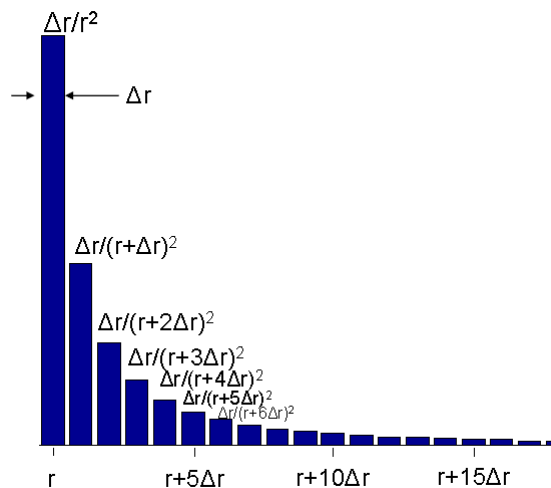


8.5. გვეხმარება მათემატიკა

წარმოვიდგინოთ, რომ დავიწყეთ ერთეულოვანი მუხტის გადატანა. საწყისი წერტილი Q მუხტიდან r მანძილზე იმყოფება. შეგვიძლია ეს ოპერაცია ნაბიჯ-ნაბიჯ განვახორციელოთ. დაშორებისას, ყოველ Δr ნაბიჯზე, $1/r^2$ კანონით შესუსტებული ძალა $k \cdot Q \cdot \Delta r / (r + n \cdot \Delta r)^2$ მუშაობას შეასრულებს. $n \cdot \Delta r$ - მანძილია საწყისი წერტილიდან, n - გავლილი ბიჯების რაოდენობაა. პოტენციალი ϕ წარმოვიდგება როგორც ყველა ბიჯზე შესრულებულ მუშაობათა ჯამი:

$$\phi = A_{\infty} = k \cdot Q \cdot \Delta r \sum_1^{\infty} 1 / (r + n \cdot \Delta r)^2 .$$

ამ ჯამის პირველი წევრები წარმოდგენილია ნახატ 8.5.1 - ზე. რაც უფრო მცირეა ბიჯი და მეტია შესაკრებთა რაოდენობა - მით უფრო ახლოს მივალთ პოტენციალის მნიშვნელობასთან. მათემატიკა ამისათვის გვთავაზობს ზღვარის ცნებას. ჯამის წევრთა რაოდენობის უსასრულოდ გაზრდით ჩვენ ნებისმიერი სასურველი სიზუსტით ვუახლოვდებით პოტენციალის სასრულ მნიშვნელობას. გეომეტრიული თვალსაზრისით, პოტენციალის გამოთვლისას ჩვენ ვითვლით ფართს, რომელიც შემოსაზღვრულია კორიზონტული ღერძით და მუშაობის განმსაზღვრელი ფუნქციის მნიშვნელობებით.



8.5.1

განხილული მიდგომა წარმოადგენს კლასიკური მათემატიკის ერთერთ ფუნდამენტურ მიდგომას, რომელიც ცნობილია უსასრულოდ მცირე სიდიდეთა ანალიზის, ან მათემატიკური ანალიზის სახელით. განხილული ჯამი ინტეგრალის, ხოლო პროცედურა - ინტეგრირების* ცნებას უკავშირდება. ინტეგრალის, ანუ ჯამის სასრული მნიშვნელობის არსებობა, მათემატიკის მეთოდებით უნდა დამტკიცდეს ფუნქციის თვისებებიდან გამომდინარე.

პოტენციალის შემთხვევაში მათემატიკა გვაძლევს შედეგს:

$$\phi = A_{\infty} = k \cdot Q / r ,$$

ანუ მტკიცდება, რომ პოტენციალს გააჩნია სასრული მნიშვნელობა, და ელექტროსტატიკური ველის ნებისმიერი წერტილიდან ერთეულოვანი მუხტის უსასრულობაში გადატანის დროს სრულდება მუშაობა, რომელიც განისაზღვრება ამ ფორმულით.

* მსგავსი პროცედურა ჩვენ განვახორციელებთ ველის დაძაბულობის ნაკადის გამოთვლის დროს. ზედაპირი დავყავით ელემენტარულ ნაკვეთებათ. ეს ნაჩვენებია 8.3.2 ნახატზე.

შეგვიძლია უფრო ზოგადი განმარტება შემოვიღოთ - ნებისმიერი სიდიდის სასინჯი მუხტი განვიხილოთ:

$$k \cdot 1 \cdot Q/r = k \cdot (q/q) \cdot Q/r = A_{\infty}/q .$$

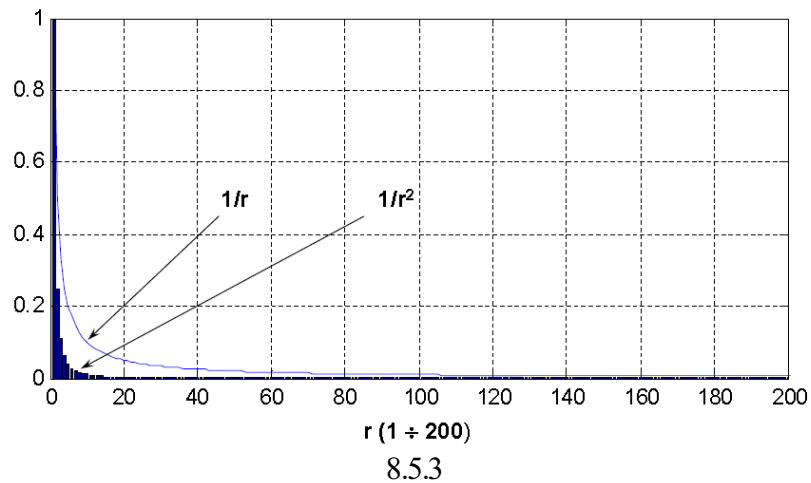
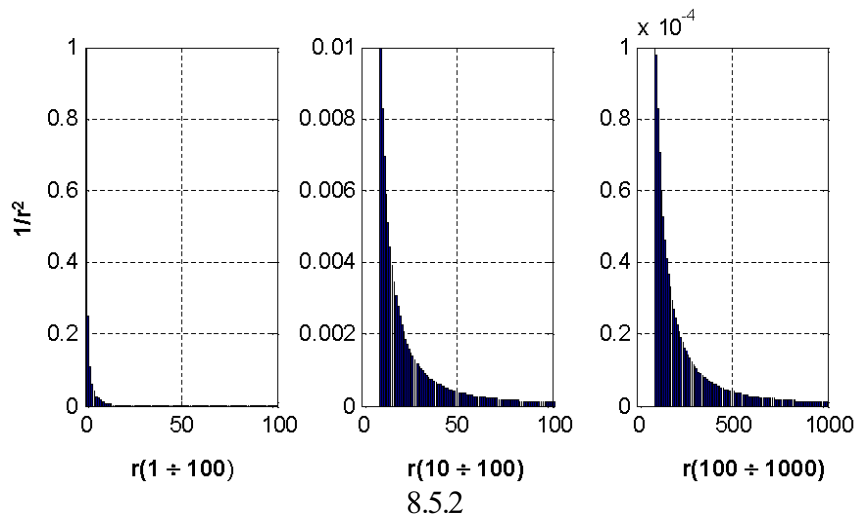
მაშინ გვექნება განმარტება

$$\varphi = A_{\infty}/q .$$

8.5.2 ნახატზე ნაჩვენებია რამდენად სწრაფად მცირდება კულონის ძალა, როდესაც ვშორდებით ცენტრალურ Q მუხტს. მოცემულია ბიჯების რაოდენობა და ფუნქციის მნიშვნელობა. 8.5.3 ნახატზე ნაჩვენებია კულონის ძალის და პოტენციალის ცვლილების ფუნქციები.

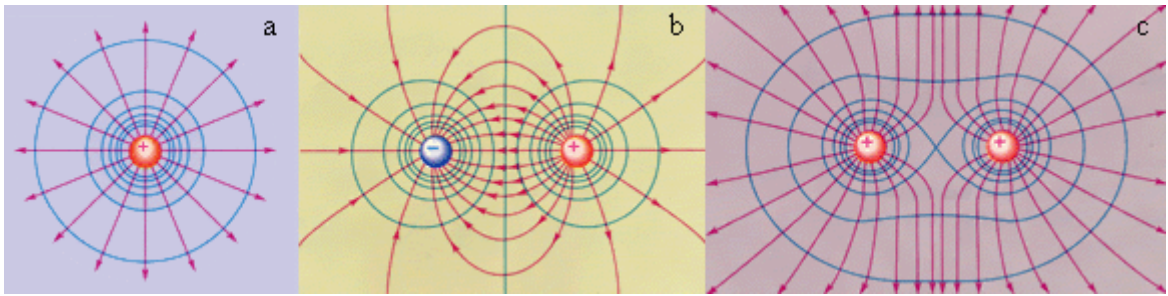
“ყოვლისშემძლე” სუპერპოზიციის პრინციპი გვკარნახობს კიდევ ერთ კანონზომიერებას:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots .$$



ეს ნიშნავს, რომ მუხტთა სისტემის პოტენციალი ცალკეულ მუხტთა პოტენციალების ჯამის ტოლია. თუ მუხტთა სისტემა საკმარისად მარტივია, ადვილად შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ, გამოვთვალოთ და გამოვეყოთ მის გარშემო არსებული ერთნაირი პოტენციალის მქონე ზედაპირები, ანუ მუხტების გარშემო არსებული ზედაპირები, რომლებთან ერთეულოვანი სასინჯი მუხტის უსასრულოდ შორს გადატანისას ერთი და იგივე მუშაობა სრულდება. ასეთ ზედაპირებს უწოდებენ ეკვიპოტენციალურ ზედაპირებს, ანუ ტოლი პოტენციალის მქონე ზედაპირებს. 8.5.4 ნახატზე ნაჩვენებია მუხტთა სისტემის

რამდენიმე მაგალითი. აქ ჭრილში წარმოდგენილია ძალწირები და ეკვიპოტენციალური ზედაპირების ჭრილები.



8.5.4

Q მუხტის პოტენციალის ცნების შემოღება კიდევ ერთ ცხად შედეგს იძლევა. თუ სასინჯი q მუხტი ერთი წერტილიდან (1) მეორეში (2) გადაადგილდა, ამ Δl მონაკვეთზე შესრულებული მუშაობა წერტილების პოტენციალთა სხვაობის ტოლია:

$$\Delta A_{12} = q(\phi_1 - \phi_2) = q\Delta\phi.$$

თუ გავისხენებთ, რომ

$$A = F \cdot \Delta l \cdot \cos \alpha = E \cdot q \cdot \Delta l \cdot \cos \alpha = E_l \cdot q \cdot \Delta l,$$

მივიღებთ

$$\Delta A_{12} = q \cdot \Delta\phi = E_l \cdot q \cdot \Delta l,$$

ანუ

$$E = \Delta\phi / \Delta l.$$

თუ უსასრულოდ შევამცირებთ Δl გადაადგილებას, უსასრულოდ შემცირდება პოტენციალთა სხვაობაც. აქაც უსასრულოდ მცირე სიდიდეთა ანალიზი მუშაობს. ეს ϕ ფუნქციის გაწარმოების მათემატიკური ოპერაციაა. $1/r$ ფუნქციის გაწარმოების შედეგი – წარმოებული, ახალი ფუნქციაა, რომელსაც აქვს სახე $-1/r^2$. წარმოებულის “-” ნიშანი მიუთითებს, რომ არგუმენტის, ჩვენ შემთხვევაში რადიუსი r , იწვევს ფუნქციის კლებას, $1/r$ ნამდვილად კლებულობს.

ამგვარად, ელექტრული მუხტის ველის პოტენციალის ცნება იმდენად ზოგადი და ფუნდამენტური აღმოჩნდა, რომ მისგან ველის ყველა სხვა თვისება გამომდინარეობს, მათ შორის კულონის კანონიც, რომელიც უშუალოდ ექსპერიმენტში ვლინდება

$$F = E \cdot q.$$

სუპერპოზიციის პრინციპის გამო, მუხტთა სისტემა შესაძლებელია პოტენციალის ცნებიდან გამომდინარე სრულად აღიწეროს.

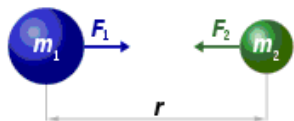
ჩამოვწერთ ამ თავის ცნებები და საბოლოო ფორმულები:

ϕ პოტენციალის ცნება	$\phi = A_{\infty} = k \cdot Q/r$
E ველის დაძაბულობის ცნება	$E = -k \cdot Q/r^2$
F კულონის ძალა	$F = -k \cdot q \cdot Q/r^2$

არ დაგვავიწყდეს, რომ გვაქვს ორი სახის მუხტი, და ძალა შესაძლებელია მიზიდვის ან განზიდვის იყოს. დადებითი “+” და უარყოფითი “-” მუხტის ცნება შემოიღო ბენჯამინ ფრანკლინმა (*Benjamin Franklin*). მაგალითად, ხახუნის შედეგად მინა და ქარვა სხვადასხვა ნიშნის მუხტით იმუხტება. რომელ მუხტს

რა დავარქვათ – შეთანხმების საქმეა. ითვლება რომ ქარვა უარყოფითი მუხტის მატარებელია. მის მიმართ შესაძლებელია მუხტების ნიშნების განსაზღვრა.

კონსპექტის ამ, მერვე თავში ჩვენ მხოლოდ ოდნავ შევეხეთ ელექტრობის ფიზიკის და მათემატიკის ფუნდამენტურ ცნებებს. მოწოდებული ინფორმაცია საკმარისია იმისათვის, რომ იგრძნოთ წარმოდგენების სიღრმე და დარწმუნდეთ, რომ ელექტრული მოვლენების სამყარო სრულ გააზრებას, ზუსტ ფორმალურ მათემატიკურ აღწერას და, აქედან გამომდინარე, პრაქტიკულ საქმიანობაში გამოყენებას ექვემდებარება. კულონის ძალა ერთერთია დღეისათვის მეცნიერებისათვის ცნობილი **ფუნდამენტური ურთიერთქმედების ოთხი ძალიდან***. ამ ძალის “ქცევა” ძალიან გავს მიზიდულობის (გრავიტაციის) ძალის ქცევას - პოტენციალი ისეთივე $1/r$ კანონზომიერებით ხასიათდება, ძალა კი მსგავსი ფორმულით გამოისახება:



$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}. \quad \gamma - \text{გრავიტაციული მუდმივაა.}$$

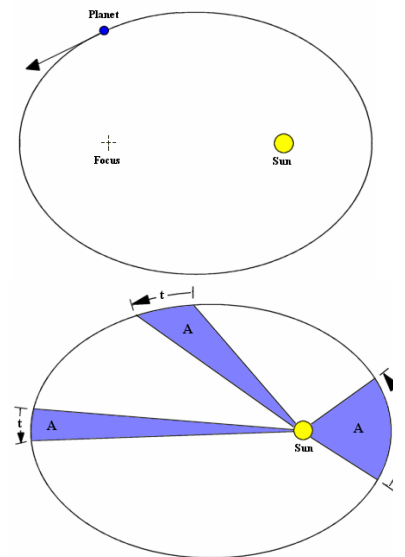
მუხტის, შეგვიძლია ვთქვათ, ანალოგი – მასა, მხოლოდ ერთი მიმართულებით ურთიერთქმედებას განსაზღვრავს, მიზიდულობას. ელექტრული მოვლენების შესწავლით ადამიანმა პირველი ნაბიჯები გადადგა **მიკროსამყაროს** მოვლენათა შესწავლაში, ხოლო გრავიტაციული მოვლენების შესწავლით პირველი ნაბიჯები **მაკროსამყაროს** შესწავლაში.

გრავიტაციის კვლევის შემთხვევაში ექსპერიმენტულ, კვლევით “ლაბორატორიას” წარმოადგენდა მზის სისტემა, ელექტრული მოვლენების შემთხვევაში – კულონის მიერ შექმნილი ე.წ. გრეხითი სასწორი, ანუ კულონის სასწორი.



ისაკ ნიუტონი 1643-1727

მსოფლიო მიზიდულობის კანონი ისაკ ნიუტონმა გამოიყვანა მზის გარშემო პლანეტების მოძრაობის დაკვირვებით დადგენილი ე.წ. კეპლერის კანონების ანალიზის საფუძველზე. იოჰან კეპლერმა ეს კანონები გამოიყვანა სხვა მეკლევარის – ასტრონომ ტიქო ბრაგეს პლანეტების მოძრაობის დაკვირვების მონაცემების საფუძველზე.



ნიუტონმა პირველმა ჩამოაყალიბა ე.წ. **სამეცნიერო მეთოდის პრინციპები**, რომლებსაც ყოველი მეცნიერი მიყვება თავის კვლევით საქმიანობაში: ჯერ საგანთა თვისებების ბეჯითი შესწავლა დაკვირვებების და ექსპერიმენტების საფუძველზე, ხოლო შემდეგ თანდათანობითი თანმიმდევრული წინსვლა ჰიპოთეზებისაკენ, რომლებიც ხსნიან ამ თვისებებს. ჰიპოთეზა სასარგებლოა თვისებების ასახსნელად, მაგრამ არ არის აუცილებელი დავავალოთ ჰიპოთეზას აგვისხნას ექსპერიმენტის გარეთ მყოფი თვისებები. თუმცა

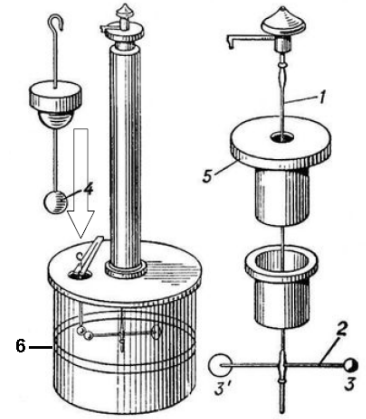
* გრავიტაციული ურთიერთქმედება, ელექტრომაგნიტური ურთიერთქმედება, ძლიერი ბირთვული ურთიერთქმედება, სუსტი ბირთვული ურთიერთქმედება.

ექსპერიმენტის და დაკვირვების ანალიზით მიღებული შედეგები თავისთავად არ იძლევიან საბოლოო და ზოგად დასკვნებს, ეს გზა მაინც საუკეთესოა გავაკეთოთ დასკვნები რომლებიც დაშვებულია საგანთა არსით. ეს ნიუტონის რამდენიმე მოსაზრების თავისუფალი თარგმანია.



შარლ კულონი 1736-1806

ძაფი 1; ღერო 2; გამტარი ბურთულები 3, და 4; სკალები 5 და 6. ბურთულა 4 თავსდება სასწორში. 3 და 4 ბურთულის კულონის ურთიერთქმედება იწვევს ძაფის გრეხვას. გრეხვის ძალა გამოითვლება ძაფის ზომების, დრეკადობის მახასიათებლების და სკალებიდან აღებული ანათვლების საფუძველზე.

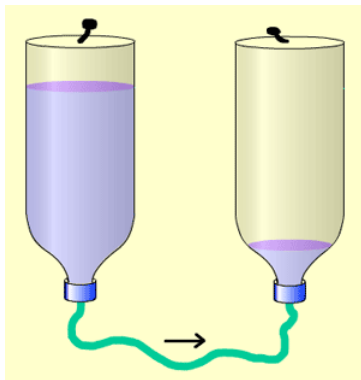


9. ელექტრობის კანონები – ელექტრული დენი

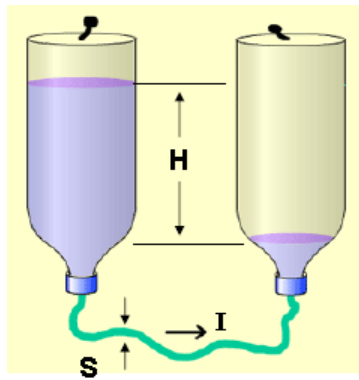
9.1 ომის კანონი

როგორც დავრწმუნდით, საკმარისი ცოდნა გავაჩნია იმისათვის, რომ ავლწეროთ ელექტრული მოვლენები როგორც ცალკეული მუხტების ერთობლიობაში მიმდინარე მოვლენები. ეს ცოდნა ეხებოდა ელექტრული მოვლენების პრინციპულ, ფუნდამენტურ მხარეებს. მაგრამ მრავალ ბუნებრივი მოვლენაში და ელექტრობის ტექნიკურ რეალიზაციაში უამრავი მუხტი მოქმედებს. მიუხედავად ჩვენი ცოდნისა, წარმოუდგენელია ასეთი სისტემების აღწერა მუხტების სუპერპოზიციით. ბუნებრივია სხვა ხერხებს უნდა მივმართოთ.

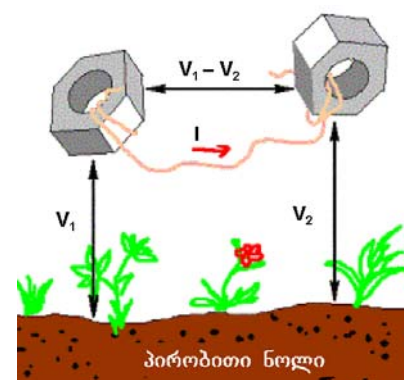
წინა თავის დასაწყისში ჩვენ განვიხილეთ მუხტის დაგროვების რამდენიმე ექსპერიმენტი. როდესაც ვმუხტავდით ელექტრომეტრს ან ვეხებოდით თითოთ მის ელექტროდს, მუხტი გადადიოდა ელექტროდზე კოკტილის ჩხირიდან, ან ჩვენზე გადმოდიოდა ელექტროდიდან. ამრიგად ორ მოვლენასთან გვაქვს საქმე – შეგვიძლია მუხტი დავაგროვოთ სხვადასხვა ზედაპირზე ან მოცულობაში და გადავცეთ ერთი მოცულობიდან მეორეში. ისმის შეკითხვა – რა თვისება ან კანონზომიერება ახასიათებს ამ პროცესს.



9.1.1



9.1.2



9.1.3

ნახატ 9.1.1-ზე ნაჩვენებია მარტივი ექსპერიმენტული მოწყობილობა, რომელიც შეგვიძლია მრავალი მოვლენის მოდელად წარმოვიდგინოთ. ორი რეზერვუარი

შეერთებულია მილით, რომელშიც ერთი რეზერვუარიდან მეორეში მოწესრიგებულად “გადაედინება” რაღაც თვისებების მქონე რეალობის ელემენტი. ეს შეიძლება იყოს წყალი, ელექტრული მუხტი, ინფორმაცია, ფულადი “მასა” და სხვა.

თუ “შეიარაღდებით” წამზომით და დაიწყებთ ამ მარტივი ექსპერიმენტის ზოგადი თვისებების შეფასებას, ნახავთ, რომ ცარიელი რეზერვუარის შევსების სიჩქარე ნელნელა კლებულობს და პროცესი ჩერდება, როდესაც სითხის დონეები ერთმანეთის ტოლო ხდება. რაც უფრო დიდია დონეების საწყისი სხვაობა – უფრო დიდია გადაედინების პროცესის საწყისი სიჩქარე. თუ მილს გადაკეტავთ – პროცესი შეჩერდება. პირველად მდგომარეობასთან შედარებით შევიწროვებული მილი პროცესს შეანელებს.

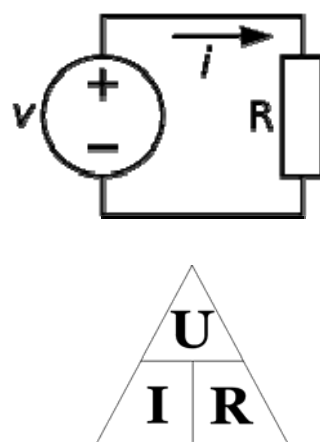
ეს თვისებები თითქმის თავიდანვე ნათელია, მაგრამ თუ გვინდა ზუსტი რიცხვითი დახასიათება, პროცესის ყველა პარამეტრი ზუსტად უნდა განვსაზღვროდ და ყველა ცვლილება რიცხვითი მნიშვნელობით დავახასიათოთ, ანუ გაზომვები ვაწარმოოთ.

ერთერთი პარამეტრია სითხის დონეების სხვაობა H , მეორე – მილის განიკვეთი. ორივე შეგვიძლია გავზომოთ საკმარისი სიზუსტით. მილში სითხის მოწესრიგებული მოძრაობა დავახასიათოთ პარამეტრით I , რომელსაც დენის ძალა ვუწოდოთ. ეს მილის განიკვეთის S ფართის ერთეულში დროის ერთეულში გასული სითხის რაოდენობაა. ექსპერიმენტის ჩატარება თვისობრივად და რაოდენობრივად იძლევა შემდეგ კანონზომიერებას – დენი დონეთა სხვაობის პროპორციულია და მილის განიკვეთის უკუპროპორციულია: $I = k \cdot H / S$, სადაც k - მუდმივი კოეფიციენტი. ამ კანონზომიერებას ჩვენ ყოველდღე ვაკვირდებით, როდესაც ვაღებთ წყლის ონკანს, როდესაც ვხედავთ ბანკში ოპერატორებთან გაზრდილ რიგებს ოპერატორების რაოდენობის შემცირების შემთხვევაში (ან პირიქით, ვერ ვხედავთ რიგებს, როდესაც ყველა ოპერატორი ადგილზეა). ბანკში დროის ერთეულში შემოსული ფულადი მასა მცირდება.

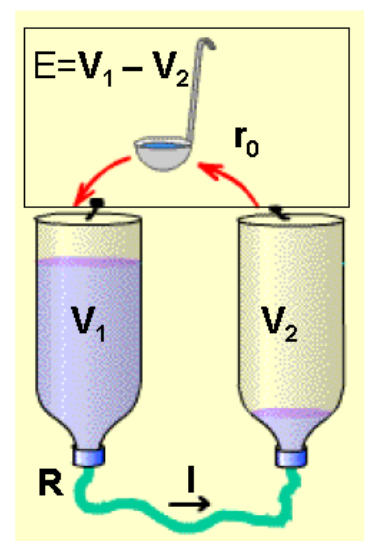
გერმანელმა ფიზიკოსმა გეორგ ომმა ეს ამოცანა შეისწავლა ელექტრული დენისათვის, ან მუხტების მოწესრიგებული მოძრაობისათვის დენის გამტარებში.



გეორგ ომი 1787-1854



9.14



9.15

ომმა მსგავსი კანონზომიერება მიიღო, რომელიც მისი სახელით, ომის კანონით არის ცნობილი. განვიხილოთ ორი დამუხტული სხეული (ნახატი 9.13). პირველი

სხეულის მუხტი ფლობს V_1 პოტენციალს, ხოლო მეორესი V_2 პოტენციალს. გავიხსენოთ, რომ ეს პოტენციალები იმ მუშაობის პროპორციულია, რომელიც საჭიროა მუხტების უსასრულოდ შორს გადასატანად, ანუ სხეულების განსამუხტად. უსასრულობის როლს ამ შემთხვევაში ასრულებს ელექტრული მიწა. დედამიწის ნიადაგი და ქანები ელექტრულ დენს ატარებენ. დედამიწაზე არსებული ელექტრული მუხტების მარაგი ჩვენს გარშემო არსებულ ნივთიერებაშია მოთავსებული. ტექნიკური თვალსაზრისით, დედამიწა წარმოადგენს ძალიან მოხერხებულ საერთო ელექტროდს, რომელიც უსასრულობის როლს ასრულებს.

როგორც წინა თავიდან ვიცით, მუხტის ერთი სხეულიდან მეორეზე გადასატანად უნდა შესრულდეს მუშაობა, რომელიც პოტენციალთა სხვაობის პროპორციულია, ანუ $V_1 - V_2$ სხვაობით არის განპირობებული. თუ ამ ორ სხეულს მუხტის გამტარით შევაერთებთ, მუხტის გადატანის პროცესი განხორციელდება. პოტენციალთა სხვაობა განსაზღვრავს განხილულ დონეთა სხვაობას, ხოლო გამტარის თვისებები ადრული დენის ძალას. ომის კანონი ასეთი სახით ჩაიწერება:

$$I = (V_1 - V_2) / R = U / R$$

აქამდე ჩვენ არ ვიხილავდით ფიზიკურ პროცესს, რომელიც მოდელში განაპირობებს რეზერვუარების შევსებას, ანუ პოტენციალთა სხვაობის შექმნას და შენარჩუნებას. ასეთი სახით წარმოდგენილი კანონი ელექტრული წრედის მონაკვეთისათვის არის ფორმულირებული, ანუ ეს არის ომის კანონი წრედის მონაკვეთისათვის. პარამეტრიც U ძაბვის სახელით არის ცნობილი, ხოლო R - წინაღობის სახელით. წინაღობის სიდიდე განპირობებულია გამტარის ფიზიკური თვისებებით.

ომის კანონის ორი ფიზიკური კომპონენტი – დენის წყარო, ანუ პოტენციალთა სხვაობის მქონე კომპონენტი, და დენის გამტარი, ანუ წინაღობის თვისების მქონე კომპონენტი, სიმბოლური აღნიშვნების სახით ნაჩვენებია 9.14 ნახატზე. აქვე ნაჩვენებია სამი პარამეტრიც (დენს ზოგჯერ პატარა ასოთი აღნიშნავენ). აქვე ნაჩვენებია დიაგრამა, რომელსაც ხშირად იყენებენ ომის კანონის დასამახსოვრებლად. დიაგრამით სარგებლობის წესი შემდეგია: თუ დაფარავთ საძიებელ სიდიდეს, ორი დანარჩენი იძლევა მისი გამოთვლის ფორმულას:

$$U = U \cdot R; I = U / R; R = U / I.$$

განვიხილოთ 9.15 ნახატზე წარმოდგენილი შემთხვევა. რაღაც გარე ძალა ასრულებს მუშაობას პოტენციალთა სხვაობის შესანარჩუნებლად, ანუ წრედში დენის შესანარჩუნებლად. ეს შეიძლება იყოს ქიმიური რეაქცია, ან რაიმე სხვა სახის ფიზიკური ქმედება. ამ შემთხვევაში გაგვანია ე.წ. სრული წრედი, რომელშიც მეორე რეზერვუარში მოსული მუხტი თანმიმდევრულად ისევ გადაეცემა პირველ რეზერვუარს. მუხტის ამდაგვარი სახით გადატანასაც გააჩნია წინაღობა, რომელსაც ავღნიშნავთ r_0 . სრული წრედის შემთხვევაში პოტენციალთა სხვაობა გარე ელექტრული ძალის შემქმნელი მოწყობილობის კიდევ ერთი პარამეტრის ტოლია, რომელსაც დაარქვენ **ელექტრომამოძრავებელი ძალა**. განხილული შემთხვევისათვის საუბარი უნდა იყოს ომის კანონზე **სრული წრედისათვის**. ეს კანონი ასე გამოისახება:

$$I = E / (R + r_0).$$

E - დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალაა, ხოლო r_0 მისი შიდა წინაღობაა. ელექტრული დენის წინაღობის არსებობა ყოველთვის ენერგიის დანაკარგებთან არის დაკავშირებული. ენერგია სხვა ფორმაში გადადის, როგორც წესი ე.წ. ომური წინაღობის შემთხვევაში (ომის კანონი სრულდება),

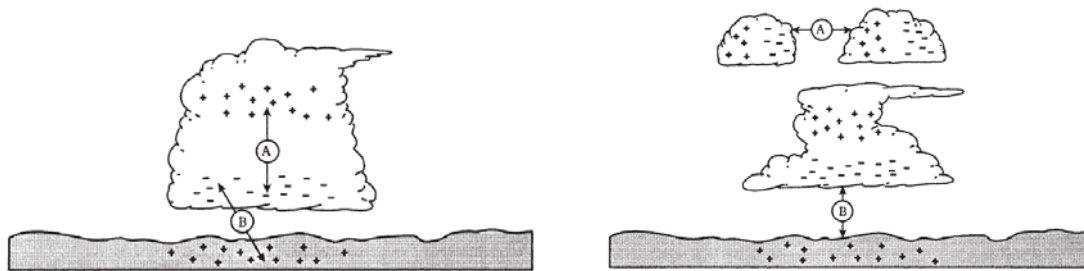
ენერჯია სითბოში გადადის. თუ განვიხილავთ ომის კანონს ასეთი სახით: $E = I \cdot R + I \cdot r_0$, დავინახავთ, რომ სასურველია დენის წყაროს შიდა წინაღობა რაც შეიძლება მცირე იყოს მის შიგნით დანაკარგების თავიდან ასაცილებლად და მუშაობის მარტივი ქმედების ასამაღლებლად.

არსებობს რამდენიმე ტიპის ელექტრომამოძრავებელი ძალის მქონე წყარო, რომლის შიდა წინაღობა უსასრულოდ დიდია. ეს ეგრეთწოდებული დენის წყაროებია. ისინი **დატვირთვაში**, ანუ ელემენტში რომელშიც დენი მუშაობას ასრულებს, ყოველთვის ერთი და იგივე სიდიდის დენს გამოყოფენ. ამ შემთხვევაში მუშაობს ომის კანონი წრედის მონაკვეთისათვის. გვაქვს $I = U / R = const$, საიდანაც გამომდინარეობს, რომ დატვირთვის წინააღობის გაზრდა იწვევს ძაბვის გაზრდას $U = I \cdot R$.

ომის კანონში მონაწილე ყველა პარამეტრს გააჩნია თავისი ზომის ერთეული, ეს ელექტროტექნიკის, ანუ ელექტრული ტექნოლოგიების ერთერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი დარგის ძირითადი კანონია.

დასახელება	აღნიშვნა	ზომის ერთეული
დენის ძალა	I	ამპერი
ძაბვა (პოტენციალთა სხვაობა)	U	ვოლტი
წინააღობა	R	ომი

ელექტრომამოძრავებელი ძალა სხვადასხვა ბუნების შეიძლება იყოს. დედამიწაზე არსებული ბუნებრივი მოვლენა – ელვა, უმძლავრესი ელექტრული განმუხტვის შედეგია. ატმოსფერული დრუბლების ფორმირების პროცესში მუშაობს ელექტრომამოძრავებელი ძალა, რომელიც ყოფს მუხტებს. განხილული მოდელის ანალოგია რომ წარმოვიდგინოთ, ქმნის სხვადასხვა ნიშნის მუხტების რეზერვუარებს. დენი შეიძლება თვით დრუბელში გაჩნდეს, შეიძლება დრუბელსა და მიწას შორის, მეზობელ დრუბლებს შორის. ვარიანტები ნახვენებია ნახატებზე. ელვის შემთხვევაში გამტარის როლს ასრულებს თვით ატმოსფეროში მაღალი ძაბვით გაჩენილი ე.წ. გარდვევის არხი.



9.16

9.17



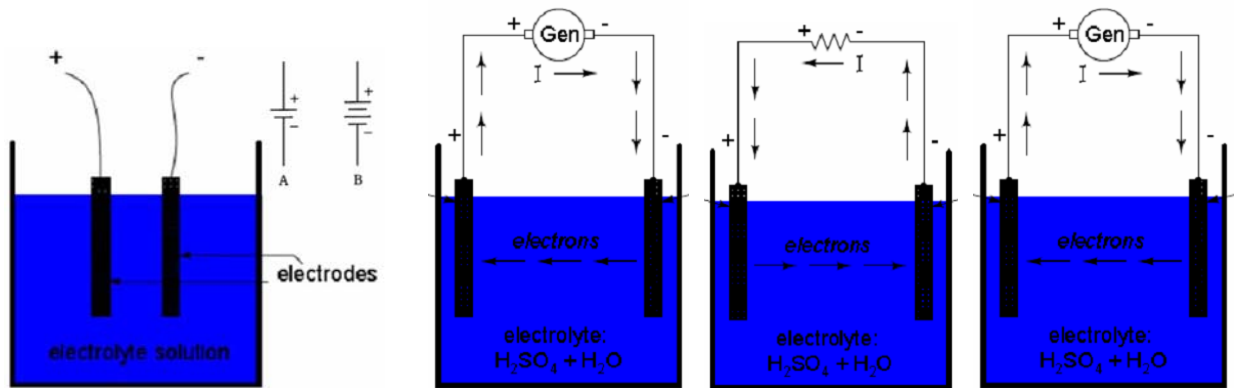
9.18

წინა თავის დასაწყისში ჩვენ ხახუნით დავმუხტეთ კოკტილის ჩხირი და გადავეცით მუხტი ელექტრომეტრს. ამ შემთხვევაში ჩვენ გავხდით ელექტრომამოძრავებელი ძალის ნაწილი. განხილული ორი შემთხვევა ძალიან განსხვავდება სიმძლავრით და მექანიზმით. არსებობენ უფრო მძლავრი და უფრო სუსტი მექანიზმებიც. ტექნოლოგიამ ელექტრული მუხტების დაგროვების და

გადატანის უამრავი ხერხი შექმნა. საუკეთესო, მაღალი მარჯივი ქმედების, იაფი და მოხერხებული ტექნოლოგიების ძებნა და დახვეწა მუდმივად მიმდინარეობს.

როდესაც ომის კანონზე ვსაუბრობთ, ყოველთვის უნდა გვახსოვდეს, რომ ელექტრომამოძრავებელი ძალა ავსებს მუშაობის შესრულების შედეგად გაჩენილ დანაკაგებს და უცვლელად ინარჩუნებს პოტენციალთა სხვაობას. როდესაც ჩვენ ვსარგებლობთ ელექტრომომარაგების ქსელით – ვიყენებთ უზარმაზარი მაშტაბის ”წარმონაქმნს”, რომლის ძირითადი დანიშნულებაა სწორედ მომხმარებლის ელექტრული დენით სარგებლობის იზრუნველყოფა და პოტენციალთა სხვაობის შენარჩუნება. ამ ამოცანის შესასრულებლად უამრავი სხვადასხვა სახის ელექტრომამოძრავებელი ძალის მქონე დენის წყარო ერთ ქსელშია გაერთიანებული (ჰიდრო-, თბო-, ატომური, მზის და სხვა სადგურები გადამცემ ხაზებთან და გამანაწილებელ ქვესადგურებთან ერთად).

როდესაც ავტონომიურ დენის წყარის ვიყენებთ, იგივე ამოცანის – პოტენციალთა სხვაობის შენარჩუნების ამოცანის გადაწყვეტა გვიწევს ამისათვის არის გამოგონილი ბატარეები და აკუმულატორები.



9.19

ზოგადად ისინი წარმოადგენენ ორ ელექტროდს, რომლებიც მოთავსებულია ქიმიურ ხსნარში – ელექტროლიტში. ნახატზე ნაჩვენებია სიმბოლური აღნიშვნაც – ელემენტი (A) და ელემენტებისაგან შედგენილი ბატარეა (B). დამუხტვის დროს გენერატორის ელექტრომამოძრავებელი ძალა ასრულებს სამუშაოს. ელექტრონები გროვდებიან ერთერთ ელექტროდზე ისეთი რაოდენობით, რომელსაც ითვალისწინებს აკუმულატორის ერთერთი პარამეტრი – ტევადობა. დატვირთვის მიერთების დროს თვითონ აკუმულატორი ხდება ელექტრომამოძრავებელი ძალის მქონე ხელსაწყო და ინარჩუნებს დატვირთვაზე პოტენციალთა სხვაობას. თვითონ ელექტროლიტი და მასში დამუხტვის და განმუხტვის დროს მიმდინარე ქიმიური პროცესი რეგულატორის როლს ასრულებს პოტენციალთა სხვაობის შენარჩუნების პროცესში. როდესაც აკუმულატორი დატვირთვაზე მუშაობის შედეგად ”გადაიმუხტება” და მისი ელექტრომამოძრავებელი ძალა შესუსტდება, ისევ უნდა მივმართოდ გენერატორს და ადვადგინოთ საწყისი მუხტი. აკუმულატორებში მიმდინარე განმუხტვის პროცესი უკუქცევადია, ბატარეებში კი არა. მათი კონსტრუქცია და ელექტროლიტის შემადგენლობა არ ითვალისწინებს დამუხტვის პროცესის უზრუნველყოფას.

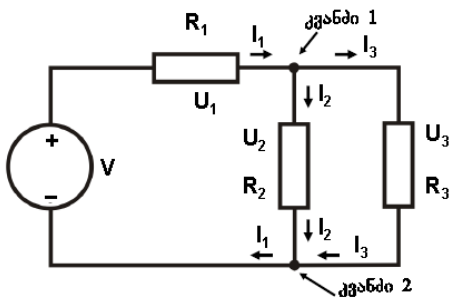
9.2 კირპოვის კანონები

9.1.4 ნახატზე წარმოდგენილი იყო უმარტივესი ელექტრული წრედი – ელექტრომამოძრავებელი ძალის მქონე წყარისთან მიერთებულია დატვირთვა,

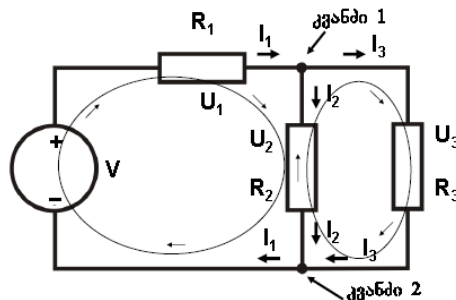
რომელშიც გადის პოტენციალთა სხვაობით გამოწვეული დენი. უფრო რთულ წრედებში შესაძლებელია რამდენიმე სხვადასხვანაირად ჩართული დატვირთვა იყოს. ასეთ წრედში დენები და ძაბვები გადანაწილდებიან. მათი მნიშვნელობები განპირობებული იქნება დატვირთვების წინააღობების სიდიდებით. გუსტავ კირჰოფმა, უნივერსიტეტში სწავლის პერიოდში ჩამოაყალიბა ორი მეტად მარტივი და ნათელი დებულება. დღეს ორივე მის სახელს ატარებს, და კირჰოფის პირველი და მეორე კანონის სახელით არიან ცნობილები.

პირველი კანონი ეხება დენებს. რთულ წრედებში ყოველთვის გვაქვს რამდენიმე კვანძი, რომლებშიც ერთმანეთს უერთდებიან დატვირთვები. აშკარაა, რომ კვანძში შესული ყველა მუხტი ამ კვანძიდან გამოსული მუხტების ტოლია. კვანძში მუხტები არ ჩნდებიან და არქრებიან მუხტის შენახვის კანონის გამო. აქედან გამომდინარე, პირველი კანონი გვეუბნება – **კვანძში შესულ დენთა ჯამი გამოსულ დენთა ჯამის ტოლია, ანუ დენების ალგებრული ჯამი ნულის ტოლია.** იგულისხმება კვანძში შესული და გამოსული დენი სხვადასხვა ნიშნისაა.

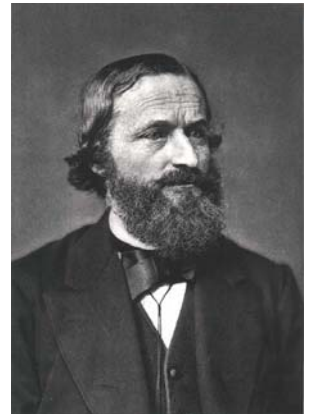
$$\sum_1^n I_j = 0.$$



9.2.1



9.2.2



გუსტავ კირჰოფი

ასე რომ არ ყოფილიყო, კვანძებში მუხტი დაგროვდებოდა ან დაიკარგებოდა, რაც არ დაიკვირვება.

მეორე კანონი არანაკლებ მარტივია და თვალსაჩინოა. ნებისმიერ რთულ წრედში შეგვიძლია გამოვყოთ მარტივი ჩაკეტილი კვანძები – ე.წ. კონტურები. ამ მარტივ წრედებში დენი სხვადასხვანაირად განაწილდება. თითოეულ ასეთ წრედში ელექტრონები ან იძენენ ენერგიას (მაგალითად ბატარეისაგან), ან კარგავენ დატვირთვაზე. კირჰოფის მეორე კანონი გვაუწყებს:

ელექტრული წრედის ნებისმიერ ჩაკეტილ კონტურში ელექტრონების ენერგიის მატება ნულის ტოლია.

ამ კანონსაც გააჩნია მარტივი ფიზიკური ინტერპრეტაცია – თუ კანონი არ სრულდება, მაშინ ელექტრონები ამ ჩაკეტილ კვანძში დამატებით ენერგიას იღებენ ან კარგავენ. პირველ შემთხვევაში მივიღებთ მუდმივ ძრავას, მეორეში დენი სულ მიღევადი იქნებოდა, რაც წრედებში არ დაიკვირვება. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, კონტურის შემოვლისას პოტენციალი უბრუნდება საწყის მნიშვნელობას.

განვიხილოთ რას გვაძლევს ეს ორი კანონი ელექტრული წრედების ანალიზის თვალსაზრისით. პირველ შემთხვევაში განვიხილოთ წრედი, რომელიც წარმოდგენილია 9.2.1 ნახატზე.