

მერაბ ნადირაშვილი, ნინო აბესაძე, ნინო ლუდუშაური

ფეთქებადი ნივთიერებების ქიმიური ანალიზის ძირითადი მეთოდები და მათი მნიშვნელობა

ანოტაცია. ფეთქებადი ნივთიერებების მნიშვნელობა შეუფასებელია არამხოლოდ ომში, არამედ მშვიდობიან პერიოდშიც - სამთო მრეწველობაში, ინფრასტრუქტურის მოწყობის დროს და ა.შ. ფეთქებადი ნივთიერებების პრაქტიკული გამოყენება, მათი ქიმიური ანალიზის აუცილებლობას ბადებს: ახლადსინთეზირებული ფეთქებადი, ან სხვა ტიპის ნივთიერების აგებულების დადგენა, შეუძლებელია ანალიზის გარეშე. იგივე შეიძლება ითქვას ვადაგასული ფეთქებადი ნივთიერებების კვლევისა და უტილიზაციის შესახებაც. ზოგადად, ანალიზი, ქიმიის ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი სფეროა, რომლის არეალი, ხშირად სცილდება ქიმიის საზღვრებს და ისეთ სფეროებში აღწევს, როგორცაა მინერალოგია, ფარმაცია, კრიმინალისტიკა, სამხედრო საქმე. უპირატესად მიმოხილვითი ხასიათის სტატიაში განხილულია ქიმიური ანალიზის მნიშვნელობა ფეთქებად ნივთიერებებთან მიმართებაში, მოტანილია ანალიზის მეთოდების მოკლე დახასიათება, ახალი მეთოდების შექმნის პერსპექტივები.

საკვანძო სიტყვები: ფეთქებადი ნივთიერებები; ქიმიური ანალიზი; PNA ნაერთები; CT ნაერთები; სინთეზი; სპექტროსკოპია; ქრომატოგრაფია.

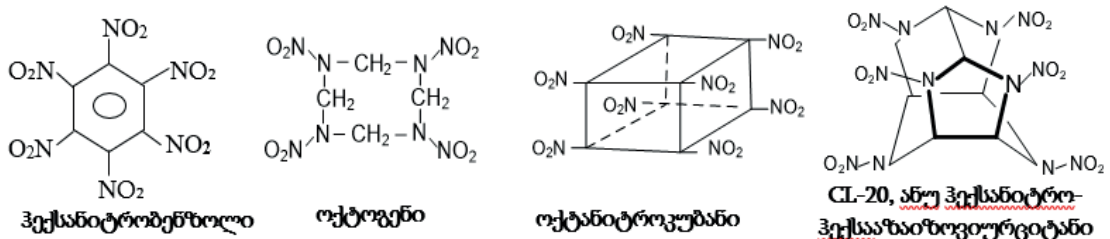
რეცენზენტი: სსიპ გრიგოლ წულუკიძის სამთო ინსტიტუტის, პოლიმერული კომპოზიტების და მაღალტექნოლოგიური მასალების ლაბორატორიის ხელმძღვანელი, მთავარი მეცნიერი თანამშრომელი, ს. კვინიკაძე.

შესავალი

თანამედროვე მსოფლიო ძნელი წარმოსადგენია ფეთქებადი ნივთიერებების (ფნ) გარეშე. ამ მაღალენერგეტიკულ ქიმიურ ნაერთებს ახასიათებთ ექსკლუზიური თვისება - აფეთქება: ეს სწრაფი, „დროში კონცენტრირებული“ ენერგიაა, რომელსაც მუშაობის შესრულება შეუძლია.

ფნ-ებზე, როგორც ჩვეულებრივ ქიმიურ ნივთიერებებზე, ბუნებრივია, ვრცელდება ქიმიის კანონები, აგრეთვე კლასიფიკაცია. შესაბამისად, ცნობილია: პოლინიტროარომატული (Poly Nitro Aromatic, ანუ PNA) ფნ-ები, ნიტრამინები, აზოტმჟავას ესტერები და ა.შ. ფნ-ების უმრავლესობა ქიმიური სინთეზით იწარმოება.

ქვემოთ მოტანილია ოთხი უძლიერესი ფნ-ის ფორმულა [1, 2]:



ზოგადად, ჩვენი სამუშაოს მიზანია: არსებული ფნ-ების სინთეზი, მათი ქიმიური მოდიფიკაცია თვისებების გაუმჯობესების მიზნით, იაფი და ეკოლოგიურად უსაფრთხო ფნ-ების ახალი ნიმუშების შექმნა.

ორიოდე წლის წინ, ჩვენ შევძელით პიკრინმჟავას (TNP) სინთეზის ერთ-ერთი ცნობილი მეთოდის [3] გაუმჯობესება [4]. მისგან და ტროტილისაგან (TNT) ჩვენს მიერ სინთეზირებულია ე.წ. CT ნაერთები (Charge Transfer Compounds, ანუ CT Compounds), რომლებსაც აფეთქების საკმაოდ ძლიერი უნარი აღმოაჩნდათ, **ხშირად უფრო მეტი, ვიდრე საწყის ფნ-ებს.**

საქართველოში არსებული რეალიებიდან გამომდინარე, **უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ვადაგასული ფნ-ების უტილიზაციისა და რეციკლირების მეთოდების მოძიებას.** საკითხი ორმაგად აქტუალურია, რადგან აღნიშნული ნივთიერებები გარემოსათვის ეკოლოგიურ საფრთხეს წარმოადგენს. სამაგიეროდ, უტილიზაცია - სამრეწველო ფნ-ებად მათი რეციკლირების პერსპექტივას გააჩენს. ვადაგასული ტროტილის (u-TNT), პიკრინმჟავასა (u-TNP) და სხვა ფნ-ებისაგან აფეთქების უნარის მქონე ნაწარმების სინთეზის პროცესში კი - ქიმიური ანალიზის ჩართვა აუცილებელია.

ქიმიური ანალიზის ძირითადი მეთოდები

ანალიზური ქიმია ორ ძირითად მიმართულებას მოიცავს. საანალიზო ნივთიერების მოლეკულებში ცალკეული ელემენტების, იონების, ატომთა ჯგუფების შემცველობის დადგენა **თვისებითი ანალიზის** ამოცანაა. **რაოდენობითი ანალიზის** მიზანი კი, კომპონენტების %-ული შემცველობის განსაზღვრაა. რომელიმე კომპონენტის რაოდენობის განსაზღვრამდე, საჭიროა ნიმუშში მისი არსებობის დადგენა. ამიტომ, თვისებითი ანალიზი ყოველთვის წინ უსწრებს რაოდენობითს [5, 6].

თუ საკვლევი ნიმუში **ინდივიდუალურ ნივთიერებას** წარმოადგენს, მისი ანალიზი ცალკეული კომპონენტების განსაზღვრამდე დაიყვანება. **ნივთიერებათა ნარევის** რაც შეეხება, აქ, შეიძლება ორ გარემოებას მიექცეს ყურადღება: 1. ნარევი არის კომერციულად საინტერესო ნივთიერება და მცირე რაოდენობის მინარევი. უნდა მოიძებნოს ანალიზის მეთოდები, რომლებიც ამ ნივთიერების **იდენტობას** დაადასტურებს. ამის შემდეგ, უნდა მოიძებნოს გასუფთავების შესაბამისი მეთოდიკა. 2. უფრო რთულია უცნობი ნივთიერებების ნარევის კვლევა. ეს **სისტემურ ანალიზს** მოითხოვს, როგორც მარტივი, ასევე ინსტრუმენტული მეთოდების გამოყენებით.

1. მარტივი, სინჯარული, „ფერადი“ ტესტები

1.1. აალების მეთოდი. ფნ-ების დამახასიათებელი ერთ-ერთი თვისებაა უჟანგბადოდ გაცხელებისას თვითნებური აალება. ამ დროს შეინიშნება დიდი რაოდენობით სითბოსა და აირების გამოყოფა ხმოვანი ეფექტებით. ტესტი: სპირტქურის ალზე აცხელებენ სინჯარას და ათავსებენ მასში საკვლევ ნივთიერებას. შეინიშნება აალება, რომელსაც თან ახლავს წვა ალით, ნაპერწკლებით, მკვეთრი შიშინით ან სტვენით. ჩამოთვლილი გარეგნული ნიშნები ფნ-ებს ახასიათებთ.

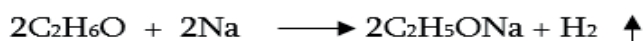
1.2. წვეთოვანი ფერადი რეაქციების მეთოდი. ნარევის ტიპის ფნ-ებში ერთ-ერთი შემადგენელია ამონიუმის გვარჯილა. ამონიუმისა და ნიტრატ-იონების განსაზღვრის მიზნით, ნივთიერებას ამუშავებენ გამოხდილი წყლით, ფილტრავენ და ატარებენ შემდეგ თვისებით რეაქციებს:

- ✓ საკვლევ ხსნარს უმატებენ ე.წ. „ნესლერის რეაქტივის“ წვეთს. ნარინჯისფერ-ყავისფერი ნალექის წარმოქმნა ხსნარში ამონიუმის NH_4 არსებობაზე მიუთითებს.
- ✓ კონცენტრირებულ გოგირდმჟავაში დიფენილამინის 1%-იანი ხსნარის 1 წვეთის საკვლევ ნიმუშზე დამატებისას ლურჯი შეფერილობის გაჩენა მიუთითებს ნიტრატ-იონების NO_3 არსებობაზე.

2. ელემენტანალიზი (წვა)

ორგანული ნივთიერებები და მათ შორის ფნ-ებიც, ძირითადად, შედგებიან C, H, N, O ელემენტებისაგან. ანალიზის ერთ-ერთი კლასიკური მეთოდია ნივთიერების განსაზღვრული წონაკის დაწვა. წვის პროდუქტების (CO₂, H₂O, NO₂) „დაჭერას“ ახდენენ წინასწარ აწონილი შესაბამისი რეაქტივებით. თუ გამოიყოფა თავისუფალი აზოტი, მის მოცულობას ზომავენ. მოლეკულაში ჟანგბადის შემცველობას სხვაობით ადგენენ. ამ მონაცემებიდან მიიღება ელემენტთა პროცენტული შემცველობა, საიდანაც ატომურ შემცველობაზე გადასვლისათვის საჭიროა რიცხობრივი მონაცემების გაყოფა შესაბამისი ატომების მასებზე. შემდეგ, ეს მონაცემები იყოფა უმცირესზე. მაგალითად, ვთქვათ, შარდოვანას ანალიზისას მიღებულია პროცენტული მონაცემები: C - 19.93; H - 6.62; N - 46.70; O - 26.75. ესენი იყოფა ატომურ მასებზე და მიიღება, შესაბამისად 1,66; 3,33; 6,62; 1,66. ყველა მათგანის უმცირესზე გაყოფის შემდეგ მიიღება 1; 2; 3,98; 1. ამიტომ, შესაბამისი ფორმულა იქნება C₁H₄N₂O₁. რა თქმა უნდა, იგივე პროცენტები ექნება ნებისმიერ ჯერად ფორმულას, მაგალითად, C₂H₈N₄O₂ ან C₃H₁₂N₆O₃. ნამდვილი ფორმულის დასადგენად, კრიოსკოპიული, ებულიოსკოპიული მეთოდებით ან მასსპექტრომეტრით განსაზღვრავენ ნივთიერებების მოლეკულურ მასას. იგი აუცილებლად აღმოჩნდება Mr=60. ეს ნივთიერება კი არის შარდოვანა [7].

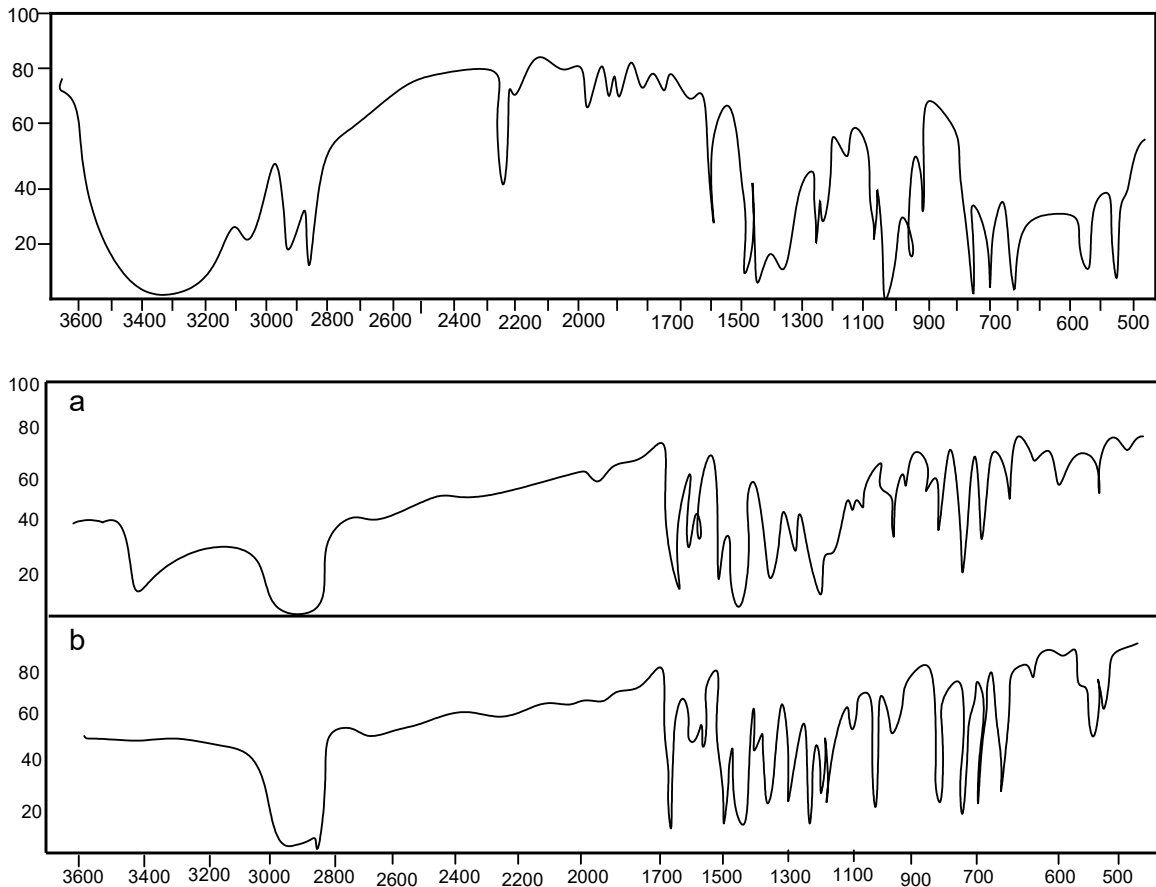
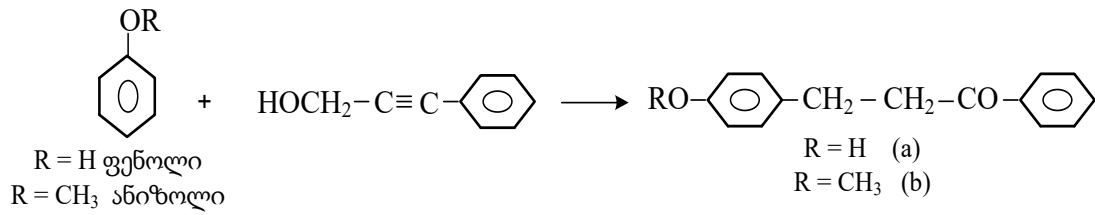
ვთქვათ, ანალიზის შედეგად მივიღეთ ასეთი ბრუტო-ფორმულა - C₂H₆O. რა ნივთიერებაა ეს? აქ შეიძლება **მხოლოდ** ორი სტრუქტურული ფორმულის გამოყვანა. მეტალური ნატრიუმით ექვსი წყალბადატომიდან მხოლოდ ერთი ჩაინაცვლება, რაც მიუთითებს, რომ **წყალბადის ერთი ატომი მოლეკულაში განსხვავებულ მდგომარეობაშია ხუთი დანარჩენისაგან**. ანუ, საანალიზო ნივთიერება B ფორმულას შეესაბამება:



3. სპექტროსკოპია

3.1. ინფრაწითელი - IR-სპექტრები. ინფრაწითელი სხივების ნივთიერებაში გატარებისას, გამოსხივების ენერჯის ნაწილი შთანთქმება. მოლეკულაში არსებული ქიმიური ბმების ე.წ. ვალენტურსა და დეფორმაციულ რხევებზე იხარჯება მკაცრად განსაზღვრული ენერჯია [8]. ამიტომ, რომ ყოველი ქიმიური ბმა ხასიათდება მხოლოდ განსაზღვრული შთანთქმის ზოლით. ინფრაწითელ სპექტრში შთანთქმის მინიმუმების მდებარეობის მიხედვით, შეიძლება ზუსტად დავადგინოთ, რომელი ქიმიური ბმები გვაქვს საკვლევ ნივთიერებაში. ადრე, ფენოლების ფენილაცეტილენური სპირტებით ალკილირებისას ჩვენს მიერ სინთეზირებულ იქნა 60-ზე მეტი ალკილფენოლი [9-11]. ქვემოთ მოტანილია, 3-ფენილპროპინ-2-ოლ-1-ით ფენოლისა და ანიზოლის ალკილირების რეაქცია, ასევე, სპირტისა და შესაბამისი ალკილფენოლების IR-სპექტრები. მათი შედარება, ალკილირების რეაქციების ანომალურ მიმდინარეობაზე

მიუთითებს: არომატულ ბირთვში ჩაინაცვლება არა აცეტილენური სპირტის ფრაგმენტი, არამედ მისი ჰიდრატირებული ვარიანტი [11]:

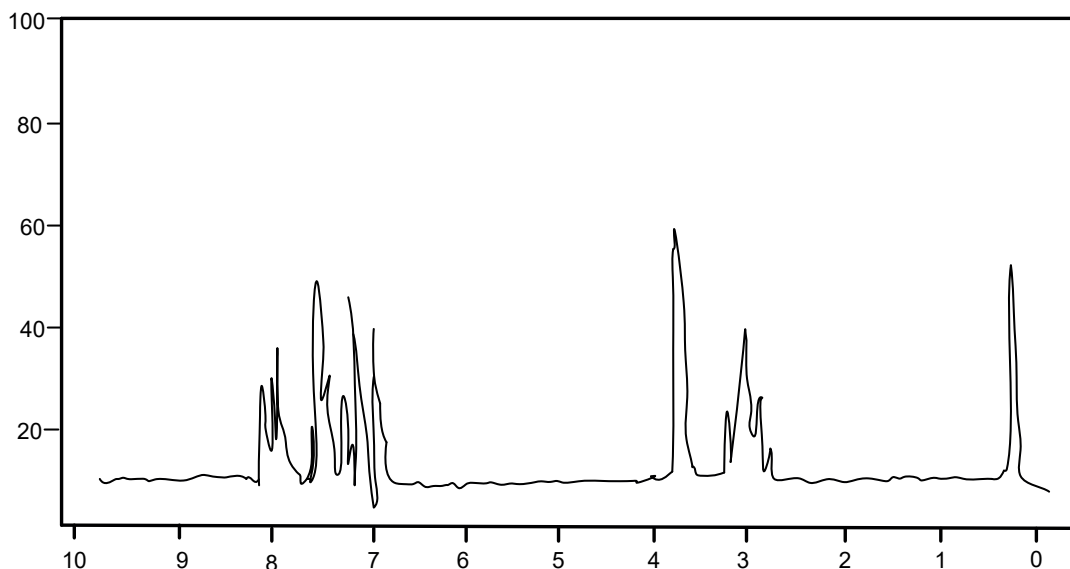


ნახ. 1. 3-ფენილპროპინ-2-ოლ-1-ისა და a და b ალკილფენოლების IR-სპექტრები

განსხვავებით ფენილაცეტილენური სპირტისაგან, a და b ნივთიერებების IR-სპექტრებში არ გვაქვს შთანთქმის ზოლები, რომლებიც შეესაბამება სამმაგი ბმის ვალენტურ რხევებს ($\gamma \text{C}\equiv\text{C}$, 2240 cm^{-1}), სამაგიეროდ, ჩნდება ზოლები 1679 cm^{-1} , რომლებიც კარბონილის ჯგუფისთვისაა დამახასიათებელი ($\gamma \text{C}=\text{O}$). ეს ცალსახად მიუთითებს იმაზე, რომ რეაქციის მიმდინარეობისას ხდება აცეტილენური სპირტის მოლეკულის ცვლილება (ჰიდრატაცია). გარდა ამისა, სპირტული ჰიდროქსილის შთანთქმის ფართო ზოლი $3200\text{-}3400 \text{ cm}^{-1}$ b-ნაერთში, როგორც მოსალოდნელია, საერთოდ ქრება, ხოლო a-ნაერთში სპირტულის ნაცვლად ფენოლური ჰიდროქსილი ჩნდება მინიმუმით 3400 cm^{-1} , რომლის ინტენსივობაც შემცირებულია (γOH).

3.2. NMR-სპექტრები. ალკილფენოლების აგებულებაზე საკმაოდ დამაჯერებელ

ინფორმაციას იძლევა ბირთვულ-მაგნიტური რეზონანსის, ანუ NMR-სპექტრები. მაგალითად, b-ალკილფენოლის შემთხვევაში, სპექტრში შეიმჩნევა ორი სიმეტრიული ტრიპლეტი სპინ-სპინური ურთიერთქმედების მუდმივით 6.60, რაც ცალსახად ადასტურებს $-CH_2-CH_2-CO-$ ფრაგმენტის არსებობას მოლეკულაში. გარდა ამისა, 0.00 – 6.00 დიაპაზონში (3.60) შეიმჩნევა სინგლეტი, რომელიც ამ ნაერთში შემავალ მეთოქსილის ჯგუფს შეესაბამება:



ნახ. 2. b ალკილფენოლის NMR-სპექტრი

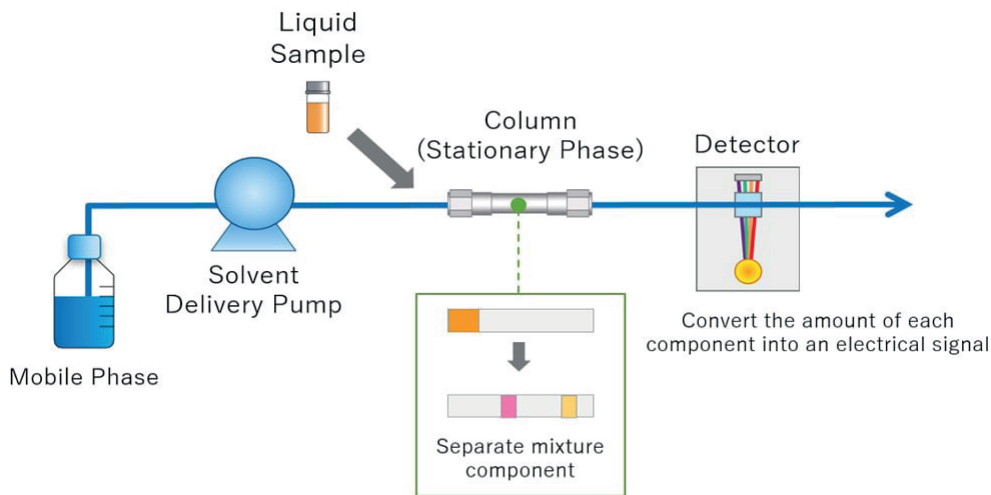
ამრიგად, IR- და NMR-სპექტრების საშუალებით, შესაძლებელია საკვლევი ნივთიერებების მოლეკულათა აგებულებაზე დამაკმაყოფილებელი ინფორმაცია იქნას მიღებული [12].

4. ქრომატოგრაფია

4.1. თხელფენოვანი, TLC-ქრომატოგრაფია. ორგანული კომპონენტების კვლევისათვის გამოიყენებენ TLC-ქრომატოგრაფიის მეთოდს: ფნ-ის მცირე რაოდენობას ხსნიან აცეტონში და დაიტანენ ქრომატოგრაფიულ ფირფიტაზე. შესაძარებლად, იქვე დაიტანენ ცნობილი ფნ-ების (ტროტილის, ტეტრილის, ტენის, ჰექსოგენის, ოქტოგენის, ნიტროგლიცერინის, ნიტროგლიკოლის) აცეტონ-ხსნარებს.

ქრომატოგრაფიის „გამჟღავნება“ ხდება $KMnO_4$ -ის ხსნარით ან იოდის ორთქლით. უცნობი ფნ-ის დეტექტირება ხდება მისი R_f -ისა და შეფერილობის, - ნიმუშის მონაცემებთან შედარების გზით.

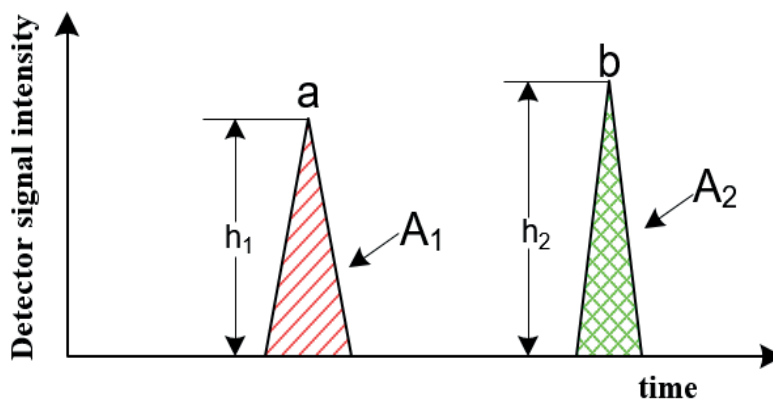
4.2. მაღალეფექტური სითხური - HPLC-ქრომატოგრაფია. HPLC - ერთ-ერთი ყველაზე თანამედროვე მეთოდია ორგანული ნაერთების, მათ შორის ფნ-ების თვისებითი და რაოდენობითი ანალიზისათვის. შესაბამისი - HPLC ქრომატოგრაფი ნიმუშების ხსნარების ანალიზისათვის გამოიყენება. ნახ.3-ზე მოტანილია მისი ზოგადი სქემა[13]:



ნახ. 3. HPLC ქრომატოგრაფის ზოგადი სქემა

გამხსნელი, ანუ მოძრავი ფაზა, რომელიც ნიმუშში კომპონენტების დასაცილებლად გამოიყენება, სპეციალური ტუმბოთი მიეწოდება ადსორბციულ სვეტს (უძრავი ფაზა) და შემდეგ, დეტექტორს. ნიმუშის გარკვეული რაოდენობა შედის სვეტში და ხდება მასში არსებული ნივთიერებების დაყოფა, რაც დეტექტორით ფიქსირდება. ამით ყველა ნივთიერების იდენტიფიცირება ხდება რაოდენობის დადგენასთან ერთად. აღსანიშნავია, რომ რაც მეტია მიზიდულობა გამხსნელსა და კომპონენტს შორის მით მეტია ამ უკანასკნელის გადაადგილება სვეტში გამხსნელთან ერთად. კომპონენტის გადაადგილება სვეტში მით ნაკლებია, რაც მეტია მისი მიზიდულობა ადსორბენტთან.

ქრომატოგრაფირების შედეგები, პიკების სახით, ჩნდება ქრომატოგრამაზე. იგი წარმოადგენს ორგანოზომილებიან გრაფიკს, რომელზეც ვერტიკალური ღერძი გამოსახავს კომპონენტების კონცენტრაციებს, ხოლო ჰორიზონტალური - ანალიზის დროს. გრაფიკზე პიკების სიმაღლისა (h) და ფართობის (A) მიხედვით, შეიძლება მსჯელობა ნიმუშში კომპონენტების თვისებითი და რაოდენობითი შემცველობის შესახებ (ნახ.4):



ნახ. 4 . a და b პიკები ქრომატოგრამაზე

ერთ-ერთ სამეცნიერო პუბლიკაციაში [14] აღწერილია ტროტილისა და ჰექსოგენის რაოდენობითი განსაზღვრის მეთოდი HPLC მეთოდით.

განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს ამერიკის არმიის შეიარაღების კვლევისა და განვითარების სარდლობის სპეციალური პუბლიკაცია ARLCD-SP-80007 რომელიც HPLC მეთოდით ტროტილის ქიმიურ ანალიზს ეხება[15].

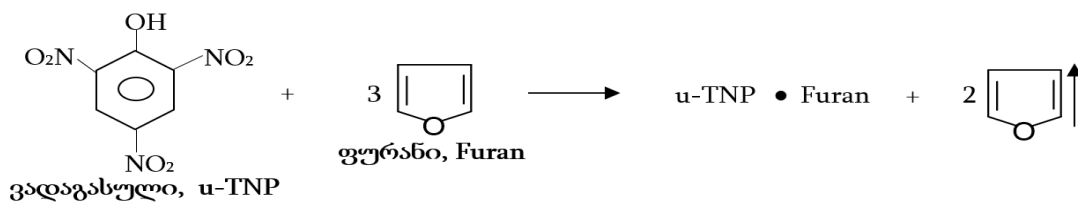
სინთეზური კომპონენტის ჩართვა ანალიზში

ზოგადად, უცნობი ნივთიერების ანალიზში სინთეზის პროცესის ჩართვა ერთ-ერთი ცნობილი და ამავე დროს, ეფექტური მეთოდია. ეს, განსაკუთრებით შეეხება უცნობი ნივთიერების მოლეკულაში ფუნქციონალური ჯგუფების არსებობის დადასტურებას. მაგალითად, ჰიდროქსილის ჯგუფის (-OH) შემცველობა ადვილად შეიძლება დადგინდეს დიმეთილსულფატით მეთილირების გზით. აღდეჰიდებისა და კეტონების რაოდენობრივი ანალიზისათვის იყენებენ მათს რეაქციებს ჰიდროქსილამინთან. ამ ნივთიერებებში არსებული კარბონილის ჯგუფი >C=O ნახსენებ რეაგენტთან წარმოქმნის ალდოქსიმებსა და კეტოქსიმებს, რომელთა აღმოჩენა საკმაოდ მარტივია...

საყოველთაოდ ცნობილია პიკრინმჟავასთან ალკალოიდების ურთიერთქმედების რეაქციები, ამ უკანასკნელთა ანალიზის მიზნით.

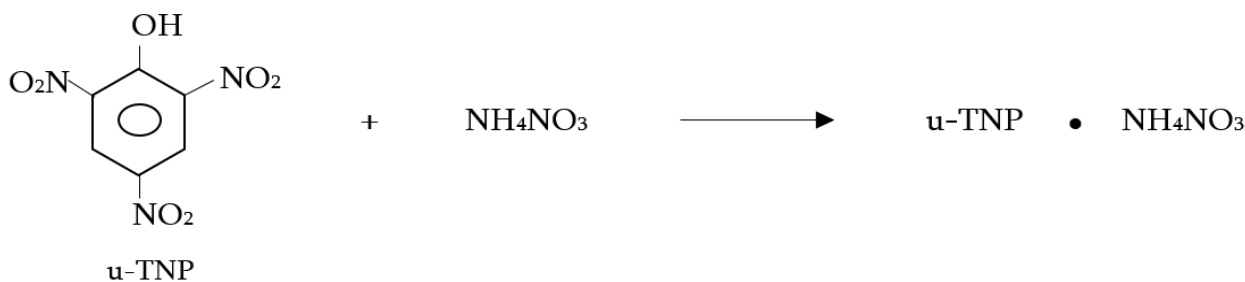
ვადაგასული ტროტილისა და სხვა ფეთქებადი PNA ნაერთების ანალიზისათვის საინტერესოდ მიგვაჩნია ამ პროცესში სხვადასხვა აგებულების CT ნაერთების სინთეზის რეაქციების ჩართვა. ნახსენები ჩართულობა შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი „მინი-პროექტის“ სახით:

არასუფთაანვადგასული PNA ნაერთები, როგორცწესი, გარკვეული რაოდენობის მინარევებს შეიცავენ. მათგან, CT ნაერთების სინთეზის დროს, კონკრეტულად, u-TNP-თან რეაქციაში, ელექტრონოდონორულ კომპონენტად გამოყენებული იქნება ადვილადაქროლადი ფურანი ($t_{დუღ} = +32^{\circ}C$), რომელიც რეაქციაში ჭარბი რაოდენობით იქნება შეყვანილი:



რეაქციის ბოლოს, ზედმეტი ფურანის აორთქლების შემდეგ, მიღებული იქნება CT ნაერთი, რომელშიც მთელი u-TNP შეკავშირებული იქნება ფურანთან, 1:1 პროპორციით. ასე მიღებულ CT ნაერთში გაზნეული იქნება ნიმუშში არსებული მინარევიც. უკანასკნელის მოცილება შესაძლებელი იქნება გამოკრისტალებით, გადაკრისტალებით, ან სხვა მეთოდით.

გარდა ამისა, შესაძლებელია ელექტრონოდონორულ კომპონენტად რომელიმე მინერალური მარილის, მაგალითად, ამონიუმის ნიტრატის გამოყენება, ასევე ჭარბი რაოდენობით:



რეაქციის შემდეგ, ნიტრატის ზედმეტი რაოდენობის მოცილებით, წყალში გახსნის გზით, მივიღებთ ზემოთ განხილულის მსგავს შედეგს.

ამის შემდეგ, რაოდენობრივი გამოთვლები, რომლებიც PNA ნაერთის პროცენტულ შემცველობას მოგვცემს, ადვილი იქნება.

ამრიგად, სტატიაში აღწერილია ქიმიური ანალიზის როგორც ძირითადი - ინსტრუმენტული, აგრეთვე მარტივი, სინჯარული, „ფერადი“ მეთოდები. მოკლედაა განხილული, სინთეზური კომპონენტის მონაწილეობის მნიშვნელობა, რომელიც, ისტორიულად, ანალიზის ერთ-ერთ ცნობილ და ეფექტურ მეთოდს წარმოადგენს.

ლიტერატურა

1. Astakhov A.M., Stepanov R.S. and Babushkin A.Yu. On the detonation parameters of octanitrocubane, *Combustion, Explosion and Shock Waves*, Vol. 34, p. 85-87(1998).
2. Nair U.R., Sivabalan R., ets., Hexanitrohexaazaisowurzitane (CL-20), CL-20 based formulations (review), *Combustion, Explosion and Shock Waves*, Vol. 41, p. 121, 2005.
3. ი.კ. იურევი. პრაქტიკული სამუშაოები ორგანულ ქიმიაში. თსუ, გამომცემლობა, თბილისი, 1969. გვ. 509-510.
4. Chikharadze N., Nadirashvili M., Iashvili T., Gigineishvili A., Beinashvili G.. The improvement of picric acid synthesis methodology, 7th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS 2021), IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 906 (2021) 012132, Prague (Czech Republic). 2021.
5. Крешков А.П. Основы аналитической химии. Кн.1, Изд., Химия, Москва, 1976. 480 с.
6. Алексеев В.Н. Качественный анализ, Госхимиздат, Москва, 1953. 478 с.
7. Несмеянов А.Н., Несмеянов Н.А. Начала органической химии, Кн. I, изд. Химия, Москва, 1969. с. 46-54.
8. Бранд Дж., Эглинтон Г. Применение спектроскопии в органической химии, изд. Мир, Москва, 1967. 280 с.
9. Кахниашвили А.И., Иорамашвили Д.Ш., Надирашвили М.Д. Взаимодействие фенола, анизола и м-крезола с 1-фенил-3-метилбутин-1-олом-3 в присутствии фосфорной кислоты. *Сообщ. АН ГССР*, 82, 85, 1976.
10. Nadirashvili M.D. Synthesis of silicon – containing alkenyl phenols, Ninth International Conference on Organometallic Chemistry, Abstracts of Papers, DIJON, FRANCE – September 3-7, A 61. 1979.
11. Иорамашвили Д.Ш., Кахниашвили А.И., Надирашвили М.Д. Взаимодействие 3-фенил-2-пропин-1-ола с фенолами, *ЖОрХ* 13, 804, 1978.

12. Надирашвили М. Взаимодействие спиртов фенилацетиленового ряда с фенолами, Диссертация на соискание ученой степени кандидата хим. наук, Тбилиси, 1978.
13. What is HPLC (High Performance Liquid Chromatography)?
https://www.shimadzu.com/an/service-support/technical-support/analysis-basics/basic/what_is_hplc.html
14. Роботько В.А., Буллер М.Ф., Ярманова С.П. Методика определения содержания тротила и гексогена в смесевых бризантных взрывчатых веществах, V Международная научно-практическая конференция, Химическая Технология: Наука, Экономика и Производство, Шостка, 2021. с. 152-155.
15. “Analytical Chemistry of 2, 4, 6-Trinitrotoluene”, THOMAS C. CASTORINA, 1980, p.7
<https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA092348.pdf>

NADIRASHVILI MERAB, ABESADZE NINO, GUDUSHAURI NINO

BASIC METHODS OF CHEMICAL ANALYSIS OF EXPLOSIVES AND THEIR SIGNIFICANCE

ANNOTATION. The importance of explosives is invaluable not only in war, but also in peacetime - in the mining industry, during the arrangement of infrastructure, etc. Practical use of explosives raises the need for their chemical analysis: Determining the structure of a newly synthesized explosive, or other type of substance, is impossible without analysis. The same can be said about the research and utilization of expired explosives. In general, analysis is one of the most important areas of chemistry, the scope of which often goes beyond the boundaries of chemistry and reaches such areas as mineralogy, pharmacy, criminalistics, military affairs. The article of a predominantly review nature discusses the importance of chemical analysis in relation to explosive substances, provides a brief characterization of analysis methods, prospects for creating new methods.

KEYWORDS: explosives; chemical analysis; PNA compounds; CT compounds; synthesis; spectroscopy; chromatography.