

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო
უნივერსიტეტის

ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტი
ეკოლოგიის მიმართულება

ეკა გვიშიანი

საბაკალავრო ნაშრომი

ბირთვული ენერგეტიკა, მისი ეკოლოგიური ასპექტები და მდგომარეობა
დღეისათვის

ხელმძღვანელი: ს.წერეთელი

ემერიტუს პროფესორი

თბილისი 2014

სარჩევი

შესავალი.....	3
1. ეკოლოგიური მდგომარეობა საქართველოში.....	7
2. რადიაციის სახეები და დოზიმეტრიის ძირითადი ცნებები.....	12
3. ატომბირთვის რადიოაქტიური გარდაქმნის სახეები.....	19
4. რადიოაქტიური დაშლის კანონი.....	25
5. ბირთვული ენერგია.....	29
6. ბირთვული რეაქტორი.....	37
7. პირველი ბირთვული რეაქტორი.....	40
8. ჩერნობილის კატასტროფა.....	41
დასკვნა.....	46
გამოყენებული ლიტერატურა.....	49

შესავალი

დღესდღეობით მსოფლიოს ეკოლოგიური მდგომარეობა ეგზომ სავალალოა. პირველ ადგილზე ატმოსფეროს თანამედროვე ეკოლოგიური მდგომარეობა და გლობალური დათბობის პრობლემები დგას.

ატმოსფერო დედამიწაზე სიცოცხლის არსებობის აუცილებელი პირობაა. ადამიანს საკვების გარეშე შეუძლია იცოცხლოს ორ თვემდე, უწყლოდ ერთ კვირამდე, უჰაეროდ კი მხოლოდ რამდენიმე წუთი ძლებს. იგი არეგულირებს და განსაზღვრავს ჩვენი პლანეტის ჰავას, მის წიაღში ხდება ამინდის ჩამოყალიბება. ატმოსფერო წარმოადგენს ბიოსფეროს სასიცოცხლო თერმორეგულატორს, მის გარეშე დედამიწის ზედაპირზე ტემპერატურის დღეღამური რყევა (ამპლიტუდა) მიაღწევდა 200 გრადუსს (დღისით +100 გრადუსს, ღამით - 100 გრადუსს), რომელსაც ცოცხალი არსება ვერ გაუძლებდა. ასევე იგი იცავს ბიოსფეროს მეტეორიტების "წვიმისაგან" და მავნე რადიაციისაგან (უპირველესად ოზონის გარსი), არეგულირებს ტენიანობას და წნევას.

ატმოსფერული ჰაერი, როგორც ფიზიკური სხეული პრაქტიკულად გამოუღვეველი ბუნებრივი რესურსია, მაგრამ თანამედროვე ეპოქაში ძლიერი ანთროპოგენური გაბინძურება, მას თვისობრივი გამოლევის საშიშროებას უქადის.

თანამედროვე სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის ეპოქაში მსოფლიო მეურნეობის კოლოსალურმა მასშტაბებმა, უპირველესად მინერალური საწვავის (ნახშირის, ნავთობის, ბუნებრივი აირის) მოხმარების, აგრეთვე საწარმოების და ტრანსპორტის (ქარხნებში, ფაბრიკებში, თბოელექტროსადგურებში, ატომურ ელექტროსადგურებში, ავტო, საჰაერო და წყლის ტრანსპორტზე, კომუნალურ მეურნეობაში და სხვა.) გიგანტურმა მოცულობამ გამოიწვია ატმოსფეროს ძლიერი გაბინძურება (დამტვერიანება), გამონაბოლქვი და გამონაფრქვევი მყარი და გაზობრივი ნივთიერებებით.

ატმოსფეროში არსებული მტვერი არის ბუნებრივი და ანთროპოგენური (საწარმოო) წარმოშობის. პირველი ატმოსფეროს მუდმივი შემადგენელია, იგი ეკოლოგიურად უსაფრთხოა მიუხედავად მისი წარმომქმნელი წყაროების სიმრავლისა (ქანების და ნიადაგის გამოფიტვა, ვულკანიზმი, ხანძრები, მტვრიანი ქარიშხლები, აორთქლება ოკეანის

ზედაპირიდან, კოსმოსური მტვერი და სხვა.). ბუნებრივი მტვერი გარკვეულწილად, დადებით როლს ასრულებს რიგ პროცესებში, ხელს უწყობს წყლის ორთქლის კონდენსაციას და ნალექების წარმოქმნას, შთანთქმავს მზის პირდაპირ რადიაციას, ცოცხალ ორგანიზმებს იცავს მზის საზიანო გამოსხივებისაგან და სხვ.

ატმოსფეროს ანთროპოგენური დამტვერიანება მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენს კლიმატურ პირობებზე. სხვადასხვა მექანიკური შედგენილობის მტვერი იჭრება ატმოსფეროს ფენებში და გავლენას ახდენს, როგორც მოკლეტალღოვან ისე გრძელტალღოვან რადიაციაზე. გამოანგარიშებულია, რომ ატმოსფეროში ყოველწლიურად ხვდება 300-400 მლნ ტ. ანთროპოგენური აეროზოლური მასა, რაც მოწმენდილ ამინდში პირდაპირ რადიაციას ამცირებს დაახლოებით 6%-ით, ეს კი შეესატყვისება ჯამური რადიაციის 1%-ით შემცირებას (ბუდიკო, 1977).

საქალაქო დასახლებისა და სამრეწველო ცენტრების არეალში ატმოსფეროში არსებულ მტვერს ემატება მრავალი სახეობის საწარმოო (ანთროპოგენური) მტვერისა და მავნე გაზების კოლოსალური რაოდენობა, რაც იწვევს მის გაბინძურებას, თანმხლები უარყოფითი მოვლენებით.

ცნობილია, რომ ატმოსფეროში არსებული მტვერიდან კოსმოსურ მტვერის წილად მოდის 1%, დედამიწაზე კი დღე-ღამეში 10 000 ტ კოსმოსური მტვერი ვარდება. ეოლურ მტვერზე კი მოდის 70%, რომლის რაოდენობა წლიდან წლამდე იზრდება; ვულკანური წარმოშობის მტვერმა XIX საუკუნეში დაახლოებით 230 კუბ. (520 მრდ ტ) კმ შეადგინა. მარტო ვულკან კრაკატაუს მტვერი დედამიწის ირგვლივ ვრცელდებოდა 120 კმ/სთ სიჩქარით, რამაც ატმოსფეროს გამჭირვალობა 3-4 %-ით შეამცირა და 5 წლის განმავლობაში იწმინდებოდა.

ეკოლოგიური თვალსაზრისით, გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს არა თავისთავად გამაბინძურებელი ნივთიერებების არსებობას ჰაერში, არამედ მათი კონცენტრაციის დონეს (რაოდენობას). აქედან გამომდინარე, ატმოსფეროს გაბინძურებაში იგულისხმება ეკოლოგიური სიტუაცია, რომლის დროსაც ჰაერში მოხვედრილი სამივე აგრეგატულ მდგომარეობაში არსებული სხვადასხვა სახის მავნე ნივთიერებათა კონცენტრაცია, აღემატება ზღვრულად დასაშვებ ნორმას, რაც უარყოფითად მოქმედებს ცოცხალ ორგანიზმებზე, აუარესებს სასიცოცხლო პირობებს და იწვევს მნიშვნელოვან მატერიალურ ზარალს.

გამაბინძურებელი წყაროები არის სტაციონარული (სამრეწველო საწარმოები, საქვებები, თბო - და ატომური ელექტროსადგურები და სხვა.) და გადაადგილებადი (ავტო, სარკინიგზო, საჰაერო, წყლის ტრანსპორტი და სხვა.).

ყველაზე დიდი წილი მოდის სათბობის (ნახშირის, ნავთობი, ბუნებრივი აირი და სხვ.) წვით გამოწვეულ გაბინძურებაზე. სათბობის სრული წვისას ატმოსფეროში მოხვედრილ ნივთიერებათა (ნახშიროჟანგი, გოგირდის ჟანგი, აზოტი და სხვ.) რაოდენობა არ ქმნის საშიშ ეკოლოგიურ სიტუაციას, მაგრამ მეტწილ შემთხვევებში წვა არასრულად მიმდინარეობს (განსაკუთრებით ავტოტრანსპორტში), რის გამოც ატმოსფეროში ხვდება დაუწვავი სათბობის მყარი ნაწილაკების, ნაცრის, მავნე გაზების დიდი რაოდენობა. მათგან ძირითადად გამაბინძურებელია ნახშირბადის, გოგირდის, აზოტის, ჭვარტლის, მტვრის ნაერთები. განსაკუთრებით მავნეა მხუთავი გაზი (ნახშიროჟანგი) და გოგირდოვანი აირი.

ატმოსფეროში მოხვედრილი ნახშიროჟანგის მხოლოდ მცირე ნაწილი მიეკუთვნება ბუნებრივ წარმონაქმნს. ძირითადი ნაწილი ტექნოგენურია, მათგან 80% ავტოტრანსპორტზე მოდის. ავტომობილების გამონაბოლქვში დიდი რაოდენობითაა აგრეთვე ნახშირწყალბადი, გოგირდოვანი გაზი, აზოტის ჟანგი, ტყვია და სხვ. ტექნიკურად გაუმართავი (დაურეგულირებელი) ძრავის მუშაობის პირობებში გამონაბოლქვში მავნე ნივთიერებათა რაოდენობა შეიძლება გაიზარდოს 10-15 -ჯერ, საავტომობილო ტრანსპორტთან დაკავშირებული გაბინძურება მაქსიმალურ კონცენტრაციას აღწევს ინტენსიური მოძრაობის ქუჩებში და მაგისტრალზე. მკვლევარების შეფასებით ერთი ავტომობილი საშუალოდ ყოველ 1000 კმ-ზე წვავს ერთი ადამიანის წლიურ ნორმა ჟანგბადს.

ატმოსფეროს გაბინძურებაში მნიშვნელოვანი წილი მოდის საჰაერო, სარკინიგზო და წყლის ტრანსპორტზე. ისინი ხარჯავენ ჟანგბადის დიდ რაოდენობას. ერთ თვითმფრინავს 1000 კმ მანძილზე ფრენისას საშუალოდ სჭირდება ერთი ადამიანის წლიური ნორმა ჟანგბადი. ზოგიერთი მკვლევარის შეფასებით ორძრავიანი რეაქტიული თვითმფრინავი სრული დატვირთვით აფრენისას, ასაფრენ ბილიკზე ტოვებს მავნე აირების იმ რაოდენობას, რომელიც 6350 ავტომანქანის გამონაბოლქვის ტოლია. გაბინძურების ყველა წყაროდან ატმოსფეროში წლიურად ხვდება საშუალოდ 2 მილიარდი ტონა მტვერი.

მსოფლიოს ბევრი ინდუსტრიული ქალაქისთვის ნამდვილ უბედურებად იქცა ე.წ. "სმოგი" - ტოქსიკური სქელი ნისლი, რომლის მსხვერპლიც ათასობით ადამიანია, მის

”სამშობლოდ” ლონდონი ითვლება. ბოლო პერიოდში სმოგების ”დედაქალაქად” მიჩნეულია ლოს-ანჯელესი (აშშ).

ატმოსფეროს გაბინძურების ცოცხალი ბუნებისათვის ძლიერ საზიანო გამოვლინებას წარმოადგენს მჟავური წვიმები (მჟავური ატმოსფერული ნალექები), რასაც იწვევს ატმოსფეროში გოგირდისა და აზოტის ჟანგების დაგროვება. მჟავური ატმოსფერული ნალექების (იგი შეიძლება მოვიდეს როგორც წვიმის, ასევე თოვლის სახით) ბუნებრივ წყაროს ძირითადად წარმოადგენს ვულკანიზმი, რომელიც მეცნიერთა შეფასებით, ყოველწლიურად ატმოსფეროს ”ტვირთავს” 4-16 მლნ ტონა გოგირდის ნაერთებით. ლომის წილი მჟავურ ატმოსფერული ნალექების წარმოქმნაში მაინც ანთროპოგენურ წყაროებს - გოგირდს და აზოტს ეკუთვნის. გოგირდოვანი გაზი წარმოიქმნება ნახშირისა და ნავთობპროდუქტების წვის და ფერადი ლითონების მოპოვება-გადამუშავების პროცესში.

აზოტის ჟანგი წარმოიქმნება ჰაერში აზოტის ჟანგბადთან შეერთების შედეგად, მაღალი ტემპერატურის პირობებში, უმთავრესად შიგა წვის ძრავებში და საქვაბეებში. მჟავური წვიმები დიდ ზიანს აყენებს ბუნებას (განსაკუთრებით ცოცხალ), სოფლის მეურნეობას და თვით შენობა-ნაგებობებსაც. იგი უარყოფითად მოქმედებს ადამიანის ჯანმრთელობაზე. აშშ-ისა და დასავლეთ ევროპის სამრეწველო კომპლექსებისაგან ძლიერ ზარალდება სკანდინავიის ქვეყნები, აგრეთვე ევროპული რუსეთი და ბალტიისპირეთი, ვინაიდან გამაბინძურებელ ნივთიერებათა ნაკადის ტრანსპორტირებას ახდენს დასავლეთი ქარები. არსებული ინფორმაციით, ამ მიზეზით შვედეთის ოთხიათასამდე ტბაში თევზი არ ბინადრობს, ხოლო ნორვეგიის ტბების 80 % მძიმე ეკოლოგიურ მდგომარეობაშია.

ატმოსფეროს გაბინძურებასთან დაკავშირებულ გლობალური პრობლემებიდან ერთ-ერთი ყველაზე უფრო საგანგაშოა გლობალური დათბობის ტენდენცია. მისი მიზეზია სათბური ეფექტის წარმოქმნა, რაც დაკავშირებულია ატმოსფეროში სათბური გაზების, უპირველესად ნახშირორჟანგის, მეთანის წყლის ორთქლის, ფრეონის, ოზონის და სხვ. კონცენტრაციით. ყველაზე დიდი წილი მის შექმნაში CO₂-ს აქვს. სათბური გაზები მზის სითბოს თავისუფლად ატარებენ დედამიწის ზედაპირისაკენ, ხოლო მისგან გრძელტალღოვანი სითბურ გამოსხივებას აკავებენ. ამიტომ ატმოსფეროს მიწისპირა ფენაში გროვდება სითბო და აღინიშნება პლანეტარული დათბობა, რაც მეტეოროლოგიურ პროცესებში გამოიწვევს მსოფლიო ოკეანის დონის აწევას, რაც კატასტროფის ტოლფასი

იქნება, ვინაიდან მსოფლიო მოსახლეობის და დიდი ქალაქების მნიშვნელოვანი ნაწილი თავმოყრილია მსოფლიო ოკეანის სანაპირო ზოლში.

გლობალური დათბობის ერთ-ერთი ხელშემწყობია ტექნოგენური სითბოს გამოყოფა, რაც უდაოდ, გარკვეულ გავლენას ახდენს ტემპერატურის გლობალურ აწევაზე, რაზეც ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 70-იან წლებში მიუთითებდნენ მეცნიერები (მილანოვა, რიაბჩიკოვი, 1979), რომ წარმოების ზრდის და ენერჯის მოხმარების ახლანდელი ტემპით (წლიურად 5,5-6 %), 2050 წლისათვის ის გაიზრდება 60-70 %-ით, რაც გამოიწვევს პლანეტის ჰაერის საშუალო ტემპერატურის ნორმიდან მნიშვნელოვან გადახრას. ეს მოსაზრება, როგორც ჩანს მართლდება კიდევ.

ატმოსფეროს გაბინძურებასთან დაკავშირებული მწვავე ეკოლოგიური (გლობალური მასშტაბის) გართულებებიდან ერთ-ერთი ყველაზე საგანგაშოა ბიოსფეროს, მზის მომაკვდინებელი ულტრისფერი გამოსახივებისაგან დამცავი ფარის, სტრატოსფერული ოზონის ფენის რღვევის ნიშნები, ოზონის ხვრელების წარმოქმნა და გაფართოება. იგი ძირითადად გამოწვეულია ატმოსფეროში ფრენის და აზოტის ჟანგის კონცენტრაციით. პირველის წყაროს ძირითადად წარმოადგენს აეროზოლური ბალონებისა და საყოფაცხოვრებო ქიმიის პროდუქტების მოხმარება. აზოტოვანი ჟანგისა კი - ზებგერითი თვითმფრინავების ძრავების მუშაობა და ზოტოვანი სასუქების გამოყენება.

1. ეკოლოგიური მდგომარეობა საქართველოში

ეკოლოგიური სიტუაცია სახარბიელო არც საქართველოს თავზეა. არსებული ინფორმაციით (ახლო წარსულში), რესპუბლიკის ტერიტორიიდან ატმოსფეროში მოხვედრილი (გამოფრქვეული) მავნე ნივთიერებათა მთელი მასა შეადგენდა თითქმის მილიონნახევარ ტონას, აქედან სამრეწველო საწარმოებზე მოდიოდა დაახლოებით 35 %, ხოლო ავტოტრანსპორტზე 65%. გაბინძურების ყველაზე მაღალი მაჩვენებელი აღინიშნება მთავარ სამრეწველო და ინტენსიური ავტოსატრანსპორტო მოძრაობის ქალაქებში. ატმოსფეროს გაბინძურებაში ავტოტრანსპორტის წილი ყველაზე დიდია (80%-ზე მეტი) ქალაქ თბილისში. ერთ სულ მოსახლეზე გაბინძურების მასა მაქსიმალური იყო (დაახლოებით 2400 კგ) ზესტაფონში (ძირითადი წყარო "ფერომშენი"), ასევე მაღალი მაჩვენებელია რუსთავში და კასპში.

ატმოსფეროს ანთროპოგენური დაბინძურებისაგან დაცვის ღონისძიებებიდან უმთავრესია:

წარმოებაში უახლესი ტექნოლოგიების დანერგვა;

ეკოლოგიურად უსაფრთხო ალტერნატიული ენერგეტიკის განვითარება (მზის, ქარის, ჰიდრო, ზღვის ტალღების და სხვ.);

საკვამლე მიწების ეფექტური მტვერ - და გაზდამჭერი მოწყობილობებით უზრუნველყოფა;

ტყის არაგონივრული ჭრის აღკვეთა და მისი მასივების გაფართოება;

ავტოტრანსპორტის გადაყვანა ეკოლოგიურად უსაფრთხო ენერგოწვავზე (ელექტრო და მზის);

მსოფლიო ოკეანის დაცვა დაბინძურებისაგან, ვინაიდან ატმოსფერული პროცესები და მასში ჟანგბადისა და ნახშირორჟანგის კონცენტრაცია ბევრად არის დამოკიდებული ოკეანის საერთოდ და კერძოდ, ფიტოპლანქტონის ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე;

იურიდიულ-საკანონმდებლო უზრუნველყოფა და ადამიანის ეკოლოგიური კულტურის ამაღლება;

ატმოსფეროს ძლიერი ანთროპოგენური დაბინძურების პირობებში, მისი თვითგაწმენდის უნარი ვერ უზრუნველყოფს კონცენტრაციის ღონის უსაფრთხო მდგომარეობის შენარჩუნებას. რის გამოც აუცილებელი ხდება გლობალური მასშტაბის ეფექტურ ღონისძიებათა გატარება, რათა თავიდან იქნას აცილებული კრიზისული (ზოგჯერ კატასტროფული) ეკოლოგიური სიტუაციის წარმოქმნის საფრთხე. საქართველოს შემთხვევაში, იმასთან დაკავშირებით, რომ სამრეწველო საწარმოთა მეტი წილი გაჩერებულია (ზოგი ჭირი მარგებელია) ნაწილი კი არასრული დატვირთვით მუშაობს, საგრძნობლად შემცირდა ატმოსფეროს დაბინძურების სტაციონარული წყაროების წილი. ატმოსფეროს დაბინძურების წინააღმდეგ მიმართულ ღონისძიებათა შორის ასევე ერთ-ერთი უმთავრესია გაზდამჭერი დანადგარების მოწყობა და მავნე ნივთიერებათა გამონაბოლქვოს შემცირება ტექნოლოგიური პროცესების სრულყოფის გზით.

მოსახლეობის რიცხოვრივ ზრდასთან ერთად იზრდება ტურისტულ-რეკრეაციული ნაკადების სიმძლავრე, განსაკუთრებით კი ურბანიზებულ ქვეყნებსა და რაიონებში. შესაბამისად იზრდება ანთროპოგენულ-რეკრეაციული დატვირთვები და ზემოქმედება

ბუნებრივ ლანდშაფტებზე. მდინარეების, ტბებისა და წყალსატევების სტიქიურმა და არარაციონალურმა გამოყენებამ შეიძლება ბუნებრივი წონასწორობის სერიოზული დარღვევა გამოიწვიოს.

ზოგიერთი მკვლევარის მიერ "რეკრეაციის" ცნება ცალსახად არის გაგებული - "ბუნებაში დასვენება", მაგრამ ასეთი განმარტება არასწორია. რეკრეაცია - უპირველესად ეს არის ადამიანის ბუნებასთან კავშირ-ზემოქმედების პროცესი, როდესაც ადამიანი ფიზიკური და სულიერი ძალების აღსადგენად პირდაპირ ან არაპირდაპირ იყენებს სხვადასხვა ბუნებრივ რესურსებს: ჰიდროთერმულ, მინერალურ, მიწის, ხმელეთისა და წყლის ფიტო და ზოორესურსებს და სხვ.

მოსახლეობის დასვენებასა და ბუნებრივი რესურსების გამოყენებას შორის შეინიშნება პირდაპირი და უკუკავშირები. ამ პროცესში მონაწილე ორივე მხარის რთული ურთიერთზემოქმედების შედეგი რეკრეაციისათვის შეიძლება დადებითიც იყოს და უარყოფითიც, რაც საზოგადოებასა და გარემოზე ერთდროულად ვლინდება. დადებითი შედეგია, რომ ადამიანი აღიდგენს ძალებს და ჯანმრთელობას, ხოლო შედეგი უარყოფითი იქნება, თუ მოხდება ბუნებრივი რესურსების უკონტროლო გამოყენება.

გარემოს შენარჩუნებისა და აღდგენის მიზნით აუცილებელია ბუნებაზე რეკრეაციული ზემოქმედების კონტროლი, პროგნოზი და მართვა. წყალსატევების სანაპიროები მეტად მგრძობიარეა, მათი რეკრეაციული ტევადობა და აღდგენის უნარი კი - საკმაოდ შეზღუდული. დაკვირვებებმა ცხადყო, რომ დამსვენებლები დასვენების ზონაში ტოვებენ ნარჩენებს და ნაგავს, ხელს უწყობენ ნაპირების ეროზიას, ტყეში ხანძრის გაჩენას, სანაპიროს ხედები კი შეცვლილი და დამახინჯებულია რეკრეაციული ნაგებობების სტიქიური მშენებლობების გამო.

წყალსატევებზე ჰიდროკვანძების პროექტირებისას მნიშვნელოვანია რეკრეაციული ზემოქმედების გათვალისწინება, რაც საშუალებას იძლევა მოხდეს მისი გარემოზე გავლენის უფრო საფუძვლიანი პროგნოზირება. წყალსაცავის შექმნიდან რამდენიმე წლის შემდეგ დასვენების საგარეუბნო ზონაში თავს იჩენს დამსვენებელთა ზეგავლენა მცენარეულ საფარზე, რის შედეგადაც თითქმის მთლიანად ნადგურდება ქვეტყე და ნაზარდი, იცვლება ნიადაგის ფიზიკური თვისებები.

ტურიზმი იწვევს პლაჟების შემცირებას, ის ხელს უწყობს ქვიშის დიუნების გადაადგილებას და ნგრევას. ირლანდიაში, დიდ ბრიტანეთში, დანიასა და ნიდერლანდებში მნიშვნელოვანმა რეკრეაციულმა დატვირთვებმა გამოიწვიეს დიუნების ეროზია და სერიოზული ზიანი მიაყენეს სანაპიროს მცენარეულობას.

გარემოზე ტურისტთა ნაკადისა და დამსვენებელთა უშუალო ზეგავლენის გარდა გასათვალისწინებელია აგრეთვე, იგივე გარემოზე საკურორტო დასახლებების, სპეციალური შენობა-დაწესებულებების, სატრანსპორტო კომუნიკაციების, წყალგაყვანილობისა და საკანალიზაციო ქსელის და ა.შ. ზეგავლენაც. შიდა წყალსატევების სანაპიროებზე რეკრეაციული ობიექტების დიდი კონცენტრაცია იწვევს ნეგატიურ ეკოლოგიურ და სანიტარულ-ჰიგიენურ ეფექტს.

წყლის ობიექტის სანაპიროებზე დასვენების ზონების ქაოტურმა არამართულმა განვითარებამ რამდენიმე წლის შემდეგ შეიძლება ბუნებრივი ლანდშაფტების ნგრევის შეუქცევადი პროცესი გამოიწვიოს.

ამრიგად, წყალსატევების ნაპირებზე რეკრეაციის შედეგად ძირითადი ნეგატიური ეკოლოგიური ზემოქმედებებია:

ტყისა და მინდვრების მცენარეული საფარის დიგრესია, რაც იწვევს მეწყერს, წყლისა და ქარისმიერ ეროზიას;

საგზაო-საბილიკო ქსელის გადატვირთვა, რაც ლანდშაფტის ჰიგიენურ და სანკურნალო თვისებებს აუარესებს;

სანაპირო ფერდობების რეკრეაციული დაწესებულებებით გადატვირთვა, რაც იწვევს მეწყერებს, ხრამებს და აუარესებს ლანდშაფტის ესთეტიკურ-თვისებებს;

პლაჟების, წყალსატევების სანაპირო ზოლის გადატვირთვა, რაც იწვევს მათ ქიმიურ და ბაქტერიულ დაჭუჭყიანებას.

გამოკვლევები ამტკიცებს, რომ წყლის ობიექტების რეკრეაციული გამოყენება იწვევს არახელსაყრელ ზემოქმედებას, კერძოდ კი ხელს უწყობს წყლის ფიზიკურ-ქიმიურ მახასიათებლების ცვლილებებს, მის ბაქტერიულ დაჭუჭყიანებას, წყალსატევების ევტროფიკაციის განვითარებას, ცალკეულ შემთხვევაში კი შეიძლება ეკოსისტემის შეცვლაც კი გამოიწვიოს. უნდა აღინიშნოს რომ რეკრეაციული ზეგავლენა წყალსატევებზე ნაკლებადაა შესწავლილი.

ხმელეთისა და წყლის ბუნებრივი კომპლექსების რღვევა წყლის ობიექტების რეკრეაციული გამოყენებისას, შეიძლება სხვადასხვა მექანიკური დაზიანებების შედეგადაც მოხდეს; აგრეთვე წყლის ობიექტებში დასვენების ზონიდან დამაჭუჭყიანებელი და ევტროფირებული ნივთიერებების მოხვედრით.

წყლის ობიექტების რეკრეაციული გამოყენების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი არახელსაყრელი შედეგია წყლის დაჭუჭყიანება, რაც მის სანიტარიულ-ჰიგიენური პირობების გაუარესებას იწვევს. მართალია, რეკრეაცია წყალსატევების დაჭუჭყიანების ერთადერთი მიზეზი არ არის, მაგრამ ბევრ რაიონში აღმავებს მას, რამაც თავის მხრივ შეიძლება ტურიზმისა და რეკრეაციის პირობებზე დამლუპველად იმოქმედოს. ასე მაგალითად, 1972 წელს მთელი რიგი ქვეყნების ადმინისტრაციულმა ორგანოებმა ევროპის ზოგიერთი სანაპიროს დაჭუჭყიანების გამო ზღვა საბანაოდ არახელსაყრელად გამოაცხადეს. მართალია, ეს დაჭუჭყიანება ძირითადად ტურიზმით არ იყო გამოწვეული, მაგრამ იგი აძლიერებდა მას.

დაჭუჭყიანებამ ასევე დიდი ზიანი მიაყენა ზღვის ფლორასა და ფაუნას. ტურიზმის განვითარებამ ხელი შეუწყო ხმელთაშუა ზღვის დაჭუჭყიანებას, რამაც თავის მხრივ, სერიოზული გავლენა მოახდინა ტურიზმზე.

დასვენების მასიურ ზონებში წყლის ნაკადები საშიშია ბაქტერიალური კუთხითაც. გამოკვლევებით დადგინდა, რომ აშშ-ს სხვადასხვა შტატებში მდებარე 18 წყალსატევეზე წყლის ხარისხის ბაქტერიალური მაჩვენებლის გაუარესება დაკავშირებულია რეკრეაციული დატვირთვების ხასიათსა და დონეზე. ეს მონაცემები ეხება ნაწლავური ჩხირების ბაქტერიების ჯგუფსა და ფეკალურ სტრუქტოკოკებს. მნიშვნელოვნად იყო დაჭუჭყიანებული ამ წყალსატევების ნაპირებიც საბანაო და თევზჭერის ზონებში.

ევტროფიკაციის შედეგად წარმოიქმნება ფერადი წყლები, კლებულობს მისი გამჭვირვალობა, წყალს უჩნდება უსიამოვნო გემო და სუნი, შეინიშნება ჟანგბადის დეფიციტი, იცვლება იხტიოფაუნის სტრუქტურა, ქრება თევზის ძვირფასი სახეობები.

წყლის ობიექტების მდგომარეობაზე გავლენას ახდენენ დასვენების ისეთი სახეები, როგორცაა დასვენება სანაპიროზე (ტურიზმი, ჰაერისა და მზის აბაზანების მიღება, პიკნიკი და სხვ.), ბანაობა, სამოყვარულო თევზჭერა (ზაფხულსა და ზამთარში), მცირე

ტონაჟის ფლოტის გამოყენება, ექსკურსიები გემებით. რეკრეაციამ მნიშვნელოვანი როლი შეიძლება შეასრულოს სანაპიროდან ჩამდინარე კომუნალურ-საყოფაცხოვრებო ნაკადების ფორმირებაშიც.

სანაპიროზე არაორგანიზებული დასვენება - ტურიზმი, პიკნიკები, მზისა და ჰაერის აბაზანების მიღება და სხვ. მთელი რიგი მდინარეების, ტბებისა და წყალსაცავების დაჭუჭყიანების ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი წყაროა. გამოკვლევებით დადგენილია, რომ სანაპიროებისა და თავთხელი ზონების ბუნებრივ კომპლექსებში ხვდება სხვადასხვა დანაჭუჭყიანებელი და ბიოგენური ნივთიერებები ამ ადგილებში დამსვენებელთა დიდი კონცენტრაციის გამო. ისინი უშუალოდ ან წყალში ხვდებიან, ან ნაპირებზე რჩებიან, და შემდეგ კი ჩამდინარე ნაკადებით ირეცხებიან, ან ნიადაგში ჩაირეცხებიან და გრუნტის წყლებით ხვდებიან წყალსატევებში.

აშშ-ში წყლის ეკოსისტემებზე და წყლის ხარისხზე ტურისტების მავნე ზეგავლენის შესაფასებლად მოდელირების სხვადასხვა მეთოდების გამოყენებით გამოკვლევები ჩატარდა ჯორჯიის ტბაზე. ამ შეფასების ეფექტური საშუალება იყო მკვდარი დატომური წყალმცენარეების გროვების მრავალფაქტორული ანალიზი, რომელიც ტბის ირგვლივ მდებარე 125 საცდელ სადგურში აიღეს. შედეგად მიღებული იქნა ტბის ცალკეულ ადგილებზე მკვებავი ნივთიერებების ზეგავლენის რუკა. იმიტაციური მოდელის საფუძველზე შესწავლილი იქნა ამ ტბის ეკოსისტემების რთული ურთიერთკავშირები.

ძირითადი მოდელების ცვლილებით, როგორცაა წყალში ფოსფატების შემცველობა, მოდელირებული იყო ეკოსისტემების ყველა კომპონენტის მიხედვით დატვირთვების ზემოქმედება გარემოზე.

დასვენების მრავალ ზონაში არ არის გადაწყვეტილი ტერიტორიების სანიტარული დასუფთავების საკითხი; ნარჩენებს ნაპირზე მარხავენ, ყრიან ბუნებრივ ღრმულებში ან ტოვებენ ადგილზე.

2.რადიაციის სახეები და დოზიმეტრიის ძირითადი ცნებები

რადიაციის ზემოქმედება ნივთიერებაზე მიმდინარეობს სხვადასხვაგვარად იმის და მიხედვით, თუ რა სახის გამოსხივებებთან გვაქვს საქმე, როგორია მათი მუხტი, მასა და ენერგია. დამუხტული ნაწილაკები ახდენენ ნივთიერების ატომების იონიზაციას. ნეიტრონები და γ -კვანტები, ეჯახებიან რა ნივთიერებაში არსებულ დამუხტულ ნაწილაკებს

გადასცემენ თავის ენერგიას, γ -კვანტების შემთხვევაში შესაძლებელია ელექტრონ-პოზიტრონული წყვილის წარმოქმნა. ეს მეორადი დამუხტული ნაწილაკები, ნივთიერებაში დამუხტულებისას იწვევენ მის იონიზაციას. რადიაციული დაზიანება ძირითადად გამოწვეულია ამ მეორადი ნაწილაკებით, რამდენადაც ისინი ურთიერთქმედებენ ატომების უფრო მეტ რაოდენობასთან, ვიდრე პირველადი გამოსხივების ნაწილაკები. საბოლოოდ, პირველადი ნაწილაკის ენერგია ტრანსფორმირდება გარემოს დიდი რაოდენობის ატომების კინეტიკურ ენერგიად და იწვევს ამ გარემოს გახურებას და იონიზაციას. ეს პროცესები უდევს საფუძვლად გამოსხივების ბიოლოგიურ ზემოქმედებას.

ნივთიერებაზე მაიონებელი გამოსხივების ზემოქმედების შესაფასებლად, პირველ რიგში, ერთმანეთისგან უნდა გავარჩიოთ კორპუსკულარული და ელექტრომაგნიტური გამოსხივებები.

კორპუსკულარული გამოსხივება მოიცავს ნულისგან განსხვავებული მასის მქონე ნეიტრალურ ან დამუხტულ ნაწილაკებს:

1. α - გამოსხივება წარმოადგენს ჰელიუმის ბირთვებს, რომლებიც გამოსხივდებიან ტყვიაზე მძიმე ელემენტების რადიოაქტიური დაშლის ან ბირთვული რეაქციების შედეგად.

2. β - გამოსხივება ეს არის ელექტრონები და პოზიტრონები, რომლებიც წარმოიქმნიან ცალკეული ელემენტების (დაწყებული ყველაზე მსუბუქიდან – ნეიტრონი, დამთავრებული ყველაზე მძიმე ელემენტით) β -დაშლის დროს.

3. კოსმოსური გამოსხივება, რომელიც მოდის კოსმოსიდან და მის შემადგენლობაშია ძირითადად პროტონები და ჰელიუმის ბირთვები. უფრო მძიმე ელემენტები შეადგენენ 1%-ზე ნაკლებს. ატმოსფეროს სიღრმეში კოსმოსური სხივები ურთიერთქმედებენ ატმოსფეროს შემადგენლობაში შემავალ ბირთვებთან და წარმოქმნიან მეორადი ნაწილაკების ნაკადებს (მეზონები, γ -კვანტები, ნეიტრონები და სხვა).

4. ნეიტრონები წარმოიქმნება ბირთვულ რეაქციებში (ბირთვულ რეაქტორებში და სხვა საწარმოო და სამეცნიერო დანადგარებში, ასევე ბირთვული აფეთქებების დროს).

5. დაშლის პროდუქტები, რომლებსაც შეიცავს ბირთვული რეაქტორების გადამუშავებული საწვავის ნარჩენები.

6. პროტონები, იონები – ძირითადად მიიღება ამაჩქარებლებში.

ელექტრომაგნიტური გამოსხივება წარმოიქმნება სხვადასხვა წყაროებიდან: ატომბირთვების γ -გამოსხივება, აჩქარებული ელექტრონების დამუხრუჭების გამოსხივება, რადიოტალღები და სხვა.

მაიონებელი გამოსხივების რაოდენობრივი შეფასებისათვის გამოიყენება შემდეგი ძირითადი ცნებები და ერთეულები:

რადიონუკლიდის აქტიურობა. აქტიურობა ეს არის წყაროში დროის მცირე ინტერვალში მოცემული ენერგეტიკული მდგომარეობიდან სპონტანური ბირთვული გარდაქმნების მოსალოდნელი რიცხვის - dN შეფარდება, ამ დროის ინტერვალთან - dt :

$$A = \frac{dN}{dt}$$

აქტიურობის ერთეულად SI – სისტემაში მიღებულია ბეკერელი (ბკ)

ერთი ბეკერელი - ეს არის ერთი დაშლა ერთ წამში, $1 \text{ ბკ} = 1 \text{ დაშლა/წმ}$

აქტიურობის სისტემის გარეშე ერთეულად გამოიყენება კიური (კი).

ერთი კიური - ეს არის ერთი გრამი - ^{226}Ra -ის აქტიურობა $1 \text{ კი} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ ბკ}$

ექსპოზიციური დოზა. რენტგენისა და გამა გამოსხივების რაოდენობრივ ზომად მიღებულია ექსპოზიციური დოზა, რომელიც განისაზღვრება გამოსხივების ზემოქმედების შედეგად მცირე მოცულობის მქონე ჰაერის - dm მასაში წარმოქმნილი მეორადი ნაწილაკების dQ - მუხტით: $X = \frac{dQ}{dm}$

ექსპოზიციური დოზა იზომება სისტემის გარეშე ერთეულით – რენტგენი (რ).

ერთი რენტგენი – ეს არის რენტგენის ან γ -კვანტებით დასხივების ისეთი დოზა, რომლის დროსაც 1 სმ^3 მშრალ ატმოსფერულ ჰაერში $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ -ის და $760 \text{ მმ. ვწყ. სვ. წნევის}$ დროს წარმოიქმნება 1 C G S I ჯამური მუხტის მქონე ერთ-ერთი ნიშნის მატარებელი იონები. 1რ ექსპოზიციურ დოზას შეესაბამება $2,08 \cdot 10^9$ წყვილი იონი. თუ ჩავთვლით, რომ ჰაერში ერთი წყვილი იონის წარმოქმნისათვის საჭირო ენერგია $\cong 33,85 \text{ ევ-ს}$, მაშინ 1რ

ექსპოზიციური დოზის დროს 1 სმ^3 ჰაერს გადაეცემა ენერგია : $2,08 \cdot 10^9 \times 33,85 \times \frac{1}{4,8 \times 10^{-10}} =$

0,133ერგი , ხოლო 1გ ჰაერს გადაეცემა : $\frac{0,133}{\rho_H} = \frac{0.113}{0.00129} = 87,3$ ერგი,სადაც ρ_H -ჰაერის

სიმკვრივეა.

მაიონებელი გამოსხივების ენერჯის შთანთქმა წარმოადგენს პირველად პროცესს, რომელიც საწყისია ფიზიკო-ქიმიური გარდაქმნებისა დასხივებულ ქსოვილში და რომელსაც მივყავართ დაკვირვებად რადიაციულ ეფექტამდე. ამიტომ, ბუნებრივია, აღნიშნული რადიაციული ეფექტი შევადაროთ შთანთქმულ ენერჯიას ან შთანთქმულ დოზას.

შთანთქმული დოზა - ეს არის ძირითადი დოზიმეტრიული ერთეული და იგი ტოლია მაიონებელი გამოსხივების მიერ ელემენტარულ მოცულობაში არსებული ნივთიერებისადმი გადაცემული dE - საშუალო ენერჯის ფარდობისა ამ ნივთიერების dm

- მასასთან: $D = \frac{dE}{dm}$

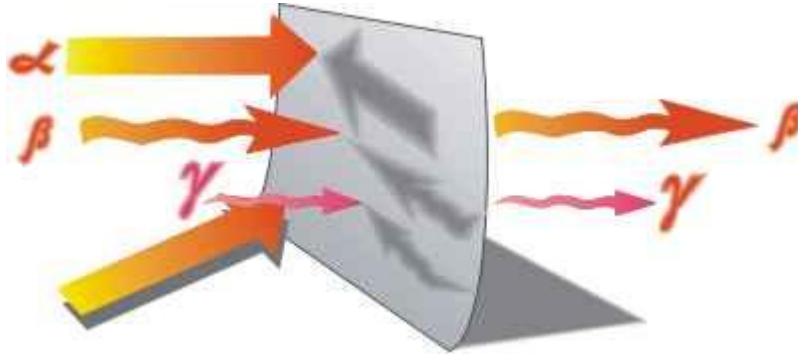
შთანთქმული დოზის ერთეულად SI- სისტემაში მიღებულია გრეი (გრ),

$$1 \text{ გრ} = 1 \text{ ჯ/კგ}$$

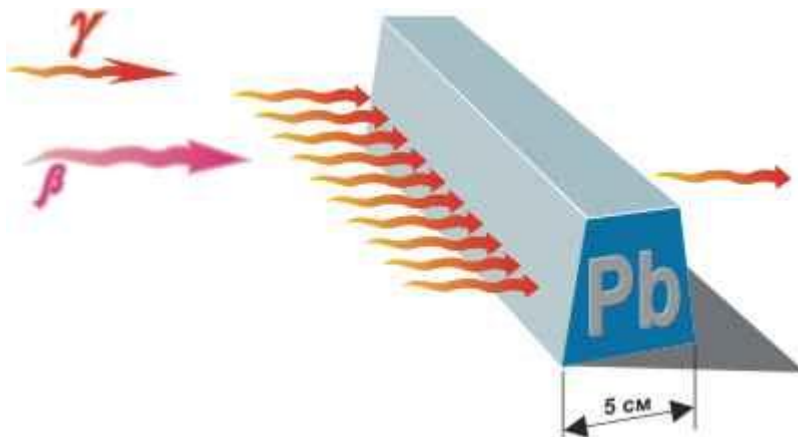
შთანთქმული დოზის სისტემის გარეშე ერთეულად გამოიყენება რადი (რად)

$$1 \text{ რადი} = 100 \text{ ერგი/გ, რადგან } 1 \text{ ჯ} = 10^7 \text{ ერგ, ამიტომ } 1 \text{ გრ} = 100 \text{ რად}$$

ბიოლოგიურ ორგანიზმზე გამოსხივების ზემოქმედების დახასიათებისას მნიშვნელოვანია არა მარტო მისთვის გადაცემული ენერჯის რაოდენობა, არამედ ამ ენერჯის გადაცემის გზა, გამოსხივების გვარობა, ენერჯის დიაპაზონი. სხვადასხვა სახის გამოსხივებას ახასიათებს სხვადასხვა ბიოლოგიური ეფექტურობა, რაც დაკავშირებულია მათ შეღწევის უნარიანობასთან და დამოკიდებულია ცოცხალ ორგანოებსა და ობიექტებზე ენერჯის გადაცემის ხასიათსა და პირობებზე. მაგალითად, α -გამოსხივებას აქვს მცირე განარბენი და ხასიათდება მცირე შეღწევის უნარიანობით. ჰაერში მისი საშუალო განარბენი , 4მეგ ენერჯის დროს, შეადგენს ~2,5 სმ – ს, ხოლო ბიოლოგიურ ქსოვილებში მხოლოდ 31 მკმ–ს. -გამოსხივება ვერ აღწევს ადამიანის კანში(Mმისი “შეჩერება” შეუძლია ქაღალდის ფურცელსაც კი). თუმცა, α -გამოსხივებადი ნუკლიდები ძალიან საშიშია ორგანიზმის შიგნით მოხვედრის შემთხვევაში.



β-გამოსხივებას აქვს მეტი შეღწევის უნარი. ჰაერში იგივე 4მეგ ენერგიის ელექტრონების საშუალო განარბენი არის 17.8 მ, ბიოლოგიურ ქსოვილებში კი მხოლოდ 2,6სმ. γ-გამოსხივებას ბევრად მეტი შეღწევის უნარიანობა აქვს. მაგალითად, კობალტის γ-გამოსხივების (E=1,17მეგ და E=1,33მეგ) 10_ჯერ შესამცირებლად საჭიროა 5სმ სისქის ტყვიის ფენა. მისი ზემოქმედებით მიმდინარეობს მთელი ორგანიზმის დასხივება.



ამდენად, ბიოლოგიურ ორგანიზმზე სხვადასხვა სახის გამოსხივების ზემოქმედების შესაფასებლად შემოაქვთ წილითი ანუ ხარისხის კოეფიციენტები. ხარისხის კოეფიციენტების მნიშვნელობების გამოყენებით შეიძლება დავწეროთ მიღებული დოზის სიდიდე ბიოლოგიურ ორგანიზმზე სხვადასხვა სახის გამოსხივების ზემოქმედების თავისებურებათა გათვალისწინებით. ამ დოზას ეწოდება ექვივალენტური. ექვივალენტური დოზა ტოლია ორგანოს ან ქსოვილის მიერ შთანთქმული დოზის ნამრავლისა მოცემული სახის გამოსხივების შესაბამის ხარისხის კოეფიციენტზე: $H_{TR} = W_R \cdot D_{TR}$

სადაც D_{TR} – საშუალო შთანთქმული დოზაა T ორგანოში ან ქსოვილში, W_R ხარისხის კოეფიციენტია R გამოსხივებისათვის. (ცხრ. #1).

ცხრილი # 1. ხარისხის კოეფიციენტი გამოსხივების სხვადასხვა სახეებისათვის

გამოსხივების სახე	W_R
ნებისმიერი ენერგიების ფოტონები	1
ნებისმიერი ენერგიის ელექტრონები და მიუონები	1
ნეიტრონები ენერგიებით	
ნაკლებით 10კევ.-ზე	5
10კევ.-დან 100კევ.-მდე	10
100კევ.-დან 2მევ.-მდე	20
2მევ.-დან 20მევ.-მდე	10
20მევ.-ზე მეტი	5
პროტონები ენერგიებით მეტი 2მევ.-ზე	5
α -ნაწილაკები,დაყოფის ნამსხვრევები,მძიმე ბირთვები	20

თუ გამოსხივების ველი შედგება რამოდენიმე სახის R_i გამოსხივებისაგან, მაშინ:

$$H_T = \sum_i H_{TR_i} ,$$

სადაც i სიმბოლოთი აღნიშნულია ცალკეული სახის გამოსხივება.

SI - სისტემაში ექვივალენტური დოზის ერთეულად მიღებულია ზივერტი (რ. ზივერტი – შვედი ფიზიკოსი, 1896 _ 1966).

$$1 \text{ ზვ} = 1 \text{ ჯ} / \text{კგ} = 10^4 \text{ერგ} / \text{გ} .$$

ექვივალენტური დოზის სისტემის გარეშე ერთეულია ბერი (1 ზვ = 100 ბერ).

რადგანაც განსხვავებულ ორგანოებსა და ქსოვილებს გამოსხივებისადმი სხვადასხვა მგრძობიარობა ახასიათებთ, დიდი მნიშვნელობა ენიჭება იმას, თუ კერძოდ რომელი ორგანო მოხვდა მაიონებელი ზემოქმედების ქვეშ. რადიაციის მიმართ განსაკუთრებით მგრძობიარეა სისხლმზადი ორგანოები, ფილტვები, ფარისებრი ჯირკვალი, კუჭი. სიდიდეს, რომელიც ახასიათებს ადამიანზე გამოსხივების ზემოქმედების ზომას E-ის ორგანოების რადიომგრძობელობის გათვალისწინებით ეწოდება ეფექტური დოზა. იგი წარმოადგენს ორგანოებსა და ქსოვილებში ექვივალენტური დოზების შესაბამის ხარისხის კოეფიციენტებზე ნამრავლების ჯამს:

$$E = \sum_T W_T \cdot H_T$$

სადაც H_T – ექვივალენტური დოზაა T ორგანოს ან ქსოვილში, W_T კი ამ ორგანოს ან ქსოვილისათვის ხარისხის კოეფიციენტი (ცხრ. #2). ეფექტური დოზის ერთეულია – ზივერტი (ზვ).

ცხრილი # 2. ხარისხის კოეფიციენტები ქსოვილებისა და ორგანოებისათვის

ქსოვილი ან ორგანი	W_T
გონადები	0,2
ძვლის წითელი ტვინი	0,12
ფილტვები	0,12
კუჭი	0,12
ფარისებლი ჯირკვალი	0,05
კანი	0,01

დოზიმეტრიაში ერთ-ერთ არსებით სიდიდეს წარმოადგენს დოზის სიმძლავრე. დოზის სიმძლავრე არის დოზა, მიღებული დროის გარკვეულ შუალედში (საათში, დღე-ღამეში, წელიწადში).

3. ატომბირთვების რადიოაქტიური გარდაქმნების სახეები

რეზერვორდმა რადიოაქტიური გამოსხივების შეღწევადობის უნარის გაანალიზების დროს აღმოაჩინა ამ გამოსხივების ორი შემადგენელი: ნაკლებად შეღწევადი, რომელსაც უწოდა α -გამოსხივება და მეტად შეღწევადი, რომელსაც უწოდა β -გამოსხივება. ურანის გამოსხივების მესამე, ყველაზე უფრო მაღალი შეღწევადობის უნარის მქონე, კომპონენტი აღმოჩენილ იქნა მოგვიანებით, 1900 წელს პოლ ვილარდის მიერ და მას რეზერვორდის რიგის ანალოგიით γ -გამოსხივება უწოდეს. რეზერვორდმა და მისმა თანამშრომლებმა აჩვენეს, რომ რადიოაქტიურობა დაკავშირებულია ატომების დაშლასთან (საკმაოდ მოგვიანებით გახდა ცხადი, რომ საქმე ჰქონდათ ატომბირთვების დაშლასთან), რასაც თან ახლავს მათგან გარკვეული ტიპის გამოსხივების გამოტყორცნა. ამ დასკვნამ გამანადგურებელი დარტყმა მიაყენა ფიზიკასა და ქიმიაში გაბატონებულ ატომის განუყოფლობის კონცეფციას.

რეზერვორდის შემდგომ გამოკვლევებში ნაჩვენებია იყო, რომ α -გამოსხივება წარმოადგენს α -ნაწილაკების ნაკადს, რომლებიც სხვა არაფერია, თუ არა ${}^4_2\text{He}$ იზოტოპის ბირთვები, β -გამოსხივება კი შედგება ელექტრონებისაგან. დაბოლოს, γ -გამოსხივება აღმოჩნდა სინათლისა და რენტგენის გამოსხივების მონათესავე და წარმოადგენს მაღალი სიხშირის ელექტრომაგნიტური კვანტების ნაკადს, რომელიც გამოსხივდება ატომის ბირთვიდან აღზნებული მდგომარეობიდან უფრო დაბალ ენერგეტიკულ მდგომარეობაში გადასვლისას. რადიოაქტიურობის მეოთხე სახე, აღმოჩენილი რუსეთში ახალგაზრდა ფიზიკოსების გ.ნ. ფლეროვის და კ.ა. პეტრჟაკის მიერ, უკავშირდება ბირთვების სპონტანურ დაყოფას, რომლის პროცესშიც ზოგიერთი საკმაოდ მძიმე ბირთვი იშლება ორ თითქმის თანაბარი მასის ნამსხვრევად. მაგრამ, დაშლამაც ვერ ამოწურა ატომბირთვების რადიოაქტიური გარდაქმნების ყველა სახე. 50-იანი წლებიდან დაწყებული ფიზიკოსები მეთოდურად უახლოვდებოდნენ ბირთვების პროტონული რადიოაქტიურობის აღმოჩენას. იმისათვის, რომ ძირითად მდგომარეობაში მყოფმა ბირთვმა თავისთავად შეძლოს პროტონის გამოსხივება, აუცილებელია, რომ ბირთვიდან პროტონის გამოსვლის ენერგია იყოს დადებითი. მაგრამ ასეთი ბირთვები დედამიწაზე არ არსებობენ

და ისინი ხელოვნურად უნდა შეექმნათ. პროტონული რადიოაქტიურობა გერმანელმა ფიზიკოსებმა აღმოაჩინეს 1982 წელს დარმშტადტში, იყენებდნენ რა მსოფლიოში ყველაზე მძლავრ მრავალმუხტიანი იონების ამაჩქარებელს. დასასრულ, 1984 წელს მეცნიერთა ჯგუფებმა დამოუკიდებლად ინგლისში და რუსეთში აღმოაჩინეს კლასტერული რადიოაქტიურობა ზოგიერთი მძიმე ბირთვებისა, რომლებიც თავისთავად ასხივებენ კლასტერებს – ატომის ბირთვებს 14-დან 34-მდე მასური რიცხვით. დრო გვიჩვენებს, ამოიწურა თუ არა რადიოაქტიური გამოსხივების ყველა შესაძლო სახე. ჯერჯერობით კი ინტენსიურად მიმდინარეობს ისეთი ბირთვების ძიება, რომლებიც ძირითადი მდგომარეობიდან გამოსხივებენ ნეიტრონს (ნეიტრონული რადიოაქტიურობა) ან ორ პროტონს (ორპროტონიანი რადიოაქტიურობა).

ჯერ კიდევ 1866 წელს ინგლისელმა მეცნიერმა ვილიამ კრუქსმა წამოაყენა ჰიპოთეზა, რომ ყოველი ელემენტი წარმოადგენს ერთნაირი თვისებების, მაგრამ სხვადასხვა ატომური მასის მქონე ნივთიერებათა ნარევს. თუმცა, იმ დროისათვის ამ ვარაუდს არ ჰქონდა ექსპერიმენტული დასაბუთება და უყურადღებოდ დარჩა. მოგვიანებით (XX საუკუნის დასაწყისში) არაერთი ექსპერიმენტის საფუძველზე დადგინდა, რომ ქიმიური ელემენტები მართლაც წარმოადგენენ ნარევს ატომებისა, რომელთაც აქვთ ერთნაირი მუხტის მქონე ბირთვები (შესაბამისად პრაქტიკულად ერთნაირი ელექტრონული შრეები), მაგრამ განსხვავდებიან მასის მიხედვით. ანუ, როგორც ამბობდა ცნობილი მეცნიერი ფედერიკ სოდი, ეს ატომები “გარედან” ერთნაირია, მაგრამ “შიგნით” განსხვავებული. სწორედ ასეთ ატომებს სოდიმ უწოდა იზოტოპები.

იზოტოპები – ეს არის ერთი და იგივე ქიმიური ელემენტის ატომთა სახესხვაობა, რომლებიც თავისი ფიზიკო-ქიმიური თვისებებით ახლოს არიან ერთმანეთთან. სახელწოდება “იზოტოპი” არის ორი ბერძნული სიტყვის გაერთიანება: ისოს – ერთნაირი და ტოპოს – ადგილი. იზოტოპებს პერიოდულ სისტემაში უკავია ერთი და იგივე უჯრედი. 1932 წელს აღმოჩენილ იქნა ნეიტრონი და შეიქმნა ბირთვის პროტონ-ნეიტრონული მოდელი. შედეგად, მეცნიერებაში დამკვიდრდა საბოლოო თანამედროვე განმარტება: იზოტოპები – ეს არის ერთი და იგივე ქიმიური ელემენტის ატომთა სახესხვაობა, რომელთა ბირთვები შეიცავენ ერთი და იმავე რაოდენობის

პროტონებს და განსხვავებული რაოდენობის ნეიტრონებს. ყოველი იზოტოპი აღინიშნება შემდეგი სიმბოლოებით: ${}_Z^A X$, სადაც X ქიმიური ელემენტის სიმბოლოა, Z ატომის ბირთვის მუხტი (პროტონების რაოდენობა), A – იზოტოპის მასური რიცხვი (ნუკლონების – პროტონების და ნეიტრონების საერთო რაოდენობა ბირთვში $A = Z + N$). რამდენადაც ბირთვის მუხტი ცალსახად არის დაკავშირებული ქიმიური ელემენტის სიმბოლოსთან, ხშირად, შემოკლებისათვის, ნაცვლად ${}_Z^A X$, იზოტოპისათვის წერენ უბრალოდ X .

დღეისათვის ცნობილი ყველა იზოტოპიდან მხოლოდ წყალბადის იზოტოპებს აქვთ თავისი სახელწოდებები: 1H – პროტიუმი, 2H – დეიტერიუმი (D), 3H – ტრიტიუმი (T). ამჟამად ცნობილია ~ 270 სტაბილური იზოტოპი, თანაც სტაბილური იზოტოპები გააჩნიათ მხოლოდ იმ ელემენტებს, რომელთა რიგითი ნომერი $Z \leq 83$. არასტაბილური (რადიოაქტიური) იზოტოპების რაოდენობა აღემატება 2000-ს. (არსებული შეფასებით მოსალოდნელია ატომბირთვების რაოდენობა შეადგენდეს ~ 6500 -ს). მათი უდიდესი ნაწილი მიღებულია ხელოვნური გზით. რადიოაქტიური იზოტოპების რაოდენობა ბევრი ელემენტისათვის ორ ათეულზე მეტია, სტაბილური იზოტოპები – მნიშვნელოვნად ნაკლები. ზოგიერთი ქიმიური ელემენტი შეიცავს მხოლოდ ერთ სტაბილურ იზოტოპს (ბერილიუმი, ფტორი, ნატრიუმი, ალუმინი, ფოსფორი, მარგანეცი, ოქრო და სხვა), ყველაზე მეტი – 10 სტაბილური იზოტოპი აქვს კალას. დანარჩენებს, მაგალითად, რკინას აქვს 4 სტაბილური იზოტოპი, ვერცხლისწყალს – 7 და ა.შ.

ატომბირთვების თვისებები განისაზღვრება ერთდროულად ძლიერი, ელექტრომაგნიტური და სუსტი ურთიერთქმედებებით. ატომბირთვები მოიცავენ პროტონების Z და ნეიტრონების N სხვადასხვა რაოდენობათა ერთიანობას. სტაბილური ბირთვების არეში ნეიტრონებისა და პროტონების რაოდენობრივი დამოკიდებულება ხასიათდება ფორმულით

$$\frac{N}{Z} = 0,98 + 0,015 A^{\frac{2}{3}}$$

სადაც $A = Z + N$ მასური რიცხვია.

იზოტოპების სისტემატიზაციისათვის სასარგებლოა გამოვიყენოთ ნეიტრონ_პროტონული დიაგრამა, რომელიც ყველა სტაბილური და რადიოაქტიური ბირთვის კომპაქტურად განლაგების საშუალებას იძლევა. ასეთი დიაგრამის მცირე მონაკვეთი ნაჩვენებია ნახაზზე. ნეიტრონ_პროტონული დიაგრამიდან ჩანს, რომ მსუბუქი სტაბილური ბირთვებისათვის ($A < 40$) ნეიტრონებისა და პროტონების რაოდენობა დაახლოებით ერთნაირია. შედარებით მძიმე ბირთვებისათვის ეს ფარდობა იწყებს მატებას და $A + 250$ ის რაიონში აღწევს 1,6-ს. ეს ცვლილება იოლი ასახსნელია .თუ გავითვალისწინებთ ბირთვული ძალების ახლოქმედების თვისებას და პროტონების კულონური ურთიერთქმედების როლის ზრდას A – მასური რიცხვის ზრდასთან ერთად. გარდა “იზოტოპებისა”, ხშირად გვხვდება ტერმინები “იზობარები” და “იზომერები”.

იზობარები (ისოს – ერთნაირი, ბაროს – სიმძიმე, წონა) – ატომების ან ატომბირთვების სახესხვაობაა, რომელთაც აქვთ ერთნაირი მასური რიცხვი, მაგრამ განსხვავებული პროტონების რაოდენობა ანუ ბირთვის მუხტი (რიგითი ნომერი პერიოდულ სისტემაში). მაგალითად, იზობარებია $^{40}_{18}Ar$, $^{40}_{19}K$, $^{40}_{20}Ca$. იზომერები (ისოს – ერთნაირი, მეროს – წილი, ნაწილი) – ქიმიური ნაერთებია ერთნაირი შედგენილობითა და მოლური მასით, მაგრამ განსხვავებული აგებულებითა და ატომების განლაგებით სივრცეში, შესაბამისად, განსხვავებული ფიზიკური და ქიმიური თვისებებით. ატომბირთვების იზომერია – მოვლენაა, როდესაც ატომის ბირთვები იმყოფებიან მეტასტაბილურ (იზომერულ) მდგომარეობაში საკმაოდ დიდი სიცოცხლის ხანგრძლივობით. ბირთვის იზომერული მდგომარეობა ჩვეულებრივი აღზნებული მდგომარეობისაგან განსხვავდება იმით, რომ მისი გადასვლის ალბათობა უფრო დაბალ მდგომარეობაში ჩახშობილია სპინისა და ლუწობის აკრძალვის კანონებით. იზომერული მდგომარეობისას სიცოცხლის ხანგრძლივობა აჭარბებს ნანოწამებს (შეიძლება წლებითაც იზომებოდეს), იმ დროს, როდესაც არაიზომერული აღზნებული მდგომარეობის ტიპური სიცოცხლის ხანგრძლივობა პიკოწამების და ნაკლები რიგისაა.

რადიოაქტიური ნივთიერებების აღმოჩენა შესაძლებელია მთელი რიგი ნიშან-თვისებების მიხედვით, რომლებსაც ისინი გარემოსთან ურთიერთქმედებისას ავლენენ. ასე მაგალითად: ისინი იწვევენ ფოტოფირფიტის გაშავებას, გაზების იონიზაციას, ზოგიერთი ფლუორესცენტული ნივთიერების ნათებას და ა.შ.

რადიოაქტიური იზოტოპის ყოველი ატომი ადრე თუ გვიან განიცდის გარდაქმნას – იშლება. მაგრამ ერთი და იმავე იზოტოპის ყველა ატომი არ ცოცხლობს ერთნაირი ხანგრძლივობით: – ზოგი იშლება მალე, ზოგი კი უცვლელი რჩება დიდი ხნის განმავლობაში. როგორც უკვე აღვნიშნეთ, რადიოაქტიური გარდაქმნები შეიძლება განხორციელდეს რამდენიმე გზით:

1. თუ საწყის – “დედა” ბირთვში არის ჭარბი ნეიტრონები (ბირთვის მდგრადი მდგომარეობის შესაბამის რაოდენობასთან შედარებით), მაშინ ხდება β^- – დაშლა, ამ დროს მიღებული ბირთვის მუხტი ერთი ერთეულით მეტია საწყისი ბირთვის მუხტზე.
2. თუ საწყის – “დედა” ბირთვში პროტონების რაოდენობაა ჭარბი, მაშინ ხდება β^+ – დაშლა. ამ დროს მიღებული ბირთვის მუხტი ერთი ერთეულით ნაკლებია საწყისი ბირთვის მუხტზე.
3. რადიოაქტიური გარდაქმნა შეიძლება განხორციელდეს K შრიდან ელექტრონის ჩაჭერის გზით. ამ დროს საწყისი ბირთვის მუხტი მცირდება ერთი ერთეულით.
4. რადიოაქტიური დაშლა შეიძლება განხორციელდეს α – ნაწილაკის გამოსხივებით. ამ დროს მიღებული ბირთვის მუხტი ნაკლებია ორი ერთეულით, ხოლო მასური რიცხვი კი ოთხი ერთეულით.
5. γ - კვანტის გამოსხივება, რაც უმრავლეს შემთხვევაში თან ახლავს ამ ბირთვულ პროცესებს.

ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტებისათვის დამახასიათებელია შემდეგი თავისებურება: ისინი განიცდიან მთელ რიგ თანმიმდევრულ გარდაქმნებს, თანაც დაშლის პროდუქტები ერთმანეთთან დაკავშირებულია – ისინი მიიღებიან ერთიმეორისაგან თანმიმდევრული გარდაქმნების პროცესში. ეს გარდაქმნები შეწყდება მაშინ, როდესაც

უკანასკნელი დაშლის აქტის შემდეგ მიიღება სტაბილური იზოტოპი (ტყვიის რომელიმე იზოტოპი).

ელემენტების იმ რიგს, რომლებიც მიიღებიან თანმიმდევრული რადიოაქტიური გარდაქმნების შედეგად, უწოდებენ “რადიოაქტიურ ოჯახს”.

არსებობს შემდეგი რადიოაქტიური ოჯახები:

1. ურანის ოჯახი. იგი იწყება ურანის α -რადიოაქტიური ${}_{92}^{238}U$ იზოტოპით და თავდება ტყვიის სტაბილური ${}_{82}^{206}Pb$ იზოტოპით. ურანის ოჯახში შემავალი ელემენტების მასური რიცხვი A გამოისახება ფორმულით $A = 4n + 2$, სადაც n - მთელი რიცხვია.

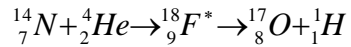
2. თორიუმის ოჯახი მასური რიცხვებით $A=4n$ იწყება თორიუმის α -რადიოაქტიური ${}_{90}^{232}Th$ იზოტოპით და მთავრდება ტყვიის სტაბილური ${}_{82}^{208}Pb$ იზოტოპით.

3. აქტინიუმის ოჯახი მასური რიცხვებით $A = 4n + 3$, იწყება ურანის სხვა α -აქტიური ${}_{92}^{235}U$ იზოტოპით და მთავრდება ტყვიის მესამე სტაბილური ${}_{82}^{207}Pb$ იზოტოპით (რაც მიუთითებს $Z=82$ -ის მქონე ტყვიის ბირთვების განსაკუთრებულ მდგრადობაზე).

4. ნეპტუნიუმის ოჯახი მასური რიცხვებით $A=4n+1$. იგი იწყება α -აქტიური ${}_{93}^{237}Np$ იზოტოპით და მთავრდება სტაბილური ბისმუტის ${}_{83}^{209}Bi$ იზოტოპით. ეს ოჯახი ბუნებაში არ იყო აღმოჩენილი, რადგან მასში შემავალი ელემენტებიდან არცერთი არაა გრძელპერიოდის იზოტოპი, მაგრამ ამ ოჯახის ყველა წევრი მიიღეს ხელოვნური გზით. ბუნებრივად რადიოაქტიური ელემენტების გარდა არსებობენ კიდევ ხელოვნური რადიოაქტიური ელემენტები, რომლებიც ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტებისაგან განსხვავებით ხასიათდებიან ერთი ან რამდენიმე იზოლირებული დაშლის აქტით. ეს ელემენტები მიიღებიან ბირთვული რეაქციების შედეგად.სქემატურად ხელოვნური ბირთვული რეაქცია შეიძლება გამოვსახოთ შემდეგნაირად:



პირველი ბირთვული რეაქცია განახორციელა რეზერფორდმა:

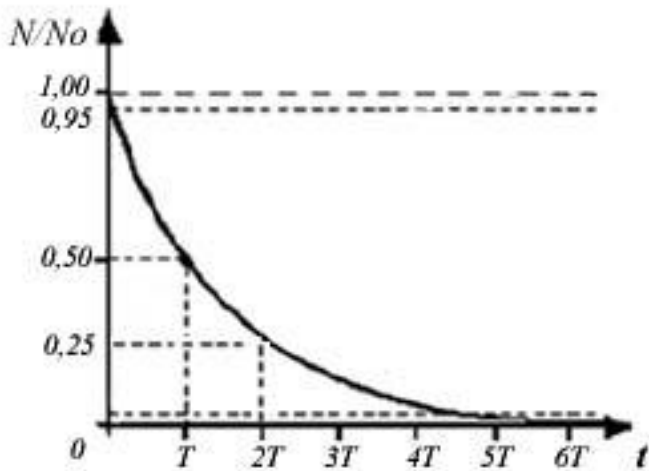


როგორც ამ რეაქციიდან ჩანს, მეორე ეტაპზე წარმოიქმნება ჟანგბადის იზოტოპი და გამოიტყორცნება ნაწილაკი – პროტონი (წყალბადის ატომის ბირთვი).

4. რადიოაქტიური დაშლის კანონი

ბირთვული რეაქციის ტიპისაგან დამოუკიდებლად რადიოაქტიური დაშლა მიმდინარეობს განსაკუთრებული კანონის მიხედვით, რომლის თანახმადაც მოცემული იზოტოპის არსებული ატომბირთვების ნახევარი, როგორც არ უნდა იყოს ეს რიცხვი, იშლება ყოველთვის ერთი და იმავე დროის განმავლობაში. ეს დრო ახასიათებს მოცემულ რადიოაქტიურ ელემენტს და მას უწოდებენ ნახევრად დაშლის პერიოდს. უნდა აღინიშნოს, რომ ასეთივე კანონით მცირდება ნივთიერების რაოდენობაც და მოცემული რადიოაქტიური ნივთიერებისათვის დამახასიათებელი გამოსხივების აქტიურობაც.

რადგანაც რადიოაქტიური გამოსხივების პროცესი მიმდინარეობს უწყვეტად, ჩვენ შეგვიძლია იგი უწყვეტი მრუდით გამოვსახოთ. ორდინატთა ღერძზე გადაზომილია ატომბირთვების რაოდენობა, რომელთა აღმოჩენაც ხდება მათი გამოსხივებით მოცემული მომენტისათვის, ხოლო აბსცისათა ღერძზე კი – დრო, გამოსახული ნახევრად დაშლის პერიოდებში.



ნახ. 2. რადიოაქტიური დაშლის მრუდი

ექსპერიმენტალურად აღმოჩნდა, რომ იმ ატომბირთვების რაოდენობა, რომლებიც გარდაქმნას განიცდიან დროის ერთეულში, პროპორციულია ატომბირთვების თავდაპირველი N_0 რიცხვისა. სწორედ ესაა შეუქცევადი იონომოლეკულური რეაქციის განმასხვავებელი ნიშანი. მათემატიკურად ეს დამოკიდებულება შემდეგნაირად

გამოისახება:
$$-\frac{\Delta N}{\Delta t} = \lambda \cdot N$$

(1) სადაც N – ატომის ბირთვების რაოდენობაა, t – დრო, λ – რაღაც მუდმივა.

ამ განტოლებაში $\frac{\Delta N}{\Delta t}$ ფარდობა გვიჩვენებს, რომ ატომბირთვების რაღაც მცირე ΔN რაოდენობა დაიშლება მცირე Δt დროში, ე.ი. ეს ფარდობა ფაქტიურად ახასიათებს რადიო აქტიური დაშლის პროცესის სიჩქარეს. თუ $\Delta t \rightarrow 0$ შეგვიძლია გადავიდეთ დიფერენციალებზე და მივიღებთ:

(2)

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

$$-\frac{dN}{N} = \lambda dt \quad (3)$$

დავუშვათ, $t = 0$ მომენტში გვაქვს N_0 ატომი. ნებისმიერ შემდეგ t მომენტში ატომების რიცხვი N_t შეიძლება ვიპოვოთ (3) განტოლების ინტეგრებით. ე.ი.

$$-\int_{N_0}^{N_t} \frac{dN}{N} = \int_0^t \lambda \cdot dt = \lambda \int_0^t dt \quad (4)$$

$$-\ln \frac{N_t}{N_0} = \lambda \cdot t \quad (5)$$

აღვნიშნოთ, რომ არაფერი შეიცვლება, თუ (5) განტოლების მარჯვენა მხარეს გავამრავლებთ $\ln e$ -ზე, რომელიც ჩვენ შემოგვაქვს $\ln e$ -ს სახით ($\ln e = 1$).

$$-\ln \frac{N_t}{N_0} = \lambda \cdot t \cdot \ln e \quad (6)$$

ამ განტოლების პოტენცირებით მივიღებთ:

$$\frac{N_t}{N_0} = e^{-\lambda \cdot t} \quad (7)$$

ან

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (8)$$

პროპორციულობის კოეფიციენტი λ სწორდება რადიოაქტიური დაშლის მუდმივა.
 (3) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$\lambda = -\frac{dN}{N dt} \quad (9)$$

(9) გამოსახულებიდან ცხადია, რომ λ წარმოადგენს დაშლის ალბათობას დროის ერთეულში. λ კოეფიციენტი შეიძლება გამოვსახოთ ნახევარდაშლის T პერიოდით. რადგანაც ერთი ნახევრად დაშლის პერიოდის შემდეგ $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2}$, მაშინ (5)

თანაფარდობიდან მივიღებთ:

$$\ln \frac{1}{2} = -\lambda \cdot T ; \quad -\ln 2 = -\lambda \cdot T, \quad \text{აქედან კი}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{T} \quad (10).$$

ამგვარად დაშლის მუდმივა λ და პერიოდი T დაკავშირებულია ერთმანეთთან (10) თანაფარდობით.

t დროის შემდეგ დარჩენილი ატომების რიცხვი შეიძლება გამოისახოს ნახევრად დაშლის პერიოდით:

$$N_t = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T} t} \quad (11)$$

დროის ერთეულში დაშლილი ატომების რიცხვი (თვლის სიჩქარე ანუ აქტიურობა) ცხადია ტოლია

თუ ამ განტოლებას ჩავწერთ დროის სხვადასხვა t_1 და t_2 მომენტებისათვის და ამოვხსნით T -ს მიმართ, მივიღებთ:

$$T = \frac{\ln 2}{\ln \frac{v_1}{v_2}} (t_2 - t_1) \quad (12) \text{ სადაც}$$

$$v_1 = \left(\frac{dN}{dt} \right)_{t_1} \quad \text{და} \quad v_2 = \left(\frac{dN}{dt} \right)_{t_2}$$

განტოლება (12) შეიძლება გამოვიყენოთ ნახევრად დაშლის პერიოდის გამოსათვლელად.

5. ბირთვული ენერგია

ბუნების შემეცნებას თან სდევს (ან მის პარალელურად მიმდინარეობს) სოციალური პროცესი, რომელიც გულისხმობს ბუნების კანონების გამოყენებას საზოგადოების ან ადამიანთა ჯგუფის ცხოვრების გასაუმჯობესებლად. მე-18 საუკუნეში ამ პროცესს მოჰყვა ინდუსტრიული რევოლუცია, რომლის შემდეგად ადამიანთა ნაწილის ცხოვრება გახდა უფრო კომფორტული, რიგი ქვეყნების გავლენა მსოფლიოში გაიზარდა. მე-19 საუკუნეში მეცნიერებმა აღმოაჩინეს, რომ ზოგიერთი ნივთიერება ასხივებს ენერგიას. მე-20 საუკუნეში მეცნიერებმა დაადგინეს, რომ ნივთიერების ბირთვიდან შეიძლება გამოიყოს ენერგია. ბირთვული ენერგიების შესწავლამ ხელი შეუწყო ამ ენერგიის როგორც მშვიდობიანი, ისე სამხედრო მიზნებით გამოყენებას. ბირთვული ენერგია, მისი კონტროლისა და სწორად გამოყენების შემთხვევაში, შეიძლება აღმოჩნდეს სასარგებლო, სხვა შემთხვევაში ბირთვულმა ენერგიამ შეიძლება მოიტანოს დიდი ზიანი.

ფრანგმა მეცნიერმა ანრი ბეკერელმა, რომელიც იკვლევდა ფლოურესცენციას (ნივთიერების უნარს, გამოასხივოს მას შემდეგ, რაც თვითონ მიიღებს დასხივებას), აღმოაჩინა, რომ ურანი ტოვებს კვალს საცდელ ფირფიტაზე მაშინაც კი, როდესაც თვითონ არ განიცდის დასხივებას. ბეკერელმა ამ გამოსხივებას ურანის სხივები უწოდა. ურანის გამოსხივების შესწავლა გააგრძელეს მარია კლადოვსკა-კიურიმ და მისმა მეუღლემ პიერ

კიურიმ. მარია კიურიმ ნივთიერების თავისთავად გამოსხივების მოვლენას რადიოაქტივობა უწოდა. ნივთიერებებს, რომლებიც ხასიათდებიან თავისთავადი რადიოაქტივობით, რადიოაქტიური ნივთიერებები ეწოდება. მოვლენას, რომლის დროსაც ნივთიერება გარე გავლენის გარეშე ასხივებს, სპონტანური რადიოაქტივობა ეწოდება. ზოგიერთი ნივთიერება ამჟღავნებს რადიოაქტიურ თვისებას მაშინ, როდესაც განიცდის დასხივებას. ამ მოვლენას ხელოვნური რადიოაქტივობა ეწოდება. ურანის გარდა, მარია კიურიმ აღმოაჩინა სხვა რადიოაქტიური ნივთიერებები, მაგალითად, პოლონიუმი (ამ ნივთიერებას მარია კიურიმ თავისი სამშობლოს - პოლონეთის პატივსაცემად უწოდა პოლონიუმი). რადიოაქტივობის შესწავლისთვის პიერ და მარია კიურებმა, ანრი ბეკკერელთან ერთად, ნობელის პრემია მიიღეს. ბრიტანელმა მეცნიერმა ერნესტ რეზერფორდმა ექსპერიმენტულად, რადიოაქტივობის გამოყენებით, შეისწავლა ატომის სტრუქტურა და წარმოადგინა ატომის მოდელი – ბირთვი და მის გარშემო მოძრავი ელექტრონები. თავის მხრივ, ბირთვი შედგება დადებითად დამუხტული პროტონებისა და ნეიტრალური ნეიტრონებისგან. რეზერფორდმა ასევე დაადგინა, რომ რადიოაქტივობისას შეიძლება დაკვირვება სამი ტიპის გამოსხივებაზე: ალფა გამოსხივება (სხივდება ჰელიუმი – ორი პროტონისა და ორი ნეიტრონისგან შემდგარი ელემენტი), ბეტა გამოსხივება (სხივდება ელექტრონი ან პოზიტრონი), გამა გამოსხივება (მაღალი ენერჯის ელექტრომაგნიტური გამოსხივება). ბირთვში პროტონების რაოდენობა განსაზღვრავს ელექტრონების რაოდენობას ატომში, რაც, თავის მხრივ, განსაზღვრავს ნივთიერების ქიმიურ თვისებებს. მაგალითად, ვერცხლისწყლის ატომის ბირთვი შეიცავს 80 პროტონს, ხოლო ოქროს ატომის ბირთვი – 79 პროტონს. ატომის ბირთვში პროტონებისა და ნეიტრონების რაოდენობა გავლენას ახდენს ბირთვულ პროცესებზე. მაგალითად, რადიოაქტივობის ბუნება დაკავშირებულია ბირთვის სტრუქტურასთან. ელემენტებს, რომელთაც ბირთვში პროტონების ერთნაირი რაოდენობა აქვთ, იზოტოპები ეწოდებათ. იზოტოპები განსხვავდებიან ნეიტრონების რაოდენობით.

როგორც აღვნიშნეთ, პროტონები დადებითად დამუხტული ნაწილაკებია. შესაბამისად, როგორც ერთი ნიშნის ელექტრული მუხტის მატარებლები, ისინი განიზიდავენ ერთმანეთს ელექტრული ურთიერთქმედების გამო, მაგრამ პროტონებს ბირთვში აკავებს ბირთვული – ძლიერი ურთიერთქმედება. ბირთვული ურთიერთქმედების გამო არსებობს ენერჯია – ბმის

ენერგია. ეს ენერგია ახასიათებს, თუ რამდენად ძლიერია ბირთვში ელემენტებს შორის კავშირი, ესე იგი, რამდენად სტაბილურია ბირთვი. ყველაზე სტაბილურია “რკინის ჯგუფის” ელემენტები, რომლებიც ხასიათდებიან დიდი ბმის ენერგიით. რადიოაქტივობა გამოწვეულია იმით, რომ ნაკლებად სტაბილური ელემენტების აღზნებულ მდგომარეობაში მყოფი ბირთვები “ცდილობენ” შეიმცირონ ენერგია და გახდნენ მეტად სტაბილურები. ამ დროს ისინი ასხივებენ ენერგიას ზემოთ ჩამოთვლილი სამი სხვადასხვა გზით. ალფა გამოსხივებისას იცვლება ბირთვის ტიპიც (ამ დროს სხივდება პროტონიც, რაც იმას ნიშნავს, რომ იცვლება ელემენტის ტიპი). ერთი და იგივე იზოტოპის სტაბილურობას განსაზღვრავს ნეიტრონების რაოდენობა ბირთვში. რადიოაქტივობისას გამოყოფილი ენერგიის წყარო არის ბირთვში თავმოყრილი მასა და ენერგია. აინშტაინის ცნობილი ფორმულის $E=mc^2$ (E – ენერგია, m – მასა, c – სინათლის სიჩქარე) თანახმად, ენერგია და მასა ეკვივალენტურია. ესე იგი, ნებისმიერი მასიური სხეული შეიძლება იყოს ენერგიის წყარო და პირიქით, სხვადასხვა სახის ენერგიამ შეიძლება წარმოქმნას მასა. მაგალითად, ატომის ბირთვში ბირთვის მასა ნაკლებია ბირთვის შემადგენელი ნეიტრონებისა და პროტონების მასების ჯამზე. ეს იმით აიხსნება, რომ პროტონებისა და ნეიტრონების მასის ნაწილი გარდაიქმნება ბმის ენერგიად. ურანის ბირთვის დაშლისას, გამოსხივების ენერგიის გარდა, გამოიყოფა ნეიტრონები. ისინი ეჯახებიან სხვა ბირთვებს, იწვევენ მათ არასტაბილურობას და ბირთვები იშლება, გამოიყოფა ნეიტრონები და გამოსხივება. ამ პროცესს ჯაჭვური რეაქცია ეწოდება. თუ მძიმე ბირთვის უფრო მსუბუქ ბირთვად დაშლისას ნეიტრონების მზარდი რაოდენობა გამოიყოფა, ამბობენ, რომ მიმდინარეობს ე.წ. უკონტროლო ჯაჭვური რეაქცია. კონტროლირებადი ჯაჭვური რეაქციისთვის საჭიროა ნეიტრონების რაოდენობის კონტროლი. თუ ბირთვი ნელა იშლება, ყოველ ეტაპზე თავისუფლდება ერთი ნეიტრონი. მაშინ პროცესი კონტროლირებადია. პირველი კონტროლირებადი ჯაჭვური რეაქცია 1942 წელს განახორციელა ენრიკო ფერმიმ.

ბირთვის გახლეჩის შესაძლებლობა აღმოჩენილი იყო 1938 წელს. პირველი კონტროლირებადი ჯაჭვური რეაქცია განხორციელდა 1942 წელს. ბირთვული ენერგიის კვლევის პროცესი დაემთხვა მეორე მსოფლიო ომის პერიოდს. ამ გარემოებამ განაპირობა, ის რომ ომში ჩართულმა სახელმწიფოებმა გადაწყვიტეს ბირთვული ენერგიის სამხედრო მიზნებით გამოყენება. აშშ-მ პირველმა შექმნა ბირთვული იარაღი. ამ გარემოებამ

მოკავშირეების სასარგებლოდ გადაწყვიტა ომის ბედი და ამავე დროს ბირთვული იარაღის გამოყენებას მოჰყვა ტრაგედია ჰიროსიმასა და ნაგასაკიში. ჰიროსიმას და ნაგასაკის ტრაგედიის შემდეგ ბევრი მეცნიერი, რომელიც მონაწილეობდა ბირთვული პროცესების შესწავლაში, გამოვიდა ბირთვული ენერჯის სამხედრო მიზნებით გამოყენების წინააღმდეგ.

მსოფლიოში დაიწყო ბირთვული ენერჯის გამოყენება მშვიდობიანი მიზნებისთვის. 1956 წელს ბრიტანეთში აშენდა პირველი სამრეწველო ბირთვული ელექტროსადგური.

ბირთვულ ელექტროსადგურში ჯაჭვური რეაქციისას გამოყოფილი ენერჯის საშუალებით ცხელდება და შემდეგ ორთქლდება წყალი. წყლის ორთქლის ენერჯია ატრიალებს ტურბინას. თავის მხრივ, ტურბინის ტრიალისას, ისევე როგორც

ჰიდროელექტროსადგურებში, გამომუშავდება ელექტროენერჯია ბირთვულ რეაქტორებში ხორციელდება ჯაჭვური რეაქციის კონტროლი. ჯაჭვური რეაქციისას ნეიტრონების რაოდენობა კონტროლდება რადიოაქტიურ ნივთიერებაში ნეიტრონების შთამნთქმელების მოთავსებით. რეაქტორის მიმდებარე ტერიტორიის დაცვის მიზნით, რეაქტორის აქტიური ნაწილი დაფარულია რამდენიმე მეტრი სისქის ბეტონის კედლებით, რომელთაც აქვთ ტყვიის ფანჯრები.

რეაქტორზე ავარიამ შეიძლება გამოიწვიოს ჯაჭვურ რეაქციაზე კონტროლის დაკარგვა. ამ დროს შეიძლება მზარდი ენერჯია უკონტროლოდ გამოიყოს. გამოყოფილმა დიდმა ენერჯიამ შეიძლება ჯერ დააზიანოს რეაქტორი, შემდეგ რეაქტორიდან გამოჟონილმა გამოსხივებამ – ენერჯიამ უარყოფითად იმოქმედოს ცოცხალ და არაცოცხალ ბუნებაზე.

მნიშვნელოვანია ბირთვულ რეაქტორზე არსებობდეს უსაფრთხოების სანდო სისტემა. ერთ-ერთი პირველი ავარია ბირთვულ რეაქტორზე მოხდა 1979 წელს აშშ-ს ქალაქ ჰარისბერგში.

საბედნიეროდ, ამ შემთხვევაში უსაფრთხოების სისტემამ იმუშავა. 1986 წელს მასშტაბური კატასტროფა გამოიწვია ჩერნობილის ბირთვულ სადგურზე მომხდარმა ავარიამ. სადგურის პერსონალი ატარებდა ექსპერიმენტებს რეაქტორზე. იმ მიზნით, რომ ექსპერიმენტი არ შეფერხებულიყო, მაშინაც კი, როცა რეაქციის პარამეტრები შესაბამისობაში არ იყო უსაფრთხოების მოთხოვნებთან, გამორთეს უსაფრთხოების სისტემა. ჯაჭვური რეაქციისას გამოყოფილმა საჭიროზე მეტმა ენერჯიამ ჯერ დააზიანა ნეიტრონთა შთამნთქმელები, მათი დეფორმაციის გამო შეუძლებელი გახდა მოძრაობა (ჩანაცვლება სადი მასალით) და,

შესაბამისად, შეუძლებელი გახდა ნეიტრონების რაოდენობის რეგულირება. იმის გამო, რომ უსაფრთხოების სისტემა გათიშული იყო, ჯაჭვური რეაქცია უკონტროლო გახდა, გამოყოფილმა ენერგიამ გამოიწვია აფეთქება რეაქტორზე და გამოჟონილმა გამოსხივებამ დიდი ზიანი მოუტანა ჩერნობილის მოსახლეობას. ჩერნობილის ავარიის დროს წარმოქმნილი რადიოაქტიური ღრუბელი გასცდა უკრაინის საზღვრებს.

ძლიერმა რადიოაქტიურმა გამოსხივებამ შეიძლება ცუდი გავლენა მოახდინოს ცოცხალ და არაცოცხალ ბუნებაზე, გამოიწვიოს გენური გადაგვარება, ძლიერი გამოსხივების შემთხვევაში კი კიბოს რისკი გამოსხივების სიძლიერის პროპორციულია. დროთა განმავლობაში რადიოაქტიური ნივთიერების გამოსხივების ინტენსივობა კლებულობს. დროს, რომლის განმავლობაში გამოსხივების ინტენსივობა ორჯერ იკლებს, ნახევარდაშლის პერიოდი ეწოდება. სხვადასხვა ნივთიერებას ნახევარდაშლის სხვადასხვა პერიოდი ახასიათებს. ე.წ. ნახშირბადის მეთოდი, რომელიც გამოიყენება დედამიწის შრეებში მოძიებული ნივთების ასაკის დასადგენად, ეფუძნება რადიოაქტიური ნივთიერების გამოსხივების ინტენსივობის კლებას დროთა განმავლობაში. დედამიწის ატმოსფეროს კოსმოსური სხივებით დაბომბვისას წარმოიქმნა რადიოაქტიური ნივთიერება ნახშირბადი 14. ნახშირბადი 14-ის ნახევარდაშლის პერიოდია 5730 წელი. ამ ნივთიერებამ შეაღწია დედამიწის შრეებში და შემდეგ ცოცხალ ორგანიზმებში. იმის მიხედვით, თუ როგორია დედამიწის შრეში აღმოჩენილი ნივთის ნახშირბადის შემცველი გამოსხივების ინტენსივობა, დგინდება, თუ როდის დაიწყო მან გამოსხივება, ანუ რამდენი წლისაა ნივთი. მაგალითად, რადიოაქტიური ნივთიერებები გამოიყენება უსაფრთხოების გასასვლელების მისათითებელ ნიშნებზე (ნიშნები შესამჩნევი უნდა იყოს იმ შემთხვევაში, როცა მათ გარე წყაროდან არ მიეწოდებათ ენერგია). ადამიანი ყოველდღიურად იღებს დასხივებას გარკვეული დოზით. თვითმფრინავით მგზავრობისას ადამიანის მიერ მიღებული გამოსხივების დოზა მატულობს ჩვეულებრივთან შედარებით, რადგან საფრენ სიმაღლეზე ატმოსფერო ვერ ასუსტებს კოსმოსური სხივების გამო არსებულ გამოსხივებას. ბირთვული ჯაჭვური რეაქციებისას გამოყოფილი ენერგია სახიფათო რომ არ აღმოჩნდეს, საჭიროა რეაქტორების კარგი მართვა და გამართული, უსაფრთხოების სანდო სისტემა.

ატომური ენერგეტიკა

ხშირად ვხმარობთ სიტყვა“ენერგიას“.ფიზიკა სწავლობს მაღალ ენერგიებს: ქარის მზის,ატომურ და მათ გამოყენებას,მაგრამ მეცნიერებას უჭირს პასუხის გაცემა თუ რა არის ენერგია.ენერგია საჭიროა იმისათვის რომ დაიწყოს რაიმე მოძრაობა ,რადაც აიწიო,გაათბო,ან გაანათო.ენერგიის გარეშე სიცოცხლისუნარიანობა შეუძლებელია.ბუნებაში ხშირად ვპოულობთ სხვადასხვა სახის დაგროვებულ ენერგიას.ენერგია არის მუშაობის შესრულების საშუალება.მაგ: შეკუმშული ზამბარა მექანიკურ საათებში ფლობს საკმარის ენერგიას რომ ამუშაოს ის დღე და ღამე.

რას წარმოადგენს ეს ენერგია ფიზიკის თვალსაზრისით?ყოველი ფიზიკური სხეული შედგება ატომებისგან და მოლეკულებისაგან,სითხეებში და აირბში ისინი ქაოსურად მოძრაობენ,რაც მეტია მოძრაობის სიჩქარე,მით მეტ სითბურ ენერგიას ფლობს სხეული.მყარ სხეულებში მოლეკულების და ატომების მოძრაობა გაცილებით დაბალია, მყარი სხეულების მოლეკულები მხოლოდ ირხევიან, რაც მეტია ეს რხევა მით მეტი სითბური ენერგიის მატარებელია სხეული.სხეულის გათბობისას ჩვენ ვარხევთ მის მოლეკულებს და ატომებს,როცა საკმაოდ ძლიერია რხევა შეიძლება მოლეკულა ამოვადოთ თავისი ადგილიდან და ვაიძულოთ იგი იმოძრაოს ქაოსურად.

ელექტრონი არის სულ მცირე ელექტრულად დამუხტული ნაწილაკი,რომელიც შედის ნებისმიერი ატომის შემადგენლობაში.ნეიტრალური ატომისთვის უარყოფითი ელექტრონების ჯამი ტოლია ბირთვში მყოფი პროტონების რიცვისა,მაშინ მთელი ატომის მუხტი ნულის ტოლია.ენერგიის პირველი წყარო,რომელიც ადამიანმა გამოიყენა იყო ჩვეულებრივი შემა ცეცხლისთვის.წვის დროს მიმდინარეობს ქიმიური რეაქცია. ქიმიური რეაქცია შეიძლება მოხდეს როგორც შთანთქმით ასევე ენერგიის გამოყოფით.თითონ ენერგია კი შეიძლება იყოს,როგორც სითბური ასევე ელექტრული.მანქანის აკუმულატორის მუშაობისას ხდება ელექტრული ენერგიის გამოყოფა,დატენვისას კი მიმდინარეობს შთანთქმა.აინშტაინმა დაამყარა კავშირი ენერგიასა და მასას შორის,თავის ტოლობაში $E=mc^2$,სადაც C სინათლის სიჩქარეა.

„ადამიანს შეუძლია დაიწყოს საკუთარი თავის განვითარებაში ახალი ეტაპი, ახალი ეპოქის ათვლა იმ დღიდან, როცა ის აღმოაჩენს ატომური ენერჯის გამოყენების მეთოდს“. რეზერდფორდმა ეს სიტყვები 50წლის წინ წარმოთქვა, მაშინ ჯერ კიდევ არ იო ბირთვული ენერჯის გამოყენების მიზანი, დღეისათვის ბირთვული ენერჯის სამი სხვადასხვა წყარო არსებობს, ისინი დაფუძნებულია შემდეგ რეაქციებზე: ბირთვის გაყოფაზე, ბირთვის შეერთებაზე და რადიოაქტივობაზე. ბირთვული ენერჯია ჩნდება იმ შემთხვევაში, როცა მასა გარდაიქმნება ენერჯად. აინშტაინის კანონის მიხედვით $E=mc^2$, სადაც E ენერჯიაა, m გარდასაქმნელი მასა, C სინათლის სიჩქარე.

ატომური ერის დაწყების პირველი დღიდანვე მსოფლიო საზოგადოების ერიოზული ყურადღების ცენტრში მოექცა მასობრივი განადგურების იარაღის გაუვრცელებლობის, შეიარაღების კონტროლის, განიარაღების და ბირთვულ სპეროში მოღვაწეობის რეგულირების საკითხი, მისი მშვიდობიანად გამოყენებისათვის. ამ მიმართულებით დადებულია უამრავი ხელშეკრულება ე.წ ბირტვულ ქვეყნებს შორის. ამ ხელშეკრულებების საფუძველზე ბირთვული იარაღის გამოცდები, ჯერ ატმოსფეროში და შემდეგ წყალში და მიწისქვეშა კი აიკრძალა. დღეისათვის, მოწინვე ინდუსტრიულ ქვეყნებში მთელი ყურადღება გადატნილია ატომური ენერჯის მშვიდობიანად გამოყენებისა და მისი ადამიანის სამსახურში ჩაყენებისაკენ. ატომური ენერჯეტიკა არის ტექნიკის განხრა, რომელიც დაფუზნებულია ატომის ბირთვის დაშლის რეაქციისას გამოყოფილი სითბოს გამოყენებაზე და ელექტროენერჯის წარმოებაზე.

რადიაციულ წყაროებთან დაკავშირებულ ყველაზე მეტ დავას, ატომური ელექტროსადგურები(ამს) იწვევს. ატომური ენერჯეტიკის უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ იგი, თბოელექტროსადგურებთან შედარებით გაცილებით ნაკლებ ნედლეულს და მიწის ფართობს თხოულობს, არ აბინძურებს ატმოსფეროს ჭვარტლით და გამონაბოლქვით. ძირითადი საშისროება მდგომარეობს რეაქტორის შესაძლებელ კატასტროფულ ავარიებში და რეალურად მოუგვარებელ საკითხებში. გამომუშავებული საწვავის უტილიზაციაში, რის გამოც არსებობს გარემოში რადიოაქტიური ნივთიერებების გაჟონვის მცირე მაგრამ მაინც საშიშროება. ამს-ის ძირითად მუშა ბლოკს წარმოადგენს

ბირთვული რეაქტორი ტექნიკური დანადგარი ,სადაც ხორციელდება ბირთვული დაშლის ჯაჭვური რეაქციები.

ნებისმიერი ბირთვული რეაქტორი შედგება შემდეგი ნაწილებისაგან:

- აქტიური ზონა ბირთვული საწვავით და შემანელებლით.
- ნეიტრონების ამრეკლი.
- სითბოს გადამტანი,რომელიც გარს ეკვრის აქტიურ ზონას.
- ჯაჭვური რეაქციის მარეგულირებელი სისტემა,მათ შორის საავარიო სისტემა.
- რადიაციული დაცვა.
- დინსტანციური მართვის სისტემა.

რეაქტორის მუშაობისას სითბოს გამცემ ელემენტებში(სგე),დაშლის პროდუქტების,ნამსხვრევების ბეტა და გამა გამოსხივების და სწრაფი ნეიტრონების დამუხრუჭების შდეგად სითბო გამოიყოფა რომელიც ასობით მილიარდ გრადუსს აღწევს,როგორც ვიცით

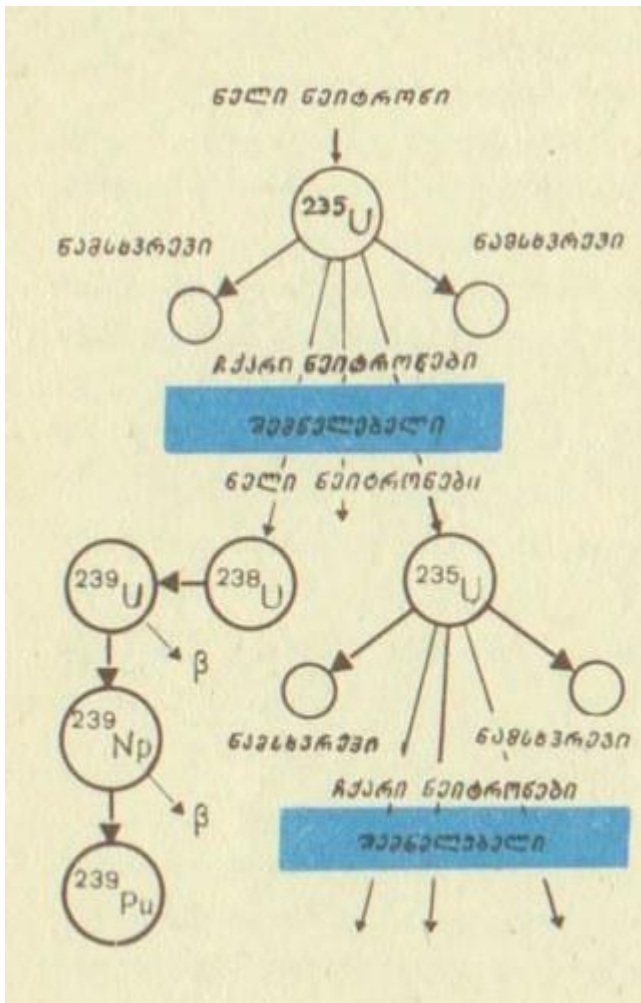
$E = mv^2 = 3RT$,სადაც E არის ნამსხვრევების კინეტიკური ენერგია, $R=1.38 \cdot 10^{-23} \text{ჯ/კ}$, (k ბოლცმანის მუდმივა)თუ გავითვალისწინებთ რომ 1მეგევ= $1.6 \cdot 10^{-13} \text{ჯ}$,მივიღებთ

$$1.6 \cdot 10^{-6} E = 2.07 \cdot 10^{-16} T, \text{ აქედან } T = 7.7 \cdot 10^9 E$$

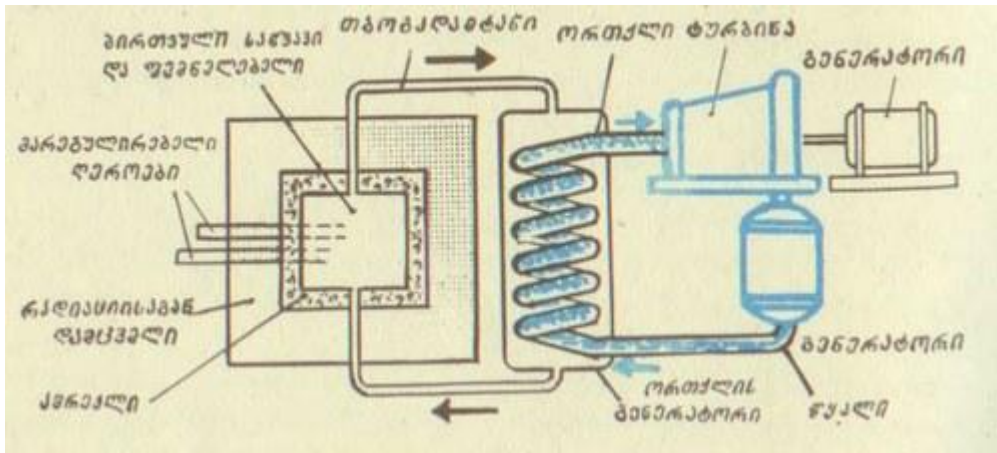
დაშლის ნამსხვრევებისთვის ყველაზე ალბათური ენერი 97მეგევ-ს(მსუბუქი ნამსხვრევისათვის) და 65 მეგევ-ს (მძიმე ნამსხვრევისათვის)შეადგენს,აქედან მსუბუქი ნამსხვრევის შესაბამისი ტემპერატრა იქნება $7.5 \cdot 10^{11} \text{K}$,ხოლო მძიმე ნამსხვრევის შესაბამისი $5 \cdot 10^{11} \text{K}$.როგორც ვხედავთ დაშლის შედეგად თეორიულად მიღებული ტემპერატურები ძალზე დიდია,მარამ პრაქტიკულად,რეაქტორებში,შსაძლებელი ტემპერატურული ზღვარი დგინდება კონსტრუქციული მასალებისა და სითბოს გამცემი ელემენტების ტემპერატურული შესაძლებლობების მიხედვით.ამს-ის ყველაზე საშიშ ბლოკს სწორედ რეაქტორი წარმოადგენს და თუ დაცულა უსაფრთხოების ყველა ზომა, მაშინ ის გაცილებით უვნებელია ვიდრე წიაღისეულზე მომუშავე ელექტროსადგურები.დღეისათვის მსოპლიოში მოქმედებს 438 ამს-ი,რომელთა საერთო სიმძლავრე 371636 მეგვტ-ია.

6. ბირთვული რეაქტორი

მოწყობილობა, რომელშიც ბირთვების გაყოფის მართვადი რეაქცია ხორციელდება, ბირთვული (ანუ ატომური) რეაქტორი ეწოდება. ურანის ბირთვები, განსაკუთრებით $^{235}_{92}\text{U}$ იზოტოპის ბირთვები, განსაკუთრებით ეფექტურად ნელ ნეიტრონებს ჩაიჭერენ. ნელი ნეიტრონების ჩაჭერის ალბათობა რამდენიმე ასეულჯერ მეტია, ვიდრე სწრაფისა. ამიტომ, ბუნებრივ ურანზე მომუშავე ბირთვულ რეაქტორებში ნეიტრონების შემწელებლებს იყენებენ ნეიტრონების გამრავლების კოეფიციენტის გასაზრდელად. ბირთვულ რეაქტორში მიმდინარე პროცესები სქემატურად სურათზეა გამოსახული.



- ბირთვული რეაქტორის ძირითადი ელემენტები
- კრიტიკული მასა
- რეაქტორები ჩქარ ნეიტრონებზე
- .პირველი ბირთვული რეაქტორები



სურათზე მოცემულია ბირთვული რეაქტორის ენერგეტიკული მოწყობილობის სქემა.

ბირთვული რეაქტორის ძირითადი ელემენტებია: ბირთვული საწვავი ($^{235}_{92}\text{U}$, $^{239}_{94}\text{U}$, $^{238}_{94}\text{U}$ და სხვ.), ნეიტრონების შემნელებელი (მძიმე ან ჩვეულებრივი წყალი, გრაფიტი და სხვ.), სითბოს შემცველი იმ ენერგიის გამოსაყვანად, რომელიც რეაქტორის მუშაობის დროს წარმოიქმნება (წყალი, თხევადი ნატრიუმი და სხვ) და მოწყობილობა რეაქციის სიჩქარის რეგულირებისათვის (რეაქტორის მუშა სივრცეში შეყვანილი ღეროები, რომლებიც შეიცავენ კადმიუმს ან ბორს_ ნეიტრონების შთანთქმის კარგი უნარის მქონე ნივთიერებებს). გარედან რეაქტორი შემოვლებულია დამცველი გარსით, რომელიც აკავებს გამა გამოსხივებასა და ნეიტრონებს. გარსს ამზადებენ ბეტონისაგან რკინის შემავსებლით. საუკეთესო შემნელებელია მძიმე წყალი. ჩვეულებრივი წყალი თვითონ ჩაიჭერს

ნეიტრონებს და მძიმე წყლად გადაიქცევა. კარგი შემნელებელია, აგრეთვე, გრაფიტი, რომლის ბირთვები არ შთანთქავენ ნეიტრონებს.

კრიტიკული მასა

გამრავლების k კოეფიციენტი შეიძლება ერთის ტოლი გახდეს მხოლოდ იმ პირობისას, თუ რეაქტორის ზომები და შესაბამისად ურანის მასა აღემატება გარკვეულ კრიტიკულ მნიშვნელობებს. კრიტიკული მასა ეწოდება გასაყოფი ნივთიერების იმ უმცირეს მასას, რომლის დროსაც მიმდინარეობს ჯაჭვური რეაქცია. მცირე ზომებისას მეტად დიდია ნეიტრონების დაკარგვა რეაქტორის აქტიური ზონის ზედაპირიდან, სადაც მოთავსებულია ურანიანი ღეროები.

სისტემის ზომების ზრდასთან ერთად გაყოფაში მონაწილე ბირთვების რიცხვი მოცულობის პროპორციულად იზრდება, ხოლო დაკარგული ნეიტრონების რიცხვი _ ზედაპირის ფართობის პროპორციულად. ამიტომ, თუ გავზრდით სისტემას, შეიძლება მივიღოთ გამრავლების კოეფიციენტის $k=1$ მნიშვნელობები. სისტემას ექნება კრიტიკული ზომები, თუ ჩაჭერისა და გადენის გამო დაკარგული ნეიტრონების რიცხვი ტოლი იქნება გაყოფის პროცესში მიღებული ნეიტრონების რიცხვისა. ამ დროს $k=1$. კრიტიკული ზომები, შესაბამისად კრიტიკული მასა, განისაზღვრება ბირთვული საწვავის ტიპით, შემნელებლით და რეაქტორის კონსტრუქციული თავისებურებებით.

წინდა (შემნელებლის გარეშე) $^{235}_{92}\text{U}$ ურანის სფერული ფორმის ნაჭრისათვის კრიტიკული მასა ტოლია დაახლოებით 50 კგ. ამ დროს სფეროს რადიუსი ტოლია დაახლოებით 9 სმ (ურანი ძალიან მძიმე ნივთიერებაა). ნეიტრონების შემნელებლისა და ბერილიუმისაგან დამზადებული ნეიტრონების ამრეკლი გარსის გამოყენებით შეძლეს კრიტიკული მასის 250 გრამამდე შემცირება.

რეაქტორის მართვა კადმიუმის ან ბორის შემცველი ღეროებით ხორციელდება. რეაქტორის აქტიური ზონიდან ღეროების ამოწვევის დროს k_1 , ხოლო როდესაც მთლიანად შეწეულია k_1 . ღეროების აქტიურ ზონაში შეწევით შეიძლება ჯაჭვური რეაქციის მსვლელობის შეჩერება დროის ნებისმიერ მომენტში. ბირთვული რეაქტორის მართვა ხორციელდება მანძილზე კომპიუტერის მეშვეობით.

რეაქტორები ჩქარ ნეიტრონებზე

აგებულია რეაქტორები, რომლებიც მუშაობენ ჩქარი ნეიტრონებით, შემნელებლის გარეშე. ვინაიდან ჩქარი ნეიტრონებით გამოწვეული გაყოფის ალბათობა მცირეა, ამ რეაქტორებს არ შეუძლიათ მუშაობა ბუნებრივ ურანზე. რეაქციის განხორციელება შეიძლება მხოლოდ გამდიდრებულ ნარევეში, რომელიც შეიცავს ²³⁵ 92 U იზოტოპის არანაკლებ 15 %-ს. ჩქარ ნეიტრონებზე მომუშავე რეაქტორების უპირატესობა ისაა, რომ მუშაობის პროცესში წარმოიქმნება პლუტონიუმის მნიშვნელოვანი რაოდენობა, რომელიც შემდგომში შეიძლება გამოყენებულ იქნეს ბირთვულ საწვავად. ამ რეაქტორებს გამამრავლებელ რეაქტორებს უწოდებენ, ვინაიდან, ისინი კვლავ ქმნიან გაყოფად ნივთიერებას. შენდება რეაქტორები, რომელთა კვლავწარმოების კოეფიციენტი 1,5-ის ტოლია. ეს ნიშნავს, რომ 1კგ ²³⁵ 92 U იზოტოპიდან 1,5 კგ პლუტონიუმი მიიღება.

ჩვეულებრივ რეაქტორებშიც წარმოიქმნება პლუტონიუმი, მაგრამ გაცილებით ნაკლები რაოდენობით (კვლავწარმოების კოეფიციენტი 0,6-0,7 აღწევს).

7. პირველი ბირთვული რეაქტორები

პირველად ურანის გაყოფის ბირთვული ჯაჭვური რეაქცია განახორციელა ამერიკის შეერთებულ შტატებში 1942 წელს მეცნიერთა კოლექტივმა ენრიკო ფერმის

ხელმძღვანელობით. პირველი ბირთვული რეაქტორი ამუშავდა 1946 წლის 25 დეკემბერს. იგი შექმნა ფიზიკოსთა კოლექტივმა, რომელსაც სათავეში შესანიშნავი მეცნიერი ი. კურჩატივი ედგა.

ამჟამად შექმნილია სხვადასხვა ტიპის რეაქტორები, რომლებიც ერთმანეთისაგან როგორც სიმძლავრის, ისე დანიშნულების მიხედვით განსხვავდებიან. განსაკუთრებით პერსპექტიულია გამამრავლებელი რეაქტორები ჩქარ ნეიტრონებზე. ენრიკო ფერმი (1901-1954) იტალიელი ფიზიკოსი, რომელმაც დიდი წვლილი შეიტანა თანამედროვე თეორიული და ექსპერიმენტული ფიზიკის განვითარებაში. 1938 წლიდან ემიგრირებულია აშშ-ში. დირაკთან ერთად ფერმომ შექმნა ელექტრონებისა და სხვა ნაწილაკების კვანტური სტატისტიკური თეორია (ფერმი-დირაკის სტატისტიკა). მან ააგო b - დაშლის რადიონობრივი თეორია, ელემენტარული ნაწილაკების ურთიერთქმედების თანამედროვე კვანტური თეორიის პროტოტიპი. ფერმომ ნეიტრონულ ფიზიკაში რამდენიმე ფუნდამენტური აღმოჩენა გააკეთა: აღმოაჩინა ხელოვნური რადიოაქტიურობა ნივთიერების ნეიტრონებით დასხივების დროს, ნეიტრონების შენელება და სხვ. ფერმის ხელმძღვანელობით 1942 წელს პირველად განხორციელდა მართვადი ბირთვული რეაქცია.

8. ჩერნობილის კატასტროფა

ჩერნობილის კატასტროფა 1986 წლის 26 აპრილს უკრაინის ტერიტორიაზე (იმ დროისთვის უკრაინის სსრ) მდებარე ჩერნობილის ატომური ელექტროსადგურის მეოთხე ბლოკზე მოხდა. ეს იყო ბირთვულ მოვლენათა საერთაშორისო შკალით მეშვიდე დონის ერთადერთი შემთხვევა ისტორიაში. ბირთვული აფეთქების შედეგად რეაქტორი მთლიანად დაინგრა, რამაც რეაქტორის მიმდებარე ვრცელი ტერიტორიის რადიოაქტიური დაბინძურება გამოიწვია. ის შეფასებულია, როგორც უდიდესი ავარია ატომური ენერგეტიკის ისტორიაში, როგორც დალუპულთა და მისგან დაშვებულ ადამიანთა რადიონობით, ისე ეკოლოგიური დაბინძურებითა და ეკონომიკური ზიანით.

ავარიის შედეგად გაჩენილმა რადიოაქტიურმა ღრუბელმა გადაიარა სსრკ-ის ევროპული ნაწილი, აღმოსავლეთი ევროპა, სკანდინავია, დიდი ბრიტანეთი და აშშ-ს აღმოსავლეთი ნაწილი. რადიოაქტიური ნალექის 60% დაილექა ბელორუსიის ტერიტორიაზე. დაბინძურებული ზონიდან ევაკუირებული იყო დაახლოებით 200 000 ადამიანი.

ჩერნობილის ავარია სსრკ-სთვის გახდა უდიდესი სოციალურ-პოლიტიკური მნიშვნელობის მქონე მოვლენა, რის გამოც მისი მიზეზების გამოძიება დიდი ხნით გაჭიანურდა. ფაქტების ინტერნპრეტაცია და ავარიის ვითარების ანალიზი დროთა განმავლობაში იცვლებოდა და ამიტომ დღემდე მასზე სრული და ზუსტი ინფორმაცია არ არსებობს.

ატომური ელექტროსადგურის მახასიათებლები:

ჩერნობილის ატომური ელექტროსადგური განთავსებული იყო უკრაინის ტერიტორიაზე, ქალაქ პრიპიატთან ახლოს, ქალაქ ჩერნობილიდან 18, ბელორუსიის საზღვრიდან 16 და დედაქალაქ კიევიდან 110 კილომეტრის დაშორებით.

ავარიის დროს ჩერნობილის ატომურ ელექტროსადგურზე მუშაობდა ოთხი რეაქტორი. თითოეული 1000 მეგავატი (სითბური სიმძლავრე 3200 მეგავატი) ელექტრო სიმძლავრით. ასევე შენდებოდა კიდევ 2 ანალოგიური რეაქტორი. ჩერნობილის ატომური ელექტროსადგური დაახლოებით გამოიმუშავებდა უკრაინის მიერ მოხმარებული ელექტროენერჯის მეთედს.

1986 წლის 26 აპრილის დაახლოებით 1:23:50 საათზე ჩერნობილის ატომური ელექტრო-სადგურის მე-4 ენერგობლოკში მოხდა აფეთქება, რომელმაც მთლიანად დაანგრია რეაქტორი. ენერგობლოკის შენობა ნაწილობრივ ჩამოინგა. ამით, როგორც ითვლება დაიღიპა პირველი (ერთი) ადამიანი. შენობის სხვადასხვა განყოფილებაში და სახურავზე გაჩნდა ხანძარი. ამის შემდეგ აქტიური ზონების ნარჩენები ჩამოდნა. დამდნარი მეტალის, სილის, ბეტონის და საწვავის ნარჩენის ნარევი მოედო ქვე-რეაქტორის განყოფილებებს. ავარიისას მოხდა რადიოაქტიური ნივთიერებების გავრცელება. მათ შორის იყო ურანის იზოტოპი, პლუტონიუმი, იოდი-131 (ნახევრად-ღობის პერიოდი 8 დღე), ცეზიუმი-134 (ნახევრად-ღობის პერიოდი 2 წელი), ცეზიუმი-137 (ნახევრად-ღობის პერიოდი 33 წელი) და სტონციუმი-90 (ნახევრად-ღობის პერიოდი 28 წელი). მდგომარეობა უარესდებოდა იმით, რომ სითბოთი ნგრევად რეაქტორში მიმდინარეობდა არაკონტროლირებადი ატომური და ქიმიური რეაქციები. ამას მრავალი დღის მანძილზე თან სდევდა მაღალ რადიაციული ელემენტების წვის პროდუქტების ბზარებიდან ამოფრქვევა და ამით დიდი ტერიტორიების დაზინძურება. დანგრეული რეაქტორიდან რადიოაქტიური ნივთიერებების ამოფრქვევის შეჩერება მოხდა მხოლოდ 1986 წლის მაისის ბოლოს, სსრკს მთელი რესურსებისა და ათასობით ლიკვიდატორის მეშვეობით.

1986 წლის 25 აპრილს ჩერნობილის ატომურ ელექტროსადგურში დაიგეგმა მე-4 ენერგობლოკის გაჩერება შემდგომში სხვა მიზნებისათვის გამოყენებისთვის. გადაწყდა გამოყენებულ ყოფილიყო ეს შემთხვევა რიგი ცდების ჩატარებისთვის. ერთ-ერთი ცდის მიზანი იყო პროექტული რეჟიმის შემოწმება, რომელიც ითვალისწინება გენერატორის ტურბინის ინერციის გამოყენებას, შიდა ელექტრომომარაგების გათიშვის შემთხვევაში. ცდები უნდა ჩატარებულიყო 700 მეგავატ სიმძლავრეზე, მაგრამ ოპერატორის უყურადღებობის გამო ის 30 მეგავატზე დაეცა. გადაწყდა რომ არ აეწიათ სიმძლავრე დაგეგმილ 700 მეგავატზე და 200 მეგავატით შეზღუდულიყვნენ. სიმძლავრის სწრაფი ვარდნით და 30 - 200 მეგავატზე მუშაობით გაძლიერდა რეაქტორის აქტიური ზონის დაბინძურება ქსენონ-135-ის იზოტოპით. იმისათვის რომ აქტიური ზონიდან აეწიათ სიმძლავრე შეკეთებულ იქნა მარეგულირებელი ჭანჭიკების ნაწილი. 200 მეგავატზე მიღწევის შემდეგ ჩართულ იქნა დამატებითი ტუმბები, რომელთა დანიშნულება იყო ექსპერიმენტის დროს გენერატორების დატვირთვის თავიდან აცილება. აქტიური ზონიდან წამოსული წყლის რაოდენობა, რაღაც დროის მანძილზე სცილდებოდა დაშვებულ ლიმიტს. ამ დროისათვის ოპერატორებს მოუწიათ უფრო ძლიერად მოეჭირათ ჭანჭიკები. ამასთან, რეაქტულობის ეფექტურობის მარაგი აღმოჩნდა დაშვებულ სიდიდეზე დაბლა, მაგრამ რეაქტორის პერსონალმა ამის შესახებ არ იცოდა. 1:23:04 საათზე დაიწყო ექსპერიმენტი. ამ მომენტში, გაუმართაობის, ან რეაქტორის არასტაბილურობის არანაირი სიგნალი არ ყოფილა. გენერატორთან მიერთებული ტუმბების სიჩქარის დაწევის და რეაქტულობის დადებითი ორთქლის კოეფიციენტის გამო, რეაქტორი ცდიდა სიმძლავრის მომატების ტენდენციას, თუმცა მართვის სისტემა ამის წინააღმდეგ ეფექტურად მუშაობდა. 1:23:40 საათზე ოპერატორმა იმოქმედა ავარიული დაცვის ღილაკზე. ოპერატორის ამ მოქმედების ზუსტი მიზეზი უცნობია, თუმცა არსებობს მოსაზრება, რომ ეს მოქმედება განხორციელებული იყო სიმძლავრის სწრაფი ზრდის გამო. თუმცა ანატოლ სტეფანეს-ძე დიალტოვი (სადგურის ექსპლუატაციის მთავარი ინჟინერის წარმომადგენელი, რომელიც ავარიის მომენტში იმყოფებოდა მე-4 ენერგობლოკის სამართავ პულტთან) თავის წიგნში ამტკიცებს, რომ ეს ადრე განხილული იყო ინსტრუქტაჟზე და მას შემდეგ, რაც ავტომატური რეგულატორის ღერძები დავიდნენ აქტიური ზონის ქვემოთ, მოქმედება შესრულდა შტატურ (და არა ავარიულ) რეჟიმში, ტურბინის აჩქარების შემთხვევაში რეაქტორის ჩახშობისათვის. რეაქტორის კონტროლის სისტემებმა ავარიული დაცვის ჩართვამდე ასევე ვერ დააფიქსირეს სიმძლავრის ზრდა. რეგულატორებმა და ავარიულმა ღერძებმა დაიწყეს ქვემოთ მოძრაობა, აქტიური ზონაში ჩასვლა, მაგრამ რამოდენიმე წამის შემდეგ რეაქტორის სითბური სიმძლავრე უცბად გაიზარდა უცნობ მაღალ სიდიდეებზე (სიმძლავრემ გადააჭარბა ყველა გამზომი მოწყობილობის რიცხვებს). მოხდა ორი აფეთქება რამოდენიმე წამის ინტერვალით. რეზულტატად რეაქტორი მთლიანად იქნა დანგრეული. პროცესის, რომელიც მიმდინარეობდა აფეთქებამდე, ზუსტი მიმდევრობის შესახებ არ არსებობს საერთო

წარმოდგენა. საყოველთაოდ ცნობილია, რომ თავიდან მოხდა რეაქტორის არაკონტროლირებადი გაქანება, რომლის შედეგად დაინგრა რამოდენიმე სითბოს გამომყოფი ელემენტი, ხოლო შემდგომ, ამით გამოწვეულ იქნა ტექნოლოგიური არხების ჰერმეტიულობის დარღვევა, რომელშიც ეს სითბოს გამომყოფი ელემენტი_ები იმყოფებოდნენ. დაზიანებული არხების ორთქლი შევიდა არხთაშორის რეაქტორულ არეში. ამის შედეგად იქ სწრაფად გაიზარდა წნევა, რამაც გამოიწვია რეაქტორის გამორთვა და მისი ზედა ფენის აქტივობა, მათ შორის რომლებიც გადის ყველა ტექნოლოგიურ არხში. ამან წმინდა მექანიკურად გამოიწვია არხების მასობრივი ნგრევა, აქტიური ზონის მთელი მოცულობის გადახურება და ორთქლის გარეთ გამოვარდნა - ეს იყო პირველი აფეთქება (ორთქლით).მიდინარე პროცესის ჟონვის გამო, მეორე აფეთქებით გამოწვეულ რეაქტორის მთლიანად დანგრევაზე არ არსებობს რეგისტრირებული მონაცემები და შესაძლებლობები, არსებობს, მხოლოდ ჰიპოთეზები. ერთ-ერთი მათგანის მიხედვით, ეს იყო ქიმიური ნივთიერებების აფეთქება. ამაში იგულისხმება წყალბადის აფეთქება, რაც გამოწვეულ იქნა რეაქტორში არსებული ცირკონიუმის რეაქციით მიღებული მაღალი ტემპერატურით და სხვა პროცესების გამო. სხვა ჰიპოთეზით, ეს იყო ატომური აფეთქება, რაც არის წყლის მიუწოდებლობის გამო რეაქტორის წამიერი ნეიტრონით გაქანების შედეგად მიღებული სითბური აფეთქება. ორთქლის დიდი დადებითი კოეფიციენტი ავარიის გამომწვევ ამ სავარაუდო მიზეზს ქმნის უფრო რეალურად. ბოლოს, არსებობს ვერსია, რომ მეორე აფეთქება არის პირველი აფეთქება, რაც ნიშნავს პირველის გაგრძელებას. ამ ვერსიით, ყველაფრის დანგრევა გამოიწვია ორთქლმა, რომელმაც შახტიდან გამოაფრქვია საწვავისა და გრაფიტის დიდი რაოდენობა. ხოლო პიროტექნიკური ეფექტები,ფეიერვერკის სახით გამოფრენილი ცეცხლი და აღმოდებული ფრაგმენტები,რომელსაც უყურებდნენ თვითმხილველები, გამოიწვია ცირკონიუმის რეაქციამ და სხვა ქიმიურმა ეგზოთერმიულმა რეაქციებმა

ავარიის მიზეზები:

არსებობს ჩერნობილის ავარიის მიზეზის ორი ახსნა, რომლებიც შესაძლოა დასახელდეს ოფიციალურ ვერსიებად, ასევე არსებობს რამოდენიმე ალტერნატიული, სხვადასხვა დონის დამაჯერებელი ვერსიები.

პირველ რიგში ავარიის მიზეზად დასახელეს პერსონალი. ასეთი პოზიცია დაიკავა კატასტროფების გამომწვევი მიზეზების გამოძიებისათვის სსრკ-ში ფორმირებულმა სახელმწიფო კომისიამ, სასამართლომ და ასევე სსრკ სახელმწიფო უშიშროების კომიტეტმა. ატომური ენერჯის საერთაშორისო სააგენტო 1986 წლის ანგარიშში ასევე მთლიანად უჭერდა მხარს ამ ვერსიას. რუსული მასიური ინფორმაციის საშუალების და საბჭოთა პუბლიკაციების ძირითადი ნაწილი დამყარებულია ამ ვერსიაზე. ამ ინფორმაციაზევეა დამყარებული სხვადასხვა მხატვრული და დოკუმენტური ფილმები და

წიგნები, მათ შორის არის გიორგი მედვედევის ცნობილი წიგნი “ჩერნობილის რვეული” ამ ვერსიით, პერსონალის მიერ ჩერნობილის ატომური ელექტროსადგურის ეკსპლუატაციის წესების უბეში დარღვევაზე გამოტანილია დასკვნა:

- * რეაქტორის მდგომარეობის მიუხედავად, ესპერიმენტის ნებისმიერ ფასად ჩატარება;
- * გასწორებული ტექნიკური დაცვის მუშაობიდან ამორთვა, რომელიც უბრალოდ გააჩერებდნენ რეაქტორს მანამ, სანამ ის აღმოჩნდებოდა საშიშ რეჟიმში;
- * ჩერნობილის ატომური ელექტროსადგურის მმართველების მიერ ავარიის მასშტაბის დამალვა რამოდენიმე დღით.

თუმცა ბოლო წლებში ავარიის მიზეზების ამხსნელი ვერსიები ახლიდან განიხილა სხვადასხვა ორგანიზაციების მიერ, მათ შორის იყო ატომური ენერჯის საერთაშორისო სააგენტო. ატომური უსაფრთხოების კომიტეტის (INSAG) კონსულტანტებმა 1993 წელს გამოაქვეყნეს ახალი ანგარიში, რომელიც მეტ ყურადღებას უთმობდა რეაქტორის კონსტრუქციის სერიოზულ პრობლემებს. ამ ანგარიშებში ბევრი დასკვნა, გაკეთებული 1986 წელს, შეფასებულ იქნა როგორც ცრუ ინფორმაცია.

თანამედროვე ანგარიშებში, ავარიის მიზეზები შემდეგია:

- * რეაქტორი იყო არასწორად პროექტირებული და საშიში;
- * პერსონალი არ იყო საფრთხის შესახებ ინფორმირებული;
- * პერსონალმა დაუშვა რამოდენიმე შეცდომა და დაარღვია არსებული ინსტრუქციები ფაქტიურად რეაქტორის მუშაობისას გამოწვეული საფრთხის ინფორმაციის არ ქონის გამო.
- * დაცვის მექანიზმის გამორთვა, ან არ იმოქმედებდა ავარიის განვითარებაზე, ან არ შეეწინააღმდეგებოდა დოკუმენტების ნორმატივებს.

რეაქტორის ნაკლი:

რეაქტორს ჰქონდა რამოდენიმე ნაკლი, რომელშიც სპეციალისტების აზრით გახდნენ ავარიის მთავარი გამომწვევი მიზეზები. ასევე ითვლება, რომ გენერატორის გაქანების ესპერიმენტისათვის არასაკმარისმა მომზადებამ და ოპერატორების შეცდომებმა, გამოიწვიეს პირობები, რომლებშიც ამ რამოდენიმე ნაკლმა თავი იჩინა უმაღლესი ხარისხით. ნაწილობრივ აღინიშნება, რომ პროგრამა არ იყო, საჭირო მეთოდით დამტკიცებული და მასში დიდი ყურადღება არ ექცეოდა ატომური უსაფრთხოების საკითხებს.

9.დასკვნა

ბირთული ენერგეტიკა შედარებით ახალი დარგია.სწორედ ბირთულ ენერგეტიკაა მიმოხილული მოცემულ თემაში.წარმოების არც ერთი სფეროს განვითარების მომხრეებსა და მოწინააღმდეგეებს შორის არ არსებობს შეხედულებათა ისეთი მკვეთრი სხვაობა,როგორც ამ შემთხვევაშია.ერთის მხრივ ისახება ენერგეტიკის მუდმივი კრიზისისაგან რეალური გამოსავალი,მეორეს მხრივ სახეზეა კაცობრიობის ისტორიაში ყველაზე გრანდიოზული ჩერნობილის კატასტროფა.ბირთული ენერჯის დადებითი მხარე მისი შეუზღუდავი პოტენციალია,პრაქტიკამ დაამტკიცა რომ ატომური ენერგეტიკა საკმაოდ ეკონომიურია დ ბევრ ქვეყანაში ენერჯის ძირითადი წყაროა.

ატომური ენერგეტიკის მეორე მწვავე ეკოლოგიური პრობლემა ბირთვული სათბობის ნარჩენების უტილიზაცია და დამარხვაა,რაზეც უფრო ვრცლად უკვე ვისაუბრეთ.

ატომური ენერგეტიკის განვითარების პერსპექტივები ჯერ კიდევ საკამათოა ,არ არის გამორიცხულ, რომ არც თუ შორეულ მომავალში ატომური სადგურის მშენებლობის საკითხი დადგეს საქართველოშიც. პრინციპულად ეს დასაშვებია ,მაგრამ გასათვალისწინებელია რეგიონის სეისმომედგრობა და ჯერ კიდევ აუთვისებელი ჰიდროენერგორესურსები.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Физическая энциклопедия. М 1988г
2. Куклин физическая экология. М 2004г
3. ნ.დოლიძე -რადიაციის ფიზიკური და ტექნიკური საფუძვლები.2011წ
4. გ.ქაჯაია-გარემოს დაცვის ეკოლოგიური პრინციპები.2008წ
5. ზ.კვინიკაძე-ეკოლოგიის მოკლე კურსი.2010წ
6. კ.გელაშვილი-რადიაციული ჰიგიენა.1983