



ნაფი ტექნოლოგიების გამოყენება საბუნებისმეტყველო ბაკვათილაზა

სახელმძღვანელო
საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების მასწავლებლებისათვის

ნიკოლ პოპი
სილვია მარკიჩი
ინგო აილკსი

შემუშავებულია პროექტ SALiS-ის ფარგლებში
SALiS-სტუდენტთა აქტიური სწავლება ბუნებისმეტყველებაში

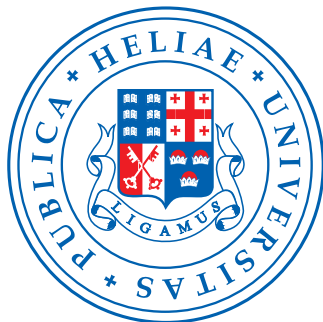


ილიას
სახელმწიფო
უნივერსიტეტი

2012

იაფი ტექნოლოგიების გამოყენება საბუნებისმეტყველო გაკვეთილებაზე

სახელმძღვანელო
საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების
მასწავლებლებისათვის



ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტი
თბილისი — 2012 წელი

იაფი ტექნოლოგიების გამოყენება
საბუნებისმეტყველო ბაკვეთილებაზე

სახელმძღვანელო საბუნებისმეტყველო
მეცნიერებების მასწავლებლებისათვის



შემუშავებულია პროექტ SALiS-ის ფარგლებში
(სტუდენტთა აქტიური სწავლება ბუნებისმეტყველებაში)

ავტორები: ნიკოლ პოპი
სილვია მარკინი
ინგო აილკსი

ინგლისურიდან
თარგმნა: მინეილ გვერდწითელი



##511275-TEMPUS-1-2010-1-GE-TEMPUS-JCPR (Agreement,2010-33821/001-001)

ISBN 978-9941-18-104-7

ილიას სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა
ქაქუცა ჩოლოყაშვილის 3/5, თბილისი, 0162, საქართველო

ILIA STATE UNIVERSITY PRESS
3/5 Cholokashvili Ave, Tbilisi, 0162, Georgia

სარჩევი

შესავალი	5
1. ტერმინოლოგია	7
2. ფასების და გარემოზე გავლენის შემცირება მიკრომასშტაბური ექსპერიმენტული ნაკრების საშუალებით	11
3. ექსპერიმენტები სამედიცინო და აკვარიუმის რესურსებით	14
4. ექსპერიმენტები პეტრის ჯამების და საანალიზო ფირფიტების გამოყენებით.....	22
5. ექსპერიმენტები საოჯახო მასალის გამოყენებით	26
6. ექსპერიმენტები პლასტმასის ბოთლების გამოყენებით	30
7. საოჯახო მალაზიები, როგორც ექსპერიმენტებისთვის საჭირო აპარატურის წყარო.....	34
8. ექსპერიმენტული ხელსაწყოები ელექტროტექნიკის მალაზიიდან ..	39
9. იაფი ალტერნატივები რაოდენობრივი კვლევებისათვის	44
10. საოჯახო პირობებში მოძიებული ნივთიერებებით ჩატარებული ექსპერიმენტები.....	47
11. იაფი ტექნოლოგიების გამოყენება ბიოლოგიურ ექსპერიმენტებში ...	52
ბიბლიოგრაფია	56

შესავალი

2010 წლიდან 2012 წლამდე ევროკავშირის ხელშეწყობით ექვსი ქვეყნის ათი პარტნიორი უნივერსიტეტის მიერ ხორციელდება ტემპუსის პროექტი SALiS. პროექტის მონაწილე პარტნიორი ქვეყნებია: საქართველო, გერმანია, ირლანდია, ბულგარეთი, მოლდავეთი და ისრაელი.

SALiS პროექტი მხარს უჭერს სტუდენტთა აქტიურ სწავლებას საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებში. ამ პროექტის მიზანია ხელი შეუწყოს მოსწავლეებზე ორიენტირებულ, ექსპერიმენტულ და კვლევაზე დაფუძნებულ გაკვეთილებს საბუნებისმეტყველო მეცნიერებებში. ამ მიზნით, როგორც SALiS პროექტის ნაწილი, შემუშავებული და დანერგილია საგანმანათლებლო და სატრენინგო მოდულები საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების მასწავლებლებისთვის. წინამდებარე სახელმძღვანელო წარმოადგენს საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების სწავლებაში სხვადასხვა იაფფასიანი ექსპერიმენტული მასალების გამოყენების ინსტრუქციებს. იაფფასიანი ექსპერიმენტები ეფუძნება ყოველდღიურ ცხოვრებაში გამოყენებულ რეაქტივებს და მასალებს. მათი მოძიება შეიძლება სუპერმარკეტში, სამეურნეო მაღაზიაში, აფთიაქში და ა.შ. ამგვარად, დაბალ ფასად ეს მასალები ყველასთვის ხელმისაწვდომია. გარდა ამისა, გათვალისწინებულია ისეთი ფაქტორები ექსპერიმენტის დროს, როგორცაა მცირედი დაბინძურება და უსაფრთხოება.

კლასში იაფი ტექნოლოგიების გამოყენება გვეხმარება ექსპერიმენტების ხარჯების შემცირებაში, ასევე ამცირებს რისკს და დაბინძურების საშიშროებას. შედეგად, კლასში ექსპერიმენტების ჩატარება უფრო ხშირადაა შესაძლებელი.

გისურვებთ წარმატებებს იაფი ექსპერიმენტების ტექნიკის გამოყენებისას, როგორც სტუდენტებთან სასწავლო პროცესში, ასევე მასწავლებლებთან ტრენინგების ჩატარებისას.

მარიკა კაპანაძე და ინგო აილკსი
(SALiS პროექტის კოორდინატორები)



1. ტერმინოლოგია

საბუნებისმეტყველო მეცნიერებაში ექსპერიმენტი წარმოადგენს სამუშაოს ფუნდამენტურ ნაწილს (აილკსი და სხვ., 2004). ბუნებისმეტყველებაში კვლევები შეუძლებელია ექსპერიმენტების ჩატარების გარეშე. სხვა რომ არაფერი, ექსპერიმენტი წარმოადგენს საბუნებისმეტყველო გაკვეთილის ნაწილს (ფერდინანდი, 2007).

ექსპერიმენტები ბუნებისმეტყველების აღქმაში გვეხმარება. მოსწავლეები ეცნობიან ბუნებისმეტყველების განსაკუთრებულ მხარეს. ისინი სვამენ კითხვებს, აყალიბებენ ჰიპოთეზებს და გამოავლენენ ბუნების შესაძლებლობებს ექსპერიმენტებისა და დაკვირვებების საშუალებით (აილკსი და სხვ., 2004). ამასთანავე, ექსპერიმენტები გვეხმარება განვავითაროთ ხელით მუშაობის უნარ-ჩვევები, მოვანდინოთ აბსტრაქტული თეორიების ილუსტრირება და გავავარჯიშოთ აზროვნება პრობლემათა გადაჭრაში (ბრედლი, დურბახი, ბელი & მუნგარულინი, 1998). ექსპერიმენტების მნიშვნელოვანი ღირებულება ბუნებისმეტყველებაში ისიც არის, რომ მათში მონაწილეობა კარგ მოტივაციას წარმოადგენს მოსწავლეებისათვის, რათა ისინი დაინტერესდნენ ბუნებისმეტყველებით (კრანცი, 2008).

თუმცა, საკლასო ოთახში ჩატარებული ექსპერიმენტი ყოველთვის დაკავშირებულია დანახარჯებთან. დაახლოებით 30 მოსწავლიან კლასში, თუ თითოეული მოსწავლეს დამოუკიდებლად ან თუნდაც მცირე ჯგუფებში ჩაატარებს ცდებს, ბუნებრივია საჭირო იქნება გარკვეული დანახარჯების გაღება. ტრადიციული ლაბორატორიული აღჭურვილობის და ხელსაწყოების შეძენა მთელი კლასისთვის დაკავშირებულია მნიშვნელოვან ხარჯებთან. გატეხილი ხელსაწყოები და ჭურჭელი საჭიროა ახლით შეიცვალოს. დამატებითი ფინანსური დანახარჯები დაკავშირებულია არა მხოლოდ საჭირო აღჭურვილობასთან, არამედ ქიმიურ რეაქტივებთან და სხვა აუცილებელ ნივთებთან. როდესაც ექსპერიმენტი ტარდება მოსწავლეებთან ერთად, მასწავლებელს მომზადებული უნდა ჰქონდეს ქიმიური რეაქტივები და აუცილებელი ნივთები, შემდეგ კი ისინი უნდა განაწილდეს მოსწავლეთა თითოეულ ჯგუფზე. ცხადია, ეს პროცედურა დაკავშირებულია დანახარჯებთან. დანახარჯებთან ერთად დაბინძურებაც წარმოადგენს კლასში ჩატარებული ექსპერიმენტების უარყოფით ფაქტორს.

ამგვარად, ტრადიციული ექსპერიმენტი დაკავშირებულია უამრავ სირთულესთან. ეს პრობლემა არა მხოლოდ განვითარებად, არამედ განვითარებულ ქვეყნებსაც აქვთ. ამ ქვეყნებში საბუნებისმეტყველო განათლების ბიუჯეტი მცირეა. ამავე დროს, დამატებითი სირთულეები დაკავშირებულია მავნე ნივთიერებების გამოყენების რისკთან. ტრადიციული ლაბორატორიული აღჭურვილობა, რომელიც ადრე ჩვეულებრივ იყო სკოლებში, დღეისათვის იშვიათად გვხვდება. შედეგად, ბუნებისმეტყველების შესწავლა უფრო ხშირად ხდება საკლასო ოთახში (ბრედლი და სხვ., 1998). ეს კი იწვევს შეზღუდვებს კლასიკური ექსპერიმენტების ჩატარებასა და ტრადიციული ექსპერიმენტული აღჭურვილობის გამოყენებაში. ასევე, არ უნდა დავივიწყოთ, რომ თითოეული ექსპერიმენტი დაკავშირებულია გარკვეულ რისკთან. ტრადიციულ ქიმიურ ექსპერიმენტებში გამოიყენება სხვადასხვა ნივთიერება. ობენდრაუფი (2006) მიუთითებს იმ ფაქტზე, რომ თვით ისეთი მარტივი მინის ჭურჭელი, როგორცაა სინჯარა და ქიმიური ჭიქა, მინის გატეხვის შემთხვევაში სახიფათო ხდება. ასეთი რისკი იზრდება, თუ ჩვეულებრივი ლაბორატორიული მოწყობილობები

ჩანაცვლდება საკლასო ოთახით. ამ თვალსაზრისით, იაფი ექსპერიმენტები გვთავაზობს ალტერნატივას. იაფ ექსპერიმენტში უფრო იაფი და ადვილად ხელმისაწვდომი ალჭურვილობა ჩანაცვლებს ძვირად ღირებულ ალჭურვილობას. ყოველდღიურ ყოფა-ცხოვრებაში გამოყენებული ნივთები და ქიმიური საშუალებები ამცირებს ფასს და ყველგან ხელმისაწვდომია. ამ პრინციპის უმთავრესი ასპექტი მისი სიმარტივეა (შვანი, 2005). ალტერნატიული ექსპერიმენტული ალჭურვილობის გამოყენება, ისევე როგორც გამოყენებული ქიმიური რეაქტივების რაოდენობა და ხარისხი, იწვევს ღირებულების შემცირებას (ბრედლი და სხვა., 1998). ასევე, პოტენციურად სახიფათო ალჭურვილობა და რეაქტივები უხიფათო ალტერნატივითაა ჩანაცვლებული.

ტერმინი „ხელით გაკეთებული ექსპერიმენტი“ გერმანულ ენაში ხშირად გამოიყენება, როგორც იაფი ექსპერიმენტის სინონიმი. ეს გამოთქმა შემდეგნაირად განიმარტება: „ექსპერიმენტი, რომელიც შეიძლება ჩატარდეს ყოველდღიური მოხმარების საგნების საშუალებით ან თვითნაკეთი ხელსაწყოების გამოყენებით“ (ეკერტი, სტეცბახი და იოლდი, 2000).

სხვა განმარტებებში უფრო მეტად ხდება ექსპერიმენტის ხაზგასმა, ვიდრე ალჭურვილობის განსაზღვრა: „სახალისო ეფექტები, ჭკვიანური და დასამახსოვრებელი, რომელიც ტარდება მნიშვნელოვანი დანახარჯების და იმ ალჭურვილობის გარეშე, რომელიც ჩრდილავს ძირითად მიზანს, წარმოადგენს იდეალურ „ხელით ჩასატარებელ ექსპერიმენტს“ (კირჩერი, გირვიდსი და ჰაუბლერი, 2001, გვ.283).

ამ თვალსაზრისით, იაფფასიანი ან ხელით გაკეთებული ექსპერიმენტი მოიცავს სრულიად განსხვავებულ სტრატეგიებს. ქიმიაში მნიშვნელოვანი მიდგომაა რეაქტივების რაოდენობის შემცირება. ამ მიდგომის თანახმად, ბადერი (2003) მხარს უჭერს საბუნებისმეტყველო განათლებაში ქიმიის ექსპერიმენტის იდეას. საბუნებისმეტყველო განათლების მიღებით მოსწავლემ უნდა გაიაზროს გარემოსდაცვითი მნიშვნელობა ქიმიურ რეაქტივებთან და ნარჩენებთან მიმართებაში. რესურსების შენახვის და დაბინძურების თავიდან აცილების საუკეთესო გზაა ნივთიერებების უფრო მცირე რაოდენობებით აღება, ნაკლებად მავნე და ტოქსიკური ნივთიერებების გამოყენება.

ამგვარად, უკვე 80-იან წლებში განვითარდა „მიკრომასშტაბური ქიმიის“ იდეა (სინგი და შაფრანი, 2000): „მიკრომასშტაბური ქიმია არის ლაბორატორიაზე დაფუძნებული, გარემოს დაბინძურების პრევენციის გათვალისწინებით უხიფათო მიდგომა, რომელიც ხორციელდება მინიმალური მინის ჭურჭლის და ქიმიური რეაქტივების შემცირებული რაოდენობის გამოყენებით“ (სინგი, შაფრანი და პაიკი, 1999, გვ.1684).

მიკრომასშტაბური ექსპერიმენტები ამარტივებენ გარემოს დამაბინძურებელი ნარჩენების უტილიზაციის პრობლემას. უფრო მეტიც, ისინი გამიზნულია პოტენციური რისკების შემცირებისთვის, რადგან ამ ექსპერიმენტებში გამოიყენება გაცილებით მცირე რაოდენობის ქიმიური რეაქტივები (ვუდი, 1990). ალჭურვილობისა და ნივთიერებების რაოდენობა შემცირებულია, თუმცა დაცულია შედეგის მიღების სიზუსტე (ბლექი და ლუტცი, 2004).

ამგვარად, ასეთ მიდგომას ახასიათებს რიგი უპირატესობა (პაიკი, 2006): ქიმიური ნაერთების ღირებულების შემცირება.

- ნარჩენების რაოდენობის და უტილიზაციის ხარჯების შემცირება.
- ტოქსიკურ ნივთიერებებთან პოტენციური კონტაქტის შემცირება.
- უბედური შემთხვევების ნაკლები რისკი.

- რეაქციის ხანგრძლივობის შემცირება.
- გაცხელებისა და გაცივების პროცესებისთვის საჭირო დროის შემცირება.
- ქიმიური რეაქტივების შენახვისთვის საჭირო სივრცის შემცირება.
- ლაბორატორიაში ჰაერის ხარისხის გაუმჯობესება.

მეთოდი	გამოყენებული ქიმიური რეაქტივების რაოდენობა	
	მყარი	თხევადი
მაკროტექნოლოგია	> 0,1 გ	> 5 მლ
ნახევრად-მიკროტექნოლოგია	0,01 – 0,1 გ	0,5 – 5 მლ
მიკროტექნოლოგია	0,001 – 0,01 გ	0,05 – 0,5 მლ
ულტრამიკროტექნოლოგია	< 0,001 გ	< 0,05 მლ

ცხრილი 1.1. ქიმიური რეაქტივების რაოდენობაზე დამოკიდებული ექსპერიმენტული მიდგომის კლასიფიკაცია (პფეიფერი და სხვ., 2002)

ამგვარად, ქიმიურ ექსპერიმენტებში გამოყენებული ნივთიერებების რაოდენობა შეიძლება შემცირდეს ტრადიციული რამდენიმე მილილიტრიდან რამდენიმე მიკროლიტრამდე (სითხეებისთვის) ან რამდენიმე გრამიდან რამდენიმე მილიგრამამდე მყარი ნივთიერებებისთვის (სინჰი და შაფრანი, 2000). ამ დროს ვსაუბრობთ მიკროტექნოლოგიიდან სემი-მიკრო, მიკრო და ულტრამიკროტექნოლოგიაზე გადასვლაზე (პფეიფერი და სხვ., 2002, ცხრილი 1.1.).

სკოლებში საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების სწავლებას და მასწავლებელთა ტრენინგს განსაკუთრებით კარგად შეესატყვისება მიკრო ან ნახევრად-მიკრო ტექნოლოგია. მთლიანობაში, ექსპერიმენტების სათანადოდ ჩატარებისას მიკრომასშტაბის პრინციპის მიხედვით რეაქტივების რაოდენობა მცირდება 10–ჯერ, ზოგჯერ შეიძლება შემცირება 100-ჯერაც (სინჰი და შაფრანი, 2000). აღნიშნული შემცირება ეხება, როგორც დახარჯული ნივთიერებების რაოდენობას, ასევე ნარჩენებსაც. ლათხელის (1989) მიხედვით მაღალი ფასების გამო მოსწავლეებთან ექსპერიმენტი არ ჩავარდება, რადგან რაოდენობის შემცირება შეამცირებს დანახარჯებსაც.

ქიმიური ნივთიერებების რაოდენობის მიუხედავად, იაფ ექსპერიმენტში ადგილი აქვს ტრადიციული ექსპერიმენტული და ლაბორატორიული ქმედებების ჩანაცვლებას. სასკოლო საბუნებისმეტყველო ექსპერიმენტებისთვის გამოყენებულია საოჯახო მასალები, მაგალითად ჯამები, ქვაბები, ლარნაკები ან პლასტმასის ძველი ბოთლები. ასევე გამოიყენება სამედიცინო მასალები, მასალები აკვარიუმის მოწყობილობიდან, ან ელექტრო ხელსაწყოების მასალები. ობენდრაუფის (2004) მიხედვით, იაფი რეაქტივების გამოყენების პარალელურად, აღჭურვილობის შემცირებას გააჩნია დაზოგვის ორმაგი პოტენციალი. შვარცმა და ლუცმა (2004) და ვულმა (1990) აღწერეს ალტერნატიული აღჭურვილობის გამოყენების უპირატესობები:

- უფრო დაბალი ფასები იმ რესურსების გამოყენებით, რომელიც აღებულია წამლების წარმოებიდან, საოჯახო მაღაზიებიდან, ელექტროხელსაწყოების მაღაზიებიდან ან ყოველდღიურ გამოყენებაში მქონე ნივთებიდან.

- რესურსების დიდი რაოდენობის ხელმისაწვდომობა, რაც გამოწვეულია მათი უფრო დაბალი ფასით. შესაბამისად, შესაძლებელია თითქმის ყველა ექსპერიმენტი ჩატარდეს მოსწავლეთა პატარა ჯგუფში.
- ტრადიციულ მინის ჭურჭელთან შედარებით რისკის შემცირება, რაც გამოწვეულია გატენვის უფრო დაბალი რისკით.
- ექსპერიმენტის მომზადებისთვის საჭირო იქნება გაცილებით ნაკლები დრო.
- აღჭურვილობა შეიძლება თავისუფლად იქნეს გადატანილი სხვადასხვა საკლასო ოთახში.
- ექსპერიმენტები შეიძლება ჩატარდეს საშინაო დავალების სახითაც.

ტრადიციული ლაბორატორიული აღჭურვილობის ჩანაცვლების მსგავსად შეიძლება ჩანაცვლდეს გამოყენებული ნივთიერებებიც. ექსპერიმენტები საკვებთან, დეტერგენტებთან, სახლში მოსახმარებელ ქიმიკატებთან ან მყარ ნივთიერებებთან, რომლებიც აღებულია სამზარეულოდან და ავტოფარეხიდან შეავსებს ზემოთ ნახსენებ აღჭურვილობას. გარდა იმისა, რომ ამ ნივთიერებების შექმნა შეიძლება სუპერმარკეტებში, საოჯახო მაღაზიებსა ან აფთიაქებში დაბალ ფასად, ასევე მათი ტრანსპორტირება და მათი გამოყენება ნაკლებად სახიფათოა. ასევე, მოსწავლეთა დაინტერესება იზრდება, რადგან ისინი ატარებენ ცდებს ისეთ ნივთიერებებთან, რომლებთანაც ურთიერთობა უწევთ ყოველდღიურ ცხოვრებაში.

ამრიგად, წარმოდგენილი პრინციპები ხელს შეუწყობს სტუდენტზე ორიენტირებულ აქტიურ ექსპერიმენტებს და სწავლებას ბუნებისმეტყველებაში (ჯოლინგი, 2006).

2. ფასების და გარემოზე გავდენის შემცირება მიკრომასშტაბური ექსპერიმენტული ნაკრების საშუალებით

გასული საუკუნის 80-90-იან წლებში მიკრომასშტაბური ექსპერიმენტები პირველად დაიწყო უნივერსიტეტებში. მიკრომასშტაბური ნაკრები ამარტივებს ექსპერიმენტებს მიკრომასშტაბურ პრინციპებზე დაყრდნობით (დუ ტუა & დუ ტუა, 2006). ეს მიღწეულ იქნა მინის ინსტრუმენტების მრავალრიცხოვანი ნაკრების შეთავაზებით. ამ ხელსაწყოების გამოყენებით ექსპერიმენტი შეიძლება ჩატარდეს ნივთიერებების მცირე რაოდენობების მეშვეობით და შესაბამის სარეაქციო კამერებში.

ცოტა ხნის შემდეგ, აღწერილი იქნა შესაბამისი სასკოლო ექსპერიმენტებიც და შეიქმნა სასკოლო მიკრომასშტაბური ხელსაწყოებიც. ამის მაგალითებია ვილიამსონის ხელსაწყოები, ACE-მიკრომასშტაბური მინის ხელსაწყოები, ქემ-პროსისტემა, ბაუმბახის მიკრომასშტაბიანი მინის ხელსაწყოები ან მინი ლაბორატორია (შალისი, 1991).

მაგალითისთვის წარმოგიდგინთ მინი-ლაბორატორიის გამოყენების ილუსტრაციას. სურ. 2.1-ზე ნაჩვენებია ტრადიციული გამოსახდელი მოწყობილობა (მარჯვენა) და ანალოგიური მინი-ლაბორატორიული გამოსახდელი ხელსაწყო (მარცხენა). მინი-ლაბორატორიის გამოსახდელი ხელსაწყო იყენებს 24 მლ ტევადობის გამოსახდელ ჭურჭელს. შალისი და შილინგი (1991) გვთავაზობენ გამოიხადოს 10 მლ მოცულობის სითხე. ასეთი რაოდენობის გამოყენებით, მაგ. ღვინიდან შეიძლება მივიღოთ 1 მლ სპირტი. ამ რაოდენობებისთვის მცირდება პოტენციური რისკი, ისევე როგორც რეაქტივების და მათი შენახვის საფასური. ტრადიციული გამოსახდელი მოწყობილობის გამოსახდელ კოლბაში ისხმება დაახლოებით 200 მლ სითხე. ეს მიდგომა ამცირებს გამოყენებული ქიმიური რეაქტივების რაოდენობას და შესაძლო დაბინძურებას 20-ჯერ.



სურ. 2.1. მინი-ლაბორატორიული გამოსახდელი ხელსაწყო და ტრადიციული გამოსახდელი მოწყობილობა

მიკრომასშტაბური ხელსაწყოების გამოყენებას გააჩნია ასევე ნაკლი. მაგალითად, სინჰმა და შაფრანმა (2000) აღწერეს, რომ გათვალისწინებულ უნდა იქნას დანაკარგები, რომელიც გამოწვეულია ჭურჭლის კედლების დასველებით. ასევე, საჭიროა გარკვეული საწყისი კაპიტალი ლაბორატორიის გარდასაქმნელად. მაგ. მიკრომასშტაბური ქიმიის პრინციპების მიხედვით საჭირო ლაბორატორიული მოწყობილობის ღირებულება 120 ევროს ტოლია (სიგმა-ალდრიხი, 2011). შესაძენი ფასი შეიძლება შემცირდეს ქიმიური რეაქტივების, დაზღვევის და ნარჩენების განადგურების ფასის შემცირებით ხანგრძლივი პერსპექტივის გათვალისწინებით. ბოლო წლებში დაიწყო კომერციული მიკრომასშტაბური ნაკრების უფრო იაფი ალტერნატივის ძებნა. მოხდა მიკრომასშტაბიანი ხელსაწყოების იდეის კომბინაცია იაფი ექსპერიმენტული აღჭურვილობის პრინციპთან. აქ ტრადიციული ლაბორატორიული მინის ჭურჭელი და მიკრომასშტაბიანი მინის ჭურჭელი ჩანაცვლებულია შედარებით იაფი ალტერნატივით. ისინი ხშირად პლასტმასისგანაა გაკეთებული. უფრო იაფია და მინის გატეხვის რისკიც მცირდება.

მაგალითს წარმოადგენს „RADMASTE ხელსაწყოები“, ბრედლის (2000) მიხედვით, რომელიც პირველად იქნა გამოყენებული სამხრეთ აფრიკაში. ეს ხელსაწყოები არსებობს, როგორც "RADMASTE პირველი მიკროსამეცნიერო ხელსაწყოები", "RADMASTE ძირითადი მიკროქიმიის ხელსაწყოები", "RADMASTE მიკრომასშტაბური ბიოლოგიის შემსწავლელთა ხელსაწყოები" და სხვა მრავალი (სურ.2.2. The-Radmaste-მიკრო-სამეცნიერო სისტემა, 2010).



სურ. 2.2. RADMASTE -ხელსაწყოები წყლისთვის
(www.radmaste.org.za)

კომერციული შეთავაზებების მსგავსად, მასწავლებლებს შეუძლიათ თვითონვე დაამზადონ ასეთი ნაკრები: ეპენდორფები, თავსახურიანი ჭიქები, პლასტიკური ფირფიტები ხშირად გამოიყენება როგორც მიკრომასშტაბიანი სარეაქციო კამერები. დამაკავშირებლების და გადამყვანების მოძიება შესაძლებელია სამედიცინო წარმოების და აკვარიუმის მოწყობილობებიდან, რაც უფრო რთული ხელსაწყოების შექმნის საშუალებას იძლევა. შემდეგ თავებში განხილული იქნება მაგალითები.

3. ექსპერიმენტები სამედიცინო და აკვარიუმის რესურსებით

ქიმიური ექსპერიმენტები კლასში ჩვეულებრივ პრობლემას წარმოადგენს. ხელსაწყოების აწყობა დიდ დროს საჭიროებს. ეს ხელსაწყოები ხშირად მინისგანაა დამზადებული. მინის ჭურჭელი ძვირია და იოლად ტყდება. ამგვარად, ისინი წარმოადგენენ პოტენციურ ხიფათის წყაროს მოსწავლეებისათვის და დაზიანებისას უნდა შეიცვლოს, რაც ხარჯებთანაა დაკავშირებული (ვონ ბორსტელი & ბიემე 2004).

სამედიცინო წარმოებიდან, სამედიცინო აპარატურის მრავალფეროვნებიდან და აკვარიუმის წარმოებიდან შეიძლება მოიძებნოს ტრადიციული ლაბორატორიული ხელსაწყოების ალტერნატივა. შპრიცები, ჩამოჭრილი კოლბები, გადასასხმელი მილაკები, ინფუზიური მილაკები და ჩანთები დიდი რაოდენობითაა სამედიცინო სფეროში, ფასიც შესაბამისია. თუმცა მილები, ტუმბოები და გამანაწილებელი სისტემები რომელიც გამოიყენება აკვარიუმებისთვის შემოთავაზებულია სხვადასხვა საბუნებისმეტყველო სამეცნიერო ექსპერიმენტებისთვის. ეს მასალები ხშირად ასევე პლასტიკის და რეზინისგანაა დამზადებული, შესაბამისად მდგრადია. მათი ზომების გამო ისინი ხშირად შეესაბამება მიკრომასშტაბურ ექსპერიმენტებს.



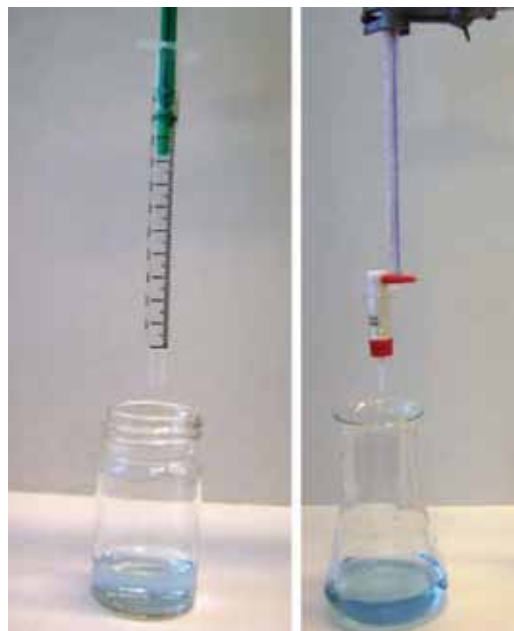
სურ. 3.1. ლუერ-ჩამკეცის შეკავშირება

სითხეებთან და აირებთან ექსპერიმენტებისთვის ფართოდ გამოიყენება მასალა სამედიცინო წარმოებიდან, რადგან ეს ხელსაწყოები ხშირად იქმნება სითხეებთან სამუშაოდ. არსებობს სპეციალური ჩამკეცი სისტემები, კერძოდ ლუერ-ჩამკეცი სისტემები (სურ.3.1.). ეს სისტემები შემუშავებული იქნა სამედიცინო წარმოებაში როგორც ინდივიდუალური დანიშნულების კომბინირებული სისტემა. წყვილი ხშირად იწოდება როგორც „მამრობითი-მდედრობითი“. ლუერის პრინციპის მიხედვით დამაკავშირებლები მორგებულია ერთმანეთს. ლუერის ჩამკეცი პრინციპის მიხედვით, საჭიროა სხვა დამატებითი ხრახნიანი სისტემა, როგორც ჩამკეცი ხელსაწყო (ბრანდი, 2010, სურ.3.1.). ამგვარად, ნივთიერებები შეიძლება იოლად, უხიფათოდ მივიღოთ მათი გაჟონვის გარეშე ექსპერიმენტის პროცესში. ერთმანეთს ნორმალურად უერთდება მხოლოდ „მამრობითი-მდედრობითი“ წყვილი, ამიტომ არსებობს დამატებითი გადაწყვეტილება, რომლის მეშვეობითაც შესაძლებელია „მამრობითი-მამრობითი“ ან „მდედრობითი-მდედრობითი“ შეერთება (სურ.3.2).



**სურ. 3.2. გადაყვანი. „მდედრობითი-მდედრობითი“ (ზემოთ)
„მამრობითი-მამრობითი“ (ქვემოთ)**

სამედიცინო სფეროდან უფრო მრავალფუნქციურ ხელსაწყოს წარმოადგენს ერთ-ჯერადი შპრიცები. მათ გააჩნიათ გამჭვირვალე ცილინდრი კარგად გასარჩევი დანაყოფებით, რომელიც მდგრადია გაჭუჭყიანებისადმი. არსებობს განსხვავებული ფორმის და ზომის ერთჯერადი შპრიცები. მათი ზომები იცვლება 1 მლ-დან (მაგ. ინსულინის შპრიცი) 50 მლ ტევადობამდე. ინსულინის შპრიცი ასევე გამოიყენება მცირე რაოდენობის დოზირებისთვის. კერძოდ, ამ შპრიცების გამოყენებით შესაძლებელია სისტემის ნელი შევსება და დაცლა.



სურ. 3.3. ერთჯერადი შპრიცი, როგორც ბიურეტის შემცვლელი

მაგ. ელ-მარსაფიმ (2004) შემოგვთავაზა სამედიცინო ერთჯერადი შპრიცები ბიურეტების შემცვლელად მიკრომასშტაბური გატიტვრის დროს (სურ.3.3.). როდესაც ერთჯერად შპრიცს ვიყენებთ, როგორც ბიურეტის შემცვლელს, შპრიცი სითხით უნდა აივსოს ჰაერის ბუშტუკების გარეშე. ამ მიზნით, პირველად შპრიცით ამოიღებთ მცირედენ სითხეს და მკვეთად გამოდევნით გარეთ. თუ ამ პროცედურას რამდენჯერმე გავიმეორებთ, შპრიცს სითხით ბუშტუკების გარეშე ავავსებთ. დგუშის დამჭერს, რომელიც წარმოადგენს ყველა ერთჯერადი შპრიცის ნაწილს, გაზის შპრიცებთან შედა-

რებით ერთი უპირატესობა აქვთ. ამ დროს გარანტირებულია შევსება მაქსიმალური მოცულობით.

შპრიცის გამოყენება დამოკიდებულია შპრიცის დგუშის ფორმაზე. შპრიცის დგუშს გააჩნია (ან არ გააჩნია) ლუქის რგოლები. ერთჯერადი შპრიცები ერთმანეთისგან განსხვავდება ერთმაგი ან ორმაგი ლუქის რგოლებით (სურ.3.4).



სურ. 3.4. შპრიცები მარტივი, ორმაგი ლუქის რგოლებით ან მათ გარეშე

შპრიცები, რომლებსაც გააჩნიათ დგუში ორმაგი ლუქის რგოლებით, ძალზე მკვრივია და შეიძლება გამოვიყენოთ აირების შესასწავლ ხელსაწყოში. იმ შემთხვევაში, თუ შეისწავლება ისეთი გაზები, რომელიც რეზინს აჯირჯვებს (მაგ. ქლორი), გამოიყენება მხოლოდ მარტივი ლუქის რგოლის შემცველი შპრიცები. შპრიცები ლუქის რგოლის გარეშე მოსახერხებელია სითხეების დოზირებისთვის.

მაგ. ფონ ბორშტელმა და ბიომმა (2006) წამოაყენეს წინადადება შპრიცების გამოყენებით აეწყოთ ჰოფმანის ვოლტმეტრი (სურ. 3.5.). აღწერილი ექსპერიმენტის დროს, ორი ერთჯერადი შპრიცი ჩაშენებულია ჰოფმანის ვოლტმეტრში. ამ დროს შპრიცის ნემსები გამოიყენება, როგორც ელექტროდები. ორი დამჭერი (სამედიცინო სფეროდან) და ორი მილაკი (მაგ. აკვარიუმის) გამოიყენება აორთქლებული გაზების ამოსატუმბად. ნემსები - ელექტროლიტები შეერთებულია სპილენძის მავთულეტან. ისინი კი თავის მხრივ, კონტაქტშია ბრტყელ ბატარიასთან (ელექტროლიზის რეაქციის დასაწყებად). გამოყენებული მასალების ღირებულებაა დაახლოებით 3 ევრო*, მაშინ როდესაც ჰოფმანის დამშლელი ხელსაწყო NeubertGlas (2011) ღირს დაახლოებით 70 ევრო*.



სურ. 3.5. სამედიცინო წარმოების ელემენტებისგან და ქარხნულად დამზადებული ჰოფმანის ხელსაწყო შედარება

გაზების სინთეზი და აბსორბცია ობენდრუფის (2006) მიხედვით ასევე იოლად შეიძლება განხორციელდეს (სურ. 3.6). საჭიროა დაახლოებით 80 ევროს* გადახდა ერთ ექსპერიმენტულ ხელსაწყოში გაზის მინის მიმღებისთვის (მერკატეო, 2011; ნეუბერტგლასი, 2011; ომიკრონი, 2004).

ობენდრუფის (2004; 2006) მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტის იაფფასიან ვარიანტში საჭიროა მხოლოდ გაზის მიმღები, რომელიც შეიძლება აიწყოს სინჯარით, ლუქის რგოლის არ მქონე 2 მლ-იანი ერთჯერადი შპრიცით, ორმაგი ლუქის რგოლის მქონე 20 მლ ტევადობის შპრიცით, ორი სამედიცინო ნემსით და რბილი რეზინის საცობებით. მასალის ფასი დაახლოებით 1,5 ევრო* იქნება ერთ ხელსაწყოზე (მერკატეო, 2011). რბილი რეზინის საცობი, რომელშიც ჩარჭობილია ორი სამედიცინო ნემსი, ჩამოცმულია სინჯარაზე და ნემსებზე წამოცმულია 2 და 20 მლ ერთჯერადი შპრიცები. 2 მლ-იანი ერთჯერადი შპრიცი გამოიყენება სითხის სინჯარაში ჩასასხმელად, მაშინ როდესაც გამოყოფილი გაზი გროვდება 20 მლ-იან ერთჯერად შპრიცში. გაზის ამ იაფფასიანი მიმღებით შესძლებელია მრავალი გაზის სინთეზი. ცხრილ 3.1-ში ნაჩვენებია მისი გამოყენების რამდენიმე მაგალითი.



სურ. 3.6. გაზის მისაღები იაფი ხელსაწყო და ჩვეულებრივი ლაბორატორიული აღჭურვილობა

ექსპერიმენტში გამოიყენება როგორც ერთჯერადი შპრიცები, ასევე თანმხლები კანულები. ერთჯერადი შპრიცების მსგავსად კანულებიც სხვადასხვა ზომისაა. განსხვავდება ნემსის როგორც სიგრძე, ასევე დიამეტრი. კანულები შეიძლება მიუერთდეს სხვადასხვა ზომის შპრიცებს ლუერის დამაკავშირებლით. ნემსის წვერი მოსწავლეთათვის წარმოადგენს პოტენციური დაზიანების რისკს და უნდა გადაიჭრას მავთულის გადამჭრელით. ამ დროს უნდა დავრწმუნდეთ, რომ ნემსის არხი არ დაზიანდა.

დასასინთეზირებელი გაზი	სინჯარაში არსებული რეაქტივები	დამატებული სითხე	შენიშვნები
ქლორის აირი	კალიუმის პერ- მანგანატის ფხვნილი	კონცენტრირებული მარილმჟავა	გამოიყენეთ მარტივი ლუ- ქის რგოლიანი შპრიცი
ამიაკი	ამონიუმის ქლორიდი, ნატრიუმის ჰიდროქსიდი -გრანულები, გამოხდილი წყალი	-	რეაქციის და- საწყებად საჭი- როა სინჯარის გაცხელება
წყალბადი	თუთიის გრა- ნულები, გან- ზავებული სპილენძის სულფატი	კონცენტრირებული მარილმჟავა	-

ცხრილი 3.1. გაზის იაფფასიანი მიმღების გამოყენების შესაძლებლობა

ბრანდის (2010) მიხედვით, კანულით შესაძლებელია წვეთის უფრო ზუსტად ფორმირება. კანულები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, როგორც ელექტროდების ჩამნაცვლებლები (ფონ ბორშტელის და ბიომის (2006) მიხედვით). ყველაზე მნიშვნელოვანია, რომ კანულები შეიძლება ჩავარჭოთ რეზინის საცობებში და ამგვარად მოხდება სითხის ან გაზის მიმოცვლა დახურულ სარეაქციო კამერაში.

არსებობს სამედიცინო წარმოების ხელსაწყოების სხვა ნაწილებიც, რომლებიც შეიძლება გამოყენებულ იქნეს. მაგ. შარდისთვის გამიზნული პაკეტები (სურ. 3.7) შეიძლება გამოვიყენოთ, როგორც გაზების და სითხის კონტეინერები, რომლებიც შეერთებულნი არიან მილებთან და მრავალრიცხოვან მომჭერებთან (სურ. 3.8).



სურ. 3.7. შარდისთვის გამიზნული პაკეტები



სურ. 3.8. სამედიცინო წარმოების სამრგოლიანი ვინტილი

ბრანდმა (2010), ფონ ბორშტალმა და ბიომმა (2006) შემოიტანეს ამ მომჭერების გამოყენების წინადადება. ამგვარად, ისინი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, როგორც ალტერნატივა გაზების მიღებისას საცდელ დანადგარზე. ამ თვალსაზრისით, ასევე შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ინფუზიური მილაკები და პაკეტები.

ინფუზიური მილაკი წარმოადგენს სილიკონის მილაკის შემცვლელს, მაშინ როდესაც ინფუზიები და პაკეტები შარდისთვის (იხ. სურ. 3.7) უპირატესად გამოიყენება გაზების შესაგროვებლად ან შესანახად. ამგვარად, სითხეებთან და გაზებთან ოპერირებისათვის საჭირო სხვადასხვა სისტემის შექმნა გაადვილებულია. ძვირი ლაბორატორიული დანადგარები შეიძლება იოლად ჩანაცვლდეს სამედიცინო წარმოების ალტერნატივით.



სურ. 3.9. ChemZ მოსწავლის კეისი

ნივთი	მოცულობა	რაოდენობა	ფასი*
ერთჯერადი შპრიცები ლუქის რგოლის გარეშე	2 მლ	100	2,09 €
	10 მლ	100	4,54 €
ინსულინის ერთჯერადი შპრიცი	1 მლ	100	12,18 €
ერთჯერადი შპრიცი ლუქის რგოლით	10 მლ	100	9,86 €
	20 მლ	100	13,64 €
	60 მლ	60	26,03 €
კანულა	-	100	1,36 €
სამედიცინო სამრგოლიანი ჩამკეტი	-	1	0,95 €
ინფუზიური მილაკი (0,75 მ)	-	1	0,75 €

ცხრილი 3.2. ერთჯერადი სამედიცინო ნივთების ღირებულება

ერთჯერადი სამედიცინო პროდუქცია კარგად შეთავსებადია მიკრომასშტაბურ ექსპერიმენტებთან. ეს ნაჩვენებია სრული მიკრომასშტაბური კრებულის მაგალითზე chemZ-კეისი, რომელიც მთლიანად შეიცავს ამ მასალებს (ფონ ბორშტიელი, 2009; სურ. 3.9). მოსწავლის chemZ-კეისი შეიცავს ჩამკეტ ონკანს მრავალჯერადი ხვრელე-ბით, სხვადასხვა მოცულობის და მახასიათებლის რამდენიმე შპრიცს, რვა სამრგო-ლიან ჩამკეტს, სამ მილოვან დანამატს, ორ ზონდს სითხეების ჩასასხმელად და გადმო-სასხმელად, ათ საცობს და ლუერის სხვადასხვა ჩამკეტებს და შემაერთებლებს.

სამედიცინო მრეწველობის მიერ გამოშვებული მრავალი ხელსაწყო ხელმისაწვ-დომია აფთიაქებში ან ონლაინ მაღაზიებში.

აკვარიუმის წარმოება გვთავაზობს მრავალ ალტერნატივას საბუნებისმეტყველო ექსპერიმენტებისთვის. განსაკუთრებით ფართოდ გამოიყენება ტუმბოები, ფილტრე-ბი, მილბი.



სურ. 3.10. აკვარიუმის ტუმბო

ტუმბოები (სურ. 3.10) ფართოდ გამოიყენება აკვარიუმებისთვის. ისინი გამოდის სახვადასხვა სახით, მაგრამ ყოველთვის შეიცავს ტუმბოს და ფილტრს. აკვარიუმში

ტუმბოები საჭიროა წყლის გასასუფთავებლად ისეთი ჭუჭყისგან, როგორცაა საკვე-
ბის ნარჩენები. ამ მიზნით, წყალი შეიწოვება, შეერევა ჟანგბადს და უკან ჩაიტუმბება
აკვარიუმში. ეს ფუნქცია კარგად შეესაბამება სკოლაში საბუნებისმეტყველო ექსპე-
რიმენტებს. მაგ. აკვარიუმის ტუმბოები გამოიყენება ჰაერის მუდმივი ნაკადის წარმო-
საქმნელად სპირტის ძმრად ფერმენტაციის დროს ან კიდევ ნახშირბადის დიოქსიდის
წარმოქმნის შედარებისას ანაერობულ და აერობულ პირობებში. არსებობს მილების,
ჩამკეტების და გამანაწილებლების დიდი რაოდენობა, რომელიც გვეხმარება გაზის
და სითხის ნაკადების მიმართვაში და მათ რეგულირებაში. ეს მილები (სურ. 3.11)
შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, როგორც სილიკონის და ლაბორატორიაში ვაკუუმის
მილების იაფი შემცვლელი.



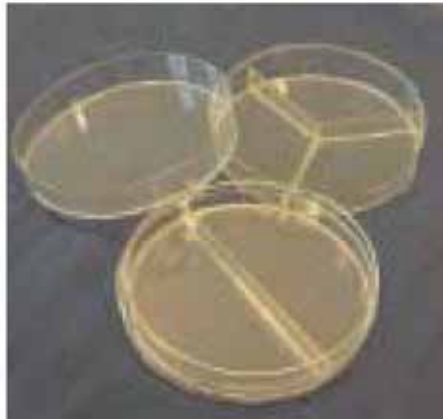
სურ. 3.11. მილი აკვარიუმის მარკეტიდან

კაპენბერგმა (2011) შემოგვთავაზა აკვარიუმის ტუმბოს, ასევე შესაბამისი მილე-
ბის და შემაერთებლების ფართო გამოყენება გაზური ქრომატოგრაფის კონსტრუირე-
ბისთვის. აკვარიუმის ტუმბო ტუმბავს ჰაერს გაზის სვეტში, რომელიც მოთავსებუ-
ლია პლასტმასის მილში.

აკვარიუმის მასალები ხელმისაწვდომია ზოომალაზიებში და აკვარიუმისთვის გან-
კუთვნილ სპეციალურ მაღაზიებში და რა თქმა უნდა ონლაინ მაღაზიებში. აქ შეძე-
ნილი აკვარიუმის ტუმბოები ღირს დაახლოებით 10-15 ევრო*, 2,5 მ მილი კი ღირს
დაახლოებით 3 ევრო*.

4. ექსპერიმენტები პეტრის ჯამების და საანალიზო ფირფიტების გამოყენებით

მრავალი საბუნებისმეტყველო ექსპერიმენტი, რომელიც ტარდება მინის ჭურჭელში, ქიმიურ ჭიქებში ან კრისტალიზატორში, შეიძლება იოლად ჩატარდეს პეტრის ისეთ ჯამებში, რომლებიც შეიცავს ორ ან სამ განყოფილებას (სურ.4.1.) ან პლასტმასისგან დამზადებულ საანალიზო ფირფიტებში (სურ.4.2).



სურ. 4.1. პეტრის ჯამები



სურ.4.2. საანალიზო ფირფიტები

მაგ. შვარცმა და ლუტსმა (2004), ასევე კოჰლერ-კრუცფილდმა და გრუზბერგმა (2000) შემოგვთავაზეს ე.წ. ღრმულებიანი ფირფიტები, ან მეორენაირად საანალიზო ფირფიტები, როგორც მცირე სარეაქციო ფირფიტები სითხეებსა და ხსნარებში ექსპერიმენტებისთვის. ეს არის პლასტმასისგან დამზადებული ფირფიტები, რომლებსაც გააჩნიათ სხვადასხვა ტევადობის რამდენიმე ღრმული.

თავდაპირველად მრავალღრმულიანი ფირფიტები სამედიცინო და ბიოქიმიური ანალიზისთვის შეიქმნა. მოგვიანებით პეკინის უნივერსიტეტში მათი გამოყენება დაიწყო მიკრომასშტაბურ სამცნიერო ექსპერიმენტებში. „RADMASTE-ის მიკრომასშტაბური ქიმიური ნაკრები“ (იხ. სურ. 2.2) ასევე შეიცავს ამ ტიპის ფირფიტას 60 ღრმულით.

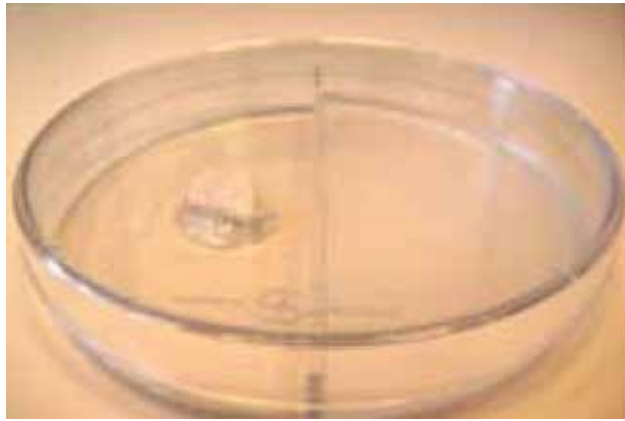
ცოუს (2004) მიხედვით, ასეთი ფირფიტის მეშვეობით მიმდინარე ექსპერიმენტების უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ ყველა მნიშვნელოვანი ექსპერიმენტი შეიძლება მიკრომასშტაბურში გადავიყვანოთ. შვარცმა და დუცმა (2004) ჩამოთვალეს ამ ფირფიტების სხვა უპირატესობებიც. ამ ორი ავტორის მიხედვით შესაძლებელია რამდენიმე ექსპერიმენტის პარალელურად ჩატარება და მათი შედარება ერთმანეთთან. მისი გამოყენება ეფექტურია გამოლექვისთვის, ფერის ცვლილებით მიმდინარე და კატალიზური რეაქციებისთვის, ასევე ექსპერიმენტებისთვის ელექტროქიმიის სერიიდან. გარდა ჩამოთვლილისა, იაფად და ეფექტურად ჩატარდება მცენარეების მარლებთან ურთიერთქმედების რეაქციები.

სილრმის მიხედვით მათში შეიძლება ჩაისხას 0,5 მლ-დან 5 მლ სითხე. მინის ჭურჭლის ნაცვლად, პლასტმასის ამ ფირფიტების გამოყენება ამცირებს დაზიანების რისკს გატეხვის შემთხვევაში. ამგვარი ფირფიტების ფასი მათ ზომაზეა დამოკიდებული. მაგ. ერთი ფირფიტა 96 ღრმულით დაახლოებით 6 ევრო* ღირს, მაშინ როდესაც 6 ღრმულიანი ფირფიტის ფასი 2 ევროზე* ნაკლებია (მერკატეო, 2011). ორგანულ გამხსნელებთან მუშაობისას უნდა ვიფრთხილოთ, რადგან შეიძლება ფირფიტა დაზიანდეს.

საანალიზო ფირფიტის მსგავსად, პოლისტიროლის პეტრის ჯამი ასევე საინტერესო და ეფექტურ სარეაქციო კამერას წარმოადგენს. ერთ კამერიანი 500 პეტრის ჯამის შეძენა დაახლოებით 30 ევროდაა* შესაძლებელი, ხოლო ორ კამერიანი 500 ცალი პეტრის ჯამის საფასური დაახლოებით 60 ევროა*. ამგვარად, ერთკამერიანი პეტრის ჯამის საფასური დაახლოებით 5-12 ცენტია*. პეტრის ჯამი იაფია, ადვილია შესანახად და მასალიდან გამომდინარე მინის ჭურჭელთან შედარებით გაცილებით მყარია. ანგვა, დალექვის რეაქციები, რადიკალების ჩანაცვლებები და გალვანური ელემენტები მხოლოდ ზოგიერთი მაგალითია იმ რეაქციების, რისი ჩატარებაც შეიძლება პეტრის ჯამებში ნივთიერებების მცირე რაოდენობით (ფულლი, 1996). სეილნახტმა (2002) წამოაყენა წინადადება, რომ პეტრის ჯამები გამოყენებულ იქნეს ტემპერატურა-დამოკიდებული გახსნის პროცესების და რეაქციების ჩასატარებლად, ჩოი (2002) გვთავაზობს გაზების სინთეზის მაგალითებსაც.

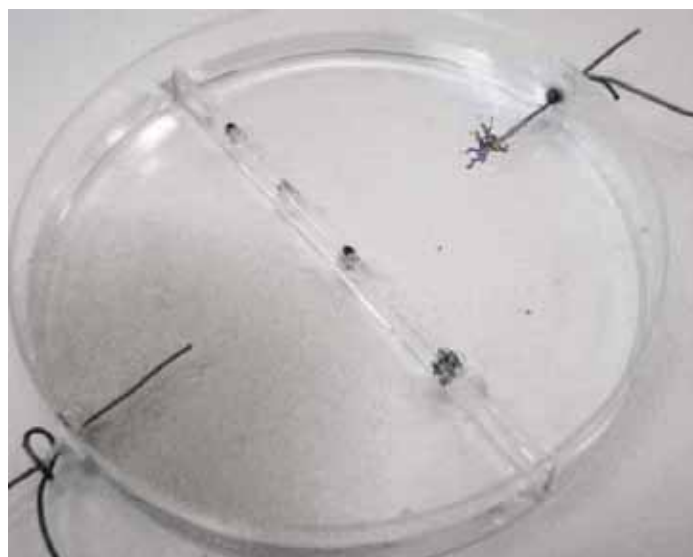
მრავალი ექსპერიმენტი, რომელიც პეტრის ჯამებში ტარდება, შეიძლება მრავალღრმულიან ფირფიტებშიც ჩატარდეს. ერთკამერიან პეტრის ჯამებს გააჩნია 12 მლ ტევადობა, გაყოფილ პეტრის ჯამებს, შესაბამისად უფრო მცირე მოცულობა გააჩნია. საანალიზო ფირფიტის ტევადობა, ღრმულის ზომის მიხედვით, მაქსიმუმ 5 მლ-ია. ამგვარად, გამოყენებული ქიმიური ნივთიერების რაოდენობა საანალიზო ფირფიტებში უფრო მცირეა.

პეტრის ჯამები დამატებით შესაძლებლობებს იძლევა. მაგ. პეტრის ჯამის სახურავს შეუძლია შექმნას დახურული სივრცე. ამ შემთხვევაში შეიძლება განხორციელდეს გაზების მიმოცვლა პეტრის ჯამის კამერებს შორის. ამასთანავე, არ ექნება ადგილი გაზების მიმოცვლას გარემოსთან. ამის მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ ნახშირბადის დიოქსიდის მიღება და აღმოჩენა (ფულლი, 1996). ამ შემთხვევაში, პეტრის ჯამის ერთი კამერა გავსებულია კირიანი წყლით, მეორე კამერაში მოთავსებულია მარმარილოს ნაჭერი, რომელიც შეხებაშია ქლორწყალბადმჟავასთან (სურ 4.3).



სურ. 4.3. ნახშირბადის დიოქსიდის სინთეზი და აღმოჩენა

პეტრის ჯამები შეიძლება მოვარგოთ სხვადასხვა ექსპერიმენტულ პირობას. მაგ., შესაძლებელია ელექტროდების შეყვანა გარე კედლებში ელექტროდების გაცხელებით და კედლებში შერჭობით. მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ თუთიის იოდიდის ელექტროლიზი (სურ. 4.4.). ამ ექსპერიმენტისთვის გამოიყენება ორკამერიანი პეტრის ჯამი. ფანქრის გული, რომლითაც შეცვლილია ნახშირის ელექტროდები, შეყვანილია ორივე განყოფილების თითოეულ გარე კედელში. თუ ელექტროდები რბილია, ხვრელის გაკეთება გარე კედლებში შეიძლება ცხელი ნემსით, შემდეგ ხვრელებში გავატარებთ ფანქრის გულს – ელექტროდებს და დავამაგრებთ ცხელი წებოთი. მემბრანის შესაქმნელად, ორკამერიანი პეტრის ჯამის გამყოფი კედელიც ასევე უნდა გაიხვრიტოს რამდენიმე ადგილას ცხელი ნემსით. ცხადია, პეტრის ჯამის შუაში ფილტრის ქალაქის საშუალებით, შესაძლებელია მარილის ბოგირის გაკეთებაც. ის მანიპულაციები, რაც აღწერილია თუთიის იოდიდის ელექტროლიზის მაგალითზე, შესაძლებელია მხოლოდ პეტრის ჯამებში. პლასტმასის ღრმულიანი ფირფიტები ამ მიზნით იშვიათად გამოიყენება.



სურ. 4.4. თუთიის იოდიდის ელექტროლიზი

ქვემოთ, პეტრის ჯამების გამოყენების სხვა მაგალითი იქნება ნაჩვენები. ექსპერიმენტის განხორციელებისთვის უფრო მეტი ძალისხმევაა საჭირო რეაქტივების რაოდენობის შესამცირებლად. დემონსტრირებისას მცირე რაოდენობების დროს რთულია შორი მანძილიდან დაინახო. სინათლის პროექტორის გამოყენებით შესაძლებელია ამ პრობლემის თავიდან აცილება. პეტრის ჯამები კი ამ დროს ძალიან ეფექტურად გამოიყენება (ფულლი, 1996).

პეტრის ჯამები, მათი გამჭვირვალობის გამო, კარგად გამოყენებადია პროექტორით სადემონსტრაციოდ. რეაქციები პეტრის ჯამში, შეიძლება გადიდდეს პროექტორის საშუალებით 2 მ-ის დიამეტრამდე. ექსპერიმენტის დემონსტრაცია პროექტორით კარგად აღქმადი იქნება ყველა იმ რეაქციის შემთხვევაში, სადაც ადგილი აქვს ფერის ცვლილებას ან ხსნარის შემღვრევას. უფრო მეტიც, გაზის გამოყოფა და ნალექის წარმოქმნაც კარგად შეიძლება იყოს დამზერილი (ფულლი, 1996). მაგალითად, მოვიყვანოთ ვერცხლის ჰალოგენიდების გამოლექვა. ამ მიზნით პეტრის ჯამი გაავსეთ გამობდილი წყლით. ერთ მხარეს ჩაამატეთ მცირე რაოდენობით სუფრის მარილი, მეორე მხარეს ვერცხლის ნიტრატის მარცვლები. დიფუზიის შედეგად წარმოიქმნება ვერცხლის ქლორიდი, რომელი გამოილექება (სურ. 4.5).



სურ.4.5. ვერცხლის ჰალოგენიდის წარმოქმნა

მთლიანობაში, საანალიზო ფირფიტები და პეტრის ჯამები კარგად ასრულებს სა-რეაქციო კამერების როლს მრავალი ქიმიური რეაქციისათვის. თანაც ისინი დამზადებულია პლასტმასისგან და ამით ის რისკი, რაც შეიძლება გამოიწვიოს მინის ჭურჭლის გატეხვამ, შეიძლება თავიდან იქნეს აცილებული. საანალიზო ფირფიტებს გააჩნიათ ორი მნიშვნელოვანი უპირატესობა პეტრის ჯამებთან შედარებით. პირველი - გაცილებით მეტი ექსპერიმენტის ჩატარება შეიძლება გვერდი-გვერდ. გამყოფი ძვიდის არ მქონე პეტრის ჯამების მოცულობა დაახლოებით 12 მლ-ია. თუმცა, ეს უფრო მეტია ვიდრე ღრმულიანი ფირფიტის მოცულობა და უფრო მცირეა ნორმალურ მინის ჭურჭელთან შედარებით.

5. ექსპერიმენტები საოჯახო მასაღის გამოყენებით

წინა თავებში წარმოდგენილი იაფი ექსპერიმენტების დასანერგად საჭირო მასალა მაინც შესაძენია, მაშინაც კი როცა მათი ღირებულება მისაღებია. ყოველდღიურობაში მრავლად რჩება ცარიელი შესაფუთი მასალები, რომელთა გამოყენებაც ასევე შესაძლებელია სარეაქციო კამერებად ქიმიური და ფიზიკური ექსპერიმენტებისთვის. მაგ. აბების ჩასადებები, მინი პლასტმასის ყუთები და ფინჯნები, კოსმეტიკური პროდუქციის ყუთები ეფექტურად გამოიყენება.



სურ. 5.1. აბების ჩასადები

აღსანიშნავია, რომ აბების ჩასადების დიზაინი (სურ. 5.1) პრაქტიკულად იგივეა, რაც პლასტმასის ღრმულიანი ფირფიტის დიზაინი. შესაბამისად, აბების ჩასადებსაც იგივე უპირატესობა აქვს, რაც ფირფიტებს. მას შემდეგ რაც წამლებს მოვაცილებთ ალუმინის საფარს, ყველა ექსპერიმენტი, რომლის ჩატარებაც შეიძლება ღრმულიან ფირფიტაში, შეიძლება ჩატარდეს წამლების ცარიელ ფირფიტაში. წამლების ჩასადებები განსხვავდება ზომით და ფორმით, ასე რომ ისინი შეიძლება გამოვიყენოთ, როგორც საექსპერიმენტო ჭურჭელი, ღრმულების სხვადასხვა რაოდენობით და ტევადობით. ამ შემთხვევაშიც ქიმიური ნივთიერებების მინიმალიზაცია ძალიან კარგად არის შესაძლებელი.

განვიხილოთ მათი გამოყენების მაგალითი განზავებისას. მაგ. კრუზ-ეზსელიკმა და შვარცმა (2004) შემოგვთავაზეს მივცეთ მოსწავლეებს მოცულობების გაზომვების ტესტი, რძის განზავების სერიის დამზადებით. ექსპერიმენტის ინიცირება შეგვიძლია შეკითხვით: „რამდენად შეიძლება რძის განზავება და როდის იქნება ეს შესაძლებელი?“ 2 მლ რძე პირველი განყოფილებიდან თანდათანობით განზავდება 10-ჯერ. სითხე სულ უფრო გამჭვირვალე ხდება და ბოლოს ღრმულის ფსკერზე შესაძლებელი იქნება ნიშნულის შემჩნევა (სურ. 5.2).



სურ. 5.2. რძის განზავების სერია წამლების ჩასადებში

თუ საჭირო იქნება უფრო დიდი მოცულობები, ვიდრე წამლების ცარიელ ჩასადებს გააჩნია, მაშინ ალტერნატიული სარეაქციო ჭურჭლის როლს შეასრულებს ნებისმიერი ქილა (თაფლის, ჯემის და ა.შ. სურ. 5.3), კალისგან დამზადებული კონსერვის გასუფთავებული კოლოფები (სურ.5.4.), ჩაის ფინჯნები ან პლასტმასის კოლოფები.



სურ. 5.3. ჯემის ცარიელი ქილები



სურ.5.4. კალის კოლოფები

რადგან კონტეინერები სხვადასხვა მასალისგანაა დამზადებული, მათი შერჩევა შესაძლებელია შესატყვისი ექსპერიმენტის მოთხოვნების მიხედვით. უფრო მეტიც, რადგან კონტეინერები სხვადასხვა ზომისაა, არჩევანი შეიძლება გაკეთდეს ამ პოზიციიდანაც. მაგ. მეტალის ქილა გამოდგება ბატარეის კონსტრუირებისას, რადგან ქილის კედლები შეიძლება ელექტროდებად იქნეს გამოყენებული. ქილის ზედა ნაწილი შეიძლება მოსცილდეს და გასუფთავებული კონტეინერი შეივსოს ნატრიუმის ქლორიდის ხსნარით. ქილა შეიძლება გამოყენებულ იქნას ელექტროდად და შეუერთდეს ვოლტმეტრს კაბელის საშუალებით. წრედის შესაკრავად გრაფიტის ელექტროდი ან ფანქრის გული ჩაშვებულ უნდა იქნას ხსნარში (შმიტინგერი, 2011, სურ. 5.5.).



სურ. 5.5. კონსერვის ქილის ბატარეა

სხვა მაგალითი გვიჩვენებს, როგორ შეიძლება ჭიქის გამოყენება ექსპერიმენტის ჩასატარებლად. სანთლის, ჯემის ცარიელი ქილის ან ლარნაკის გამოყენებით, შეიძლება ნაჩვენები იყოს, რომ ჰაერი წარმოადგენს სხვადასხვა გაზების ნარევს (არდლი, 1997). ამ ექსპერიმენტის ჩასატარებლად, ლარნაკი უნდა გაივსოს წყლით, სანთელი თავსდება ლარნაკში და ინთება. შემდეგ ანთებულ სანთელს ფრთხილად ეფარება ცარიელი ქილა (სურ. 5.6.). დავინახავთ, რომ ქილაში წყლის დონე თანდათან აიწევს, სანამ ალი საბოლოოდ ჩაქრება.



სურ. 5.6. ჯემის ქილაში ანთებული სანთელი

კოსმეტიკური პროდუქციის კონტეინერები ასევე შეიძლება გამოყებულ იყოს, როგორც ექსპერიმენტის ჭურჭელი. ლოსიონის ცარიელი ბოთლები სხვა ბოთლების მსგავსად გამოვიყენოთ. თვალის ჩრდილის ცარიელი კონტეინერი შეიძლება გამოყენებულ იქნეს, როგორც პლასტმასის ღრმულიანი ფირფიტა ან წამლების ჩასაწყობი. გაზების შესანახად შეიძლება გამოვიყენოთ პულივიზატორები ან გელის ცარიელი პაკეტები.

ყველა ეს მასალა ყოველდღიურად საოჯახო გამოყენებაშია და მათი შეგროვება სიძნელეს არ წარმოადგენს.

6. ექსპერიმენტები პლასტმასის ბოთლების გამოყენებით

პლასტმასის ბოთლები ასევე წარმატებით გამოიყენება სხვადასხვა ექსპერიმენტებისთვის (სურ. 6.1).



სურ. 6.1.
პლასტმასის
ბოთლი

ვილკმა (1998 a) განაცხადა, რომ პლასტმასის ბოთლების დამზადება და გამოყენება წარმოადგენს მოსწავლის დამოუკიდებლად განვითარების კარგ გზას. ეს ბოთლები ყველაგან გვხვდება ნარჩენების სახით, ამიტომ ადვილად შეიძლება შეგროვდეს მოსწავლეთა ექსპერიმენტებისთვის. ვილკი აღნიშნავს, რომ პლასტმასის ბოთლები მათი სპეციფიკური თვისებების წყალობით კარგად შეესაბამება ექსპერიმენტულ საშუალებებს, განსაკუთრებით ფიზიკის სწავლებას. ის აღწერს შემდეგ უპირატესობებს:

არსებობს სხვადასხვა ფორმის, ზომის და დიზაინის პლასტმასის ბოთლები. ამის გამო, ექსპერიმენტული დანადგარისთვის შესაბამისი ბოთლის შერჩევა მოთხოვნის მიხედვით შეიძლება მოხდეს.

დიდი მოცულობის პლასტმასის ბოთლებს ახასიათებთ კარგი ხილვადობა. კერძოდ, ის ფაქტი რომ ბოთლი გამჭვირვალეა, განაპირობებს იმ პროცესების კარგ ხილვადობას, რომლებიც მიმდინარეობს ბოთლის შიგნით ექსპერიმენტის მიმდინარეობისას.

პლასტმასის ბოთლებს მცირე მასა და კედლების სისქე გააჩნიათ. ასე რომ მათი ხელში დაკავება ადვილია.

პლასტმასის ბოთლები მდგრადი და არამსხვრევადია. ეს კი ექსპერიმენტის მსვლელობისას ჭურჭლის გატეხვის რისკს ამცირებს.

პლასტმასის ბოთლები წნევა-მედეგია. ეს კი პნევმატური და ჰიდრავლიკური ექსპერიმენტების ჩატარების საშუალებას იძლევა. ამ ტიპის ექსპერიმენტები, წნევა მედეგობის პირობების მაღალ მდგრადობას მოითხოვს. მეორე მხრივ, პლასტმასის ბოთლები მცირე წნევის პირობებშიც კი იოლად განიცდიან გარედან დეფორმაციას.

პლასტმასის ბოთლების იოლი მომზადებისა და მანიპულირების საშუალება მათი ექსპერიმენტებში გამოყენების გადამწყვეტი ფაქტორია.

ბოთლები იოლად შეიძლება გადაიხერხოს, გაიბურღოს ან გადაიჭრას კონკრეტული ექსპერიმენტის მოთხოვნილების მიხედვით. უფრო მეტიც, ყოველთვის შესაძლებელია პლასტმასის ბოთლებში ნახვრეტების გაკეთება ცხელი საგნებით და მათი კვლავ ამოვსება ცხელი წებოთი.

ზოგადად, არსებობს განსხვავება თხელკედლებიან და სქელკედლებიან პლასტმასის ბოთლებს შორის. თხელკედლებიან ბოთლებთან მანიპულაცია გაცილებით იოლია, ამიტომაც სქელკედლებიანი ბოთლების გამოყენება თავს არიდებენ ხოლმე. სქელკედლებიანი ბოთლების გამოყენება უმჯობესია, როდესაც საჭიროა მყარი მდგომარეობის შენარჩუნება დეფორმაციის გარეშე (ვილკი, 1998 a).

საჭირო მასალა	ფიზიკის ექსპერიმენტები
პლასტმასის ბოთლი, კოქტეილის ჩხირი, წებო, თხელი ნართი	წყლის ბორბალი ნიუტონის მე-3 კანონის სადემონსტრაციოდ
პლასტმასის მილი მოსახრახნი სახურავით, მილის ნაჭერი, ორი მინის მილი	ნავი ქმედება—უკუქმედების სადემონსტრაციოდ
ქვიშით ან წყლით სავსე პლასტმასის ბოთლი, შეძლებისდაგვარად გრძელი ზონრით, რომელიც სახურავზეა დამაგრებული	ექსპერიმენტი პოტენციური და კინეტიკური ენერგიების ურთიერთგარდაქმნის შესახებ, ან მაგნუსის ეფექტის სადემონსტრაციოდ
წყლით სავსე დიდი თხელი პლასტმასის ბოთლი (ხრახნიანი), პენოპლასტის ცილინდრის ფორმის ნაჭერი, ჭანჭიკი	სითხეში წნევის დემონსტრირებისთვის —კარტეზიული მყვინთავი
პლასტმასის ბოთლი ხრახნიანი საცობით, რეზინის ზონარი, პატარა პროპელერი, ქალაქის სკრეპი, მძივი	მოტორიანი ნავის მოდელი
პლასტმასის ბოთლი, ნემსი, ძაბრი	ექსპერიმენტი წნევის წყლის სვეტის სიმაღლეზე დამოკიდებულებაზე
პლასტმასის ბოთლი ხრახნიანი საცობით, საცობი, U-სებური მინის მილი	გოეთეს ბარომეტრი ატმოსფერული წნევის გასაზომად
სქელკედლიანი პლასტმასის ბოთლი, ველოსიპედის დინამო, მასალა კაბელისათვის, ნათურა	ქარის ტურბინა

ცხრილი 6.1. სხვადასხვა ექსპერიმენტი პლასტმასის ბოთლებით

ცხრილ 6.1.-ში მოცემულია მიმოხილვა, როგორ შეიძლება გამოვიყენოთ პლასტმასის ბოთლები ფიზიკის სხვადასხვა ექსპერიმენტში (ვილკი 1998a, 1998b, 1998c).

ცხრილში ექსპერიმენტული შესაძლებლობების მხოლოდ მცირე ნაწილია ასახული, რომელთა რეალიზება შესაძლებელია პლასტმასის ბოთლების საშუალებით. პლასტმასის ბოთლების ფიზიკურ ექსპერიმენტებში გამოყენების შესახებ უკეთესი წარმოდგენის შესაქმნელად, დაწვრილებითაა განხილული ორი მაგალითი: სეგნერის წყლის ბორბლის და მოტორიანი ნავის აგება.

ვილკის (1998) მიხედვით, შეიძლება ჩატარდეს ნიუტონის მესამე კანონის სადემონსტრაციო ექსპერიმენტი, თუ პლასტმასის ბოთლს შესაბამისად დავამუშავებთ. როგორც უკვე ნაჩვენებია ცხრილ 6.1-ში, საჭიროა მცირეოდენი ლუნვადი ჩხირი (ან კოქტეილის ჩხირი), წებო, წვრილი ნართი და პლასტმასის ბოთლი. ექსპერიმენტის ჩასატარებლად პლასტმასის ბოთლს ძირთან ახლოს უკეთდება სამი 4 მმ ხვრელი, ერთმანეთის მიმართ 120° -ით განლაგებულნი. თითოეულ ამ ხვრელში შეიყვანება ლუნვადი ჩხირი. ერთ-ერთი მხრიდან თითოეული ჩხირის სიგრძე მოკლდება (იხ. სურ. 6.2.). ჩხირები უნდა მიმაგრდეს პლასტმასის ბოთლს წებოს საშუალებით. ჩხირები უნდა მოიხაროს 90° -იანი კუთხით.

ჩხირების ბოლოები უნდა დაიჭმუჭნოს ისე, რომ დარჩეს დაახლოებით 2 მმ სიგანის ღრიჭო. ამის გასაკეთებლად ბოლოები ჯერ მდულარე წყალში უნდა ჩავყოთ. შემდეგ ორი გაცხელებული ბოლო უნდა მტკიცედ მიეწნიხოს ერთმანეთს წყვილი მომჭერით, სანამ ჩხირები საკმაოდ არ გაგრილდება.



სურ. 6.2. ჩხირები პლასტმასის ბოთლში



სურ. 6.3. ბოთლის ძაფვყარილი ხრახნი

ექსპერიმენტის ჩასატარებლად საჭიროა ბოთლი ძაფით დაიკიდოს. ამის გასაკეთებლად რეკომენდირებულია, რომ ბოთლი ჰორიზონტალურად გაიბურღოს. შემდეგ ძაფი უნდა გავატაროთ ბოთლში (იხ. სურ. 6.3). საბოლოოდ, ბოთლი მთლიანად უნდა გავავსოთ წყლით და დავიწყოთ ექსპერიმენტი. უკუსვლა, გამოწვეული გამომდინარე წყლის ნაკადით, იწვევს ბოთლის ბრუნვით მოძრაობას. სხვა მაგალითია მოტორიანი ნავის მოდელი (ვილკი, 1998). როგორც 6.1. ცხრილშია აღწერილი, ამ ექსპერიმენტისთვის საჭიროა პლასტმასის ბოთლი ხრახნიანი თავსახურით, რეზინის ძაფი, რამდენიმე ბურთულა, პლასტმასისგან დამზადებული ნავის პროპელერი და ქალაღდის სკრეპები. ამ მოდელის ასაგებად, პირველ რიგში ბოთლის ფსკერში უნდა გაიხვრიტოს დაახლოებით 2 მმ დიამეტრის ხვრელი. დაახლოებით 5 მ სიგრძის რეზინის ძაფი უნდა გადაეხას ბოლოებით, რათა აიგოს რეზინის ძრავი. საბოლოო რგოლი იხვევა მარყუჟის სახით, რომლის სიგრძე ოდნავ ნაკლებია პლასტმასის ბოთლის სიგრძეზე. შემდეგ ქალაღდის მომჭერი (სკრეპი) იხსნება, რათა დაახლოვოს რეზინის ძაფი. რეზინის მომჭერის ბოლოზე მაგრდება ნავის პლასტმასის პროპელერი ნავის პროპელერის წყლის ქვეშ გასაჩერებლად, პატარა მძივები უნდა დაიდოს ქალაღდის მომჭერზე. საბოლოოდ, ქალაღდის მომჭერი თავსდება ხრახნიანი საცობის ხვრელში და მაგრდება ისე, რომ შესაძლებელი იყოს მასთან რეზინის მარყუჟის მიმაგრება. ხრახნიანი საცობი ენრახნება პლასტმასის ბოთლს მეორე ქალაღდის მომჭერის საშუალებით. დახვეული რეზინის ძაფი გატარდება ბოთლის ფსკერის ხვრელში და მაგრდება (სურ. 6.4).

ხის დამატებითი ნაჭერი გვეხმარება მოტორიანი ნავის მოდელისთვის წონის მომატებაში. უნდა დავრწმუნდეთ, რომ ნავი არ იბრუნებს თავისი გრძივი ღერძის ირგვლივ. მოტორის გაშვება შეიძლება პროპელერის მობრუნებით.



სურ. 6.4. მოტორიანი ნავის მოდელი

7. საოჯახო მაღაზიები, როგორც ექსპერიმენტებისთვის საჭირო აპარატურის წყარო

საოჯახო მაღაზიებში არა მხოლოდ ყოველდღიური საგნები შეიძლება ვიყიდოთ, არამედ იქ შეიძენილი იაფი ნივთები შეგვიძლია სხვადასხვა ტიპის ექსპერიმენტებისთვის გამოვიყენოთ.



სურ. 7.1. მეტალის მილი

პლასტმასის და მეტალის მილები (სურ.7.1.) წარმოადგენს იმ მასალების მაგალითს, რომელთა მოძიება შეიძლება საოჯახო მაღაზიებში. ასევე კარგი მაგალითებია სილიკონი, პოლისტიროლი, მავთული (სურ.7.2), ლურსმნები, ნათურები (სურ.7.3), გამჭვირვალე ან მინის ფირფიტები. საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების სწავლებისას ამ მასალათა გამოყენება მრავალნაირად შეიძლება. ეს მასალები გამოიყენება ექსპერიმენტებში: მექანიკაში, ელექტრონიკაში, ელექტროქიმიაში. მაგალითად, მექანიკის და ოპტიკის კანონების შესასწავლად, ბერკეტის წესის, გამტარობის, ელექტრომაგნიტური მოვლენების სადემოსტრაციოდ. ამ ტიპის ექსპერიმენტებისთვის საჭირო მასალები შეიძლება გამოდგეს სხვა სფეროშიც, მაგ., არეკვლის კანონთან დაკავშირებულ და იმპულსების გადაცემასთან დაკავშირებულ ექსპერიმენტებში (მეცელი, 1990; კუნი & რეხი 2003; მელერტი და სხვა 2001; კიოთე, 2008).



სურ. 7.2. მავთული



სურ. 7.3. ნათურები

დაწვრილებით განვიხილოთ ორი მაგალითი, რომლებშიც გამოიყენება ნივთები საოჯახო მალაზიიდან: ექსპერიმენტი არეკვლის კანონზე და ელექტრომაგნიტის გაკეთება.

კუნის და რეხის (2003) მიხედვით, მუყაოსგან ან პლასტმასისგან დამზადებული ორი მილი, სარკე და ხელის ფანარი საჭიროა არეკვლის კანონის ამსახველი ექსპერიმენტისთვის. დეტალები განლაგებულია ისე, როგორც ეს ნაჩვენებია სურ. 7.4.-ზე. ფანარის გამოყენებით ერთ-ერთი მილის განათების შემდეგ შეიძლება მივიღოთ არეკვლის კანონი.



სურ. 7.4. ექსპერიმენტი არეკვლის კანონზე

მეორე მაგალითია ელექტრომაგნიტის დამზადება მელეტის და სხვ. მიერ (2001). ამისთვის საჭიროა: რკინის ჭანჭიკი, დაახლოებით 2 მ მავთული, 1,5 V ბატარეა და მეტალის მცირე ნატეხები, რომელიც გამოდგება ელექტრომაგნიტის თვისებების შესამოწმებლად. ამ კონსტრუქციის დასამზადებლად, მავთულის ბოლოებზე გაცლილია პლასტიკური იზოლაცია და მიღებულია შიშველი მავთულების ბოლოები. შემდეგ მავთული დაიხვევა ჭანჭიკზე (იხ. სურ. 7.5.), ისე რომ მავთულის შიშველი ბოლოები გადმოკიდებულია ჭანჭიკის ბოლოებიდან.



სურ. 7.5. ზარის მავთულებდახვეული ჭანჭიკი

მნიშვნელოვანია დავრწმუნდეთ, რომ მავთული არ მოძრაობს. თუ საჭიროა, მავთული უნდა მიმაგრდეს ადგილზე საიზოლაციო ლენტით. საბოლოოდ, შიშველი მავთულის ბოლოებს მივუერთებთ ბატარიის დადებით და უარყოფით პოლუსებთან. შემდეგ, გამოვიყენებთ რა ელექტრომაგნიტს, უნდა დავრწმუნდეთ რომ მავთული ბატარეასთან ძალიან დიდი ხნით არ იქნება შეერთებული, რადგან დაახლოებით 1 წუთის შემდეგ მავთულის ბოლოები ცხელდება.

იაფი ტექნოლოგიების გამოყენებით ჩატარებულ ექსპერიმენტებში, ყოველთვის მნიშვნელოვანია რეალური ფასი. ცხრილ 7.1-ში შეჯამებულია ზემოაღნიშნული ზოგერთი მასალის ფასი (მერკატეო, 2011).

ალტერნატიული აღჭურვილობა	ფასები*
პლასტმასის ან მეტალის მილები	0,20 € ან 1,10 € ერთ მეტრში
მავთული	1,50 € 25 მეტრისთვის
ლურსმნები	5 € 100 ცალისთვის
ნათურები	0,30 €
ფანარი	1 € 4 ცალისთვის

ცხრილი 7.1. ექსპერიმენტებისთვის საოჯახო მალაზიებში მოძიებული აღჭურვილობის ფასი

აღსანიშნავია, რომ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს არა მხოლოდ მოძიებული ალტერნატიული აღჭურვილობა. ასევე ძალზე იაფია სახლში არსებული ქიმიური ნივთიერებები. არსებობს მჟავების, კაუსტიკური სოდის, ამონიუმის, კირის, აცეტონის, დენატურატის დიდი რაოდენობა. ეს რეაქტივები ხარისხით და სისუფთავით შეესაბამება საკლასო სამეცნიერო ექსპერიმენტებს. ცხრილ 7.2.-ში ნაჩვენებია თუ რომელი ქიმიური რეაქტივის ჩანაცვლება შეიძლება სახლის ქიმიკატებით. უნდა აღინიშნოს, რომ ეს სია მხოლოდ ზოგად წარმოდგენას გვაძლევს.

ნივთიერება	ალტერნატივა
ჩამქრალი კირი, მალე გამყარებადი ცემენტი	კალციუმის ჰიდროქსიდი
თაბაშირი	კალციუმის სულფატი
გამომშრობი	კალციუმის ქლორიდი
„pH-მინუსი“ (საცურაო აუზისთვის)	ნატრიუმის ჰიდროსულფატი
„კანიფოლი“ მისარჩილავად	ამონიუმის ქლორიდი
ქვანახშირი	ნახშირბადი
გრაფიკული შრეების ამომყვანი	1-მეთოქსი-2-პროპანოლი, შეიცავს 20 დან 50%

ცხრილი 7.2. საოჯახო მალაზიებში მოძიებული ალტერნატიული ქიმიური ნაერთები

ამ ნივთიერებების გამოყენების არეალი ძალზე მრავალფეროვანია. სპირტი წარმოადგენს 96% ეთანოლის ხსნარს და შეიძლება გამოყენებული იყოს, მაგ. იაფფასიან სპირტქურაში. მაშინ გაზქურა აღარ იქნება საჭირო. აცეტონი, სხვადასხვა მჟავები და აღნიშნული ალტერნატიული ქიმიური ნაერთები ხშირად გამოიყენება სხვადასხვა ქიმიური ნაერთების შესაცვლელად. მაგ. შესაძლებელია ნახშირბადის დიოქსიდის სინთეზი კირისა და მჟავისგან (სეილნასტი, 2002). ნახშირბადის განსაზღვრისთვის გამოსაყენებელი კირიანი წყალი შეიძლება დამზადდეს ცემენტისგან. შვედტისა (2001) და კიოტეს (2008) მიხედვით, საჭიროა სწრაფად გამკვრივებადი ცემენტი საოჯახო მალაზიიდან, რომელიც შეიცავს კალციუმის ჰიდროქსიდს, წყალი და ბოთლი. 20 გ ცემენტი იყრება 50 მლ წყალში, შემდეგ ბოთლს ანჯღრევენ და აურევენ მის შიგთავსს. გაუხსნელი მყარი ნივთიერება დაილექება (სურ. 7.6.) და ახდენენ სითხის დეკანტაციას. ფილტრატი შეიძლება გამოვიყენოთ ნახშირბადის დიოქსიდის აღმოჩენისთვის.



სურ. 7.6. სწრაფად გამკვრივებადი ცემენტისგან დამზადებული კირიანი წყალი

საოჯახო მალაზიებში შეძენილი ალტერნატიული ქიმიური ნივთიერებების გამოყენება განსაკუთრებით ეფექტურია ქიმიური ექსპერიმენტებისთვის. სიტუაცია ძალიან მარტივია, რადგან ქიმიური ნივთიერებები შეიძლება მარტივად მოვიპოვოთ. მეტიც, ეს ნივთიერებები ძალიან იაფია, ასე რომ ფინანსური დანაზოგი გარანტირებულია. გარდა ამისა, არსებობს მათი გამოყენების კიდევ ერთი უპირატესობა. ამ გზით მოსწავლეები ისწავლიან, რომ ქიმიური ნივთიერებები საჭიროა, არა მხოლოდ კლასში ქიმიის შესწავლისას, არამედ ყოველდღიურ ცხოვრებაში (შვედტი, 2001).

შეიძლება დავასკვნათ, რომ საოჯახო მალაზიებიდან საგნების და ნივთიერებების გამოყენება შესაძლებელია საბუნებისმეტყველო ექსპერიმენტებში. ამ წიგნში განხილული მაგალითები წარმოადგენს არსებული შესაძლებლობების მხოლოდ მოკლე მიმოხილვას.

თუ საოჯახო მალაზიებში შექნილ ნივთებს შემოქმედებითად გამოვიყენებთ, ისინი უამრავი ექსპერიმენტის ჩატარების შესაძლებლობას მოგვცემს.

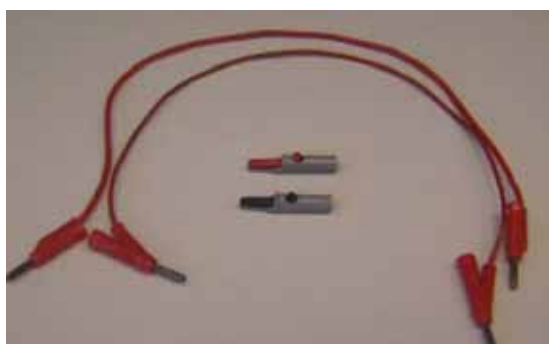
8. ექსპერიმენტული ხედსაწყობები ელექტროტექნიკისის მაღაზიიდან

წინა თავებში განვიხილეთ საოჯახო მაღაზიიდან ის ალტერნატიული მასალები და ქიმიური ნივთიერებები, რომლებიც შეიძლება კარგად გამოვიყენოთ საბუნებისმეტყველო ექსპერიმენტებისთვის. სხვა შესაძლო მასალები შეიძლება მოვიძიოთ ელექტროტექნიკის მაღაზიებში.



სურ. 8.1. მარტივი მულტიმეტრი

ელექტროტექნიკის მაღაზიებში მოსაძიებელი მასალები ადვილად ხელმისაწვდომი და იაფია. მრავალი განსხვავებული საგანი შეიძლება ეფექტურად გამოვიყენოთ საბუნებისმეტყველო ექსპერიმენტებისთვის. მაგ. DC და AC ვოლტმეტრები (სურ.8.1.), ექსპერიმენტული კაბელები (სურ.8.2.), ნიანგისმაგვარი მომჭერები, მაგნიტები (სურ.8.3), ფანრები, ლაზერული მაჩვენებლები, ინდივიდუალური ელექტროქურები, კარტრიჯები, წამბომები, ისევე როგორც გარკვეული კონსოლები და ჭურჭელი.



სურ. 8.2. კაბელები და ნიანგისებრი მომჭერები



სურ. 8.3. მაგნიტები

ელექტროტექნიკის მაღაზიის პროდუქციის გამოყენებით შესაძლებელია მრავალი ექსპერიმენტის ჩატარება ელექტრობის და ელექტროქიმიის სფეროში. მათ შორისაა: ელექტრომოტორის აგება, ელექტროწრედის აგება, გალვანური ელემენტის აგება, სინათლის დიოდები (მოიხსენიება როგორც LEDES) დენის დასაფიქსირებლად (სურ.8.4.) და მულტიმეტრები, რომლებიც გაცილებით იაფია ვიდრე სპეციალური ლაბორატორიული ხელსაწყოები (სურ. 8.1). ამ ხელსაწყოების გამოყენება საკმაოდ მოსახერხებელია გაკვეთილზე ექსპერიმენტისთვის. მაგალითად, საცობისგან მაგნიტური კომპასის გაკეთება, ექსპერიმენტები რხევებზე ან რეფრაქციაზე და არეკვლაზე (შლიხტინგი & უკე, 2004. მელერტი და სხვ. 2001; ტილმანი, 2011; კინინგერი, 2008).



სურ. 8.4. დიოდი

მაგალითად შეიძლება დავასახელოთ, ელექტრომოტორის აგება, ექსპერიმენტი არეკვლის კანონზე და LEDES-ის გამოყენება ძაბვის გასაზომად. შლიხტინგი & უკის (2004) მიხედვით, საჭიროა 1,5 V ბატარეა, ჭანჭიკი, მაგნიტის პატარა ნატეხი და მავთულის ნაჭერი ელექტრომოტორის გასაკეთებლად. თუ ცილინდრულ მაგნიტს და ჭანჭიკს მივუერთებთ ბატარიის ერთ პოლუსს, ხოლო მეორე პოლუსთან მივაერთებთ მავთულის საშუალებით (იხ. სურ. 8.5), მაგნიტი და ჭანჭიკი დაიწყებენ სწრაფ ბრუნვას.

შლიხტინგი & უკის ეს ექსპერიმენტი მიაჩნიათ ელექტრომოტორის აწყობის უადვილეს და უიაფეს საშუალებად. ზოგადად, ელექტრომოტორი წარმოადგენს მავთულის ხვეულის და მაგნიტის რთულ სისტემას. აღწერილი მასალების გამოყენებით

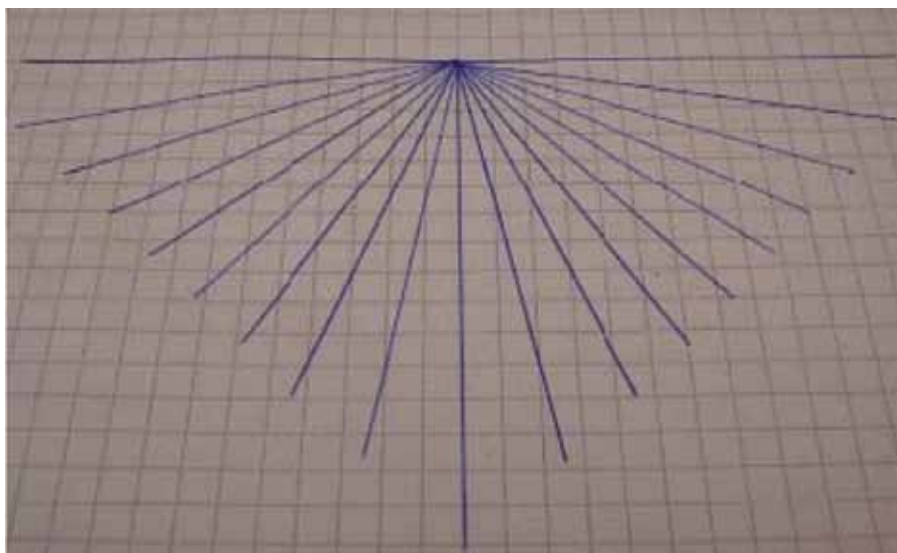
შეიძლება მოდელის აგება, რომელიც რამდენიმე ევრო ელირება. მისი ეფექტურობა დაბალია და კონსტრუქცია არამდგრადია, მაგრამ ის შეესაბამება მაიკლ ფარადეის უძველესი ელექტრომოტორის პრინციპს (შლიხტინგი & უკე, 2004).



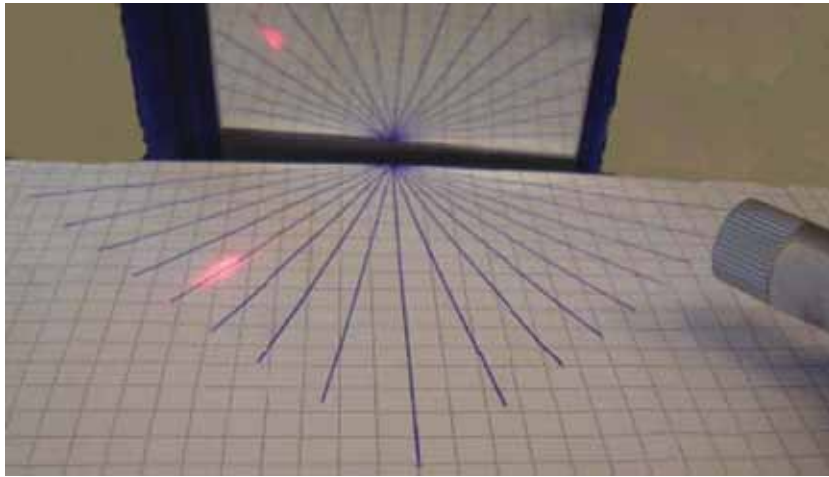
სურ. 8.5. კონსტრუირებული ელექტრომოტორი

მეორე მაგალითია ექსპერიმენტი არეკვლის კანონზე. ამ ექსპერიმენტისთვის საჭიროა სარკე, უჯრედებიანი ქაღალდი, კალმისტარი და ლაზერული საჩვენებელი. ამ უკანასკნელის შეძენა უკვე 1,50 ევროდაა* შესაძლებელი (მერკატეო, 2011).

პირველ რიგში, უჯრედებიანი ქაღალდის ფურცელზე კუთხეები უნდა დახაზოთ (სურ. 8.6), შემდეგ უნდა მოათავსოთ სარკე, როგორც ნაჩვენებია სურ. 8.7-ზე.



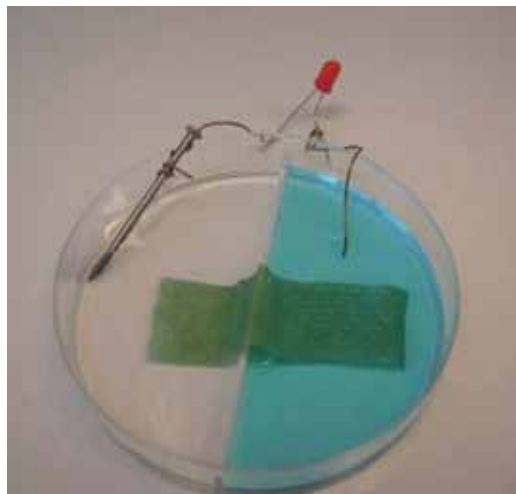
სურ. 8.6. კუთხეების დაყოფა



სურ. 8.7. ექსპერიმენტი არეკვლის კანონზე

ოთახი ჩაბნელებული უნდა იყოს, რათა ლაზერის სხივი გამოჩნდეს, როდესაც ის მიუყვება ერთ-ერთ სხივს. ლაზერის არეკვლილი სხივი გამოჩნდება ქალაქდზე, რასაც მივყავართ არეკვლის კანონამდე.

და ბოლოს, დანიელის ელემენტის დახმარებით შეიძლება იმის ჩვენება, თუ როგორ გამოვიყენოთ დიოდი, როგორც დენის და დაბვის გამზომი. ეს მოითხოვს ორკამერიან პეტრის ჯამს, თუთიის მავთულის ნაჭერს, სპილენძის მავთულის ნაჭერს, საკაბელო მასალას, დიოდს, თუთიის სულფატის და სპილენძის სულფატის ხსნარს. დეტალები განლაგდება იმ თანმიმდევრობით, როგორც ნაჩვენებია სურ. 8.8-ზე.



სურ. 8.8. დანიელის ელემენტი

დიოდის ნათება მიანიშნებს, რომ დაბვა წარმოიქმნა პოტენციალთა სხვაობის შედეგად. დიოდის უპირატესობა ნათურასთან ან მოტორთან შედარებით იმაში მდგომარეობს, რომ ის მოქმედებს ძალიან დაბალი დაბვის პირობებში, ამავდროულად ეფექტი ნათელია მოსწავლეთათვის. ამ თავის ბოლოში განხილულია იმ ალტერნატიული აღჭურვილობის ფასი, რომელიც ამ თავშია განხილული. ცხრილ 8.1-ში ჩამოთვლილია მასალები, რომელიც მოიპოვება ელექტრომაღაზიებში (მერკატეო, 2011, კონრად ელექტრონიკი, 2011).

ალტერნატიული აღჭურვილობა	ფასები*
საექსპერიმენტო კაბელი	3 € ერთ ნაჭერში
ნიანგისებრი დამჭერი	0,50 € ერთი ცალი
მაგნიტები	იწყება 0,15 € ერთეულის ფასი (მოდელზეა დამოკიდებული)
პატარა ფანრები	იწყება 1,20 €
დიოდი	0,04 €
ლაზერული საჩვენებელი	1,50 €
ქურა	10 €
წამზომი	2 €

ცხრილი 8.1. ექსპერიმენტისთვის ალტერნატიული აღჭურვილობის ფასი ელექტროტექნიკის მალაზიიდან

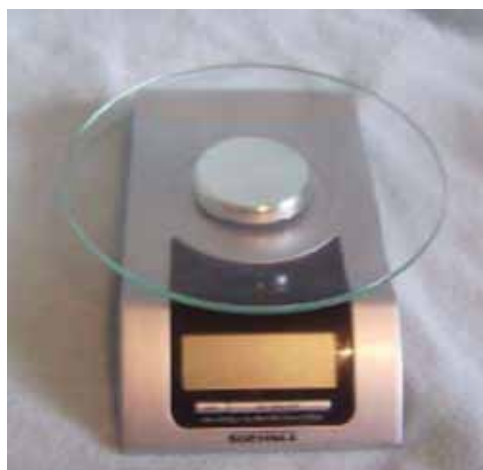
9. იაფი ადტერნატივები რაოდენობრივი კვდევებისათვის

საბუნებსმიტყველო გაკვეთილებზე ხშირად ტარდება რაოდენობრივი გაზომვები. ესენია დროის, მანძილის, ტემპერატურის, დენის ან ძაბვის, ფოტომეტრული გაზომვები, დამუხტვის ან რეაქციის ენტალპიის დადგენა. სხვადასხვა ანალიზური აპარატურის შეძენა მოითხოვს მნიშვნელოვან დანახარჯებს. რაოდენობრივი გაზომვებისთვის ექსპერიმენტული ხელსაწყოების შეძენა შესაძლებელია დაბალ ფასად საოჯახო მაღაზიაში ან ელექტროტექნიკის მაღაზიაში, ან შეიძლება მათი გაკეთება ძალიან ადვილად.

საოჯახო ან მსგავს მაღაზიებში შეიძლება შევიძინოთ ტრადიციული რაოდენობრივი ხელსაწყოების იაფი ალტერნატივა, რომელიც შეიძლება გამოვიყენოთ საბუნებისმეტყველო ექსპერიმენტებისთვის. მულტიმეტრები, ციფრული თერმომეტრები, თარაზო (სურ. 9.1.), სამზარეულოს ციფრული სასწორი (სურ. 9.2) ზემოთ თქმულის მაგალითებია. ეს ხელსაწყოები შეიძლება გამოვიყენოთ ექსპერიმენტში, როგორც ლაბორატორიული აპარატურა. ისინი საკმაოდ ზუსტია საგანმანათლებლო მიზნებისთვის და იოლი გამოსაყენებელია.



სურ. 9.1. თარაზო



სურ. 9.2. სამზარეულოს სასწორი

მულტიმეტრების მარტივი მოდელები, რომლებითაც შესაძლებელია გაიზომოს ძაბვა, დენის ძალა და წინაღობა, შეიძლება შეიძინო იქნას 10 ევროზე* იაფად (მერკატეო, 2011). ზოგიერთი ხელსაწყო უშუალოდ შეიძლება შეუერთდეს კომპიუტერს მონაცემების აღსარიცხავად. მაგ., ციფრული მულტიმეტრი "Digitek DT 4000 ZC". ამ მოდელს ახასიათებს შესაძლებლობების ძალიან ვრცელი არეალი და აქვს გაზომვების ვრცელი შესაძლებლობები. ის საშუალებას იძლევა გაიზომოს DC (მუდმივი დენი) და AC (ცვლადი დენი). წინაღობას, ტევადობას, სიხშირეებს 10 მჰც-მდე, ტემპერატურას 750°C-მდე, ხელმისაწვდომია დაახლოებით 40 ევროდ* (ELV Elektronik, 2011). ერთი შეხედვით ეს ფასი შედარებით მაღალი ჩანს, მაგრამ მისი გამოყენება მრავალმხრივია შესაძლებელი.

რაოდენობრივი გაზომვებისთვის აპარატურა აკვარიუმების მაღაზიებშიც მრავლადაა. ასეთ მაღაზიებში შეიძლება შევიძინოთ მულტიმეტრები, რომლითაც გაიზომება pH-ის მნიშვნელობები. თუმცა, ისინი შედარებით ძვირია, დაახლოებით 150 ევრო* თითოეულ ერთეულზე (შნაიდერბანგერი, 2011). არსებობს შედარებით იაფი და სწრაფი ტესტერები, მათი გამოყენება იოლია და შეიძლება შესწავლილ იქნეს pH-ის სიდიდეები ან ნიტრატების კონცენტრაციები წყალხსნარებში.

თუმცა ზოგიერთი გამზომი ხელსაწყო კონსტრუირება ადვილად შესაძლებელია იაფი ალტერნატივების საშუალებით. კაპენბერგის (2011) მიხედვით შესაძლებელია გამტარობის გამზომი ხელსაწყო მარტივად კონსტრუირება, ასევე იაფი კალორიმეტრის, იაფი ფოტომეტრის იასტის (1990) მიხედვით და იაფი გაზ-ქრომატოგრაფის. ეს უკანასკნელი შეიძლება შევიძინოთ ან თვითონვე დავამზადოთ. კაპენბერგი (2011) გვთავაზობს ხელსაწყოების შეძენის და დამზადების რამდენიმე ვარიანტს. ანალიზატორი შეიძლება შეიძინო იქნას 350 ევროდ*. სტანდარტული გაზ-ქრომატოგრაფები, რომელთა მსგავსი გამოყენება ლაბორატორიებში, ღირს რამდენიმე ათასი ევრო* (ნოიბერტი, 2011). ამგვარად, იაფი გაზ-ქრომატოგრაფის შეძენით შეიძლება დიდი თანხის დაზოგვა. კაპენბერგი (2011) გვთავაზობს ამ ხელსაწყო თვითნაკეთ ვარიანტს. აქ აღწერილია სამედიცინო წარმოების ხელსაწყოების ბაზაზე გაზ-ქრომატოგრაფის აგების იაფი გზა. ასეთი ხელსაწყო მთლიანობაში ღირს 50 ევროზე ნაკლები*. კაპენბერგი (2011) აღწერს, რომ თვითნაკეთი გაზ-ქრომატოგრაფი შესაძლებელია სხვადასხვა ანალიტიკური მიზნებით იქნას გამოყენებული. კაპენბერგის მიხედვით კარგი შედეგებია მიღებული შემდეგ სასკოლო ექსპერიმენტებში:

- მანათობელი გაზის ანალიზი;
- ალკინებისა და ალკენების კატალიზური ჰიდროგენიზაცია;
- ბუნებრივი გაზის (მეთანის) ფოტოქლორირება;
- პლასტმასების პიროლიზი (PE ფილმი);

უნდა აღინიშნოს, რომ აქროლადი კომპონენტები სწრაფად ორთქლდება და ცვლის ქრომატოგრაფით განსასაზღვრი გაზის შედგენილობას. ამ ნაკლის მიუხედავად, წარმოდგენილი საანალიზო ხელსაწყო მოსწავლეებს ეხმარება, რათა იოლად გაიგოს ამ აპარატურის ფუნქციონირების პრინციპი.

მაგალითისთვის აღვწეროთ თვითნაკეთი ხელსაწყოების გამოყენებით შესრულებული გაზომვები ნარევის სითბოს და დნობის სითბოს განსაზღვრისათვის. პლასტმასის ქიქა უნდა ჩაიდოს შესაბამის ქიმიურ ქიქაში (სურ. 9.3). ამ კალორიმეტრის უპირატესობა ისაა, რომ ის ძალზე მსუბუქია. ამის გამო, შესაძლებელია სითხეების

უშუალოდ აწონვა. ჩვეულებრივ გამოყენებულ დიუარის ჭურჭელთან შედარებით, მათ გააჩნიათ ის უპირატესობა, რომ ექსპლოატაციისას მათთან მუშაობა უსაფრთხოა (მაისენბახერი, 2011). გარდა ამისა, დაბალი ფასი აქვს, რამდენიმე ცენტი*– პლასტმასის ჭიქაში და 1,5 ევრო* ქიმიურ ჭიქაში (მერკატეო, 2011). დიუარის ჭურჭელი კი რამდენიმე ასეული ევრო ღირს. რეაქციის ენტალპიის განსაზღვრისთვის, იაფი კალორიმეტრის გარდა საჭიროა მხოლოდ სასწორი, წამზომი და თერმომეტრი. სასურველია ჭურჭელი გარედან იზოლირებული იყოს პენოპლასტით. ჭურჭელში ჩავასხათ 50 გ წყალი და ტემპერატურას დავაკვირდეთ მანამდე, სანამ ის არ შეწყვეტს ცვლილებას. შემდეგ, 40°C-ის ტემპერატურის თბილი წყალი უნდა ჩავასხათ მეორე იაფ კალორიმეტრში. აქაც საჭიროა ტემპერატურის მონიტორინგი და ჩაწერა. 3-4 წუთის შემდეგ დაემატება ცივი წყალი. ტემპერატურა უწყვეტად უნდა ჩაიწეროს ერთნაირი ინტერვალებით. ექსპერიმენტის მიმდინარეობისას აუციელებელია უზრუნველყოფილი იქნეს კარგი შერევა. ამის გაკეთება კი შესაძლებელია ან მაგნიტური შემრევით, ან პლასტმასის წკირის მეშვეობით.



სურ. 9.3. იაფი კალორიმეტრი

აღწერილი მიდგომა კარგ და იაფ ალტერნატივას წარმოადგენს.

10. საოჯახო პირობებში მოძიებული ნივთიერებებით ჩატარებული ექსპერიმენტები

საოჯახო პირობებში მოძიებული ჭურჭლის გამოყენების შესახებ სამეცნიერო ექსპერიმენტებში უკვე ვისაუბრეთ. საოჯახო მეურნეობიდან შესაძლებელია მრავალი სხვა ნივთის გამოყენებაც. სამზარეულოს დაბრები, ბალის მოსარწყავი მილები, მარმარილო, მძივები, ბუშტები, ალუმინის ფოლგა, ყავის ფილტრები, მარკერები, მინის ბრტყელი თეფშები და სარკეები ამის მაგალითებს წარმოადგენენ. მათი გამოყენების ძირითადი უპირატესობა მათ ხელმისაწვდომობაში გამოიხატება. შესაბამისად, მოსწავლეებს შეუძლიათ სახლშიც ჩატარონ ექსპერიმენტები. ამ ნივთების ყიდვა სუპერმარკეტშიც იაფად შეიძლება.

მრავალი წიგნი არსებობს, სადაც აღწერილია ექსპერიმენტები საოჯახო საგნების გამოყენებით. მაგ. პრესი (1995), ჰეუერი (2010), არდლი (1997), კიოტე (2008) და რუტერი (2009), მათი მეთოდები წარმატებით გამოიყენება ფიზიკის, ქიმიის და ბიოლოგიის სწავლებაში. ტილმანმა (2011) აღწერა რამდენიმე ექსპერიმენტი, რომელიც შეიძლება ჩატარდეს ყოველდღიური ყოფიდან მოძიებული საგნებით. მოვიყვანოთ რამოდენიმე მაგალითი.



სურ.10.1. ბგერის აღქმელის ალტერნატიული კონსტრუქცია

ფიზიკოსებისთვის შერჩეულია ექსპერიმენტი ბგერის აღქმიდან და ოპტიკიდან. პირველი ექსპერიმენტის ჩასატარებლად საჭიროა სამზარეულოს ორი დაბრი, საი-ოზოლაციო ლენტი, ორი პლასტის მილი და ხის ჯოხი. თითოეულ დაბრზე ჩამოცმულია პლასტიკის მილი, რომელიც თავის მხრივ მიმაგრებულია ხის ჯოხთან (სურ. 10.1). ბგერითი ტალღები, რომლებიც მარცხნიდან მოდიან, ამ კონსტრუქციის მეშვეობით შეიძლება მიმართული იყოს მოსწავლის მარჯვენა ყურისკენ ან პირიქით.

მეორე მაგალითია ოპტიკის სფეროდან. თეფშის, ფანრის, მუყაოს თეთრი ყუთის და სარკის საშუალებით შეიძლება ცისარტყელას მიღება სინათლის სპექტრით (არდლი, 1997). ექსპერიმენტის ჩატარებისთვის ჯერ უნდა ჩაბნელდეს ოთახი, სარკე წყლიანი მინის ლარნაკის ქვეშ უნდა მოთავსდეს და მიმაგრდეს თიხით. შემდეგ, ფანრით უნდა განათდეს სარკის ქვედა ნაწილი, რომელიც წყლითაა დაფარული. ცისარტყელა ხილული ხდება, როცა თეთრ მუყაოს ყუთს დავიჭერთ ლარნაკის ზემოთ (სურ.10.2).



სურ. 10.2. ცისარტყელას წარმოქმნა

ქიმიაში წარმოდგენილია ქრომატოგრაფიის მარტივი ექსპერიმენტი. მარკერის საღებავი შეიძლება ქრომატოგრაფიულად დავშალოთ შემადგენელ კომპონენტებად. საჭიროა მარკერი, ჭიქა და ყავის ფილტრი. ქაღალდზე უნდა დაიხაზოს სქელი ხაზი. ყავის ფილტრი ჩაკიდებულია ჭიქის კიდებზე და ჩაძირულია წყალში, როგორც ნაჩვენებია სურ.10.3.-ზე (ტელმანი, 2011). როდესაც წყალი შეიწოვება მარკერის საღებავის კომპონენტები სხვადასხვაგვარად ნაწილდება, რაც გამოიხატება სხვადასხვა ქრომატოგრამით (სურ.10.4). ყავის ფილტრის გაშრობის შემდეგ, შეიძლება განისაზღვროს საღებავის შემადგენელი კომპონენტები ქრომატოგრამიდან.



სურ. 10.3. იაფი ქრომატოგრაფი



სურ. 10.4. ქრომატოგრაფია

ასევე, შეიძლება ჩატარდეს ექსპერიმენტი ნატრიუმის აცეტატის ტრიჰიდრატიტ გავსებული სათბურას გაცხელებით (ფიშერი, 2011). თუ მეტალის ფირფიტა, რომელიც მასში მდებარეობს მოხრილია, კრისტალიზაცია ინიცირდება, რასაც გარკვეული სითბოს გამოყოფა ახლავს თან. ავტორის აზრით, ტემპერატურის საერთო ზრდა შეიძლება იყოს 35°C , რაც კრისტალიზაციითაა განპირობებული. თუ კრისტალიზაცია დასრულებულია და სათბურა გაციებულია, ცხელი წყლის საშუალებით ენერჯის მიწოდებისას კრისტალები შეიძლება გაიხსნას და კრისტალიზაციის პროცესი შეუქცევადი გახდეს. გაცხელებისთვის შეიძლება ცხელი-ცივი კომპრესების გამოყენება, რომლებიც მიკროტალღოვან ღუმელში ცხელდება ან ცივდება მაცივარში. ასევე შეიძლება თვითგამაცხელებელი ფინჯნების გამოყენება, რომლებშიც შეიძლება სითხეების გაცხელება.

გამაცხელებელი და გამაცივებელი სათბურა, კომპრესები და თვითგამაცხელებელი ფინჯნები დაბალ ფასებშია ხელმისაწვდომი (მერკატეო 2011) ან ხელმისაწვდომია საოჯახო მეურნეობაში. ეს ნიმუშები შეიძლება გამოვიყენოთ რაოდენობრივ ანალიზში და მათი გამოყენების შესაძლებლობები მრავალფეროვანია. დამატებით, მაგალითად განვიხილოთ ექსპერიმენტი, სადაც სათბურა გამოყენებულია ტემპერატურის ცვალებადობისას გაზების მოქმედების ასახსნელად. ამისთვის საჭიროა ბოთლი, კოქტეილის ჩხირები, წებო და სათბურა. ბოთლი ნახევრად შევსებულია შეფერილი წყლით, ჩალის ღერო სპეციალურად გაკეთებულ ხვრელშია გატარებული, ბოთლის ღია ნაწილი კი თიხითაა ამოლესილი (კიოტე 2008). სურ.10.5. აჩვენებს აღწერილი ექსპერიმენტს. სათბურას დახმარებით შეიძლება ბოთლის შიგნით მყოფი ჰაერის გაცხელება (სათბურა ბოთლის გარე კედელზე უნდა დავამაგროთ). ბოთლში ჰაერის გაფართოება ნაჩვენებია წყლის დონის ცვლილებით კოქტეილის ჩხირში.

გარდა აღჭურვილობისა, რომელთა მოძიებაც შესაძლებელია საოჯახო მაღაზიებში ან თუ თვით ოჯახებში, აქვე შესაძლებელია იმ ნივთიერებების მოძიებაც, რომლებიც შეცვლიან ქიმიურ რეაქტივებს. ამ სფეროდან მრავალი ალტერნატივის გამოყენებაა შესაძლებელი მუჯავების და ფუძეების ქიმიკაში. მაგ., წითელი კომბოსტოსგან, ბოლოკისგან, ვარდისგან ან ჩაისგან შეიძლება დამზადდეს ინდიკატორები. წითელი კომბოსტოსგან ინდიკატორის დამზადება სახლში იოლია. საჭიროა წითელი კომბოსტო, მეთილირებული სპირტი და ქვაბი. კომბოსტო იჭრება მცირე ზომის ნაჭრებად და იდება ქვაბში, სადაც მეთილირებული სპირტია მოთავსებული. უნდა იდულოს 5-10 წუთი. ამის შემდეგ, მეთილირებული სპირტის წითელი წყალხსნარი შეიძლება გამოყენებულ

იქნას ინდიკატორად. დამზადებული თვითნაკეთი ინდიკატორის მეშვეობით შეიძლება ოჯახში მოხმარებული სითხეების (საპნის ხსნარი, სუფრის მარილის ხსნარი, განზავებული ძმარმჟავა ან ობის საწინააღმდეგო ხსნარში) pH-ის შემოწმება (პრესი, 1995; შვედტი, 2003). სურ. 10.6.-ზე ნაჩვენებია ფერის შკალა, რომელსაც წითელი კომბოსტოს ინდიკატორი ავლენს საპნის ხსნარში, სუფრის მარილის ხსნარში, მეთილირებულ სპირტში, განზავებულ ძმარმჟავაში და ობის საწინააღმდეგო ხსნარში.

ასეთი ინდიკატორი კიდევ მრავალნაირად შეიძლება გამოვიყენოთ. შვედტმა (2001,2003) შემოგვთავაზა ქლორის აირის, აზოტის და წყალბადის სინთეზი. ასევე საცხობი სოდისგან და განზავებული ძმარმჟავასგან ვულკანის კონსტრუქცია, ან კარტოფილის საშუალებით დენის მიღება (პრესი, 1995). ზოგიერთი ავტორი გვირჩევს სოდის გამოყენებას სტალაქტიტის ეფექტის მისაღებად.



სურ.10.5.

აირების თვისებების შესწავლა ტემპერატურის ცვლილებისას

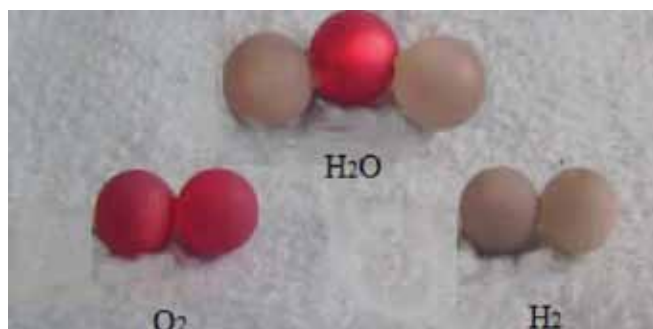


სურ. 10.6. წითელი კომბოსტოს ინდიკატორის ფერთა შკალა სხვადასხვა საოჯახო მოხმარების ხსნარში

როგორც აღინიშნა, ალტერნატიული ქიმიური ნაერთების შექმნა იოლია, რადგან გამოიყენება მხოლოდ იაფი პროდუქტები სუპერმარკეტიდან. ამგვარი პროდუქტების

გამოყენებით მოსწავლეები სწავლობენ, რომ ქიმია არის არა მხოლოდ ქიმიის გაკვეთილებზე კლასში, არამედ ყოველდღიურ ცხოვრებაში. ამგვარი მიდგომის ნაკლოვანებებიც უნდა აღინიშნოს. ზოგჯერ ქიმიური ნივთიერებების ალტერნატიული ჩამნაცვლებებით (ყოველდღიური ყოფიდან) ჩატარებული ქიმიური ექსპერიმენტების ეფექტები უფრო სუსტია. ეს ხდება ქიმიურ ნივთიერებებთან შედარებით მათი დაბალი სისუფთავის გამო.

საყოფაცხოვრებო ნივთებისგან შეიძლება ასევე მარტივი მოდელების დამზადება. მაგ., მძივებისგან და ბურთულებისგან მზადდება მოლეკულათა მოდელები (სურ.10.7).



სურ.10.7. ბურთულებისგან დამზადებული მოლეკულების მოდელები

ამ გზით ბიოლოგიური მოდელებიც კი შეიძლება დამზადდეს, მაგ., თვალის მოდელი. ამ მოდელის მეშვეობით მოსწავლეები სწავლობენ თვალის ფუნქციონირებას. ამ მოდელისთვის საჭიროა მუყაოს ყუთი, საიზოლაციო ლენტი, ლუპა, წებო, ქალაღის ხელსახოცი, ფანარი, მრგვალი ლარნაკი (ან მინის ჩაიდანის) (არდლეი, 1997). ლარნაკს გარე ზედაპირზე ეკრობა ქალაღის ხელსახოცი, ფიგურა გამოჭერით მუყაოს ყუთისგან. შემდეგ, ლარნაკი, ლუპა და გამოჭრილი ფიგურა ისე განლაგდება და ფიქსირდება თიხის საშუალებით, როგორც ნაჩვენებია სურ. 10.8.-ზე.



სურ. 10.8. თვალის მოდელი

თუ ფანარის სხივებს გამოჭრილი ფიგურისკენ მივმართავთ, იგივე ფიგურა გაჩნდება ქალაღის ხელსახოცზე, მხოლოდ 180°-ით შემობრუნებული. ლუპას თვალის ბროლის ფუნქცია გააჩნია. ლუპის მოძრაობით შესაძლებელია ქალაღის ხელსახოცზე მყოფი ანარეკლის ფოკუსირება (არდლეი, 1997).

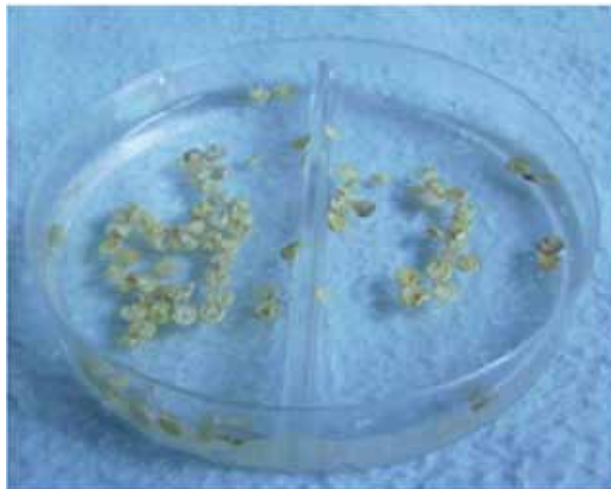
11. იაფი ტექნოლოგიების გამოყენება ბიოლოგიურ ექსპერიმენტებში

წინა თავებში განვიხილეთ მრავალი ტექნოლოგია, რომელიც იაფი ექსპერიმენტების საშუალებას იძლევა. მაგალითისათვის განვიხილეთ რამოდენიმე ექსპერიმენტიც, თუმცა მათ შორის ნაკლებად იყო ბიოლოგიის ექსპერიმენტები. ამ თავში მათ უფრო ვრცლად განვიხილავთ. ბიოლოგიის შესწავლის პროცესში სასწავლო ექსპერიმენტებში შეიძლება გამოვიყენოთ იაფი მასალა. მაგ., სუნთქვის მოდელი საპერისა და ვინ-ჰილმის (2001) მიხედვით.

ქიმიური და ფიზიკური ექსპერიმენტებისგან განსხვავებით, არსებობს უამრავი ბიოლოგიური ექსპერიმენტი, რომელიც შეიძლება ჩატარდეს მცენარეებზე, ფოთლებზე, ღეროებზე ან ხილზე. შვედტის (2007), ხაპერის და ვილდჰალმის (2001) და ვაილდის (1999) მიხედვით ამის მაგალითებია: ესენციების სენსორული აღმოჩენა, ექსპერიმენტი კაროტინოიდებზე, ექსპერიმენტი ტურგორზე და მცენარეებში აორთქლების აღმოჩენაზე, ჟანგბადის წარმოქმნის დამტკიცება ფოტოსინთეზის დროს.

ამ ექსპერიმენტებისთვის საჭირო მცენარეების ნაწილები ადვილად შეგროვდება პარკში ან სკოლის ეზოში. ასევე, კლასში შეიძლება მივიტანოთ ქოთნის ყვავილები, რათა ახალი ფოთლები მუდმივად ხელმისაწვდომი იყოს. მრავალი ხილის და ყვავილის შეძენა სუპერმარკეტებშიც შეიძლება ასევე დაბალ ფასად.

ხშირ შემთხვევაში მოსწავლეებისათვის ხელმისაწვდომი უნდა იყოს მცენარეთა ნერგები ან აღმონაცენები. კეილისა და კრემერის (2004) მიხედვით ისინი შეიძლება თვითონვე აღმოცენდნენ. ამისთვის საჭიროა, სასურველი თესლი ნახევარი ღლის განმავლობაში წინასწარ დავალბოთ ონკანის წყალში ოთახის ტემპერატურაზე (სურ. 11.1.). შემდეგ თესლები პეტრის ჯამზე დაფენილ სველ საშრობ ქაღალდზე უნდა მიმოვფანტოთ. ისინი ოთახის ტემპერატურაზე აღმოცენდებიან, დაახლოებით 25°C-ზე. 1-2 საათის შემდეგ დაახლოებით 2 დუიმის სიგრძის ფესვები გაეზრდებათ. ამის შემდეგ, ჩითილი შეიძლება მოთავსდეს სასუქიან ხსნარში. ასეთ ხსნარში ისინი 5-დან 8 ღლის განმავლობაში გაიზრდებიან, სანამ შესაძლებელი გახდება მათი გამოყენება ექსპერიმენტში.

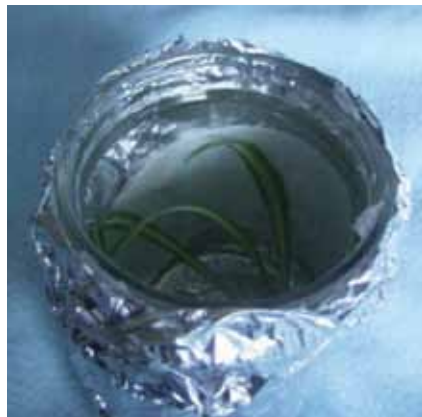


სურ. 11.1. წიწაკის თესლები დაკვირვების წინ

მცენარეებთან ან მათ ნაწილებთან ექსპერიმენტის უკეთ გასაგებად მოვახდინოთ ჟანგბადის აღმოჩენის დემონსტრირება, რომელიც მიიღება ფოტოსინთეზის შედეგად და წიწაკიდან კაროტინოიდების ექსტრაქციის შედეგად. პირველი ექსპერიმენტისთვის საჭიროა მცენარის ნერგი, რომელიც მალე არ ხმება, სამი თავსახურიანი ჭიქა, სამი სანთელი, კბილის სამი საჩიჩქნი, კოქტეილის ჩხირი, ალუმინის კლიტა, წამზომი და ონკანის წყალი. კბილების საჩიჩქნი თავსდება ალუმინის ჭიქასა და სანთლებს შორის (სურ.11.2). კბილების საჩიჩქნის საშუალებით ხდება სანთლის სწრაფი გადატანა. კბილების საჩიჩქნის სიგრძე ისეთია, რომ ჩაეტიოს დახურულ ქილაში. შემდეგ ქილები დაიფარება ალუმინის კლიტით (სახურავს მოვაცილებთ) და ივსება ონკანის წყლით. ერთ-ერთი ქილა, რომელიც გამიზნულია შედარებისთვის, იხურება. მეორე ქილაში თავსდება მცენარის ნერგი (სურ. 11.3.) და ასევე იხურება. უკანასკნელ ქილაში, კოქტეილის ჩხირის საშუალებით ამოსუნთქული ჰაერი უნდა დაგროვდეს და ქილა ასევე დაიხუროს.



**სურ.11.2. სანთელი
კბილების საჩიჩქნით**



**სურ. 11.3.
მცენარის ნერგი
ჩაბნელებულ ქილაში**

სამივე ქილა რამდენიმე დღე ფანჯარასთან უნდა დაიდგას. შემდეგ გაკვეთილზე სანთლების საშუალებით ერთმანეთს უნდა შეადართოთ ქილებში ჟანგბადის რაოდენობა.

შვედტის (2007) მიხედვით, წიწაკიდან კაროტინოიდების ექსტრაქციისთვის საჭიროა: სხვადასხვა ფერის წიწაკა, მეთილირებული სპირტი, ეპენდორფის ჭურჭელი და სამართებელი. წიწაკები დანით ძალიან მცირე ზომის ნაჭრებად იჭრება. რამდენიმე ნაჭერს ეპენდორფში ათავსებენ. ჭურჭელს მეთილირებული სპირტით აავსებენ და ინტენსიურად ანჯღრევენ. კაროტინოიდები გაზობრივ ფაზაში გროვდება, ხოლო ქსანტოფილები რჩება ეთანოლის წყალხსნარის ფაზაში.

ბიოლოგიის გაკვეთილებზე არა მარტო მცენარეები განიხილება, არამედ სხვა სასიცოცხლო პროცესებიც. კერძოდ, ადამიანის გრძნობის ორგანოების განხილვისას შესაძლებელია მცირე „თვით ექსპერიმენტის“ ჩატარება იაფი ტექნოლოგიების გამოყენებით.



სურ. 11.4. წითელი წიწაკის (მარცხნივ) და მწვანე წიწაკის (მარცხნივ) ელექტრაცია

განვიხილოთ ექსპერიმენტი სივრცის მხედველობით აღქმაზე. ამის ილუსტრაცია სტერეოსკოპული ხედვის მაგალითზე შეიძლება მოვახდინოთ. საპერისა და ვიდჰალმის (2001) მიხედვით, ამ ექსპერიმენტისთვის საჭიროა ფარდის რგოლი, თოკი და ფანქარი. ფარდის რგოლი თოკზე ისეა ჩამოკიდებული, რომ „ცდის პირი“ მას კარგად ხედავდეს (სურ. 11.5.). „ცდის პირი“ ხუჭავს ცალ თვალს და ცდილობს გაატაროს ფანქარი ფარდის რგოლში მეორე ხელით.



სურ.11.5. ექსპერიმენტი სივრცით ხედვაზე

შემდეგი მაგალითების სახით, ავტორები გვთავაზობენ ჩავატაროთ ექსპერიმენტები: აკომოდაციაზე, მიმართულ სმენაზე, მოძრაობის კოორდინირებაზე ან მოსწავლის ყნოსვის შეგრძნების ატროფიაზე. მთლიანობაში, შეიძლება ითქვას, რომ ამ თავში წარმოდგენილი ყველა ექსპერიმენტი, მცირე გამონაკლისის გარდა, მიჰყვება იაფფასიანი ექსპერიმენტების პრინციპს. მცენარეების და ნერგების გამოყენება, ისევე, როგორც მოსწავლეების ექსპერიმენტებში ჩართვა, უფასოა. სხვა გამოყენებული მასალების ღირებულება ძალზე მცირეა.

უნდა აღინიშნოს აუცილებლად, რომ აქ განხილული მაგალითები მხოლოდ სასკოლო ბიოლოგიური ექსპერიმენტების ნაწილია. მიკროსკოპი ბიოლოგიაში ძალზე მნიშვნელოვანია, არსებობს უამრავი ექსპერიმენტული კვლევა, სადაც მიკროსკოპი შეუცვლელია (ვაილდი, 1999, საპერიგვიდჰალმი, 2001). ამ ხელსაწყოს შეძენა მნიშვნელოვან დანახარჯებს მოითხოვს. ერთი მიკროსკოპი 200 ევრომდე* ღირს (ჰენკელი, 2003).

თუმცა, გაცილებით იაფად შეიძლება სხვა ხელსაწყოების შეძენა ნაკლები გამადიდებელი ეფექტით (ტილმანი, 2011). არსებობს მარტივი მიკროსკოპები 20 ევროდ*, რომელიც ფასის 10-ჯერ შემცირებას შეესაბამება. ჰენკელმა (2003) დეტალურად არჩენა, რომ ბევრი ძვირადღირებული მიკროსკოპი დაბალხარისხიანია და ვერ აკმაყოფილებს ბიოლოგიის გაკვეთილების სტანდარტს. ეს გამოიხატება გადიდების შემცირებულ უნარში, უხარისხო დიზაინსა და ცუდ ოპტიკაში. ჰენკელმა (2003) ასევე შემოიტანა წინადადება, რომ მიკროსკოპი შეიცვალოს ლუპით, განსაკუთრებით მცირე ასაკობრივ ჯგუფებში (სურ. 11.6.). ლუპა დაახლოებით 10-ჯერ ადიდებს, მაღალხარისხიანი ლუპა შეიძლება შევიძინოთ 10 ევროზე* იაფად (ჰენკელი, 2003).

ლუპის გამოყენების დამატებითი უპირატესობა იმაშიც მდგომარეობს, რომ ისინი გაცილებით მდგრადია. ასე რომ, იმ მოსწავლეებისათვის, რომლებსაც ჯერ არ გააჩნიათ ძვირ ხელსაწყოებთან მუშაობის უნარი, ძალიან გამოსადეგია ლუპა.



სურ. 11.6. ლუპა

* სახელმძღვანელოში ფასები მოცემულია გერმანიისათვის)

ბიბლიოგრაფია

- Apotheke am Wolfsanger. (2006). *Online-Apotheke*. Accessed on 24th July 2011: <http://www.medizinwiesel24.com/>.
- Ardley, N. (1997). *101 spannende Experimente aus Wissenschaft und Technik*. Bindlach: Loewe-Verlag.
- Bader, H. J. (2003). Nachhaltigkeit und nachhaltiges Arbeiten. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie*, 52 (3), 16 - 20.
- Bradley, J. D., Durbach, S., Bell, B., & Mungarulire, J. (1998). Hands-On Practical Chemistry for All - Why and How. *Journal of Chemical Education*, 75 (11), 1406 - 1409.
- Bradley, J. (2006). The Microscience Project and its Impact on Pre-service and In-service Teacher Education. In M. Hugerat, P. Schwarz, & P. Livneh, *Microscale Chemistry Experimentation for all Ages* (S. 26 - 39). Haifa: Tha Academic Arab College for Education.
- Brand, B. H. (2010). *BRANDs CHEMIE*. Accessed on 24th July 2011: <http://www.bhbrand.de/index.php>.
- Choi, M. M. (2002). Microscale Chemistry in a Plastic Petri Dish: Preparation and Chemical Properties of Chlorine Gas. *Journal of Chemical Education*, 79 (8), 992 - 993.
- ConradElektrik. (2011). *Conrad. Voller Ideen*. Abgerufen am 27. August 2011 von http://www.conrad.de/ce/de/?insert_kz=NA&hk=SEM&WT.srch=1&gclid=CLu1jMak76oCFYIXzQodfyE7PA.
- du Toit, M., & du Toit, C. (2006). Microscale Experiments using a STUDENT LAB. In M. Hugerat, P. Schwarz, & M. Livneh, *Microscale Chemistry Experimentation for all Ages* (S. 103 - 108). Haifa: The Academic Arab College for Education.
- Eckert, B., Stetzenbach, W., & Jodl, H.-J. (2000). *Low Cost - hightech. Freihandversuche Physik. Anregungen für einen zeitgemäßen Unterricht*. Köln: Aulis-Verlag.
- Eilks, I., Fischer, H., Hammann, M., Neuhaus, B., Petri, J., Ralle, B., et al. (2004). Forschungsergebnisse zur Neugestaltung des Unterrichts in den Naturwissenschaften. In H. Bayrhuber, *Konsequenzen aus Pisa. Perspektiven der Fachdidaktiken* (S. 197 - 216). Wien: Studienverlag.
- El-Marsafy, M. K. (2004). Mikrochemische Maßanalyse. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 81, 16 - 19.
- ELV-Elektronik. (2011). *ELV - Kompetent in Elektronik*. Accessed on 28th August 2011: <http://www.elv.de/output/controller.aspx>.
- Ferdinand, P. (2007). *Selbstgesteuertes Lernen in den Naturwissenschaften. Eine Interventionsstudie zu den kognitiven und motivationalen Effekten eines Blended Learning Ansatzes*. Hamburg: Verlag Dr. Kovac.
- Fischer, O. (2011). *Wissenschaft in die Schulen*. Accessed on 24th July 2011: <http://www.wissenschaft-schulen.de/>.
- Full, R. (1996). Lichtblicke - Petrischalenexperimente in der Overhead-Projektion. *Chemie in unserer Zeit*, 30 (6), 286 - 294.

- Häusler, K., Rampf, H., & Reichelt, R. (1995). *Experimente für den Chemieunterricht - mit einer Einführung in die Labortechnik*. München, Düsseldorf und Stuttgart: Oldenbourg (2. Auflage).
- Henkel, K. (14. Juni 2003). *Die Mikrofibel*. Accessed on 28th August 2011: <http://www.mikroskopie-muenchen.de/mikrofibel.pdf>.
- Heuer, (2010). *Spectacular Experiments & Mad Science Kids Love: Science That Dazzles at Home, School or on the Go*. Bloomington: Authorhouse.
- Joling, E. (2006). Introduction of Microscale Chemistry in the Netherlands. In M. Hugerat, P. Schwarz, & M. Livneh, *Microscale Chemistry Experimentation for all Ages* (S. 183 - 197). Haifa: The Academic Arab College for Education.
- Just, N. (1990). Low-Cost-Experimente - Teil 4: Das Photometer in der Zigarrenkiste - eine Anleitung zum Selbstbau eines Photometers durch die Schüler. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, 39 (1), 30 - 31.
- Kappenberg, F. (2011). *Arbeitskreis Kappenberg*. Accessed on 24th July 2011: <http://www.kappenberg.com/pages/start/start.htm>.
- Keil, M., & Kremer, B. P. (2004). *Wenn Monster munter werden - Einfache Experimente aus der Biologie*. Weinheim: Wiley.
- Kieninger, M. (2008). *Physik mit 4- bis 6-Jährigen*. Berlin: Cornelsen.
- Kircher, E., Girwidz, R., & Häußler, P. (2001). *Physikdidaktik: Eine Einführung*. Berlin: Springer.
- Köhler-Krützfeld, A., & Gruvberg, C. (2000). Microscale Chemistry: Eine europäische Idee kehrt zurück nach Europa. *Praxis der Naturwissenschaften*, 49 (5), 18 - 21.
- Köthe, R. (2008). *Was ist Was - Experimentierbuch. 175 Experimente aus Physik, Biologie und Chemie*. Nürnberg: Tessloff.
- Kranz, J. (2008). *Schulentwicklung konkret: Baustein "Schülermotivation"*. Berlin: Cornelsen Scriptor.
- Kruse-Özcelik, R., & Schwarz, P. (2004). Experimente für kleine Hände. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 81, 10 - 15.
- Kuhn, J., & Rech, A. (2003). *Freihandexperimente und Naturphänomene aus den Naturwissenschaften*. Accessed on 27th August 2011: <http://www.uni-landau.de/physik/fan/index.html>.
- Latzel, G. (1989). Low-Cost-Experimente-Teil 1: Das einfache Experiment. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie*, 38 (6), 34 - 35.
- Maisenbacher, P. (2011). *Landesbildungsserver Baden Württemberg*. Accessed on 24th July 2011: <http://www.schule-bw.de/>.
- Maurer. (2011). *Maurer - Lehr- und Forschungsmittel*. Accessed on 28th August 2011: <http://www.mauer-gmbh.com/index2.htm>.
- Mellert, V., Grahl, S., Rechten, P., Weusting, P., Poppinga, D., & Poppinga, T. (2001). *Physik für Kids*. Abgerufen am 27. August 2011 von <http://www.physikfuerkids.de/>.
- Menzel, P. (1990). Low-Cost-Experimente: Teil 10: Eigenbau eines piezo-elektrischen Zündgerätes. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie*, 39 (7), 34.

- Mercateo. (2011). *Die Beschaffungsplattform für Geschäftskunden*. Accessed on 24th July 2011: <http://www.mercateo.at/>.
- Neubert, M. (2011). *Dynatech - Ihr Taschenrechner Spezialist*. Accessed on 28th August 2011: <http://www.dynatech.de/index.php?prod=5379>.
- NeubertGlas. (2011). *Der Laborfachhandel*. Accessed on 24th July 2011: <http://www.neubertglas.de/>.
- Obendrauf, V. (2004). Toxisches Chlor vernünftig dosiert. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 81, 22 - 27.
- Obendrauf, V. (2006). Fundamental Microscale Experiments from Austria, Presented Worldwide. In M. Hugerat, P. Schwarz, & M. Livneh, *Microscale Chemistry Experimentation for all Ages* (S. 300 - 321). Haifa: The Academic Arab College for Education.
- Omikron. (2004). *Chemikalien und Laborgeräte*. Accessed on 24th July 2011: <http://www.omikron-online.de/cyberchem/>.
- Pfeifer, P., Lutz, B., & Bader, H. J. (2002). *Konkrete Fachdidaktik Chemie*. München: Oldenbourg.
- Pike, R. M. (2006). Through the Years with Microscale Chemistry. In M. Hugerat, P. Schwarz, & M. Livneh, *Microscale Chemistry Experimentation for all Ages* (S. 13 - 25). Haifa: The Academic Arab College for Education.
- Press, H. J. (1995). *The Little Giant Book of Science Experiments*. New York: Ravensburger Buchverlag Otto Maier GmbH.
- Rüter, M. (2009). *111 spannende Experimente für Kinder. Faszinierend. Verblüffend. Völlig ungefährlich*. München: Compact.
- Sapper, N., & Widhalm, H. (2001). *Einfache biologische Experimente*. Wien: Klett.
- Schallies, M. (1991). Mikrochemische Methoden im Schulexperiment - gestern, heute und morgen. *Praxis der Naturwissenschaften – Chemie*, 40 (1), 2 - 5.
- Schlichting, H. J., & Ucke, C. (2004). Der einfachste Elektromotor der Welt. *Physik unserer Zeit*, 35 (6), 272 - 273.
- Schmittingerm, T. (2011). *Katharineum. Städtisches Gymnasium für Jungen und Mädchen mit altsprachlichem Zweig*. Accessed on 24th July 2011: <http://kath.mrstec.de:9673/>.
- Schneiderbanger, M. (2011). *Aquaristik - Margit Schneiderbanger*. Accessed on 28th August 2011: <http://www.aquarium-laden.de/Start>.
- Schwan, T. (2005). Elektrochemie im Low-Cost Maßstab: Elektrolyse, Schmelzelektrolyse und galvanische Elemente im Kontext der Unterrichtsreihe „Atombau und chemische Bindung“. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 58 (3), 169 - 175.
- Schwarz, P., & Lutz, B. (2004). Kreativer Chemieunterricht: Mikrochemische Experimente in der Schule. *Naturwissenschaften im Unterricht*, 81, 4 - 9.
- Schwedt, G. (2001). *Experimente mit Supermarktprodukten: eine chemische Warenkunde*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Schwedt, G. (2003). *Noch mehr Experimente mit Supermarktprodukten: das Periodensystem als Wegweiser*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Schwedt, G. (2007). *Chemie für alle Jahreszeiten - Einfache Experimente mit pflanzlichen*

- Naturstoffen*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Seilnacht, T. (2002). *Naturwissenschaftliches Arbeiten*. Accessed on 24th July 2011: <http://www.seilnacht.com/>.
- Sigma-Aldrich, C.-O. (2011). Accessed on 24th July 2011: <http://www.sigmaaldrich.com/germany.html>.
- Singh, M. M., Szafran, Z., & Pike, R. M. (1999). Microscale Chemistry and Green Chemistry: Complementary Pedagogies. *Journal of Chemical Education* 76 (12), 1684 - 1686.
- Singh, M. M., & Szafran, Z. (2000). Chemie im Mikromaßstab: Labortechnik mit Zukunft. *Praxis der Naturwissenschaften*, 49 (5), 7 - 11.
- The-radmaste-microscience-System. (2010). *The UNESCO-Associated Centre for Microscience Experiments*. Accessed on 24th July 2011: <http://www.microsci.org.za/RADMASTEBrochure.pdf>.
- Tillmann, A. (2011). *Kids Science*. Accessed on 24th July 2011: <http://www.kids-and-science.de/kids-and-science/startseite.html>.
- von Borstel, A. (2009). *ChemZ. Chemieunterricht mit medizinischem Zubehör*. Accessed on 24th July 2011: <http://www.chemz.de/index.php/chemz-allgemeine-infos.html>.
- von Borstel, G., & Böhm, A. (2004). ChemZ - Chemieunterricht mit medizintechnischem Zubehör. *Naturwissenschaft im Unterricht Chemie*, 81, 48 - 49.
- von Borstel, G., & Böhm, A. (2006). Ein preiswerter Hoffmann'scher Zersetzungsapparat für Schülerübungen - Medizintechnik als kostengünstiger Ersatz für Glasgeräte. *Der Mathematischen und Naturwissenschaftlichen Unterricht*, 59 (6), 262 - 264.
- Wild, A. (1999). *Pflanzenphysiologische Versuche in der Schule*. Wiebelsheim: Quelle & Meyer.
- Wilke, H.-J. (1998b). Überraschende Experimente mit Kunststoffflaschen Teil 2. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 51 (2), 106 - 109.
- Wilke, H.-J. (1998c). Überraschende Experimente mit Kunststoffflaschen Teil 5. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 51 (6), 359 - 363.
- Wilke, H.-J. (1998a). Überraschende Experimente mit Kunststoffflaschen: Eine Einführung in die Beitragsreihe. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, 51 (1), 20 - 25.
- Wood, C. G. (1990). Microchemistry. *Journal of Chemical Education*, 67 (7), 596 - 597.
- Zhou, N. H. (2004). Experimente mit der wellplate 6. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 81, 21 - 22.
- Zinsser-Analytic (2011). *Zinsser Analytic*. Accessed on 24th July 2011: <http://www.zinsser-analytic.com/>.

