

„იოდის საათის“ რეაქციის კინეტიკის შესწავლა

მომზადებულია: სოფიკო ფაცაციასა და თინათინ ბუთხუზის მიერ

რეზიუმე:

იოდის საათის რეაქცია ე.წ. „ქიმიური საათი“ ერთ - ერთი საუკეთესო სადემონსტრაციო ექსპერიმენტი ქიმიის გაკვეთილზე. ექსპერიმენტის დროს რამდენიმე გამჭვირვალე ხსნარს ურევნენ ერთმანეთს გარკვეული თანმიმდევრობით, რის შედეგადაც მიღებული, ასევე გამჭვირვალე ხსნარი გარკვეული დროის შემდეგ მოულოდნელად იწყებს შეფერვას, ჯერ იღებს მუქ ყავისფერ შეფერილობას, შემდეგ კი ლურჯს, მერე ისევ უფერულდება და რაღაც დროის შემდეგ საწყის შეფერილობას უბრუნდება. ფერთა მონაცვლეობა გარკვეული დროის ინტერვალში პერიოდულად მეორდება. მოცემულ ექსპერიმენტს იოდის საათის რეაქციას ან ქიმიურ საათს უწოდებენ, რადგან ხსნარის ფერთა ცვლილების დრო დამოკიდებულია საწყისი რეაგენტების კონცენტრაციაზე. აღნიშნულ პროექტში თქვენ შეისწავლით, თუ რა გავლენას ახდენს რეაგენტების კონცენტრაცია ქიმიური რეაქციის სიჩქარეზე. პროექტის განსახორციელებლად გამოიყენებთ უსაფრთხო საყოფაცხოვრებო ქიმიურ ნივთიერებებს.

პროექტის განხორციელებისთვის საჭირო დრო:

1 დღე

საკვლევი კითხვა:

რა გავლენას ახდენს წყალბადის პეროქსიდის კონცენტრაცია იოდის საათის რეაქციის სიჩქარეზე და როგორ უნდა განვსაზღვროთ რეაქციის რიგი?

შესავალი:

ქიმიური კინეტიკა შეისწავლის ქიმიური რეაქციის სიჩქარესა და მექანიზმს. ქიმიური რეაქციის მექანიზმი აღწერს რეაქციის მიმდინარეობას დეტალურად თითოეულ სტადიაზე - რომელი ბმები იხლიჩება, რომელი ბმები წარმოიქმნება და ა.შ. ქიმიური რეაქციის სიჩქარე გვიჩვენებს თუ რამდენად სწრაფად მიმდინარეობს მოცემული რეაქცია. ქიმიური რეაქციის მიმდინარეობისას რეაგენტების კონცენტრაცია მცირდება, ხოლო პროდუქტების კონცენტრაცია იზრდება. შესაბამისად, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ქიმიური რეაქციის სიჩქარე იზომება კონცენტრაციის ცვლილებით დროში. ეს კარგად ჩანს იოდის საათის რეაქციაში, მისი ერთ-ერთი ვარიანტია ე.წ. „ძველი ნასაუს რეაქცია“ (Old Nassau Reaction), ორივე რეაქცია შეგიძლიათ იხილოთ მოცემულ ვიდეოებში:



[იოდის საათის რეაქცია](#)



ძველი ნასაუს რეაქცია

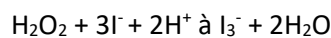
როგორც აღვნიშნეთ, ქიმიური კინეტიკა გვიჩვენებს რამდენად სწრაფად მიმდინარეობს რეაქცია. ქიმიური რეაქციების უმეტესობა იმდენად სწრაფია, რომ მისი გაზომვა საკმაოდ რთულია. იოდის საათის რეაქციის სიჩქარის გაზომვა მარტივადაა შესაძლებელია რეაქციის ფერის ცვლილების მონიტორინგით. მიუხედავად იმისა, რომ იოდის საათის რეაქციის მრავალი ვარიაცია არსებობს, ყოველ მათგანში გამოიყენება ორი ძირითადი ნივთიერება: იოდი (იოდიდის იონი, თავისუფალი იოდი ან იოდატის იონი) და მჟანგავი ან აღმდგენი რეაგენტი (რედოქს აგენტი), სახამებლის თანაობისას. მოცემულ პროექტში თქვენ გამოიყენებთ იოდის საათის რეაქციის „მწვანე“ ვერსიას.

„მწვანე ქიმიის“ მიზანია ქიმიურ ექსპერიმენტებში ეკოლოგიურად სუფთა მეთოდებისა და რეაგენტების გამოყენება. ამ პროექტის ფარგლებში თქვენ გაითვალისწინებთ „მწვანე ქიმიის“ თორმეტი პრინციპიდან ერთ-ერთს და სახიფათო და ტოქსიკურ ქიმიურ ნივთიერებების ნაცვლად გამოიყენებთ ბევრად უფრო უსაფრთხო ნივთიერებებს, რითაც თავიდან აიცილებთ ტოქსიკური ნარჩენების წარმოქმნასა და გარემოს დაბინძურებას.

საწყის რეაგენტებად გამოიყენებთ იოდის ხსნარს (იოდისა და ნატრიუმის იოდიდის ნარევი), ვიტამინი C-ს (ასკორბინის მჟავა), წყალბადის ზეჟანგს, გამოხდილი წყალსა და სახამებელს. თუმცა მაინც გმართებთ დაიცვათ უსაფრთხოების ზომები, ვინაიდან მოცემულ ნივთიერებათაგან რომელიმემ შეიძლება გამოიწვიოს კანზე მოხვედრისას მისი გაღიზიანება! ამიტომ სასურველია ლაბორატორიული ხალათისა და ხელთათმანის გამოყენება. (იოდის საათის სხვა ვარიაციებში გამოიყენება ძლიერი მჟავები (მარილმჟავა ან გოგირდმჟავა), ნატრიუმის თიოსულფატი, პერსულფატი ან ქლორატი, კალიუმის იოდატი. ზემოაღნიშნული ძველი ნასაუს რეაქციაში კი იყენებენ ვერცხლისწყლის (II) ქლორიდსაც კი, რომელიც ძალიან ტოქსიკურია!)

იოდის საათის რეაქციის მექანიზმი სხვადასხვა ვარიაციისთვის განსხვავებულია. თუმცა, ყველა რეაქცია ეყრდნობა ტრიიოდიდ - სახამებლის კომპლექსის წარმოქმნას. ეს რეაქციებია:

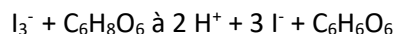
რეაქცია 1:



მოცემულ რეაქციაში წყალბადის პეროქსიდი რეაგირებს იოდიდის იონებთან შემჟავებულ ხსნარში და წარმოიქმნება ტრიიოდიდი და წყალი.

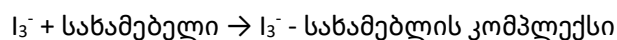
ტრიოდიდი რეაქციაში შედის C ვიტამინთან (ასკორბინის მჟავა), დარჩენილი ტრიოდიდი კი შემდგომში რეაგირებს სახამებელთან მუქი ლურჯი ტრიოდიდი-სახამებლის კომპლექსის წარმოქმნით.

რეაქცია 2:



მოცემული რეაქცია მიმდინარეობს ძალიან სწრაფად. მიუხედავად იმისა, რომ სახამებელი სარეაქციო ნარევიზია, მასთან მანამ არ ურთიერთქმედებს ტრიოდიდი სანამ C ვიტამინი სრულად არ გარდაიქმნება დეჰიდროასკორბინის მჟავად. მხოლოდ ამის შემდეგ შეუძლია ტრიოდიდს ურთიერთქმედება სახამებელთან.

რეაქცია 3:



მოცემულ რეაქციაში სახამებელი რეაგირებს ტრიოდიდთან და წარმოქმნის ლურჯი ფერის ტრიოდიდი-სახამებლის კომპლექსს.

მოცემული რეაქციებიდან ჩანს, რომ რაც უფრო სწრაფად წარიმართება მე - 2 რეაქცია, მით უფრო სწრაფად წარმოიქმნება დეჰიდროასკორბინის მჟავა და ასევე სწრაფად შევა თავისუფალი ტრიოდიდი რეაქციაში სახამებელთან. საინტერესოა, როგორია პირველი რეაქციის სიჩქარე? რეაქციის სიჩქარის საზომი პირველ რეაქციაში არის ის, თუ როგორ იცვლება წყალბადის პეროქსიდის კონცენტრაცია დროის ერთეულში, რაც შეიძლება გამოისახოს ფორმულით:

$$\text{რეაქციის სიჩქარე} = \frac{\text{წყალბადის პეროქსიდის კონცენტრაციის ცვლილება}}{\text{დრო (წმ)}}$$

რეაქციის სიჩქარე დამოკიდებულია რეაგენტების კონცენტრაციაზე. მაგალითად, პირველ რეაქციაში წყალბადის პეროქსიდის კონცენტრაციის გაზრდა გამოიწვევს რეაქციის სიჩქარის გაზრდას. იოდიდისა და მჟავას კონცენტრაციები კი იგივე რჩება, ამიტომ შეგვიძლია ვთქვათ, რომ რეაქციის სიჩქარე დამოკიდებულია მხოლოდ წყალბადის პეროქსიდის კონცენტრაციის ცვლილებებზე. ასეთ რეაქციას ეწოდება პირველი რიგის რეაქცია და ფორმულა ჩაიწერება შემდეგნაირად:

$$\text{რეაქციის სიჩქარე} = k [H_2O_2]^x$$

სადაც,

K - ქიმიური რეაქციის სიჩქარის მუდმივაა, 1/წმ

H_2O_2 - წყალბადის პეროქსიდის კონცენტრაცია, მოლი/ლ
 x - რეაქციის რიგი

ის ფაქტი, რომ რეაქცია არის პირველი რიგის წყალბადის პეროქსიდის მიმართ ადვილებს მოცემული რეაქციის კინეტიკის შესწავლას, რადგან რეაქციის სიჩქარე დამოკიდებულია მხოლოდ წყალბადის პეროქსიდის კონცენტრაციაზე, რომელსაც თქვენ თვითონ ირჩევთ რეაქციის დასაწყისში. წყალბადის პეროქსიდის კონცენტრაციის შეცვლით ადვილად დაინახავთ, სარეაქციო ნარევის გალურჯების დროის ცვლილებას წამზომის გამოყენებით.

ეს არ არის ერთადერთი გზა იოდის საათის რეაქციის კინეტიკის შესასწავლად! რეაქციის მექანიზმების დეტალური შესწავლა ასევე შესაძლებელია სხვა რეაგენტების გამოყენებით, ასევე შეიძლება მსგავსი რეაქციის გამოყენებით ადვილად შევისწავლოთ ტემპერატურის გავლენა რეაქციის სიჩქარეზე.

პროექტში გამოყენებული რესურსები:

 1000 მგ-იანი C ვიტამინის აბები; ხელმისაწვდომია აფთიაქებში. არასასურველია სადექი აბების გამოყენება.	 იოდის ხსნარი (2%); ხელმისაწვდომია აფთიაქებში. ალტერნატიული ვარიანტად შეიძლება გამოყენებულ იქნას 10%-იანი პროვიდონ-იოდის ხსნარი.	 სიმინდის სახამებელი	 გამოხდილი ან სუფთა წყალი;
 წყალბადის ზეჟანგი	 მენზურა	 პიპეტი	 წამზომი

(3%); ხელმისაწვდომია აფთიაქებში			
			
ელექტრო ქურა	მარკერი	თეთრი ფურცელი	კოვზი
			
ქიმიური ჭიქა x 24 ცალი			

უსაფრთხოება:

რეკომენდებულია ლაბორატორიული ხალათის გამოყენება. სასურველია გამოიყენოთ ხელთათმანი სარეცხ საშუალებებთან. გამოიჩინეთ სიფრთხილე გამათბობელთან.

ექსპერიმენტის პროცედურა:

ექსპერიმენტის დაწყებამდე შეგიძლიათ იხილოთ ვიდეო გაიდი, რომელიც დეტალურად ასახავს მოცემული ექსპერიმენტის ყველა საფეხურს.

C ვიტამინის ხსნარის მომზადება

1. ერთ-ერთ ქიმიურ ჭიქას მიაწერეთ მარკერით „C ვიტამინის ხსნარი“.
2. მზომი ცილინდრის გამოყენებით აიღეთ 100 მლ გამოსხილი წყალი და ჩაასხით ეტიკეტირებულ ჭიქაში.

3. თეთრ ფურცელზე მოათავსეთ ერთი აბი 1000 მგ-იანი C ვიტამინი, გადაკეცეთ ფურცელი და დაფშვებით.
4. C ვიტამინის დაქუცმაცებული მასა გადაიტანეთ ეტიკეტირებულ ჭიქაში და მოურიეთ.
5. მიღებული C ვიტამინის ხსნარი გააცხელეთ სრულ გახსნამდე.

სახამებლის ხსნარის მომზადება.

1. ქიმიურ ჭიქას მიაწერეთ „სახამებლის ხსნარი“.
2. მზომი ცილინდრის გამოყენებით აიღეთ 100 მლ გამოხდილი წყალი და ჩაასხით ეტიკეტირებულ ჭიქაში.
3. დაუმატეთ 1/4 ჩაის კოვზი სიმინდის სახამებელი და კარგად მოურიეთ.
4. სახამებლის ხსნარი გააცხელეთ (ადუღებამდე!) 1 წუთის განმავლობაში. სიმინდის სახამებელი ბოლომდე არ გაიხსნება, ხსნარი შეიძლება ჩანდეს ბუნდოვანი.

იოდის საათის რეაქცია:

1. C ვიტამინის, იოდის, სახამებლის ხსნარისა და გამოხდილი წყალის რაოდენობები მოცემულია ცხრილში 1. თითოეული ხსნარისთვის გამოიყენეთ ახალი პიპეტი, ეცადეთ ზუსტად აიღოთ მოცემული რაოდენობები.

ცხრილი 1. რეაგენტების რაოდენობები

რეაგენტი	რეაქტი ა 1	რეაქტი ა 2	რეაქტი ა 3	რეაქტი ა 4	რეაქტი ა 5	რეაქტი ა 6	რეაქტი ა 7	რეაქტი ა 8
C ვიტამინი	2.5 მლ	2.5 მლ	2.5 მლ	2.5 მლ	2.5 მლ	2.5 მლ	2.5 მლ	2.5 მლ
იოდის ხსნარი (2%)	1.5 მლ	1.5 მლ	1.5 მლ	1.5 მლ	1.5 მლ	1.5 მლ	1.5 მლ	1.5 მლ
სახამებელი ს ხსნარი	3 მლ	3 მლ	3 მლ	3 მლ	3 მლ	3 მლ	3 მლ	3 მლ
წყალი	15 მლ	16 მლ	17 მლ	18 მლ	19 მლ	20 მლ	21 მლ	22 მლ
წყალბადის პეროქსიდი	8 მლ	7 მლ	6 მლ	5 მლ	4 მლ	3 მლ	2 მლ	1 მლ

2. ქიმიურ ჭიქაში ჩაასხით C ვიტამინის ხსნარი და დაუმატეთ იოდის ხსნარი. მოურიეთ გაუფერულებამდე.
3. მიღებულ ხსნარს დაუმატეთ სახამებლის ხსნარი და წყალი. საბოლოო ხსნარი უნდა იყოს ისეთივე უფერული, როგორც ნაჩვენებია სურათზე



2. შენიშვნა: თუ გამოიყენებთ 10%-იან პროვიდონ - იოდის ხსნარს, 2%-იანი იოდის ხსნარის ნაცვლად, მაშინ სარეაქციო ნარევს დაუმატეთ 2 მლ 10%-იანი პროვიდონ-იოდის ხსნარი. დანარჩენი რეაგენტების რაოდენობა იგივე დარჩება.
3. ქიმიური ჭიქა მოათავსეთ თეთრ ფურცელზე, რათა ფერის ცვლილება უფრო ადვილად შეამჩნიოთ.
4. წყალბადის პეროქსიდი ყველა ჭიქაში დაამატეთ ერთდროულად და დამატებისთანავე ჩართეთ წამოზომი. დაელოდეთ ფერის შეცვლას. ჩაინიშნეთ დრო, როგორც კი შეამჩნევთ მოლურჯო შეფერილობას. (შენიშვნა: თუ იყენებთ 10%-იან პროვიდონ-იოდის ხსნარს 2%-იანი იოდის ნაყენის ნაცვლად, ნარევი ჯერ ყვითელი/ნარინჯისფერი გახდება, შემდეგ კი მუქი ლურჯი. შეეცადეთ კარგად მოურიოთ სარეაქციო ნარევი. გაითვალისწინეთ, მეტი დრო სჭირდება ფერის შეცვლას პროვიდონ-იოდის ხსნარს გამოყენებისას. დაელოდეთ დაახლოებით 15 წუთის განმავლობაში).

გაიმეორეთ ეტაპები 1-6 წყალბადის პეროქსიდის იგივე კონცენტრაციით სამჯერ, რათა დარწმუნდეთ თქვენი შედეგების ვალიდურობაში. სარეაქციო ხსნარის ტემპერატურა უნდა იყოს ერთი და იგივე, რათა გავლენა არ მოახდინოს რეაქციის სიჩქარეზე.

შემდეგ გაიმეორეთ ეტაპები 1-6 წყალბადის პეროქსიდის სხვა კონცენტრაციებისთვის (იხ.ცხრილი 1) და ასევე გაიმეორეთ სამჯერ.

მონაცემები შეიტანეთ ცხრილში:

წყალბადის პეროქსიდის მოცულობა, მლ	8 მლ	7 მლ	6 მლ	5 მლ	4 მლ	3 მლ	2 მლ	1 მლ
---	---------	------	------	------	------	------	------	------

რეაქციის დრო, წმ								
------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

ააგეთ წყალბადის პეროქსიდის მოცულობის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი, სადაც x დერძზე გადაზომილი იქნება წყალბადის პეროქსიდის რაოდენობა მლ-ებში, ხოლო y დერძზე დრო. რეაქციის დასრულების დრო გვიჩვენებს რეაქციის სიჩქარეს,

გაითვალისწინეთ მრუდის ფორმა დამოკიდებულია " x "-ზე, წყალბადის ზეჟანგის რეაქციის რიგითობაზე.

თუ $x = 1$, მრუდი იქნება სწორხაზოვანი. (წყალბადის პეროქსიდის რაოდენობის გაორმაგება გააორმაგებს რეაქციის სიჩქარეს).

თუ $x = 2$, მრუდი არის პარაბოლა (ეს იმას ნიშნავს, რომ წყალბადის პეროქსიდის რაოდენობის გაორმაგება რეაქციას სიჩქარეს გაზრდის 4-ჯერ).

თქვენ შედეგებზე დაყრდნობით, დაადგინეთ როგორია რეაქციის რიგი წყალბადის პეროქსიდის მიმართ?

პროექტის ვარიაციები:

- რა გავლენას მოახდენს სხვა რეაგენტების კონცენტრაციის ცვლილება რეაქციის სიჩქარეზე?
- რა გავლენას ახდენს ტემპერატურის ცვლილება რეაქციის სიჩქარეზე?

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Science Buddies Staff. "Investigate the Kinetics of the Color Changing Iodine Clock Reaction." *Science Buddies*, 22 Nov. 2022, https://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project-ideas/Chem_p091/chemistry/iodine-clock-reaction-kinetics. Accessed 17 Mar. 2024
2. Wilkinson, L. E. J. *Chem. Educ.* 2004, 81, 1474