

**Petya Panayotova, Vanya Tsvetkova and Mila Bogdanova from Bulgaria worked on this contribution. They didn't find any textbooks, where the Chernobyl issue is treated. Vanya presents a Physics and Astronomy school book for 7<sup>th</sup> grade, a Chemistry and Environment Protection book for 9<sup>th</sup> grade and a Physics and Astronomy book for 10<sup>th</sup> grade. Mila also worked on this last book and contributed some additional pictures**

## **Petya Panayotova**

The topic isn't covered in the Bulgarian textbooks at all. There aren't any descriptions of the accidents, the consequences or something else in connection with Chernobyl. The accident is mentioned in some Physics or Chemistry textbooks in the lessons about ionization and radiation but there are two – three words indeed and it's written like the students already know what the case is. In fact, I don't think there are many people who don't know the main point of what's happened although there is no information in the textbooks. The probable reason is that as Bulgaria is operating with nuclear power plant, the topic is often mentioned in the media. That doesn't mean there is no need of studying about the accident because many of the important points and the details aren't well – known.

In my opinion the probable reason for the absence of the topic in the textbooks is the fact that they were written before 1989 and the fall of the Berlin Wall. Bulgaria was depending on the Soviet Union and we've already seen what a misinformation was about the topic of Chernobyl. So the censorship was really strong at that time. Although the textbooks are republished sooner, they aren't "rewritten" and the content is the same.

- Schnitt

Vanya Tsvetkova:

Bulgaria-Official teaching plans concerning Chernobyl  
Physics and Astronomy for 7<sup>th</sup> grade



41 УРОК ИЗПОЛЗВАНЕ НА ЯДРЕНАТА ЕНЕРГИЯ

В атомните ядра е скрита огромна енергия. Едно от доказателствата за това е радиоактивността. Радиоактивните вещества отнасят със себе си само малка част от ядрената енергия, макар тази малка част е достатъчна да причини значителни промени в средата, в която се разпространяват (бионаука, разрастване на живи клетки и др.).

По какви други начини освен чрез радиоактивност се отделя енергия от ядрата? Как тя може да бъде използвана за нуждите на хората?

Стабилност на атомните ядра

Между едновременно заредените протони в ядрото действат електрични сили на отблъскване. Въпреки това ядрата са стабилни и не се разпадат. Протоните и неутроните се задържат в малкия обем на ядрото от т. нар. **ядрени сили**. Ядрените сили са силни на привличане и стократно превъзпават електричните сили на отблъскване между протоните.

Заради това на връзката между протоните и неутроните в ядрените ядра обаче не е силна. Когато в едно ядро има много голям брой протони и неутрони, те са сравнително слабо свързани. Затова ядрата на тежките елементи са нестабилни. Те могат самопроизволно да се разпадат, като изпускат радиоактивни лъчения, или да се делат на по-леки ядра под въздействието на някаква частица.

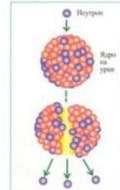
Делене на ядрата на урана

Когато ядро на уран погълне неутрон, то се разпада на два по-леки ядра и се освобождават два до три нови неутрона (фиг. 1). Този процес е съпроводен с отделянето на огромна енергия.

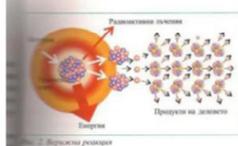
Одделените неутрони могат да иррадират делени на други уранови ядра. Ако количеството уранови ядра е малко, одделените неутрони излизат навън и процесът се прекратява. Ако обаче количеството уран надхвърля определена стойност (критична маса), неутроните не излизат навън, а срещат и разпадат нови ядра, при което се отделят нови неутрони. Те на свой ред разпадат други ядра и т. н. Този процес се нарича **верижна реакция** (фиг. 2).

При верижната реакция броят на освободените делени нараства главоумно. Бързото освобождаване на огромно количество енергия, носена от разлитаните се частици, може да доведе до експлозия, наречена **ядрен взрив** (фиг. 3).

Възможността за получаване на ядрен взрив е използвана за създаване на т. нар. **атомни бомби**. Тя има огромно по мащабно разрушително действие и причинява дълготрайно замърсяване



Фиг. 1. Делене на ядро на уран



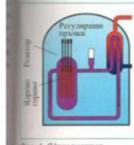
Фиг. 2. Ядрен реактор

Фиг. 3. Ядрен взрив

на околната среда с опасни радиоактивни вещества. Ето защо все повече държави в света защитават идеята за забрана на ядреното оръжие.

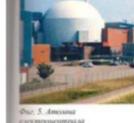
Използване на ядрената енергия за мирни цели

Освобождаването на ядрената енергия при деленето на урана може да стане и постепенно, контролируемо. Това се осъществява в специални устройства, наречени **ядрени реактори** (фиг. 4). Във вътрешността на реактора се поставят касети с ядрено гориво (уран-235). Създават се условия за протичане на верижна реакция. Когато е необходимо да се намали скоростта на реакцията или тя да спре, в касетите се спускат специални регулиращи пръчки, които поглъщат част от неутроните.



Фиг. 4. Ядрен реактор

Отдадената в реактора енергия се използва за загряване на водна пара, която върти парни турбини. Така в атомните електроцентрали (АЕЦ) (фиг. 5) ядрената енергия се превръща в електроенергия.



Фиг. 5. Атомна електроцентрала

Днес една шеста от консумираната в света енергия се произвежда в атомни електроцентрали.

Използването на ядрената енергия обаче може да породи сериозни екологични проблеми. При спонтанна авария в атомна централа (както се случи в Чернобил през 1986 г.), атмосферата могат да бъдат испускани значителни количества радиоактивни вещества. Те погледат в почвата, водата и въздуха и причиняват радиоактивно замърсяване на цялата околна среда. Транспортирането на ядреното гориво също изисква специални мерки за безопасност. Труден за решаване е и проблемът с безопасното съхранение на радиоактивните отпадъци и отработеното гориво, чието радиоактивност се запазва много години. И накрая – материалите, които се използват като ядрено гориво, съществено не са в неограничени количества на Земята. Те подлежат на изчерпване както нефта и въглищата.

Затова учените търсят други възможности за получаване на екологично чиста и светла енергия.



Фиг. 6. Ядрен синтез

Ядрен синтез

Ядреният синтез е процес, обратен на деленето (фиг. 6). Едно от два леки ядра (например ядро на водорода – дейтерий и тритий) се сливат в по-тежко ядро. При това се отделя много повече енергия, отколкото при деленето на урана.

На Земята (в океаните) има много голямо количество водород. Освен това при тази реакция няма радиоактивни отпадъци, които е голямо предимство пред деленето на урана.

За да се осъществи обаче ядрен синтез, е необходимо деленето да бъдат при температура от порядъка на десетки милиона градуса. Създаването на такива условия е изключително трудно.

Ето защо, въпреки усилията на много учени, все още не е осъществено контролируемо влъчване на значителни количества енергия по този начин.

Ядреният синтез е причина звездите да светят. Огромната температура е създадена в ядрата им под въздействието на условията за протичането му.

Знаете ли, че...

След постигането на ураново ядрен синтез през 2007 г. започна работата на международен проект, наречен ИТЕР (Международният термонуклеарен експериментален реактор). Участици станаха от Европейския съюз, Русия, Япония, САЩ, Индия, Китай и Южна Корея. Целта на проекта е в град Кадарак, Илхам Франция, да се създаде ядрен реактор, в който енергията на ядрения синтез да се превърне в електрическа енергия.

В този процес, както и в Европейския съюз, участват

Какво научих

В атомните ядра е скрита огромна енергия. Съществува два основни начина за получаване на ядрен енергия – чрез делене (разпад) на тежки ядра и чрез сливане (синтез) на леки ядра.

В ядрените реактори се получава енергия от деленето на урана, която се използва за мирни цели.

ВЪПРОСИ И ЗАДАЧИ

1. Как може да се получи ядрен енергия?
2. Защо реакцията на делене на урана се нарича верижна реакция?
3. Какво ще стане, ако не се контролира скоростта на верижната реакция?
4. Каква е приликата и разликата между атомната бомба и ядрен реактор?
5. Прочетете какви мерки се вземат в АЕЦ Колдууд за защита на околната среда от радиоактивно замърсяване.

## **Stability of the atomic nuclei**

There is enormous energy in the bonds that hold atoms together. Nuclear energy can be used to make electricity. But first the energy must be released. It can be released from atoms in two ways: nuclear fusion and nuclear fission. In nuclear fission atoms are split apart to form smaller atoms, releasing energy.

### **Nuclear fission of Uranium (Pic.1, Page 112)**

During nuclear fission, a small particle called a neutron hits the uranium atom and splits it, releasing a great amount of energy as heat and radiation. More neutrons are also released. A chain reaction (Pic.2, Page 113) refers to a process in which neutrons released in fission produce an additional fission in at least one further nucleus. This nucleus in turn produces neutrons, and the process repeats. When this process is uncontrolled, it could cause a nuclear explosion (Pic.3, Page 113). The possibility of creating a nuclear explosion is used for the make of the atomic bomb which has a vast destruction effect. That's why nuclear weapons are prohibited in every country.

### **Use of nuclear energy for peaceful purposes**

The release of nuclear energy during fission could be controlled in reactors (Pic.4, Page 113) in Nuclear Power Plants (Pic.5, Page 113). Nuclear plants use a certain kind of uranium, referred to as U-235. This kind of uranium is used as fuel because its atoms are easily split apart.

The use of nuclear energy could cause serious ecological problems. In the event of a breakdown (as it happened in Chernobyl in 1986) a large amount of radioactive substances is released in the atmosphere and causes contamination to the soil, air, water and the entire environment.

The transportation of the reactor fuel requires a lot of safety precautions as well. A very serious problem is the storage of the nuclear waste as its radioactivity remains for a lot of years. Moreover, the materials used as fuel are found in nature but are not in unlimited amounts. They will run out as oil and coal. That's why scientists are looking for a way to produce ecologically clean and cheap energy.

### **Nuclear fusion**

Fusion is a process opposite to the fission. Fusion is a nuclear process in which two light nuclei combine to form a single heavier nucleus (e.g. isotopes of Hydrogen – Deuterium and Tritium Pic.6, Page 114). The released energy during this process is much more than in the nuclear fission of the Uranium and there's no radioactive waste to deal with.

Fusion is a subject of ongoing research, but it is not yet clear that it will ever be a commercially viable technology for electricity generation. Large-scale thermonuclear fusion processes, involving many nuclei fusing at once, must occur in matter at very high densities and temperatures. It's very hard to create the conditions for this yet.

Nuclear fusion naturally occurs in all active stars due to gravitational forces.



**НА УЧЕНИКА**  
**В ПОМОЩ**

**ЧОВЕКЪТ И ИОНИЗИРАЩИТЕ ЛЪЧЕНИЯ**

**Фиг. 1-3а.** Използване на изкуствено море за работа в "дърещи камери"

**Фиг. 1-3б.** Използване на радиотвърдостта за диагностика

**Фиг. 1-3в.** Използване на радиотвърдостта за лечение

20

Като вече знаете, ионизиращите лъчения са поток от  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -лъчи.  $\alpha$ -лъчите са хелиеви ядра (мърчат ги и  $\alpha$ -частици),  $\beta$ -лъчите – поток от електрони, а  $\gamma$ -лъчите са подобни на лъчите на обикновената светлина, но с много малка дължина на вълната.

$\alpha$ -частиците са сравнително тежки. Те проникват в слой от въздух до около 10 см. Още по-малка е прониквателната им способност в твърди вещества, във вода и в човешкото тяло.  $\alpha$ -частиците обаче имат голяма ионизираща способност. Ето защо е изключително опасно, ако в човешкото тяло попадне радиоактивно вещество.

$\beta$ -лъчиците имат по-голяма прониквателна, но по-малка ионизираща способност от  $\alpha$ -частиците. Движат се със скорост близна до тази на светлината. В зависимост от енергията си  $\beta$ -лъчите проникват в слоеве от въздух до няколко метра.

$\gamma$ -лъчиците имат висока прониквателна способност – във въздуха до 10 м. Ионизиращата им способност е по-малка от тази на  $\alpha$ - и на  $\beta$ -лъчите.

Рентгеновите лъчи също имат ионизираща способност.

**Източници на ионизиращи лъчения.** Природните радиоактивни вещества, намиращи се в почвата, във водата, във въздуха, в хранителните продукти и в живите организми, са естествени източници на  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -лъчи. Друг естествен източник на ионизиращи лъчения е космическото лъчение заедно с лъчението от естествените радиоактивни изотопи създават т. нар. **природен радиационен фон**.

Към него се прибавят и лъчението от стопилките изкуствени радиоактивни изотопи, от уранодобива и от преработката на уран, от атомните електроцентрали и пр.

**Приложение на ионизиращите лъчения.** Радиоактивните лъчения се прилагат в различни сфери на човешката дейност. В медицината те

**Фиг. 1-4.** Атомни дърби

**Фиг. 1-5.** Диетичните продукти, обработени с ионизиращи лъчи, се запазват за по-дълго време

21

се използват за медицинска диагностика, за лечение на ракови заболявания и др. (фиг. 1-3 б, в). Изотопите на урана и на плутония се използват за производство на оръжия (атомни бомби) (фиг. 1-4), на енергия и др. В селското стопанство чрез радиоактивно облъчване се увеличава срокът на съхранение на редица селскостопански продукти като картофи, лук и др. (фиг. 1-5). Радиоактивните лъчения имат важно приложение и в научните изследвания, и в химическата промишленост, и в машиностроенето, и в авиационната, и много други.

**Атомни електроцентрали.** Атомните електроцентрали (АЕЦ) са потенциален източник на облъчване, около които се водят най-разгорещени спорове. АЕЦ са само част от т. нар. ядрен цикъл, който започва от добива и обогатяването на урановата руда. След това при всеки етап от производството на ядрено гориво съществува опасност в околната среда да попадат радиоактивни вещества.

Авария от типа на тази в Три Майл Айланд (в САЩ) и особено в Чернобил (Украйна) показват реалната опасност от облъчване на хиляди хора.

Голям проблем са радиоактивните отпадъци от атомните централи. Отработеното ядрено гориво се оставя няколко години под вода, за да се намали съдържанието на бързо разпадащите се изотопи. След това те се преработват за отдалечено на неопасни урани. Отпадъците се смесват със сода и кварцови пясък и се остъпват, след което се погребват.

Много съществено е отпадъците от АЕЦ да се погребват в геологически стабилни райони – на сушата, в стари мини, галерии или в специални шахти. Добре опаковани, радиоактивните отпадъци се пускат и на океанското дъно. Предполага се, че погребените радиоактивни отпадъци напредстват опасност като източник на облъчване на населението.

**Ионизиращите лъчения са опасни за човека.** Освен ионизацията те предизвикват и редица други сложни промени, които водят до сериозни увреждания. Разрушават се тъканите и това води до различни заболявания. Много чувствителни са костният мозък (болестта левкемия) и половите клетки – особено на жените. Облъчването често рандаят уродливо поколение. При големи дози на облъчване се появява т. нар. **лъчева болест**, водеща до смърт.

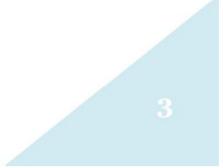
Индивидуалните поражения при радиоактивните облъчвания варираат извънредно силно при различните хора.

Понякога облъчването от създадени по изкуствен начин радиоактивни изотопи може да бъде изгледа пъти по-интензивно от естественото облъчване. Почти невъзможно е то да се контролира. Затова опитите с атомни бомби, макар сега и рядко, се извършват под земята.

Но са безопасни и слабите лъчения. Всяка радиоактивна частица може да предизвика клетъчна мутация, водеща до образуване на рак. Вероятността за това расте с увеличаване на погълнатата доза.

**Защита на организма от вредните лъчения.** При работа с радиоактивни вещества защитата на организма от вредните лъчения се осигурява чрез използването на защитни екрани, направени от вещества, които ги поглъщат: болените стени, оловно стъкло, дебел слой вода и др.). При големи активности се работи с манипулатори (изкуствени ръце – роботи (фиг. 1-3 а)), зад защитни стени и в специални обложки. Съществува законна забрана за работа в среда на ионизиращи лъчения за жени и за лица под 18 години.

Vanya Tsvetkova



## The human and the ionizing radiation

As you already know, the major types of radiation emitted during radioactive decay are alpha particles, beta particles, and gamma rays.

Alpha particles are relatively slow and heavy. They have a low penetrating power - you can stop them with just a sheet of paper. Because they have a large charge, alpha particles ionize other atoms strongly. The health effects of alpha particles depend heavily upon how exposure takes place. External exposure (external to the body) is of far less concern than internal exposure, because alpha particles lack the energy to penetrate the outer dead layer of skin. Internally (inhaled, ingested, absorbed into the blood stream) alpha particle can be very harmful.

Beta particles are fast, and light. They have a medium penetrating power - they are stopped by a sheet of aluminum or plastics. Beta particles ionize atoms that they pass, but not as strongly as alpha particles do.

Gamma rays have a high penetrating power - it takes a thick sheet of metal such as lead, or concrete to reduce them significantly. Gamma rays do not directly ionize other atoms, although they may cause atoms to emit other particles which will then cause ionization.

X-rays also have ionizing ability.

### Sources of ionizing radiation

Humans are primarily exposed to natural radiation from the sun, cosmic rays, and naturally occurring radioactive elements found in the earth's crust. Cosmic rays from space include energetic protons, electrons, gamma rays, and x-rays. Radon gas, which emanates from the ground, comes from the decay of naturally-occurring radium and is a major source of radiation exposure. The primary radioactive elements found in the Earth's crust are uranium, thorium, and potassium, and their radioactive decay products. These elements emit alpha particles, beta particles, and gamma rays.

### Ionizing radiation application

Medical – for diagnosis; cancer treatment (Pic I-3); Weapon – isotopes of uranium and plutonium are used for weapon production (atomic bombs) (Picture I-4); Nuclear energy production; Agriculture – to preserve foods (Pic I-5). Ionizing radiation has a very important application in scientific research, chemical industry, engineering, archeology and others.

### Nuclear Power Plants

NPPs are potential source of irradiation which is the reason for the ongoing fierce debates. NPPs are just a part of the cycle, which starts with the Uranium mining. Our environment is in jeopardy in every step of nuclear fuel production.

Accidents such as in Three Mile Island (U.S.) and especially in Chernobyl (Ukraine) show the threat of irradiating thousands of people.

A very big problem is the spent nuclear fuel from the NPPs. The spent nuclear fuel is left for a few years under water to lower the content of the rapidly decaying isotopes. After that they are processed to take out the unused Uranium. The waste is mixed with sodium carbonate and quartz sand (silica) and then buried.

It is very important the nuclear waste to be buried in geologically stable areas (in old mines or special storages). Well-packed they are also dropped to the ocean floor. It is presumed that the buried radioactive waste is not a source of irradiation to the people.

Sometimes manmade radiation could be thousands of times more intensive than the natural. It is almost impossible to be controlled. This is why the experiments with atomic bombs, even though rarely, are executed under the ground.

### **Protection**

When working with radioactive substances, protective screens should be assured. Harmful radiation could be absorbed by substances such as lead, thick glass, thick layer of water, and others. In some cases robot hands (Pic 1-3), firewalls and wearing protective clothing are required. There's a legal prohibition on working in an environment of ionizing radiation for women and people less than 18 years of age.

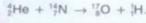
### **Physics and Astronomy for 10<sup>th</sup> grade**



## 24 ДЕЛЕНЕ НА УРАНА. ЯДРЕНИ РЕАКТОРИ

### Ядрени реакции

При  $\alpha$ - и  $\beta$ -разпадането става спонтанно превръщане на един химичен елемент в друг. Съставът на ядрата обаче може да се измени и по друг начин: при удар на атомно ядро с протон, неутрон,  $\alpha$ -частица или друго ядро. Взаимодействия, които предизвикват изменения в състава на атомните ядра, се наричат **ядрени реакции**. Първата ядрена реакция в лабораторни условия е осъществена от Ръдърфорд през 1919 година. Той насочва снайп от  $\alpha$ -частици към газова среда от азот и наблюдава отделянето на протони (ядро на водорода). Ръдърфорд стига до извода, че за да се изпълни законът за запазване на електричния заряд, ядрата на азота трябва да се превършат в ядра на кислорода чрез реакцията (фиг. 24-1)



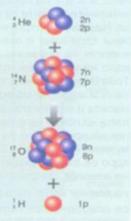
Обърнете внимание, че при ядрената реакция, както при радиоактивното разпадане, също се запазва електричният заряд и броят на нуклоните (масовото число). В случая електричният заряд се определя само от броя на протоните: той е  $Z = 2 + 7 = 9$  преди реакцията и  $Z = 8 + 1 = 9$  след реакцията. Масовото число е  $A = 4 + 14 = 18$  преди реакцията и остава същото ( $A = 17 + 1 = 18$ ) след нея. Тъй като при всяка ядрена реакция се запазват електричният заряд и масовото число, тези закономерности се използват за определяне вида на получените ядра.

### Делене на ядрата на урана

Ядрени реакции, при които тежки ядра се разцепват на две по-леки ядра и се отделя енергия, се наричат **реакции на делене**. Деленето на ядрата на урана е открито в края на 1938 година от германските физици Ото Хан и Фриц Штрасман. Чрез химичен анализ те установяват, че при облъчване на урана ( $Z = 92$ ) с неутрони се образуват елементи от средата на периодичната система. Това откритие, направено в Берлин в навечерието на Втората световна война, поставя началото на ядрената ера в историята на човечеството. По време на войната в САЩ се събира цяла глеяда блестящи физици, повечето емигранти от Европа, които усилено разработват ядрените технологии. През 1942 година под ръководството на италианския физик Енрико Ферми в



Енрико Ферми (1901-1954)



Фиг. 24-1. Ядрена реакция: ядрото на азота поглъща  $\alpha$ -частица (малкото ядро) и се превръща в ядро на кислорода, при което се отделят един протон (ядро на водорода).

83

Чикаго е пуснат в действие първият ядрен реактор. На 16 юли 1945 година на полигона в щата Ню Мексико, САЩ, е взривена атомна бомба. Следват трагедията при атомните бомбардировки на японските градове Хиросима и Нагасаки, надгравеарата в ядреното въоръжаване и мирното използване на атомната енергия в наши дни.

Деленето на урана се предизвиква от неутрони с малка кинетична енергия (по-малка от 1 eV). Такива неутрони се наричат бавни или топлини, защото кинетичната им енергия е сравнима с енергията на хаотичното топлинно движение на молекулите на газовете. Ядрото поглъща един неутрон и преминава във възбудено състояние (фиг. 24-2). В това състояние то е крайно нестабилно и след много кратко време (около  $10^{-18}$  s) се разцепва на две приблизително еднакви части (продукти на деленето), при което се отделят два или три неутрона. Деленето на изотопа  ${}^{235}\text{U}$  се записва така:



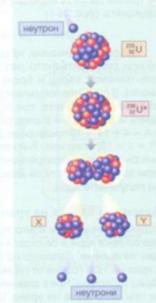
където  ${}^1_0\text{n}$  е означен неутронът, предизвикващ деленето, а X и Y са продуктите на деленето – изотопи на химични елементи от средата на Менделеевата таблица (барий, криптон, ксенон, стронций и др.). Тези по-леки ядра имат с около 1 MeV по-голяма специфична енергия на връзката в сравнение с тежкото изходно ядро на урана (вж. графиката от фиг. 21-2 на стр. 73). Това означава, че в тях нуклоните са по-здраво свързани и имат по-малка маса на покой. Следователно масата и енергията на покой намаляват: част от енергията на покой на урана се превръща в кинетична енергия на продуктите на деленето. (Припомнете си формулата на Айнщайн  $E_0 = mc^2$ .) При деленето на едно ядро се отделя около 200 MeV енергия, което е огромна енергия. За сравнение ще посочим, че при делене на всички ядра, съдържащи се в 1 kg от изотопа  ${}^{235}\text{U}$ , се освобождава толкова енергия, колкото при изгарянето на 3 000 000 kg въглища!

### Ядрени реактори

Деленето на урана се предизвиква от един неутрон, а поражда средно 2,5 неутрона (в зависимост от вида на ядрата продукти X и Y в някои случаи се отделят 2 неутрона, а в други – 3 неутрона). Ако уранът е само малко късче, тези неутрони излизат от повърхността



Взрив на атомна бомба



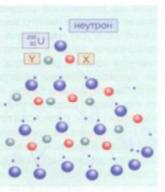
Фиг. 24-2. Делене на урана. След като поглъдне един неутрон, ядрото  ${}^{235}\text{U}$  се превръща в нестабилно ядро  ${}^{236}\text{U}^*$ . В него възникват трептения и деформации и то се разцепва на две части, при което се отделят два или три неутрона.

84

му и процесът се прекратява. Когато масата на урана обаче надхвърля определена стойност, наречена **критична маса**, неутроните не излизат навън, а предизвикват делене на нови ядра, при което пак се отделят неутрони и т.н. – протича **верижна реакция** (фиг. 24-3). Ако не се контролира, верижната реакция на делене за кратко време обхваща много голям брой ядра и води до ядрен взрив, като се отделя огромна енергия. Подобни реакции протичат при взривяване на атомна бомба.

Устройствата, в които се осъществяват управляемите реакции на делене на ядрата, се наричат **ядрени реактори**. Природният уран съдържа само около 0,7% от изотопа  ${}^{235}\text{U}$ , а останалите 99,3% са от изотопа  ${}^{238}\text{U}$ , при който ядрена реакция на делене се осъществява много рядко. Вместо да се дели, той поглъща неутрони и се превръща в изотоп на химичния елемент плутоний. Затова реакторите използват за ядрено гориво **обогащен уран**, в който концентрацията на изотопа  ${}^{235}\text{U}$  е няколко процента. В реакторите от типа ВВЕР, с каквито е снабдена атомната електроцентрала (АЕЦ) в Колзодуй, ядреното гориво е пресован уранов диоксид, поставен в специални цилиндрични касети. Касетите се разполагат в т. нар. **активна зона** на реактора (фиг. 24-4). В около 1/3 от тях се вкарват подвижни регулиращи пръчки, съдържащи химичния елемент бор (B). Борът поглъща част от неутроните и по този начин се контролира скоростта на верижната реакция. Реакторът се охлажда от течна под голямо налягане (около 160 atm) вода, която поглъща отделеното при верижната реакция количество топлина и го извежда извън реактора. След това топлината се използва за производство на електроенергия. Този тип реактори се наричат **водно-водни**, защото водата изпълнява още една функция – забавя неутроните. Неутроните, получени при деленето на урана, имат голяма кинетична енергия (около 2 MeV). Вероятността ядро  ${}^{235}\text{U}$  да захване такъв бърз неутрон е много малка. Колкото по-малка е енергията на неутроните, толкова по-лесно те се захващат от ядрата. Затова неутроните трябва да бъдат забавени преди да предизвикат делене на други ядра. Това става в резултат на ударите в леките ядра на водорода от водните молекули: при ударите неутроните отдават на водорода по-голямата част от енергията си.

Деленето на ядрата на урана е съпроводено с мощно  $\gamma$ -излъчване. Освен това голяма част от продук-



Фиг. 24-3. Вержина реакция на делене на урана.



Фиг. 24-4. Ядрен реактор.

85

тите на делене са радиоактивни. Затова е много важно да се осигури надеждна радиационна защита около активната зона на реактора. Тази защита включва прегради от стомана, вода и бетон, които поглъщат радиоактивните лъчения. При реакторите на АЕЦ-Колзодуй са предвидени три последователни защитни барииери за околната среда от радиоактивните продукти. Въведена е автоматична система за контрол на радиоактивните лъчения, както в самата централа, така и в 110-километровата зона около нея. След аварията в атомната електроцентрала в Чернобил (Украйна) през 1986 година се обръща изключително голямо внимание на безопасността на ядрените реактори.

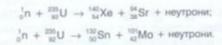
Освен при авария, опасност за околната среда може да възникне при неправилно съхраняване на радиоактивните отпадъци. Ядрените реактори периодично се зареждат със свежо гориво. Вече използваното гориво съдържа голямо количество радиоактивни вещества. То се подлага на преработка, а получените радиоактивни отпадъци се „погребват“ в специално построени за тази цел хранилища. Вземат се мерки, за да се изключи възможността радиоактивни отпадъци да попаднат в почвата и водата.



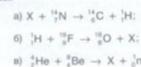
Фиг. 24-5. Пети блок на АЕЦ – Колзодуй с реактор тип ВВЕР-1000. Топлената мощност, която се отделя в реактора при изгарянето на ядреното гориво, е 3000 MW. Една трета от нея (1000 MW) се преобразува от турбината на енергоблока в електрична мощност.

### Въпроси и задачи

1. Какви функции изпълнява водата във водно-водните ядрени реактори?
2. Дискутирайте предимствата и недостатъците на ядрените реактори от гледна точка на безопасността, опазване на околната среда, енергийни ресурси. Направете сравнение между атомните електроцентрали и ТЕЦ.
3. Определете броя на неутроните, които се отделят при следните ядрени реакции на делене:
 
$${}^1_0\text{n} + {}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{141}_{54}\text{Ba} + {}^{92}_{38}\text{Kr} + \text{неутрони};$$



4. С помощта на законите за запазване на електричния заряд и масовото число определете означеният с X ядро или частици в следните реакции:



86

## Uranium fission. Nuclear reactors

### Nuclear reactions

In the first observed nuclear reaction in 1919, Rutherford became the first person to transmute one element into another when he converted nitrogen into oxygen through a certain nuclear reaction.

### Nuclear fission of Uranium

Two German scientists, Otto Hahn and Fritz Strassman, demonstrated nuclear fission in 1938. They found they could split the nucleus of a uranium atom by bombarding it with neutrons, the uncharged part of atoms. As the uranium nucleus split, some of its mass was converted to energy. This discovery was made on the eve of World War II in Berlin, and launches the nuclear age in the history of mankind.

In the U.S. during the war, great physicists (mostly emigrants from Europe) actively developed nuclear technology. In 1942, Italian physicist Enrico Fermi supervised the design and assembly of an “atomic pile” a code word for an assembly that in peacetime would be known as a “nuclear reactor.” On 16 July 1945, in New Mexico, U.S., was conducted the first nuclear weapon test of an atomic bomb (code name Trinity). Then the tragedy of Nagasaki and Hiroshima followed.

### Nuclear reactors

In this part is described how the VVER type reactors (the ones we have in Kozloduy NPP) work.

The nuclear fission of uranium releases powerful gamma radiation. Moreover, most of the fission products are radioactive. This is why it is very important to have very reliable radiation protection around the reactor core. This includes obstruction of steel, concrete and water which absorb the radiation. The reactors of Kozloduy NPP have three successive protections. There's also automated control system in the NPP and in 110km radius around it. After the breakdown of Chernobyl (Ukraine) in 1986, safety measures have raised in every NPP.

Our environment is endangered not only in the event of a breakdown, but also when the nuclear waste is not being stored the right way. The nuclear reactors are loaded with fresh fuel periodically. The spent fuel contains highly radioactive materials. They are being processed and the waste is buried in special repositories. Measures are taken to eradicate possible contamination of soil and water.

***Physics and Astronomy for 7<sup>th</sup> grade*** is a mandatory school book. Secondary education starts from 8th grade. ***Chemistry and Environment Protection 9th grade*** and ***Physics and Astronomy 10<sup>th</sup> grade*** school books are mandatory for Secondary education in Bulgaria.

Mila Bogdanova

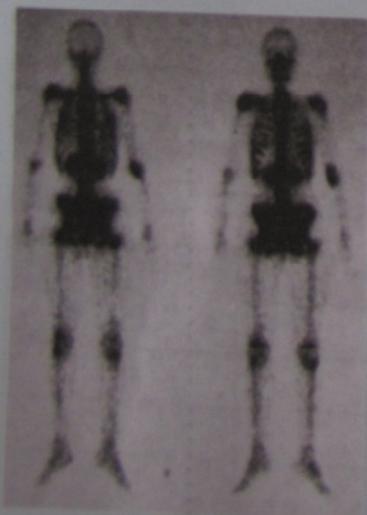




Фиг. 1-3а. Използване на изкуствени рибче за работа в „гореща камера“

Фиг. 1-3б. Използване на радиоактивността за диагностика

Фиг. 1-3в. Използване на радиоактивността за лечение



## ЧОВЕКЪТ И ЙОНИЗИРАЩИТЕ ЛЪЧЕНИЯ

Както вече знаете, йонизиращите лъчения са поток от  $\alpha$ -лъчи,  $\beta$ -лъчи,  $\gamma$ -лъчи.  $\alpha$ -лъчите са хелиеви ядра (наричат ги и  $\alpha$ -частици),  $\beta$ -лъчи са поток от електрони, а  $\gamma$ -лъчите са подобни на лъчите на обикновената светлина, но с много малка дължина на вълната.

$\alpha$ -частиците са сравнително тежки. Те проникват в сух въздух до около 10 cm. Още по-малка е прониквателната им способност в твърди вещества, във вода и в човешкото тяло.  $\alpha$ -лъчи обаче имат голяма йонизираща способност. Ето защо е изключително опасно, ако в човешкото тяло попадне радиоактивно вещество.

$\beta$ -лъчите имат по-голяма прониквателна, но по-малка йонизираща способност от  $\alpha$ -частиците. Движат се със скорост близо до тази на светлината. В зависимост от енергията си  $\beta$ -лъчите проникват в слой от въздух до няколко метра.

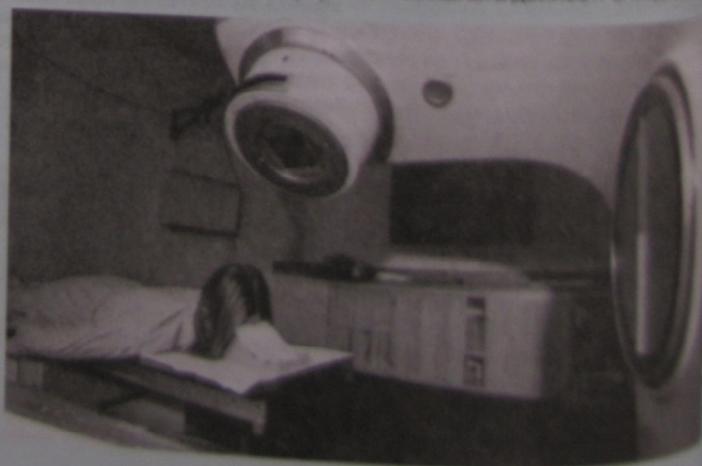
$\gamma$ -лъчите имат висока прониквателна способност – във въздух до 10 m. Йонизиращата им способност е по-малка от тази на  $\alpha$ - и  $\beta$ -лъчите.

Рентгеновите лъчи също имат йонизираща способност.

**Източници на йонизиращи лъчения.** Природните радиоактивни вещества, намиращи се в почвата, във водата, във въздуха, в космичните продукти и в живите организми, са естествени източници на  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -лъчи. Друг естествен източник на йонизиращи лъчения е космосът. Космическото лъчение заедно с лъченията от естествените радиоактивни изотопи създават т. нар. **природен радиационен фон**.

Към него се прибавят и лъченията от стотиците изкуствено радиоактивни изотопи, от уранодобива и от преработването на уран от атомните електроцентрали и пр.

**Приложение на йонизиращите лъчения.** Радиоактивните лъчения се прилагат в различни сфери на човешката дейност. В медицината





Фиг. 1-4. Атомна Върв



Фиг. 1-5. Радиационните продукти, обработени с йодидови зърна, се намират за по-дълго време

се използват за медицинска диагностика, за лекуване на ракови заболявания и др. (фиг. 1-3 б,в). Изотопите на урана и на плутония се използват за производство на оръжие (атомни бомби) (фиг. 1-4), на енергия и др. В селското стопанство чрез радиоактивно облъчване се удължава срокът на съхранение на редица селскостопански продукти като картофи, лук и др. (фиг. 1-5). Радиоактивните лъчения имат важно приложение и в научните изследвания, и в химическата промишленост, и в машиностроенето, и в археологията, и много други.

**Атомни електроцентрали.** Атомните електроцентрали (АЕЦ) са потенциален източник на облъчване, около които се водят най-разгорещени спорове. АЕЦ са само част от т. нар. ядрен цикъл, който започва от добива и обогатяването на урановата руда. След това при всеки етап от производството на ядрено гориво съществува опасност в околната среда да попадат радиоактивни вещества.

Аварии от типа на тези в Три Майл Айланд (в САЩ) и особено в Чернобил (Украйна) показват реалната опасност от облъчване на хиляди хора.

Голям проблем са радиоактивните отпадъци от атомните централи. Отработеното ядрено гориво се оставя няколко години под вода, за да се намали съдържанието на бързо разпадащите се изотопи. След това те се преработват за отделяне на неизползвания уран. Отпадъците се смесват със сода и кварцов пясък и се остъкляват, след което се погребват.

Много съществено е отпадъците от АЕЦ да се погребват в геологически стабилни райони – на сушата, в стари мини, галерии или в специални шахти. Добре опаковани, радиоактивните отпадъци се пускат и на океанското дъно. Предполага се, че погребаните радиоактивни отпадъци не представляват опасност като източник на облъчване на населението.

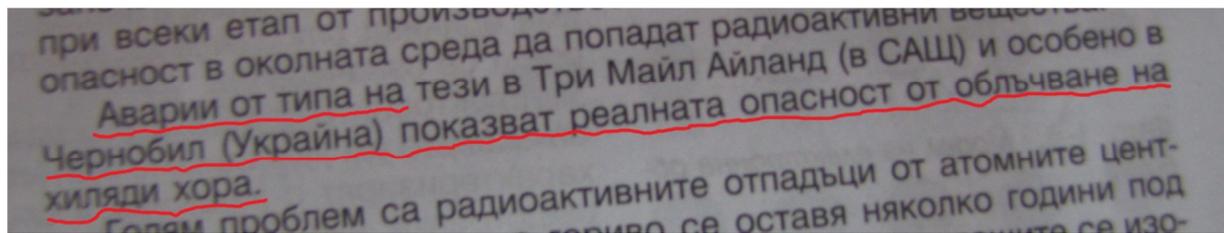
**Ионизиращите лъчения са опасни за човека.** Освен йонизацията те предизвикват и редица други сложни промени, които водят до сериозни увреждания. Разрушават се тъканите и това води до различни заболявания. Много чувствителни са костният мозък (болестта левкемия) и половите клетки – особено на жените. Облъчените често раждат уродливо поколение. При големи дози на облъчване се появява т. нар. лъчева болест, водеща до смърт.

Индивидуалните поражения при радиоактивните облъчвания варират извънредно силно при различните хора.

Понякога облъчването от създадени по изкуствен начин радиоактивни изотопи може да бъде хиляди пъти по-интензивно от естественото облъчване. Почти невъзможно е то да се контролира. Затова олитите с атомни бомби, макар още и рядко, се извършват под земята.

Не са безопасни и слабите лъчения. Всяка радиоактивна частица може да предизвика клетъчна мутация, водеща до образуване на рак. Вероятността за това расте с увеличаване на поглънатата доза.

**Защита на организма от вредните лъчения.** При работа с радиоактивни вещества защитата на организма от вредните лъчения се осигурява чрез използването на защитни екрани, направени от вещества, които ги поглъщат (оловни стени, оловно стъкло, дебел слой вода и др.). При големи активности се работи с манипулатори (изкуствени ръце – роботи (фиг. 1-3 а)), зад защитни стени и в специални облекла. Съществува законова забрана за работа в среда на ионизиращи лъчения за жени и за лица под 18 години.



It was hard to find anything about Chernobyl in Bulgarian textbooks. As it turned out, there is no book which reveals what actually happened in Chernobyl. The only information I found is in a Chemistry book for 9<sup>th</sup> grade. The lesson is called "The human and the ionization". I attach photos of the whole lesson but all that is said about Chernobyl is the picture above. Here is the translation:

Accidents like those in Tree Mail Island (the USA) and especially in Chernobyl (Ukraine) show the real danger of ionization of thousands of people.

Never in my school years had I had a lesson about Chernobyl. And this one is in the green pages of the textbook which means it is not obligatory to be read because it does not cover the mandatory knowledge for 9<sup>th</sup> grade.