and its reliable fastening with the drill body. The drills allowed effective drilling of small-diameter holes in ceramics, semiconductors, glass, quartz, pyroceramics, ferrite, minerals,





ინსტიტუტში კონტროლირებადი ფორიანობის კერამიკული მასალების მიღების ტექნოლოგიური პროცესების გაუმჯობესებამ საშუალება მისცა ენარმოებიანათ კერამიკული ფილტრები მინერალური წყლებისა და სხვადასხვა ტიპის სასმელების გასაფილტრად. გამოდიოდა სხვადასხვა ფორიანობის ფილტრები ფორების ზომებით: 0.2-0.5 მკმ, 2-3 მკმ, 5-8 მკმ, 10-15 მკმ და ა.შ. წარმოებული ფილტრების სრული ფორიანობა 45%-მდე აღწევდა და ღვინისა და ალკოჰოლური სასმელების ქარხანაში ჩატარებული ცდებით დადასტურდა მათი მაღალი ეფექტურობა ღვინისა და ღვინომასალების განმენდაში, სტაბილიზაციასა და სტერილიზაციაში, ასევე ალკოჰოლური და უალკოჰოლო სასმელების წარმოებაში. ფილტრები გამოირჩეოდა მაღალი წარმადობით, თერმული და ქიმიური მედეგობით, ხანგამძლეობითა და შედარებით მაღალი მექანიკური სიმტკიცით.

ინსტიტუტში ასევე მიმდინარეობდა სამუშაოები მიღებისა და მავთულების საგლინავი კერამიკული ფილერების შესაქმნელად.

სფტი-ში დამუშავდა გაზური ფაზიდან მონოამიაკის (AlCl_3NH_3) დაშლით ალუმინის ნიტრიდის (AlN) უფრო დანაფარების მიღების ტექნოლოგიური პროცესი. შექმნილი დანადგარი, რომელიც 800-1600 °C ტემპერატურულ დიაპაზონში გაზური ფაზიდან ცილინდრულ და ბრტყელ ზედაპირებზე თანაბარი დაფენის საშუალებას იძლეოდა. მოლიბდენის ფუძეპრეზე მიღებულია AlN -ის მაღალი ადგეზიურობის მკვრივი დანაფარები. დაფენის

etc. The manufactured diamond drills were of different diameters, from 0.3 to 6 mm. The SIPT-produced drills were used in radio, electronic, instrument-making industries, also were rather popular in dentistry and jewelry industry.

Specially for taking soil samples from Venus, a micro-drill with a diamond crown was designed and manufactured. It had been successfully used on the Venus-3 spacecraft and the soil samples were delivered to the Earth.

Development of techniques for producing ceramics with a controlled porosity of the product allowed arranging in the Institute the production of ceramic filter elements/cells for beverages and mineral water. Filtering elements of different designation with pore sizes from 0.2-0.5 μm , 2-3 μm , 5-8 μm , 10-15 μm , etc. were produced.

Complete porosity reached 45%. Production prototypes of filter elements were manufactured and tested on a winery. They were

found to be highly effective for clarifying, stabilizing and sterilizing wine materials, alcoholic beverages, beer, kvass and other soft drinks and thin mixtures. They were noted for high performance, thermal and chemical stability, durability and relatively high mechanical strength.

The Institute was engaged in the developments for manufacture of ceramic draw plates for tube and wire rolling with high precision of geometrical parameters.

A manufacturing method for producing pore-free surfaces from aluminum nitride (AlN) of high purity by deposition from a gas phase through decomposition of mono-ammonium AlCl_3NH_3 was developed. An installation operable within the range of 800-1600 °C to carry out a gas phase process and ensure uniform coating on cylinder and flat substrates. Dense AlN coverings with high adhesion on

სიჩქარე 0.8-1 მკმ/წმ-ს შეადგენს. დამუშავებულია ორ- და სამფენოვანი ცილინდრული და ბრტყელი გეომეტრიის Mo-AlN და Mo-AlN-Mo მეტალ-კერამიკული კომპოზიციების შექმნის ტექნოლოგია. მოლიბდენის დაფენა AlN-ის საიზოლაციო ზედაპირზე განხორციელდა მოლიბდენის ქლორიდისა და კარბონილის გაზურ ფაზაში დაშლით. საიზოლაციო ფენის ელექტრონინალობა 200 °C ტემპურატურაზე შეადგენდა $3 \div 5 \times 10^{13}$ ომ×სმ, ხოლო ელექტრული სიმტკიცე აღემატებოდა 105 ვ/სმ. სამფენოვანი კომპოზიციის თერმოინალობა 3000 °C-ზე შეადგენდა $0,5 \div 0,8$ გრად/ვტ×სმ².

მიღებული მასალები წარმატებით გამოიყენებოდა გარდამქმნელების რეაქტორების შემადგენელ თერმოემისიურ ენერგოგენერაციის არხების კონსტრუქციებში.

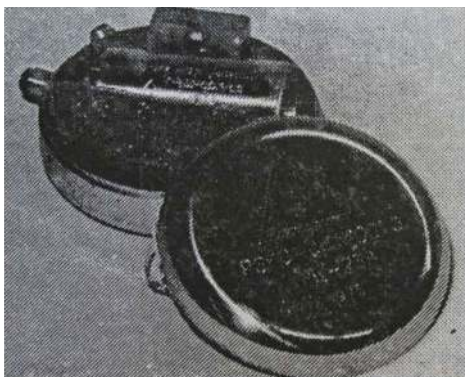
სფტი-ს ტექნოლოგიები ჯანდაცვის დარგში. სფტ-ში შეიქმნა და ინარმოებოდა 0,23 ვატ. სიმძლავრის რადიოიზოტოპური თერმოელექტრული გარდამქმნელი – რიტმი – კარდიოსტიმულატორების კვებისათვის. რადიოიზოტომი ხელსაწყოების კონსტრუირებისა და შექმნის სამუშაოებში მიღებულმა გამოცდილებამ სფტი-ს სპეციალისტებს 80-იანი წლების ბოლოსთვის შეაძლევინა (პირვე-

a molybdenum support were produced. The coating deposition rate makes 0.8–1 μm/min. The technique for manufacture of double- and three-layered metal-ceramic Mo-AlN and Mo-AlN-Mo molybdenum compositions of cylindrical and flat geometry was developed. Molybdenum deposition on the insulating layer surface from AlN was carried out in gaseous phase of chloride and molybdenum carbonyl. Electric resistance of the isolating layer constituted $3,5 \times 10^{13}$ Ohm×cm at 200 °C; electric strength exceeded 105 V/cm; thermal resistance of a three-layered composition at 3000 °C made 0.5, 0.8 degree/W×cm².

The given developments were successfully in the designs of thermal emission electro-generating channels were successfully used in the composition of convertor reactors.

SIPT Technologies in Public Health Care. Radioisotope (0,23 watts) thermoelectric converter “Ryth” was created and manajactued in SIPT for cardiostimulativ supply. SIPT created and started commercial production of TEG (thermoelectric generator) “Rhythm” for a radioisotope 0.23 watt cardiostimulator.

Wide work experience in design and



თერმოელექტრული კარდიოსტიმულატორი „რიტმი“

Termoelectric Cardiostimulator “Rhythm”



არტერიული წნევის და პულსის გამზომი აპარატი

Blood pressure and pulse monitor

ლებს ყოფილი სსრკ-დან) ადამიანის არტერიული წნევისა და პულსის გამზომი ციფრული პორტატული ხელსაწყოების გამოშვება (სამუშაოების ხელმძღვანელი გ. ბოკუჩავა), რომელიც დამტკიცებული იყო საქართველოს, რუსეთისა და ყოფილ სსრკ-ში შემავალი რესპუბლიკების ჯანდაცვის სამინისტროების მიერ. ტრავმატოლოგიისა და ორთოპედიის სამეცნიერო ცენტრთან (თბილისი, დირექტორი სსრკ მედიცინის მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი ო. ლუდუშაური) ერთობლივად შეიქმნა სანარმოო უბანი, სადაც სფტი-ში შექმნილი ტექნოლოგიით მზადდებოდა ადამიანის სახსრების სხვადასხვა ნაწილის იმპლანტები.

სფტი-ს ტექნოლოგიები გადამამუშავებელი წარმოებისათვის. 1980 წელს საქართველოს სუბტროპიკული მეურნეობის თანამშრომლებმა (ტ. ცინარიძე და რ. დადიანი) დაამუშავეს „ოზონისა და ჰაერის ნარევიტ ჩაის მწვანე ფოთლის ღნობის მეთოდი“, რომელმაც მიიღო საქართველოს სოფლის მეურნეობის სამინისტროს თანხმობა. 1982 წელს საქართველოს მთავრობამ დაავალა სფტი-ს შეიქმნა ექსპერიმენტალური დანადგარი ოზონისა და ჰაერის ნარევიტ ჩაის ფოთლის ღნობისათვის. ინსტიტუტში შეიქმნა დანადგარი „ოზონ-1მ“, რომელიც შეიცავდა მაიოზონირებელ კამერას, საგებს, შემბერ და გამწვან ვენტილატორებს, 6 კვარც-ვერცხლისწყლის ნათურას DPT-400 ოზონის მისაღებად და ჩაის ფოთლის 50-60% ტენიანობამდე გასაშრობად. დანადგარზე მიიღებოდა მეტად მაღალი ხარისხის (90%-ზე მეტი) ერთგვაროვანი ღნობის საბოლოო პროდუქცია. ღნობის ტექნოლოგია საშუალებას იძლეოდა ჩაის ფოთლის მოცულობაში ზედაპირულზე უფრო მაღალი ტემპერატურის მიღებას, რამაც პროდუქციის ხარისხის გაუმჯობესება გამოიწვია. „ოზონ-1მ“ ექსპერიმენტულ დანადგარზე 1983-1984 წლებში მიღებულმა შედეგებმა ფართო გამოხმა-

manufacture of radio metering equipment allowed the SIPT specialists (leader G.V. Bokuchava) to develop and arrange in the late 1980s the production (for the first time throughout the USSR) of digital portable blood pressure and pulse monitors approved by the Ministries of Health of Georgia, Russia and other former USSR countries.

Together with the Orthopedics and Traumatology Center (Tbilisi, Director of the Center Member of the Medical Academy of Sciences of the USSR O. Gudushauri) a production section was set up, where production of artificial limb elements to be implanted in human body according to synthesis of composition materials analogous to human bone in the composition was arranged.

SIPT Technologies for Processing Industry. In 1980, research workers of Georgian Institute of Subtropical Farming (T. Tsinaridze and R. Dadiani) developed a “method of green tea leaf withering by ozone-air mixture” that was approved the Ministry of Agriculture of Georgia. In 1982, Georgian authorities tasked SIPT to create an experimental plant for tea leaf withering in an ozone-air medium. The plant “Ozone-1M” was constructed in SIPT, including a chamber for zoning, a pallet, fresh-air exhausters, 6 mercury quartz lamps DRT-400 for producing ozone and drying tea leaf up to the 50-60% humidity. The plant allowed obtaining the finished product of high degree of withering uniformity (over 90%). The developed technology allowed in the course of withering to obtain temperature in the leaf volume higher than on its surface, improving thus the finished product’s quality.

In 1983-1984, the indicators obtained in the experimental plant “Ozone-1M” received a great response among the tea industry workers both in Georgia and abroad. Dranda Tea factory, where the plant was installed used to be visited by the leaders of Georgia,

ურება ჰპოვა არა მარტო ჩაის ქართველ სპეციალისტებში, არამედ უცხოელებშიც, რის გამოც დრანდის ჩაის ფაბრიკას (სადაც განთავსებული იყო „ოზონ-1“) ხშირად სტუმრობდნენ სსრკ-ს ხელმძღვანელი პირები და უცხოელი სპეციალისტები.

საქართველოს მთავრობამ გადაწყვიტა სფტი-ს დაენყო მაღალი წარმადობის (1000კგ/სთ) ჩაის საღნობი დანადგარების გამოშვება, მაგრამ აფხაზეთში მომხდარი ცნობილი მოვლენების გამო ის ვერ განხორციელდა.

მათემატიკური მოდელირება და კვლევებისა და საცდელ-საკონსტრუქტორო სამუშაოების ავტომატიზაცია

ინსტიტუტში სრულდებოდა კონკრეტული საინჟინრო-ფიზიკური ამოცანების ამოსახსნელი ალგორითმებისა და პროგრამების შექმნის სამუშაოები გამოყენებითი მათემატიკისა და მათემატიკური ფიზიკის დარგებში. ასევე, სამუშაოები ინსტიტუტში არსებული ეგმ-ს მათემატიკური უზრუნველყოფის გასაფართოებლად.

ფუნდამენტურმა კვლევებმა სპეციალური ფუნქციების თეორიასა და პრაქტიკულ გამოყენებაში ოპერატიული ამოცანების ამოსხსნების მათემატიკური ანალიზის საფუძველზე გამოავლინა უმაღლესი ტრანსცენდენტური ფუნქციების ახალი კლასი, რომელსაც ავტორებმა ფიზ.-მათ. მეცნიერებათა დოქტორებმა მ. აგრესტმა და მ. მაქსიმოვმა უწოდეს არასრული ცილინდრული ფუნქციები.

ბესელის, ნეიმანის, ჰანკელის კლასიკური ფუნქციები, ასევე სხვა, ადრე ცნობილი ფუნქციების სიმრავლე წარმოადგენს ახალი ფუნქციების კერძო შემთხვევას. მათი პრაქტიკული გამოყენების არე მეტად ფართოა. მ. აგრესტმა და მ. მაქსიმოვმა შექმნეს ახალი ფუნქციების თეორია და დაამუშავეს მათი გამოთვლების საშუალებები, ასევე სხვადასხვა კონკრეტულ ამოცანებში მათი გამოყენების მეთოდიკა. კვლევის შედეგები გამოქვეყნდა ორ მონოგრაფიაში 1965 და 1966

high-ranking officials of the former USSR and specialist from all over the world.

The government of Georgia made a decision on arranging the production in SIPT of tea-withering plants of high output (1000 kg/hour), however because of the tragic developments in Abkhazia this idea failed.

Mathematical Modeling and Research and Development of Work Automation

The Institute was engaged in the works on the creation of algorithms and programs to solve specific engineering and physical problems in the areas of applied mathematics and mathematical physics, as well as in the works on the widening of mathematical support/software for the electronic computer available in the Institute.

Basic research in the special functions theory and practical application on the basis of the mathematical analysis of solutions of operational problems revealed a new class of higher transcendental functions, which the authors - doctors of physics and mathematics M. Agrest and M. Maksimov called incomplete cylindrical functions.

The classical functions of Bessel, Neumann, Hunkel, as well as the other earlier known functions represent a particular case of new functions. The area of their practical application is rather wide. M. Agrest and M. Maksimov created new functions theory and developed the means of their calculations, as well as the methods of their application for different specific tasks. The research

ნლებში და რიგ სამეცნიერო სტატიებში.

პირველი მონოგრაფია ინგლისურ ენაზე გამოქვეყნდა 1971 წელს სერიაში „მათემატიკის საფუძვლები“. სამუშაოები არასრული ცილინდრული ფუნქციების შესახებ ფართოდ იქნა აღიარებული, მათ განაპირობეს აღნიშნული მიმართულებით მრავალი უცხოელი და საბჭოთა კავშირის მეცნიერთა დაინტერესება.

data were published in two monographs in 1965 and 1966 and in a number of scientific articles.

The first monograph in the English language was published in 1971 in a series “Rudiments of Mathematics”. The works on the incomplete cylindrical functions found a wide recognition; they conditioned



აღნიშნულ კვლევებს დიდი მნიშვნელობა ჰქონდათ ინსტიტუტის კონკრეტული ამოცანების გადასაწყვეტად. განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს ი. ჟვანიას სამუშაოები მაღალტემპერატურულ თერმოემისიურ გარდამქმნელებში თბოფიზიკური პროცესების მოდელირებაში. მნიშვნელოვანია ასევე ვ. ლოზბინისა და ი. დუდარევის სამუშაოები, რომლებიც ეხება თერმოელექტრული გენერატორების საიმედოობის გათვლებს. აღნიშნულ სამუშაოებში მონაწილეობდნენ თ. წულაია, მ. რიკენგლაზი, ლ. მიქავა, ვლ. კირცხალია, ც. ჩაჩინაია, ზ. ჩიქოვანი, ვ. ციპინი, მ. კოკაია რ. მანია, ნ. ჰაიკიანი, მ. გობეჩია, ლ. სამადაშვილი და სხვ. 1980 წელს ექსპლუატაციაში შევიდა ინსტიტუტის ორგანიზაციული მართვის ავტომატიზირებული სისტემის პირველი რიგი ოთხი ქვესისტემით (გ. საველიევი, ე. ტოკარევი, გ. პროსინი, ა. არსენიევი, ს. ბოლხოვიტოვი, გ. დოლიძე, ი. მაიბუროვა, ს. ლაბაზუა, გ. ბოკუჩავა, ა. კურიატინიკოვი, ო. კვეკვეცია, ლ. მიქავა და სხვ.).

the widening interests of many foreign and soviet researchers in the above area.

The mentioned research was of great significance for solving specific problems of the Institute. Special attention should be drawn to I. Zhvania's works on thermoemission process modeling in high-temperature thermal electric converters. The works of V. Lozbin and I. Dudarev concerning the calculation of reliability of thermoelectric generators are of great importance. Participants in these works were: T. Tsulaia, M. Rikenglaz, L. Mikava, V. Kirtskhalia, Ts. Chachinaia, Z. Chikovani, V. Tshipin, M. Kokaia, R. Mania, N. Haikyan, M. Gobechia, L. Samadashvili and others. In 1980, the first line of an automated organizational control system with four subsystems (G. Savelyev, E. Tokarev, G. Prosin, A. Arsenyev, S. Bolkhovitev, G.

ოთხმოციანი წლების დასაწყისში თემატიკების ზრდასთან დაკავშირებით მწვავედ დადგა კვლევითი, სადელ-საკონსტრუქტორო, ტექნოლოგიურ დამუშავებათა და საწარმოო სამუშაოების ავტომატიზაციის დონის ამაღლების საკითხი. დამუშავდა კონცეპტუალური პროგრამა გ. ბოკუჩავას, ვ. ლოზბინისა და ვ. ბოჭორიშვილის ხელმძღვანელებით და პრიორიტეტული მიმართულების სპეციალისტების მონაწილეობით (ს. კაკულია, გ. მაილოვი, კალანდარიშვილი, დ. ცეცხლაძე, ო. გოგიშვილი, ი. ვენედიქტოვი, გ. ზუკაკიშვილი, გ. ასტაპენკო, პ. ჩილინგარაშვილი, რ. სიჭინავა, ა. ტიმოშენკო და სხვ.). პროგრამა ითვალისწინებდა ინსტიტუტში ერთიანი გამოთვლითი სისტემის შექმნას. დირექტორის რ. სალუკვაძის ძალისხმევითა და მცდელობით დადებითად გადაწყდა პროგრამის ეტაპობრივი დაფინანსების საკითხი. ფინანსირების მოცულობა თვით საშუალო მანქანათმშენებლობის სამინისტროს პირობებშიც კი შთაბეჭდილი იყო. აღნიშნულის შედეგად:

- უმოკლეს ვადაში დაპროექტდა და ექსპლუატაციაში შევიდა სპეციალური კორპუსი/შენობა №106 ერთიანი გამოთვლითი სისტემისათვის;
- პარალელურად, პროექტის მოთხოვნილებათა შესაბამისად, ყოფილი გდრ-დან (ქ. დრეზდენი) შესყიდულ იქნა შედარებით მაღალი საიმედოობის გამომთვლელი მანქანები EC-1055 და EC-1055M მძლავრი პერიფერიული მოწყობილობით, რომლებიც ამერიკული IBM-360 სერიის მანქანების ანალოგებს წარმოადგენდნენ;
- შესყიდულ იქნა რადიოელექტრონული პროექტირების პროგრამულ-აპარატურული კომპლექსი (QUEST, დიდი ბრიტანეთი), ასევე მრავალფენოვანი ბეჭდვითი პლატების წარმოების ტექნოლოგიური ხაზი (ავსტრია), რომელიც განთავსდა №106 შენობაში და გაიშვა წარმოებაში.
- დამუშავებულ იქნა პროგრამულ-აპარატურული ინტერფეისები (სტანდარტული ქსელური კომპონენტების არარსებობის პირობებში და სამი ეგზ-გან (E-1040, E-1055 და E-1055M) შეიქმნა ცენტრალური გამოთვლითი კომპლექსი მძლავრი ოპერაციული სისტემებით და სტანდარტული და ძირითადი თემატიკუ-

Dolidze, I. Maiburova, S. Labakhua, G. Bokuchava, A. Kuryatnikov, O. Kvekvetsia, L. Mikava and others) was commissioned.

In the early 1980s, the issue of raising the level of automation of research and development, engineering developments and industrial works became urgent. A conceptual program was elaborated under the leadership of V. Bokuchava, V. Lozbin and V. Bochorishvili and participation of the priority direction specialists (S. Kakulia, G. Mailov, Kalandarishvili, D. Tsetskhladze, O. Gogishvili, I. Venediktov, G. Zukakishvili, G. Astapenko, P. Chilingarashvili, R. Sichinava, A. Timoshenko and others). The program was meant to make a uniform computer system in the Institute. Thanks to the efforts of Director R. Salukvadze, the matter of stage-by-stage financing of the program was positively decided. The amount of financing was rather impressive even under conditions of the Ministry of Srednego Mashinostroyeniya. As a result of the above:

- A special block/building №106 for the uniform computer system was designed and put into service at the earliest possible date;
- In parallel, in accordance with the project requirements, a highly reliable computers EC-1055 and EC-1055M with powerful peripheral equipment - the prototypes of the American IBM-360 series computers - were purchased from the former GDR (Dresden);
- An electronic design hardware-software complex (QUEST, Great Britain), as well multilayer board processing line (Austria) were purchased, installed in the building №106 and commissioned.
- Hardware-software interfaces (in the lack of standard network components) and three computers (E-1040, E-1055 and E-1055M) were developed; a central computer complex with powerful operating systems

რი მიმართულებებისათვის ინსტიტუტში დამუშავებული გამოყენებითი პროგრამების პაკეტებით.

- ერთიანი გამოთვლითი სისტემის დისტანციურად გამოყენების უზრუნველსაყოფად ინსტიტუტის ორივე ნაწილში (სინოპი, აგუძერა) შეიქმნა კავშირგაბმულობის გამოყოფილი ქსელები, ხოლო სინოპსა და აგუძერას შორის (8,5 კმ) გაყვანილი იქნა სპეციალური დამაკავშირებელი კაბელი. შედეგად, 80-მდე აბონენტისათვის მიღწეული იქნა დისტანციური წვდომა და ერთიანი გამოთვლითი სისტემის რესურსების გამოყენება ინტერაქტიულ რეჟიმში. ინსტიტუტის სამუშაოთა კომპლექსური ავტომატიზაციისათვის შექმნილი ერთიანი სისტემა ერთ-ერთი საუკეთესო იყო სამინისტროში (პროექტის ხელმძღვანელი გ. ბოკუჩავა). სამუშაოებში აქტიურად მონაწილეობდნენ ვ. ბოჭორიშვილი, ს. ბაზარნოვი, ტ. კახურაშვილი, ლ. როზმანი, ვ. ნემსაძე, ო. კვეკვეცია და სხვ. ასევე, ინსტიტუტის შესაბამისი სამსახურები ს. კაკულიას კოორდინაციით.

ინსტიტუტს სამეცნიერო-ტექნიკური მიმართულებით გააჩნდა მჭიდრო ურთიერთობა ყოფილი სსრკ-სა და უცხოეთის სამეცნიერო ცენტრებთან. სფტი არაერთხელ იყო მეცნიერების აქტუალური საკითხებისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო კონფერენციების, სემინარებისა და თათბირების ორგანიზატორი. ტრადიციული გახდა საერთაშორისო სემინარი „პლაზმისა და თერმობირთვული სინთეზის თეორია“ (რ. დემირხანოვი, რ. სალუქვაძე). აღნიშნულს საფუძველი ჩაეყარა 1960 წელს ამერიკელი მეცნიერების დელეგაციის ჩამოსვლის შემდეგ, რომელსაც აშშ პრეზიდენტის თანაშემწე მეცნიერების დარგში დოქტორი ვანატი მეთაურობდა.

აკადემიკოსების ა. სამარსკის, ა. ტიხონოვისა და სხვების ინიციატივითა და ხელმძღვანელობით სფტი-ში ტარდებოდა, საკავშირო და საერთაშორისო კონფერენციები და სემინარები სხვადასხვა მიმართულებით, მათ შორის: საერთაშორისო კონფერენცია „თერმოელექტრონობა და თერმოემისიური მასალათმცოდნეობა და ხელსაწყოთმშენებლობა“, სემინარი „კვარკების ფიზიკა“, ყოველწლიური

and application packages developed in the Institute for standard and principal thematic directions;

- To ensure remote application of the uniform computer system, allocated communication networks were created in both parts (Sinop, Agudzera) of the Institute, with laying a special connecting cable (8.5 km) between Agudzera and Sinop. As a result, remote access and utilization of the uniform computer system's resources in the interactive mode was ensured for up to 80 subscribers. The uniform system developed for automation of the Institute's works was one of the best in the Ministry (Project Leader G. Bokuchava). Active participant in the works were: V. Bochorishvili, S. Bazarnov, T. Kakhurashvili, L. Rozman, V. Nemsadze, O. Kvekvetsia and others. Also, the appropriate services of the Institute under coordination by S. Kakulia.

The Institute maintained close scientific and technical contacts with many research centers – both in the USSR and abroad. SIPT repeatedly organized international conferences, seminars and meetings on urgent scientific problems. An international seminar “on the theory of plasma and nuclear fusion” (R. Demirkhanov, R. Salukvadze) became a traditional event after a visit in 1960 of the delegation of American scientists at the head of the Assistant to the U.S. President for Science and Technology Doctor Wanat.

On the initiative and by leadership of academicians A. Samarsky, A. Tikhonov and others All-Union and International Conferences and Seminars in many directions were held, including: an international conference “on thermal electric and thermal emission materials science and instrument making”, an international seminar on quarks, and an Annual School for Computational Plasma Physics. Our specialists regularly participated in international conferences and symposiums both in the USSR and abroad.



**კოსმოსური ბედ „ტოპაზის“ პრობლემებისადმი მიძღვნილი
1991 წლის რუსეთ-საქართველო-აშშ
ერთობლივი სემინარის მონაწილეები
Participants of joint Russia-Georgia seminar on the
problems of space NPP
“Topaz” in 1991**

სკოლა „პლაზმის გამოთვლითი ფიზიკა“. ჩვენი სპეციალისტები რეგულარულად მონაწილეობდნენ სხვადასხვა საკავშირო და საერთაშორისო კონფერენციებსა და სიმპოზიუმებში.

ინსტიტუტისათვის მეტად მნიშვნელოვან ღონისძიებას წარმოადგენდა 1976 წელს აკადემიკოს მ. მარკოვის ინიციატივით სოხუმში ჩატარებული საყოველთაო განიარაღებისადმი მიძღვნილი მეცნიერთა პაგუოშის მოძრაობის სემინარი.

სოხუმის ფტი-ს დაარსება და საკავშირო მთავრობის დადგენილება (სსრკ-ს მინისტრთა საბჭოს დადგენილება №4638-1855cc 17 დეკემბერი 1948 წ. „უმაღლეს სასწავლო დაწესებულებებში სპეციალისტების მინისტრთა საბჭოს პირველი მთავარი სამმართველოსთვის მომზადების შესახებ“) ინიცირება გაუკეთა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში 1948 წელს ფიზიკა-ტექნიკის ფაკულტე-

An important event in the Institute’s life was a seminar of the Paguosh Peace Movement of Scientists organized at the initiative of the Academician M. Markov and held in SIPT in 1976.

The foundation of Sukhumi Institute of Physics and Technology and the All-Union government regulation (the USSR Council of Ministers regulation #4638-1855ss of 17 December 1948 “On the Preparation of Specialists for the First Chief Administration of the Council of Ministers at the Educational Institution”) initiated the establishment of the Faculty of Physics and Technology in Tbilisi State University in 1948. In spite of the fact that information on SIPT was not disseminated openly, a special volume of the Georgian Soviet Encyclopedia “Georgian



**პაგუოშის მოძრაობის სემინარში მონაწილე მეცნიერები
სფტი-ში: ი. ვეკუა, პაგუოშის მოძრაობის გენ. მდივანი
ვ. კაპლანი, ვ. ჭავჭავანიძე, რ. სალუქვაძე, გ. ჯორჯოლიანი (1976წ.)
Participants of the Paguosh Piece Movement of Scientists at a seminar in
SIPT: General Secretary V. Kaplan, V. Chavchanidze,
R. Salukvadze, G. Zhorzholiani (1976)**

ტის ჩამოყალიბებას. მიუხედავად იმისა, რომ იმ პერიოდში სფტი-ზე ღია ინფორმაცია არ ვრცელდებოდა, საქართველოს საბჭოთა ენციკლოპედიის სპეციალურ ტომში „საქართველოს სსრ“ (გვ. 192) აღნიშნულია სფტი-ს გავლენა საქართველოში ფიზიკის აღმავლობაზე ომის შემდგომ წლებში: „საქართველოში ფიზიკის სწრაფი განვითარება დაიწყო ომის შემდგომ წლებში, როდესაც სოხუმში შეიქმნა ფიზიკა-ტექნიკის ინსტიტუტი, ხოლო 1948 წელს თსუ-ში ფიზიკო-ტექნიკური ფაკულტეტი (ამ მომენტისთვის თსუ-ში უკვე არსებობდა ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტი)“. მოგვიანებით სფტი-ს ძალისხმევით სოხუმის პედაგოგიურ ინსტიტუტში ჩამოყალიბდა და აღიჭურვა ტექნიკური ფიზიკის კათედრა რ. სალუქვაძის ხელმძღვანელობით. კათედრაზე პედაგოგიურ მოღვაწეობას ეწეოდნენ სფტი-ს წამყვანი სპეციალისტები: ი. ჟვანია, გ. მურღულია, ო. სამადაშვილი, ი. სავჩენკო, ვლ. კირცხალია, ი. დუდარევი, ი. ჩილაჩავა, რ. მანია, მ. კოკაია და სხვები.

SSR” (p. 192) mentioned the effect of SIPT on the development of Georgian physics in the post-war years: “Rapid development of physics in Georgia started in the post-war years, when an institute of physics and technology was established in Sukhumi, and the Faculty of Physics and Technology in TSU in 1948 (by the time such faculty already existed in TSU)”. Later on, thanks to the efforts of SIPT a Chair of Physics under the leadership of R. Salukvadze was established and equipped in Sukhumi Teachers Training Institute. The leading SIPT specialist (I. Zhvania, G. Murghulia, O. Samadashvili, I. Savchenko, V. Kirtskhalia, I. Dudarev, I. Chalichava, R. Mania, M. Kokaia and others were engaged in the educational work there.

საკონსტრუქტორო, საინჟინრო- ტექნიკური და ფუნქციონალური სამსახურები

Design, Engineering and Functional Services

სფტი-ს მაღალი ავტორიტეტი მისი მეცნიერების, საინჟინრო-ტექნიკური პერსონალისა და მუშების რამდენიმე თაობის კოლექტიური შრომის შედეგია. ინსტიტუტში ჩამოყალიბდა მაღალი კვალიფიკაციის კონსტრუქტორების შესანიშნავი პლეადა. მრავალი მათგანი თავად იყო ახალი გამოგონებისა და გადანეშვითი ლეგების შემოქმედი. საკონსტრუქტორო ბიურო, რომელსაც სხვადასხვა დროს ი.ი. ჟივოტოვსკი და ნ.მ. სუდაკი ხელმძღვანელობდნენ, მალე გახდა ინსტიტუტის გამორჩეული ერთეული. აღნიშნულ ბიუროში მუშაობდნენ ინსტიტუტის წამყვანი კონსტრუქტორები: თ. სორდია, შ. არჩვაძე, ს. კალაიჯიანი, ვ. სელივანოვი, ი. რუბანოვი, ვ. კრასნენკოვი, დ. ჩალიგავა, კ. დგებუაძე, ა. პისარევი, ო. ზარქუა, ა. ინალიშვილი, ა. ბერძენიშვილი, ა. აბაშიძე, ს. იაკუშევი, ი. კოსმაჩევა, ლ. გრიგოლია, გ. ლატარია, ა. რახელკინი, ა. მინოსიანი, ე. ლატიშევი, თ. ბოხაშვილი, დ. დემინი და სხვ.

სოხუმის ფიზიკა-ტექნიკის ინსტიტუტში დაარსების დღიდან განსაკუთრებული ყურადღება ექცეოდა გარემოს დაცვის პრობლემებს. სპეციალურად შექმნილი ქვედანაყოფი ანხორციელებდა ატმოსფეროს, ჩამდინარე წყლების, ნიადაგისა და ზღვის აკვატორიის რადიაციული და ბიოქიმიური დაბინძურების მონიტორინგს, იკვლევდა მათ გამომწვევ მიზეზებს, ადგენდა შესაბამის ნებსებს და რეკომენდაციებს აწვდიდა შესაბამის უწყებებს.

გასული საუკუნის 80-იანი წლებიდან სფტი-ში დაიწყო თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევები შავი ზღვის რეესურსის (გოგირდწყალბადი) გამოყენების საკითხებზე, კერძოდ, წყალბადის, გოგირდისა და გოგირდის ნაერთების წარმოებაზე [8-9]. კერძოდ, სფტი იყო სათაო ორგანიზაცია, რომელსაც დაევა ღერნობილის კატასტროფის შემდეგ დასავლეთ საქართველოს რადიაციული

High prestige of SIPT is the result of collective creative work of its scientists, engineers and technicians, workers and employees of several generations. Highly skilled specialists were the creators of new decisions, inventions and innovations. The design office, which was headed in different years by I.I. Zhivotovskiy and N.M. Sudak, soon became the Institute's brain. The Institute's leading designers used to work in said office: T. Sordia, Sh. Archvadze, S. Kalaijan, V. Selivanov, I. Rubanov, V. Krasnenkov, D. Chaligava, K. Dgebuadze, A. Pisarev, O. Zarkua, A. Inalishvili, A. Berdzenishvili, A. Abashidze, S. Yakushev, I. Kosmacheva, L. Grigolia, G. Lataria, A. Rakhelkin, A. Minosyan, E. Latyshev, T. Bokhashvili, D. Demin and others.

From the very foundation a particular attention in Sukhumi Institute of Physics and Technology was paid to the environment protection problems. A specially set up subdivision was engaged in the monitoring of radiation and biochemical pollution of the air, sewages, soil and sea water, investigated their causes, drafted respective regulations and recommendations and communicated them to the corresponding agencies.

Since the 1980s of the last century SIPT started the theoretical and experimental research in the problems of utilization of the Black Sea resource (hydrogen sulphide), in particular on the production of hydrogen, sulfur and sulphides [8-9]. In particular, SIPT was the parent organization entrusted with the investigation of radiation pollution in West Georgia after the Chernobyl catastrophe. As a result of the conducted works, a radiation pollution map of West Georgia was compiled.

დაბინძურების კვლევა. ჩატარებული სამუშაოების შედეგად შეიქმნა დასავლეთ საქართველოს რადიაციული დაბინძურების რუკა.

კონსტრუქტორული გადაწყვეტილებების რეალიზაცია წარმოებდა საუკეთესოდ მოწყობილ საცდელ წარმოებაში, რომელიც თავის მხრივ შეიცავდა ტექნოლოგიურ, მექანიკურ, საზეინკლო, თერმულ, საშემდუღებლო, გაღვანურ, ვაკუუმურ, სამინამბრო, საინსტრუმენტო, გრაფიტის დამუშავების. რადიოსამონტაჟო, და სამღებრო უბნებს.

აღნიშნულ უბნებზე, რომელთაც სხვადასხვა დროს ხელმძღვანელობდნენ ცნობილი სპეციალისტები ა.ი. კვეკვესკირი, ი.ს. მარკოზიანი, ს.ა. ვასილევ, ვ. ლოპუხანიძე და ვ. გეგეშიძე, მუშაობდნენ მაღალი რანგის სპეციალისტები: ა. ღვინჯილია, კ. კოვალენკო, ი. პეტრაკოვი, ვ. აბრამიანი, ლ. ჟამკოვა, პ. ჟამკოვი, ნ. სობოლევი, ვ. ფილიდი, ა. გასპაროვი, გ. დოლბაძე, ტ. მომცელიძე, ვ. ჟირი, ი. ბორუხოვიჩი, ი. დურიშკოვი, მ. კაკუბავა, ა. ღვაბერიძე, ლ. რუხაძე, ს. შედროვი და სხვ.

ინსტიტუტის ნორმალურ ფუნქციონირებას ხელს უწყობდა მთავარი ენერგეტიკოსის, მთავარი მექანიკოსისა და სხვა სამსახურების გამართული, ჰარმონიული მუშაობა, რასაც ხელმძღვანელობდნენ ა. აბზიანიძე, გ. აბზიანიძე, ო. ბოსტოლანაშვილი, გ. გოგოლაშვილი, ა. დავიდოვი, შ. ფრენკელი, ვ. კეკელია, ტ. ლორთქიფანიძე, ი. ქაციბაია, ა. კუჭუხიძე, ა. კოვირზინი, ს. კონსტანტინოვი, ა. სილაგავა და სხვ.

ინსტიტუტის საწარმოო ბაზის შექმნასა და მის განვითარებას მრავალი წლის განმავლობაში ხელმძღვანელობდა გამოჩენილი ინჟინერი, დაუღალავი მოღვაწე და წარმოებისა და მეცნიერების გამოცდილი სპეციალისტი პეტრე ვარლამის ძე ჭელიძე. სფტი-ში მუშაობის დაწყებამდე მას გამოცდილი ინჟინრის სახელი ჰქონდა მოხვეჭილი. 1950 წელს სსრკ უმაღლესი საბჭოს პრეზიდიუმის დადგენილებით ახალგაზრდა სპეციალისტს მიენიჭა პერსონალური ნოდება „ადმინისტრაციული სამსახურის სამთო დირექტორი“.

The implementation of design desions was carried out in well-equipped model shop, comprising in turn engineering, mechanical, metal working, thermal, welding, galvanic, vacuum, glass blowing, instrumental, graphite processing, radio assembly and painting sections.

The mentioned sections being headed in diffrent times by well-known specialists A. Kvekveskiri, I. Markozyan, S. Vasilyev, V. Lobzhanidze and V. Gegeshidze involved for work highly skilled specialists: A. Gvinjikia, K. Kovalenko, I. Petrakov, V. Abramyan, L. Zhamkova, P. Zhamkov, N. Sobolev, V. Filidi, A. Gasparov, G. Dolbadze, T. Momtselidze, V. Zhir, I. Borukhovich, I. Durishkov, M. Kakubava, A. Ghvaberidze, L. Rukhadze, S. Schedrov and others.

The normal functioning of the Institute was greatly assisted by the well-organized work of the services of chief power engineering specialist, chief engineer and other divisions headed by the experienced specialists: A.M. Abzianidze, G.M. Abzianidze, O.G. Bostoganashvili, G.V. Gogolashvili., A.D. Davydov, Sh.T. Frenkel, V.S. Kekelia, T.V. Lortqipanidze, I.G. Katsibaia, A.A. Kuchukhidze, V.K. Kovyrzin, S.E. Konstantinov, A. Silagava and others.

For many years the establishment and development of the production plant of the Institute was headed by the outstanding engineer, tireless worker, experienced organizer of science and production Petre Chelidze. Before coming to SIPT in 1950 P.V. Chelidze already earned a reputation for an experienced engineer. In 1950 by a decree of the Presidium of Supreme Soviet of the USSR the young specialist was conferred the personal rank of the “Mine Director of Administrative Service”.

It is astonishing how this person managed to direct, control and provide with all necessary things many distant from one

გასაოცარი, მაგრამ ფაქტია, რომ ამ პიროვნებას შეეძლო ემართა და ეკონტროლებინა ისეთი ერთმანეთისაგან განსხვავებული დარგები, როგორიცაა: მეცხოველეობის ფერმა სფტი-ს თანამშრომლების რძით უზრუნველსაყოფად და კვლევითი ლაბორატორიის მომარაგება თერმოპირთვული სინთეზისათვის საჭირო დანადგარებითა და ხელსაწყოებით; საპარკო მეურნეობა და თერმოელექტროობა, პოლიკლინიკა-საავადმყოფოები და ლაზერული ტექნიკა, საშენებლო სამმართველო, გარაჟი და თერმოემისია და ა.შ.

შემდეგში ის შეცვალა მისსავე აღზრდილმა, ახალგაზრდა შემოქმედებითი ნიჭით დაჯილდოებულმა ინჟინერმა სოსო ვახტანგის ძე კაკულიამ. მისმა ენერგიულმა ქმედებებმა მნიშვნელოვნად განაპირობა ინსტიტუტის სრულფასოვანი ფუნქციონირება ფინანსურად მეტად მძიმე, კონვერსიის პერიოდში (1986-1992წწ.).

ინსტიტუტის სრულფასოვანი ფუნქციონირებისათვის მეტად მნიშვნელოვანი იყო მისი დამხმარე ქვედანაყოფების, სამშენებლო და სატრანსპორტო სამმართველოს ურთიერთშეთანხმებული, გამართული მუშაობა, რომელთა ხელ-

another areas, such as a livestock farm to supply milk to SIPT workers and supply of the research laboratory with equipment and facilities necessary for nuclear fusion; urban forestry and thermoelectricity; polyclinics and hospitals and laser technology; building association, garage, thermal emission, etc.

Further Chelidze was replaced on the post of chief engineer by his disciple - the man of remarkable abilities, energetic and innovative engineer Joseph (Soso) Kakulia. His bold steps significantly conditioned full-blooded activity of the Institute in the financially rather hard conversion period (1986 – 1992 гг.).

Very important for full-value functioning of the Institute was the coordinated, proper work of its ancillary divisions, building and transport administrations being actively managed by J. Gvazava, A. Darsania, N. Kartskhia, M. Chochia, V. Kalyagin, Z. Lakoba, Sh. Lukava, R. Matua, N. Janashia, J. Bagaturia, G. Pipia, A. Pochkhua, V. Tatinov, A. Chabrava and many others, the general management of whom was carried



პ.ჭელიძე და სფტი-ს პირველი დირექტორი ა.კოჭლავაშვილი (1950 წ)

P.V. Chelidze and first SIPT Director A.I. Kochlavashvili (1950)



რ.სალუქვაძე, ი.ვეკუა, რ.დემირხანოვი და პ.ჭელიძე (1974 წ)

R.G. Salukvadze, I.N. Vekua, R.A. Demirkhanov and P.V. Chelidze (1974)



ლ. ს. კაპიცა და პ. ვ. ჭელიძე სფტი-ში (1970 წ)

L.S. Kapitsa and P.V. Chelidze (1970)

მძღვანელობას აქტიურად წარმართავდნენ ჯ. გვაზავა, ა. დარსანია, ნ. ქარცხია, მ. ჩოჩია, ვ. კალიაგინი, ზ. ლაკობა, შ. ლუკავა, რ. მატუა, ნ. ჯანაშია, ჯ. ბალათური, გ. ფიფია, ა. ფოჩხუა, ვ. ტატინოვი, ა. ჩაბრავა, ა. ჯანჯღავა და მრავალი სხვა, რომლებსაც საერთო ხელმძღვანელობას დირექტორის მოადგილე ზოგად საკითხებსა და კაპიტალურ მშენებლობაში გ. კოხრეიძე უწევდა.

უნდა აღინიშნოს იმ განყოფილებების ნაყოფიერი მუშაობა, რომლებსაც ხელმძღვანელობდნენ ა. არსენიევი, ს. ბოლხოვიტოვი, დ. გულუა, რ. ვასილიევა, ლ. დარცმელია, ა. ტიმჩენკო, გ. ჯიშკარიანი, ასევე, სანიტარულ-სამედიცინო ნაწილი ვ. კეიანის ხელმძღვანელობითა და მუშათა მომარაგების განყოფილება ა. ტუშბა-სა და გ. უბილავას ხელმძღვანელობით.

ლიტერატურა:

1. К. Орджоникидзе, В. Шютце. Исследования изотопного состава лития. ЖЭТФ 1955 г., т. 29, вып. 4 (10), с.479-485
2. Чкуасели Д. В., Николаишвили У. Г., Гулдамашвили А. И. Изв. АН СССР. Серия Физики, 1960, т. 24, с. 970.
3. Чкуасели Д. В., Николаишвили У. Г., Гулдамашвили А.И. ЖТФ, 1960, т. 30, с. 817.
4. Риль Н. 10 лет в золотой клетке / Перевод Н. Антоновой. — 2011.
5. В. Н. Романенко. Цветные металлы. №5, 2000, с. 119-123.
6. Б. П. Митринин, Ш. С. Гудиашвили, Н. А. Шамба и др. Получение монокристаллов кремния методом вытягивания из расплава. Вопросы металлургии и физики полупроводников, Изд-во АН СССР, М., 1957, с. 24-34.
7. Б. П. Митринин, С. П. Лолыкин, Ю. П. Саврасов, Л. К. Райкин. Применение безтигельной зонной плавки для получения мо-

out by the Deputy Director for General Issues and Capital Development G.T. Kokhreidze.

It is necessary to mention the effective work of the divisions headed by A. Arsenyev, S. Bolkhovitev, R. Vasilyeva, L. Dartsmelia, A. Timchenko, G. Jishkariani, the medical department headed by V. Keyan and the working provision department headed by A.M. Tuzhba and G.E. Ubilava.

References:

- 1.К. Орджоникидзе, В. Шютце. Исследования изотопного состава лития. ЖЭТФ 1955 г., т. 29, вып. 4 (10), с.479-485
- 2.Чкуасели Д. В., Николаишвили У. Г., Гулдамашвили А. И. Изв. АН СССР. Серия Физики, 1960, т. 24, с. 970.
- 3.Чкуасели Д. В., Николаишвили У. Г., Гулдамашвили А.И. ЖТФ, 1960, т. 30, с. 817.
- 4.Риль Н. 10 лет в золотой клетке / Перевод Н. Антоновой. — 2011.
- 5.В. Н. Романенко. Цветные металлы. №5, 2000, с. 119-123.
- 6.Б.П. Митринин, Ш.С. Гудиашвили, Н. А. Шамба и др. Получение монокристаллов кремния методом вытягивания из расплава. Вопросы металлургии и физики полупроводников, Изд-во АН СССР, М., 1957, с. 24-34.
- 7.Б. П. Митринин, С. П. Лолыкин, Ю. П. Саврасов, Л. К. Райкин. Применение

нокристаллов кремния. Вопросы металлургии и физики полупроводников, Изд-во АН СССР, М., 1957, с. 35-40.

8. Салуквадзе Р. Г., Цыпин В. С., Чиковани З. Э. Некоторые аспекты проблемы сероводородного заражения и очищения Чёрного Моря. М.: ЦНИИ Атоминформ//Препринт СФТИ. 1990. №90-10.

9. Салуквадзе Р. Г., Цыпин В. С., Чиковани З. Э. Об экологически чистых способах использования сероводорода Чёрного Моря. М.: ЦНИИ Атоминформ//Препринт СФТИ. 1991. №91-13.

безтигельной зонной плавки для получения монокристаллов кремния. Вопросы металлургии и физики полупроводников, Изд-во АН СССР, М., 1957, с. 35-40.

8. Салуквадзе Р. Г., Цыпин В. С., Чиковани З. Э. Некоторые аспекты проблемы сероводородного заражения и очищения Чёрного Моря. М.: ЦНИИ Атоминформ//Препринт СФТИ. 1990. №90-10.

9. Салуквадзе Р. Г., Цыпин В. С., Чиковани З. Э. Об экологически чистых способах использования сероводорода Чёрного Моря. М.: ЦНИИ Атоминформ//Препринт СФТИ. 1991. №91-13.

