

**საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის
სამეცნიერო-კვლევითი საქმიანობის**

შეფასების წესი

მუხლი 1. ზოგადი დებულებები

1. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (შემდგომში - კვლევითი ერთეული) სამეცნიერო-კვლევითი საქმიანობის შეფასების წესი (შემდგომში - წესი) შემუშავებულია „უმაღლესი განათლების შესახებ“ საქართველოს კანონის, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის (შემდგომში - უნივერსიტეტი) წესდების, უნივერსიტეტში მოქმედი სხვა სამართლებრივი აქტებისა და სამეცნიერო-კვლევითი საქმიანობის შეფასების საერთაშორისო სტანდარტების საფუძველზე.

მუხლი 2. სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის შეფასების კრიტერიუმები

1. კვლევითი ერთეულის სამეცნიერო-კვლევითი საქმიანობის შეფასება ხორციელდება შემდეგი ძირითადი კრიტერიუმების მიხედვით:

ა) პროგრამული (სახელმწიფო, საუნივერსიტეტო, საფაკულტეტო) დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის შემთხვევაში);

ბ) სამეცნიერო ან სასწავლო ერთეულის პერსონალის მიერ შესრულებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები (უნივერსიტეტის სასწავლო ერთეულის შემთხვევაში);

გ) პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტების შესრულების შედეგები (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის შემთხვევაში);

დ) შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტით დაფინანსებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები;

ე) უცხოური გრანტებით დაფინანსებული სამეცნიერო პროექტები;

ვ) პატენტები;

ზ) ბეჭდური/ელექტრონული სამეცნიერო პროდუქციის გამოცემა საქართველოში (მონოგრაფიები/წიგნები; სახელმძღვანელოები; კრებულები; სამეცნიერო სტატიები);

თ) ბეჭდური/ელექტრონული პროდუქციის გამოცემა საზღვარგარეთ (მონოგრაფიები/წიგნები; სახელმძღვანელოები; კრებულები; სტატიები);

ი) სამეცნიერო ფორუმების მუშაობაში მონაწილეობა (საქართველოში; საზღვარგარეთ);

კ) კვლევის შედეგების კომერციალიზაციის პოტენციალი;

ლ) საექსპერტო მოღვაწეობა;

მ) ახალგაზრდა მეცნიერთა სამეცნიერო მუშაობის ხელშეწყობა;

ნ) სამეცნიერო ნაშრომების მეცნიერომეტრიული მონაცემები და მკვლევართა სამეცნიერო პროდუქტიულობის მაჩვენებელი.

2. ამ მუხლის პირველი პუნქტით განსაზღვრული კრიტერიუმების მიხედვით, კვლევითი ერთეულების სამეცნიერო-კვლევითი საქმიანობის შეფასება ხორციელდება თითოეული კრიტერიუმის ფარგლებში გაერთიანებული რაოდენობრივი (სტატისტიკური) და თვისებრივი (დარგობრივი სპეციფიკის შესაბამისი) მონაცემების შესწავლითა და შეფასებით.

მუხლი 3. სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის შეფასების განმახორციელებელი სუბიექტი

1. კვლევითი ერთეულების სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის შეფასებას ახორციელებს სპეციალური დარგობრივი კომისია/კომისიები (შემდგომში - დარგობრივი კომისია), რომლის შემადგენლობა, არანაკლებ ხუთი წევრით, კომპლექტდება უმაღლესი რანგის მეცნიერ-მკვლევრებისგან. დარგობრივი კომისიის შემადგენლობაში, სასურველია, შედიოდეს შესაბამისი დარგის უცხოელი მეცნიერი/ექსპერტი.

2. დარგობრივი კომისიის შემადგენლობას განსაზღვრავს კვლევითი ერთეულის სამეცნიერო საბჭო (ფაკულტეტის შემთხვევაში - ფაკულტეტის საბჭო) და დასამტკიცებლად წარუდგენს უნივერსიტეტის აკადემიურ საბჭოს.

3. დარგობრივი კომისია შეფასებას ახორციელებს წინამდებარე წესის #1 დანართით განსაზღვრული ფორმით წარდგენილი თვითშეფასების ანგარიშ(ებ)ის შესწავლის შედეგად მიღებული გადაწყვეტილებების საფუძველზე.

4. დარგობრივი კომისია არ შეიძლება დაკომპლექტდეს მხოლოდ თვითშეფასების აქტივობებში თანამონაწილე პირებით.

5. დარგობრივი კომისიის მუშაობა ხორციელდება სხდომებზე, რომელიც გადაწყვეტილებაუნარიანია, თუ სხდომაში მონაწილეობს წევრთა ნახევარზე მეტი და გადაწყვეტილებები მიიღება ხმათა უბრალო უმრავლესობით.

მუხლი 4. სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის შეფასების ინსტრუმენტები და შეფასების პროცედურა

1. კვლევითი ერთეულ(ებ)ის მიერ წარდგენილ თვითშეფასების ანგარიშში ასახული უნდა იყოს სამეცნიერო მუშაობის აღწერა, როგორც რაოდენობრივი, ისე თვისებრივი მონაცემებით. სტანდარტიზებული თვითშეფასების ანგარიშის ფორმა, აგრეთვე, მოიცავს კვლევითი საქმიანობის დარგობრივი სპეციფიკის აღმწერ ნაწილს.

2. კვლევითი ერთეული, ყოველწლიურად ავსებს თვითშეფასების ანგარიშს და არაუგვიანეს საანგარიშო წლის 25 დეკემბრისა წარუდგენს უნივერსიტეტის მეცნიერებისა და ინოვაციების დეპარტამენტს.
3. კვლევითი ერთეულის მიერ წარმოდგენილი თვითშეფასების ანგარიშ(ებ)ი, მეცნიერებისა და ინოვაციების დეპარტამენტის მიერ შეფასებისთვის ეგზავნება დარგობრივ კომისიებს, მიღებიდან 15 კალენდარული დღის ვადაში.
4. დარგობრივი კომისია, მიღებული თვითშეფასების ანგარიშ(ებ)ის შესწავლის საფუძველზე, წერს შეფასებას წინამდებარე წესის #1 დანართით განსაზღვრული რაოდენობრივი და თვისებრივი კრიტერიუმების მიხედვით და არაუგვიანეს საანგარიშო წლის 15 ივნისისა და წარუდგენს მეცნიერებისა და ინოვაციების დეპარტამენტს, საქმისწარმოების დადგენილი წესით. შეფასება, აგრეთვე, შეიძლება მოიცავდეს დარგობრივი კომისიის რეკომენდაციებს.
5. დარგობრივი კომისიის შეფასება, მათ შორის შემუშავებული რეკომენდაციები (არსებობის შემთხვევაში), წარმოდგენიდან 5 სამუშაო დღის ვადაში, მეცნიერებისა და ინოვაციების დეპარტამენტის მიერ გადაეცემა შესაბამის სამეცნიერო-კვლევით ერთეულს და უნივერსიტეტის ხარისხის უზრუნველყოფის სამსახურს.
6. უნივერსიტეტის მეცნიერებისა და ინოვაციების დეპარტამენტი, ამ მუხლის მე-2 და მე-4 პუნქტებით განსაზღვრული ინფორმაციის საფუძველზე, აწარმოებს ერთიან საუნივერსიტეტო მონაცემთა ბაზას.

მუხლი 5. დარგობრივი კომისიის მუშაობის წესი

1. დარგობრივი კომისია მუშაობას ახორციელებს სხდომების მეშვეობით. სხდომა იმართება საჭიროების შესაბამისად.
2. დარგობრივი კომისია კომისიის წევრთაგან ირჩევს კომისიის თავმჯდომარეს და მდივანს.
3. კომისიის თავმჯდომარე:
 - ა) იწვევს და ხელმძღვანელობს დარგობრივი კომისიის სხდომებს;
 - ბ) ითანხმებს სხდომის დღის წესრიგს;
 - გ) საჭიროების შემთხვევაში, განსახილველ საკითხთან დაკავშირებით იწვევს დარგის სპეციალისტს/ექსპერტს;
 - დ) დარგობრივი კომისიის მიერ დაკისრებული ფუნქციების შესრულების უზრუნველსაყოფად, ახორციელებს სხვა საჭირო ღონისძიებებს.
4. კომისიის მდივანი უზრუნველყოფს:
 - ა) სხდომების მოწვევის ორგანიზებას;
 - ბ) თავმჯდომარესთან შეთანხმებული დღის წესრიგის და შესაბამისი დოკუმენტაციის კომისიის წევრებისათვის მიწოდებას;
 - გ) სხდომის ოქმის წარმოებას.

5. სხდომას ხსნის და დახურულად აცხადებს სხდომის თავმჯდომარე.

6. სხდომა უფლებამოსილია, თუ მას ესწრება წევრთა ნახევარზე მეტი. დარგობრივი კომისიის გადაწყვეტილება მიიღება ღია კენჭისყრით, დამსწრე წევრთა უმრავლესობის მხარდაჭერით. კომისიის წევრს უფლება აქვს თავისი განსხვავებული აზრი (ასეთის არსებობის შემთხვევაში) დაურთოს ოქმს, რის შესახებაც ოქმში კეთდება შესაბამისი ჩანაწერი.

7. კომისიის სხდომა ფორმდება ოქმით, რომელსაც ხელს აწერს თავმჯდომარე და მდივანი.

8. კომისიის მდივანი უზრუნველყოფს დარგობრივი კომისიის წევრებისთვის სხდომის გამართვის თარიღის, დროისა და ადგილის შესახებ ინფორმაციის მიწოდებას, არა უგვიანეს 7 დღისა.

9. დარგობრივი კომისიის წევრი ვალდებულია შეფასების პროცედურის დაწყებამდე, წინასწარ განაცხადოს ყველა იმ გარემოების თაობაზე, რომელმაც შეიძლება მას ხელი შეუშალოს შეფასების პროცედურის ობიექტურად წარმართვასა და გადაწყვეტილების მიუკერძოებლად გამოტანაში და მოითხოვოს თვითაცილება.

მუხლი 6. დასკვნითი დებულებები

წინამდებარე წესში ცვლილებების და/ან დამატებების შეტანა ხორციელდება უნივერსიტეტის ხარისხის უზრუნველყოფის სამსახურის წარდგინების საფუძველზე გამოცემული უნივერსიტეტის აკადემიური საბჭოს დადგენილებით.

**საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის/ფაკულტეტის
დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის სამეცნიერო-
კვლევითი საქმიანობის
თვითშეფასების ფორმა**

დაწესებულების სახელწოდება	საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ორგანიზაციულ-სამართლებრივი ფორმა	საჯარო სამართლის იურიდიული პირი
დაწესებულების სახე	უნივერსიტეტი
საიდენტიფიკაციო კოდი	211349192
სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის/ფაკულტეტის სახელწოდება (ქართულ და ინგლისურ ენებზე)	კვანტური ფიზიკისა და საინჟინრო ტექნოლოგიების ინსტიტუტი Institute of Quantum Physics and Engineering Technologies
საუნივერსიტეტო	☐
საფაკულტეტო	☐
მისამართი (ქუჩა, №, ქალაქი/მუნიციპალიტეტი, საფოსტო ინდექსი, ქვეყანა)	კოსტავას 77, თბილისი, 0171, საქართველო
დაწესებულების ელ-ფოსტა	science@gtu.ge
ხელმძღვანელი	წამალაიძე ზვიადი
მობილური ტელეფონი	599 741775

1. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები (სამეცნიერო-კვლევითი მუშაობის გეგმა)

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

1) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

1. CMS ექსპერიმენტის დეტექტორების განახლება და მათი ექსპლუატაცია დიდ ადრონულ კოლაიდერზე CERN-ში. ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა.
2. COMET ექსპერიმენტი (KEK, J-PARC, იაპონია). ბირთვული და ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა.
3. DUNE ღრმა მიწისქვეშა ნეიტრინული ექსპერიმენტი (Fermilab, USA).

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 2015-2024
2. ----
3. ----

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1.
 - ადამოვი გიორგი (პროგრამირება, მოდელირება, ანალიზი)
 - ბადათურია იური (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
 - გოგილიძე სოსო (თეორიული ანალიზი)
 - ლომიძე დავითი (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
 - ლომიძე ირაკლი (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
 - იაშვილი აბესალომი (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
 - კემულარია ოთარი (დეტექტორების დიზაინი, მოდელირება)
 - მეღვამე ალექსანდრე (დეტექტორების დიზაინი მოდელირება)
 - მესტერიშვილი ალექსი (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია ოპერირება)
 - ტორიაშვილი თენგიზი (მოდელირება, ანალიზი)
 - ჩოხელი დავითი (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია ოპერირება, ანალიზი)
 - წამალაიძე ზვიადი (დეტექტორები, მოდელირება, ანალიზი)
 - ხვედელიძე არსენი (თეორიული ანალიზი)
2.
 - აბრამიშვილი რომანი (მოდელირება, ანალიზი)
 - ადამოვი გიორგი (პროგრამირება, მოდელირება, ანალიზი)
 - ბადათურია იური (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
 - კემულარია ოთარი (დეტექტორების დიზაინი, მოდელირება)
 - ლომიძე დავითი (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
 - ლომიძე ირაკლი (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
 - მეღვამე ალექსანდრე (დეტექტორების დიზაინი, მოდელირება)
 - ტორიაშვილი თენგიზი (მოდელირება, ანალიზი)
 - ჩოხელი დავითი (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება, ანალიზი)
 - წამალაიძე ზვიადი (დეტექტორები, ანალიზი)
 - წვერავა ნიკოლოზ (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
 - წვერავა მარიამი (მოდელირება, ანალიზი)
 - ხვედელიძე არსენი (თეორიული ანალიზი)

3.

- ადამოვნი გიორგი (პროგრამირება, მოდელირება, ანალიზი)
- ბაღათურია იური (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
- კემულარია ოთარი (დეტექტორების დიზაინი, მოდელირება)
- ლომიძე ირაკლი (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
- ჩოხელი დავითი (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება, ანალიზი)
- წამალაიძე ზვიადი (დეტექტორები, ანალიზი)
- წვერავა ნიკოლოზ (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
- ზვედელიძე არსენი (თეორიული ანალიზი)

კვლევითი პროექტის 2023 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1¹. სამეცნიერო ან სასწავლო ერთეულის პერსონალის მიერ შესრულებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის სასწავლო ერთეულის მიერ

1.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

- 1.
- 2.

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

- 1.
- 2.

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

- 1.
- 2.

გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 20-- წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1.2.

1) დასრულებული პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

- 1.
- 2.

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

- 1.
- 2.

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

- 1.
- 2.

დასრულებული კვლევითი პროექტის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

2. პროგრამული დაფინანსებით გათვალისწინებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტების შესრულების შედეგები

შენიშვნა: ივსება მხოლოდ უნივერსიტეტის დამოუკიდებელი სამეცნიერო-კვლევითი ერთეულის (სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის) მიერ

2.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

1. CMS ექსპერიმენტის დეტექტორების განახლება და მათი ექსპლუატაცია დიდ ადრონულ კოლაიდერზე CERN-ში. ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა.
2. COMET ექსპერიმენტი (KEK, J-PARC, იაპონია). ბირთვული და ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა.
3. DUNE ღრმა მიწისქვეშა ნეიტრინული ექსპერიმენტი (Fermilab, USA).

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 2015-2024

2. ----

3. ----

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1.

- ადამოვი გიორგი (პროგრამირება, მოდელირება, ანალიზი)
- ბაღათურია იური (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
- გოგილიძე სოსო (თეორიული ანალიზი)
- ლომიძე დავითი (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
- ლომიძე ირაკლი (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
- იაშვილი აბესალომი (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
- კემულარია ოთარი (დეტექტორების დიზაინი, მოდელირება)
- მეღვამე ალექსანდრე (დეტექტორების დიზაინი მოდელირება)
- მესტყირიშვილი ალექსი (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია ოპერირება)
- ტორიაშვილი თენგიზი (მოდელირება, ანალიზი)
- ჩოხელი დავითი (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია ოპერირება, ანალიზი)
- წამალაიძე ზვიადი (დეტექტორები, მოდელირება, ანალიზი)
- ხვედელიძე არსენი (თეორიული ანალიზი)

2.

- აბრამიშვილი რომანი (მოდელირება, ანალიზი)
- ადამოვი გიორგი (პროგრამირება, მოდელირება, ანალიზი)
- ბაღათურია იური (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
- კემულარია ოთარი (დეტექტორების დიზაინი, მოდელირება)
- ლომიძე დავითი (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
- ლომიძე ირაკლი (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
- მეღვამე ალექსანდრე (დეტექტორების დიზაინი, მოდელირება)
- ტორიაშვილი თენგიზი (მოდელირება, ანალიზი)
- ჩოხელი დავითი (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება, ანალიზი)
- წამალაიძე ზვიადი (დეტექტორები, ანალიზი)
- წვერავა ნიკოლოზ (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
- წვერავა მარიამი (მოდელირება, ანალიზი)
- ხვედელიძე არსენი (თეორიული ანალიზი)

3.

- ადამოვი გიორგი (პროგრამირება, მოდელირება, ანალიზი)
- ბაღათურია იური (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
- კემულარია ოთარი (დეტექტორების დიზაინი, მოდელირება)
- ლომიძე ირაკლი (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
- ჩოხელი დავითი (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება, ანალიზი)
- წამალაძე ზვიადი (დეტექტორები, ანალიზი)
- წვერავა ნიკოლოზ (დეტექტორების მომზადება, ტესტი, ინსტალაცია, ოპერირება)
- ხვედელიძე არსენი (თეორიული ანალიზი)

გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2023 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

2023 წელს კვანტური ფიზიკისა და საინჟინრო ტექნოლოგიების ინსტიტუტი აგრძელებს აქტიურად მუშაობას 3 მიმართულებით, CMS (CERN, LHC, Switzerland), COMET (KEK, J-PARC, Japan) და DUNE (Fermilab, USA) ექსპერიმენტებში.

I.

CMS ექსპერიმენტი

CMS ექსპერიმენტის ადრონული კალორიმეტრი - HCAL

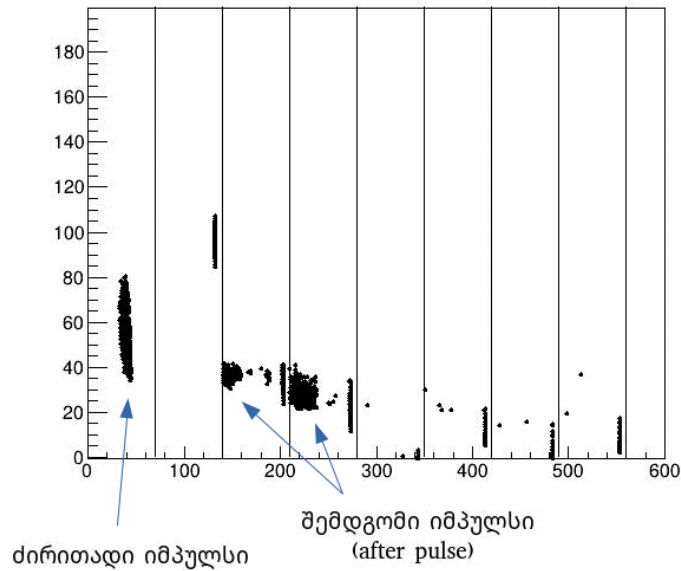
2023 წლის პირველ სამ თვეს დიდი ადრონული კოლაიდერის გეგმიური გაჩერების დროს, მიმდინარეობდა CMS ექსპერიმენტის ადრონული კალორიმეტრის მომზადება პროტონ პროტონული შეჯახებებისთვის. ძირფესვიანად შემოწმდა კალორიმეტრის მონაცემთა აღების სისტემა. განსაკუთრებული ყურადღება დაეთმო ეგრედ წოდებულ FE (front end electronics) ნაწილს, რომელიც თვითონ დეტექტორზეა მოთავსებული. ექსპერიმენტის მიმდინარეობის დროს, როდესაც CMS დეტექტორი დახურულია, ადრონული კალორიმეტრის ე.წ. კასრის ნაწილი HB (Hadron Barrel calorimeter) მიუდგომელია.

ასევე სკრუპულოზურად შემოწმდა ექსპერიმენტის წინა HF კალორიმეტრის (Hadron Forward calorimeter) მზაობა პროტონ პროტონული შეჯახებებისთვის. შემოწმდა ყველა მნიშვნელოვანი თუ მეორეხარისხოვანი სისტემა, აღმოიფხვრა უმნიშვნელო ხარვეზები, რაც გამოწვეული იყო კალორიმეტრის სისტემების პერიოდულად ჩართვის და გამორთვის მიერ.

პროტონ პროტონული შეჯახებების დაწყების შემდგომ, განხორციელდა კალორიმეტრების კალიბრება. დადგინდა ენერგეტიკული სკალა, შემდგომ ეტაპებზე ნაწილაკთა ენერგიის აღსადგენად. რადგან ადრონული კალორიმეტრი ჩართულია CMS ექსპერიმენტის ტრიგერულ სისტემაში, სრულად შემოწმდა კალორიმეტრის ტრიგერული სისტემის ფუნქციონირება.

პროტონების ბანჩების 50 ნაწილიანი დაშორებისას მძიმე იონების შეჯახებების დროს დამზერილი იქნა წინა კალორიმეტრის ტრიგერის სიხშირის რამდენიმეჯერ ზრდა, რაც არ შეესაბამებოდა სხვა დეტექტორების მიერ გაზომის ტრიგერის სიხშირეს. დეტალური გამოკვლევის შედეგად აღმოჩნდა რომ მიზეზი იყო წინა კალორიმეტრის 3496 არხიდან ერთი არხი. მიზეზი - ეგრედ წოდებული შემდგომი იმპულსები, რომლებიც გამოწვეულია ნაწილობრივ კოაქსიალური კაბელის იმპედანსის არ თანხვედრით ელექტრონულ ბლოკთან, ნაწილობრივ ფოტოგამარავლებლის იონური უკუ გამოხმაურების შედეგად. რადგან შეჯახების მიმდინარეობის დროს ხარვეზის აღმოსაფხვრელად მიდგომა შეუძლებელია, გაიცა შესაბამისი რეკომენდაცია, ამ პრობლემის გვერდის ავლით მოგვარებისთვის.

HFM_Depth4_ADCvsTDC_leta_32_lphi_37

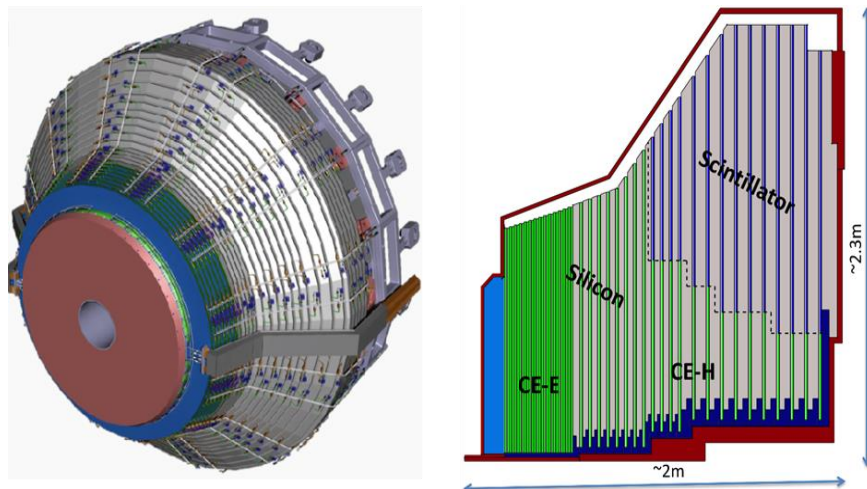


სურ. 1 წინა კალორიმეტრის ერთი არხის ძირითადი და ე.წ. შემდგომი იმპულსები

CMS ექსპერიმენტის HGCAL (High Granularity Calorimeter) კალორიმეტრი

HGCAL-ის ელექტრონიკა და მონაცემთა ბაზა

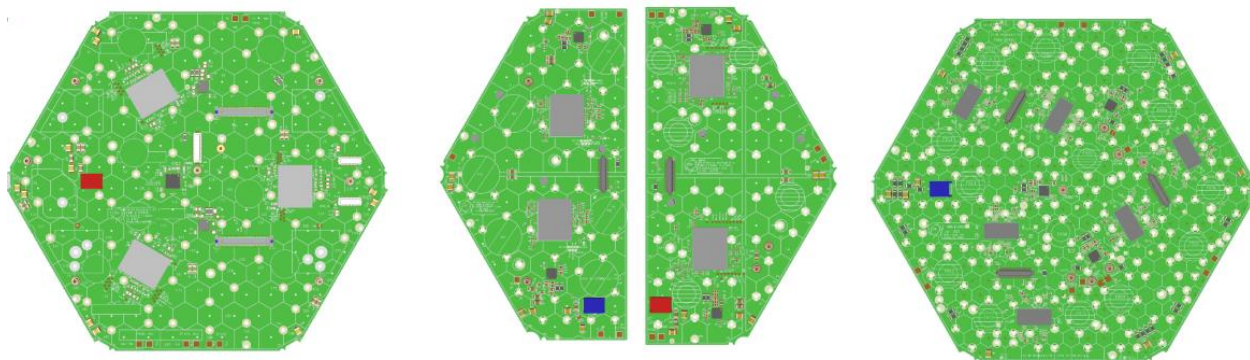
HL-LHC-ის განახლების პროგრამის ფარგლებში CMS კოლაბორაცია აშენებს high granularity კალორიმეტრს (HGCAL), რომელიც შეცვლის არსებულ endcap კალორიმეტრს, სურ. 2. ამ ახალ დეტექტორულ სისტემას ექნება გაუმჯობესებული მუშაობის თვისებები 3000fb – 1 ნათების დროს. HGC დიზაინი იყენებს სილიციუმის სენსორებს, როგორც აქტიურ მასალას წინა განყოფილებებში და პლასტმასის სცინტილატორის ფილებს უკანა მხარეს, რომლის ბოლოებშიც ფოტოსენსორების წასაკითხად მიმაგრებულია SiPMs ფოტოსენსორები.



სურ. 2 Endcap მოდელი (მარჯვნივ), endcap-ის ფენები ჰრილობი (მარცხნივ)

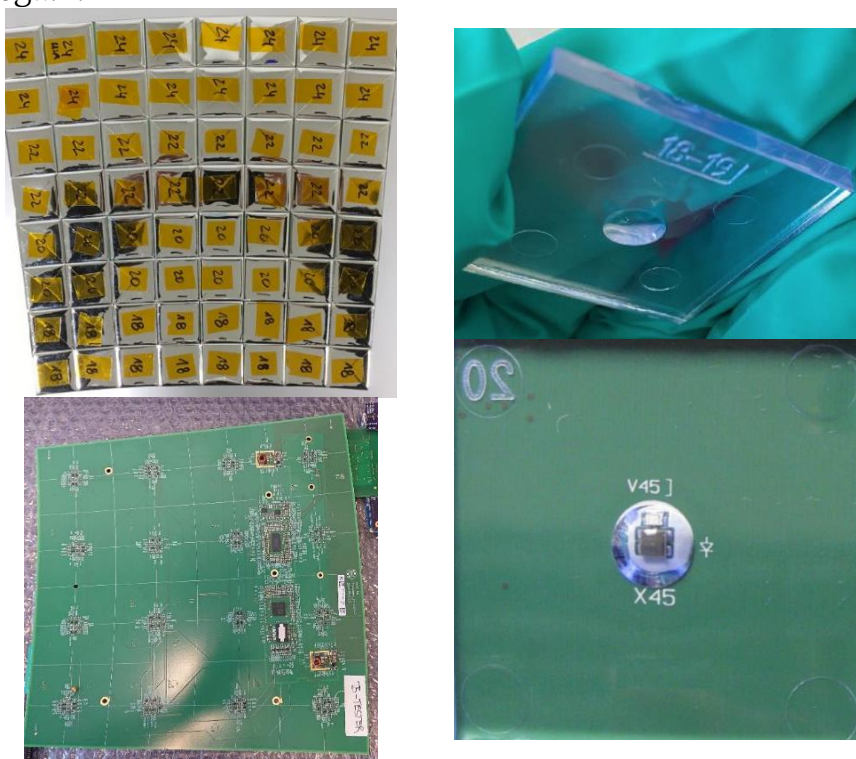
დეტექტორის ერთ-ერთი აქტიური ელემენტი 163 მმ სიგანის ექვსკუთხა სილიციუმის სენსორი (სურ. 3), რომელიც შედგება 8 ფენიანი ვაფლისგან, იგი მოთავსებულია Cu / W საყრდენ ფირფიტასა და

დაბეჭდილ ელექტრულ წრედიან დაფას შორის, რომელიც წარმოადგენს front-end ელექტრონიკას და საბოლოოდ ქმნის სილიციუმის მოდულს. მოდულიდან წაკითხვა ხორციელდება HGCROC V3 ASIC რამოდენიმე ჩიპის მეშვეობით, ისინი მირჩილილია PCB დაფაზე მის შემაერთებელ მავთულის ბილიკებთან ერთად, რომლებიც ფენებად ყოფენ სილიციუმის დაფას.



სურ. 3 განსხვავებული Si მოდულების ტიპები

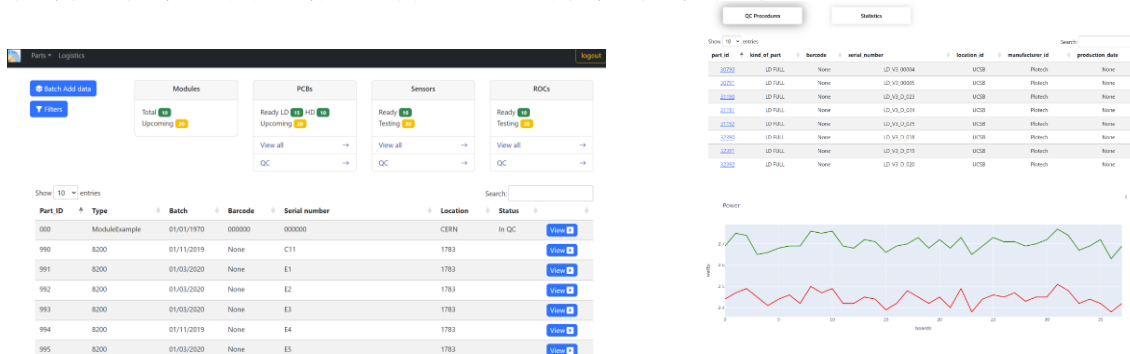
დეტექტორის მეორე მნიშვნელოვანი ნაწილია მცირე ზომის SiPM ბორდები, რომლებისგანაც შედგება დიდ PCB-ი ბორდი თავის SiPM-ებით, მასზე მიმაგრებული პლასტმასის სინტილატორით და HGCROC-SiPM V2 წამკითხავი ჩიპით. ეს მცირე ბორდები შეიქმნა და გაიტესტა DESY-ში (სურ. 4), ხოლო მათ მიერ ჩაწერილი მონაცემების შესწავლა და დამუშავება მოხდება CERN-ში აწყობილ მზა მოდულებში, სურ. 4.



სურ. 4 SiPM Tile მოდული ზედა და ქვედა მხარეები (მარცხნივ), ერთი სინტილატორის ფილა და SiPM

საერთო ჯამში, ეს დაახლოებით >50000 მოდულს შეადგენს. თითოეულს გააჩნია მრავალი კომპონენტი და მათთან კავშირები. ყოველ კომპონენტზე, როგორც მაგალითად წამკითხავი ჩიპია, ასევე შეგროვებულია წარმადობის შესახებ მონაცემები. ყველა ამ კომპონენტის ინფორმაცია და კავშირი მათ შორის უნდა იყოს შენახული დეტექტორის შემდგომი კონფიგურაციისა და მუშაობის შესასწავლად.

ამ ინფორმაციაზე სწრაფი და მარტივი წვდომის უზრუნველსაყოფად, ჩვენი ჯგუფი მუშაობს მონაცემთა ცენტრალური ბაზის მოწყობის შემუშავებაზე, რომელიც შეინახავს სისტემის თითოეული ნაწილის გატარების, ქმედების და კონფიგურაციის პარამეტრებს. მონაცემთა ბაზასთან ერთად, ჩვენ პარალელურად ვმუშაობთ რამოდენიმე ვებ ინტერფეისის შექმნაზეც, რაც საშუალებას გვაძლევს სწრაფი ვიზუალური წვდომა გვქონდეს სისტემის თითოეულ ნაწილზე (სურ. 5).



სურ. 5 ვებ ინტერფეისის მაგალითი

ინფორმაციის ესეთი ვიზუალური წარმოდგენა საშუალებას იძლევა ზუსტად დავაკონფიგურიროთ სისტემის ქმედება და სწრაფად მოვახდინოთ რეაგირება შესაძლო პრობლემებზე, ეს კი გადამწყვეტი მოთხოვნაა დეტექტორის სტაბილური მუშაობისთვის.

CMS RPC ჯგუფის 2023 წლის სამეცნიერო-კვლევითი საქმიანობის ანგარიში

RPC ჯგუფის 2023 საანგარიშო წლის სამუშაოები განპირობებული იყო LHC კოლაიდერის ე.წ. ფაზა-II მუშაობის რეჟიმში გადასვლით და წარმოადგენდა CMS დანადგარზე წინა წლებში დაწყებული სამუშაოების გაგრძელებას (იხ. 2019-2022 წლების ანგარიში). 2023 წელს მიონური სისტემის RPC ჯგუფმა დაამთავრა ყველა მოსამზადებელი სამუშაოები და გადავიდა ახალი კამერების (iRPC) და ელექტრონიკის მასიურ წარმოებაზე. დაგეგმილია 2024 წლის ბოლომდე 72 ცალი iRPC კამერის და შესაბამისი რაოდენობის ახალი ელექტრონიკის დამზადება, გამოცდა და CMS დანადგარზე ინსტალირება.

ასევე გრძელდება ადრე დაწყებული სხვა სამუშაოებიც:

- არსებული და ახალი კამერების გამოცდა გრძელვადიან რადიაციულ მედეგობაზე GIF++ დანადგარზე.
- დანადგარის ცენტრალურ ცვლებში მონაწილეობა და სტატისტიკური მონაცემების დაგროვება.
- მიღებული ინფორმაციის ანალიზი და პუბლიკაციისთვის მომზადება.

ჩვენი ინსტიტუტი აქტიურად მონაწილეობს ყველა ამ საქმიანობაში და მნიშვნელოვანი წვლილი შეაქვს საერთო წარმატებებში.

1. **ახალი ელექტრონიკის გაცივების სისტემა.** წინა წელს უნივერსიტეტში დამზადებულ რამოდენიმე ცალი გაცივების სისტემა გამოიცადა რეალურ სამუშაო პირობებში; მიღებული შედეგების ანალიზის შედეგების გათვალისწინებით დადგინდა გაცივების სისტემის საბოლოო სახე და დაიწყო სერიული წარმოება. პირველი 30 ცალი უკვე ჩატანილია ცერნში და დავიწყეთ მათი ტესტირება.
2. **iRPC კამერების სერიული წარმოება CMS-ის 904-ე ლაბორატორიაში.** ახალი კამერების ძირითადი ნაწილის წარმოება დაგეგმილია გენტის უნივერსიტეტში (ბელგია) და ცერნში 904 ლაბორატორიაში. ამისათვის ამ ლაბორატორიას დაემატა ახალი ნაწილი, ე.წ. „სუფთა ოთახი“.

ამ ოთახში ხდება კამერების აწყობა კორეიდან მიღებული ე.წ. გეპ-ებით და პირველადი ტესტირება ჰერმეტიულობაზე და გაჟონვის დენებზე. ჩვენმა ჯგუფმა აქტიური მონაწილეობა მიიღო პირველი 4 კამერის აწყობაში და ტესტირებაში. ჩვენი დახმარებით შეიქმნა ტესტირების პროცედურები.



სურ. 6 კამერების სერიულ წარმოებაში და ტესტირებაში მონაწილე ჯგუფი

3. ახალი ტრიგერული სისტემების მომზადება.

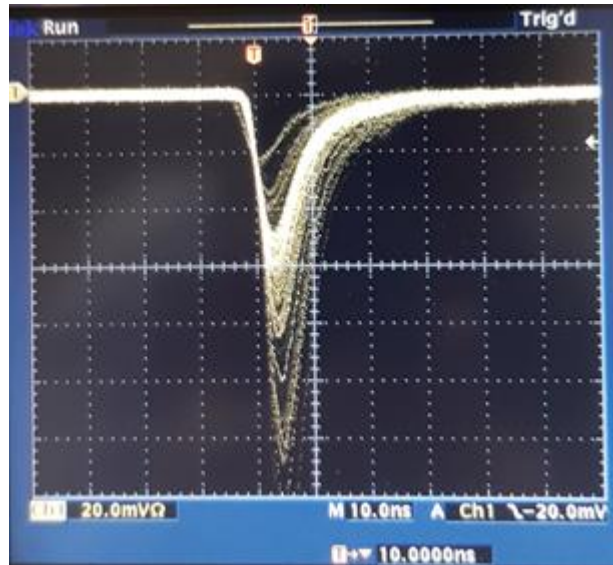
ნებისმიერი ახალი კამერის, ან ელექტრონიკის თავდაპირველი ტესტირება ყოველთვის №904 ლაბორატორიაში ხდება, ძირითადად კოსმოსური სხივების დახმარებით. ელექტრონიკასთან დაკავშირებული ყველა ტესტი მოითხოვს ე.წ. ტრიგერულ სიგნალს. სათანადო პარამეტრების მქონე ამ სიგნალების მიღება ჩვენს ჯგუფს ევალება. კამერების სერიული წარმოებისთვის საჭირო გახდა დამატებითი სამი ახალი ტრიგერული სისტემის შექმნა - ორი 904 ლაბორატორიისთვის და ერთი გენტის ჯგუფისთვის. სამივე ეს სისტემა შექმნილია და წარმატებით მუშაობს.

4. GIF++ დანადგარზე ჩატარებული სამუშაოები.

ახალი კამერების სერიულმა წარმოებამ საჭირო გახდა GIF++ დანადგარზე კოსმოსური სხივებით ტესტირების დამატებითი სტენდის შექმნა. GIF++ დანადგარზე ტესტირება, როგორც წესი, მიონების ნაკადით ხდება დიდი ინტენსივობის γ -კვანტების რადიაციული ფონის პირობებში (12 ტერაბეკერელი). ასეთი მაღალი ფონის გამო დაბალი ინტენსივობის კოსმოსური სხივების რეგისტრირება ძალიან ძნელია და ჩვეულებრივ არ გამოიყენება. რადგან მიონების ნაკადის წელიწადში განრიგის მიხედვით მხოლოდ 2-3 ჯერ გვაქვს (2-4 კვირით), ვერ ვასწრებთ ყველა ახალი კამერის და ელექტრონების დროულ ტესტირებას მარტო მიონების ნაკადით; ამიტომ გადაწყვიტეთ GIF++-ში კოსმოსური სხივების გამოყენებით ტესტირების დაწყება. ტრიგერის სიგნალიდან დიდი ინტენსივობის γ -კვანტების მოსაცილებლად დავამზადეთ ორი ცალი დიდი ზომის სქელი (4 სმ) სიციხტილაციური მთვლეელი. ასეთ სციხტილატორებში მიონებით გამოწვეული სიგნალი გაცილებით დიდი ამპლიტუდისაა ვიდრე γ -კვანტებით გამოწვეული (კომპტონ-ეფექტით). ეს საშუალებას იძლევა ამპლიტუდური დისკრიმინაციით ეფექტურად მოვაცილოთ რადიაციული ფონი და კოსმოსური მიონების სიგნალი სუფთად გამოვყოთ. ასეთი სქელი სციხტილატორის გამოყენება ასევე მიზანშეწონილია მიონებთან ნაკადით მუშაობის დროსაც, უფრო სუფთა ტრიგერული სიგნალის მისაღებად.



სურ. 7 ტრიგერში გამოყენებული სქელი სცინტილატორები

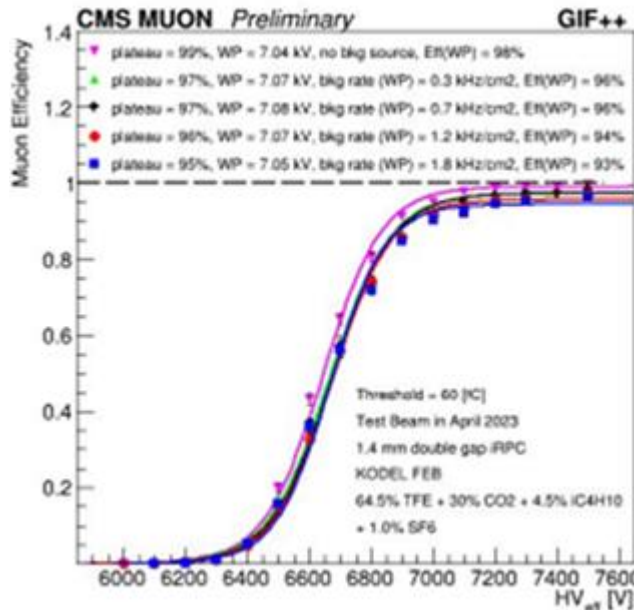


სურ. 8 მიონების ნაკადის სიგნალი γ -კვანტების ფონზე. როგორც ვხედავთ, 20 მვ ზღურბლის შემთხვევაში ფონი მთლიანად მოცილებულია.

5. ეკოლოგიურად სუფთა გაზის ნარევის შექმნა. დიდი ინტენსივობის ნაკადებზე RPC კამერები ე.წ. ღვარულ რეჟიმში მუშაობენ. ამისთვის კამერას სჭირდება საკმაოდ რთული, გაზის ოთხკომპონენტიანი ნარევი:

$C_2H_2F_4$ --- ~90% , 5% $i-C_4H_{10}$ --- ~5%, SF_6 --- ~0.3% და წყლის ორთქლი.

აქედან ორ კომპონენტი, რომლებიც ფრეონის მოლეკულებს შეიცავენ, ძლიერი სათბურის ეფექტით გამოირჩევიან და ევროპაში მათი გამოყენება აკრძალულია. ამ ნარევის ეკოლოგიურად სუფთა შემცვლელის პოვნა ჯერ ვერ მოხერხდა, თუმცა ინტენსიური კვლევები გრძელდება. დროებით საშუალებად შემოთავაზებულია პირველი კომპონენტის ნაწილის CO_2 -ით შეცვლა, რაც საგრძნობლად შეამცირებს ნარევით გამოწვეულ სათბურის ეფექტს. ჩვენი ჯგუფიც ინტენსიურად იკვლევს ამ ახალი ნარევის ორ ვარიანტს (30% CO_2 და 40% CO_2). უფრო დამაიმედებელი ჩანს 30%-იანი ნარევით მიღებული შედეგები:



სურ. 9 მიონების რეგისტრაციის ეფექტურობის ძაბვაზე დამოკიდებულება iRPC კამერისთვის CO₂ -ის 30%-იანი ნარევი

6. მონაწილეობა სეანსებში

2023 წელს მონაწილეობა მივიღეთ CMS ექსპერიმენტის ცენტრალურ სეანსებში, ძირითადად DQM (Data Quality Monitor) ტიპის. აქ ჯამში დავაგროვეთ 18 ქულა (სტატიის ავტორობისთვის საჭირო მინიმალური ქულაა 9). ასევე მონაწილეობა მივიღეთ CMS-ის ცენტრალური კომპიუტერული ცენტრის მონაცემთა დამუშავებისა და სერტიფიცირების სეანსებში (RPC CAF, RPC DQM), აქ შესაბამისად დავაგროვეთ 22 ქულა.

GIF++ დანადგარზე RPC ჯგუფის სეანსებში მონაწილეობით და ცერნის 904 ლაბორატორიაში დაგეგმილი კვლევითი სამუშაოების შესრულებით დავაგროვეთ 12 თვის ექვივალენტური ე.წ. „პლეჯები“.

2023 წელს ჩვენმა ჯგუფმა CMS ექსპერიმენტზე დაგეგმილ კვლევით სამუშაოებში აქტიური მანაწილეობით ჯამში დააგროვა 40 ქულა და 12 თვის ექვივალენტური „პლეჯები“.

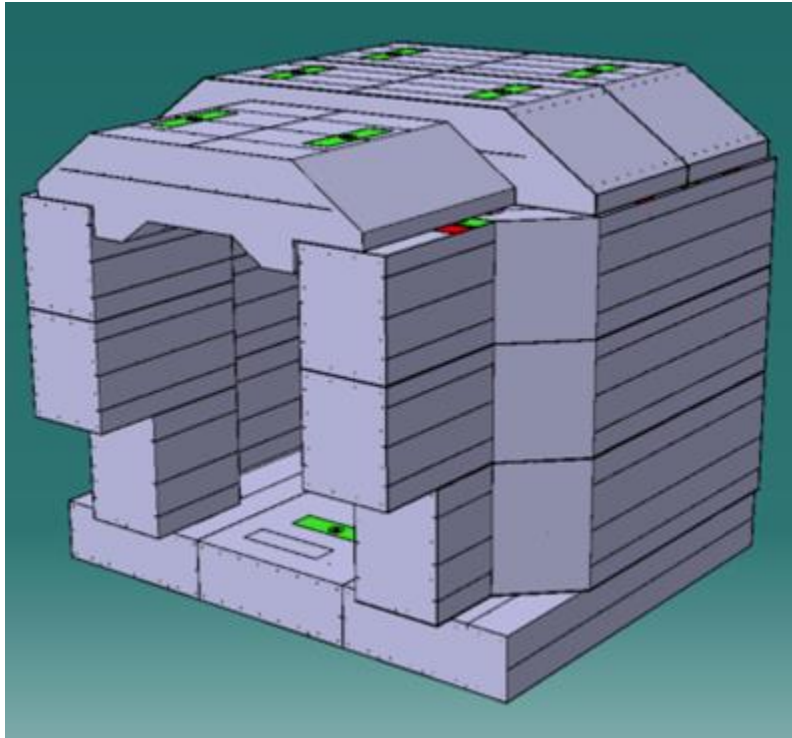
CMS Engineering & Integration

CMS დეტექტორის ახალი რადიაციული ფარი (CMS New Forward Shielding)

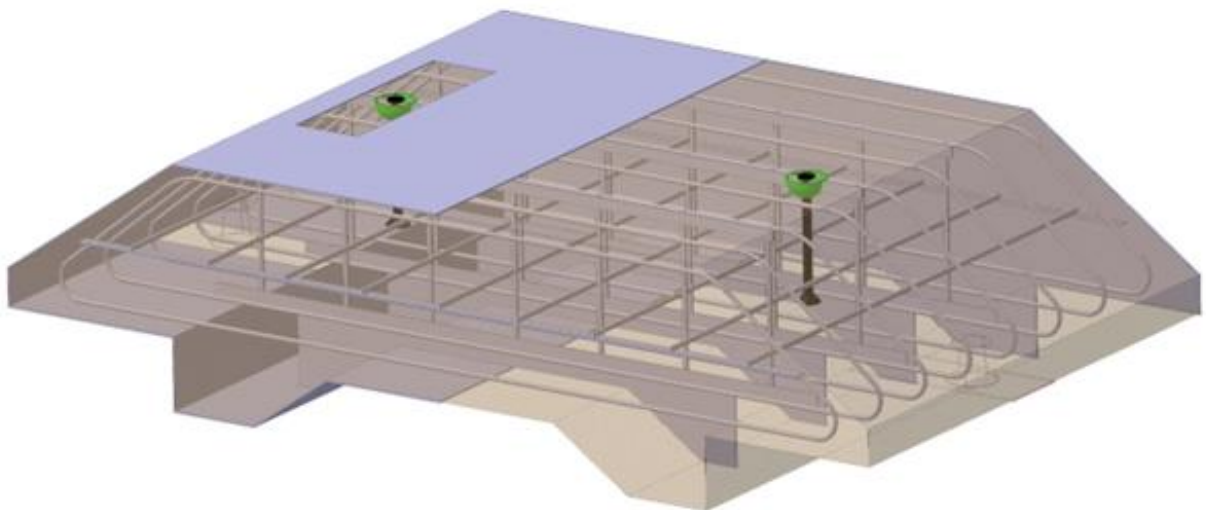
CMS დეტექტორის და ელემენტარული ნაწილაკების ნაკადის სიმძლავრის გაზრდასთან ერთად, წარმოიშვა რადიაციული, ნაწილაკებისაგან წარმოქმნილი ფონის, ხმაურის პრობლემა. ეს ნაწილაკები ამაჩქარებლის მუშაობასთან ერთად წარმოქმნილი თანამდევი პროცესია მაგრამ ამ შემთხვევაში ისინი შედარებით მაღალი სიმძლავრით, არასასურველი ადგილებიდან ხვდებიან დეტექტორის არეალში. შესაბამისად დეტექტორები აფიქსირებენ ამ ზედმეტ ნაწილაკებსაც და ეს იწვევს არასასურველი მონაცემების გენერაციას დეტექტორებზე დაკვირვების დროს.

ამისათვის დაისახა ახალი ფარის პროექტი რომელიც შეაჩერებს და ჩაახშობს გაუთვლელი ნაწილაკების წარმოქმნას და მათ გადაადგილებას. საწყისი მონაცემები აღებული იქნა CMS ექსპერიმენტის რადიაციული სიმულაციის დეპარტამენტის გათვლების მიხედვით და დადგინდა გამოსაყენებელი მატერიალის სიმკვრივე - რკინაბეტონი C 25/30 ბეტონი. მოცემულმა კონსტრუქციამ უნდა მოიცავს მთლიანად დეტექტორის ნაწილი „Rotating shielding“ რომელიც არის პირველი საფარი ამაჩქარებლის ნაკადის მილის (Beam pipe). ეს ასევე განმსაზღვრელია მისი ფორმისა და ზომისა რომელიც საკმაოდ დიდი მოცულობაა. ასევე გათვალისწინებული იქნა მისი აწყობა და დაშლის ნაბიჯები. მის სამონტაჟოდ და ასაწყობად გამოყენებული უნდა იქნეს მიწისქვეშა ექსპერიმენტული

დარბაზში არსებული ამწე, რომლის მაქსიმალური ტვირთამწეობა არის 20 ტონა. ამ ყველა ფაქტორის გათვალისწინებით შეიქმნა რკინაბეტონის ბლოკების კონსტრუქცია, რომელიც უზრუნველყოფს რადიაციული ფონის ჩახშობას, ასევე თითოეული ბლოკის წონა არ აღემატება 20 ტონას

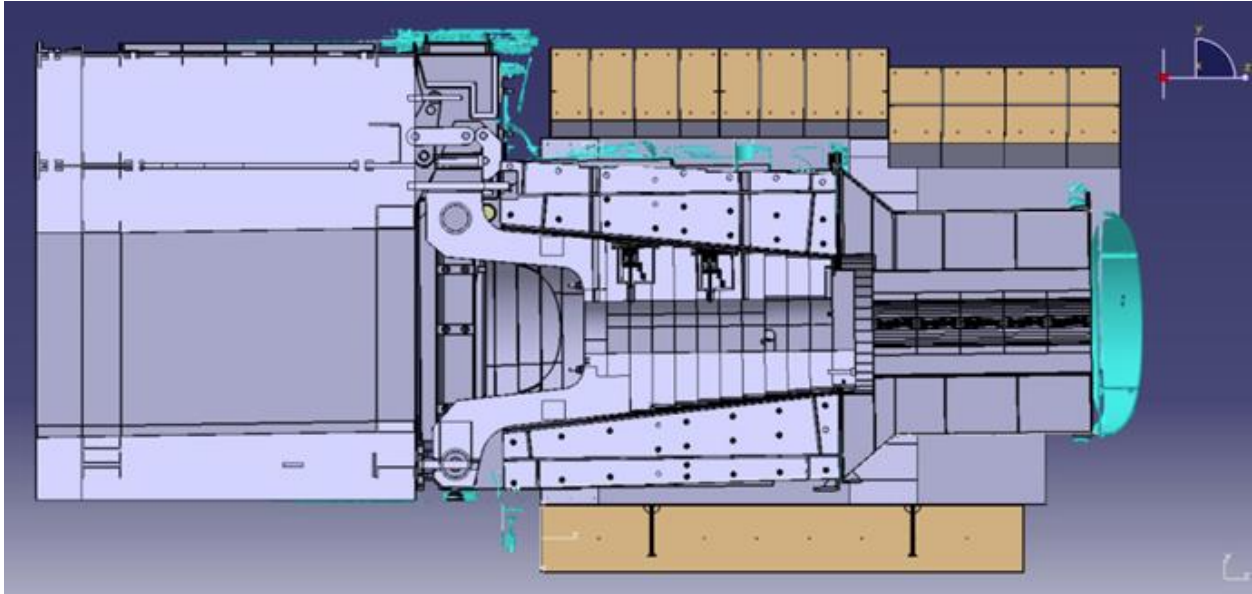


რკინაბეტონის ბლოკების პროექტირების დროს გათვლილი იქნა მათი უშუალო სტრუქტურული მედეგობა. ისინი არა მხოლოდ იღებენ ერთმანეთის დატვირთვას, არამედ უნდა მიიღონ დინამიური დატვირთვებიც მათი ტრანსპორტირებისა და ამწითი მანიპულაციების დროს. ამის შესაბამისად მოხდა მათი გათვლა სტატიკურ და დინამიურ დატვირთვებზე და შემუშავდა არმატურის შესაბამისი ზომა და მათი ჩაწყობის სქემა, მაგალითისათვის მოყვანილია გადახურვის, ზედა პოზიციაზე მყოფი პირველი ბლოკი



ამ კონსტრუქციის შემუშავებისა და სამონტაჟო პროცესის დაგეგმვის დროს დიდი მნიშვნელობა მიენიჭა მათი ინტეგრაციის საკითხს, რადგან შეზღუდულ სივრცეში, ზუსტი სხვა და სხვა დეტექტორების გარემოცვაში უნდა მოხდეს მათი მონტაჟი. ამ საკითხის ზუსტად გადასაჭრელად CMS

ექსპერიმენტის გეომეტრიული კვლევის ჯგუფმა მოამზადა სამ განზომილებიანი სკანირება ექსპერიმენტული დარბაზის. ამ მონაცემებზე დაყრდნობით ჩვენ შევძელით ზუსტი გათვლა გეომეტრიული საზღვრების რათა თავიდან ავირიდოთ კონფლიქტი სივრცითი განაწილებისა თუ მონტაჟის დროს რამაც შეიძლება გამოიწვიოს გარშემო მდებარე სისტემების დაზიანება

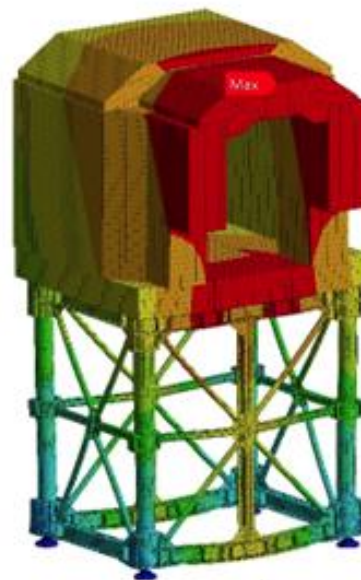


ასევე შესრულდა გათვლა ლითონის კონსტრუქციის სტრუქტურულ სიმტკიცეზე რადგან მან უნდა უზრუნველყოს სტაბილური ფიქსაცია 220 ტონიანი რკინაბეტონის კონსტრუქციის, სეისმური რისკების ჩათვლით.

მომზადდა ლითონის მზიდი კონსტრუქციის ზუსტი სამ განზომილებიანი მოდელი და მოხდა მისი გათვლა სასრულ ელემენტთა მეთოდით.

M: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
08/11/2021 10:11

1.7471 Max
1.553
1.3589
1.1647
0.97061
0.77649
0.58236
0.38824
0.19412
0 Min



0 2.5e+03 5e+03 7.5e+03 1e+04 (mm)

მიმდინარე წლის ნოემბერში მივიღეთ მზიდი კონსტრუქციის ნაწილები. ამჟამად მიმდინარეობს კონსტრუქციის აწყობა სპეციფიკაციების მიხედვით. აწყობის შემდეგ მოხდება მისი გეომეტრიული შემოწმება და შემდეგ, აწყობილი საყრდენი კონსტრუქცია გამოიცდება სრულ დატვირთვაზე.



II.

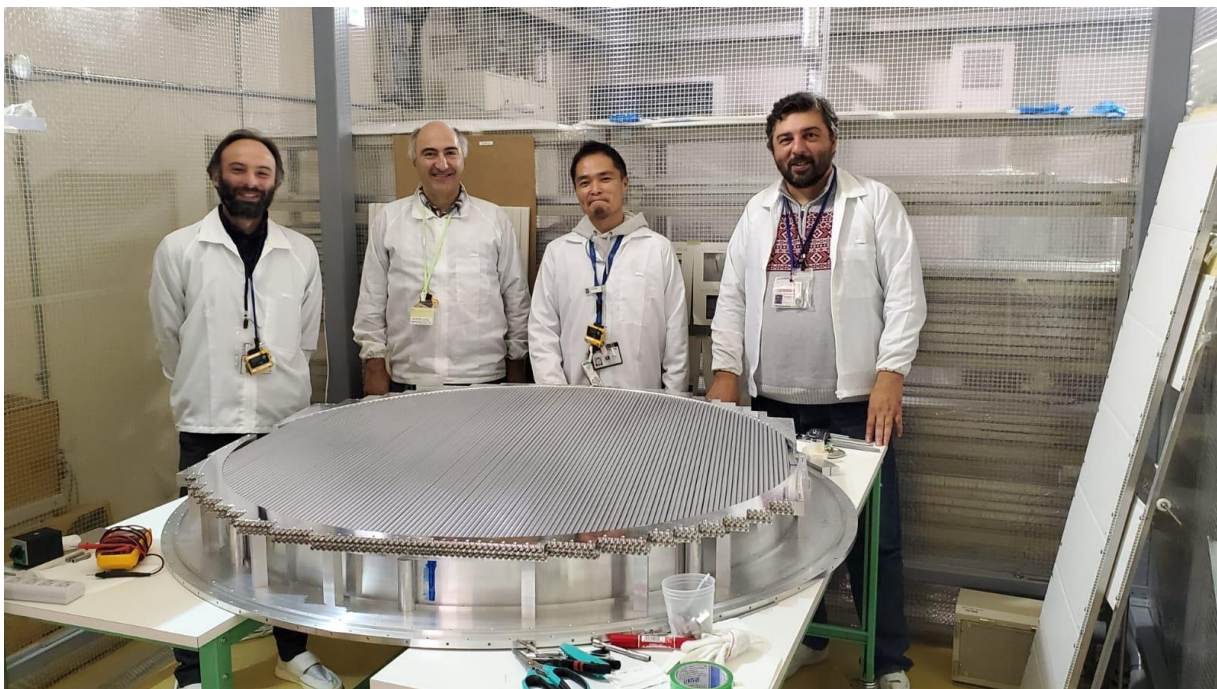
COMET ექსპერიმენტი

სუბსისტემა

სტრუქტურული დეტექტორი

გასული 2023 წლის განმავლობაში COMET ექსპერიმენტის მომზადების მიმდინარე ეტაპზე იაპონიაში შესრულდა შემდეგი სამუშაოები: დასრულდა მთავარი სტრუქტურული დეტექტორის პირველი მოდულის ნაკადზე წარმატებით გამოცდა (მონაცემები დამუშავების პროცესშია), გამოვლინდა პროგრამულად დასახვეწი მომენტები ტრეკის წაკითხვისას (მიმდინარეობს ხარვეზის გამოსწორების კვლევითი პროცესი). წინა წელს მოდულის მომზადება დაკავშირებული იყო მრავალ ტექნიკურ გადაწყვეტასთან, საბოლოოდ დამტკიცებული ასაწყობი პროტოკოლის შემუშავებით გადაწყდა თანმდევი 4 მოდულის ასაწყობი გეგმა-გრაფიკი, ტექნიკურად თითოეული მოდული შედგება

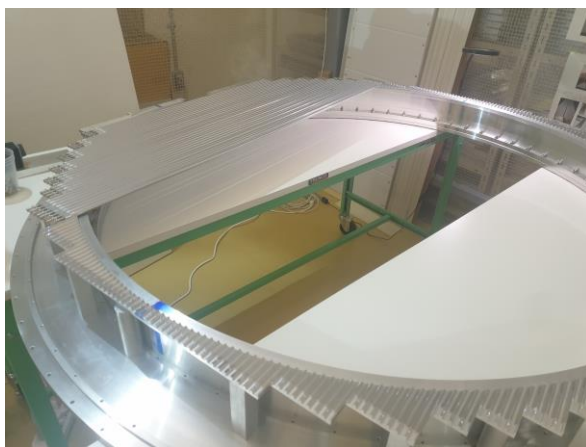
10 მმ დიამეტრის მქონე 480 სტროუსგან, რომლებიც განთავსებულია 4 შრედ, X და Y კოორდინატებად



სურ. 10 დასრულებული X კოორდინატის ნახევარმოდული

თავისი ბოლოებით და შუაში გაბმული 20 მკმ მოქროვილი ვოლფრამის ძაფებით (ანოდით).

იაპონიაში განხორციელებული 3 თვიანი ვიზიტის ფარგლებში საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის, კვანტური ფიზიკისა და საინჟინრო ტექნოლოგიების ინსტიტუტის სამეცნიერო ჯგუფმა დაიწყო და დაასრულა მეორე მოდულის მექანიკური ნაწილის მომზადება, აწყობა, დამონტაჟება. რაც გულისხმობს სტრობის მომზადებას: სხვადასხვა ზომებზე დაჭრას ვინაიდან თვითონ მოდული წრიული ფორმისაა და საჭიროებს 0.66-1.234 მ სიგრძის სტროებს, გაიზომა თითოეულის წინაღობა მომზადებისას და მოდულში დამონტაჟებისას, დაიჭიმა თითოეული სტროუ 1 კგ ძალის ზემოქმედებით რამაც გამოიწვია მასიური ჩარჩოს 2 მილიმეტრით დეფორმირება, ეს დასაშვები პარამეტრებია ასეთი გეომეტრიის პირობებში. ზოგადად მთლიანად ჩარჩოზე მოქმედებს 480 კგ ძალა,

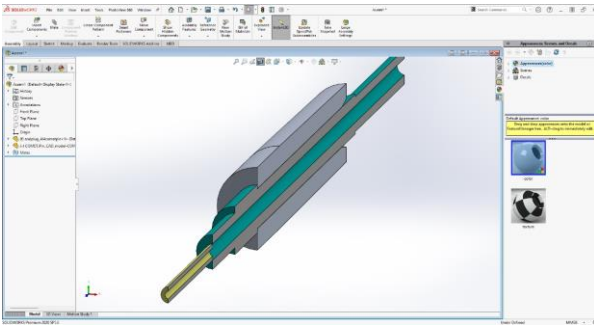


სურ. 11 ტრეკული დეტექტორის მოდული და მისი აწყობის პროცესი

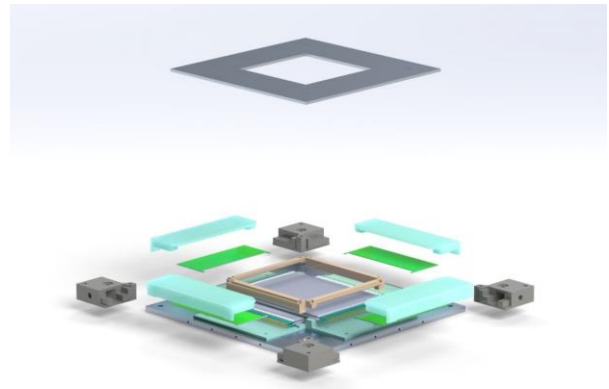
რაც კომპენსირდება მასიური წრის ფორმის რგოლით რომელიც თავის თავზე იღებს ამ დატვირთვას.

შეიქმნა მონაცემების ჟურნალი, თითოეული სტროუს აღწერით, მისი პოზიციის ნომრით და განლაგების სიზუსტით.

პარალელურად მიმდინარეობდა აქტიური სამუშაოები ახალი ტექნოლოგიების გამოყენებით, რომლის მიზანიცაა არსებული ღირებულება სტროუ მოდულების გააიაფოს. ამისათვის გამოვიყენეთ სპეციალური დიზაინის პროტოტიპი რომელიც შესრულდა 3D ტექნოლოგიების გამოყენებით.



სურ. 12 ენდპლავის CAD მოდელი



სურ. 13 ახალი 3D ტექნოლოგიით შექმნილი პროტოტიპი



სურ. 14 მეორე მოდულისთვის სტროების მომზადება



სურ. 15 5 მმ სტროების მომზადება მექანიკური ტესტებისთვის

ამისათვის შევქმენით ახალი 5 მმ დიამეტრის მქონე სტროუ მილები, კონკრეტულად ამ პროტიტპისთვის. ლაბორატორიულად გაიტესტა ხარისხის კონტროლის ყველა პარამეტრზე მექანიკურ დეფორმაციებზე, გაზის გაჟონვაზე. მიღებული შედეგები ძალზედ საიმედოა და უკვე გაიარა რამოდენიმე სატესტო ეტაპი. სამუშაოების დასრულების შემდგომ დაიგეგმება ამ ტექნოლოგიით დამზადებული კომპონენტების ჩანაცვლება არსებული ძვირადღირებული ალუმინის დეტალებისა, რომლების გაკეთებაც დიდი დროით და ადამიანურ რესურსებთან არის დაკავშირებული. პარალელურად მიმდინარეობს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში ახალი სტროუ მილების

საწარმოო ხაზის ლაბორატორიის მოწყობა ამუშავება, რომელმაც უნდა დააკმაყოფილოს 2 უდიდესი ექსპერიმენტის მოთხოვნა სტროუ მილებზე.



სურ. 16 დასრულებული პირველი მოდული

დიდი მოცულობის სამუშაოებიდან გამომდინარე ორ ეტაპად გაიყო შემდგომი ნაბიჯები. გარდა მექანიკური სამუშაოებისა მომავალ წელს იგეგმება ელექტრონიკის მიერთება და პირველი და მეორე მოდულების უკვე მრავალმოდულიან ტრეკულ სისტემად დამონტაჟება.

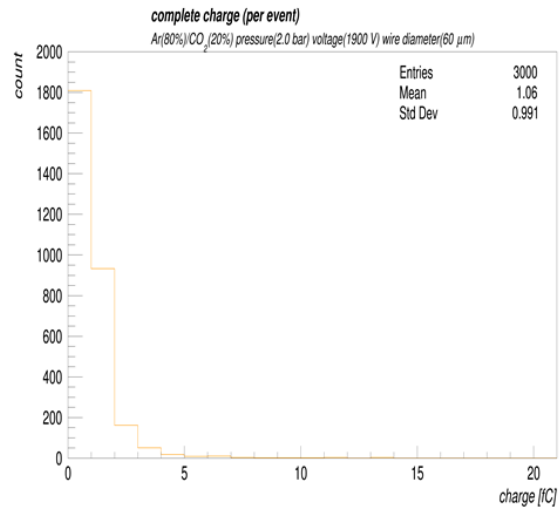
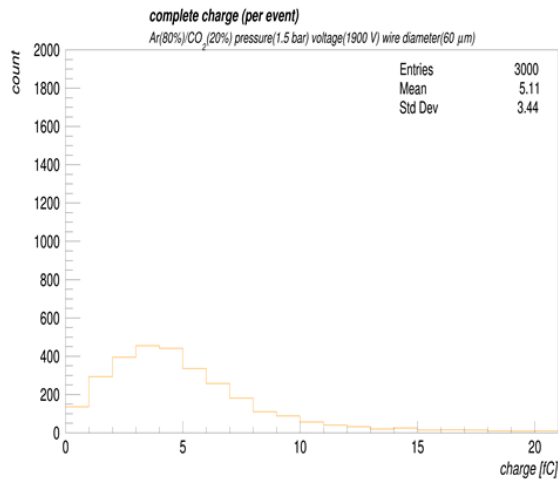
ხუთ მილიმეტრიანი სტროუ მილების პარამეტრების სიმულაცია და ანალიზი

როგორც ზემოთ აღინიშნა 2023 წელს COMET ექსპერიმენტის ფარგლებში უშუალოდ იაპონიაში შესრულდა მთელი რიგი სამუშაოები. ჩვენი ჯგუფის მიერ 2023 წელსაც გრძელდება მოდელირება ხუთ მილიმეტრიანი სტროუ მილების სხვადასხვა მახასიათებლებისათვის და მათი ანალიზი. (რადგან სამომავლოდ ხუთ მილიმეტრიანი მილები ჩაანაცვლებენ ათმილიმეტრიან მილებს და ამდენად მნიშვნელოვანია წინასწარვე მოხდეს მისი პარამეტრების ოპტიმიზაცია).

ხუთ მილიმეტრიანი მილებისათვის ანალიზის პროცესში გამოიკვეთა მთელი რიგი საინტერესო მახასიათებლები, რომელთა დამუშავებაც მოხდა Root -ის (C++ framework) და Garfield++ -ის საფუძველზე.

ხუთ მილიმეტრიანი მილების შემთხვევაში, შედარებისთვის, აღებულ იქნა ძაბვის, წნევის და გაზის სხვადასხვა პროცენტული შემადგენლობის ორი განსხვავებული მნიშვნელობები და მოხდა მათი პარამეტრების ანალიზი.

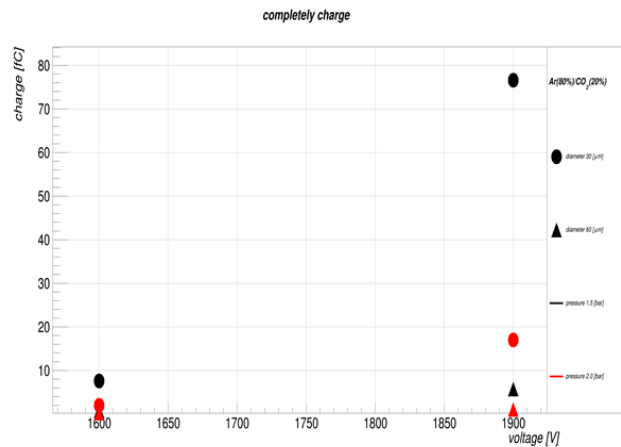
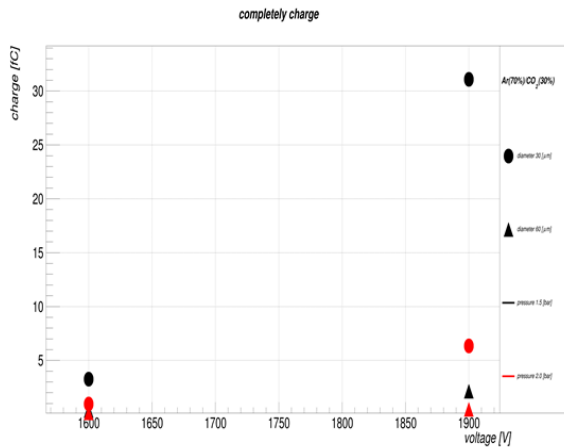
კერძოდ: ვოლტაჟი იყო 1600V და 1900V. Ar/CO₂ გაზისთვის გვექონდა პროცენტული შემადგენლობები, შესაბამისად: 70%/30% და 80%/20%-ზე, ხოლო წნევა იყო 1.5Bar და 2Bar. ასევე შედრება მოხდა ანოდის (ძაფის) ორი განსხვავებული დიამეტრისათვის.



სურ. 17 მუხტის განაწილების ჰისტოგრამა

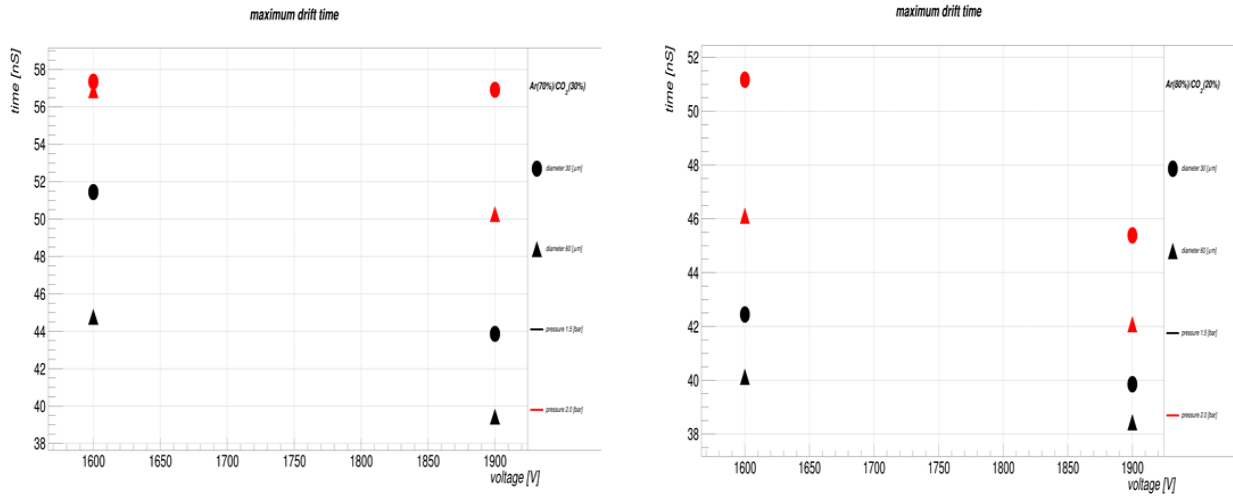
მაგალითისთვის მოყვანილია ორი ჰისტოგრამა, სადაც წარმოდგენილია მუხტის განაწილება ჰისტოგრამაზე ნაჩვენები პირობების შემთხვევაში და რადგან ზემოთ მოყვანილი პარამეტრების ზეერი ვარიაცია არსებობს, ქვემოთ წარმოდგენილი იქნება ამ ვარიაციების მიხედვით ამავე ჰისტოგრამების საშუალო მნიშვნელობები:

1) ქვემოთ მოყვანილი ორი გრაფიკი წარმოადგენს გაზის სხვადასხვა პროცენტული შემადგენლობის შემთხვევაში მიღებულ შედეგებს:



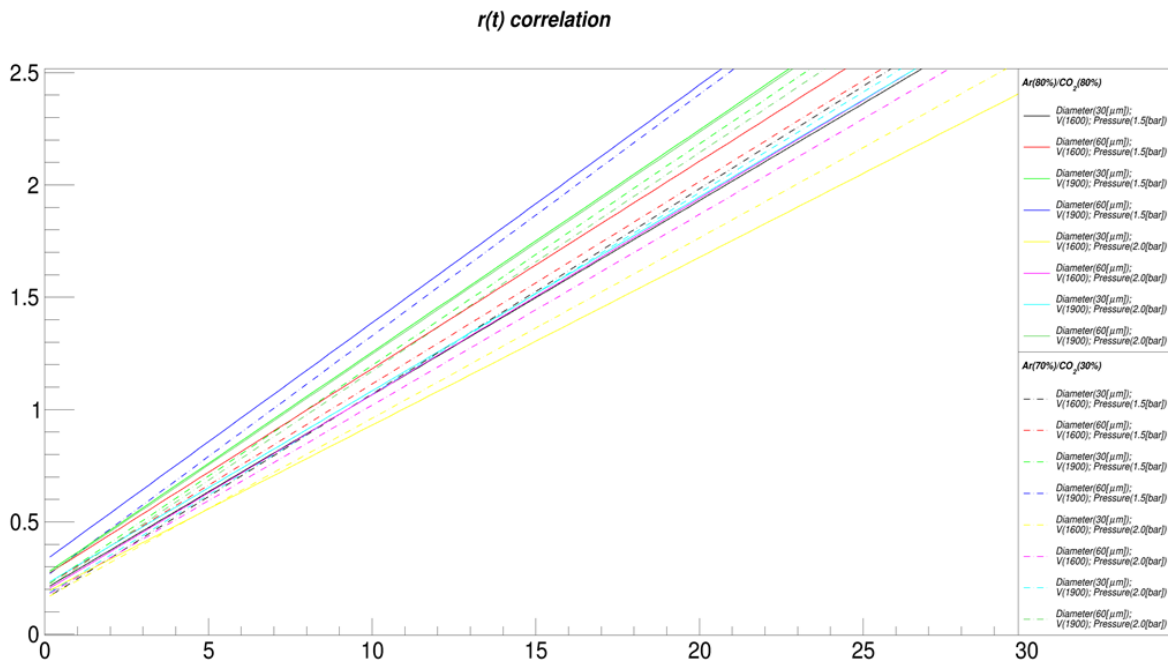
სურ. 18 გაზის სხვადასხვა პროცენტული შემადგენლობის შემთხვევაში მიღებული შედეგები

2) შემდეგ ორ გრაფიკზე წარმოდგენილია ამ პარამეტრების მიხედვით როგორ იცვლება დრეიფის დრო ასევე გაზის განსხვავებული შემადგენლობის პირობებში:



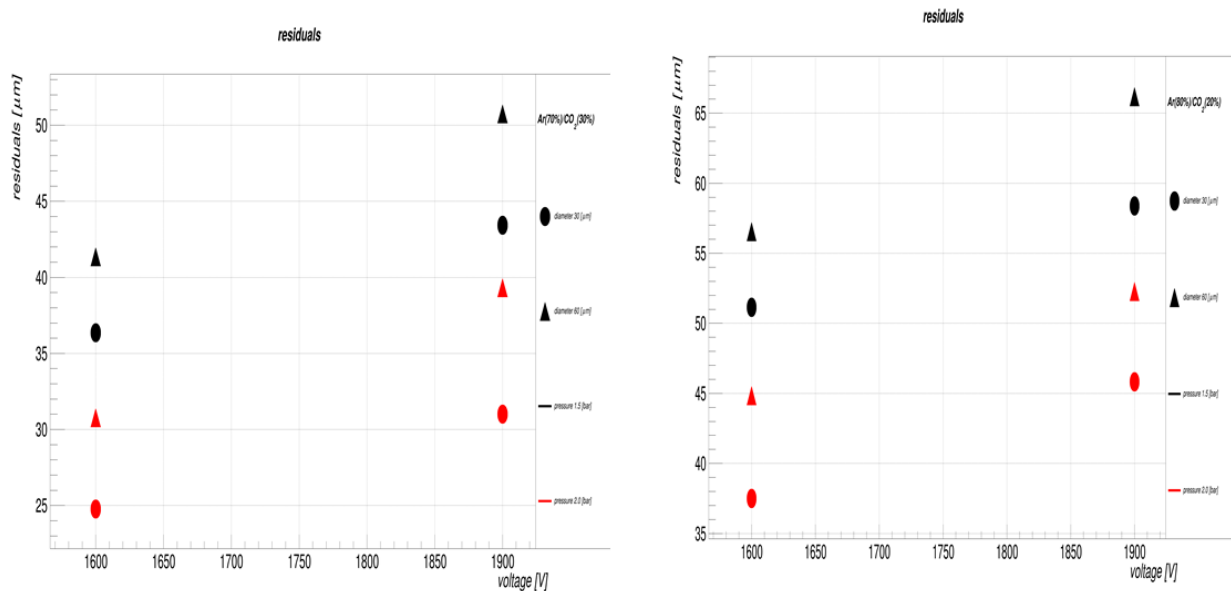
სურ. 19 დრეივის დრო გაზის განსხვავებული შემადგენლობის პირობებში

3) მოდელირების შედეგად ასევე მივიღეთ დეტექტორის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი მახასიათებელი ხუთ მილიმეტრიანი სტრუქტურული მილებისთვის, ე.წ. $r(t)$ correlation, ასევე სხვადასხვა საწყისი პირობების ვარიაციულობის მიხედვით გვაქვს სხვადასხვა გრაფიკები და შედარებისთვის ისინი წარმოდგენილია ერთ გრაფიკზე:



სურ. 20 $r(t)$ კორელაცია

4) საბოლოოდ, $r(t)$ კორელაციის ანალიზიდან ვიღებთ residuals-ების განაწილებას რაც პირდაპირ კორელაციაშია დეტექტორის სივრცითი გარჩევუნარიანობასთან (გრაფიკები წარმოდგენილია პარამეტრების განსხვავებული პირობების შემთხვევაში):



სურ. 21 residuals-ების განაწილება

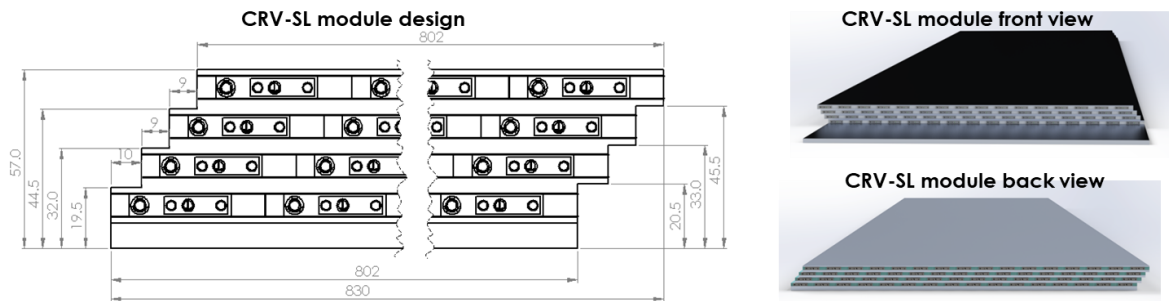
როგორც გრაფიკებიდან ჩანს, ერთმნიშვნელოვნად, დასკვნის გაკეთება თუ რომელი პარამეტრია უკეთესი, ძნელია და მომავალში დამატებითი მოდელირების შედეგების გათვალისწინებით, ვაპირებთ მივიღოთ საბოლოო ოპტიმიზირებული სამუშაო პარამეტრები ხუთ მილიმეტრიანი სტროუ მილისათვის.

CRV სისტემის შექმნა COMET ექსპერიმენტისთვის

კოსმოსური სხივების ვეტო (CRV)

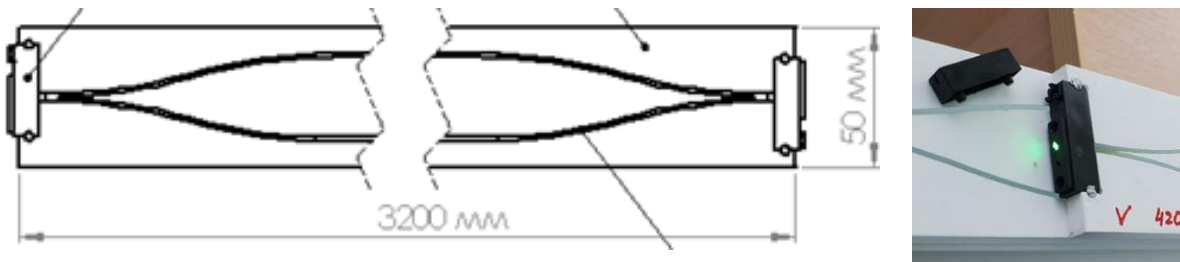
COMET CRV სისტემა არის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ნაწილი, და მისი გამოყენების მიზანია აქტიურ რეჟიმში მოახდინოს დეტექტირება კოსმოსური მიუონების 99.99% ეფექტურობით, რომ შემდგომ შემთხვევები მათი მონაწილეობით იყოს გამორიცხული საერთო ანალიზიდან, რითაც შესაძლოა მიღწეული იქნას 10^{-17} დონის სიზუსტის გაზომვა პირდაპირი მიუონ-ელექტრონის კონვერსია.

ჩვენ დავაპროექტეთ და შევქმენით COMET CRV სისტემის სცინტილატორული სტრიპებისგან შემდგარი ქვესისტემების პირველი მოდული, ე.წ. SCRV-LS-0, რომელიც შედგება 4 სტრიპების ფენიდან, 16 სტრიპი ყოველ ფენაში, ალუმინის ფილები კი ყოფენ ამ ფენებს, რომ შემცირებული იქნას გამა და ბეტა ფონის გავლენა. ასეთი შედეგის მისაღწევად, იყო ჩატარებული მრავალი კვლევა სტრიპიდან შუქის ოპტიმიზაციის მხრივ, ასევე სტრიპის გეომეტრიის დახვეწის და ორამდის ოპტიკური ბოჭკოების გაზრდის აუცილებლობა. გამოკვლეული/მოდელირებული იყო ასევე მოდულის ფენებს შორის ალუმინის ფირფიტის სისქის დადგენა, ფენების ბიჯის ერთმანეთის მიმართ გამოკვლევა GEANT-4-ის გამოყენებით. სათანადო, რადიაციულად გამძლე წებოს არჩევა, და ასევე ფენების დასაწებებლად შესაბამისი წებოვანი შენაერთის შერჩევა და მისი შემოწმება, რომ შეწებებისას არ შემცირდეს როგორც შუქის შეგროვება, ასევე შეწებების მოცულობის მექანიკური მახასიათებლები იყოს მოთხოვნის დონეზე.



სურ. 22 CRV მოდულის დიზაინი: შედგება 64 სტრიპისგან: 4 ფენა და 16 სრიპი ყოველ ფენაში.

ამ პირველის მოდულის შექმნისთვის ასევე იყო დამუშავებული და დახვეწილი სათანადო ტექნოლოგია სტრიპების გამოშვების, ასევე ბოჭკოების ხარისხის სწრაფი შემოწმების პროცედურა. ყოველი სტრიპი აღჭურვილია 1.2 მმ დიამეტრის Kuraray Y11 სპექტრის შემცველი ოპტიკური ბოჭკოებით, რომლებიც ჩაწებებულია სათანადოდ გამზადებულ ღარებში. შუქის დეტექტირება ხდება ბოლოებში Hamamatsu MPPC S14160-3050HS სილიკონური გამამღერებლების მეშვეობით.



სურ. 23 სტრიპის დიზაინი (მარცხნივ) და რეალური სტრიპის ერთ-ერთი ბოლოს ფოტოსურათი (მარჯვნივ)

სტრიპების დამზადების შემდგომ ასევე საჭირო იყო მათი ხარისხის შემოწმება. ამისთვის იყო შექმნილი სპეციალური 6x1.2 მეტრის მაგიდა შუქგაუმტარი ყუთით მთელ ზედაპირზე და 2D პორტალით. შემუშავებული იქნა სტრიპების ხარისხის შემოწმების პროცედურა ამ მაგიდის გამოყენებით.

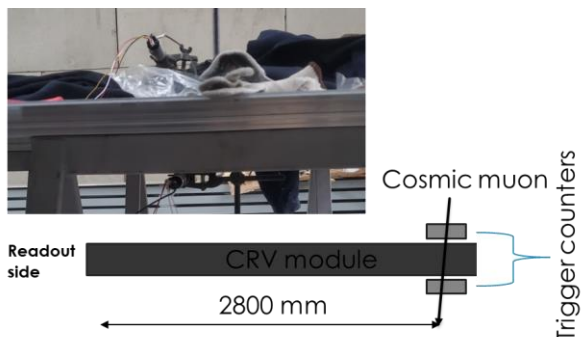
ასევე იყო დამუშავებული და გამოცდილი მოდულის შეწებება ვაკუუმის გამოყენებით, რომ სათანადო 1 კგ/სმ² ყოფილიყო შექმნილი.



სურ. 24 CRV მოდული, გამზადებული გადასაგზავნად: მისი ზომებია 3.5 მეტრი ზიგრძის და 830 მმ სიგანის, 57 მმ სიმაღლის და მიახლოებით 290 კგ წონის

და, როცა მოდული იყო აწყობილი, ეს მოდული თბილისიდან გაიგზავნა იაპონიაში რომ მომავალ წელს ჩატარდეს პირველი მისი ცდები კოსმოსურ მიუონების დეტექტირებისთვის სათანადო

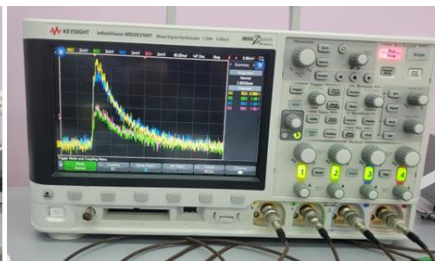
ელექტრონიკის გამოყენებით და მომზადდეს მისი გამოკვლევა COMET Phase-alpha დროს. მიღწეული შედეგების მიხედვით იქნება მიღებული გადაწყვეტილება მომდევნო ამ მოდულების მასიურ დამზადებაზე, ასევე მას დანართი ელექტრონიკის წარმოებაზე. ეს მოდული გაგზავნის წინ იყო პირველად შესწავლილი Meteor-32 Front-End ელექტრონიკის გამოყენებით.



სურ. 25 CRV მოდულის პირველი საცდელი ჩერთვა.

ამავდროულად, თბილისში იგეგმება მრავალწლიანი გამოკვლევა სტრიპების თვისებების მდრადობაზე. ეს გამოკვლევა მიზნად ისახავს თუ როგორ დეგრადირდება შუქის შეგროვება დროთა განმავლობაში და ამის მიხედვით შესაძლებელი იქნება უფრო ზუსტად დაანგარიშებული CRV მოდულის სრული ეფექტურობა კოსმოსური სხივების დეტექტირებისას და მისი ცვლილება დროთა განმავლობაში, რაც ძალიან მნიშვნელოვანია ისეთი ექსპერიმენტისთვის როგორიც არის COMET ექსპერიმენტი და მონიტორირება იქნება შესაძლებელი თუ რა სიზუსტე არის შესაძლებელი მიღწეული იქნას მიუონის ელექტრონიკაში პირდაპირ დაშლის პროცესის შესწავლისას.

თბილისში, საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში, იყო შექმნილი სტენდი, სადაც 4 CRV სტრიპი, ჩართული თანხვედრაში კოსმოსურ ტელესკოპთან მოთავსებული 2800 მმ დაშორებაზე სილიკონურ ფოტოგამამრავლებელისგან. სიგნალები იყო გამოყვანილი Kesight InfiniiVision MSOX3104T ოსცილოგრაფის ეკრანზე.



სურ. 26 სტენდი 4 CRV სტრიპისგან, ჩართული თანხვედრაში კოსმოსურ ტელესკოპთან და მათი სიგნალების ვიზუალიზაცია Kesight InfiniiVision MSOX3104T ოსცილოგრაფის მეშვეობით

ეს სტენდი შემდგომ იყო დახვეწილი, და ამ სტრიპების სიგნალები სათანადო გადამყვანის გამოყენებით გადამისამართებული იყო ფართოვრცობიან ტელევიზორზე. ასეთი დახვეწა შემდგომ მოგვცემს საშუალებას რომ თვალსაჩინოთ ვაჩვენოთ სტუდენტებს კოსმოსური სხივების გავლა მასალაში, კერძოდ, სტრიპებში.



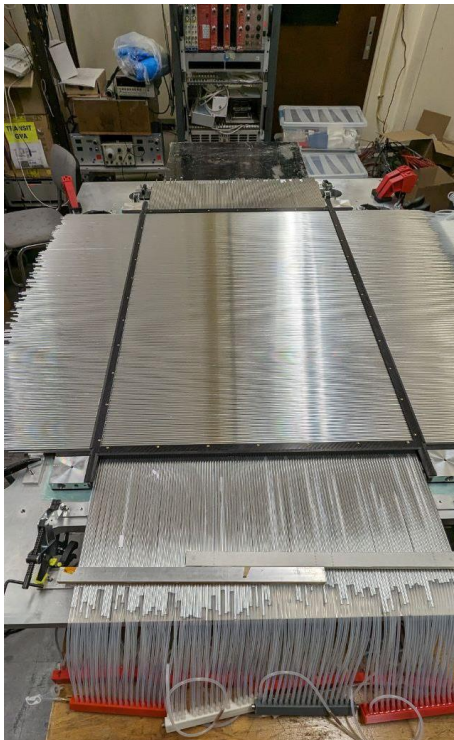
სურ. 27 კოსმოსური სხივების სიგნალების ასახვა ფართოვრნიანი ტელევიზორის ეკრანზე

ამ კვლევების შედეგები იყო წარდგენილი COMET კოლაბორაციის მიტინგებზე. იგეგმება ასევე რამდენიმე პუბლიკაცია რეფერირებად ლიტერატურაში ამ კვლევების აღსაწერად.

III.

DUNE ექსპერიმენტი

გასული წელი განსაკუთრებით კრიტიკული გამოდგა დუნა ექსპერიმენტისათვის. კონკრეტულად სტროუ ტრეკერული სისტემისათვის. ამ წელს დაიგეგმა ახალი პროტოტიპის აწყობა და ტესტირება.



სურ. 28 დუნას პროტოტიპი 720 სტროუო მილი 4 ფენა და XY კოორდინატა

ამისათვის საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სპეციალისტების ჯგუფმა, მოამზადა პროტიტპისთვის საჭირო სტრუქტურის მასიური წარმოების სრული ციკლი. ამ უნიკალური პარამეტრების მქონე სტროუ მილებისათვის შესყიდული იქნა ახალი ტიპის ლენტები რომელთაც ორივე მხრიდან გააჩნიათ ალუმინის თხელი ფენა. მილის დამზადების შემდეგ შიდა ფენა გამოიყენება როგორც კათოდი ხოლო გარე ფენა არის ხმაურისგან დამცავი ფარი. იგი დამიწებულია და მიმართულია დეტექტორის მუშაობისას ქროსთოლქის ეფექტის შესამცირებლად. რაც იცავს ძირითად სიგნალებს დამახინჯებისგან.

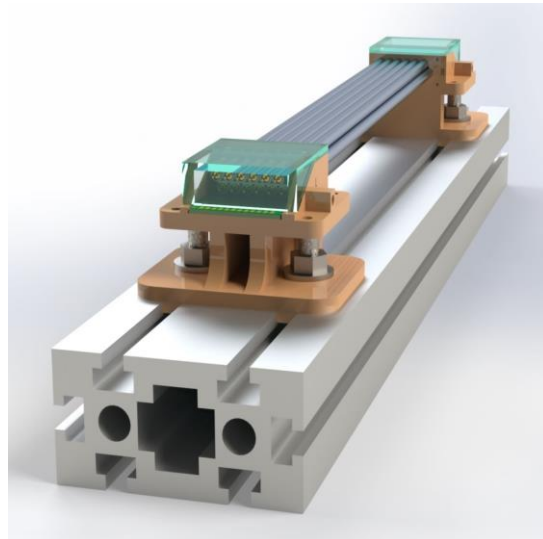


სურ. 29 პინების კრიმპინგის და ვაკუუმის ჰერმეტიზაციის პროცესი

პარალელურად ჩვენი ჯგუფის მიერ შემუშავდა ახალი ინოვაციური მეთოდი “გობელენის მეთოდი“, რომელიც საშუალებას იძლევა ძალიან მცირე მანძილებზე და დიდი რაოდენობის სტროების განლაგებას და ჩარჩოში ზუსტ პოზიციებზე მოთავსებას, რაც გარანტიაა დაჭიმულობის შედეგად მოქმედი ძალების თანაბარი გადანაწილების და ჩარჩოს სტაბილური დეფორმაციისა.



სურ. 30 გობელენის მეთოდით დამაგრებული სტროები



სურ. 31 ერთ კოორდინატიანი პროტოტიპი

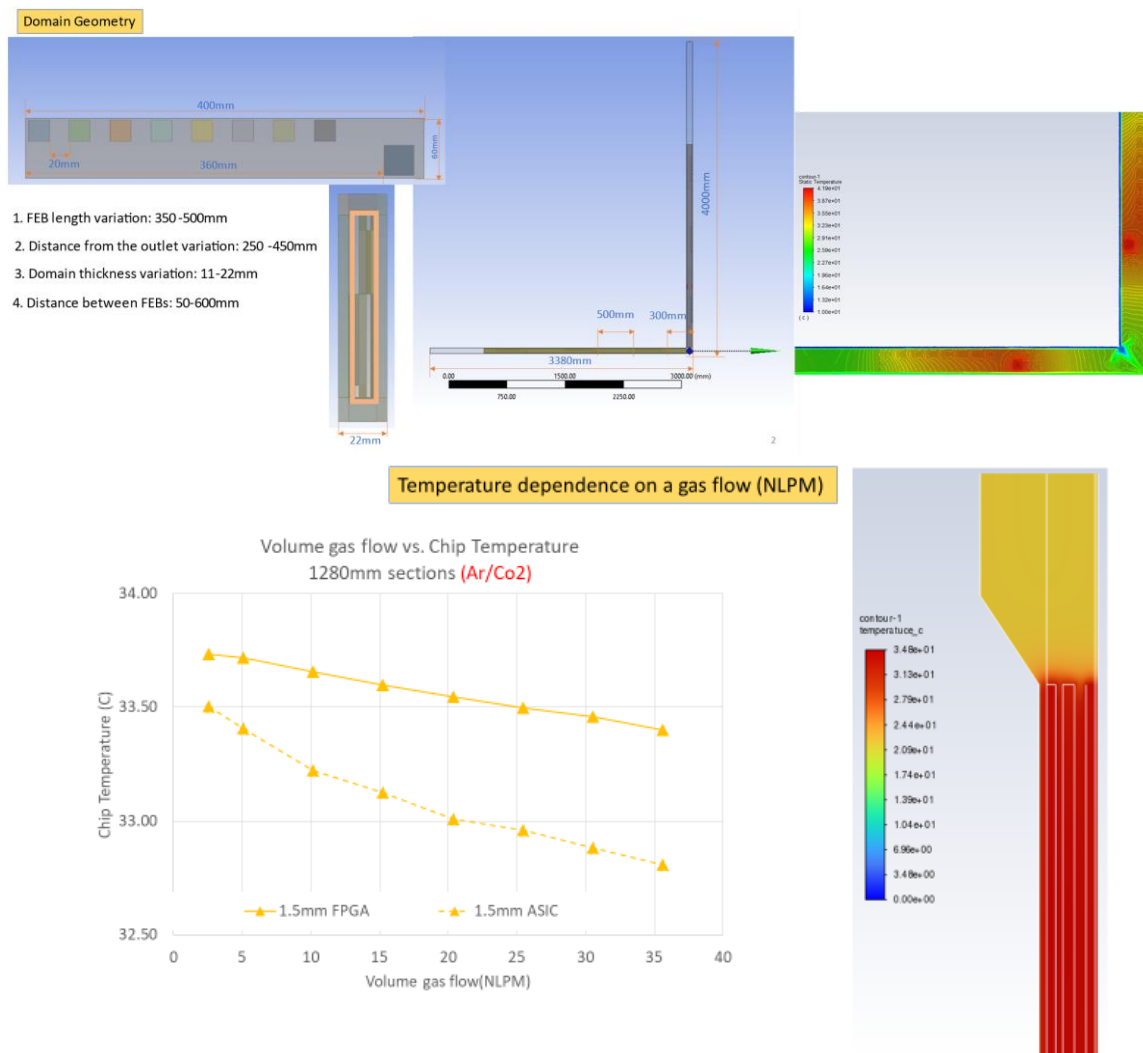
ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია რადგან ეს ჩარჩოები დამზადებულია კომპოზიტური მასალისგან და არის გეომეტრიულად ვიწრო. ყოველგვარი გაუთვალისწინებელი ზემოქმედება

წარმოადგენს დამატებით სტრესს მასალაზე და მის მდგრადობაზე. ვინაიდან დაგეგმილი მოდულების ზომა დაახლოებით 4 მ სიგრძისაა. აქ კრიტიკული მნიშვნელობა აქვს დროის ფაქტორს, რომელიც საჭიროა ამ მოდულების ასაწყობად. განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება მის გერმეტიზაციას ვინაიდან გამოიყენება ერთ-ერთი ძვირად ღირებული გაზი ქსენონი.

ამ ეტაპზე მიმდინარეობს სხვადასხვა სისტემების ტესტირებები, რომლის შედეგებიც მოგვიანებით იქნება წარმოდგენილი.

STT-ს გაგრილების სისტემა

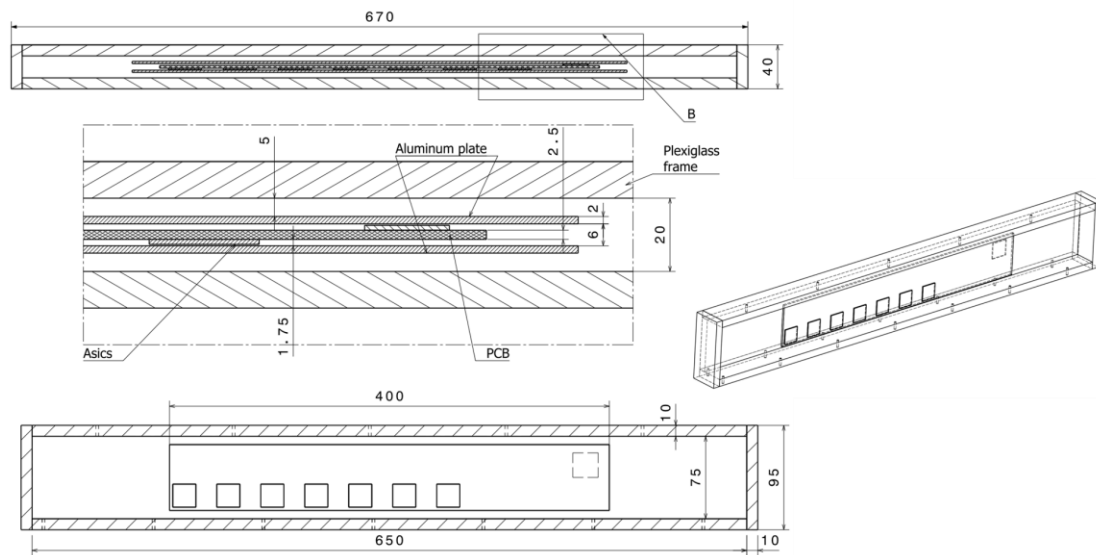
Dune ექსპერიმენტის, Near დეტექტორის ქვე-სისტემა STT-ს გაგრილების სისტემის პროექტირება, თითქმის დასასრულს მიუახლოვდა. აღნიშნული პროექტი, მთლიანად სრულდება ჩვენი ინსტიტუტის მიერ. პროექტის ფარგლებში, შესრულდა STT-ს გაგრილების სისტემის ოპტიმალური სახის შერჩევა, კერძოდ, შეიქმნა მრავალპარამეტრული გამოთვლითი მოდელი, რომლის მეშვეობითაც, მივიღეთ გაგრილების სისტემის ოპტიმალური გეომეტრიული პარამეტრები. აღნიშნული პარამეტრების მიხედვით, შეიქმნება გაგრილების სისტემა STT დეტექტორისთვის.



სურ. 32 სიმულაციის შედეგები

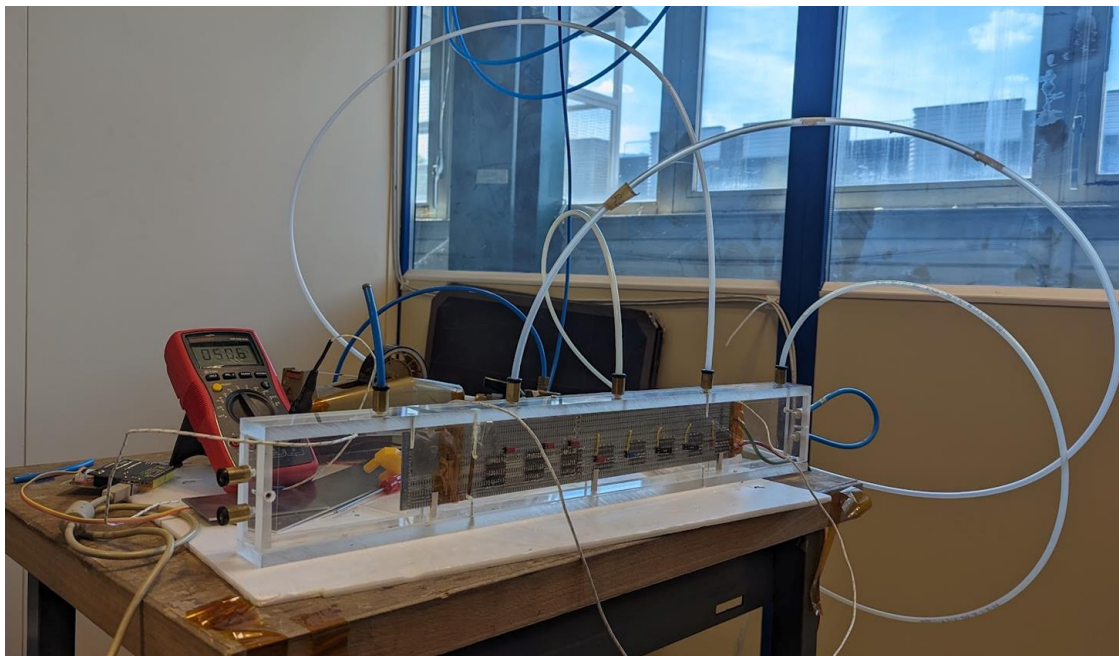
STT დეტექტორის გაგრილების სისტემის პროექტირების ფარგლებში, შესრულებული გამოთვლების სისწორის შესამოწმებლად (ვალიდაციისთვის), შეიქმნა გაგრილების პროტოტიპი. პროტოტიპი შემუშავდა Cern-ში, პრევესანის 904-ე შენობის ლაბორატორიაში, ორგანიზმის კორპუსითა და ელექტრონული დაფის ფუნქციური მაკეტით. გაგრილების პროტოტიპის დანიშნულება, STT-ს

ელექტრონულ დაფის თბოგამოყოფის იმიტაცია და ამ სითბოს, გაგრილების სისტემის მიერ ართმევის ეფექტურობის შემოწმება იყო. პროტოტიპზე მიერთებული იყო არგონის გაზი, ზუსტად ანალოგიური გეომეტრიისა და პირობების მსგავსი მოდელი შეიქმნა პროგრამა Ansys-ში. ამ დავალების შედეგი წარმატებული იქნებოდა, თუ კომპიუტერული გამოთვლების შედეგი, დაემთხვეოდა პროტოტიპზე ჩატარებული ექსპერიმენტის შედეგებს.



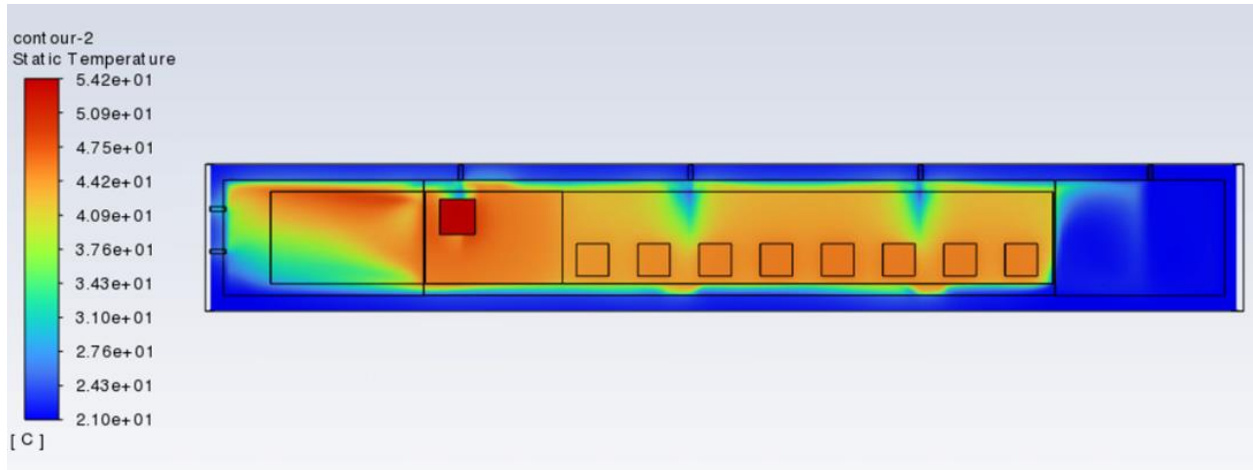
სურ. 33 პროტოტიპის სქემა

მოცემული სქემის მიხედვით, შეიქმნა პროტოტიპის ჩარჩო, რომელიც ჰერმეტიკულად არის დალუქული, რათა შემაგალი გაზი გვერდების წიბოებიდან არ გაპარულიყო.



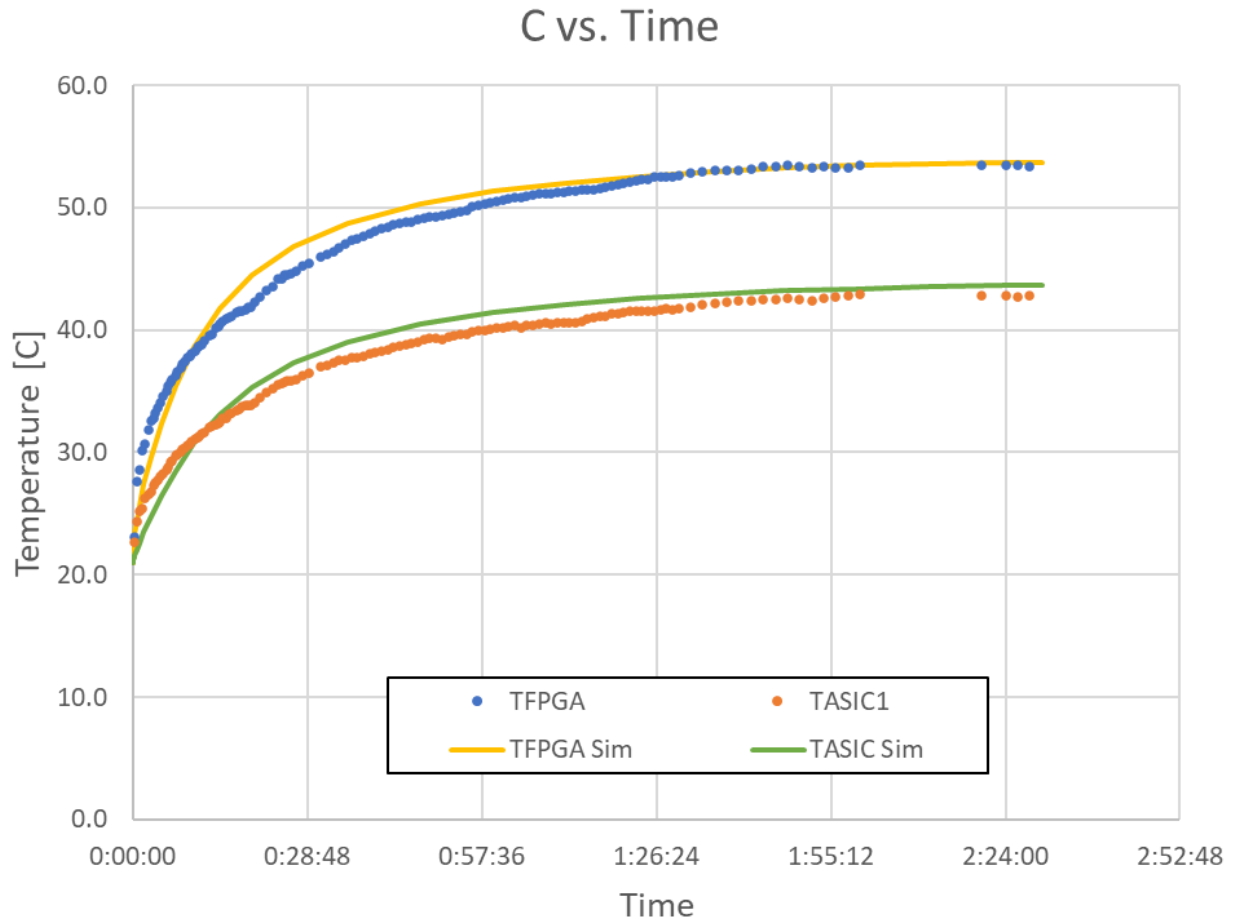
სურ. 34 პროტოტიპი 904-ე შენობის ლაბორატორიაში

პროტოტიპზე დამაგრდა 4 შემაგალი მილი, რომლებშიც მიედინებოდა არგონის გაზი.



სურ. 35 თერმული სურათი

თერმულ სურათზე ჩანს, რომ FPGA ჩიპი განსაკუთრებით ცხელდება, რაც ასევე ექსპერიმენტის მეშვეობითაც გამოჩნდა.



სურ. 36 სიმულაციების შედეგების შედარება, ექსპერიმენტის შედეგებთან

გრაფიკზე ნაჩვენებია, FPGA და Asics ჩიპების ტემპერატურების ცვლილება დროის მიხედვით. წერტილოვანი მრუდით ნაჩვენებია ექსპერიმენტის შედეგები, ხოლო უწყვეტი მრუდით - გამოთვლების (სიმულაციის).

მიღებული შედეგები ცხადყოფს, რომ სიმულაციის (სასრულ ელემენტთა ანალიზის) შედეგები, ემთხვევა ექსპერიმენტის შედეგებს, რითაც შეგვიძლია ვიმსჯელოთ, რომ პროექტირების პროცესში, აქამდე ჩატარებული გამოთვლები რეალობასთან ახლოსაა. შედეგად, შეგვეძლება მოვახდინოთ

მიღებული შედეგების გამოყენება STT დეტექტორის საბოლოო დიზაინის შემუშავებაში და შემდგომ წარმოებაში.



სურ. 37 ინსტიტუტის წამყვანი ინჟინერი ოთარ კემულარია, STT პროექტის მენეჯერ რობერტო პეტისტან ერთად, სამხრეთ კაროლინას უნივერსიტეტი (კოლუმბია, სამხრეთ კაროლინა, აშშ)

მიღებული შედეგებისთვის საბოლოო სახის მისაცემად, განხორციელდა ვიზიტი ამერიკაში, სამხრეთ კაროლინას უნივერსიტეტის, ფიზიკისა და ასტრონომიის ფაკულტეტზე. ვიზიტის ფარგლებში, STT-ს პროექტის მენეჯერ Roberto Petti-სთან ერთად, დაიწერა სამეცნიერო სტატიის მონახაზი, რომელშიც განხილული იქნება დიზაინის პროცესი და მიღებული შედეგები. ამ ვიზიტით ასევე გადაიდგა კიდევ ერთი ნაბიჯი, სამხრეთ კაროლინას უნივერსიტეტისა და საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტების სამომავლო თანამშრომლობის გაღრმავებისკენ.

2.2.

1) დასრულებული პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით

1.

2.

2) პროექტის დაწყებისა და დამთავრების წლები

- 1.
- 2.

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

- 1.
- 2.

დასრულებული კვლევითი პროექტის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

3. შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტით დაფინანსებული სამეცნიერო-კვლევითი პროექტები

3.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი

1. ახალი ფიზიკის ძებნა CMS ექსპერიმენტზე წინა არეში რეგისტრირებული ჯეტების საშუალებით და CMS ექსპერიმენტისთვის სილიციუმის ფოტო გამამრავლებლების რადიაციული მდგრადობის კვლევა. ბირთვული და ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა, FR-22-985

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 03.2023 - 03.2026

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1.

- ალექსი მესტვირიშვილი - პროექტის ხელმძღვანელი
- იური ბალათურია - პროექტის კოორდინატორი
- ზვიად წამალაიძე
- დავით ლომიძე
- ირაკლი ლომიძე
- თენგიზ ტორიაშვილი

გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 20-- წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. პროექტის ძირითადი მიზანია შესწავლილ იქნას ე.წ. რბილი, ანუ დაბალი p_T (განივი იმპულსი) პროცესები, რომლებიც ხასიათდება ჯეტებით წინა რეგიონში (ფსევდო სისწრაფე 2.2 - 5). აღნიშნული პროცესებს მნიშვნელოვანი წვლილი შეეძლო საბოლოო კონფიგურაციაში და მათი ექსპერიმენტული შესწავლა მნიშვნელოვანია. ასევე ასეთ პროცესებს შეუძლიათ მოჰფინონ შუქი სტანდარტული მოდელის მიღმა ფიზიკას, ანუ პროცესებს, მათი არსებობის შემთხვევაში, რომლებიც ჯერ ჯერობით ვერ აღიწერება სტანდარტული მოდელით.

ასევე, 2023 წლისთვის დაგეგმილია კოლაიდერის პროტონული ნაკადების ინტენსივობის გაზრდა და უფრო მაღალი ნათების რეჟიმში (HL-LHC) ფაზა-2-ზე გადასვლა, რაც მოითხოვს ექსპერიმენტის შესაბამის მოდერნიზაციას, რადგან მნიშვნელოვნად გაიზრდება ნაწილაკების ნაკადი და რადიაციული ფონი, განსაკუთრებით CMS დანადგარის წინა, ე.წ. დიდი ფსევდოსისწრაფის არეში. დიდი მნიშვნელობა ენიჭება CMS ექსპერიმენტის წინა რეგიონში განლაგებული დეტექტორების რადიაციული მდგრადობის შესწავლას.

3.2.

1) დასრულებული (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი

1. ლეპტონური არომატის დარღვევის შესწავლა $\mu^- \rightarrow e^-$ კონვერსიაში J-PARC-ს COMET ექსპერიმენტზე. ბირთვული და ელემენტარული ნაწილაკების ფიზიკა, FR-19-034

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. 2020-2023

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

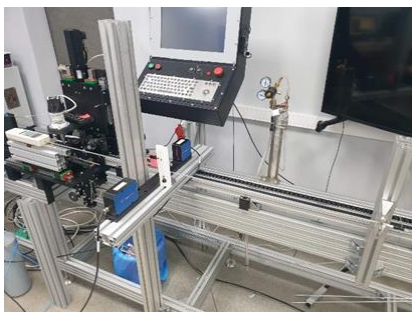
1.

- ზვიად წამალაიძე (პროექტის ხელმძღვანელი)
- სოსო გოგილიძე (პროექტის კოორდინატორი)
- არსენ ხვედელიძე (თეორიული მიმოხილვა, ანალიზი)
- დავით ლომიძე (სცინტილაციური სტრიპების ტესტი, კალიბრება, ანალიზი)
- ირაკლი ლომიძე ((სცინტილაციური სტრიპების ტესტი, კალიბრება, ანალიზი)
- იური ზღაბაძე ((სცინტილაციური სტრიპების ტესტი, კალიბრება, ანალიზი)
- ნიკოლოზ წვერავა (სტროუ მილების წარმოება, წინასწარი ტესტი, დეტექტორის აწყობა, ტესტი, შედეგების ანალიზი)

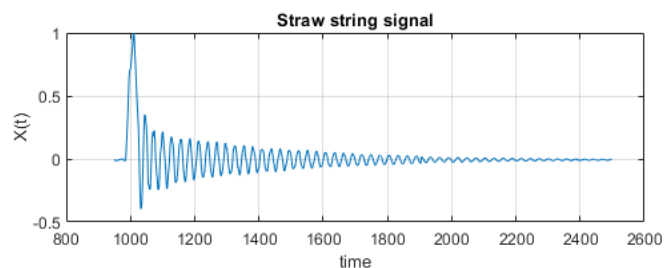
დასრულებული კვლევითი პროექტის 2023 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. COMET ექსპერიმენტის მთავარი ტრეკული დეტექტორი უნდა აკმაყოფილებდეს შედეგ პარამეტრებს: ვაკუუმში 1 ტესლა მაგნიტური ველის ქვეშ ოპერირება, სივრცითი გარჩევისუნარიანობა უნდა 200 μm -ზე ნაკლები. მის ყველაზე მგრძნობიარე ნაწილი სტროუ მილია, რომლებიც მზადდება თხელი და მტკიცე მასალისაგან, რადგან ვაკუუმის პირობებში რაც შეიძლება ნაკლები ნივთიერება გვჭონდეს ნაწილაკის ტრაექტორიაზე. ამისათვის ჩვენი ჯგუფის მიერ GTU-ს და JINR-ის ლაბორატორიებში ჩატარდა COMET და DUNE ექსპერიმენტებისათვის აქტუალური 5 მმ დიამეტრის და 12/20 მკმ სისქის ახალი სტროუ მილების კვლევა ახალი ულტრაბერძნით დადუღების ტექნოლოგიის გამოყენებით.

შედეგად გვაქვს: დამზადებისას არ ვიყენებთ დამატებით წებოს, ვაკუუმში მუშაობის შესაძლებლობა და წარმოების სიიაფე. საიმედოობისთვის წარმოების ხარისხის კონტროლი იქნა შემოღებული, სტროების სხვადასხვა პარამეტრების შესასწავლად შეიქმნა სხვადასხვა სტენდები. კვლავ გრძელდება კვლევები რომლებიც თავის თავში გულისხმობს გრძელვადიან დაკვირვებას სტროების რელაქსაციის შესახებ სურ. 38 გამოსახულია სტროუ მილების ამ პროცესის შემსწავლელი სტენდის. ვინაიდან სტროები უძრავადაა ჩამონტაჟებული ჩარჩოში სტაბილური ფორმის შესანარჩუნებლად, დაფიქსირებულნი არიან უძრავად დაჭიმულ მდგომარეობაში. დროთა განმავლობაში მიმდინარეობს მათი მოდუნება ეს პროცესი დამოკიდებულია ნივთიერების ფიზიკურ თვისებებზე. ამ ძალის გასაზომად და სტროების დაზიანების თავიდან ასაცილებლად საჭიროა გამოვიყენოთ უკონტაქტო მეთოდები. როგორც ვიცით სტროუს ფიქსაცია არ გვადლევს საშუალებას გავიგოთ მის ბოლოებზე არსებული დაჭიმულობის ძალის სიდიდე. ამისათვის შევიმუშავდა სხვადასხვა სენსორები აღჭურვილი ახალი კონსტრუქცია, მისი მიზანია გაიზომოს სტროუს რხევის სიხშირის დაჭიმულობაზე დამოკიდებულება, როგორც სიმის შემთხვევაში სურ. 39 და სწავლობს მის სპექტრულ ანალიზს სურ. 40.



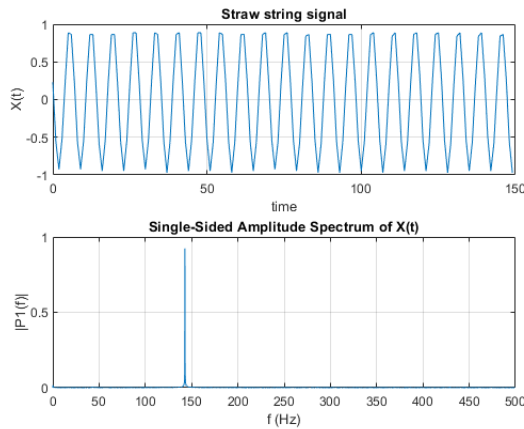
სურ. 38 სტროუ მილის მოდუნების შემსწავლელი სტენდი



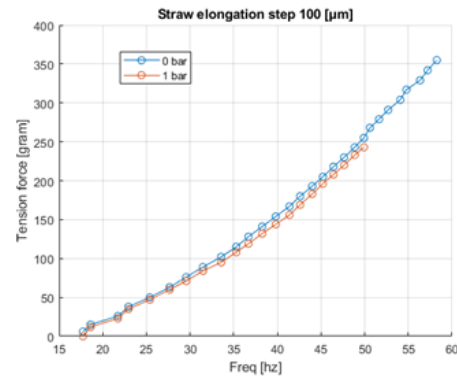
სურ. 39 სტროუ მილის როგორც სიმის რხევის ამპლიტუდური სიგნალი

მთავარ სენსორს წარმოადგენს ლაზერული ხელსაწყო, რომლის მეშვეობითაც მიმდინარეობს სტროუს რხევების ჩაწერა სხვადასხვა დაჭიმულობის ძალებზე. დაჭიმულობის ძალა იცვლება სპეციალური მექანიკის მეშვეობით, რომელიც გადაადგილდება ფიქსირებული 100 მკმ ბიჯით, რის დროსაც იცვლება სტროუს რხევის სიხშირე.

შედეგებიდან ჩანს, რომ რაც უფრო მეტია დაჭიმულობის ძალა მით მაღალია რხევის სიხშირე სურ. 41. სწორედ ამ შკალის გამოყენებით შეგვეძლება განვსაზღვროთ სტროუ მილის მოდუნების სიჩქარე და დარჩენილი დაჭიმულობის ძალა.

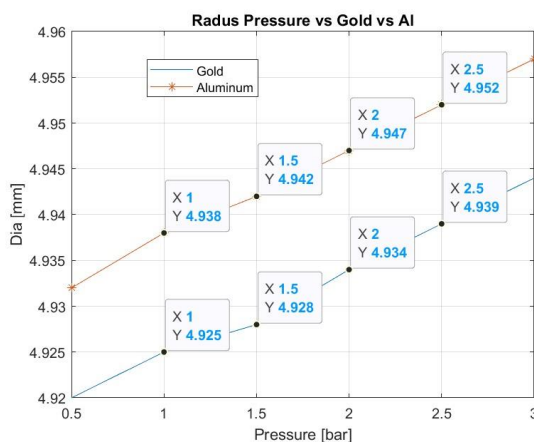


სურ. 40 სტროუ მილის დაჭიმულობის ძალის სპექტრული ანალიზი

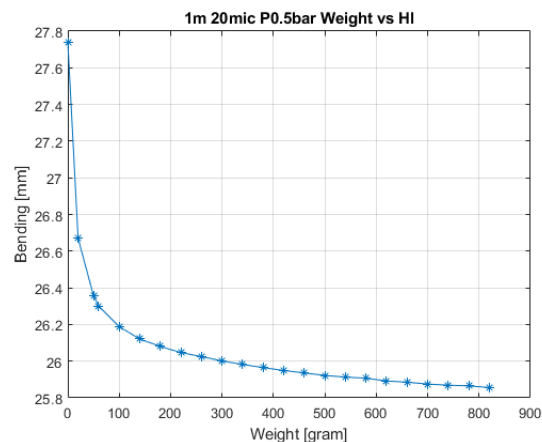


სურ. 41 სტროუ მილის დაჭიმულობის ძალის სიხშირეზე დამოკიდებულება

მეორე სტენდის მიზანია გამოიკვლიოს მექანიკური ზემოქმედება სტროუების სხვადასხვა წნევის დროს. მაგალითად ალუმინის და ოქროს მეტალიზაციის მქონე სტროების დიამეტრების დამოკიდებულება წნევაზე. აგრეთვე სტროუ მილების ჩაღუნვა გრავიტაციის ზემოქმედებისა და დამატებით წნევისგან გამოწვეული დეფორმაციის გათვალისწინება სურ. 42-43. ეს პარამეტრი განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია DUNE ექსპერიმენტისათვის, მისი ტრეკული დეტექტორი შედგება 270000 ცალი 1-4 მეტრამდე სტროუ მილისგან, ხოლო ექსპლუატაციის დრო პროექტის მიხედვით 10 წელია.



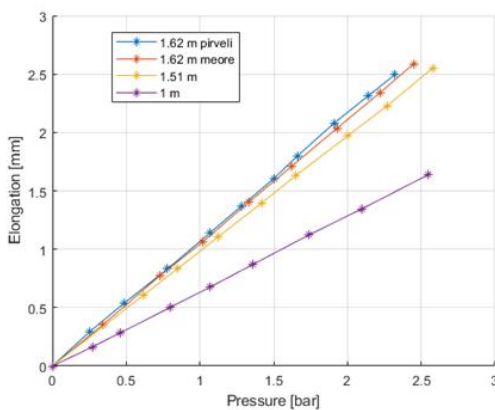
სურ. 42 1 მეტრიან სტროს დიამეტრის წნევაზე დამოკიდებულება



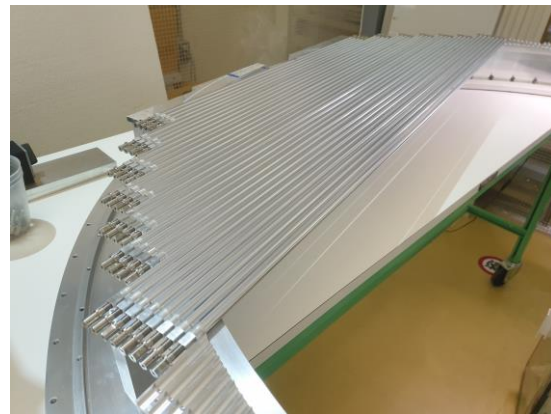
სურ. 43 4 მეტრიან სტროს ჩაღუნვის დაჭიმულობაზე დამოკიდებულება

ასეთი პარამეტრები განსაზღვრავენ დეტექტორის ჩარჩოზე მოქმედ ძალებს და მათ გეომეტრიულ სტაბილურობას. რაც საბოლოო ჯამში აისახება მათ სივრცით გარჩევისუნარიანობაზე და ნაწილაკის ტრეკის აღდგენის სიზუსტეზე. ჩატარებულ ექსპერიმენტებში გამოყენებული იქნა ორი სხვადასხვა ტიპის ლენტები. ერთი შედგება 20 მკმ სისქის მაილარისგან, რომლის ცალ მხარეს დაფენილია ალუმინის 70 ნმ ფენა (კათოდი). მეორე საცდელი ლენტზე კი ოქროს ფენა. ოპტიკური სენსორის მეშვეობით გავზომეთ დიამეტრის წნევაზე ცვლილება. შედეგებიდან ნათლად ჩანს, მიღების გაგანიერება რაც აუცილებელად გასათვალისწინებელი ფაქტორია დეტექტორის აწყობისას. როდესაც იზრდება წნევა მცირდება სტროუს დაჭიმულობაც. ეს მოვლენა გამოწვეულია მოლეკულებს შორის შემაკავებელი კავშირების შესუსტებით.

მნიშვნელოვანი შედეგი მივიღეთ იმ ამოცანისთვის, რომელიც გადასაჭრელია ექსპერიმენტებში დაგეგმილი სპეციფიური ფორმის დიზაინის მქონე დეტექტორებისათვის. მათი წრიული ფორმიდან გამომდინარე საჭიროა სხვადასხვა სიგრძის სტროუ მილები, რომლებიც ერთნაირი ძალით უნდა იყოს დაჭიმული, ამისათვის უნდა ვიცოდეთ ცალკეული სიგრძის შემთხვევაში მათი კონკრეტული წაგრძელება. რაც საჭიროა ყველა სტროუს ერთნაირ მდგომარეობაში დასაფიქსირებლად. სურ. 66. ნაჩვენებია სხვადასხვა სიგრძის სტროულების წაგრძელების წნევაზე დამოკიდებულება.



სურ. 44 სტროუ მილის დაჭიმულობის ძალის დამოკიდებულება წნევაზე

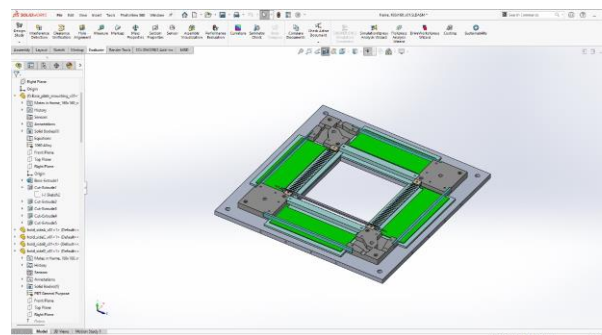


სურ. 45 სხვადასხვა სიგრძის სტროუ მილები

COMET ექსპერიმენტის ფაზა-2 სთვის გრძელდება ახალი 5 მმ სტროუ მილებისგან შემდგარ პროტოტიპზე მუშაობა. სურ. 46-ზე ნაჩვენებია 5 მმ სტროუ მილები, საპილოტე ვარიანტები. დამზადდა 1,5 წლის წინ, ამ პერიოდის განმავლობაში ყველა მილი რამოდენიმეჯერ გადამოწმდა ხარისხის კონტროლის ყველა ტესტზე და სხვადასხვა მექანიკურ დაზიანებებზე. ამჟამად, მიმდინარეობს ამ მილების ჩამონტაჟება ახალ პროტოტიპში და მათზე დაკვირვება სპეციალურ პირობებში სურ. 47. მას შემდეგ, რაც საბოლოოდ მზად იქნება პროტიტიპი იგი გაიტესტება ელექტრონულ ნაკადზე ტოჰოვუს უნივერსიტეტში.



სურ. 46 5 მმ დიამეტრის და 12 მკმ სისქის სტროუ მილები



სურ. 47 5 მმ დიამეტრის და 12 მკმ სისქის სტროუ მილებისთვი განკუთვნილი ფრეიმი

4. უცხოური გრანტებით დაფინანსებული სამეცნიერო პროექტები

4.1.

1) გარდამავალი (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი, დამფინანსებელი ორგანიზაცია/სამეცნიერო ფონდი, ქვეყანა

1. Probes of new physics and technological advancements from particle and gravitational wave physics experiments. A cooperative Europe - United States - Asia effort. დაფინანსდა: Horizon 2020-ის EXCELLENT SCIENCE - Marie Skłodowska-Curie Actions ფარგლებში, საიდენტიფიკაციო ნომერი: 101003460

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

1. დაწყების თარიღი: 1 მარტი 2022, დასრულების თარიღი: 28 თებერვალი 2026

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

1. აღნიშნული გრანტის ბუნებიდან გამომდინარე სამეცნიერო პერსონალის როლები განსაზღვრული არ არის.

გარდამავალი (მრავალწლიანი) კვლევითი პროექტის 2023 წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

1. ინსტიტუტმა მოიპოვა ევროკომისიის სამეცნიერო კვლევითი პრესტიჟული გრანტი „ჰორიზონი 2020 ფონდის“. პროექტის ძირითადი მიზანია სამეცნიერო პერსონალის მობილობის გაზრდა ნაწილაკების ფიზიკის მიმართულებით რაც გულისხმობს ახალი სამეცნიერო კავშირების დამყარებას ახალი ფიზიკისა და ტექნოლოგიების განვითარების მიმართულებით.

„ევროკომისიის კვლევითი გრანტი სამეცნიერო პერსონალის მობილობისთვის“ საგრანტო ბიუჯეტი 2 162 000 ევროს შეადგენს და წარდგეილ იქნა საერთაშორისო კონსორციუმის მიერ. საერთაშორისო კონსორციუმში საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის პარტნიორები არიან მსოფლიოს უდიდესი კვლევითი ცენტრები, უნივერსიტეტები და ტექნიკური მეცნიერებების სფეროში მოქმედი კომპანიები: მასაჩუსეტის ტექნოლოგიური უნივერსიტეტი, ჯეფერსონის სამეცნიერო ასოციაცია, კალიფორნიის უნივერსიტეტი, იელის უნივერსიტეტი, ბერკლის ნაციონალური ლაბორატორია, ბირთვული კვლევების ევროპული ორგანიზაცია (CERN), ბერნის უნივერსიტეტი, პაულ შერერის ინსტიტუტი (ზიურიხი), საფრანგეთის ალტერნატიული ენერგიებისა და ბირთვული ენერგიის კომისია (CEA), იტალიის ბირთვული კვლევების ორგანიზაცია (INFN), ბირთვული ელექტრონიკის მწარმოებელი კომპანია CAEN, პიზის უნივერსიტეტი, იმპერიალ კოლეჯი (ლონდონი), გლაზგოს უნივერსიტეტი, დარმშტატის ტექნიკური უნივერსიტეტი, საფრანგეთის სამეცნიერო კვლევების ნაციონალური ცენტრი (CNRS), თელავივის უნივერსიტეტი, ტოკიოს უნივერსიტეტი, იაპონიის მაღალი ენერგიების ამაჩქარებლების კვლევების ორგანიზაცია (KEK), ტოკიოს უნივერსიტეტი, ოსაკას უნივერსიტეტი.

მიღებული დაფინანსების ფარგლებში 2022-2023 წელს ინსტიტუტმა განახორციელა რამოდენიმე გრძელვადიანი წარმატებული სამეცნიერო მივლინება KEK, იაპონიაში, COMET ექსპერიმენტის დეტექტორული სისტემის შექმნის, ტესტირების, ინტეგრაციისა და ექსპლუატაციაში გაშვების სამუშაოების ჩატარებისათვის.

4.2.

1) დასრულებული (მრავალწლიანი) პროექტის დასახელება მეცნიერების დარგისა და სამეცნიერო მიმართულების მითითებით, პროექტის საიდენტიფიკაციო კოდი, დამფინანსებელი ორგანიზაცია/სამეცნიერო ფონდი, ქვეყანა

1.

2.

2) პროექტის დაწყების და დამთავრების წლები

- 1.
- 2.

3) პროექტში ჩართული პერსონალი (თითოეულის როლის მითითებით)

- 1.
- 2.

დასრულებული კვლევითი პროექტის 20-- წლის ეტაპის ძირითადი თეორიული და პრაქტიკული შედეგების შესახებ ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

5. პატენტები:

5.1. საერთაშორისო პატენტები:

1) საპატენტო თემატიკის სათაური

- 1.
- 2.

2) გამომგონებელი/ები და პატენტმფლობელი/ები

- 1.
- 2.

3) პატენტის საიდენტიფიკაციო კოდი

5.2. ეროვნული პატენტები

1) საპატენტო თემატიკის სათაური

- 1.
- 2.

2) გამომგონებელი/ები და პატენტმფლობელი/ები

- 1.
- 2.

3) პატენტის საიდენტიფიკაციო კოდი

- 1.
- 2.

6. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა საქართველოში

6.1. მონოგრაფიები/წიგნები

1) ავტორი/ავტორები

- 1.
- 2.

2) მონოგრაფიის/წიგნის სათაური, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN

- 1.
- 2.

3) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

- 1.
- 2.

4) გვერდების რაოდენობა

- 1.
- 2.

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

6.2. სახელმძღვანელოები

1) ავტორი/ავტორები

- 1.
- 2.

2) სახელმძღვანელოს სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN

- 1.
- 2.

3) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

- 1.
- 2.

4) გვერდების რაოდენობა

- 1.
- 2.

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

6.3. კრებულები

1) ავტორი/ავტორები

- 1.
- 2.

2) კრებულის სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN

- 1.
- 2.

3) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

- 1.
- 2.

4) გვერდების რაოდენობა

- 1.
- 2.

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

6.4. სტატიები ციფრული (დიგიტალური) საიდენტიფიკაციო კოდის (DOI) მითითებით

1) ავტორი/ავტორები

- 1.
- 2.

2) სტატიის სათაური, ციფრული (დიგიტალური) საიდენტიფიკაციო კოდი DOI

- 1.
- 2.

3) ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი

- 1.
- 2.

4) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

- 1.
- 2.

5) გვერდების რაოდენობა

- 1.
- 2.

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

6.5. სტატიები ISSN-ის მითითებით

1) ავტორი/ავტორები

- 1.
- 2.

2) სტატიის სათაური, ISSN

- 1.
- 2.

3) ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი

- 1.
- 2.

4) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

- 1.
- 2.

5) გვერდების რაოდენობა

- 1.
- 2.

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

7. ბეჭდური პროდუქციის გამოცემა უცხოეთში

7.1. მონოგრაფიები/წიგნები

1) ავტორი/ავტორები

- 1.
- 2.

2) მონოგრაფიის/წიგნის სათაური, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN

- 1.
- 2.

3) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

- 1.
- 2.

4) გვერდების რაოდენობა

- 1.
- 2.

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

7.2. სახელმძღვანელოები

1) ავტორი/ავტორები

- 1.
- 2.

2) სახელმძღვანელოს სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN

- 1.
- 2.

3) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

- 1.
- 2.

4) გვერდების რაოდენობა

- 1.
- 2.

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

7.3. კრებულები

1) ავტორები

- 1.
- 2.

2) კრებულის სახელწოდება, საერთაშორისო სტანდარტული კოდი ISBN

- 1.
- 2.

3) გამოცემის ადგილი, გამომცემლობა

- 1.
- 2.

4) გვერდების რაოდენობა

- 1.
- 2.

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

7.4. სტატიები

1) ავტორი/ავტორები

1. CMS Collaboration
2. CMS Collaboration
3. CMS Collaboration
4. CMS Collaboration
5. CMS Collaboration
6. CMS Collaboration
7. CMS Collaboration
8. CMS Collaboration
9. CMS Collaboration
10. CMS Collaboration
11. CMS Collaboration

12. CMS Collaboration
13. CMS Collaboration; CALICE Collaboration
14. CMS collaboration
15. CMS Collaboration
16. CMS Collaboration
17. CMS Collaboration
18. CMS Collaboration
19. CMS Collaboration
20. CMS Muon Grp
21. CMS Collaboration
22. CMS Collaboration
23. CMS Collaboration
24. CMS Collaboration
25. CMS Collaboration
26. CMS Collaboration
27. DUNE Collaboration
28. Araujo, FTDD
29. CMS Collaboration
30. CMS Collaboration
31. CMS Collaboration
32. CMS Collaboration
33. CMS Collaboration
34. CMS Collaboration
35. CMS Collaboration
36. CMS Collaboration
37. CMS Collaboration
38. CMS Collaboration
39. CMS Collaboration
40. CMS Collaboration
41. CMS Collaboration
42. CMS Collaboration
43. CMS Collaboration
44. DUNE Collaboration
45. Cms Muon Grp
46. CMS Collaboration
47. CMS Collaboration
48. CMS Collaboration
49. CMS Collaboration
50. CMS Collaboration
51. DUNE Collaboration
52. CMS Collaboration
53. CMS Collaboration
54. CMS Collaboration
55. CMS Collaboration
56. CMS Collaboration
57. CMS Collaboration
58. CMS Collaboration
59. CMS Collaboration
60. CMS Collaboration
61. CMS Collaboration
62. Araujo, FTDD
63. CMS Muon Grp

64. Behalf Cms Muon Grp
65. CMS Muon Grp
66. DUNE Collaboration
67. CMS Collaboration
68. Luoma, M et al.
69. Mu2e Collaboration

2) სტატიის სათაური, ციფრული (დიგიტალური) საიდენტიფიკაციო კოდი DOI ან ISSN

1. Search for a high-mass dimuon resonance produced in association with b quark jets at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP10(2023)043, ISSN: 1029-8479
2. Search for new physics in multijet events with at least one photon and large missing transverse momentum in proton-proton collisions at 13 TeV, doi.org/10.1007/JHEP10(2023)046, ISSN: 1029-8479
3. Search for supersymmetry in final states with a single electron or muon using angular correlations and heavy-object identification in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP09(2023)149, ISSN: 1029-8479
4. Search for a vector-like quark $T' \rightarrow tH$ via the diphoton decay mode of the Higgs boson in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP09(2023)057, ISSN: 1029-8479
5. Search for new physics in the τ lepton plus missing transverse momentum final state in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP09(2023)051, ISSN: 1029-8479
6. Search for a charged Higgs boson decaying into a heavy neutral Higgs boson and a W boson in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP09(2023)032, ISSN: 1029-8479
7. First measurement of the top quark pair production cross section in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13.6$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP08(2023)204, ISSN: 1029-8479
8. Constraints on anomalous Higgs boson couplings to vector bosons and fermions from the production of Higgs bosons using the $t\bar{t}$ final state, doi.org/10.1103/PhysRevD.108.032013, ISSN: 2470-0010
9. Azimuthal correlations in Z plus jets events in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1140/epjc/s10052-023-11833-z, ISSN: 1434-6044
10. Search for new physics using effective field theory in 13 TeV pp collision events that contain a top quark pair and a boosted Z or Higgs boson, doi.org/10.1103/PhysRevD.108.032008, ISSN: 2470-0010
11. Measurements of inclusive and differential cross sections for the Higgs boson production and decay to four-leptons in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP08(2023)040, ISSN: 1029-8479
12. Search for Higgs Boson Decay to a Charm Quark-Antiquark Pair in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1103/PhysRevLett.131.061801, ISSN: 0031-9007
13. Performance of the CMS High Granularity Calorimeter prototype to charged pion beams of 20-300 GeV/c, doi.org/10.1088/1748-0221/18/08/P08014, ISSN: 1748-0221
14. Search for high-mass exclusive $\gamma\gamma \rightarrow WW$ and $\gamma\gamma \rightarrow ZZ$ production in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP07(2023)229, ISSN: 1029-8479
15. Measurement of the cross section of top quark-antiquark pair production in association with a W boson in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP07(2023)219, ISSN: 1029-8479
16. Search for long-lived particles using out-of-time trackless jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP07(2023)210, ISSN: 1029-8479
17. Two-particle azimuthal correlations in γp interactions using pPb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=8.16$ TeV, doi.org/10.1016/j.physletb.2023.137905, ISSN: 0370-2693
18. Search for Higgs boson and observation of Z boson through their decay into a charm quark-antiquark pair in boosted topologies in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1103/PhysRevLett.131.041801, ISSN: 0031-9007
19. Search for Nonresonant Pair Production of Highly Energetic Higgs Bosons Decaying to Bottom Quarks, doi.org/10.1103/PhysRevLett.131.041803, ISSN: 0031-9007
20. Aging studies for the CMS improved Resistive Plate Chambers, doi.org/10.1016/j.nima.2023.168451, ISSN: 0168-9002

21. Search for medium effects using jets from bottom quarks in PbPb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV, doi.org/10.1016/j.physletb.2023.137849, ISSN: 0370-2693
22. Search for resonant and nonresonant production of pairs of dijet resonances in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP07(2023)161, ISSN: 1029-8479
23. Search for new heavy resonances decaying to WW, WZ, ZZ, WH, or ZH boson pairs in the all-jets final state in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1016/j.physletb.2023.137813, ISSN: 0370-2693
24. Search for the exotic decay of the Higgs boson into two light pseudoscalars with four photons in the final state in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP07(2023)148, ISSN: 1029-8479
25. Search for direct pair production of supersymmetric partners of τ leptons in the final state with two hadronically decaying τ leptons and missing transverse momentum in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1103/PhysRevD.108.012011, ISSN: 2470-0010
26. Azimuthal anisotropy of dijet events in PbPb collisions at $\sqrt{s_{NN}}=5.02$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP07(2023)139, ISSN: 1029-8479
27. Reconstruction of interactions in the ProtoDUNE-SP detector with Pandora, doi.org/10.1140/epjc/s10052-023-11733-2, ISSN: 1434-6044
28. Latest results of Longevity studies on the present CMS RPC system for HL-LHC phase, doi.org/10.1016/j.nima.2023.168452, ISSN: 0168-9002
29. Search for top squark pair production in a final state with at least one hadronically decaying tau lepton in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP07(2023)110, ISSN: 1029-8479
30. Search for narrow resonances in the b-tagged dijet mass spectrum in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1103/PhysRevD.108.012009, ISSN: 2470-0010
31. Search for Higgs boson pairs decaying to WW^*WW^* , $WW^*\tau\tau$, and $\tau\tau\tau\tau$ in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP07(2023)095, ISSN: 1029-8479
32. Search for CP violation in $t(\bar{t})\rightarrow H$ and tH production in multilepton channels in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP07(2023)092, ISSN: 1029-8479
33. Measurement of the Higgs boson inclusive and differential fiducial production cross sections in the diphoton decay channel with pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP07(2023)091, ISSN: 1029-8479
34. CMS PYTHIA 8 colour reconnection tunes based on underlying-event data, doi.org/10.1140/epjc/s10052-023-11630-8, ISSN: 1434-6044
35. Measurement of the top quark pole mass using $t(\bar{t})\rightarrow \text{jet} + \text{jet}$ events in the dilepton final state in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP07(2023)077, ISSN: 1029-8479
36. Searches for additional Higgs bosons and for vector leptoquarks in $\tau\tau$ final states in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP07(2023)073, ISSN: 1029-8479
37. Search for light Higgs bosons from supersymmetric cascade decays in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1140/epjc/s10052-023-11581-0, ISSN: 1434-6044
38. Measurement of inclusive and differential cross sections for single top quark production in association with a W boson in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP07(2023)046, ISSN: 1029-8479
39. Probing Heavy Majorana Neutrinos and the Weinberg Operator through Vector Boson Fusion Processes in Proton-Proton Collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1103/PhysRevLett.131.011803, ISSN: 0031-9007
40. Measurements of Higgs boson production in the decay channel with a pair of τ leptons in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1140/epjc/s10052-023-11452-8, ISSN: 1434-6044
41. Search for CP violating top quark couplings in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP07(2023)023, ISSN: 1029-8479
42. Measurement of the differential $t(\bar{t})\rightarrow \text{jet} + \text{jet}$ production cross section as a function of the jet mass and extraction of the top quark mass in hadronic decays of boosted top quarks, doi.org/10.1140/epjc/s10052-023-11587-8, ISSN: 1434-6044
43. Search for pair production of vector-like quarks in leptonic final states in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP07(2023)020, ISSN: 1029-8479
44. Impact of cross-section uncertainties on supernova neutrino spectral parameter fitting in the Deep Underground Neutrino Experiment, doi.org/10.1103/PhysRevD.107.112012, ISSN: 2470-0010

45. Machine Learning based tool for CMS RPC currents quality monitoring, doi.org/10.1016/j.nima.2023.168449, ISSN: 0168-9002
46. Search for nonresonant Higgs boson pair production in the four leptons plus twob jets final state in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP06(2023)130, ISSN: 1029-8479
47. Search for a heavy composite Majorana neutrino in events with dilepton signatures from proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1016/j.physletb.2023.137803, ISSN: 0370-2693
48. Search for CP violation using $t(\bar{t})$ over-bar events in the lepton plus jets channel in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP06(2023)081, ISSN: 1029-8479
49. Search for top squarks in the four-body decay mode with single lepton final states in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP06(2023)060, ISSN: 1029-8479
50. Precision measurement of the Z boson invisible width in pp collisions $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1016/j.physletb.2022.137563, ISSN: 0370-2693
51. Identification and reconstruction of low-energy electrons in the ProtoDUNE-SP detector, doi.org/10.1103/PhysRevD.107.092012, ISSN: 2470-0010
52. Search for Higgs boson decays to a Z boson and a photon in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP05(2023)233, ISSN: 1029-8479
53. Search for heavy resonances and quantum black holes in $e\mu$, $e\tau$, and $\mu\tau$ final states in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP05(2023)227, ISSN: 1029-8479
54. Search for long-lived particles decaying to a pair of muons in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1007/JHEP05(2023)228, ISSN: 1029-8479
55. Search for nonresonant Higgs boson pair production in final state with two bottom quarks and two tau leptons in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1016/j.physletb.2022.137531, ISSN: 0370-2693
56. Search for Higgs boson decays into Z and J/ψ and for Higgs and Z boson decays into J/ψ or Y pairs in pp collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1016/j.physletb.2022.137534, ISSN: 0370-2693
57. Search for electroweak production of charginos and neutralinos at $\sqrt{s}=13$ TeV in final states containing hadronic decays of WW, WZ, or WH and missing transverse momentum, doi.org/10.1016/j.physletb.2022.137460, ISSN: 0370-2693
58. Measurement of the $B_s0 = \mu^+\mu^-$ decay properties and search for the $B0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ decay in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1016/j.physletb.2023.137955, ISSN: 0370-2693
59. Search for a massive scalar resonance decaying to a light scalar and a Higgs boson in the four b quarks final state with boosted topology, doi.org/10.1016/j.physletb.2022.137392, ISSN: 0370-2693
60. Observation of electroweak $W+W^-$ pair production in association with two jets in proton-proton collisions at $\sqrt{s}=13$ TeV, doi.org/10.1016/j.physletb.2022.137495, ISSN: 0370-2693
61. Strange hadron collectivity in pPb and PbPb collisions, doi.org/10.1007/JHEP05(2023)007, ISSN: 1029-8479
62. RPC based tracking system at CERN GIF plus plus facility, doi.org/10.1016/j.nima.2023.168271, ISSN: 0168-9002
63. New slow control emulator for the CMS phase-2 upgrade RPC link system, doi.org/10.1016/j.nima.2023.168268, ISSN: 0168-9002
64. RPC background studies at CMS experiment, doi.org/10.1016/j.nima.2023.168266, ISSN: 0168-9002
65. The CMS RPC system readiness for LHC Run-3 data taking, doi.org/10.1016/j.nima.2023.168272, ISSN: 0168-9002
66. Highly-parallelized simulation of a pixelated LArTPC on a GPU, doi.org/10.1088/1748-0221/18/04/P04034, ISSN: 1748-0221
67. Observation of triple J/ψ meson production in proton-proton collisions, doi.org/10.1038/s41567-022-01838-y, ISSN: 1745-2473
68. In-beam test results of the Super-FRS GEM-TPC detector prototype with relativistic uranium ion beam, doi.org/10.1016/j.nima.2023.168262, ISSN: 0168-9002
69. Mu2e Run I Sensitivity Projections for the Neutrinoless $\mu^- \rightarrow e^-$ Conversion Search in Aluminum, doi.org/10.3390/universe9010054;

3) ჟურნალის/კრებულის დასახელება და ნომერი/ტომი

1. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 10, 43
2. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 10, 46
3. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 9, 149
4. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 9, 57
5. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 9, 51
6. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 9, 32
7. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 8, 204
8. PHYSICAL REVIEW D, AMER PHYSICAL SOC, 108, 3, 32013
9. EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL C, SPRINGER, 83, 8, 722
10. PHYSICAL REVIEW D, AMER PHYSICAL SOC, 108, 3, 32008
11. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 8, 40
12. PHYSICAL REVIEW LETTERS, AMER PHYSICAL SOC, 131, 6, 61801
13. JOURNAL OF INSTRUMENTATION, IOP Publishing Ltd, 18, 8, P08014
14. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 7, 229
15. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 7, 219
16. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 7, 210
17. PHYSICS LETTERS B, ELSEVIER, 844, 137905
18. PHYSICAL REVIEW LETTERS, AMER PHYSICAL SOC, 131, 4, 41801
19. PHYSICAL REVIEW LETTERS, AMER PHYSICAL SOC, 131, 4, 41803
20. NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A-ACCELERATORS SPECTROMETERS DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT, ELSEVIER, 1055, 168451
21. PHYSICS LETTERS B, ELSEVIER, 844, 137849
22. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 7, 161
23. PHYSICS LETTERS B, ELSEVIER, 844, 137813
24. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 7, 148
25. PHYSICAL REVIEW D, AMER PHYSICAL SOC, 108, 1, 12011
26. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 7, 139
27. EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL C, SPRINGER, 83, 7, 618
28. NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A-ACCELERATORS SPECTROMETERS DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT, ELSEVIER, 1055, 168452
29. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 7, 110
30. PHYSICAL REVIEW D, AMER PHYSICAL SOC, 108, 1, 12009
31. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 7, 95
32. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 7, 92
33. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 7, 91
34. EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL C, SPRINGER, 83, 7, 587
35. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 7, 77
36. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 7, 73
37. EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL C, SPRINGER, 83, 7, 571
38. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 7, 46
39. PHYSICAL REVIEW LETTERS, AMER PHYSICAL SOC, 131, 1, 11803
40. EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL C, SPRINGER, 83, 7, 562
41. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 7, 23
42. EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL C, SPRINGER, 83, 7, 560
43. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 7, 20
44. PHYSICAL REVIEW D, AMER PHYSICAL SOC, 107, 11, 112012
45. NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A-ACCELERATORS SPECTROMETERS DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT, ELSEVIER, 1054, 168449
46. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 6, 130
47. PHYSICS LETTERS B, ELSEVIER, 843, 137803
48. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 6, 81

49. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 6, 60
50. PHYSICS LETTERS B, ELSEVIER, 842, 137563
51. PHYSICAL REVIEW D, AMER PHYSICAL SOC, 107, 9,
52. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 5, 233
53. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 5, 227
54. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 5, 228
55. PHYSICS LETTERS B, ELSEVIER, 842, 137531
56. PHYSICS LETTERS B, ELSEVIER, 842, 137534
57. PHYSICS LETTERS B, ELSEVIER, 842, 137460
58. PHYSICS LETTERS B, ELSEVIER, 842, 137955
59. PHYSICS LETTERS B, ELSEVIER, 842, 137392
60. PHYSICS LETTERS B, ELSEVIER, 841, 137495
61. JOURNAL OF HIGH ENERGY PHYSICS, SPRINGER, 5, 7
62. NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A-ACCELERATORS SPECTROMETERS DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT, ELSEVIER, 1052, 168271
63. NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A-ACCELERATORS SPECTROMETERS DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT, ELSEVIER, 1052, 168268
64. NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A-ACCELERATORS SPECTROMETERS DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT, ELSEVIER, 1052, 168266
65. NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A-ACCELERATORS SPECTROMETERS DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT, ELSEVIER, 1052, 168272
66. JOURNAL OF INSTRUMENTATION, IOP Publishing Ltd, 18, 4, P04034
67. NATURE PHYSICS, NATURE PORTFOLIO
68. NUCLEAR INSTRUMENTS & METHODS IN PHYSICS RESEARCH SECTION A-ACCELERATORS SPECTROMETERS DETECTORS AND ASSOCIATED EQUIPMENT, 2023, 1052
69. UNIVERSE, 2023, 9 (1)

4) გვერდების რაოდენობა

1. 43
2. 51
3. 58
4. 40
5. 52
6. 57
7. 46
8. 41
9. 35
10. 35
11. 80
12. 21
13. 32
14. 52
15. 54
16. 52
17. 24
18. 21
19. 22
20. 6
21. 22
22. 51
23. 28
24. 43

25.	30
26.	40
27.	25
28.	5
29.	59
30.	22
31.	65
32.	55
33.	66
34.	48
35.	57
36.	72
37.	27
38.	49
39.	21
40.	50
41.	45
42.	37
43.	62
44.	25
45.	6
46.	41
47.	25
48.	47
49.	51
50.	22
51.	22
52.	49
53.	45
54.	58
55.	30
56.	25
57.	28
58.	27
59.	25
60.	25
61.	43
62.	4
63.	4
64.	6
65.	4
66.	35
67.	17
68.	13
69.	35

ვრცელი ანოტაცია (ქართულ ენაზე)

იმისათვის, რომ გაიზარდოს აღმოჩენების პოტენციალი და მოხდეს ჰიგსის ბოზონის თვისებების შესწავლა, აუცილებელია LHC-ის განახლება პროტონ-პროტონული შეჯახებების ალბათობის გაზრდის მიზნით. ამისათვის, შემუშავებულია High Luminosity LHC (HL-LHC) განახლების პროგრამა, რომელიც მიზნად ისახავს პროტონული შეჯახებების ალბათობას გაზრდის 1 რიგით 10×10^{34} სმ⁻²/წ-მდე. LHC-ის

წარმადობის გაზრდა ერთის მხრივ მნიშვნელოვნად გაზრდის მეცნიერულად ღირებულ ხდომილებებზე დაკვირვების პოტენციალს, ხოლო მეორეს მხრივ კი წარმოადგენს მნიშვნელოვან გამოწვევას LHC-ის ექსპერიმენტების მიმართ, რადგან ექსპერიმენტალურ აპარატურას მოუწევს მნიშვნელოვნად გაზრდილი რადიაციული ფონის პირობებში მაღალი ეფექტურობით არეგისტრირონ ექსპერიმენტისათვის საინტერესო ნაწილაკები, რომელთა სიხშირეც თავისთავად რამოდენიმე რიგით მაღალი იქნება ვიდრე ეს არის LHC-ის ნორმალური მუშაობის პირობებში. LHC-ზე CMS ექსპერიმენტის RPC დეტექტორები, დრეიფულ და კათოდურსტრიპიან კამერებთან ერთად ქმნიან მიონური დეტექტორების სისტემას, რომელიც არის ყველაზე მასიური, ექსპერიმენტის სუბ-დეტექტორებს შორის და ქმნის ექსპერიმენტის საერთო მასშტაბურ მოცულობას. მიონური სისტემა პასუხისმგებელია ტრეკულ სისტემასთან ერთად დიდი სიზუსტით დააფიქსიროს მიონური ღვარები, ეს ინფორმაცია სოლენოიდური მაგნიტის ველის გათვალისწინებით საშუალებას გვაძლევს აღვადგინოთ მიონების იმპულსები, ამ გზით ექსპერიმენტს საშუალება აქვს დაიმზიროს ჰიგსის ბოზონის ოთხ ლეპტონად დაშლის ხდომილება, $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$.

4 ლეპტონიანი დაშლის არხი წოდებულია როგორც „ოქროს არხად“, რადგან ამ პროცესის ხდომილება ყველზე ალბათურია სტანდარტული მოდელის ჰიგსის ბოზონის დაშლის არხებს შორის და ამავე დროს გააჩნია 2-ჯერ დიდი სიგნალი ფონთან შედარებით (signal to background ratio 2/1). სწორედ ეს იყო ერთ-ერთი მთავარი მოტივატორი ფიზიკის თვალსაზრისით CMS (Compact Muon Solenoid) ექსპერიმენტის დაგეგმვისას და სწორედ $H \rightarrow ZZ$ დაშლის არხი დაედო საფუძვლად CMS ექსპერიმენტის კონცეფციას და შესაბამისად მის დეტექტორულ სისტემებს, მათ შორის მიონურ ქვესისტემას.

RPC დეტექტორული სისტემა არის CMS-ის მიონური ქვესისტემის ერთ-ერთი ძირითადი შემადგენელი კომპონენტი, რომელიც დრეიფულ კამერებთან ერთად ახდენს მიონების მაღალეფექტურ რეგისტრაციას დროითი კომპონენტის მიხედვით, მას გააჩნია უაღრესად ზუსტი დროითი გარჩევისუნარიანობა (1 ნანოწამის რიგის) და წარმოადგენს მთავარ მექანიზმს ლეპტონური ხდომილებების ტრიგერირებისათვის.

RPC დეტექტორები განთავსებულია ე.წ. ექსპერიმენტის ცილინდრულ ნაწილში 8 შრედ, მთლიანობაში 480 დეტექტორი, ხოლო ექსპერიმენტის შუა გულში დისკებზე განლაგებულია 576 დეტექტორი 5 ქვე-სადგურად.

RPC დეტექტორი თავისმხრივ შედგება 2 სამუშაო გაზური შრისაგან, რომლებიც მუშაობენ ე.წ. ღვარულ რეჟიმში, რათა უზრუნველყოს ნაწილაკების საიმედო რეგისტრაცია მაღალი სიხშირის დროს დაბადების პირობებში. თვითოეული სამუშაო გაზური შრე შედგენილია 2 პარალელური, მაღალი წინააღობის (6×10^{11} ომი) მქონე 2 მმ-ის სისქის მქონე სიბრტყისაგან ე.წ. ბაკელიტისაგან (High-Pressure Laminates), რომლების ერთმანეთისაგან გამოყოფილია 2 მმ გაზური სივრცით. ორივე ბაკელიტის გარე ზედაპირი დაფარულია ერთგვაროვანი თხელი (~ 100 nm) გრაფიტის შრით, რომელიც გარანტირებულად უზრუნველყოფს მუხტის თანაბრად გადანაწილებას და შესაბამისად ერთგვაროვან ელექტრულ ველს მთელ სამუშაო გაზის სივრცეში. ღვარულ რეჟიმში დეტექტორის მუშაობისთვის შემუშავებულია ოპტიმალური სამუშაო გაზის ნაზავი 95.2% ფრეონი, იგივე ტეტრაფლორეთანი ($C_2H_2F_4$ ასევე ცნობილია, როგორც R134a), 4.5% იზობუტანი ($i-C_4H_{10}$) და 0.3% სულფიდის ჰეგსაფლორიდი (SF_6). დეტექტორის ოპტიმალურ სამუშაო ძაბვას წარმოადგენს დაახლოებით 10 kV, რაც ქმნის რამოდენიმე ასეულ კილოვოლტ ელექტრულ ველს კვადრატულ სანტიმეტრზე დეტექტორის სამუშაო გაზის გარემოში.

აღნიშნულმა დეტექტორულმა სისტემამ წარმატებით და მაღალეფექტურად იმუშავა LHC-ის ფაზა 1-ის პერიოდში და მნიშვნელოვანი როლი ითამაშა, ცნობილი სტანდარტული მოდელის ჰიგსის ბოზონის აღმოჩენაში. დღეს დღეობით, RPC დეტექტორული სისტემის, ისევე როგორც CMS-ის ყველა გაზური დეტექტორის წინაშე დგას 2 ძირითადი გამოწვევა, ერთი განპირობებულია HL-LHC-ზე მოსალოდნელი მაღალი რადიაციული ფონის მიმართ მედეგობის მოთხოვნით და მეორე გლობალური დათბობის საწინააღმდეგოდ მიღებული აკრძალვებით, რომელიც პირდაპირ ზღუდავს ფრეონის გაზის მოხმარებას მომავალ წლებში. გამომდინარე იქიდან, რომ RPC დეტექტორი არის CMS ექსპერიმენტის ერთ-ერთი საკვანძო დეტექტორული სისტემა, აუცილებელია არსებული დეტექტორული სისტემის მედეგობა მაღალი რადიაციისადმი. გამოვლინდება რამდენად საშიშია გაზრდილი ნეიტრონული ფონი კამერის შემადგენელ ნივთიერებათა მიმართ, ხდება თუ არა მათი ე.წ. რადიაციული დამკვლევა და რა გავლენაა მოსალოდნელი დეტექტორის ძირითად სამუშაო პარამეტრებზე: გამლიერების კოეფიციენტზე, ხმაურზე, ეფექტურობაზე და დროით გარჩევისუნარიანობაზე. მაღალი რადიაციის

პირობებში მაღალეფექტურად მუშაობისათვის შემოთავაზებულია 2 ახლებური ტიპის RPC დეტექტორი, პირველი იყენებს თხელშრიან ბაკელიტის ფირფიტებს, ხოლო მეორე ე.წ. მინის წინაღობურ შრეებს.

RPC დეტექტორში ელექტრონული ღვარის განვითარება ხდება პოზიტიურად დამუხტული წინაღობური შრის მიმართულებით, რაც იწვევს ამ შრის გარე ზედაპირზე შესაბამისი რაოდენობის მუხტების მყისიერ კონცენტრაციას (გადამუხტვის მექანიზმი), რაც თავისთავად, აისახება გამყოფი დიელექტრიკის მიღმა მყოფ სასიგნალო არხების (ყვითელი ფერის) გადამუხტვაზე (ღვარის დიამეტრიდან გამომდინარე 1 ან 2 არხზე), ანუ სასიგნალო არხზე ჩნდება მყისიერი ელექტრონული იმპულსი. სამუშაო გაზში დამუხტული ნაწილაკის გავლისას ხდება ნარევის იონიზაცია, წარმოიქმნება ელექტრონ-იონური წყვილები, რომელთა საშუალო რიცხვი დამოკიდებულია გაზის კამერის სიმაღლეზე და დაწილაკის ტიპზე.

სიგნალის ფორმირებიდან დეტექტორის მზაობამდე დაარეგისტრიროს შემდეგი ნაწილაკი იგივე p წერტილში საჭიროა გარკვეული დრო, რადგან სამუშაო გაზში კვლავ დამყარდეს ექვილიბრიუმი და ელექტრონული ველი დაუბრუნდეს პირვანდელ ნიშნულს. ამ დროით ინტერვალს რელაქსაციის დრო ეწოდება და დამოკიდებულია დეტექტორის დიზაინზე.

2024-2025 წელს იგეგმება 80 ცალი ახალი ტიპის iRPC დეტექტორის წარმოება, რომელიც განკუთვლილი იქნება LHC-ის ფაზა III-ის განახლებისათვის, ამის ფარგლებში საქართველოს ტექნიკურმა ინსტიტუტმა აიღო ვალდებულება გააკეთოს 80 ცალი გაცივების სისტემა, რომელიც უზრუნველყოფს დეტექტორის ელექტრონიკის გამართულ მუშაობას, მასთან დაკავშირებით უკვე აქტიურად მიმდინარეობს ინტენსიური სამუშაოები.

HGcal დეტექტორის თერმული იზოლაციის პანელები (Thermal screen), მიზნად ისახავს სისტემის შექმნას, რომელიც უზრუნველყოფს დეტექტორის შიდა (-35°C) და გარე ($+20^{\circ}\text{C}$) ტემპერატურებისა და ტენიანობის სტაბილურ კონტროლს. მსგავს დაბალ ტემპერატურებზე არსებობს დიდი რისკი კონდენსაციის წარმოქმნის, რასაც ცალსახად უარყოფითი გავლენა ექნება დეტექტორის ელექტრონულ ნაწილებზე. 0 გრადუსზე დაბლა ასევე ჩნდება რისკი ზედაპირების გაყინვის და ყინულის წარმოქმნის რაც ქმნის ასევე მექანიკური დაზიანების რისკს. სწორედ ამ რისკების გათვალისწინებისა და თავიდან არიდების მიზნით, დეტექტორის გარშემო თერმული იზოლაციის ფენამ უნდა უზრუნველყოს ტემპერატურული ბარიერი და არ დაუშვას კონდენსატის წარმოქმნა მის შიდა ან გარე მხარეს.

ამ ამოცანის გადასაჭრელად შემუშავდა თერმული იზოლაციის პანელების შემდეგი მოდელი - კომპოზიტური პანელი, რომელიც შედგება განსხვავებული ფენებისაგან და უზრუნველყოფს ტემპერატურული სხვაობის იზოლირებას. საჭირო გახდა ასევე მოცემული პანელების მონაცემთა გათვლა სასრულ ელემენტთა მეთოდით. პანელები აუცილებლად უნდა აკმაყოფილებდნენ მოთხოვნებს მექანიკურ გამძლეობაზე და თერმულ დატვირთვაზე. თერმული იზოლაციის ერთ-ერთი პანელი, (შერჩეული იქნა ყველაზე დიდი ზედაპირული ფართობის მქონე) გამოცდილი იქნა მექანიკურ და თერმულ დატვირთვებზე.

შედეგებმა აჩვენა, რომ მოცემული შემადგენლობითა და მატერიალებით, პანელი აკმაყოფილებს დასმულ მოთხოვნებს და 2 კ.ნ. წერტილოვან დატვირთვაზე მისი დეფორმაცია არის 1.7 მმ-დან 1.8 მმ-მდე.

მოცემული დიზაინის ვერიფიკაციისა და უფრო ზუსტი შეფასებისათვის გამოყენებული იქნა ასევე ექსპერიმენტული მეთოდი პანელების დატვირთვაზე გამოსაცდელად. ამისათვის მოეწყო საცდელი სტენდი ლაბორატორიაში, სადაც მოხდა პანელის მექანიკურად დატვირთვა წონებით და ჰიდრავლიკური პრესით. პანელის დატვირთვა მოხდა მაქსიმალურად მცირე პერიმეტრზე რათა ყოფილიყო მაქსიმალურად კონცენტრირებული დატვირთვა მოცემულ ადგილზე.

შემდეგი ეტაპი ითვალისწინებს სხვადასხვა ტიპის პანელების მექანიკურ გამოცდას, ჰერმეტიკულობის გამოცდას და ასევე თერმულ გამოცდას. ამჟამად, ასევე მიმდინარეობს თერმული საცდელი სტენდის აწყობა ექსპერიმენტულ ლაბორატორიაში.

პარალელურად გრძელდება მუშაობა კალორიმეტრის თერმული იზოლაციის პანელების ალტერნატიულ კონსტრუქციაზეც. წინა შედეგებმა აჩვენა, რომ მისი მექანიკური და თერმული მახასიათებლები დამაკმაყოფილებელ შედეგებს იძლევა. თუმცა გრძელდება კვლევა და ტესტირება პანელის მახასიათებლებისა სხვადასხვა მატერიალების გამოყენებით. უახლეს პერიოდში გამოყენებული იქნა ფიჭური კომპოზიტური მატერიალი (Honeycomb) თერმული იზოლაციისა და მექანიკური თვისებების საკვლედად. ამ კონკრეტული მექანიკური ცდების ჩასატარებლად დამზადდა

საიზოლაციო პანელის გარე, ალუმინის ნაწილი, მასზე დაწებდა კაპტონის ლენტის ფენა, რომელიც ცდებისათვის ანაცვლებს კაპტონის გამათბობელ ფირფიტას, (შედარებით დაბალი ფასის, იგივე მატერიალი) და სრული გაშრობისა და შეწებების შემდეგ მოხდა ფიჭური კომპოზიტის დაწებება პანელის ალუმინის ნაწილზე, კაპტონის ფენის ჩათვლით.

შემდეგ ეტაპზე, ასევე ამ დეტალების სრული შეკვრისა და ეპოქსიდის სრულიად გამოშრობის შემდეგ მოხდა პანელის შიდა, სტრუქტურულ-საიზოლაციო ფენის, ნახშირბადის ბოჭკოს ფირფიტის დაკვრა, რაც ზრდის პანელის თბოსაიზოლაციო პარამეტრებს, ზრდის მის სიმყარეს. ასევე აღსანიშნავია, რომ ნახშირბადის ბოჭკოს ფირფიტა არ არის იზოტროპული მატერიალი და მისი თერმული გაფართოების კოეფიციენტი ძალიან დაბალია. ეს დიდ როლს თამაშობს პანელის გაცივების დროს რადგან შიდა (ცივი ფენა) მინიმალურად იცვლის ზომებს და ამით ვირიდებთ გაცივების დროს წარმოქმნილ მექანიკურ ძალებს.

შემდეგ ნაბიჯზე (სრულიად გამოშრობის შემდეგ) მოხდა მისი მექანიკური თვისებების შესწავლა ექსპერიმენტული გზით. გამეორებული იქნა ზუსტად იგივე ზღვრული პირობები რაც იყო წინა სტრუქტურის შემთხვევაში. მოხდა დატვირთვა ანალოგიურად - ჰიდრაულიკური პრესით, პანელის ყველაზე არახელსაყრელ ადგილზე - ცენტრში და წნევის ბიჯის ყოველ მატებასთან ერთად იზომებოდა პანელის დეფორმაცია. აღნიშნულმა შედეგებმა აჩვენა, რომ პანელის ახალი სტრუქტურა ძალიან კარგად იღებს კონცენტრირებულ დატვირთვას, მას არ გასჩენია სტრუქტურული ბზარები ან ნაპრალები დატვირთვის მიღების დროს და არ მომხდარა შეწებებული ზედაპირების განცალკევება. ასევე პანელი დატვირთვის მოხსნის შემდეგ, თითქმის ზუსტად უბრუნდება მის პირვანდელ გეომეტრიულ მახასიათებლებს და შეიმჩნევა მინიმალური კვალი დატვირთვისაგან.

ამ ლაბორატორიული ცდის პერიოდში არ მომხდარა წინა პანელზე გამოყენებული დატვირთების მკვეთრად გადაჭარბება რათა ახალ პანელს არ მიეღო გამოუსწორებელი სტრუქტურული ზიანი. ეს მიდგომა გამოყენებული იქნა იმ მიზეზით, რომ შემდეგ ამავე პანელზე ჩავატაროთ თერმული ტესტი და შევისწავლოთ მისი თერმული იზოლაციის თვისებები და ასევე ზუსტად გავზომოთ მისი თერმული დეფორმაციები.

COMET ექსპერიმენტის მიზანი არის 4 რიგით გააუმჯობესოს (დღევანდელი 7×10^{-13}) გადასვლის (რომელშიც ირღვევა ლეპტონური მუხტის შენახვის კანონი, Charged Lepton Flavor Violation, CLFV) ზედა ზღვარი და მივიღოთ 2.6×10^{-17} .

პროცესის მგრძნობიარობის ამ დონეზე მიღწევა საშუალებას მოგვცემს დავინახოთ არის თუ არა სუპერნაწილაკები 10-30 ტევის ინტერვალში, რომელსაც ვერ შეამოწმებს LHC. დავინახოთ რა ხდება ასეთი დონის მგრძნობიარობაზე, ხომ არ არის აქ საერთოდ სრულიად ახალი რაიმე ფიზიკური ეფექტები. ექსპერიმენტი თავის-თავად არის ძალიან რთული როგორც ექსპერიმენტული ისე ტექნიკური თვალსაზრისით. რაც მოითხოვს უახლოესი ტექნოლოგიების და გადაწყვეტილებების გამოყენებას მოსალოდნელი შედეგების განსახორციელებლად. როგორც აღინიშნა COMET რეალიზდება 2 ფაზად, **Phase-I** და **Phase-II**. თავად ექსპერიმენტი შედგება სუბდეტექტორებისგან, რომლებსაც სხვადასხვა დანიშნულება გააჩნიათ. სტროუ ტრეკული დეტექტორის მიზანია სპირალური ტრაექტორიით მოძრავი ელექტრონის ტრეკის დაფიქსირება, ხოლო ელექტრომაგნიტური კალორიმეტრისა კი ელექტრონის ენერგიის გაზომვა. ეს ორი სისტემა ერთმანეთთან შეთანხმებით აფიქსირებენ საძიებო 105 MeV ელექტრონის იმპულს. იმის გამო რომ ეს ენერგია ძალიან მცირეა და ახლოსაა ფონურ ენერგიებთან, ექსპერიმენტის სიზუსტისა და მონაცემების სისუფთავისთვის, გადაწყდა მთელი ექსპერიმენტი დაიხუროს აქტიური კოსმოსური მთვლელების სისტემით (CRV, Cosmic Ray Veto). მათი ამოცანაა კოსმოსური სხივების და გარედან მოსული მუონების დაფიქსირება და ელექტრონიკის მეშვეობით ექსპერიმენტში გაზომვების შედეგებიდან ამოღება. ყველა ეს სისტემა კრიტიკულად მნიშვნელოვანია იმ ფიზიკის შესასწავლად რასაც COMET ექსპერიმენტი ეძებს. რაც შეეხება უშუალოდ განხორციელების ეტაპებს:

Phase-I

გამომდინარე სხვადასხვა (ძირითადად ტექნიკური თუ ფინანსური) მიზეზების გამო, მისი პირველი ეტაპი დაიწყება 2025-2026 წელს, სეანსები 4-5 თვე.

რომლის მიზანია:

1. დღეს არსებული საუკეთესო შედეგის 200-ჯერ გაუმჯობესება, ანუ 10^{-15} მგრძნობიარობის მიღება.

2. ფონური პროცესების სრულფასოვანი შესწავლა, შეფასება. როდესაც მუონების ნაკადი უპრეცედენტოა 10^9 წამში.

პირველ ეტაპზე არ იქნება გამოყენებული მთლიანი მაგნიტური ტრანსპორტირების სისტემა, მხოლოდ მისი ნაწილი, რომელიც მთელ ექსპერიმენტში გათვალისწინებული სოლენოიდების მეოთხედია. აგრეთვე არ იქნება გამოყენებული სრული ელექტრომაგნიტური კალორიმეტრი (დაგეგმილია დაახლოებით 500 კრისტალისგან შემდგარი ცილინდრული ფორმის გაკეთება). გეგმის მიხედვით **Phase-I**-ში სტროუს ტრეკული სისტემის მაგივრად დამონტაჟდება ცილინდრული დრეიფული კამერა. ხოლო პოზიციურად მას შემდეგ განლაგდება 5 მოდულისგან აწყობილი სტროუ დეტექტორი (რომლის თითოეული სადგური შედგება 4 რიგი წყება სტროუ მილებისგან $2x$ და $2y$) და ბოლოს მცირე რადიუსის ელექტრომაგნიტური კალორიმეტრი ელექტრონის ენერგიის გასაზომად. ფაზა-1-ის მიზანია შემოწმდეს ზემოთ აღნიშნული ფონური პროცესები და პარალელურად გაიტესტოს ყველა სუბდეტექტორული სისტემა იმ დატვირთვებზე რომლებზეც მოუწევთ მათ მუშაობა ფიზიკური ექსპერიმენტის მსვლელობისას.

Phase -II

შესაბამისად არის მომდევნო ეტაპი რომელიც დაგეგმილია 2029-2030 წლებში, სენსები გასტანს 1-2 წელიწადს. ამ ეტაპზე უკვე სრულიად დამონტაჟდება COMET-ის მაგნიტური სოლენოიდის სისტემა და ყველა სრული ზომის სუბდეტექტორი:

1. ელექტრომაგნიტური კალორიმეტრი თავის შემოწმებული და პასპორტიზირებული კრისტალებით

2. სტროუ ტრეკული დეტექტორის სისტემა, რომელშიც გამოყენებული იქნება 5 mm დიამეტრის 12 μ m კედლის სისქის სტროუ მილები (ჯერ არა არის გადაწყვეტილი რამდენი მოდულისგან იქნება შემდგარი)

3. კოსმიური ვეტო მთვლელები, რომლებმაც მთლიანად უნდა დაფაროს მთელი ექსპერიმენტი

ექსპერიმენტის ფაზა 1-ის პარალელურად უკვე მიმდინარეობს ფაზა 2-ის მომზადება. უნივერსიტეტის ჯგუფი აქტიურად მონაწილეობს სამივე დეტექტორების შესწავლა-შექმნაში და მათ დამონტაჟებაში.

8. სამეცნიერო ფორუმების მუშაობაში მონაწილეობა

8.1. საქართველოში

1) მომხსენებელი/მომხსენებლები

- 1.
- 2.

2) მოხსენების სათაური

- 1.
- 2.

3) ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი

- 1.
- 2.

მოხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნდება)

8. 2. უცხოეთში

1) მომხსენებელი/მომხსენებლები

1. დავით ჩოხელი et al
2. დავით ჩოხელი et al
3. დავით ჩოხელი et al
4. დავით ჩოხელი et al
5. დავით ჩოხელი et al

6. დავით ჩოხელი et al
7. დავით ჩოხელი et al
8. დავით ჩოხელი და ნიკოლოზ წვერავა, et al
9. გიორგი ადამოვი
10. გიორგი ადამოვი
11. ნიკოლოზ წვერავა
12. ნიკოლოზ წვერავა
13. ნიკოლოზ წვერავა

2) მოხსენების სათაური

1. "The CRV module, preliminary test with Meteor32, processing to send it to KEK"
2. "Straw chambers array as a temporary/backup solution for CRV front area for Phase-1"
3. "COMET CRV STATUS for CM39"
4. "First CRV Left module status and plan for coming autumn"
5. "Mass production of CRV strips and cost estimation"
6. "COMET CRV STATUS for CM41"
7. "Some info about 1st CRV module: preparation"
8. "Assembling technique for 1.1-m-long 6-by-2 array of straws prototype"
9. "United parts viewer"
10. "United parts viewer"
11. "New straw production line at GTU"
12. "Straw production and tests at GTU/JINR"
13. "Report from straw production and tes"

3) ფორუმის ჩატარების დრო და ადგილი

1. COMET Collaboration meeting 39 (CM39), ზუმი J-PARC, იაპონია, მარტი 2023
2. COMET Collaboration meeting 39 (CM39), ზუმი J-PARC, იაპონია, მარტი 2023
3. COMET Collaboration meeting 39 (CM39), ზუმი J-PARC, იაპონია, მარტი 2023
4. COMET Collaboration meeting 40 (CM40), ზუმი J-PARC, იაპონია, ივლისი 2023
5. COMET Collaboration meeting 40 (CM40), ზუმი J-PARC, იაპონია, ივლისი 2023
6. COMET Collaboration meeting 41 (CM41), შერეული/ზუმი J-PARC, იაპონია, ნოემბერი 2023
7. COMET Collaboration meeting 41 (CM41), შერეული/ზუმი J-PARC, იაპონია, ნოემბერი 2023
8. DUNE STT working group meeting. Jul 26, 2023.
9. HGCAL Week: Spring Workshop 2023, Logistics and Database, 16 მარტი 2023, CERN
10. Summer Workshop 2023: CMS week and HGCAL week, Database and Database-Users Meeting, 22 ივნისი 2023, CERN
11. STT working group meeting Wednesday Mar 8, 2023
12. STT working group meeting Wednesday Apr 5, 2023
13. STT working group meeting Wednesday Jun 28, 2023

მოხსენების ანოტაცია (საჭიროა იმ შემთხვევაში, თუ მოხსენება ფორუმის მასალებში არ გამოქვეყნებულა)

9. კვლევის შედეგების კომერციალიზაციის პოტენციალი

№	კვლევის შედეგის/პროდუქტის დასახელება	კომერციული დანიშნულება და პერსპექტივა	შენიშვნა (არსებობის შემთხვევაში)
1			
2			
3			

10. საექსპერტო მოღვაწეობა (არსებობის შემთხვევაში)

№	საექსპერტო აქტივობის სახე	სამუშაოს დამკვეთი (მომსახურების მიმღები) ორგანიზაცია	სამუშაოს დაწყებისა და დასრულების თარიღი
1			
2			
3			

11. ახალგაზრდა მეცნიერთა სამეცნიერო მუშაობის ხელშეწყობა;

№	აქტივობის სახე	მონაწილე ახალგაზრდა მეცნიერთა რაოდენობრივი მაჩვენებელი
1		
2		
3		

12. სამეცნიერო ნაშრომების და მკვლევართა სამეცნიერო პროდუქტიულობის მაჩვენებელი სამეცნიერო გამოცემები რომელიც, ინდექსირებულია Web of Science, Scopus, Google Scholar-ის და სხვ. ბაზაში

№	ავტორი/ ავტორები	ნაშრომის სახელწოდება	სამეცნიერო გამოცემები დასახელება და ნომერი/ტომი; წელი; გამომცემლობა, URL	Web of Science	Scopus	Google Scholar	სხვა (მიუთითეთ)
1							
2							
3							

13. სამეცნიერო ერთეულში დასაქმებულ მკვლევართა სამეცნიერო პროდუქტიულობის მაჩვენებელი (ციტირების ინდექსის საფუძველზე)

№	სახელი და გვარი	Web of Science		Scopus		Google Scholar		სხვა (მიუთითეთ)	
		ციტირების ინდექსი	h-ინდექსი	ციტირების ინდექსი	h-ინდექსი	ციტირების ინდექსი	h-ინდექსი	ციტირების ინდექსი	h-ინდექსი
1	ზვიად წამალაიძე	46,147	94	61,596	101	172,063	197		
2	არსენ ხვედელიძე	72,385	110	12,332	60	37,220	101		
3	იური ბალათური	6,051	29	11,358	36	50,876	69		
4	დავით ჩოხელი	17,213	64	23,024	77	43,186	111		
5	გოგილიძე სოსო	6	1	93	5	315	9		
6	ნამიჩიშვილი ოლეგი	-	-	3	1	34	3		
7	ალექსი მესტირიშვილი	65,160	113	78,201	117	191,728	197		

6	რომან აბრამიშვი ლი	60	1	87	2	115	2		
7	ირაკლი ლომძე	1,056	14	1,897	20	4,848	38		
8	დავით ლომძე	17,475	64	31,591	74	86,442	118		
9	თენგიზ ტორიაშვი ლი	13,676	56	19,026	69	36,625	109		
10	გიორგი ადამოვი	718	11	1,190	18	3,397	28		
11	ნიკოლოზ წვერავა	454	9	734	12	1,975	15		
12	ოთარი კემულარი ა	80	3	176	5	329	7		

ხელმძღვანელი პირის ხელმოწერა

წარმოდგენის თარიღი /-----/-----/20----წ./