



Σχολή Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας
Τμήμα Βιοϊατρικών Επιστημών
Σχολή Διοικητικών, Οικονομικών και Κοινωνικών Επιστημών
Τμήμα Αγωγής και Φροντίδας στην Πρώιμη Παιδική Ηλικία



Παιδαγωγικό τμήμα



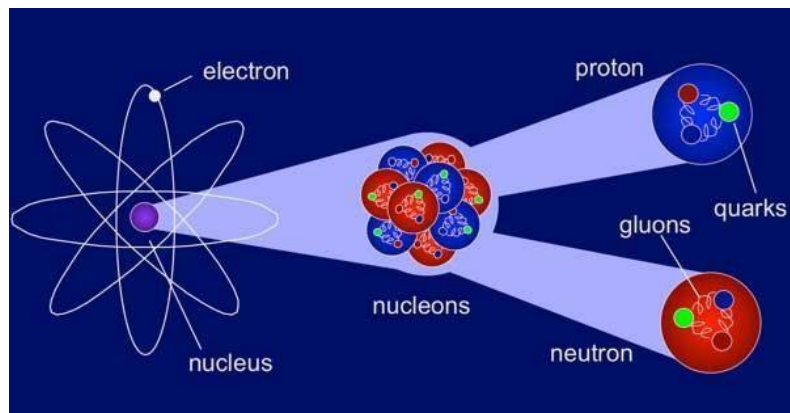
Διδρυματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
**Παιδαγωγική μέσω Καινοτόμων Τεχνολογιών και Βιοϊατρικών
Προσεγγίσεων**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η Πυρηνική Επιστήμη στην Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση

POST GRADUATE THESIS

Nuclear Science in Secondary Education



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ/NAME OF STUDENT

Ιωάννης Παναγιωτάκος
Ioannis Panagiotakos

ΟΝΟΜΑ ΕΙΣΗΓΗΤΗ/NAME OF THE SUPERVISOR

Ερμιόνη Δελή
Ermioni Deli

ΑΙΓΑΛΕΩ 2022



Faculty of Health and Caring Professions
Department of Biomedical Sciences
Faculty of Administrative, Financial and Social Sciences
Department of Early Childhood Education and Care



Department of Pedagogy



Inter-Institutional Post Graduate Program
Pedagogy through innovative Technologies and Biomedical approaches

POST GRADUATE THESIS
Nuclear Science in Secondary Education

Ioannis Panagiotakos
20080

E-Mail Address: Panagiotakosioannis89@gmail.com

FIRST SUPERVISOR

Ermioni Deli

SECOND SUPERVISOR

Mpelesi Vasiliki

AIGALEO 2022

Δήλωση συγγραφέα μεταπτυχιακής εργασίας

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Ιωάννης Παναγιωτάκος του Παναγιώτη, με αριθμό μητρώου 20080 φοιτητή του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Παιδαγωγική μέσω Καινοτόμων Τεχνολογιών και Βιοϊατρικών Προσεγγίσεων» του Τμήματος Βιοϊατρικών Επιστημών της Σχολής Επιστημών Υγείας και Πρόνοιας του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής μου εργασίας στα πλαίσια του Διδριματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών :

«**Παιδαγωγική μέσω Καινοτόμων Τεχνολογιών και Βιοϊατρικών Προσεγγίσεων**», αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω όλους μου τους καθηγητές που με το ατελείωτο και άπειρο ενδιαφέρον τους με βοήθησαν πραγματικά να φτάσω στην επίτευξη του στόχου μου.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω την Α' επιβλέπουσα Καθηγήτρια Δρ. Ερμιόνη Δελή για την πολύτιμη καθοδήγηση, τις συμβουλές της, τις επιστημονικές της υποδείξεις και σε γενικό πρίσμα για την άριστη συνεργασία μας σε όλη την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας μου. Επίσης οφείλω ευχαριστίες στην Β' επιβλέπουσα καθηγήτρια Δρ. Βασιλική Μπέλεση και στην Γ' επιβλέπουσα καθηγήτρια και πρόεδρο του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών κα Παπαγεωργίου Ευσταθία, αφενός μεν για την τιμή που μου έκαναν να είναι μέλη της συμβουλευτικής επιτροπής, αφετέρου δε για τις κατευθυντήριες συμβουλές, τις γνώσεις και τις εποικοδομητικές υποδείξεις.

Επίσης, οφείλω ευχαριστίες στον κύριο Δρ. Πέτρο Καρκαλούσο, συντονιστή της ηλεκτρονικής πλατφόρμας moodle, ο οποίος με υποστήριξε σε κάθε βήμα δίνοντάς μου με απύθμενο σθένος συμβουλές και καινοτόμες οδηγίες για την σωστή τήρηση των κανόνων με σκοπό την σωστή ολοκλήρωση των διαδικασιών της διπλωματικής εργασίας μου, όπως επίσης οφείλω και νιώθω ηθικά υπόχρεος να ευχαριστήσω εν τω βάθι ψυχής όλους τους καθηγητές και καθηγήτριες του συγκεκριμένου Μεταπτυχιακού Προγράμματος καθώς επίσης και την γραμματεία για την υποστήριξη, την τεράστια θέληση και το άπειρο ενδιαφέρον που έδειξαν και την άριστη συνεργασία σε όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

Τέλος οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου που είναι πάντα δίπλα μου και με στηρίζει σε κάθε μου προσπάθεια. Σε όλους αυτούς λοιπόν εκφράζω την ειλικρινή και απέραντη ευγνωμοσύνη μου.

Αφιερώσεις

Η παρούσα εργασία αφιερώνεται στην σύζυγό μου Μαρία, που μου στάθηκε καθ' όλη την διάρκεια της φοίτησής μου, στο πλευρό μου.

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία αρχικώς γίνεται μία ανασκόπηση των βασικών αρχών και της ιστορίας της πυρηνικής φυσικής. Η έννοια των ατόμων ξεκινά από την αρχαιότητα με τον Δημόκριτο και συνεχίζει τον 19ο και 20ο αιώνα με τον Rutherford και τους θεμελιωτές της κβαντικής Μηχανικής. Το άτομο αποτελείται από έναν πυρήνα νετρονίων και πρωτονίων και από ηλεκτρόνια που περιφέρονται γύρω του. Αναλόγως του αριθμού των πρωτονίων νετρονίων οι πυρήνες τοποθετούνται στον πίνακα νουκλιδίων, ένα πολύ βασικό εργαλείο που αναλύεται στην εργασία, όπως και οι κλίμακες των πυρηνικών μεγεθών.

Τα νουκλεόνια κρατούνται δέσμια εντός του πυρήνα μέσω της πυρηνικής δύναμης, που σύμφωνα με τον Yukawa, περιγράφεται με ανταλλαγή πιονίων. Εξ' αιτίας της περίπλοκης και εν μέρει άγνωστης φύσης της πυρηνικής δύναμης, υπάρχει μία σειρά μοντέλων που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή τη δομής του πυρήνα. Τα σημαντικότερα είναι το μοντέλο της Υγρής Σταγόνας, το Πρότυπο του Αερίου Fermi και το Μοντέλο των Φλοιών.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν και οι διασπάσεις, καθώς ένας ασταθής πυρήνας μπορεί να διασπαστεί με εκπομπή πυρήνων ηλίου-4 (α -διάσπαση), με εκπομπή ηλεκτρονίων (β -διάσπαση) ή με εκπομπή φωτονίων (γ -διάσπαση). Ο ρυθμός των διασπάσεων ενός δείγματος εξαρτάται από τον χρόνο ημιζωής του πυρήνα, δηλαδή τον χρόνο που ένα δείγμα πυρήνων θα έχει χάσει την μισή ποσότητά του. Σημαντική εφαρμογή των προαναφερόμενων είναι η ραδιοχρονολόγηση με άνθρακα-14, που βασίζεται στην β -διάσπαση του άνθρακα-14 και χρησιμοποιείται στην αρχαιολογία.

Επιπροσθέτως, γίνεται αναφορά στην διδασκαλία της πυρηνικής φυσικής στην Δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Το πεδίο της πυρηνικής επιστήμης, είναι συνήθως εκτός της διδακτέας ύλης και τα κεφάλαια τα οποία την εξετάζουν παραμένουν στην επιφάνεια της ύλης σε σύγκριση με τα διεθνή πρότυπα. Αυτό έρχεται σε αντίφαση με την μείζονα σημασία της πυρηνικής επιστήμης για τις επόμενες γενιές.

Συμπερασματικά, η πυρηνική φυσική είναι ένας πολύπλοκος κλάδος που θα διαδραματίσει έναν σημαντικό ρόλο στην κοινωνία του αύριο και μέχρι στιγμής δεν εξετάζεται επαρκώς στην Δευτεροβάθμια Εκπαίδευση. Παρόλο της ύπαρξης πρακτικών προβλημάτων της εργαστηριακής άσκησης των μαθητών στην Πυρηνική Επιστήμη, αυτά μπορούν να επιλυθούν με την χρήση προσομοιώσεων. Στα πλαίσια της εργασίας,

παρατίθεται ένα διδακτικό σενάριο ιστοεξερεύνησης για την Ραδιοχρονολόγηση. Το σενάριο προορίζεται για το μάθημα της Χημείας Γενικής Παιδείας της Α' Λυκείου.

Λέξεις Κλειδιά: Πυρηνική φυσική, πυρηνική δομή, Πρότυπο των Φλοιών, Αέριο Fermi, Μοντέλο Υγρής Σταγόνας, Πυρηνικές Διασπάσεις, Διδακτική Πυρηνικής Φυσικής, Ιστοεξερεύνηση Ραδιοχρονολόγησης

Abstract

In this work, first of all the basic principles of Nuclear Physics and its history are discussed. The concept of atoms was introduced by Demokritus at ancient times and continues to the 19th and 20th centuries with Rutherford and the founders of Quantum Mechanics. The atom, is composed of a nucleus of protons and neutrons and electrons around it. With respect to the number of protons and neutrons, nuclei are inserted into the chart of nuclides, a very useful construct that is discussed, along with the scales of nuclear quantities.

The nucleons are bound inside the nucleus via the nuclear interaction, which according to Yukawa can be described by the exchange of pions. Due to the complicated and obscure nature of the nuclear force, there is a wide variety of models that can be used to describe the nuclear structure. The most important are the Liquid Drop, the Fermi Gas and the Shell Model.

The nuclear decays are also show particular interest, as an unstable nucleus can decay by emission of, he-4 nuclei (alpha-decay), electrons (beta-decay) or photons (gamma-decay). The rate of decay depends upon the half life of the nucleus, i.e., the time that a sample of nuclei loses half of its amount. An important application of the aforementioned is the Radiochronology with C-14, which is based on beta-decay and is used in archeology.

Additionally, the teaching of nuclear physics in Secondary Education is discussed. The field of nuclear science is usually not taught, while the chapters discussing the subject remain on the surface, when compared to international standards. This is in contradiction to the nuclear physics' central role for future generations.

In conclusion, nuclear physics is a complicated subject that will play a crucial role in the future society and until now is not properly discussed in high school. While there are practical issues with the student's nuclear physics lab-training, these could be solved with simulations. As a part of this work, we present a web-quest Teaching Scenario regarding Radiochronology. This scenario is made for 7th grade high school students as a part of the Chemistry Subject.

Keywords: Nuclear Physics, Nuclear Structure, Shell Model, Fermi Gas, Liquid Drop Model, Nuclear Physics Teaching, Radiochronology web-quest

Περιεχόμενα

<i>Δήλωση συγγραφέα μεταπτυχιακής εργασίας</i>	<i>iv</i>
<i>Ευχαριστίες</i>	<i>v</i>
<i>Περίληψη</i>	<i>ix</i>
<i>Πρόλογος</i>	<i>15</i>
Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή στην Πυρηνική Επιστήμη	18
<i>1.1 Ιστορική Εξέλιξη της Ατομικής Θεωρίας</i>	<i>18</i>
<i>1.2 Πυρηνικά Μεγέθη, ορισμοί και Πίνακας των Νουκλιδίων</i>	<i>22</i>
Κεφάλαιο 2^ο: Η Δομή και οι Διασπάσεις των Πυρήνων	26
<i>2.1 Η Πυρηνική Αλληλεπίδραση</i>	<i>26</i>
<i>2.2 Το Μοντέλο Υγρής Σταγόνας (Liquid Drop Model)</i>	<i>27</i>
<i>2.3 Το Πρότυπο του Αερίου Fermi (Fermi Gas)</i>	<i>33</i>
<i>2.4 Το Μοντέλο των Φλοιών (Shell Model)</i>	<i>35</i>
<i>2.5 Ραδιενέργεια και Διασπάσεις</i>	<i>40</i>
<i>2.6 Ραδιοχρονολόγηση Άνθρακα-14</i>	<i>44</i>
3. Η Πυρηνική Επιστήμη στο πλαίσιο της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης	46
<i>3.1 Η κατάσταση σήμερα</i>	<i>46</i>
<i>3.2 Προτάσεις για ένα «Πυρηνικό» Πρόγραμμα Σπουδών</i>	<i>48</i>
<i>3.3 Εκπαιδευτικό σενάριο : «Εξερευνώντας την Ραδιοχρονολόγηση»</i>	<i>50</i>
Πηγές Εικόνων	62

Πρόλογος

Ο πυρήνας, ένας άγνωστος κόσμος. Τόσο οι επιστήμονες, όσο και οι μη έχοντες την ειδική γνώση, αντιμετωπίζουμε με δέος την πολυπλοκότητα των πυρήνων. Η πυρηνική επιστήμη που απεργάζεται την απλότητα, μας γοητεύει με την αντίφαση των εφαρμογών της. Βοηθά στην παραγωγή «καθαρής» ενέργειας για ωφέλεια του κοινωνικού συνόλου και ταυτόχρονα στην κατασκευή όπλων αφανισμού.

Ιστορικά η μελέτη των ατομικών πυρήνων μπορεί να θεωρηθεί ότι ξεκινά με την πρώτη υπόθεση της ύπαρξης ατόμων από τον Δημόκριτο τον 4^ο αιώνα π.Χ. Η υπόθεση του Δημόκριτου βασίζεται στην ύπαρξη απειροελάχιστων αδιάσπαστων οντοτήτων, ξεχωριστών για κάθε πιθανό αντικείμενο. Αν και η υπόθεση του διαφέρει σημαντικά από την σύγχρονη ατομική θεωρία, η ύπαρξη θεμελιωδών σωματιδίων ύλης τα «άτομα» (ετυμ: αρχ. α(στερ.) +τέμνω) αποτελεί την βάση όλων των μεταγενέστερων μελετών. Αν και ήδη από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα οι Dalton και Avogadro είχαν προτείνει την ύπαρξη των μορίων, η επόμενη αξιοσημείωτη μελέτη έγινε το 1868 από τον Mendel. Αυτός κατέταξε τα στοιχεία του περιοδικού πίνακα και προέβλεψε ιδιότητες στοιχείων που δεν είχαν ανακαλυφθεί ως τότε. Η σύγχρονη πυρηνική φυσική γεννιέται το 1896 από τον H. Becquerel. Στις μελέτες του εμφανίζονται προσβολές φωτογραφικών πλακών από άλατα ουρανίου, γεγονός που από δίδεται σε ενός «νέου είδους» ακτίνες. Τις ακτίνες αυτές ονομάζει ως *ραδιενέργεια*. Δύο έτη αργότερα δημοσιεύεται η επόμενη ριζοσπαστική ανακάλυψη της υποατομικής φυσικής από το ζεύγος Curie. Αυτή ήταν ο χημικός διαχωρισμός του ράδιου και του πολωνίου και άλλων νουκλιδίων από την διάσπαση του ουρανίου.

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα «πατέρας» της πυρηνικής φυσικής Ernest Rutherford με το ομώνυμο πείραμά του ανακαλύπτει εντέλει τον ατομικό πυρήνα. Έχοντας ήδη διαχωρίσει της πυρηνικές διασπάσεις σε α, β και γ (1908), στο πείραμά του δοκιμάζεται η σκέδαση σωματιδίων α (πυρήνες ηλίου-4) σε φύλλο χρυσού (1911). Από την ανάλυση των ενεργειών και γωνιών σκέδασης συμπεραίνει ότι το θετικό φορτίο των ατόμων πρέπει να βρίσκεται σε ένα μικρό σημείο εντός του κέντρου τους. Εκτός της μείζονος σημασίας των συμπερασμάτων του, ο E. Rutherford δημιουργεί την πειραματική μεθοδολογία της ανάλυσης πειραμάτων σκέδασης. Αυτή αποτελεί μέχρι και σήμερα την βασική πηγή δεδομένων στην φυσική υψηλών ενεργειών.

Μετά τον Rutherford, οι ανακαλύψεις σχετικά με τους πυρήνες και τα υποατομικά σωματίδια ήταν συνεχείς. Το 1913 ο Niels Bohr ερμηνεύει τα φάσματα των υδρογονοειδών ατόμων/ιόντων με την ατομική θεωρία του. Την περίοδο 1924-1928 θεμελιώνεται η κβαντική θεωρία από τους L. De Broglie, E. Schrodinger, V. Heisenberg, M. Born και P. Dirac, ενώ το 1928 ο Gamow προσεγγίζει κβαντομηχανικά την α -διάσπαση. Το 1932 ο Chadwick συμπληρώνει την εικόνα του πυρήνα και απαντά στο ερώτημα της σταθερότητας του. Η μείζονος σημασίας συμβολή του ήταν η ανακάλυψη του νετρονίου. Το ουδέτερο αυτό σωματίδιο επιλύει το πρόβλημα των μη ακέραιων ατομικών βαρών, καθώς και την ύπαρξη θετικών φορτίων σε περιορισμένο χώρο, ενώ η ύπαρξή του είχε ήδη προταθεί από τον Rutherford 12 έτη νωρίτερα.

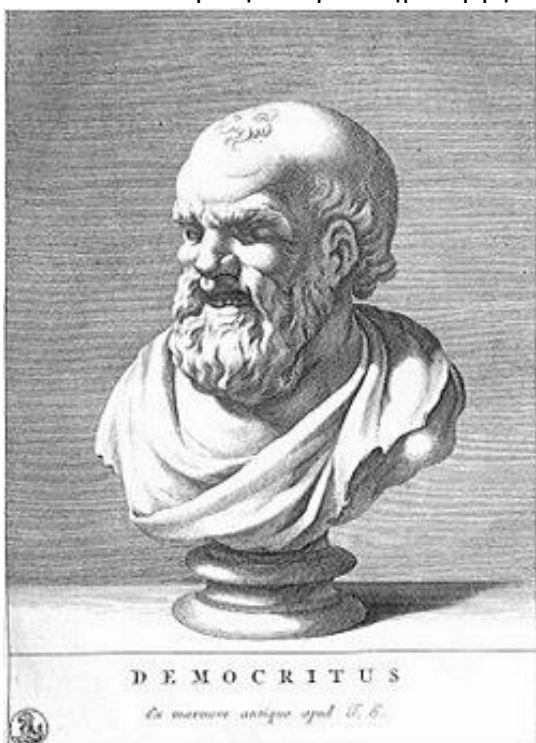
Μία άλλη συνταρακτική ανακάλυψη ήταν η παρατήρηση του πρώτου σωματιδίου αντι ύλης, του ποζιτρονίου, από τον Anderson το 1932. Η ύπαρξη αντι- ύλης κατάφερε να αιτιολογήσει μερικώς την β -διάσπαση, προσπάθεια που τελειοποιήθηκε από τον Fermi το 1933. Ο ίδιος θα πρωτοπορήσει ξανά το 1942 με την κατασκευή του πρώτου πυρηνικού αντιδραστήρα σχάσεως. Μέχρι το 1960 θεωρία για την πυρηνική δομή απέκτησε την σύγχρονη μορφή της, ενώ το σύνολο των στοιχειωδών σωματιδίων που είναι γνωστά σήμερα («Καθιερωμένο Πρότυπο») τελειοποιήθηκε μέχρι και το 1970. Η προσπάθεια αντίληψης του πυρήνα όμως παραμένει ανοιχτή. Ακόμη και σήμερα, η ισχυρή πυρηνική αλληλεπίδραση, η δύναμη που διατηρεί δέσμους τους πυρήνες δεν περιγράφεται από έναν κλειστό τύπο. Επιπροσθέτως, η καταστατική πυρηνική εξίσωση που προβλέπει την δυναμική συμπεριφορά των πυρήνων δεν περιέχει ακόμη όλους τους πιθανούς όρους. Στις μέρες μας η πυρηνική φυσική είναι ένα από τα πιο ερευνημένα θέματα των θετικών επιστημών. Καθημερινά αναλύονται δεδομένα αντιδράσεων, επεξεργάζονται μοντέλα και εφευρίσκονται εφαρμογές των ραδιοϊσοτόπων. Από όλη αυτή την προσπάθεια τεκμαίρεται ένα αδιαμφισβήτητο συμπέρασμα. Όσο περισσότερα η επιστημονική κοινότητα ανακαλύπτει για τους ατομικούς πυρήνες, τόσο αντιλαμβάνεται ότι δεν γνωρίζει ακόμη τίποτα.

Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή στην Πυρηνική Επιστήμη

1.1 Ιστορική Εξέλιξη της Ατομικής Θεωρίας

Η ατομική θεωρία είναι μια επιστημονική περιγραφή της φύσης των ατόμων και της ύλης που συνδυάζει στοιχεία φυσικής, χημείας και μαθηματικών. Σύμφωνα με τη σύγχρονη θεωρία, η ύλη αποτελείται από μικροσκοπικά σωματίδια που ονομάζονται άτομα, τα οποία με τη σειρά τους αποτελούνται από υποατομικά σωματίδια. Τα άτομα ενός δεδομένου στοιχείου είναι πανομοιότυπα από πολλές απόψεις και διαφέρουν από τα άτομα άλλων στοιχείων. Τα άτομα συνδυάζονται σε σταθερές αναλογίες με άλλα άτομα για να σχηματίσουν μόρια και ενώσεις.

Η ατομική θεωρία δημιουργήθηκε ως φιλοσοφική έννοια στην αρχαία Ινδία και



Εικόνα 1 Γκραβούρα αγάλματος του Δημόκριτου, πηγή: <https://en.wikipedia.org>

την Ελλάδα. Η λέξη προέρχεται «άτομο» προέρχεται από τα αρχαία ελληνικά και σημαίνει αδιαίρετη. Σύμφωνα με τον ατομισμό, η ύλη αποτελείται από διακριτά σωματίδια. Ωστόσο, η θεωρία ήταν μια από τις πολλές εξηγήσεις για την ύλη και δεν βασίστηκε σε εμπειρικά δεδομένα. Τον πέμπτο αιώνα π.Χ., ο Δημόκριτος (Εικ. 1) πρότεινε ότι η ύλη αποτελείται από άφθαρτες, αδιαίρετες μονάδες που ονομάζονται άτομα. Τα άτομα του Δημόκριτου, αν και αποτέλεσαν την βάση των σύγχρονων αντιλήψεων, διαφέρουν πολύ από την σύγχρονη αντίληψή τους. Ο Δημόκριτος θεώρησε ότι κάθε ξεχωριστό αντικείμενο ή οργανισμός αποτελείται από ξεχωριστά, αδιαίρετα τμήματα.

Ο Ρωμαίος ποιητής Λουκρέτιος κατέγραψε την ιδέα, επομένως επέζησε από τους Σκοτεινούς χρόνους για μετέπειτα εξέταση. Χρειάστηκε μέχρι το τέλος του 18ου αιώνα για την επιστήμη να παράσχει συγκεκριμένες αποδείξεις για την ύπαρξη ατόμων. Το 1789, ο Antoine Lavoisier διατύπωσε το νόμο της διατήρησης της μάζας, ο οποίος αναφέρει ότι η μάζα των προϊόντων μιας αντίδρασης είναι η ίδια με τη μάζα των αντιδρώντων. Δέκα χρόνια αργότερα, ο Joseph Louis Proust πρότεινε τον νόμο ορισμένων

αναλογιών, ο οποίος αναφέρει ότι οι μάζες των στοιχείων σε μια ένωση εμφανίζονται πάντα στην ίδια αναλογία.

Αυτές οι θεωρίες δεν ανέφεραν άτομα, όμως ο Τζον Ντάλτον βασίστηκε σε αυτά για να αναπτύξει το νόμο πολλαπλών αναλογιών, ο οποίος αναφέρει ότι οι αναλογίες μάζας στοιχείων σε μια ένωση είναι μικρές ακέραιοι αριθμοί. Ο νόμος του Dalton για πολλαπλές αναλογίες αντλήθηκε από πειραματικά δεδομένα. Πρότεινε ότι κάθε χημικό στοιχείο αποτελείται από έναν μόνο τύπο ατόμου που δεν θα μπορούσε να καταστραφεί με οποιοδήποτε χημικό μέσο. Η προφορική του παρουσίαση (1803) και η δημοσίευση (1805) σηματοδότησαν την αρχή της επιστημονικής ατομικής θεωρίας.

Το 1811, ο Amedeo Avogadro διόρθωσε ένα πρόβλημα με τη θεωρία του Dalton όταν πρότεινε ότι ίσοι όγκοι αερίων σε ίση θερμοκρασία και πίεση περιέχουν τον ίδιο αριθμό σωματιδίων. Ο νόμος του Avogadro κατέστησε δυνατή την ακριβή εκτίμηση των ατομικών μαζών στοιχείων και έκανε σαφή διάκριση μεταξύ ατόμων και μορίων.

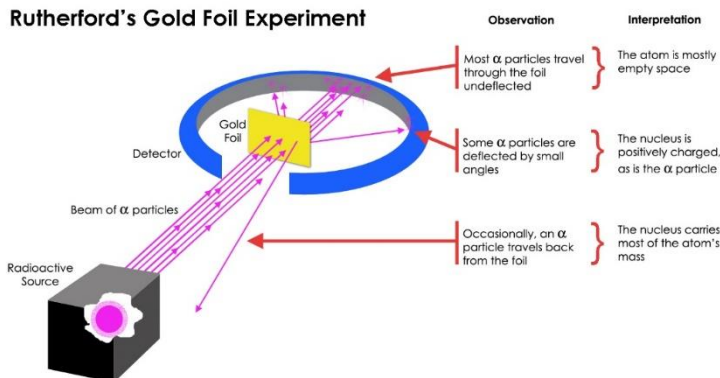
Μια άλλη σημαντική συμβολή στην ατομική θεωρία έγινε το 1827 από τον βοτανολόγο Robert Brown, ο οποίος παρατήρησε ότι τα σωματίδια σκόνης που επιπλέουν στο νερό φάνηκαν να κινούνται τυχαία για κανέναν γνωστό λόγο. Το 1905, ο Άλμπερτ Αϊνστάιν υποστήριξε ότι η κίνηση του Μπράουν οφειλόταν στην κίνηση μορίων νερού. Το μοντέλο και η επικύρωσή του το 1908 από τον Jean Perrin υποστήριξαν την ατομική θεωρία και τη θεωρία σωματιδίων.

Μέχρι αυτό το σημείο, τα άτομα πιστεύεται ότι είναι οι μικρότερες μονάδες ύλης. Το 1897, ο JJ Thomson ανακάλυψε το ηλεκτρόνιο. Πίστευε ότι τα άτομα θα μπορούσαν να διαιρεθούν. Επειδή το ηλεκτρόνιο έφερε αρνητικό φορτίο, πρότεινε ένα μοντέλο πουτίγκα δαμάσκηνου (Plumb Putting Model) του ατόμου, στο οποίο τα ηλεκτρόνια ενσωματώθηκαν σε μια μάζα θετικού φορτίου για να δώσουν ένα ηλεκτρικά ουδέτερο άτομο.

Ο Ernest Rutherford, ένας από τους μαθητές του Thomson, απέρριψε το μοντέλο πουτίγκα δαμάσκηνου το 1909. Ο Rutherford διαπίστωσε ότι το θετικό φορτίο ενός ατόμου και το μεγαλύτερο μέρος της μάζας του ήταν στο κέντρο ή στον πυρήνα ενός ατόμου. Περιέγραψε ένα πλανητικό μοντέλο στο οποίο τα ηλεκτρόνια περιστρέφονταν γύρω από έναν μικρό πυρήνα θετικού φορτίου.

Το πείραμα του Rutherford σηματοδοτεί την έναρξη της σύγχρονης πυρηνικής (Σχ. 1) φυσικής. Το πείραμα αφορούσε την σκέδαση πυρήνων ηλίου -4 (σωματίδια α) πάνω σε φύλλο χρυσού. Τα σωματίδια α είναι θετικά φορτισμένα και απωθούνται από το θετικό φορτίο στα άτομα χρυσού. Αν το θετικό φορτίο ήταν τυχαία κατανεμημένο όπως πίστευε ο Thomson, τότε τα περισσότερα σωματίδια α θα έπρεπε να περάσουν από το φύλλο χρυσού χωρίς να σκεδαστούν. Αντιθέτως, ο Rutherford παρατηρείται ότι κάποια

Rutherford's Gold Foil Experiment



Σχήμα 1 Το Πείραμα του Rutherford, πηγή: [8]

σωματίδια σκεδάστηκαν, επιστρέφοντας ακόμη και πίσω στην πηγή (180° σκέδαση). Η μοναδική εξήγηση για το φαινόμενο αυτό είναι ότι όλο το θετικό φορτίο του ατόμου όπως και το μεγαλύτερο μέρος της μάζας του βρίσκεται στο κέντρο του ατόμου, τον πυρήνα.

Η επόμενη προσπάθεια ερμηνείας, το μοντέλο του Bohr, εξήγησε τις φασματικές γραμμές του υδρογόνου, αλλά δεν επεκτάθηκε στη συμπεριφορά των ατόμων με πολλαπλά ηλεκτρόνια. Αρκετές ανακαλύψεις διευρύνουν την κατανόηση των ατόμων. Το 1913, ο Frederick Soddy περιέγραψε ισότοπα, τα οποία ήταν μορφές ενός ατόμου ενός στοιχείου που περιείχε διαφορετικούς αριθμούς νετρονίων. Τα νετρόνια ανακαλύφθηκαν το 1932 από τον Chadwick.

Ο Louis de Broglie πρότεινε μια κυματοειδή συμπεριφορά κινούμενων σωματιδίων, την οποία ο Erwin Schrödinger περιέγραψε χρησιμοποιώντας την εξίσωση του Schrödinger (1926). Αυτό, με τη σειρά του, οδήγησε στην αρχή της αβεβαιότητας του Werner Heisenberg (1927), η οποία αναφέρει ότι δεν είναι δυνατόν να γνωρίζουμε ταυτόχρονα τη θέση και την ορμή ενός ηλεκτρονίου.

Η κβαντική μηχανική οδήγησε σε μια ατομική θεωρία στην οποία τα άτομα αποτελούνται από μικρότερα σωματίδια. Το ηλεκτρόνιο μπορεί δυνητικά να βρεθεί



Εικόνα 2 Φωτογραφία της Marie Curie στο εργαστήριό της, πηγή: <https://en.wikipedia.org>

οπουδήποτε στο άτομο, αλλά βρίσκεται με τη μεγαλύτερη πιθανότητα σε ατομικό τροχιακό. Αντί για τις κυκλικές τροχιές του μοντέλου του Rutherford, η σύγχρονη ατομική θεωρία περιγράφει πιθανές περιοχές του χώρου που μπορεί να έχουν σχήμα σφαιρικό, αλτήρα, κλπ.

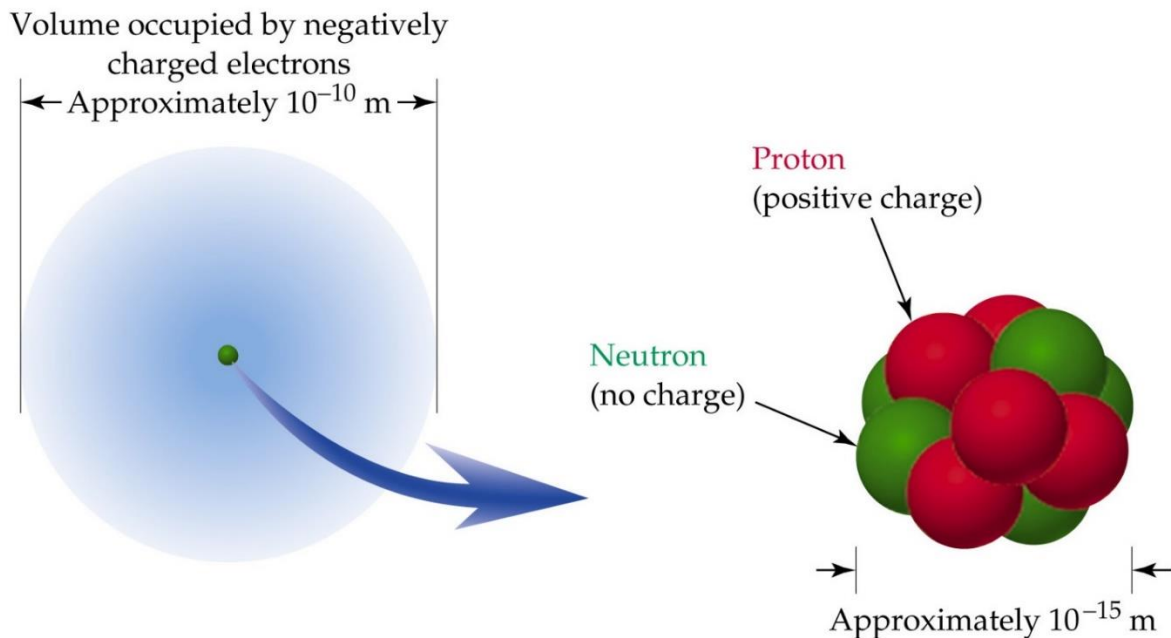
Οι σύγχρονοι επιστήμονες έχουν βρει μικρότερα σωματίδια που απαρτίζουν τα πρωτόνια, τα νετρόνια και τα ηλεκτρόνια, αν και το άτομο παραμένει η μικρότερη μονάδα ύλης που δεν μπορεί να διαιρεθεί χρησιμοποιώντας χημικά μέσα.

Μία επιπρόσθετη αξιοσημείωτη ανακάλυψη ήταν αυτής της ραδιενέργειας, ως αποτέλεσμα της μελέτης ασταθών πυρήνων. Η ανακάλυψη αυτή έγινε από την M. Curie (Εικ. 2) και τον F. Becquerel στα τέλη του 19^{ου} αιώνα και αποτέλεσε τεράστιας σημασίας συνεισφορά στην πυρηνική επιστήμη.

1.2 Πυρηνικά Μεγέθη, ορισμοί και Πίνακας των Νουκλιδίων

Ο πυρήνας, όπως προαναφέρθηκε, είναι το κέντρο του ατόμου. Αποτελείται από δύο είδη σωματιδίων, τα πρωτόνια και τα νετρόνια, που συλλογικά ονομάζονται νουκλεόνια. Τα νουκλεόνια δεν είναι στοιχειώδη σωματίδια, αλλά αποτελούνται από άλλα μικρότερα σωματίδια τα quarks, ενώ αλληλοεπιδρούν μέσω της «πυρηνικής δύναμης».

Η ακτίνα των ατόμων (Σχ. 2) είναι της τάξης των 10^{-10} meters, ενώ η ακτίνα των πυρήνων είναι τάξης των 10^{-15} meters, μονάδα που ονομάζεται και Fermi (1 fm). Αυτό σημαίνει ότι ο πυρήνας του ατόμου είναι 100.000 φορές μικρότερος από ένα άτομο! Αναλογικά, αν φανταστούμε ότι το άτομο ως ένα στάδιο ποδοσφαίρου, ο πυρήνας δεν θα ήταν παρά ένα βότσαλο στο κέντρο.



Σχήμα 2 Το άτομο και ο πυρήνας

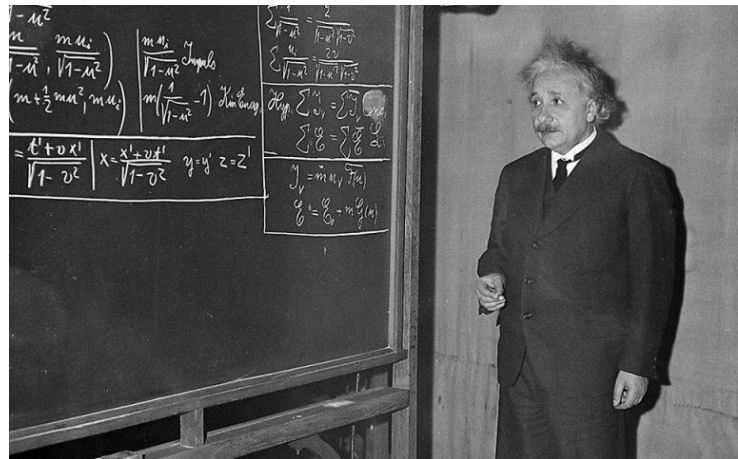
Τα νουκλεόνια στον πυρήνα κινούνται με πολύ μεγάλες ταχύτητες, παρόλο του μικρού μεγέθους του. Η τυπική μέση ταχύτητα τους είναι περίπου 15%-20% της ταχύτητας του φωτός, δηλαδή $\sim 0.15c-0.20c$ (Quarrie 1973), όπου η ταχύτητα του φωτός είναι περίπου $c=3.0 \cdot 10^8$ m/s.

Η χρονική κλίμακα των πυρηνικών μεγεθών, προκύπτει από την χωρική κλίμακα προς την κλίμακα ταχυτήτων, δηλαδή την ταχύτητα του φωτός. Έτσι η στοιχειώδης μονάδα του χρόνου είναι το 1 fm/c, το οποίο είναι περίπου ίσο με $0.33 \cdot 10^{-21}$ seconds.

Δύο επιπρόσθετα σημαντικά στοιχεία των πυρήνων είναι οι μάζες και οι ενέργειες τους. Αυτές οι δύο ποσότητες εξετάζονται μαζί στα πλαίσια της Ειδικής Θεωρίας της

Σχετικότητας, μέσω της σχέσης $E=mc^2$. Η στοιχειώδης μονάδα ενέργειας είναι το 1 MeV=10⁶ eV, όπου το eV («ηλεκτρόνιο-volt») είναι η ενέργεια που απαιτεί ένα ηλεκτρόνιο για να κινηθεί σε διαφορά τάσης 1 volt, δηλαδή 1eV=1e και 1 volt= 1.60217662 10⁻¹⁹ joules. Η ενέργεια που απαιτείται για να αποσπαστεί ένα νουκλεόνιο από τον πυρήνα, είναι περίπου 8 MeV, ενώ η αντίστοιχη ενέργεια ενός χημικού δεσμού είναι περίπου 1-2 eV. Η ενέργεια των πυρήνων είναι περίπου 1.000.000 φορές μεγαλύτερη από την ενέργεια των χημικών δεσμών στα μόρια και για αυτό τον λόγο οι πυρήνες μπορούν να αποτελέσουν πηγή τεράστιας ενέργειας. (Εικ. 3)

Λόγω της θεωρίας της Σχετικότητας, οι μάζες των πυρήνων μετρούνται σε μονάδες ενέργειας προς την ταχύτητα του φωτός στο τετράγωνο, δηλαδή 1 MeV/ c² .. Η μάζα ενός πρωτονίου είναι 938,3 MeV/c² και ενός νετρονίου 939,6 MeV/c², ενώ η μέση μάζα ενός νουκλεονίου το



Εικόνα 30 Albert Einstein μπροστά από τις Εξισώσεις της Ειδικής Θεωρίας της Σχετικότητας, πηγή: <https://en.wikipedia.org>

οποίο είναι δεσμευμένο στον πυρήνα είναι 931,5 MeV/c². Η ενέργεια των δεσμευμένων νουκλεονίων είναι μικρότερη από όταν είναι ελεύθερα, διότι ένα μέρος της μάζας τους έχει μετατραπεί σε ενέργεια που τα κρατά δέσμια (περίπου 8 MeV). Εναλλακτικά οι μάζες των πυρήνων, μπορούν να μετρηθούν και σε ατομικές μονάδες μάζας, 1 amu = 931,5 MeV/c². Με τον ορισμό αυτό προκύπτουν και τα ατομικά βάρη των χημικών στοιχείων.

Ένα χημικό στοιχείο καθορίζεται από τον ατομικό αριθμό, δηλαδή των αριθμών των πρωτονίων Z. Ο αριθμός των νετρονίων συμβολίζεται ως N και ο συνολικός αριθμός των νουκλεονίων συμβολίζεται ως A(= Z + N) και ονομάζεται μαζικός αριθμός. Ένας πυρήνας με συγκεκριμένο αριθμό Z και A, δηλαδή ένα νουκλίδιο, γράφεται ως ^ZAΧ, όπου Χ είναι το σύμβολο του χημικού στοιχείου. Πυρήνες του ίδιου χημικού στοιχείου (ίδιος ατομικός αριθμός) που έχουν διαφορετικό μαζικό αριθμό και διαφορετικό αριθμό νετρονίων, ονομάζονται ισότοπα. Πυρήνες με ίδιο αριθμό νετρονίων και διαφορετικούς μαζικούς και ατομικούς αριθμούς ονομάζονται ισότονα, ενώ πυρήνες με ίδιο μαζικό

αριθμό αλλά διαφορετικό ατομικό αριθμό και αριθμό νετρονίων ονομάζονται ισοβαρείς.

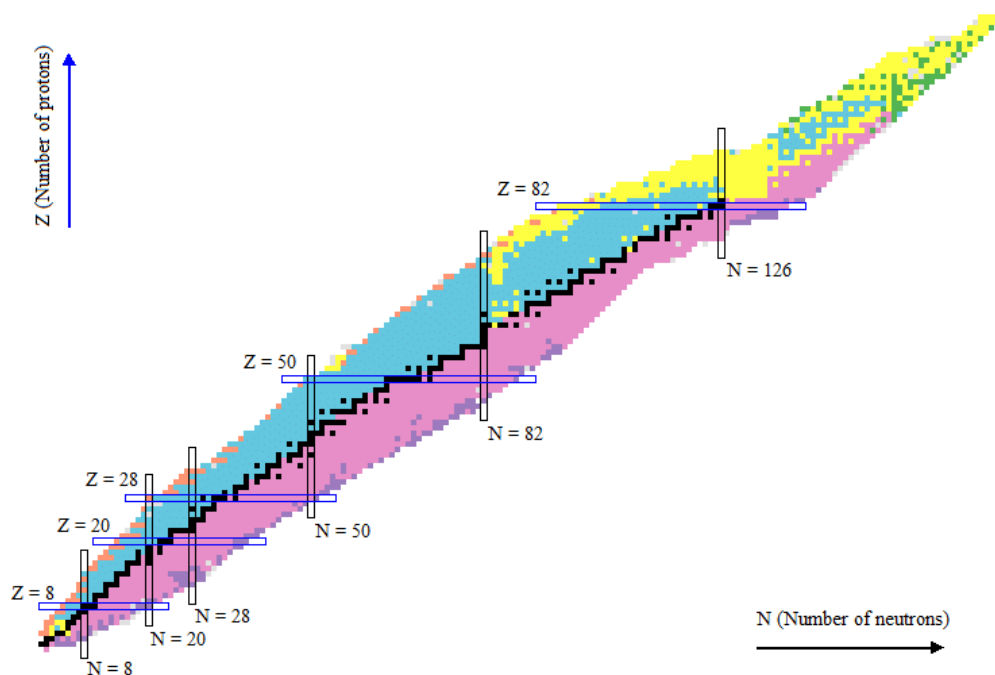
Σήμερα είναι γνωστά 118 χημικά στοιχεία και πάνω από 3300 ισότοπα, αλλά ένα μικρό μέρος αυτών είναι σταθερά. Οι περισσότεροι πυρήνες (ειδικά αυτοί με $Z > 83$) είναι κατά κανόνα ασταθείς και διασπώνται. Ένα μεγάλο μέρος των ασταθών πυρήνων δεν μπορεί να βρεθεί στην φύση, αλλά μόνο να συντεθεί πειραματικά σε εργαστήρια με χρήση επιταχυντών. Το ποσοστό των πυρήνων ενός ισότοπου ως προς τον συνολικό αριθμό των πυρήνων ενός χημικού στοιχείου, ονομάζεται φυσική αφθονία του ισότοπου. Το ατομικό βάρος ενός στοιχείου, δίνεται από το συνδυασμό των μαζικών αριθμών όλων των σταθερών ισότοπων πολλαπλασιασμένων με την φυσική αφθονία τους, μέσω της σχέσης

$$A_r = a_1 A_1 + a_2 A_2 + \dots$$

όπου a είναι η φυσική αφθονία του κάθε ισότοπου και A ο μαζικός αριθμός του. Ως παράδειγμα, μπορούμε να θεωρήσουμε την περίπτωση του χλωρίου. Το χλώριο έχει κυρίως δύο σταθερά ισότοπα τα ^{35}Cl και ^{37}Cl , με φυσικές αφθονίες περίπου 75% και 25% αντιστοίχως (Ebbing, D.D., Gammon, S.D. 2007). Έτσι το ατομικό βάρος του χλωρίου είναι περίπου ίσο με $0,75 \cdot 35 + 0,25 \cdot 37 = 35,5$ amu.

Όλα τα ισότοπα τα οποία είναι γνωστά στην φύση τοποθετούνται σε ένα διάγραμμα με άξονες τους αριθμούς των πρωτονίων και των νετρονίων. Το διάγραμμα αυτό ονομάζεται Πίνακας των Νουκλιδίων και είναι το αντίστοιχο του Περιοδικού Πίνακα των Χημικών Στοιχείων της Χημείας. Ο πίνακας των νουκλιδίων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

(Σχ. 3)



Σχήμα 3 Ο Πίνακας των Νουκλιδίων, πηγή: (Tracy Jr 2012)

Κάθε τετράγωνο του πίνακα των νουκλιδίων αντιστοιχεί σε ένα ισότοπο με ζεύγος αριθμών Z και N . Οι σταθερότεροι πυρήνες, που ο χρόνος ζωής τους είναι δυναμικά άπειρος εμφανίζονται με μαύρο χρώμα, και σχηματίζουν την γραμμή σταθερότητας. Η γραμμή σταθερότητας για ελαφρύς πυρήνες ($A < 100$) χαρακτηρίζεται από $N = Z$, ενώ για βαρύτερους πυρήνες που πρέπει να αντισταθμιστεί η ηλεκτροστατική άπωση των πρωτονίων, χαρακτηρίζεται από $N > Z$. Οι πυρήνες που βρίσκονται πάνω από την γραμμή σταθερότητας είναι λιγότερο σταθεροί και πλούσιοι σε πρωτόνια (μπλε χρώμα), ενώ οι πυρήνες που είναι κάτω από την γραμμή σταθερότητας είναι επίσης λιγότερο σταθεροί και πλούσιοι σε νετρόνια (ροζ χρώμα). Οι πυρήνες με κίτρινο ή πορτοκαλί χρώμα, είναι ασταθή ισότοπα με μικρό χρόνο ζωής.

Η περίσσεια των πρωτονίων ή των νετρονίων σε έναν πυρήνα, έχει μία μέγιστη τιμή, η οποία καθορίζεται από τα εξωτερικά όρια των ροζ και μπλε περιοχών στον πίνακα των νουκλιδίων. Τα όρια αυτά, των μεγίστων Z και N , ονομάζονται γραμμές κόρου πρωτονίων και νετρονίων αντίστοιχα. Πέραν αυτών των γραμμών οι πυρήνες θα ήταν πλήρως κορεσμένοι σε πρωτόνια ή νετρόνια και θα απέβαλλαν τα περισσευούμενα σωματίδια στιγμιαία. Έτσι αυτά τα ισότοπα δεν θα ήταν ασταθή, αλλά αδύνατο να υπάρξουν έστω και θεωρητικά. Τέτοιοι πυρήνες ονομάζονται μη-δέσιμοι.

Η σταθερότητα ενός πυρήνα καθορίζεται από τον χρόνο ημιζωής του $t_{1/2}$, ο οποίος είναι ο χρόνος που απαιτείται για να διασπαστεί η μισή ποσότητα ενός δείγματος πυρήνων και από την ενέργεια που απαιτείται να δοθεί για την πλήρη διάσπαση του πυρήνα σε πρωτόνια και νετρόνια. Η προαναφερόμενη ενέργεια ονομάζεται Ενέργεια Συνδέσεως και είναι ανάλογη της σταθερότητας και του χρόνου ημιζωής, όπως περιγράφεται και στο επόμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 2^ο: Η Δομή και οι Διασπάσεις των Πυρήνων

2.1 Η Πυρηνική Αλληλεπίδραση

Όπως αναφέρεται και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο πυρήνας του ατόμου είναι ένα εξαιρετικά μικρό, περίπλοκο και πυκνό σύστημα, που αποτελείται από ένα μίγμα πρωτονίων και νετρονίων. Τα ίδια τα πρωτόνια και τα νετρόνια (ή βαρυόνια όπως ονομάζονται συλλογικά) δεν είναι θεμελιώδη σώματα, αντιθέτως αποτελούνται από άλλα μικρότερα σωματίδια που ονομάζονται quarks. Υπάρχουν έξι είδη quarks, αυτά



Εικόνα 4 Ο Hideki Yukawa, πηγή:
https://en.wikipedia.org/wiki/Hideki_Yukawa

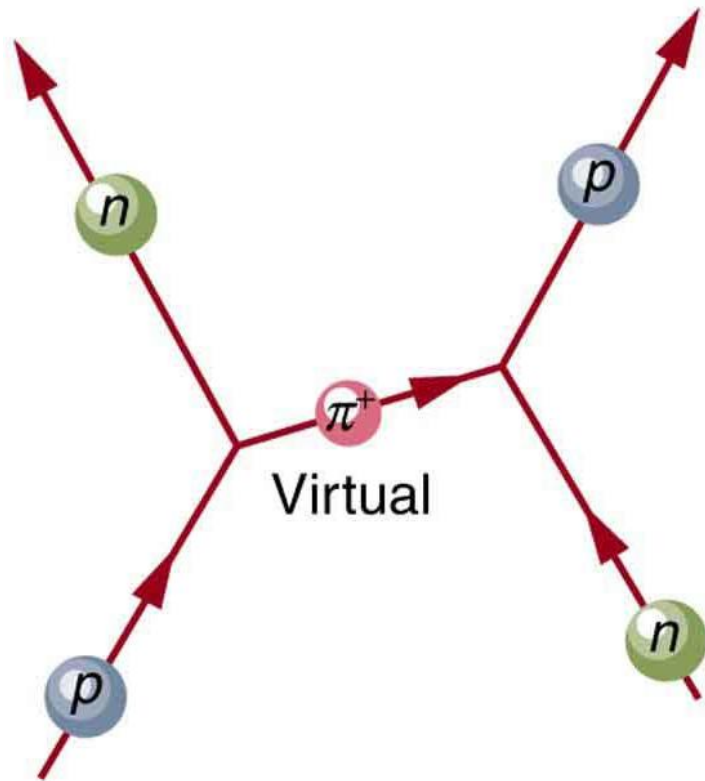
ονομάζονται up, down, charm, strange, top και bottom. Το πρωτόνιο αποτελείται από 2 up και ένα down quark, ενώ το νετρόνιο αποτελείται από δύο down και ένα up quark. Τα quarks δεν μπορούν να υπάρξουν ελεύθερα στην φύση και εκτός των τριαδικών δομών βαρυονίων που σχηματίζουν, μπορούν να βρεθούν ως ζεύγος (όπου το ένα από τα δύο είναι αντισωματίο, αλλά αυτή η λεπτομέρεια είναι εκτός του πλαισίου της παρούσας εργασίας). Τα ζεύγη αυτά ονομάζονται μεσόνια και τα πιο σημαντικά για την πυρηνική φυσική είναι τα μεσόνια που αποτελούνται από τα up και τα down quarks. Αυτά ονομάζονται πιόνια.

Η δύναμη ανάμεσα στα quarks ονομάζεται ισχυρή πυρηνική δύναμη και είναι πολύ ισχυρότερη της ηλεκτρικής άπωσης Coulomb ομοίων φορτίων. Αυτή η δύναμη έχει μικρή εμβέλεια και το μεγαλύτερο μέρος της «καταναλώνεται» στο να διατηρεί δεσμευμένα τα quarks στα πρωτόνια και τα νετρόνια. Το τμήμα της δύναμης που απομένει ονομάζεται πυρηνική αλληλεπίδραση και είναι η δύναμη που «ενώνει» τα πρωτόνια και τα νετρόνια στους πυρήνες. Η δύναμη αυτή είναι εξαιρετικά περίπλοκη και δεν έχει βρεθεί μέχρι και σήμερα μία κλειστού τύπου φόρμουλα για την μορφή της (Wong 2008). Η βασικότερη προσέγγιση της φύσης της είναι η θεωρία του Hideki Yukawa. (Εικ. 4)

Ο Yukawa (φωτογραφία του οποίου φαίνεται δίπλα) θεώρησε ότι η «πληροφορία» της δύναμης ανάμεσα στα νουκλεόνια μεταφέρεται με ανταλλαγή

πιονίων. Τα πιόνια, ως βραχύβια σωματίδια, μεταφέρουν την αλληλεπίδραση σε πεπερασμένο εύρος που δεν ξεπερνά τα 2.5 fm. Σχηματικά, η ανταλλαγή νουκλεονίων φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

Η ανταλλαγή των πιονίων (Σχ. 4) κατάφερε να εξηγήσει εν μέρει και την διαφορά ανάμεσα στην αλληλεπίδραση των διαφορετικών ζευγών νουκλεονίων. Δύο πρωτόνια αλληλεπιδρούν ασθενέστερα από δύο νετρόνια, τα οποία αλληλεπιδρούν ασθενέστερα από ένα νετρόνιο και ένα πρωτόνιο. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο, δεν υπάρχουν σταθερές δομές δύο πρωτονίων ή δύο νετρονίων, αλλά



Σχήμα 4 Αναπαράσταση της αλληλεπίδρασης πρωτονίου-νετρονίου με ανταλλαγή πιονίου, πηγή: (Prussin. 2007)

υπάρχει σταθερή δομή πρωτονίου-νετρονίου (Prussin. 2007). Αυτή είναι το ισότοπο του υδρογόνου-2 και ονομάζεται δευτέριο.

Εξ' αιτίας της περίπλοκης και άγνωστης εν μέρει φύσης της πυρηνικής δύναμης, η δομή των πυρήνων μπορεί να προσεγγιστεί με πολύ διαφορετικά μοντέλα. Τα μοντέλα αυτά ποικίλουν, από κβαντομηχανικά και ημικλασικά μέχρι και μοντέλα υδροδυναμικής. Κάποια από τα σημαντικότερα μοντέλα θα συζητηθούν στις επόμενες υποενότητες.

2.2 Το Μοντέλο Υγρής Σταγόνας (Liquid Drop Model)

Το μοντέλο υγρής σταγόνας προτάθηκε αρχικά από τον George Gamow και εξελίχθηκε από τους Niels Bohr και Archibald Wheeler. Το μοντέλο αυτό θεωρεί τον πυρήνα ως μία σταγόνα ενός υγρού και προσομοιάζει την κίνηση των νουκλεονίων ως κίνηση των μορίων ενός υγρού. Η θεώρηση αυτή, αν και χονδροειδής, προβλέπει με αρκετά καλή ακρίβεια το μέγεθος, την σταθερότητα του πυρήνα. Σύμφωνα με αυτό τα νουκλεόνια στο εσωτερικό

του πυρήνα δέχονται δυνάμεις μέσω της πυρηνικής αλληλεπίδρασης από τα γειτονικά τους. Τα νουκλεόνια που βρίσκονται στην επιφάνεια, έχουν λιγότερα γειτονικά, άρα δέχονται λιγότερες ελκτικές δυνάμεις και κατά συνέπεια είναι λιγότερο σταθερά. Το φαινόμενο αυτό είναι αντίστοιχο της επιφανειακής τάσης και δικαιολογεί και το σφαιρικό σχήμα που εμφανίζουν οι περισσότεροι πυρήνες. Το ποσοτικό κριτήριο της σταθερότητας ενός πυρήνα είναι η Ενέργεια Συνδέσεως (Binding Energy, BE) (Tracy Jr 2012). Αυτή ορίζεται ως την διαφορά των ενεργειών που αντιστοιχούν στις μάζες των ελεύθερων και ανεξάρτητων νουκλεονίων και της μάζας των νουκλεονίων δεσμευμένα σε ένα συγκεκριμένο πυρήνα. Με το μοντέλο υγρής σταγόνας μπορεί να υπολογιστεί η μάζα ενός πυρήνα με μαζικό αριθμό A , αριθμό νετρονίων N και ατομικό αριθμό Z ως:

$$M(A,Z)c^2 = Zm_p c^2 + Nm_n c^2 - BE$$

όπου M η μάζα του πυρήνα, m_p , m_n η μάζες πρωτονίου και νετρονίου, αντίστοιχα και BE η ενέργεια συνδέσεως του πυρήνα, η οποία ταυτίζεται με την ελάχιστη ενέργεια που



Εικόνα 5 Οι Hans Bethe (πάνω) και Carl Friedrich von Weizsäcker (κάτω), πηγή: <https://en.wikipedia.org>

απαιτείται για να διασπαστεί ο πυρήνας στα συστατικά του. Υπενθυμίζεται ότι ο πολλαπλασιασμός με το τετράγωνο της ταχύτητας του φωτός προκύπτει από την συσχέτιση μάζας και ενέργειας από την εξίσωση του Einstein ($E=mc^2$). Επιπροσθέτως, ο πυρήνας θεωρείται σφαιρικός, άρα η ακτίνα και ο όγκος του μπορούν να υπολογιστούν συναρτήσει του μαζικού αριθμού A , ως $R=r_0A^{1/3}$, $r_0=1,25$ fm και $V= (4/3)\pi R^3$ η σχέση που δίνει τον όγκο του σφαιρικού πυρήνα.

Το μοντέλο υγρής σταγόνας πήρε την τελική του μορφή με την εισαγωγή της ημιεμπειρικής εξίσωση μάζας των Hans Bethe και Carl Friedrich von Weizsäcker (Εικ. 5), με την οποία υπολογίζεται η ενέργεια συνδέσεως ενός πυρήνα. Αυτή έχει μία σειρά από διαφορετικές συνεισφορές και οι όροι χωρίζονται σε σταθεροποιητικούς, οι οποίοι είναι

θετικοί και αυξάνουν την ενέργεια συνδέσεως και αποσταθεροποιητικούς, που είναι αρνητικοί και μειώνουν την ενέργεια συνδέσεως. Η εξίσωση Bethe-Weizsäcker είναι η κάτωθι:

$$BE(A, Z) = a_v A - a_s A^{\frac{2}{3}} - a_c \frac{Z(Z-1)}{A^{\frac{1}{3}}} - a_A \frac{(N-Z)^2}{A} + \delta(A)$$

$$\text{όπου } \delta(A) = \begin{cases} \frac{a_p}{A^{1/2}}, & N, Z \text{ άρτια} \\ 0, & N + Z \text{ περιττό} \\ -\frac{a_p}{A^2}, & N, Z \text{ περιττά} \end{cases}$$

Τα a_v , a_s , a_c , a_A και a_p είναι πειραματικές σταθερές με τιμές: $a_v = 15,56$ MeV, $a_s = 17,23$ MeV, $a_c = 0,7$ MeV, $a_A = 23,285$ MeV και $a_p = 11$ MeV. Οι σταθερές αυτές υπολογίζονται έτσι ώστε η εξίσωση να αναπαράγει τα πειραματικά δεδομένα σε όλο το φάσμα των πυρηνικών μαζών. Η κατασκευή μίας θεωρίας με σταθερές που προσδιορίζονται από πειραματικά δεδομένα είναι η πλέον συνηθισμένη στην πυρηνική φυσική και ονομάζεται Φαινομενολογική προσέγγιση.

Οι όροι της εξίσωσης Bethe-Weizsäcker αποτελούν αναπαράσταση της συνολικής ενέργειας συνδέσεως του πυρήνα και η φυσική τους σημασία έχει ως ακολούθως:

A) Όρος όγκου

Όπως προαναφέρθηκε, κάθε νουκλεόνιο εντός ενός πυρήνα αλληλεπιδρά με τα γειτονικά του, λόγω της μικρής εμβέλειας της πυρηνικής αλληλεπίδρασης. Εξαιτίας αυτού η ενέργεια συνδέσεως ανά νουκλεόνιο θα είναι περίπου σταθερή και ανάλογη του αριθμού τους, A , καθώς το κάθε νουκλεόνιο έχει περίπου τον ίδιο αριθμό γειτονικών, άρα προσφέρει ίδιο ποσό ενέργειας, συνεπώς θα είναι και ανάλογη του όγκου. Η ποσότητα αντικατοπτρίζει την ενέργεια ενός νουκλεονίου που συνδέεται με τα γειτονικά του. Ο όρος όγκου είναι ο κύριος σταθεροποιητικός όρος που συνεισφέρει στην συνολική ενέργεια συνδέσεως.

B) Όρος επιφάνειας

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, σύμφωνα με το μοντέλο υγρής σταγόνας τα νουκλεόνια στην επιφάνεια του πυρήνα αλληλεπιδρούν με λιγότερα γειτονικά νουκλεόνια. Συνεπώς η ενέργεια θα είναι μικρότερη από αυτή που προκύπτει από τον όρο όγκου και για αυτό προστίθεται και η διόρθωση αυτή. Ο όρος επιφάνειας είναι

αρνητικός και ανάλογος της επιφάνειας του πυρήνα. Εν γένει η επιφάνεια σχετίζεται με το τετράγωνο της ακτίνας και εξ' αιτίας αυτού ο μαζικός αριθμός εμφανίζεται στην δύναμη 2/3.

Γ) Όρος Coulomb

Ο όρος αυτός είναι επίσης αποσταθεροποιητικός και προκύπτει από την μείωση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ πρωτονίων εξαιτίας των απώσεων Coulomb. Θεωρείται ότι ο πυρήνας είναι μια θετικά φορτισμένη σφαίρα με ηλεκτροστατική ενέργεια Coulomb

$$E_C = \frac{3}{5} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z^2}{R}$$

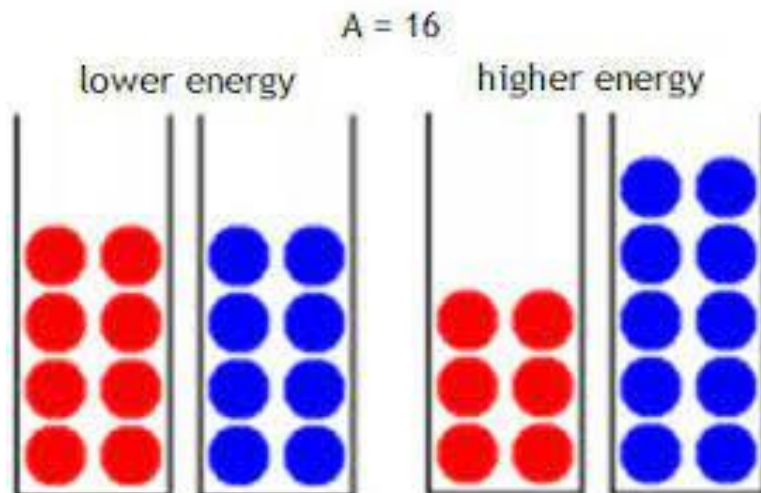
Η απόδειξη την ανωτέρω σχέσης βασίζεται σε βασικές έννοιες ηλεκτρομαγνητισμού (που πρόσφατα μπήκε στην ύλη της Γ' τάξης του ΓΕΛ) και μπορεί να βρεθεί στις διαλέξεις του Feynman . Αν θέσουμε την πυρηνική ακτίνα ως $R=r_0A^{1/3}$ και θεωρήσουμε την αλληλεπίδραση ενός πρωτονίου με όλα τα άλλα, προκύπτει η σχέση:

$$E_C = \frac{3}{5} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} = a_c \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}}$$

Δ) Όρος Ασυμμετρίας

Ο όρος αυτός έχει κβαντομηχανική προέλευση και απεικονίζει την μειωμένη ενέργεια συνδέσεως που εμφανίζουν οι πυρήνες όπου $N \neq Z \neq A/2$ σε σχέση με τους συμμετρικούς πυρήνες ($N=Z$). Τα πρωτόνια και τα νετρόνια (όπως θα αναλυθεί και παρακάτω) και

συνεπώς ακολουθούν την απαγορευτική αρχή του Pauli, κατά την οποία δύο ίδια σωματίδια (φερμιόνια) με ίδιους κβαντικούς αριθμούς δεν μπορούν να συνυπάρξουν στο ίδιο ενεργειακό επίπεδο



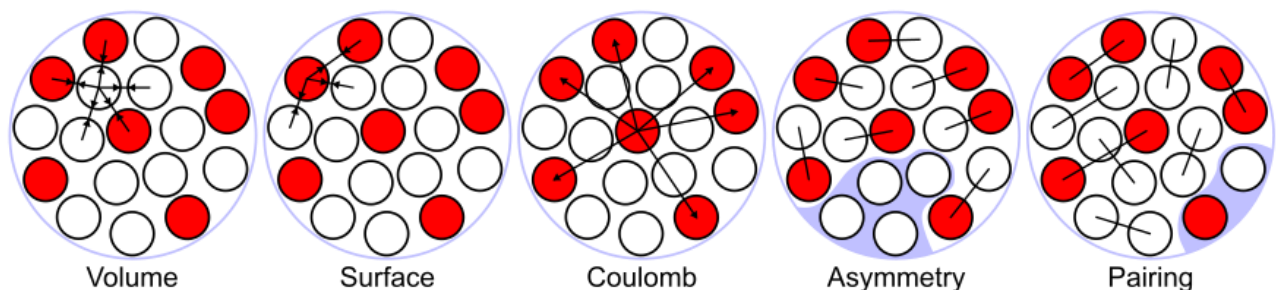
Σχήμα 5 Αναπαράσταση του όρου ασυμμετρίας

(τροχιακό). Θεωρώντας πως τα νουκλεόνια κατανέμονται ανά είδος σε συγκεκριμένες

ενεργειακές καταστάσεις ανά δύο (Σχ.5), με αντιπαράλληλα spin, υπακούοντας την απαγορευτική αρχή του Pauli, παρατηρούμε ότι στην περίπτωση όπου $N \neq Z$, η μέγιστη ενεργειακή κατάσταση στην οποία θα βρίσκεται το ένα είδος νουκλεονίων θα είναι υψηλότερη από του άλλου. Αυτό συμβαίνει διότι τα επιπλέον νουκλεόνια θα καταλαμβάνουν, υψηλότερες ενεργειακές καταστάσεις αποσταθεροποιώντας τον πυρήνα, ως προς αυτόν με $N=Z$. Αυτή η αναπαράσταση φαίνεται και σχηματικά στην δίπλα εικόνα.

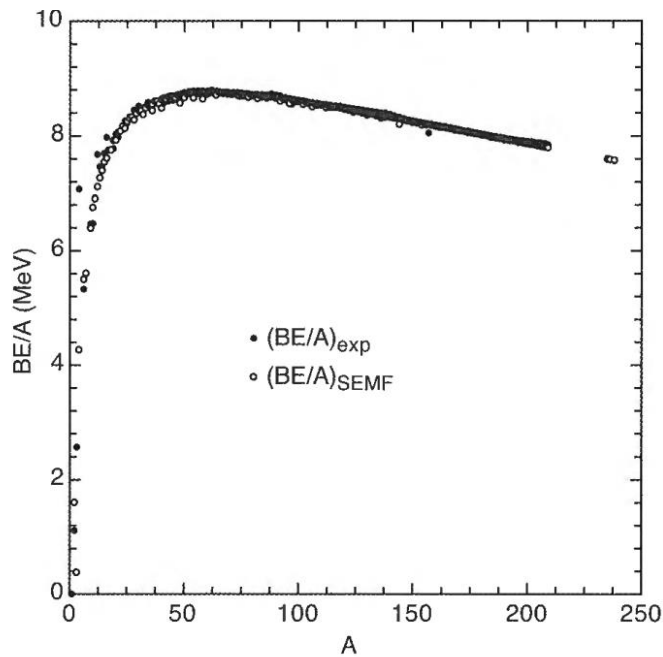
Ε) Όρος σύζευξης

Ο τελευταίος όρος έχει επίσης κβαντομηχανική προέλευση και αντιπροσωπεύει την σταθερότητα ενός πυρήνα και την εξάρτηση της με την σύζευξη των νουκλεονίων. Τα νουκλεόνια σε μια ενεργειακή κατάσταση έχουν την τάση να συζευγνύονται (Σχ. 6). Η συνεισφορά της σύζευξης είναι θετική όταν οι αριθμοί πρωτονίων και νετρονίων είναι άρτιοι, και συνεπώς όλα τα νουκλεόνια είναι συζευγμένα μεταξύ τους, αρνητική όταν και τα δύο N, Z είναι περιττά και μηδενική όταν το ένα μόνο από τα δύο είναι άρτιο, άρα το άθροισμα τους είναι περιττό. Από τα σταθερά νουκλίδια το μεγαλύτερο ποσοστό είναι άρτια-άρτια και ακολουθούν τα άρτια-περιττά, ενώ μόνο τέσσερις περιττοί-περιττοί πυρήνες είναι σταθεροί.



Σχήμα 6 Γραφική Αναπαράσταση των όρων της εξίσωσης BW, πηγή: (Cottingham, W., Greenwood, D. 2001)

Οι όροι της εξίσωσης Bethe-Weizsäcker (οι οποίοι φαίνονται σχηματικά στην ανωτέρω εικόνα) συνεισφέρουν στην ενέργεια σε διαφορετικό βαθμό με τον όρο όγκου

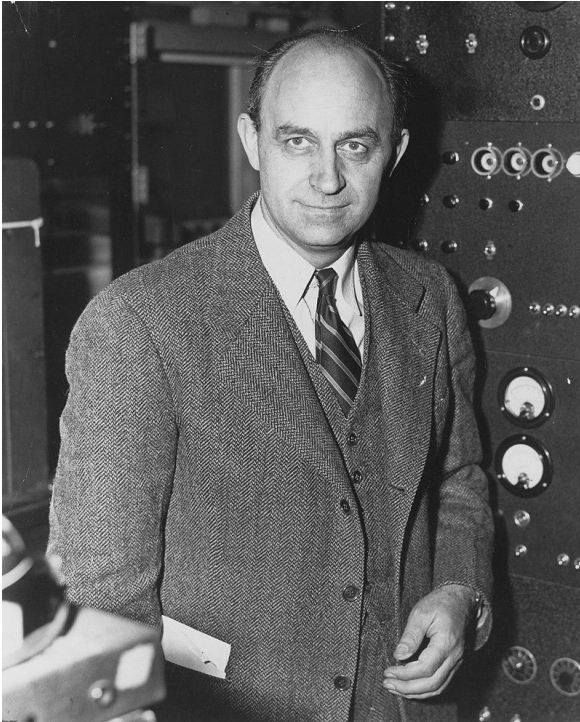


Σχήμα 7 Γραφική παράσταση της ενέργειας συνδέσεως ανά νουκλεόνιο συναρτήσεως του μαζικού αριθμού πηγή: (Wong 2008)

να έχει τον πιο σημαντικό ρόλο και να σταθεροποιεί τον πυρήνα. Μέσω της ημιεμπειρικής εξίσωσης μάζας μπορεί να καθοριστεί η σταθερότητα του πυρήνα, που υπολογίζεται από την ενέργεια συνδέσεως ανά νουκλεόνιο BE/A . Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η τιμή τόσο σταθερότερος και ο πυρήνας. Η μέγιστη τιμή της είναι περίπου 8,8 MeV και την κατέχει ο πυρήνας του σιδήρου-56. Το γράφημα της ενέργειας συνδέσεως ανά νουκλεόνιο συναρτήσεως του μαζικού αριθμού φαίνεται στο δίπλα σχήμα (Σχ. 7).

2.3 Το Πρότυπο του Αερίου Fermi (Fermi Gas)

Ο Enrico Fermi (Εικ. 60) υπήρξε ένας από τους μεγαλύτερους πρωτοπόρους της πυρηνικής και ήταν ο πρώτος επιστήμονας που κατασκεύασε έναν πυρηνικό αντιδραστήρα. Το



μοντέλο αερίου Fermi είναι ένα στατιστικό μοντέλο (Quarrie 1973) που περιγράφει τον πυρήνα ως μίγμα ανεξάρτητων, μη αλληλεπιδρώντων κβαντικών «αερίων». Σύμφωνα με αυτό, τα νουκλεόνια θεωρούνται ως σωματίδια διαφορετικών αερίων, του αερίου πρωτονίων και του αερίου νετρονίων, περιορισμένα στον σφαιρικό όγκο του πυρήνα. Τα σωματίδια αυτά κινούνται σχεδόν ελεύθερα μέσα στον πυρηνικό όγκο, ενώ ένα μεγάλο δυναμικό εμπόδιο τα εμποδίζει από το να βγουν εκτός του πυρήνα. Θεωρώντας ότι το

δυναμικό έχει την μορφή τετραγωνικού φρέατος, τα όμοια νουκλεόνια κατανέμονται σε κβαντισμένα ενεργειακά επίπεδα ανά δύο, σύμφωνα με την απαγορευτική αρχή του Pauli, όπου το κάθε επίπεδο έχει ενέργεια $E = T + U_0$, όπου T η κινητική ενέργεια και U_0 το δυναμικό του πυρήνα που ισούται περίπου με -45 MeV . Θεωρείται μάλιστα ότι τα νουκλεόνια κατανέμονται ομοιόμορφα στον σφαιρικό όγκο του πυρήνα με ακτίνα $R = r_0 A^{1/3}$ και το ίδιο και οι ορμές τους σε σφαίρα με ακτίνα την μέγιστη ορμή. Αυτή η μέγιστη ορμή ονομάζεται ορμή Fermi και για έναν πυρήνα με $N=Z$ δίνεται από την σχέση

$$p_F = \hbar \left(\frac{3\pi^2 \rho}{2} \right)^{1/3} \cong 265.7 \text{ MeV}/c$$

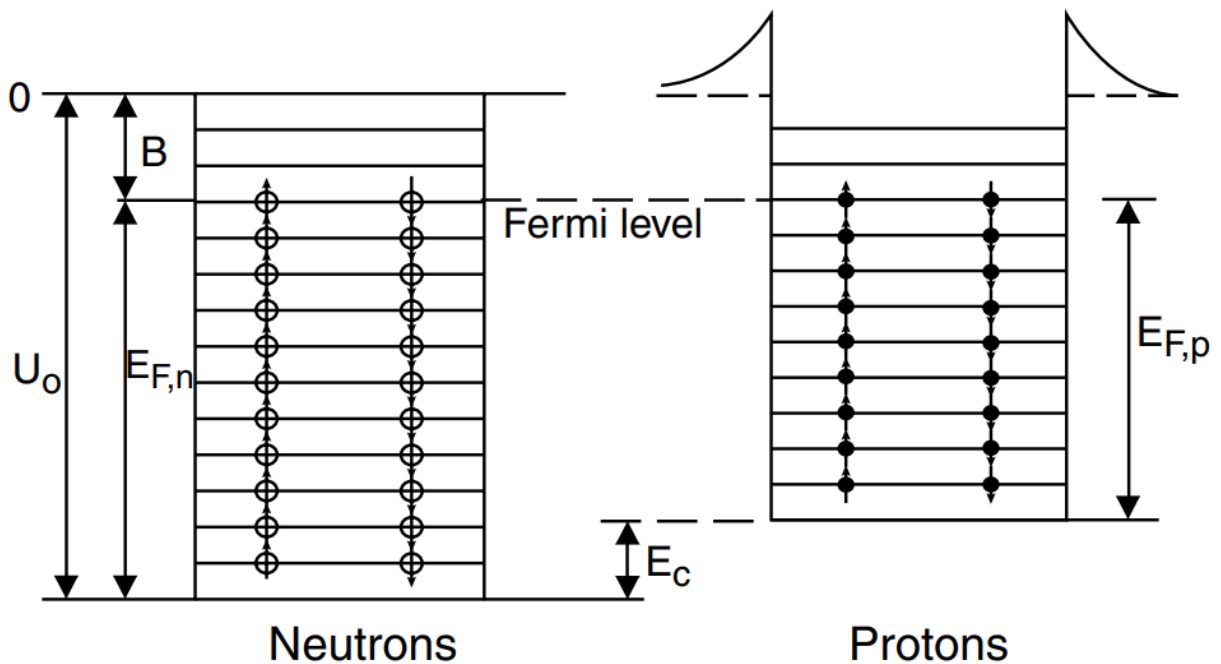
όπου \hbar είναι η σταθερά του Planck διαιρεμένη με 2π και ρ η μέση πυκνότητα του πυρήνα. Αυτή η πυκνότητα υπολογίζεται ως

$$\rho = \frac{A}{V} = \frac{3A}{4\pi R^3} = \frac{3}{4\pi r_0^3} = 0.165 \text{ fm}^{-3}$$

Η αντίστοιχη μέγιστη κινητική ενέργεια ονομάζεται ενέργεια Fermi και αντιστοιχεί στο υψηλότερο κατειλημμένο ενεργειακό επίπεδο, που ονομάζεται επίπεδο Fermi. Για τους περισσότερους πυρήνες, η απόσταση του επιπέδου Fermi από την κορυφή του φρέατος είναι περίπου σταθερή και ισούται με BE/A . Η ενέργεια Fermi δίνεται από την σχέση

$$T_F = \frac{p_F^2}{2m} \cong 37.6 \text{ MeV}$$

Η μέση κινητική ενέργεια ενός νουκλεονίου στον πυρήνα δίνεται από την σχέση $\underline{T_F} = (3/5)T_F \cong 22.6 \text{ MeV}$. Το μοντέλο του αερίου Fermi, έχει καταφέρει με επιτυχία να ερμηνεύσει το φάσμα των πρωτονίων και των νετρονίων στις πυρηνικές αντιδράσεις, καθώς επίσης αποτελεί την βάση όλων των στατιστικών προσεγγίσεων του πυρήνα. Αυτές οι τεχνικές εφαρμόζονται κυρίως στις πυρηνικές αντιδράσεις βαρειών πυρήνων. Το πρότυπο φαίνεται σχηματικά στην παρακάτω εικόνα. (Σχ. 8)



Στο ανωτέρω διάγραμμα εμφανίζονται ξεχωριστά τα πηγάρια δυναμικού για τα πρωτόνια και τα νετρόνια. Αναγράφονται σε κάθε πηγάδι οι ενέργειες Fermi για τα πρωτόνια και τα νετρόνια (στην γενική περίπτωση όπου $N \neq Z$), το πυρηνικό δυναμικό, η ενέργεια συνδέσεως ανά νουκλεόνιο, καθώς και το επίπεδο Fermi. Το πηγάδι δυναμικού των πρωτονίων εμφανίζεται σε μεγαλύτερες ενέργειες από το πηγάδι των νετρονίων και έχει απωστικές απολήξεις εκτός του πυρήνα εξ' αιτίας των ηλεκτροστατικών απώσεων.

2.4 Το Μοντέλο των Φλοιών (Shell Model)

Η εξίσωση Bethe- Weizsäcker, που βασίστηκε στο μοντέλο υγρής σταγόνας, κατάφερε να δώσει μία πολύ καλή εξήγηση για την σταθερότητα των πυρήνων, όμως δεν μπόρεσε να εξηγήσει την ασυνήθιστα μεγάλη σταθερότητα που εμφανίζουν κάποιοι πυρήνες με συγκεκριμένο αριθμό νουκλεονίων. Μια πιο περίπλοκη θεωρία που προτάθηκε και εξηγούσε αυτό το φαινόμενο ήταν το μοντέλο το φλοιών, το οποίο λαμβάνει υπόψιν την απαγορευτική αρχή του Pauli για τα φερμιόνια και είναι ανάλογο με το ατομικό μοντέλο του Bohr . Το μοντέλο αυτό προτάθηκε αρχικά από τον Dmitry Ivanenko και αναπτύχθηκε, ανεξάρτητα, από του Eugene Paul Wigner, Maria Goepfert Mayer και J. Hans D. Jensen (Εικ.7), οι οποίοι τιμήθηκαν το 1963 με βραβείο Νόμπελ Φυσικής.



Εικόνα 6 (από αριστερά προς τα δεξιά) οι Dmitry Ivanenko, Maria Goepfert Mayer και Eugene Paul Winger, πηγή: <https://en.wikipedia.org>

Πριν αναλυθεί το μοντέλο των φλοιών είναι απαραίτητο να γίνει μία στοιχειώδεις εισαγωγή των βασικών εννοιών της κβαντικής μηχανικής. Η κβαντική μηχανική είναι ένας από τους βασικούς τομείς της φυσικής που βρίσκει εφαρμογή κυρίως σε συστήματα μορίων, ατόμων και υποατομικά σωματίδια. Ο πιο γνώριμος τομέας της φυσικής είναι βέβαια η κλασική μηχανική, που αναπτύχθηκε από το Newton. Αυτή είναι η «φυσική της καθημερινής ζωής», αφού εφαρμόζεται στα μακροσκοπικά αντικείμενα, όπως τα αυτοκίνητα, οι μπάλες και οι άνθρωποι που κινούνται, τα υγρά που ρέουν και οι πλανήτες που περιστρέφονται ελλειψειδώς. Η κλασική φυσική, αν και καταφέρνει να προβλέψει της περισσότερες ιδιότητες των μακροσκοπικών αντικείμενων, αδυνατεί να εξηγήσει την συμπεριφορά των μικροσκοπικών σωματιδίων. Αυτό άρχισε να γίνεται προφανές στα τέλη του 19^{ου} αιώνα, με την θεωρία της κβάντωσης του φωτός από τον Max Planck. Σε πλήρη

αντίθεση με τις υπαγορεύσεις της κλασικής φυσικής, ο Planck θεώρησε ότι το φως δεν έχει μόνο κυματική φύση, αλλά αποτελείται και από δέσμη από σωματίδια-κβάντα που ονομάζονται φωτόνια. Την σωματιδιακή φύση του φωτός επιβεβαίωσε και ο Einstein με την εξήγηση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου (το φαινόμενο όπου φωτόνια που προσπίπτουν σε πλάκα μετάλλου αποσπούν ηλεκτρόνια από την επιφάνειά του). Η ιδέα της κβάντωσης της ενέργειας (του γεγονότος δηλαδή ότι η ενέργεια των μικροσκοπικών σωματιδίων μπορεί να πάρει μόνο συγκεκριμένες τιμές και δεν έχει ένα συνεχές φάσμα) αποτέλεσε και την βασική ιδέα του προτύπου του ατόμου του υδρογόνου από τον Niels Bohr στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Το επόμενο μεγάλο λογικό άλμα ήρθε από τους De Broglie και Heisenberg. Ο μεν De Broglie υπέθεσε (σωστά) ότι αν το φως, το οποίο θεωρούνταν ως κύμα, έχει και σωματιδιακή φύση, θα πρέπει και τα μικροσκοπικά σωματίδια να έχουν και αυτά με την σειρά τους κυματική φύση. Πρότεινε μάλιστα μία σχέση για το μήκος κύματος λ ενός κινούμενου σώματος με ορμή p :

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

όπου h είναι η σταθερά του Planck. Η κυματική συμπεριφορά των σωματιδίων επιβεβαιώθηκε αργότερα με την παρατήρηση της περίθλασης των ηλεκτρονίων, ιδιότητα στην οποία βασίζεται και η ηλεκτρονική μικροσκοπία. Ο Heisenberg από την άλλη, απέδειξε ότι εφόσον κάθε σωματίδιο είναι ταυτόχρονα και κύμα, η ορμή και η θέση του είναι αδύνατο να προσδιοριστούν ταυτόχρονα με ακρίβεια. Έδειξε μάλιστα ότι το γινόμενο των αβεβαιοτήτων της θέσης δx και της ορμής δp , θα πρέπει να έχουν μία ελάχιστη τιμή

$$\delta x \delta p \geq \hbar/2$$

Η ανωτέρω σχέση ονομάστηκε Αρχή της Απροσδιοριστίας και η πρόταση της διατάραξε συθέμελα τη ντετερμινιστική προσέγγιση της κλασικής φυσικής. Το φυσικό ακόλουθο όλων αυτών των μεγάλων ανακαλύψεων ήταν σαφώς η πλήρης θεμελίωση της κβαντικής φυσικής, η οποία έγινε από τον Schrodinger. Εκείνος κατασκεύασε μία μαθηματική εξίσωση (η οποία φέρει και το όνομά του) της οποίας οι λύσεις είναι οι συναρτήσεις Ψ , που έχουν ως ορίσματα τις μεταβλητές του χώρου και του χρόνου. Αυτές ονομάζονται κυματοσυναρτήσεις και κάθε μία από αυτές αντιστοιχεί σε ένα ενεργειακό επίπεδο. Οι κυματοσυναρτήσεις που αντιστοιχούν στο ίδιο ενεργειακό επίπεδο ονομάζονται εκφυλισμένες. Οι συναρτήσεις αυτές δεν έχουν οι ίδιες καμία φυσική

σημασία, όμως το τετράγωνό τους (ή το τετράγωνο του μιγαδικού μέτρου τους αν θέλουμε να είμαστε τεχνικά σωστοί) είναι ανάλογο της πιθανότητας ενός σώματος να βρεθεί σε μία θέση. Σε ένα δέσμιο σύστημα, όπως το άτομο ή ο πυρήνας, οι κυματοσυναρτήσεις του κάθε σωματιδίου ονομάζονται και τροχιακά και χαρακτηρίζονται από κβαντικούς αριθμούς. Ο κάθε κβαντικός αριθμός αντιστοιχεί σε ένα διατηρούμενο μέγεθος, όπως υπαγορεύει το θεώρημα της Nether (Bertulani 2007) και οι τιμές του εξαρτώνται από τη φύση του προβλήματος. Οι πιο συνηθισμένοι κβαντικοί αριθμοί είναι ο $n = 1, 2, \dots$ που αντιστοιχεί στην ενέργεια, ο $l = 0, 1, 2, \dots$ που αντιστοιχεί στο μέτρο της στροφορμής του σωματιδίου εξ' αιτίας της κίνησης και ο $m_l = 0, \pm 1, \dots, \pm l$ που αντιστοιχεί στην z-συνιστώσα της προαναφερόμενης στροφορμής. Εκτός από την στροφορμή εξ' αιτίας της κίνησης, στην κβαντομηχανική υπάρχει και μία επιπλέον στροφορμή που δεν έχει κλασικό ανάλογο. Αυτή ονομάζεται spin και έχει έναν κβαντικό αριθμό για το μέτρο $s = 1/2$ (για τα νουκλεόνια) και έναν αριθμό για την z-συνιστώσα $m_s = \pm 1/2$. Αν οι δύο στροφορμές συνδυαστούν, τότε μπορεί να υπάρξει το μέγεθος της ολικής στροφορμής με κβαντικούς αριθμούς $j = l+s, \dots, |l-s|$ και $m_j = -j, \dots, j$ για το μέτρο και την z-συνιστώσα αντίστοιχα. Κάθε σύνολο πιθανών κβαντικών αριθμών αντιστοιχεί σε μία διαφορετική κυματοσυνάρτηση. Η τελευταία κβαντική αρχή που μας ενδιαφέρει στην παρούσα εργασία, εισάχθηκε από τον Pauli και ονομάζεται απαγορευτική αρχή. Βάσει αυτής, είναι αδύνατο δύο σωματίδια (φερμιόνια) να έχουν το ίδιο σύνολο κβαντικών αριθμών. Έτσι, κάθε τροχιακό μπορεί να καταληφθεί το πολύ από δύο σωματίδια με αντιπαράλληλα spin (δηλαδή με αντίθετες τιμές του m_s). Μερικοί από τους θεμελιωτές της κβαντικής φυσικής φαίνονται στις κάτωθι φωτογραφίες. (Εικ. 8)



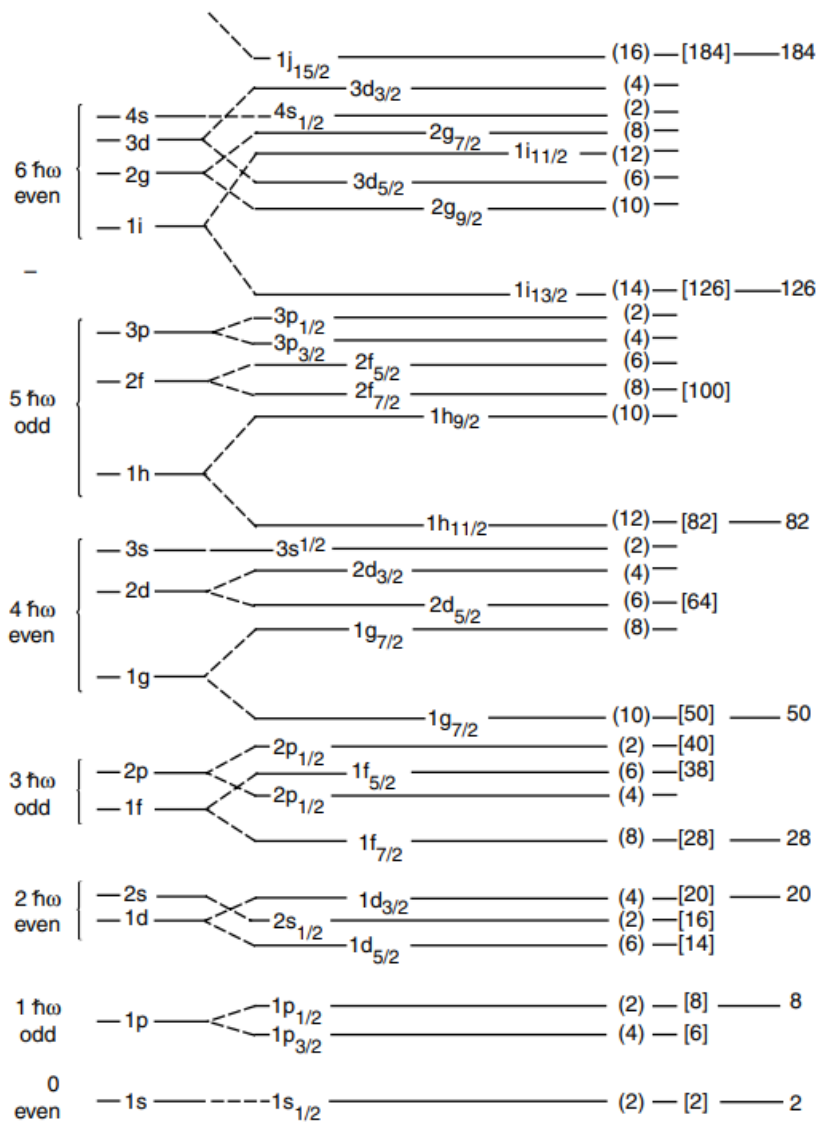
Εικόνα 7 (Από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω) οι Max Planck, De Broglie, Heisenberg, Schrodinger, Pauli και Niehls Bohr, πηγή: <https://en.wikipedia.org>

Στο μοντέλο των Φλοιών θεωρούμε ότι τα νουκλεόνια ενός πυρήνα κατανέμονται σε ενεργειακά επίπεδα. Τα επίπεδα με κοντινές ενέργειες σχηματίζουν φλοιούς, αντίστοιχους με τις στιβάδες των ηλεκτρονίων, και συνεπώς τα νουκλίδια με συμπληρωμένους φλοιούς θα είναι σταθερότερα (όπως τα ευγενή αέρια στο ατομικό μοντέλο). Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι σε αυτό το μοντέλο οι φλοιοί των πρωτονίων δεν αναμειγνύονται με αυτούς των νετρονίων. Τα ενεργειακά επίπεδα των φλοιών δεν κατανέμονται ομοιόμορφα αλλά εμφανίζουν πυκνώματα και αραιώματα. Συνεπώς, ως φλοιός ορίζεται το σύνολο των ενεργειακών επιπέδων που απέχουν σημαντικά από τα υπόλοιπα. Πλήρως συμπληρωμένοι φλοιοί εμφανίζονται σε συγκεκριμένους αριθμούς νουκλεονίων, 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126, που ονομάζονται μαγικοί αριθμοί. Για μεγαλύτερους αριθμούς νουκλεονίων οι μαγικοί αριθμοί διαφέρουν ανάμεσα σε πρωτόνια και νετρόνια καθώς με την αύξηση του Z γίνεται σημαντικότερη η αλληλεπίδραση Coulomb ανάμεσα στα πρωτόνια.

Σε αντιστοιχία με το ατομικό μοντέλο, τα νουκλεόνια συμπληρώνονται στα πυρηνικά τροχιακά ξεκινώντας από το χαμηλότερο ενεργειακό επίπεδο. Τα πυρηνικά τροχιακά εκφράζουν μόνο ενεργειακές διαφορές και όχι την κίνηση και θέση τους στον χώρο. Οι στιβάδες που προκύπτουν είναι:

$(1s_{1/2}) | (1p_{3/2}) (1p_{1/2}) | (1d_{5/2}) (2s_{1/2}) (1d_{3/2}) | (1f_{7/2}) | (2p_{3/2}) (1f_{5/2}) (2p_{1/2}) (1g_{9/2}) |$
 ...

Τα πυρηνικά τροχιακά συμβολίζονται με παρόμοιο τρόπο με τα ατομικά, με τους κβαντικούς αριθμούς τους: $(nL_j)^{2j+1}$, όπου n ο αύξων αριθμός του τροχιακού, L ο κβαντικός αριθμός του μέτρου της τροχιακής στροφορμής και L ο κβαντικός αριθμός του μέτρου της τροχιακής στροφορμής. Το μοντέλο των φλοιών είναι το πιο διαδεδομένο μοντέλο περιγραφής του πυρήνα και δίνει αρκετά καλά αποτελέσματα για ελαφρείς και μεσοβαρείς πυρήνες. Βάσει αυτού εξηγείται σε μεγάλο βαθμό οι σταθερότητα, η σχάση και οι ηλεκτρομαγνητικές ιδιότητες των πυρήνων (Prussin. 2007). Το διάγραμμα των πρώτων μαγικών αριθμών και επιπέδων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. (Σχ. 9)



Σχήμα 8 Τα ενεργειακά επίπεδα του μοντέλου των φλοιών, πηγή: (Wong 2008)

2.5 Ραδιενέργεια και Διασπάσεις

Η ακτινοβολία είναι κάθε δέσμη φωτός ή μικροσκοπικών σωματιδίων και η ιονίζουσα ακτινοβολία είναι αυτή που έχει αρκετά μεγάλη ενέργεια για να αποσπάσει ηλεκτρόνια από την ύλη. Ως ραδιενέργεια ορίζεται η απώλεια ενέργειας ασταθούς πυρήνα προς σταθερότερο, με ταυτόχρονη εκπομπή σωματιδίων ιονίζουσας ακτινοβολίας. Η διάσπαση ενός ισοτόπου μέσω οποιασδήποτε πυρηνικής διάσπασης, ακολουθεί κινητική πρώτη τάξεως, όπως φαίνεται και από τον νόμο διασπάσεων:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

όπου N ο αριθμός των πυρήνων που δεν έχουν υποστεί διάσπαση, N₀ ο αριθμός των

αρχικών πυρήνων, t ο χρόνος και λ , η σταθερά ραδιενεργού διασπάσεως. Η σταθερά αυτή έχει συγκεκριμένη τιμή για κάθε πυρήνα και εκφράζει την πιθανότητα διασπάσεως ανά μονάδα χρόνου:

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

Σημαντικό μέγεθος για την διάσπαση ενός πυρήνα είναι, επίσης, ο χρόνος ημιζωής (half life) του, $t_{1/2}$, δηλαδή ο χρόνος που απαιτείται για να διασπαστούν οι μισοί πυρήνες από έναν αρχικό πληθυσμό πυρήνων ενός ισότοπου, καθώς και ο μέσος χρόνος ζωής (mean life) που είναι η μέση τιμή του χρόνου ενός ραδιονουκλιδίου πριν από την διάσπαση του. Αυτό το μέγεθος συνδέεται με τον μέσο χρόνο ζωής του τ , ως

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \ln 2$$

Η ενέργεια των πυρηνικών διασπάσεων εκφράζεται με το μέγεθος Q-value. Το Q-value ορίζεται ως η διαφορά των μαζών των αντιδρώντων μείον των προϊόντων και ισούται με την διαφορά της κινητικής ενέργειας των προϊόντων ως προς τα αντιδρώντα. Εάν τα αντιδρώντα θεωρηθούν ακίνητα, το Q-value αντιστοιχεί στην κινητική ενέργεια των προϊόντων. Για παράδειγμα, θεωρώντας την διάσπαση $Y \rightarrow X + G$

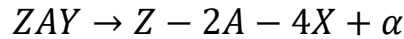
$$Q = (m_Y - m_X - m_G)c^2 = \Delta T$$

Τα Q-values των διαφόρων αντιδράσεων είναι πολύ σημαντικές ποσότητες και εκφράζουν επίσης εάν μια αντίδραση είναι εξώθερμη ή όχι. Σε αντίθεση με το ΔH των χημικών αντιδράσεων, μία πυρηνική διεργασία είναι εξώθερμη όταν ισχύει $Q > 0$ και ενδόθερμη για $Q < 0$. Το Q-value μπορεί να εκφραστεί και μέσω των ενεργειών συνδέσεως της αρχικής και τελικής κατάστασης μιας αντίδρασης:

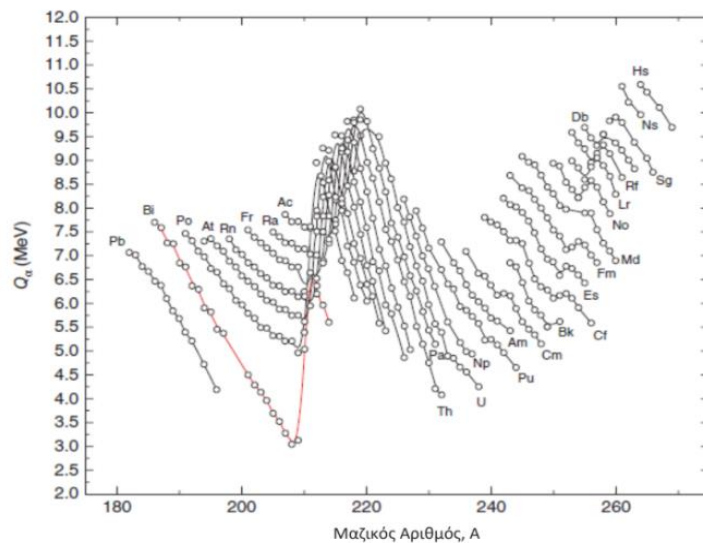
$$Q = BE_f - BE_i$$

Υπάρχουν τρία βασικά είδη ραδιενεργών διασπάσεων η α , β και γ . Μία από τις πρώτες πυρηνικές διεργασίες που μελετήθηκαν ήταν η α διάσπαση, κατά την οποία ένας πυρήνας μετατρέπεται σε έναν ελαφρύτερο με την εκπομπή ενός σωματιδίου α . Τα σωματίδια α παρατηρήθηκαν πρώτη φορά από τον Ernest Rutherford το 1899, ο οποίος κατηγοριοποίησε την ραδιενέργεια σε τρεις διαφορετικές μορφές άλφα, βήτα, γάμα,

ανάλογα με τα σωματίδια που εκπεμπόντουσαν και ονόμασε το λιγότερο διεισδυτικό, σωματίδιο α. Τα σωματίδια α αλληλεπιδρούν έντονα με τα ηλεκτρόνια του υλικού στο οποίο διεισδύουν και στα περισσότερα υλικά σταματούν μέσα στα πρώτα 100μm. Το 1907, βρέθηκε ότι το σωματίδιο α είναι στην πραγματικότητα δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια, δηλαδή ένας πυρήνας ${}^4_2\text{He}$, ο οποίος εξέρχεται από τον μητρικό (αρχικό) πυρήνα πλήρως ιοντισμένος,

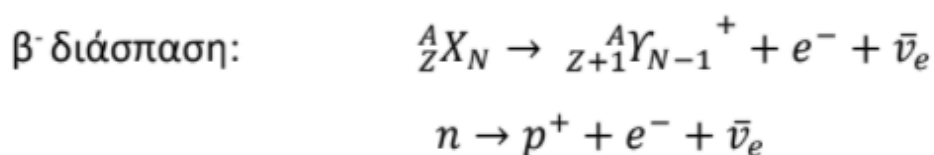


Η τιμή του Q-value της διάσπασης α εξαρτάται άμεσα από τον μαζικό αριθμό A. Για βαρείς πυρήνες, με $A \geq 150$, που θεωρούνται ασταθείς στην διάσπαση α, το Q γίνεται θετικό, ενώ για αρνητικές τιμές οι πυρήνες θεωρούνται σταθεροί και συνεπώς δεν πραγματοποιείται αυθόρμητη αντίδραση. Στην πραγματικότητα, όμως, αυθόρμητη εκπομπή σωματιδίων α εμφανίζουν μόνο πυρήνες με $A \geq 210$, διότι απαιτούνται μεγαλύτερες τιμές Q ώστε μέρος της να διατεθεί για τον διαχωρισμό του πυρήνα ηλίου από τον μητρικό. Οι συνήθεις τιμές του Q-value της α διασπάσεως κυμαίνονται από 4-9 MeV. Η α διάσπαση ευνοείται στους βαρύτερους πυρήνες καθώς η εκπομπή ενός α σωματιδίου οδηγεί στην σταθεροποίηση του πυρήνα, μειώνοντας τις απώσεις Coulomb μεταξύ των πρωτονίων, χωρίς να επηρεάζεται η ενέργεια συνδέσεως ανά νουκλεόνιο. Τα Q values αυξάνονται με την αύξηση του A, όμως σε πυρήνες με συμπληρωμένους φλοιούς παρατηρείται διατάραξη της ομαλής αύξησης, όπως φαίνεται στο κάτωθι διάγραμμα. (Σχ. 10)

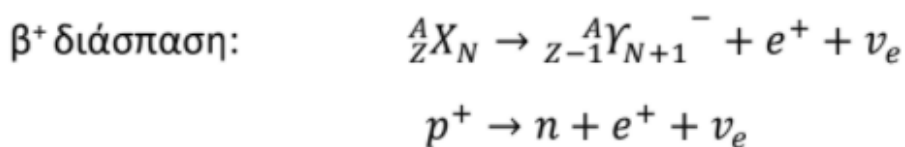


Σχήμα 10 Τα Q-values της α-διάσπασης συναρτήσει του μαζικού αριθμού, πηγή:(επεξεργασμένη) (N.Takigawa, K.Washiyama 2017)

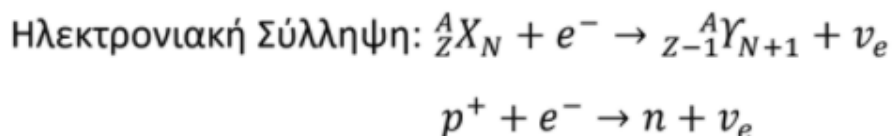
Ως β διάσπαση ορίζεται ο μηχανισμός με τον οποίον οι πυρήνες εξισορροπούν την αναλογία πρωτονίων-νετρονίων, χωρίς αλλαγή του μαζικού αριθμού. Οι ασταθείς πυρήνες που έχουν μεγαλύτερο αριθμό νετρονίων ή πρωτονίων σταθεροποιούνται μετατρέποντας ένα νετρόνιο σε πρωτόνιο ή ένα πρωτόνιο σε νετρόνιο εκπέμποντας μαζί τα αντίστοιχα ηλεκτρόνια και νετρίνα. Ο πρώτος μηχανισμός ονομάζεται β⁻ διάσπαση και ο δεύτερος β⁺, ενώ υπάρχει και ένας τρίτος μηχανισμός αντίστοιχος της β⁺ που ονομάζεται ηλεκτρονιακή σύλληψη (electron capture). Οι αντιδράσεις του κάθε μηχανισμού φαίνονται στο κάτωθι σχήματα. (Σχ11, 12, 13)



Σχήμα 11 Αντίδραση β⁻ διάσπαση



Σχήμα 12 Αντίδραση β⁺ διάσπαση

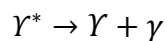


Σχήμα 13 Ηλεκτρονιακή Σύλληψη

Η β διάσπαση κατηγοριοποιήθηκε και πήρε το όνομα της από τον Ernest Rutherford, καθώς τα σωματίδια β (ηλεκτρόνια) είναι τα δεύτερα πιο διεισδυτικά από τις διασπάσεις (Cottingham, W., Greenwood, D. 2001). Η εκπομπή ηλεκτρονίων κατά την β διάσπαση έγινε εύκολα αντιληπτή, ενώ ο πλήρης μηχανισμός της εκπομπής εξηγήθηκε, πολύ αργότερα, με την εισαγωγή ενός καινούργιου, για την εποχή, σωματιδίου, του νετρίνου. Το νετρίνο προτάθηκε από τον Wolfgang Pauli, ως δεύτερο σωματίδιο που παράγεται κατά την β διάσπαση, αλλά δεν ανιχνεύεται, με σκοπό να μην παραβιάζονται οι νόμοι διατήρησης και να εξηγηθεί το φάσμα. Η ύπαρξη των νετρίνων επιβεβαιώθηκε πολλά χρόνια αργότερα, το 1956 από τους Clyde Cowan και Frederick Reines (Loveland,

W.D., Morrissey, D.J. Modern 2017). Το νεutrino που εκπέμπεται είναι ουδέτερο σωματίδιο, ώστε να διατηρείται το φορτίο, με πολύ μικρή μάζα, μικρότερη από την αβεβαιότητα των οργάνων κατά τις μετρήσεις (<10 eV), και για την διατήρηση του λεπτονικού αριθμού, στην β^- διάσπαση εκπέμπεται το αντισωματίδιο ($\bar{\nu}_e$), ενώ κατά β^+ διάσπαση εκπέμπονται νεutrino και ποζιτρόνιο (e^+), όπου το τελευταίο είναι το αντισωματίδιο του ηλεκτρονίου.

Τέλος, ως διάσπαση γ ορίζεται η αποδιέγερση ενός πυρήνα από μια διεγερμένη κατάσταση σε μία χαμηλότερη ενεργειακά κατάσταση του με εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Οι ακτίνες- γ είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, δηλαδή φωτόνια με ενέργεια της τάξεως του MeV και μεγαλύτερη. Η γ αποδιέγερση μπορεί να συμβεί σε συνδυασμό με α ή β διάσπαση. Η αποδιέγερση γ δεν προκαλεί καμία αλλαγή στο μαζικό ή ατομικό αριθμό του πυρήνα, μόνο μείωση της ενέργειας. Η αντίδραση είναι η κάτωθι

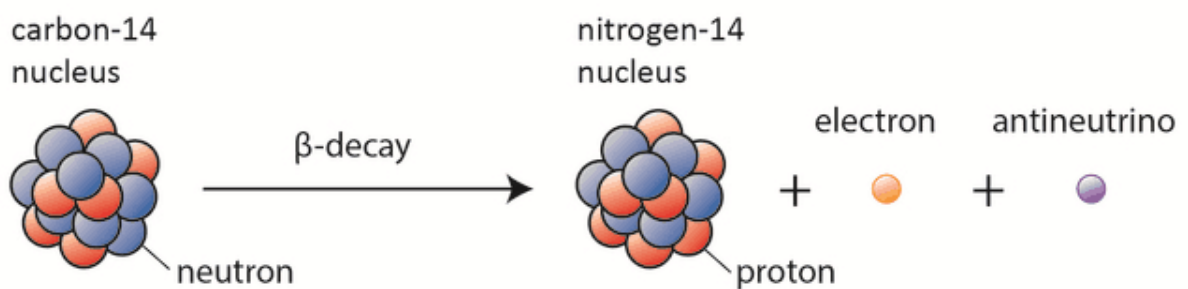


Κατά την αποδιέγερση γ , προκύπτουν 2 διαφορετικοί ανταγωνιστικοί μηχανισμοί με τους οποίους τα δομικά στοιχεία του πυρήνα αλληλεπιδρούν με το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Ο πρώτος είναι η μεταφορά ενέργειας, ορμής και στροφορμής μέσω ενός φωτονίου και ο δεύτερος μέσω ενός ατομικού ηλεκτρονίου που βρίσκεται κοντά στον πυρήνα. Ο τελευταίος μηχανισμός ονομάζεται εσωτερική μετατροπή. Η ενέργεια του πυρήνα μετά την αποδιέγερση είναι πολύ μικρότερη από την ενέργεια του φωτονίου. Γενικά, οι ενέργειες της γ διασπάσεως κυμαίνονται από μερικά keV σε MeV.

2.6 Ραδιοχρονολόγηση Άνθρακα-14

Η ραδιοχρονολόγηση με άνθρακα είναι μία κατηγορία τεχνικών χρονολόγησης που εφαρμόζεται μόνο δείγματα που κάποτε ήταν έμβια (λ.χ. δέρματα ζώων ή φυτά) και βρισκόταν σε ισορροπία με το περιβάλλον, λαμβάνοντας διοξείδιο του άνθρακα από τον αέρα. Η τεχνική βασίζεται στην μέτρηση της ακτινοβολίας από την β -διάσπαση του ραδιενεργού ισότοπου του άνθρακα-14. Ο άνθρακας που περιέχεται σε όλα τα έμβια όντα έχει ένα ποσοστό του προαναφερόμενου ραδιενεργού ισότοπου το οποίο παράγεται από τις κοσμικές ακτίνες. Τα πρωτόνια της κοσμικής ακτινοβολίας αντιδρούν πυρήνες στην ανώτερη ατμόσφαιρα, παράγοντας νετρονία τα οποία με τη σειρά τους βομβαρδίζουν το άζωτο, το κύριο συστατικό της ατμόσφαιρας. Αυτός ο βομβαρδισμός νετρονίων παράγει

το ραδιενεργό ισότοπο άνθρακα-14. Ο ραδιενεργός άνθρακας-14 συνδυάζεται με το οξυγόνο για να σχηματίσει διοξείδιο του άνθρακα και ενσωματώνεται στον κύκλο των ζωντανών όντων (Tracy Jr 2012). Ο άνθρακας -14 σχηματίζεται με ρυθμό που φαίνεται να είναι σταθερός, έτσι ώστε μετρώντας τις ραδιενεργές εκπομπές από δείγματα που ήταν κάποτε έμβια και συγκρίνοντας την ραδιενέργειά του τώρα που έχει νεκρωθεί με το αντίστοιχο επίπεδο ραδιενέργειας ισορροπίας των ζωντανών όντων, μπορεί να γίνει μια μέτρηση του χρόνου που έχει περάσει. Η αντίδραση διασπάσεως του άνθρακα-14 φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. (Σχ.14)



Σχήμα 14 Διαγραμματική απεικόνιση της β-διάσπασης του άνθρακα-14, πηγή: (Ebbing, D.D., Gammon, S.D. 2007)

Ο λόγος των πυρήνων του άνθρακα-14 ως προς τους ολικούς πυρήνες άνθρακα σε έναν έμβιο οργανισμό είναι περίπου $I_0=10^{-12}$. Ένας απλός ανιχνευτής β-ακτινοβολίας είναι σε θέση να μετρήσει την ραδιενέργεια, δηλαδή τον αριθμό των διασπάσεων στην μονάδα του χρόνου που εκφράζεται μέσω της ποσότητας λN ή ισοδυνάμως της I , όπου $t_{1/2}=\ln 2/\lambda=\tau \ln 2$ και $\tau=8267$ έτη για το συγκεκριμένο ισότοπο, ενώ I είναι ο λόγος των πυρήνων του άνθρακα-14 ως προς τους ολικούς πυρήνες άνθρακα την χρονική στιγμή της μέτρησης. Ο χρόνος που έχει παρέλθει από την στιγμή που το δείγμα νεκρώθηκε δίνεται από την σχέση (Ebbing, D.D., Gammon, S.D. 2007)

$$t = \tau \ln \ln \left(\frac{I_0}{I} \right)$$

Με αυτό τον τρόπο δύναται να μετρηθεί ο χρόνος που ένα ζωικό ή φυτικό δείγμα νεκρώθηκε και χρησιμοποιήθηκε από τους ανθρώπους στους αρχαίους χρόνους. Για την χρονολόγηση μη-έμβιων όντων όπως τα πετρώματα, χρησιμοποιούνται άλλες μέθοδοι χρονολόγησης με κάλιο ή ουράνιο. Όλες αυτές οι μέθοδοι όμως βασίζονται στην ίδια βασική αρχή.

3. Η Πυρηνική Επιστήμη στο πλαίσιο της Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης

3.1 Η κατάσταση σήμερα

Η πυρηνική επιστήμη εξακολουθεί να είναι ένα αμφιλεγόμενο ζήτημα και τις Περισσότερες φορές θεωρείται επικίνδυνη από ένα μεγάλο τμήμα του πληθυσμού. Αν και το εθνικό πρόγραμμα σπουδών του υπουργείου εξετάζει την πυρηνική φυσική στα μαθήματα της Χημείας και Φυσικής Γενικής Παιδείας της Α και Β Λυκείου αντίστοιχα, συχνά τα συγκεκριμένα κεφάλαια δεν είναι εντός της διδακτέας ύλης και δεν διερευνώνται σε βάθος, λαμβάνοντας υπόψη τον αντίκτυπο της και τις ευεργετικές εφαρμογές της στην καθημερινή μας ζωή (Choppin G.R., Liljenzin J.-O., RydbergJ. 2002). Χρήσιμες εφαρμογές του πεδίου είναι οι ιατρικές εξετάσεις(ακτινογραφίες, μαγνητικές τομογραφίες, PET κλπ),τα ραδιοφάρμακα (κυρίως αντικαρκινικά) και η παραγωγή «πράσινης ενέργειας».

Στην σύγχρονη κοινωνία τα σχολεία είναι υπεύθυνα για την παροχή τουλάχιστον των ελάχιστων γνώσεων από το πρόγραμμα σπουδών τους στους μαθητές, γεγονός που να τους επιτρέπει την ανάπτυξη δεξιοτήτων και ικανοτήτων τους με σκοπό μια καλή κατανόηση των συνθηκών της καθημερινότητάς τους. Πρέπει να καταστεί σαφές, ότι η των πυρηνικών αντιδράσεων και των εφαρμογών τους, είναι μέρος της σύγχρονης πραγματικότητας. Παρόλα αυτά, ακόμη και το ίδιο το εκπαιδευτικό προσωπικό πολλές φορές αγνοεί το θέμα και δεν είναι διατεθειμένο να το συζητήσουν σε βάθος στα πλαίσια του μαθήματος. Εστιάζοντας αφ' ενός αποκλειστικά στην τυπική ύλη του επίσημου προγράμματος σπουδών και αγνοώντας τελείως την διδακτέα ύλη, τα σχολεία φαίνεται να μεταδίδουν το ζήτημα σε επιφανειακό επίπεδο, χωρίς να αναπτύσσει την κριτική σκέψη που απαιτείται για την προετοιμασία των μαθητών για περαιτέρω έρευνες ή για συζήτηση πραγματικών ζητημάτων που αφορούν την πυρηνική τεχνολογία. Αφ' ετέρου, η πυρηνική τεχνολογία έχει αναπτυχθεί γρήγορα και έχει βελτιώσει τον τρόπο ζωής μας σε θέματα που αγγίζει κάθε έναν Έλληνα πολίτη, όπως η ασφάλεια τροφίμων η πυρηνική ιατρική και οι βιομηχανικές εφαρμογές. Το γεγονός ότι τα μαθήματα πυρηνικής επιστήμης παραμένουν σε ένα επιφανειακό επίπεδο δύναται να έχει πολλές αρνητικές συνέπειες (Choppin G.R., Liljenzin J.-O., RydbergJ. 2002), όπως αβάσιμες προκαταλήψεις και παραπληροφόρηση που οδηγούν το γενικό κοινό να συσχετίσει τις πυρηνικές τεχνικές

μόνο με μεγάλα ατυχήματα, όπλα μαζικής καταστροφής, επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία ή μόλυνση του περιβάλλοντος.

Οι νέες γενιές αναμένεται να συμμετάσχουν στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων που σχετίζονται με την κοινωνία μας στο άμεσο μέλλον, ένα μέλλον που μέρα με την μέρα κρίνεται όλο και περισσότερο από την πυρηνική ενέργεια. Με μόνο επιφανειακή γνώση του πεδίου και άγνοια για το ευρύ φάσμα των εφαρμογών του, θα καταστεί αδύνατο να γίνουν ποιοτικές συζητήσεις και να παρθούν αποφάσεις από τη νέα γενιά για την κατασκευή νέων ερευνητικών αντιδραστήρων, την πρόθεση αγοράς ακτινοβολημένων τροφίμων ή το εάν πρέπει να χρηματοδοτηθεί η παραγωγή πυρηνικής ενέργειας. Η σωστή και ολόπλευρη επιστημονική παιδεία είναι απαραίτητη για τη βελτίωση της κοινωνίας, την απομυθοποίηση της πυρηνικής επιστήμης και την καταπολέμηση της παραπληροφόρησης. Η βαθύτερη εκμάθηση της πυρηνικής επιστήμης έχει κάποιες συγκεκριμένες απαιτήσεις (Agency 2010), (IAEA 1968), όπως την πολύ - επιστημονική προσέγγιση και τον συγκερασμό της Φυσικής με τις επιστήμες της Χημείας, Γεωγραφίας, Ιστορίας, Βιολογίας και των Μαθηματικών. Οι εκπαιδευτικοί αναμένεται να διδάξουν τις πολύπλευρες διαστάσεις της πυρηνικής φυσικής στους μαθητές, βασιζόμενοι στις προηγούμενες εμπειρίες των μαθητών. Επιπροσθέτως πρέπει να οδηγήσουν στην «ανακάλυψη» της νέας γνώσης με βάση τα τελευταία επιστημονικά δεδομένα, καθιστώντας ταυτοχρόνως το πεδίο σχετικό με την καθημερινότητα. Συγχρόνως πρέπει να γίνει σαφές στους μαθητές ότι η πυρηνική φυσική μπορεί να καταστεί ιδιαίτερα επικίνδυνη αν δεν διαχειριστεί σωστά (Nuclear science teaching III: report of a Panel 1973). Για την αποφυγή καταστροφικών ατυχημάτων στο μέλλον επιβάλλεται η αντίληψη του κινδύνου, η αποδοχή και η διαχείρισή του να πηγάζει καθαρά και μόνο από την εκπαίδευση. Είναι επίσης απαραίτητο να εξετάζονται τα θέματα σε κοινωνικό πλαίσιο, όπως η θέση που έχει η πυρηνική ενέργεια στην σύγχρονη κοινωνία, συμπεριλαμβανομένων των κινδύνων και των οφελών της, η ακτινοβολήση τροφίμων σε κοινωνικό και οικονομικό επίπεδο και σε σύγκριση με άλλες τεχνικές συντήρησης ή η καταπολέμηση των ασθενειών που μεταδίδονται από τα κουνούπια και άλλα ζώα, σε μία εποχή πανδημιών. Είναι λοιπόν απαραίτητο κάθε πρόγραμμα σπουδών που εισάγει την πυρηνική επιστήμη να λαμβάνει υπόψιν τις εμπειρίες και τις εναλλακτικές ιδέες των μαθητών και τα θέματα που κινούν την περιέργειά τους και το ενδιαφέρον τους.

3.2 Προτάσεις για ένα «Πυρηνικό» Πρόγραμμα Σπουδών

Σύμφωνα με την Διεθνές Πρακτορείο Ατομικής Ενέργειας (International Atomic Energy Agency, IAEA) (Agency 2010) (IAEA 1968) ένα πλήρες πρόγραμμα σπουδών, όσον αφορά την Πυρηνική Φυσική, θα πρέπει να περιέχει τα ακόλουθα:

- Ιδιότητες και αντιδράσεις των πυρήνων: Πυρηνική Δομή και Ενέργεια. Ισότοπα, Ραδιενέργεια και σύνθεση νέων στοιχείων. Πυρηνική Δυναμική (Αντιδράσεις υψηλών και χαμηλών ενεργειών, σχάση και σύντηξη).
- Ατομική και Μοριακή Πυρηνική Επιστήμη: Θερμά Άτομα και Ραδιοχημεία. Επίδραση Ισοτόπων.
- Εφαρμοσμένη Πυρηνική Επιστήμη: Εφαρμογές ραδιοχρονολόγησης, μέτρησης ραδιενέργειας, ραδιοφάρμακα και αντιδραστήρες.

Συγκεκριμένα για μαθητές 16-18 ετών προτείνονται τα κάτωθι:

- Πυρηνικά μοντέλα: Αυτό το θέμα δείχνει πώς αναπτύσσονται τα πυρηνικά μοντέλα. Μοντέλο των Φλοιών και Σκέδαση του Rutherford. Προτείνεται πείραμα ή προσομοίωση αφού εξηγηθεί η ιστορική και φιλοσοφική πτυχή της κατασκευής μοντέλων στην επιστήμη.
- Ισότοπα: Αυτό το θέμα δίνει τις πιθανές παραλλαγές στο συνδυασμό πρωτονίων και νετρονίων στον πυρήνα. Φάσμα μάζα. Συνιστάται μια συζήτηση για την ανάπτυξη διαφορετικών τύπων φασματογράφου μάζας. Προτείνεται το Μακροσκοπικό αναλογικό μοντέλο ενός φασματομέτρου μάζας για επίδειξη.
- Ραδιενέργεια: Αυτό είναι ένα ουσιαστικό μέρος της ύλης για την κατανόηση του σύγχρονου κόσμου από έναν μαθητή. Τα θέματα της ραδιενέργειας προωθούν επίσης την ενοποίηση των επιστημονικών κλάδων (π.χ. ακτινοβολία, βιολογικές χρήσεις ραδιοϊσοτόπων).
- Πυρηνικές αντιδράσεις—συμπεριλαμβανομένης της σχάσης και της σύντηξης: Αυτό το θέμα τονίζει τον ενεργειακό εφοδιασμό των σύγχρονων κοινωνιών. Η αλλαγή από συμβατική σε πυρηνική ενέργεια έχει σημαντικές οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις. Οι πυρηνικές αντιδράσεις βοηθούν επίσης στην ανάπτυξη της έννοιας της ισοδυναμίας ενέργειας-μάζας βασικό αποτέλεσμα της σχετικότητας.

- Ανιχνευτές και οι Εφαρμογές τους: Αυτό το θέμα τονίζει τις μη-καταστροφικές χρήσεις της ατομικής ενέργειας, ιδιαίτερα στην ιατρική, τη γεωργία και τη βιομηχανία.
- Ραδιοχρονολόγηση: Αυτό το θέμα δίνει έμφαση στις αρχαιολογικές, ιστορικές και γεωλογικές εφαρμογές. Για αυτό το ηλικιακό επίπεδο κάποια αναφορά σε τεχνικές χρονολόγησης εκτός αυτής του άνθρακα-14 μπορεί να συζητηθεί.
- Επιδράσεις ακτινοβολίας: Αυτό το θέμα τονίζει τις βιολογικές επιπτώσεις της ακτινοβολίας. Οι κοινωνικές και οικονομικές πτυχές των πυρηνικών Προγραμμάτων θα πρέπει επίσης να συζητηθούν.

Ένα από τα μεγαλύτερα ερωτήματα για την ουσιαστική ένταξη της πυρηνικής επιστήμης στο πρόγραμμα σπουδών του Γενικού Λυκείου είναι σαφώς η ύπαρξη των εργαστηριακών υποδομών. Είναι δυστυχώς κοινό μυστικό ότι τα περισσότερα σχολεία στην σύγχρονη ελληνική πραγματικότητα είναι υπο - χρηματοδοτημένα και δεν διαθέτουν ούτε τις στοιχειώδεις εργαστηριακές διατάξεις. Σε ένα πρώτο επίπεδο θα πρέπει να τονιστεί ότι ο στοιχειώδης εξοπλισμός ενός σχολικού εργαστήριου, έχει γίνει σημαντικά φθηνότερος, ενώ λόγω της μεγάλης εξέλιξης της τεχνολογίας υπάρχουν πλέον αρκετοί σχετικά προσιτοί ανιχνευτές (λ.χ. σπινθηριστές πυριτίου ή πλαστικού). Επιπροσθέτως, στις περισσότερες πόλεις/νομούς υπάρχουν εκπαιδευτικά/ερευνητικά ιδρύματα (ΕΚΕΦΕ) τα οποία μπορούν να συνεργαστούν με τις τοπικές σχολικές μονάδες έτσι ώστε να διενεργηθούν απλά πειράματα επίδειξης ή με την συμμετοχή των μαθητών (ιδανικά). Σε αυτή την προσπάθεια κυρίαρχο ρόλο θα μπορούσε να διαδραματίσει το ΕΚΕΦΕ «Δημόκριτος», που αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα ερευνητικά ιδρύματα της χώρας με κοινωνικές και εκπαιδευτικές δράσεις, όπως την «Βραδιά του Ερευνητή». Ο «Δημόκριτος» βρίσκεται εκτός των άλλων στην αιχμή του δόρατος στην έρευνα της πυρηνικής φυσικής στην Ελλάδα, με κυρίαρχη στόχευση στις εφαρμογές στην ιατρική, την αρχαιολογία, την βιομηχανία και την συντήρηση αρχαιοτήτων/έργων τέχνης. Διαθέτει επίσης και τον μοναδικό ερευνητικό πυρηνικό αντιδραστήρα και γραμμικό Επιταχυντή στην χώρα μας, αν και προς το παρόν βρίσκονται σε ανενεργία, ενώ είναι και η έδρα πολλών μελών της Ελληνικής Εταιρείας Πυρηνικής Επιστήμης (Hellenic Nuclear Science Society, HnPS).

Λόγω των προαναφερόμενων δυσκολιών της διενέργειας εργαστηριακών πειραμάτων, αξίζει να αναλογιστούμε την ένταξη των νέων τεχνολογιών στην εκπαιδευτική διαδικασία, ειδικά σε μία περίοδο πανδημίας και εξ' αποστάσεως

εκπαίδευσης. Η αξία του διαδικτύου και των νέων τεχνολογιών στην εκπαιδευτική διαδικασία είναι σχεδόν προφανής. Με ελάχιστο εξοπλισμό και κόστος οι μαθητές είναι σε θέση να Προσομοιώσουν μία πληθώρα φαινομένων ακόμη και αυτών που ξεπερνούν τα όρια της σύγχρονης οργανολογίας. Υπάρχουν πολλές πηγές στο διαδίκτυο που προσφέρουν προγράμματα προσομοίωσης, ακόμη και ολοκληρωμένα εκπαιδευτικά σενάρια. Επιπλέον, τα νέα διαδικτυακά εργαλεία Web2.0 επιτρέπουν σχεδόν στον κάθε έναν με ελάχιστες γνώσεις υπολογιστών να κατασκευάσουν ιστοσελίδες και εφαρμογές προσομοίωσης. Επιγραμματικά αναφέρονται το υλικό του Μουσείου της Πυρηνικής Επιστήμης και Ιστορίας των Ηνωμένων Πολιτειών (Museum of Nuclear Science and History,), όπως και τα προγράμματα προσομοιώσεων PhET (<https://phet.colorado.edu/el/>) του πανεπιστημίου του Colorado. Οι δύο προαναφερόμενες πηγές είναι απολύτως δωρεάν.

3.3 Εκπαιδευτικό σενάριο : «Εξερευνώντας την Ραδιοχρονολόγηση»

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας κατασκευάστηκε μία ιστοεξερεύνηση με θέμα την ραδιοχρονολόγηση, με χρήση των κάτωθι εργαλείων

- *Weebly* :Πλατφόρμα σχεδίασης ιστοσελίδων.
- *quiz.me*: Πλατφόρμα σχεδίασης ερωτηματολογίων

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Πώς οι αρχαιολόγοι υπολογίζουν την χρονολογία που κατασκευάστηκαν διάφορα αντικείμενα; Πώς οι γεωλόγοι υπολογίζουν την ηλικία της γης ή των πετρωμάτων; Πώς γνωρίζουμε την ακριβή χρονολογία ενός παλαιωμένου οίνου, χωρίς να ανοιχθεί το μπουκάλι; Η απάντηση σε όλα τα προηγούμενα ερωτήματα είναι η ραδιοχρονολόγηση. Ραδιοχρονολόγηση είναι μία μέθοδος υπολογισμού της "ηλικίας" ενός δείγματος, με μέτρηση της περιεκτικότητάς του σε ένα συγκεκριμένο ισότοπο. Η μέτρηση της περιεκτικότητας βασίζεται στην μέτρηση της εκλυόμενης ακτινοβολίας και πραγματοποιείται με ειδικούς ανιχνευτές. Μετά το πέρας του παρόντος σεναρίου οι μαθητές θα μπορούν να περιγράψουν την βασική αρχή λειτουργίας της ραδιοχρονολόγησης, να αναφέρουν τεχνικές ραδιοχρονολόγησης με άνθρακα ^{14}C , τρίτιο και ουράνιο ^{238}U και τις εφαρμογές τους στην καθημερινότητα.

Τίτλος: «Εξερευνώντας την Ραδιοχρονολόγηση», Τάξη: Α' Λυκείου

Γνωστικές περιοχές: Χημεία Γενικής Παιδείας. Θα μπορούσε να υπάρξει συσχέτιση και με το μάθημα της ιστορίας ή/και των αρχαίων ελληνικών της Α' λυκείου. Το παρόν σενάριο παρόλα αυτά δεν είναι διαθεματικό.

Προαπαιτούμενες γνώσεις των μαθητών: Για την επιτυχή συμμετοχή στο παρόν σενάριο οι μαθητές θα πρέπει να γνωρίζουν τις έννοιες στοιχείο, ισότοπο, ακτινοβολία, ραδιενέργεια και πυρηνική διάσπαση. Επιπροσθέτως θα πρέπει να έχουν διδαχθεί την στοιχειώδη ατομική και πυρηνική δομή, καθώς και τις διασπάσεις α , β και γ . Η αντίστοιχη ύλη για τις προαναφερόμενες έννοιες βρίσκεται στα κεφάλαια 1 και 5 του βιβλίου της χημείας της Α' λυκείου. Τέλος θα πρέπει να είναι σε θέση να εκτελούν απλές αλγεβρικές πράξεις και να επιλύουν εξισώσεις πρώτου βαθμού, ικανότητες τις οι μαθητές έχουν αποκτήσει από τα μαθήματα της άλγεβρας του γυμνασίου και της Α' λυκείου.

Όσον αφορά τις γνώσεις σχετικά με την χρήση των υπολογιστικών μέσων, οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση να περιηγηθούν στο διαδίκτυο, να αναζητήσουν πληροφορίες, να συντάξουν μία εργασία και μία παρουσίαση σε word και power point αντίστοιχα. Συνήθως αυτές οι γνώσεις κατέχονται από μαθητές της Α' λυκείου, στην εποχή της πληροφορίας. Σε περίπτωση που αντιμετωπίσουν πρόβλημα παρόλα αυτά, ο διδάσκοντας θα πρέπει να είναι σε θέση να τους βοηθήσει.

Εκτιμώμενη Διάρκεια: Για την πλήρη διεξαγωγή του παρόντος σεμιναρίου απαιτούνται 2- 3 διδακτικές ώρες, δεδομένου ότι ο όγκος της αναζήτησης πληροφοριών θα γίνει εκτός των διδακτικών ωρών. Συσχετισμός με το Αναλυτικό Πρόγραμμα: Η ανάπτυξη του σεναρίου δεν ακολουθεί το σύνηθες αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών. Αυτό συμβαίνει διότι το 5^ο κεφάλαιο του βιβλίου της χημείας της Α' λυκείου, που σχετίζεται με την πυρηνική χημεία και έχει μία ενότητα αφιερωμένη στην ραδιοχρονολόγηση, είναι συνήθως εκτός της διδακτέας ύλης (όπως προαναφέρεται). Ανάλυση του περιεχόμενου: Κατά την διάρκεια του σεμιναρίου οι μαθητές θα διδαχθούν την αρχή λειτουργίας των ραδιοχρονολογικών μεθόδων με άνθρακα-14, ουράνιο-238 και τρίτιο. Επιπροσθέτως θα μάθουν την χρησιμότητα των ραδιοχρονολογικών μεθόδων, όπως και σημαντικές εφαρμογές τους στην αρχαιολογία, τη γεωλογία, την χημεία Περιβάλλοντος και την βιομηχανία τροφίμων.

ΟΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΑΝΤΙΛΗΨΕΙΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΤΩΝ

Βάσει της αναφοράς (C. Nakiboglu, B.B. Tekin 2006), οι βασικές εναλλακτικές αντιλήψεις

των μαθητών αναφορικά με την θεωρία και την πρακτική της ραδιοχρονολόγησης είναι οι εξής:

- Κάθε είδος ραδιενέργειας είναι επιβλαβές
- Κάθε ραδιενεργή πηγή είναι τεχνητή
- Αν ένα υλικό είναι ραδιενεργό κάποια χρονική στιγμή, τότε θα είναι για πάντα ραδιενεργό
- Οι πυρήνες με μεγάλο χρόνο ημιζωής είναι σταθεροί
- Τα ραδιοϊσότοπα χρησιμοποιούνται μόνο για παραγωγή ενέργειας γιατί είναι επιβλαβή
- Ο ρυθμός διασπάσεως μίας πηγής εξαρτάται από την φυσική κατάσταση του υλικού και την θερμοκρασία

Οι δραστηριότητες της ιστοεξερεύνησης και του σεμιναρίου συνολικά αποσκοπούν στην διόρθωση αυτών των ιδεών.

ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

Ο σκοπός του σεναρίου είναι η επίτευξη μίας σειράς γνωστικών, συναισθηματικών και ψυχοκινητικών στόχων καθώς και στόχων που αφορούν την χρήση των πολύ - μεσικών τεχνολογιών. Μετά το πέρας του σεμιναρίου οι μαθητές θα πρέπει να είναι σε θέση:

α) ως προς το γνωστικό αντικείμενο

1. Να αναφέρουν την αρχή λειτουργίας της ραδιοχρονολόγησης.
2. Να περιγράψουν τα βασικά χαρακτηριστικά των ραδιοχρονολογικών μεθόδων με ισότοπα άνθρακα-14, ουράνιο-238 και τρίτιο.
3. Να επιλύουν αριθμητικά προβλήματα εύρεσης χρονολογίας δείγματος, με δεδομένη ιστοπική μέθοδο και αναλογία αρχικής και τελικής ιστοπικής ποσότητας.
4. Να απαριθμούν εφαρμογές των ραδιοχρονολογικών μεθόδων.

β) ως προς τη μαθησιακή διαδικασία

1. Να αποκτήσουν θετική στάση απέναντι στις φυσικές επιστήμες και τον επιστημονικό τρόπο σκέψης.
2. Να αποκτήσουν ικανότητες σχετικές με τον επιστημονικό τρόπο σκέψης, όπως τον προβληματισμό, την υπόθεση και την καταγραφή παρατηρήσεων.
3. Να αποκτήσουν σεβασμό για την προσωπικότητα και την διαφορετικότητα των

άλλων.

4. Να αναπτύξουν πνεύμα συνεργασίας και ομαδικότητας.
5. Να συσχετίσουν τον τομέα της ραδιοχημείας με την καθημερινότητά τους.

γ) ως προς τη χρήση των ΤΠΕ

1. Να αξιολογούν την εγκυρότητα των επιστημονικών πηγών
2. Να συντάσσουν μία γραπτή εργασία και να διεξάγουν μία ολιγόλεπτη παρουσίαση
3. Να χειρίζονται τα βασικά προγράμματα του Microsoft Office με σκοπό την σύνταξη μίας επιστημονικής εργασίας.

ΔΙΔΑΚΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΥΛΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ

Υλικοτεχνική υποδομή: Για την διεξαγωγή της ιστοεξερεύνησης απαιτείται τουλάχιστον ένας υπολογιστής και ένας προβολέας, αν η αναζήτηση των πληροφοριών γίνει εκτός των σχολικών ωρών. Ιδανικά η ιστοεξερεύνησης διεξάγεται στο εργαστήριο Πληροφορικής του σχολείου, αν αυτό υπάρχει, όπου η κάθε ομάδα έχει τουλάχιστον από έναν υπολογιστή.

Διδακτικό υλικό: Στα πλαίσια του παρόντος σεμιναρίου αναπτύχθηκε μία ιστοεξερεύνηση (weebly) που δίνει την δυνατότητα στους μαθητές να μάθουν την νέα γνώση μέσω της διερεύνησης, ενώ χρησιμοποιούνται και προσομοιώσεις Phet του πανεπιστημίου του Colorado. Επιπροσθέτως αναπτύχθηκαν ερωτηματολόγια (quiz.me) για την σωστή αξιολόγηση της εκπαιδευτικής διαδικασίας . Τέλος αναπτύχθηκε φύλλο εργασίας για την καλύτερη ανάλυση των πληροφοριών που θα συλλέξουν οι μαθητές κατά την διάρκεια της ιστοεξερεύνησης.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕΝΑΡΙΟΥ

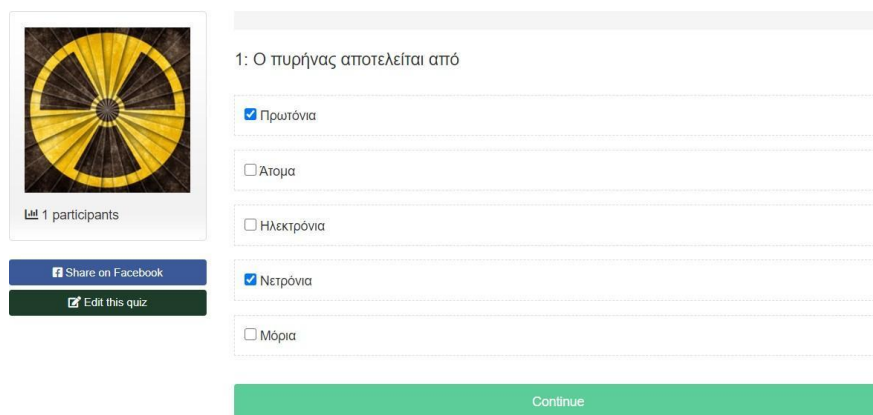
Οργάνωση τάξης: Η τάξη χωρίζεται σε τρεις ομάδες. Ιδανικά η κάθε ομάδα θα πρέπει να διαθέτει έναν υπολογιστή και να υπάρχει διαθέσιμος και ένας προβολέας και ένας υπολογιστής για τον διδάσκοντα. Η κάθε ομάδα συμμετέχει ξεχωριστά στην ιστοεξερεύνηση και παρουσιάζει διαφορετική τελική εργασία. Διδακτικές προσεγγίσεις και στρατηγικές: Για το παρόν σενάριο επιλέγεται το μοντέλο της Καθοδηγούμενης Ανακάλυψης. Το μοντέλο αυτό δίνει την δυνατότητα ανάπτυξης των μαθητών σε πολλαπλά επίπεδα (οργανωτικό, αναλυτικό, παραγωγικό), ενώ Επιτυγχάνει την ανάπτυξη του ψυχοκινητικού και συναισθηματικού τομέα, σε αντίθεση με το παραδοσιακό μοντέλο. Επιπροσθέτως κεντρίζεται το ενδιαφέρον των μαθητών μέσω της ιστοεξερεύνησης στην οποία συμμετέχουν. Έτσι δύναται να βελτιωθεί η στάση τους απέναντι στις φυσικές επιστήμες, κάτι που δεν επιτυγχάνεται με την εποικοδόμηση. Το μοντέλο της ανακάλυψης στηρίζεται α) στην αναπτυξιακή θεωρία του Piaget, κατά την οποία η μάθηση επιτυγχάνεται με την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον, σε προκαθορισμένα στάδια και οργανώνεται σε νοητικές δομές (σχήματα), β) στην εργασία του Bruner, στην οποία υποστηρίζεται η εκμάθηση επιστημονικών δεξιοτήτων μέσω ερευνών, γ) στην εργασία του Schwab στην οποία δίνεται μεγάλη σημασία στην διδασκαλία μέσω ανοιχτών εργαστηριακών διερευνήσεων και δ) στην θεωρία του Gagne, στην οποία υποστηρίζεται ότι το κάθε είδος μάθησης απαιτεί διαφορετικό είδος διδασκαλίας, ενώ δίνεται βαρύτητα στην ανάπτυξη απλών και σύνθετων επιστημονικών δεξιοτήτων.

Περιγραφή δραστηριοτήτων σεναρίου:

α) Δραστηριότητες ψυχολογικής και γνωστικής προετοιμασίας

1^η δραστηριότητα (εικ.9): Διάρκεια 5'-10'. Οι μαθητές συμπληρώνουν ατομικά το ερωτηματολόγιο της σελίδας https://www.quiz.me/1_422862/. Σε αυτή την δραστηριότητα ανιχνεύονται οι εναλλακτικές ιδέες των μαθητών και γίνεται επανάληψη των βασικών προαπαιτούμενων γνώσεων. Μετά την συμπλήρωση του ερωτηματολογίου ακολουθεί ολιγόλεπτη συζήτηση των απαντήσεων.

Ραδιοχρονολόγηση 1: Εισαγωγή, τι γνωρίζεις ήδη ;



1: Ο πυρήνας αποτελείται από

Πρωτόνια

Ατομα

Ηλεκτρόνια

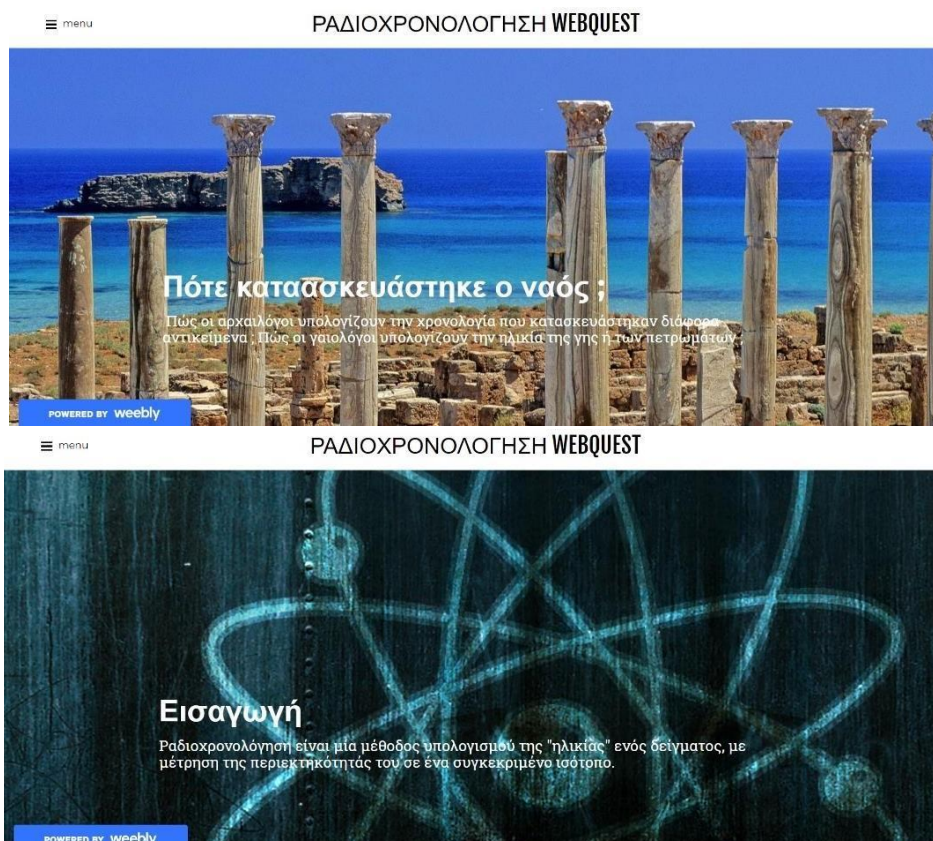
Νετρόνια

Μόρια

Continue

Εικόνα 9 Εισαγωγικό Ερωτηματολόγιο

2^η δραστηριότητα (εικ. 10): Διάρκεια 5'-10'. Οι μαθητές χωρίζονται σε τρεις ομάδες και εκτελούν τις δύο πρώτες φάσεις της ιστοεξερεύνησης <https://radiochronology-webquest.weebly.com/>. Εισάγονται οι βασικές έννοιες των τεχνικών ραδιοχρονολόγησης και γίνεται εισαγωγή στο σενάριο της εξερεύνησης.



☰ menu ΡΑΔΙΟΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ WEBQUEST

Πότε κατασκευάστηκε ο ναός ;
Πώς οι αρχαιολόγοι υπολογίζουν την χρονολογία που κατασκευάστηκαν διάφορα αντικείμενα ;
Πώς οι γεωλόγοι υπολογίζουν την ηλικία της γης ή των πετρωμάτων ;

POWERED BY Weebly

☰ menu ΡΑΔΙΟΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ WEBQUEST

Εισαγωγή
Ραδιοχρονολόγηση είναι μία μέθοδος υπολογισμού της "ηλικίας" ενός δείγματος, με μέτρηση της περιεκτικότητάς του σε ένα συγκεκριμένο ισότοπο.

POWERED BY Weebly

Εικόνα 8 Αρχικές φάσεις webquest

β) Δραστηριότητες διδασκαλίας του γνωστικού αντικειμένου

3^η δραστηριότητα (εικ.11): Διάρκεια 20' - τέλος της 1^{ης} διδακτικής ώρας. Οι μαθητές ξεκινούν την διαδικασία της διεξαγωγής της εργασίας και της αναζήτησης πληροφοριών για την παρουσίασή τους. Παρακολουθούν το αντίστοιχο βίντεο και εκτελούν την προσομοίωση. Ακολουθώντας τις οδηγίες της εξερεύνησης δηλαδή, πραγματοποιούν τις φάσεις 3 και 4. Στην παρούσα δραστηριότητα εκπληρώνονται οι διδακτικοί στόχοι του γνωστικού αντικειμένου και της μαθησιακής διαδικασίας.



Εικόνα 9 Φάσεις 3 και 4 webquest

4^η δραστηριότητα

Εκτός της διδακτικής ώρας. Οι ομάδες αναζητούν πληροφορίες και συντάσσουν το κείμενο και τις διαφάνειες της εργασίας. Σε αυτή την δραστηριότητα συμπεριλαμβάνεται και φύλλο εργασίας που πρέπει να συμπληρώσουν ώστε να διευκολυνθεί η αναζήτηση των πληροφοριών. Η δραστηριότητα αυτή σχετίζεται με τους διδακτικούς στόχους της χρήσης των τεχνολογιών πληροφορικής και επικοινωνίας καθώς και τους στόχους που αφορούν

την ομαδική εργασία.

γ) Δραστηριότητες εμπέδωσης του γνωστικού αντικειμένου

5^η δραστηριότητα (εικ.12): Διάρκεια 30'-45'λεπτά(δεύτερη διδακτική ώρα). Σε αυτή την δραστηριότητα η κάθε ομάδα παρουσιάζει τα ευρήματά της σε περίπου 10' και ακολουθεί μία μικρή συζήτηση και ερωτήσεις αναφορικά με την χρήση της κάθε Ραδιομετρικής τεχνικής. Μπορεί επίσης να διεξαχθεί και η τελική φάση της ιστοεξερεύνησης.

☰ menu

ΡΑΔΙΟΧΡΟΝΟΛΟΓΗΣΗ WEBQUEST



Εικόνα 10 Τελική φάση webquest

δ) Δραστηριότητες αξιολόγησης

6^η δραστηριότητα (εικ.13): Διάρκεια 10'. Οι μαθητές συμπληρώνουν ατομικά το σχήμα αξιολόγησης του Rubrick της ιστοεξερεύνησης. Επίσης συμπληρώνουν την στήλη της Παρουσίασης και για τις υπόλοιπες ομάδες.

Πίνακας Αξιολόγησης

Κριτήριο Αξιολόγησης	ΑΝΕΠΑΡΚΩΣ (<10)	ΕΠΑΡΚΩΣ (10-13)	ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΑ (14-17)	ΑΡΙΣΤΑ (18-20)
ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ ΘΕΜΑΤΟΣ	Αδιαφορία για το θέμα ή/και ελάχιστη κατανόηση	Κατανόηση μόνο των βασικών αρχών της ραδιοχρονολόγησης	Κατανόηση των βασικών αρχών και της χρησιμότητας της ραδιοχρονολόγησης	Βαθιά κατανόηση του συνόλου των διαδικασιών και των πιθανών εφαρμογών της ραδιοχρονολόγησης
ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	Ελλιπής ή ανύπαρκτη συλλογή πληροφοριών	Συλλογή πληροφοριών με βασικές ελλείψεις ή/και μέτρια αξιοποίησή τους	Καλή αξιοποίηση και συλλογή πληροφοριών, χωρίς χρήση πολυμέσων	Άριστη συλλογή και αξιοποίηση των πληροφοριών, με χρήση πολυμέσων και εικόνων
ΕΠΙΛΥΣΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ	Δεν επιλύθηκε σωστά ή καθόλου ή επιλύθηκε με σφάλμα > 50%	Επιλύθηκε με σχεδόν σωστή διαδικασία ή/και με αριθμητικό σφάλμα >30%	Επιλύθηκε με σωστή διαδικασία και με αριθμητικό σφάλμα <30%	Επιλύθηκε με σωστή διαδικασία και με αριθμητικό σφάλμα <15%
		H αίσια		

POWERED BY weebly

Εικόνα 11 Αξιολόγηση κατά Rubrick webquest.

7^η δραστηριότητα (εικ.14): Διάρκεια 20'-30'. Οι μαθητές συμπληρώνουν ατομικά το διαδικτυακό ερωτηματολόγιο της σελίδας https://www.quiz.me/2_422863/.

Εικόνα 12 Τελικό Ερωτηματολόγιο

Αξιολόγηση των μαθητών

Οι μαθητές θα αξιολογηθούν με τρεις τρόπους. Από την ποιότητα της εργασίας, της παρουσιάσής τους και από την επίλυση του αριθμητικού προβλήματος. Μέσω του πίνακα αξιολόγησης της ιστοεξερεύνησης και από την επίδοσή τους στο τελικό ερωτηματολόγιο πολλαπλής επιλογής. Σε όλες τις περιπτώσεις επιλέγονται ερωτήσεις πολλαπλής επιλογής και κλειστού τύπου.

Αξιολόγηση του σεναρίου

Το σενάριο αξιολογείτε κυρίως από την επίδοση των μαθητών και από την κατανόηση του θέματος. Χαρακτηριστική είναι η διαφορά των αποτελεσμάτων των δύο ερωτηματολογίων (εισαγωγικού–τελικού) και η στατιστική που θα προκύψει από το σχήμα του Rubrick. Ακολουθεί ένα βασικό φύλλο εργασίας.

Φύλλο εργασίας

Όνοματεπώνυμο μαθητών της ομάδας:.....

τμήμα:..... ημερομηνία:.....

- Ισότοπο.....
- Αντίδραση Παραγωγής.....
- Μάζα(ατομικέςμονάδες).....
- Χρόνος Ημιζωής.....
- Ακτίνα($1\text{fm}=10^{-15}\text{m}$).....
- Αντίδραση Διάσπασης.....
- Με ποιο σύστημα μπορεί να ανιχνευθεί η ποσότητα του ισοτόπου σε ένα δείγμα;
- Που εφαρμόζεται η συγκεκριμένη μέθοδος ραδιοχρονολόγησης;
- Επίλυση Αριθμητικού Προβλήματος(Εκφώνηση στην Ιστοεξερεύνηση):

Βιβλιογραφία

- Agency, Nuclear Energy. 2010. *Public Attitudes to Nuclear Power*. NEA/OECD.
- Bertulani. 2007. *C.A. Nuclear Physics in a Nutshell*. Beijing: World Publishing Corporation.
- C. Nakiboglu, B.B. Tekin. 2006. « Chem Edu Res.» *Chem Edu Res* 11: 1712-1718.
- C., Illiadis. 2015. *Nuclear physics of stars, 2nd ed.* John Wiley & Sons.
- Choppin G.R., Liljenzin J.-O., Rydberg J. 2002. *Radio chemistry and nuclear chemistry 3rd ed.* Butterworth-Heinemann.
- Cottingham, W., Greenwood, D. 2001. *An Introduction to Nuclear Physics, 2nd ed.* Cambridge University Press.
- Ebbing, D.D., Gammon, S.D. 2007. *General chemistry. 9th ed.* Boston: Houghton Mifflin Co.
- IAEA. 1968. «NUCLEAR SCIENCE TEACHING.» *Technical Reports Series No.94*.
- Krane K.S., Halliday D. 1988. *Introductory nuclear physics*. New York: Wiley.
- Lilley J., Nuclear Physics. 2001. *Principles and Applications*. John Wiley & Sons.
- Loveland, W.D., Morrissey, D.J. Modern . 2017. *Modern Nuclear Chemistry, 2nd Edition*. Wiley & sons.
- Martin B.R. 2006. *Nuclear and particle physics: An Introduction*. John Wiley & Sons .
- N.Takigawa, K.Washiyama. 2017. *Fundamentals of Nuclear Physics*. Japan: Springer.
1973. «Nuclear science teaching III: report of a Panel.» *Conference: Panel of Experts on Nuclear Science Teaching*. Athens: IAEA.
- Prussin., S.G. 2007. *Nuclear physics for applications: A model approach*. Weinheim: Wiley.
- Quarrie, Mc. 1973. *D.A. Statistical thermodynamics*. New York: Harper & Row.
- Tracy Jr, James. 2012. *A Binding Energy Study of the Atomic Mass Evaluation*. Mississippi State University.
- Wong. 2008. *S.S.M. Introductory nuclear physics*. Weinheim: Wiley.
- Π., Ασημακόπουλος. 2005. *Εισαγωγή στην πυρηνική φυσική*. Ιωάννινα: Εκδόσεις Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Πηγές Εικόνων

Εικόνα εξώφυλλου:

<https://www.facebook.com/AnatomieOffiziell/photos/a.426121871091111/483759335327364/?type=3&theater>

Εικόνες 1-8: <https://en.wikipedia.org>

Σχήματα: όπως αναγράφονται στην λεζάντα τους