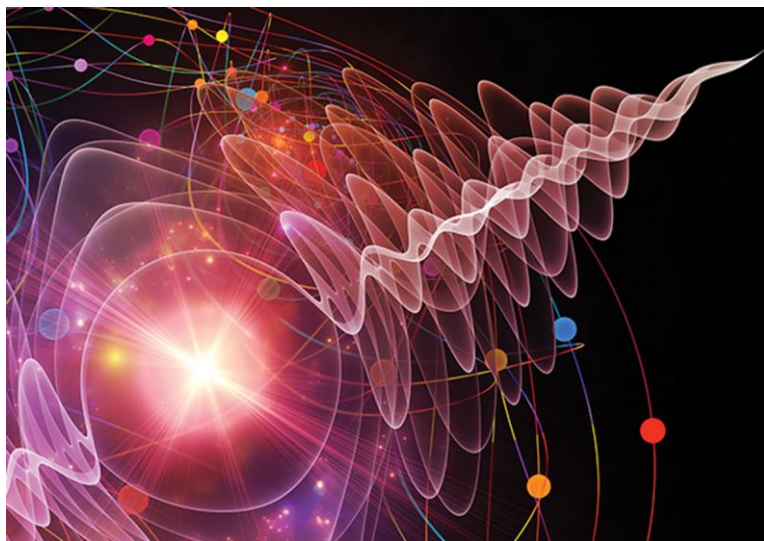




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία
Κβαντική Βιολογία



Παπαθεοδώρου Σοφία

A.M: 14076

Επιβλέπων καθηγητής

Ιωάννης Κανδαράκης

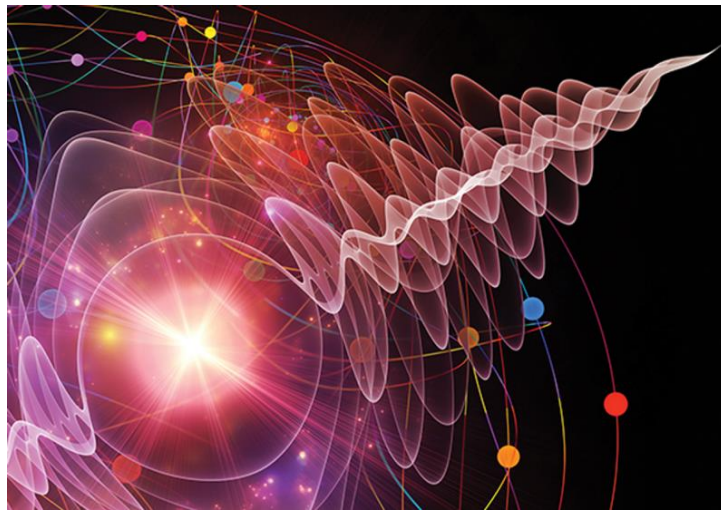
ομότιμος καθηγητής Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2021



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING**

**Diploma thesis
Quantum Biology**



**Papatheodorou Sofia
Registration number: 14076**

**Supervisor
Ioannis Kandarakis
Emeritus professor of University of West Attica**

Athens-Aigaleo, July 2021

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Ιωάννης Κανδαράκης, Ομότιμος Καθηγητής	Νεκτάριος Καλύβας, Αναπληρωτής Καθηγητής	Γεώργιος Φούντος Καθηγητής
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Παπαθεοδώρου Σοφία,
Ιούλιος, 2021**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Σοφία Παπαθεοδώρου του Χρήστου, με αριθμό μητρώου 14076 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής

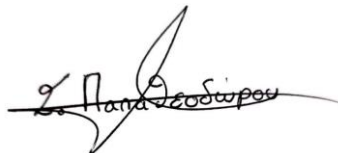
δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής 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 διπλώματος μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι ...14/7/2022..... και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.» Η Δηλούσα

Παπαθεοδώρου Σοφία
(Υπογραφή φοιτητή/ήτριας)



Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου κύριο Ιωάννη Κανδαράκη αρχικά για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου, τις πολύτιμες γνώσεις και συμβουλές που αποκόμισα όλο τον καιρό της συνεργασίας μας, τόσο για την περίοδο συγγραφής και μελέτης της παρούσας εργασίας αλλά και κατά την περίοδο που παρακολούθησα τα μαθήματα του. Επίσης τον ευχαριστώ για την άριστη επικοινωνία που είχαμε, ευχαριστώ τους κυρίους Καλύβα και Φούντο που ήταν μέλη της εξεταστικής επιτροπής.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια, στο κεφάλαιο 1 γίνεται ιστορική αναδρομή στις ανακαλύψεις ορόσημο της κβαντικής μηχανικής αλλά και της κβαντικής βιολογίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα φυσικά φαινόμενα της φωτοσύνθεσης, μαγνητικής αντίληψης και της καταλύσεως ενζύμων που έχουν μελετηθεί και αναζητείται η ύπαρξη κβαντικών φαινομένων. Στο τρίτο κεφάλαιο μελετάται η αίσθηση της όσφρησης και παρουσιάζονται μελέτες που αφορούν την διαδικασία της όσφρησης. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση της κβαντικής βιολογίας σε κυτταρικό επίπεδο. Στο πέμπτο κεφάλαιο μελετάται η ανθρώπινη συνείδηση και η κλινική κατάθλιψη. Η εργασία τελειώνει με το έκτο κεφάλαιο των συμπερασμάτων και ακολουθούν οι πίνακες τις βιβλιογραφίας.

Λέξεις κλειδιά

Κβαντική Μηχανική, Κβαντική Βιολογία, φωτοσύνθεση, κβαντική διεμπλοκή, κβαντική συνοχή, κβαντική υπέρθεση, κύτταρα

Abstract

The present diploma thesis consists of six chapters, in the chapter 1 a historical review of the landmark discoveries of quantum mechanics and quantum biology is made. The second chapter presents the natural phenomena of photosynthesis, magnetoreception and the catalysis of enzymes that have been studied and the existence of quantum phenomena is sought. The third chapter studies the sense of olfaction and presents studies related to the process of olfaction. The fourth chapter presents quantum biology at the cellular level. The fifth chapter studies human consciousness and clinical depression. The work ends with the sixth chapter of the conclusions followed by the bibliographic tables

Key words

Quantum mechanics, quantum biology, photosynthesis, quantum entanglement, quantum coherence, quantum superposition, cells

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1.1: το πείραμα του Compton	5
Εικόνα 1.2 : οι σκεδάσεις των γωνιών σωματιδίων άλφα	6
Εικόνα 1.3 : το μοντέλο Thomson	7
Εικόνα 1.4 : Το διάγραμμα Feynman	12
Εικόνα 1.5 : Ο πρώτος θάλαμος φυσαλίδων του Glaser	13
Εικόνα 3.1: ανθρώπινο οσφρητικό σύστημα	25
Εικόνα 3.2: το οσφρητικό νεύρο.....	26
Εικόνα 3.3:οι χημικές ενώσεις limonene.....	28
Εικόνα 3.4: παρουσίαση ανελαστικής σήραγγας ηλεκτρονίων.....	30
Εικόνα 4.1: η υπέρθεση δύο δυναμικών.....	38
Εικόνα 5.1 : Η δομή και λειτουργία ενός νευρικού κυττάρου	43
Εικόνα 5.2 : χημικές ενώσεις νευροδιαβιβαστών	45

Πίνακας Περιεχομένων

Εισαγωγή.....	3
Κεφάλαιο 1. Ιστορική αναδρομή.....	4
1.1 Κβαντική Βιολογία.....	14
Κεφάλαιο 2. Φαινόμενα που μελετά η Κβαντική Βιολογία	17
2.1 Εισαγωγή.....	17
2.2 Η χημική βάση της μορφογένεσης.....	17
2.2 Το φαινόμενο της φωτοσύνθεσης	19
2.3 Το φαινόμενο της υπέρθεσης στη Βιολογία	21
2.4 Φαινόμενα που αφορούν τους καταλύτες ενζύμων	22
2.5 Το φαινόμενο της μαγνητικής αντίληψης (magnet-reception)	23
Κεφάλαιο 3. Κβαντική Βιολογία και όσφρηση.....	24
3.1 Εισαγωγή.....	24
3.2 Ανατομία του ανθρώπινου αισθητικού συστήματος της όσφρησης	25
3.3 Θεωρίες για την όσφρηση	27
3.3.1 Στερεοχημική θεωρία	27
3.3.2 Θεωρία των δονήσεων	28
3.3.3 Το φαινόμενο της ανελαστικής σήραγγας των ηλεκτρονίων.....	29
3.3.4 Το βιολογικό σύστημα IELTS.....	31
3.3.4 Μοντέλο αναγνώρισης χειρομορφίας στην όσφρηση	32
Κεφάλαιο 4. Κβαντική Βιολογία σε κυτταρικό επίπεδο	33
4.1 Κβαντική Αποσυνοχή (quantum decoherence)	33
4.2 Το φαινόμενο της υπέρθεσης για ανθρώπινα κύτταρα	34
4.3 Καρκίνος	35
4.4 Προσέγγιση του καρκίνου με χρήση Κβαντικής Μηχανικής	38
Κεφάλαιο 5. Κβαντική προσέγγιση της συνείδησης.....	39

5.1 Εισαγωγή.....	39
5.2 Νευροφυσιολογικά επίπεδα περιγραφής.....	40
5.3 Συνείδηση.....	43
5.3.1 Εισαγωγή	43
5.3.2 Κβαντικά φαινόμενα στην γνωστική λειτουργία	45
<i>Ποιο, όμως, το όφελος;</i>	46
5.4 Κβαντικά φαινόμενα και κατάθλιψη	47
5.4.1 Εισαγωγή.....	47
5.4.2 Νευροχημεία.....	48
5.4.3 Νευροενδοκρινολογία.....	49
5.4.4 Το ασυνείδητο	49
5.4.5 Κβαντική Μηχανική και το γνωστικό επίπεδο του ατόμου	51
Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα	53
Βιβλιογραφία.....	54

Εισαγωγή

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα γίνει αναφορά στο αντικείμενο της επιστήμης της κβαντικής βιολογίας, ενός σχετικά νέου και ιδιαίτερος συναρπαστικού επιστημονικού τομέα. Στο πρώτο κεφάλαιο θα γίνει μια ιστορική αναδρομή και θα γίνει αναφορά στις σπουδαιότερες ανακαλύψεις που καθόρισαν την εξέλιξη της κβαντικής μηχανικής. Η Κβαντική Βιολογία θεωρείται σχετικά νέος κλάδος της Κβαντικής Μηχανικής, τα αποτελέσματα και οι θεωρίες που δομούν την κβαντική βιολογία προκύπτουν από σχετικά πρόσφατες μελέτες και έρευνες, όπου οι επιστήμονες προτείνουν πως αρκετά βιολογικά φαινόμενα όπως η φωτοσύνθεση, η κατάλυση ενζύμων, η όσφρηση και η πλοήγηση των πτηνών λειτουργούν εντός των ορίων της Κλασικής Φυσικής και εμφανίζονται χαρακτηριστικά της Κβαντικής Μηχανικής όπως η κβαντική διεμπλοκή, η κβαντική συνοχή, η υπέρθεση και το φαινόμενο της κβαντικής σήραγγας (tunneling).

Τα σημαντικότερα επιστημονικά ευρήματα στον τομέα της Κβαντικής Βιολογίας έχουν προκύψει τις τελευταίες δύο δεκαετίες, όμως οι ρίζες της Κβαντικής Βιολογίας ξεκινάνε στις αρχές του 20ού αιώνα μαζί με την θεμελίωση της Κβαντικής Μηχανικής.

Κεφάλαιο 1. Ιστορική αναδρομή

Έτος 1900

Στην προσπάθεια κατανόησης και εξήγησης της μορφής του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του μέλανος σώματος ο φυσικός Max Planck το 1900 πρότεινε την κβαντική μορφή ακτινοβολίας, η οποία υπάρχει σε διακριτές ποσότητες ενέργειας.

$$\text{Όπου } E = h \cdot f \text{ (1.1)}$$

Θεωρώντας ως βάση την υπόθεση του απέδειξε πως η συνάρτηση διαταραχής του φάσματος δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$S(f, T) = \frac{8\pi h f^3}{c^3} \cdot \frac{1}{\exp(h \cdot f / kT) - 1} \text{ (1.2)}$$

Όπου η σταθερά h^1 υπολογίστηκε έπειτα από πειράματα και αναγνωρίστηκε σύντομα ως θεμελιώδη φυσική σταθερά, ενώ k είναι η σταθερά του Boltzman².

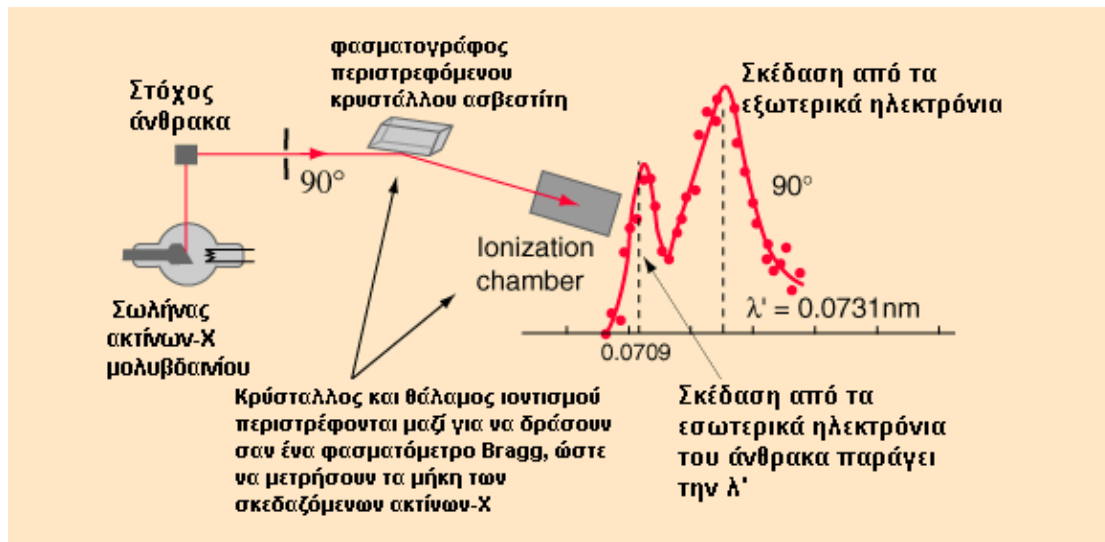
Το πρόβλημα της ακτινοβολίας μέλανος σώματος εμφανίστηκε όταν εφαρμόστηκαν οι κλασικές θεωρίες της Φυσικής για την ερμηνεία της ενεργειακής κατανομής της ακτινοβολίας με αποτέλεσμα να προκύπτει το συμπέρασμα πως η ενέργεια πρέπει να είναι άπειρη, κάτι που προφανώς αντιβαίνει στην αξιωματική αρχή της Αρχής Διατήρησης της Ενέργειας.

Έτος 1905

Για την εξήγηση του προβλήματος ο Planck πρότεινε την κβαντική μορφή της ενέργειας. Ο Albert Einstein μελετώντας τις ιδέες του Planck, ο οποίος πίστευε η κβαντική μορφή εκπομπής και απορρόφησης της ακτινοβολίας έχει εφαρμογή μόνο στο μέλαν σώμα, θεωρώντας πως είναι ιδιότητα του ατόμου και όχι της ακτινοβολίας. Ο Einstein όμως θεώρησε πως είναι ιδιότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, στην μελέτη του για το φωτοηλεκτρικού φαινόμενο ο Einstein πρότεινε για πρώτη φορά πως το φως συχνότητας ω αποτελείται από σωματίδια ενέργειας $h\omega$, τα οποία αργότερα ονομάστηκαν φωτόνια. Την διπλή φύση του φωτός επιβεβαίωσε το 1922 με το πείραμα του ο Arthur Compton. Στην εικόνα 1.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται ένα διάγραμμα της συσκευής που χρησιμοποίησε ο Compton.

¹ $h=6,6218 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

² $k=\frac{R}{N_A}$, μονάδα μέτρησης J/K



Εικόνα 1.1: το πείραμα του Compton (Πηγή: www.physics4u.gr)

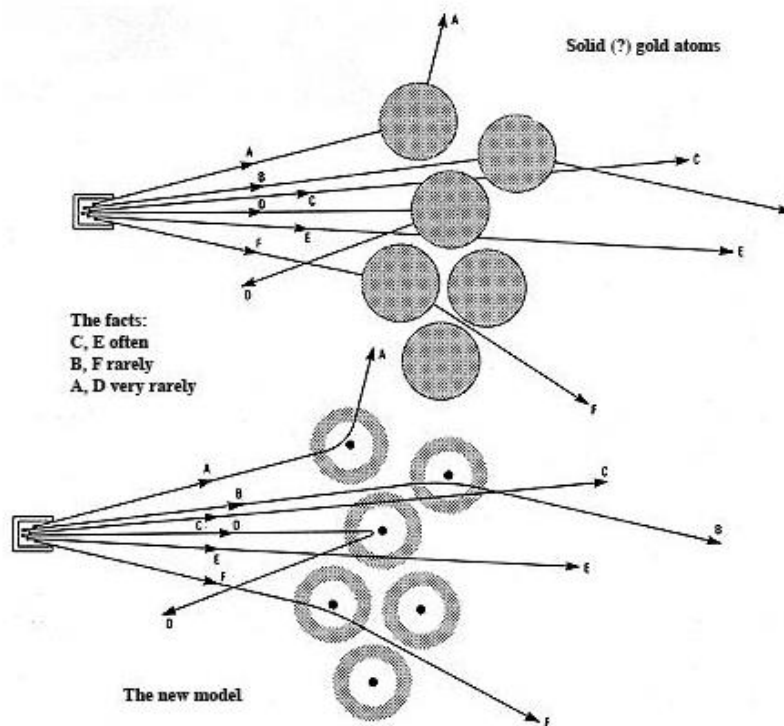
Έτος 1909

Οι φυσικοί Hans Geiger και Ernest Marsden υπό την καθοδήγηση του Ernest Rutherford μελέτησαν την σωματιδίων άλφα³ πάνω σε χρυσόχαρτο, στα πειράματα τους παρατήρησαν σκεδάσεις σε μεγάλες γωνίες, γεγονός που υποδεικνύει την ύπαρξη ενός μικρού, πυκνού και θετικά φορτισμένου πυρήνα.

έτος 1911

Ο Rutherford συμπέρανε την ύπαρξη του πυρήνα σαν αποτέλεσμα του πειράματος των Geiger & Marsden. Στηριζόμενος στα αποτελέσματα του πειράματος ο Rutherford σχεδίασε το μοντέλο για τη δομή του ατόμου. Στην εικόνα 1.2 που ακολουθεί παρουσιάζεται το νέο μοντέλο του ατόμου.

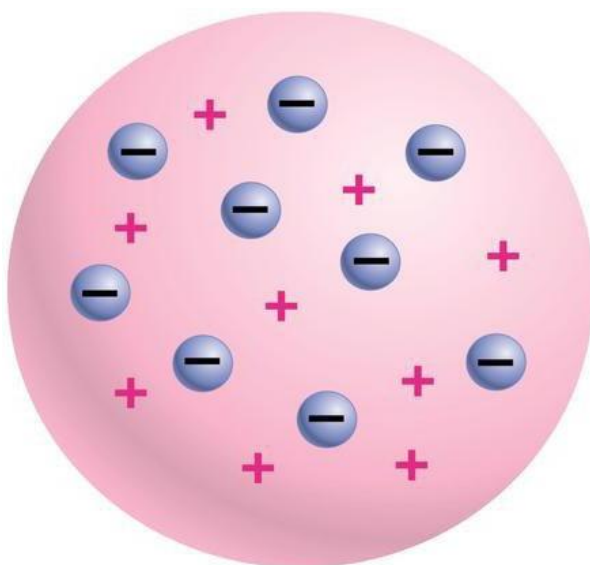
³ Είναι η σύζευξη δύο πρωτονίων και δύο νετρονίων και έχει μηδενικό σπιν



Εικόνα 1.2: οι σκεδάσεις των γωνιών σωματιδίων άλφα (Πηγή: <https://spark.iop.org/>)

Τα σωματίδια άλφα που προσεγγίζουν πολύ κοντά έναν άλλο πυρήνα εκτρέπονται σε μεγαλύτερη γωνία. Όσα χάνουν τον στόχο εκτρέπονται σε μικρή γωνία. Οι μετρήσεις σε μεγάλο εύρος γωνιών χρησιμεύουν για τη διερεύνηση του πεδίου εντός των ατόμων σκεδάζονται σε μεγάλο εύρος αποστάσεων από το κέντρο. Ο Rutherford υπέθεσε πως το φορτίο συγκεντρώνεται στο κέντρο του ατόμου σε πολύ μικρό όγκο συγκριτικά με το υπόλοιπο άτομο και γύρω του κινούνται τα ηλεκτρόνια. Τα πειραματικά στοιχεία πίσω από την ανακάλυψη της ύπαρξης του πυρήνα του ατόμου περιελάμβαναν την σκέδαση σωματιδίων άλφα διαμέσου μιας λεπτής σχισμής σε ένα λεπτό φύλλο χρυσού. Τα σωματίδια άλφα είχαν ανακαλυφθεί από τον Rutherford το 1899 ως θετική ραδιενεργή εκπομπή. Τα σωματίδια άλφα έχουν θετικό φορτίο σημαντικού μεγέθους, οπότε οποιαδήποτε παρεμβολή κατά την σκέδαση θα πρέπει να οφείλεται σε μεγάλου μεγέθους ηλεκτροστατικής δύναμης που από την δομή του ατόμου. Την δεδομένη χρονική περίοδο επικρατούσε η άποψη του μοντέλου Thomson για την δομή του ατόμου, όμως σύμφωνα με το μοντέλο Thomson η σκέδαση των σωματιδίων άλφα θα ήταν αδύνατη. Αυτό καταδεικνύει την σπουδαιότητα της ανακάλυψης του Rutherford. Υπενθυμίζουμε πως το 1904 ο Joseph Thomson πρότεινε το γνωστό ως μοντέλο του σταφιδόψωμου για να περιγράψει την δομή του ατόμου, σύμφωνα με τον Thomson το άτομο αποτελείται από μια θετικά φορτισμένη σφαίρα μέσα στην οποία κυκλοφορούν

τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια, με τον αριθμό των ηλεκτρονίων να είναι τέτοιος ώστε να εξασφαλίζεται η ουδετερότητα του ατόμου. Στην εικόνα 1.3 που ακολουθεί φαίνεται η σχηματική αναπαράσταση του μοντέλου Thomson.



Εικόνα 1.3: το μοντέλο Thomson (Πηγή: <https://el.ruarrioseph.com/>)

Έτος 1913

Ο Δανός φυσικός Niels Bohr για να εξηγήσει τη δομή του ατόμου, δέχτηκε το πρότυπο του Rutherford και χρησιμοποιώντας τις ιδέες και θεωρίες του Einstein προσπάθησε να εξηγήσει γιατί τα άτομα του υδρογόνου δεν αυτοκαταστρέφονται όπως θα έπρεπε να συμβεί σύμφωνα με την κλασική ηλεκτρομαγνητική θεωρία. Σύμφωνα με το πρότυπο του Rutherford και την ύπαρξη του πυρήνα, θετικά φορτισμένου και κατά πολύ μεγαλύτερης μάζας πυρήνα σε σχέση με τα ηλεκτρόνια που κινούνται γύρω του, τα ηλεκτρόνια σύμφωνα με την κλασική ηλεκτρομαγνητική θεωρία καθώς επιταχύνονται στην κυκλική του τροχιά ακτινοβολούν ενέργεια για 10^{-12} δευτερόλεπτα, όπου στο συγκεκριμένο χρονικό διάστημα θα έπρεπε να ακολουθήσουν σπειροειδή τροχιά προς τον πυρήνα με αποτέλεσμα να πάψει να υπάρχει το άτομο, κάτι που όμως δεν συμβαίνει. Ο Bohr για να λύσει το συγκεκριμένο πρόβλημα πρότεινε πως τα ηλεκτρόνια κινούνται σε διαφορετικές τροχιές. Οι επιτρεπόμενες τροχιές έχουν ακτίνα r και ικανοποιούν την κβαντική συνθήκη: επιτρεπτές τροχιές είναι οι τροχιές όπου η στροφορμή είναι κβαντισμένη και είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του \hbar .

Δηλαδή

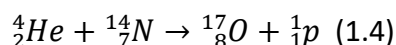
$$L = mvr = n\hbar \quad (1.3)$$

Έτος 1915

Ο Einstein εξηγεί την καμπύλωση του χωροχρόνου με την παρουσίαση των Πεδιακών εξισώσεων στην Πρωσική Ακαδημία Επιστημών τον Νοέμβριο του 1915. Στην τελευταία του διάλεξη παρουσίασε την θεωρία πως η βαρύτητα δεν είναι αποτέλεσμα κάποιας δύναμης αλλά οφείλεται στην καμπύλωση του χωροχρόνου. Με την ανάπτυξη της Γενικής θεωρίας της σχετικότητας που ο Einstein μελετούσε από το 1907 έως το 1915 ο χώρος και ο χρόνος δεν είναι πλέον άκαμπτοι και απόλυτοι. Αρχικά η Γενική θεωρία της σχετικότητας εισήγαγε την Αρχή της ισοδυναμίας, όπου οι νόμοι της Φυσικής σε ένα σύστημα αναφοράς που πέφτει ελεύθερα στο πεδίο βαρύτητας είναι ισοδύναμοι με αυτούς σε ένα αδρανειακό σύστημα χωρίς βαρύτητα. Ισοδύναμοι οι νόμοι της Φυσικής σε ένα σύστημα αναφοράς με μηδενική επιτάχυνση σε πεδίο βαρύτητας g είναι ισοδύναμοι με αυτούς σε σύστημα χωρίς βαρύτητα, αλλά επιταχυνόμενο με επιτάχυνση $-g$. Γεωμετρικά η Αρχή της ισοδυναμίας αντιστοιχεί στην δήλωση πως κάθε ομαλή επιφάνεια⁴ μπορεί σε αρκετά μικρή περιοχή μπορεί να προσεγγισθεί με ένα επίπεδο. Σύμφωνα με την Γενική θεωρία της σχετικότητας ο χρόνος περνά διαφορετικά σε χαμηλότερα βαρυτικά δυναμικά, το φαινόμενο αυτό ονομάζεται βαρυτική διαστολή του χρόνου. Ακόμα και τα φωτόνια, τα οποία δεν έχουν μάζα αλλάζουν πορεία όταν εισέρχονται σε βαρυτικό πεδίο.

Έτος 1919

Ο Rutherford αποδεικνύει την ύπαρξη πρωτονίου βομβαρδίζοντας άτομα αζώτου με σωματίδια άλφα, όπου το αποτέλεσμα του πειράματος ήταν η παραγωγή οξυγόνου με ταυτόχρονη εκπομπή πρωτονίων. Η χημική εξίσωση της πυρηνικής αντίδρασης ήταν η ακόλουθη:



Ο Rutherford διαπίστωσε την ύπαρξη πυρήνα υδρογόνου στα προϊόντα της αντίδρασης καθώς σε προηγούμενα πειράματα του βομβάρδιζε αέριο υδρογόνο με σωματίδια άλφα για να απομονώσει τον πυρήνα από το άτομο του υδρογόνου. Μετά το πείραμα του παρατήρησε πως οι πυρήνες υδρογόνου ήταν μέρος των πυρήνων του αζώτου, οπότε κατέληξε στο συμπέρασμα πως ο πυρήνας του υδρογόνου πιθανά

⁴ Μια επιφάνεια S σε τόπο D καλείται ομαλή αν ισχύει $n(P) \neq 0, \forall P \in D$

αποτελούσε δομικό στοιχείο όλων των ατόμων και αξιωματικά θεώρησε πως ο πυρήνας του υδρογόνου πρέπει να είναι ένα νέο σωματίδιο, το οποίο ονόμασε πρωτόνιο.

Έτος 1921

Ο James Chadwick και ο E.S. Bieler συμπεραίνουν πως κάποια ισχυρή δύναμη διατηρεί την συνοχή του πυρήνα. Μετά την διεξαγωγή πειραμάτων σωματιδίων άλφα σε πολύ μικρές αποστάσεις με ατομικούς πυρήνες οι αλληλεπιδράσεις που παρατηρήθηκαν δεν ακολουθούσαν τον νόμο του αντίστροφο του τετραγώνου που προέβλεπε η θεωρία για την απώθηση εξαιτίας του θετικού φορτίου. Το συμπέρασμα στο οποίο κατέληξαν οι Chadwick και Bieler μετά την ολοκλήρωση των πειραμάτων τους ήταν πως υπάρχουν πυρηνικές δυνάμεις εξαιρετικά μεγάλης έντασης, αλλά δεν προέκυψαν συμπεράσματα για την φύση αυτών των δυνάμεων.

Έτος 1923

Ο Arthur Compton ανακαλύπτει την σωματιδιακή φύση των ακτίνων X επιβεβαιώνοντας πως τα φωτόνια είναι σωματίδια. Οι ακτίνες X παράγονται όταν ταχέως κινούμενα ηλεκτρόνια τα οποία έχουν επιταχυνθεί μέσα από διαφορές δυναμικού μεταξύ 10^3V και 10^6V και προσπέσουν σε ένα μεταλλικό στόχο. Ο Wilhelm Rontgen ήταν ο πρώτος που τις ανακάλυψε το 1895. Ο Compton κατά το πείραμα του παρατήρησε πως το τμήμα της ακτινοβολίας που σκεδάζεται έχει μήκος κύματος μεγαλύτερο από το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, κάτι που κατ' επέκταση σημαίνει μικρότερη συχνότητα από την προσπίπτουσα, όμως σύμφωνα με την ηλεκτρομαγνητική θεωρία η προσπίπτουσα και η σκεδαζόμενη ακτινοβολία θα έπρεπε να έχουν το ίδιο μήκος κύματος και συχνότητα. Ο Compton κατάλαβε ότι η σκέδαση των ακτίνων X γίνεται στα ελεύθερα ηλεκτρόνια του υλικού, κάθε φωτόνιο που προσπίπτει σε ακίνητο ηλεκτρόνιο του μεταβιβάζει μέρος της ενέργειας και της ορμής τους με αποτέλεσμα το φωτόνιο να σκεδάζεται κατά γωνία θ και αποκτά μικρότερη συχνότητα.

Έτος 1924

Ο Louis de Broglie πρότεινε πως η ύλη έχει κυματικές ιδιότητες, συγκεκριμένα πρότεινε την αρχή κυματοσωματιδιακού δυισμού της ύλης. Σύμφωνα με αυτή την αρχή κάθε υλικό σωματίδιο είναι και ένα κύμα με συχνότητα

$$f = E/\hbar \quad (1.5)$$

και μήκος κύματος

$$\lambda = \hbar/p \quad (1.6)$$

Η υπόθεση de Broglie αποδείχτηκε πειραματικά το 1927 από τους Davidson και Germer, επίσης εξηγούσε τις κβαντωμένες τροχιές του Bohr.

Έτος 1925

Το συγκεκριμένο έτος τον Ιανουάριο ο Wolfgang Pauli διατύπωσε την απαγορευτική αρχή για τα ηλεκτρόνια στα άτομα και τον Απρίλιο οι Walther Bothe και Hans Geiger απέδειξαν πως η ενέργεια και η μάζα διατηρούνται στις ατομικές αντιδράσεις. Μέσω της απαγορευτικής αρχής εξηγείται η δομή των ενεργειακών στοιβάδων.

Έτος 1926

Στο συγκεκριμένο έτος έγιναν τρεις πολύ σημαντικές ανακαλύψεις για την εξέλιξη της Κβαντομηχανικής.

- Ο Schrodinger ανέπτυξε την κυματομηχανική η οποία περιγράφει την συμπεριφορά του κβαντικού συστήματος των μποζονίων⁵
- Ο Max Born ερμηνεύει την Κβαντομηχανική με πιθανότητες

Έτος 1927

Ο Werner Heisenberg διατυπώνει την αρχή της αβεβαιότητας, όπου με όσο μεγαλύτερη ακρίβεια γνωρίζεις κάποιος την ενέργεια ενός σωματιδίου με τόσο μικρότερη ακρίβεια γνωρίζεις τον χρόνο, ισχύει και αντίστροφα. Επίσης η ίδια αβεβαιότητα ισχύει για την θέση και την ορμή ενός σωματιδίου, συγκεκριμένα ισχύει:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{\hbar}{2} \quad (1.7)$$

Οι αβεβαιότητες των μεγεθών της θέσης και της ορμής ισούνται με τη διασπορά τους γύρω από τη μέση τους τιμή. Σύμφωνα με τον Heisenberg η ελάχιστη αβεβαιότητα στην μέτρηση των Δx και Δp προκύπτει από την δομή της ύλης και δεν είναι αποτέλεσμα πειραματικού σφάλματος εξαιτίας ύπαρξης ατελειών των οργάνων ή κάποιο άλλο τυχαίο σφάλμα. Η αρχή της αβεβαιότητας είναι άμεση συνέπεια του κυματοσωματιδιακού δυισμού της ύλης.

Έτος 1928

Ο Paul Dirac περιγράφει το ηλεκτρόνιο συνδυάζοντας την Κβαντομηχανική και την ειδική θεωρία της σχετικότητας. Η εξίσωση του Schrodinger ισχύει μόνο για σωματίδια που κινούνται με μη σχετικιστικές ταχύτητες, ο Dirac πρότεινε την εξίσωση που πήρε το όνομα του για να αντικαταστήσει την εξίσωση του Schrodinger.

$$\frac{i\hbar}{c} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial t} = [a_x p_x + a_y p_y + a_z p_z + a_4 (mc)] \psi \quad (1.8)$$

⁵ Τα σωματίδια που ακολουθούν την στατιστική Μποζέ- Αινστάιν και έχουν ακέραιο spin

Όπου ψ η κυματοσυνάρτηση, a_i οι πίνακες του Dirac και p_i οι πίνακες Pauli για το σπιν. Η επιτυχία της εξίσωσης του Dirac ήταν η εξήγηση των ιδιοτήτων του σπιν και η πρόβλεψη της ύπαρξης αντισωματιδίων⁶

Έτος 1930

Ο Wolfgang Pauli προτείνει το νετρίνο για να εξηγήσει το συνεχές φάσμα της ενέργειας του ηλεκτρονίου από τις διασπάσεις βήτα. Το νετρίνο είναι ένα μικροσκοπικό σωματίδιο, χαρακτηριστικό είναι πως ακόμα και σήμερα δεν έχει μετρηθεί η μάζα του, υπάρχει σε αφθονία στο σύμπαν καθώς για κάθε ένα πρωτόνιο αντιστοιχούν 700.000.000 νετρίνο. Σε κάθε πυρηνική σύντηξη και σε κάθε πυρηνική σχάση παράγονται νετρίνο. Η πειραματική απόδειξη της ύπαρξης του νετρίνο έγινε το 1956.

Έτος 1931

Ο Dirac αντιλαμβάνεται πως τα θετικά φορτισμένα σωματίδια που απαιτούνται για την εξίσωση του είναι καινούργια σωματίδια και τα ονομάζει ποζιτρόνια, είναι ακριβώς σαν τα ηλεκτρόνια μόνο που έχουν αντίθετο φορτίο. Το ποζιτρόνιο είναι το πρώτο παράδειγμα αντισωματιδίου. Το ίδιο έτος έγινε και η ανακάλυψη του νετρονίου από τον Chadwick, οι φυσικοί ξεκινούν την μελέτη και έρευνα για τους μηχανισμούς συνοχής και διάσπασης του πυρήνα. Στην αναφορά του στο Nature με τίτλο <Possible Existence of a Neutron> κατέληξε στο συμπέρασμα πως η ακτινοβολία που εκλύεται κατά τον βομβαρδισμό βηρυλλίου με σωματίδια α δεν είναι ακτίνες γ αλλά σωματίδια σχεδόν ίσης μάζας με αυτή των πρωτονίων, χωρίς όμως ηλεκτρικό φορτίο. Έτσι αίρεται κάθε δυσκολία σχετικά με τις συγκρούσεις, τόσο σε ότι αφορά την συχνότητα τους όσο και τη μεταφορά ενέργειας σε πυρήνες με διαφορετική μάζα.

Έτος 1933-34

Ο Enrico Fermi σε θεωρία του για την διάσπαση βήτα χρησιμοποιεί για πρώτη φορά με σαφήνεια τα σωματίδια νετρίνο και την αλλαγή του 'αρώματος' των σωματιδίων καθώς εισάγει τις ασθενείς αλληλεπιδράσεις.

Έτος 1937

⁶ Σε κάθε σωματίδιο της ύλης αντιστοιχεί και ένα αντισωματίδιο που έχει ίδια μάζα αλλά αντίθετο ηλεκτρικό φορτίο

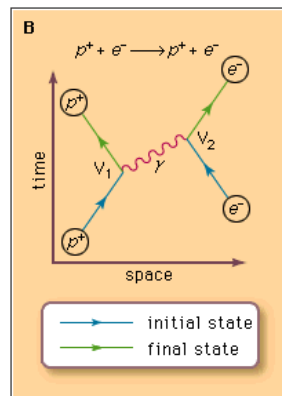
Ανακαλύφθηκε στις κοσμικές ακτίνες ένα σωματίδιο με μάζα ίση με αυτή 200 ηλεκτρονίων και ονομάστηκε μόνιο.

Έτος 1938

Ο E.C.G Stueckelberg παρατήρησε πως τα πρωτόνια και τα νετρόνια δεν διασπώνται σε κανένα συνδυασμό με ηλεκτρόνια, νεutrίνο, μόνια ή τα αντισωματία τους. Η σταθερότητα του πρωτονίου δεν μπορεί να εξηγηθεί σε σχέση με την διατήρηση του φορτίου και της ενέργειας. Οπότε πρότεινε πως τα βαρέα σωματίδια διατηρούνται ανεξάρτητα του είδους τους.

Έτος 1947

Ταυτοποιήθηκε το πόνιο στις κοσμικές ακτίνες, το ίδιο έτος έγινε η εισαγωγή των διαγραμμάτων Feynman. Σε αυτά τα διαγράμματα οι τροχιές των σωματιδίων που έχουν φορά στο χώρο και στον χρόνο και οι αλληλεπιδράσεις με κόμβους.



Εικόνα 1.4: Το διάγραμμα Feynman (Πηγή: <http://light.physics.auth.gr>)

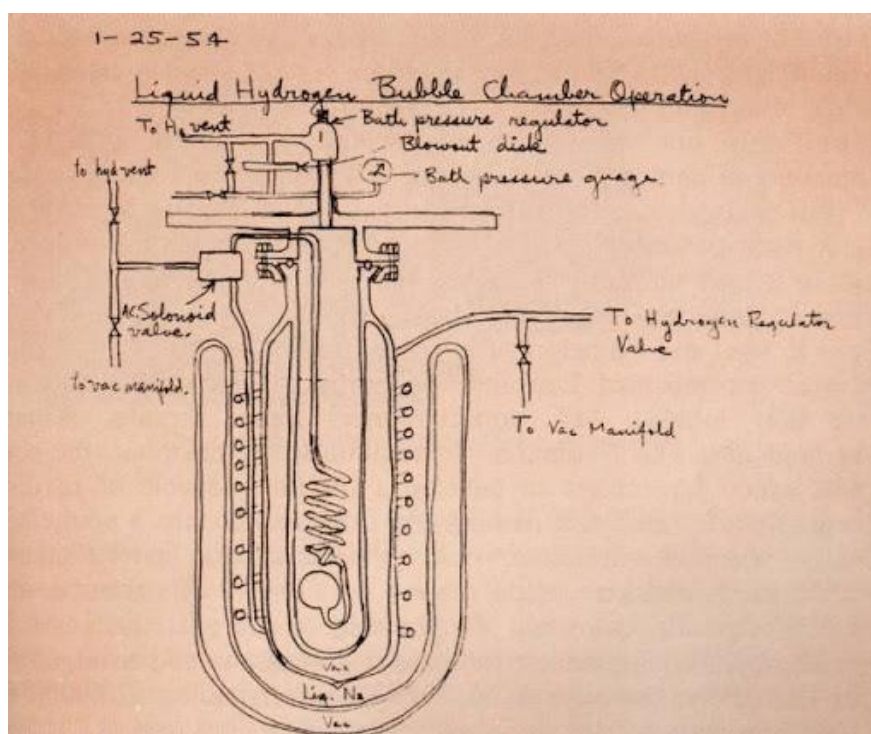
Έτος 1949

Ο Enrico Fermi και ο C.N. Yang διατυπώνουν την ιδέα πως το πόνιο αποτελείται από ένα νουκλεόνιο και ένα αντινουκλεόνιο.

Έτος 1952

Ανακαλύφθηκαν τα σωματίδια δέλτα, υπάρχουν τέσσερα είδη, Δ^{++} , Δ^+ , Δ^0 και Δ^- , το ίδιο έτος ο Donald Glaser εφευρίσκει τον θάλαμο φυσαλίδων. Η κατασκευή του ολοκληρώθηκε το 1954, η βασική ιδέα του Glaser ήταν να καταστούν ορατές οι τροχιές φορτισμένων υποατομικών σωματιδίων σαν ένα μονοπάτι από φυσαλίδες μέσα σε

υπέρθερμο υγρό⁷. Στον θάλαμο έρεε υγρό υδρογόνο γιατί το υδρογόνο έδινε απλούστερες αντιδράσεις καθώς ο πυρήνας του αποτελείται από ένα μόνο πρωτόνιο.



Εικόνα 1.5: Ο πρώτος θάλαμος φυσαλίδων του Glaser (Πηγή: <http://hep.physics.uoc.gr/>)

Έτος 1954

Ο C.N Yang και ο Robert Mills αναπτύσσουν τις θεωρίες βαθμίδας, οι οποίες στην πορεία αποτέλεσαν την βάση του Καθιερωμένου Προτύπου. Σύμφωνα με τη θεωρία βαθμίδας κάποιοι μετασχηματισμοί συμμετρίας μπορούν να εφαρμοστούν και τοπικά και ολικά. Το Καθιερωμένο Πρότυπο της σωματιδιακής Φυσικής είναι μια θεωρία που διατυπώθηκε και αναπτύχθηκε κυρίως την δεκαετία του 1970 και περιγράφει τις ισχυρές, ασθενείς και ηλεκτρομαγνητικές αντιδράσεις καθώς και τα στοιχειώδη σωματίδια που αποτελούν την ύλη. Αποτελεί μια θεωρία πεδίου που στηρίζεται στην Κβαντομηχανική και την ειδική θεωρία της σχετικότητας, δεν είναι μια πλήρης θεωρία καθώς δεν περιγράφει την βαρυτική αλληλεπίδραση, αλλά μέχρι σήμερα σχεδόν όλες οι πειραματικές διαδικασίες συμφωνούν με τις θεωρητικές προβλέψεις.

⁷ Το υγρό βρίσκεται σε υπερκρίσιμη κατάσταση όπου η υγρή και η αέρια φάση του συγχωνεύονται σε μία ενιαία υγρή φάση με ιδιότητες ανάλογες του αερίου και του υγρού.

1.1 Κβαντική Βιολογία

Οι περισσότεροι επιστήμονες θεωρούν πως οι ρίζες της κβαντικής βιολογίας ξεκινούν το 1944 από την δημοσίευση του βιβλίου του Erwin Schrodinger 'What is life?'. Βέβαια και πριν από το 1944 αρκετοί φυσικοί προσπαθούσαν να συνδέσουν τις επιστήμες της Βιολογίας και της Κβαντομηχανικής, χαρακτηριστικό παράδειγμα ο Γερμανός φυσικός Pascual Jordan δημοσίευσε το 1943 το βιβλίο με τίτλο 'Physics and the secret of organic life' στο οποίο διατύπωσε το ερώτημα αν οι νόμοι της ατομικής και Κβαντικής Φυσικής έχουν θεμελιώδη σημασία στην ζωή. Στην πραγματικότητα η Κβαντική Βιολογία γεννήθηκε λίγο μετά την θεμελίωση της κβαντικής θεωρίας, πολλοί φυσικοί ξεκίνησαν την διερεύνηση νέων επιστημονικών κλάδων όπου θα μπορούσε να έχει ισχύ η Κβαντική Φυσική, όπως η μικροβιολογία, η γενετική και η βιολογία. Η πρόοδος της πειραματικής Φυσικής δημιουργούσε νέα ερωτήματα. Το 1927 ο H.J Muller απέδειξε πως η έκθεση στις ακτίνες γ μπορεί να προκαλέσει γενετικές μεταλλάξεις, αποτέλεσε ιδιαιτέρως σημαντικό γεγονός για την πορεία προς την ανακάλυψη των μυστικών της ίδιας της ζωής. Όπως είναι φυσικό υπήρχαν και φυσικοί που κριτίκαραν την άποψη πως οι αρχές της Φυσικής και της Χημείας επαρκούν για να εξηγήσουν την βιολογία, ένας από αυτούς ήταν ο Niels Bohr.

Το ενδιαφέρον για την εξήγηση της βάσης της ζωής καθώς και του συσχετισμού της κβαντικής μηχανικής με την ζωή ήταν πολύ ζωηρό, το 1932 μια ομάδα επιστημόνων στο πανεπιστήμιο του Cambridge ίδρυσε το Theoretical Biology Club (Θεωρητική ομάδα βιολογίας) με τον φιλόδοξο στόχο την επίλυση του 'μεγάλου προβλήματος', το οποίο ήταν εάν η ζωή μπορεί να εξηγηθεί από τις δραστηριότητες των ατόμων και των μορίων. Οι μελέτες για το εύρος της εφαρμογής της 'νέας επιστήμης' της κβαντικής στην βιολογία μπήκαν σε αναμονή κατά το τέλος της δεκαετίας εξαιτίας του ΒΠΠ. Μέχρι το 1940 ήταν γνωστό πως η κληρονομικότητα διέπεται από τα γονίδια, όμως ακόμα ήταν άγνωστη η προέλευση των γονιδίων. (McFadden, J. & Al-Khallil, J. 2018). Ο Schrodinger είχε εντυπωσιαστεί από εξαιρετική πιστότητα της γενετικής κληρονομικότητας, υποστήριξε πως η πιστότητα δεν θα μπορούσε να εξηγηθεί από τους κλασσικούς νόμους καθώς τα γονίδια είναι εξαιρετικά μικρά.

Το 1993 πενήντα έτη μετά την δημοσίευση του βιβλίου του Schrodinger 'What is life?' έγινε στο Trinity College στο Δουβλίνο συγκεντρώθηκαν σπουδαίοι επιστήμονες από όλο τον κόσμο για να τιμήσουν τον Schrodinger και τη σπουδαιότητα του βιβλίου του.

Αρκετοί βιολόγοι επιστήμονες συνέχισαν να πιστεύουν πως η δομική φύση της ζωής υπακούει σε όλους τους γνωστούς στατιστικούς νόμους της Κλασικής Χημείας και Φυσικής. Οι δεκαετίες του 1960 και του 1970 αποτέλεσαν ιδιαίτερα σημαντικές για την εξέλιξη της Κβαντικής Βιολογίας κυρίως χάρη σε φυσικούς όπως ο Herbert Frolich ο οποίος πρότεινε πως η κβαντική συνοχή διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στα βιολογικά συστήματα (McFadden, J. & Al-Khallil, J. 2018)

Ακολουθεί μία σύντομη ιστορική αναδρομή με τις ανακαλύψεις ορόσημο στον τομέα της Κβαντικής Βιολογίας:

Έτος 1941

Ο Jordan δημοσίευσε το βιβλίο ‘Physics and the secret of organic life’.

Έτος 1944

Ο Schrodinger δημοσίευσε το βιβλίο ‘What is life?’.

Έτος 1953

Ανακαλύφθηκε η δομή διπλού έλικα του DNA από τους Crick και Watson οι οποίοι ήταν επηρεασμένοι από τον Schrodinger.

Έτος 1963

Ο Lowdin πρότεινε την σήραγγα πρωτονίων (proton tunneling) σαν μηχανισμό για τις σημειακές μεταλλάξεις στο μοντέλο Watson-Crick.

Έτος 1966

Οι De Vault και Chance παρατήρησαν ο φαινόμενο της σήραγγας ηλεκτρονίων (electron tunneling) στους καταλύτες ενζύμων.

Έτος 1974

Ο Hopfield ανέπτυξε το θεωρητικό μοντέλο για το φαινόμενο της σήραγγας στα ένζυμα.

Έτος 1976

Το συγκεκριμένο έτος έγιναν δύο ανακαλύψεις ορόσημο, αρχικά έγινε η πρώτη παρατήρηση του φαινομένου της μαγνητικής αντίληψης (magneto-reception) στα πουλιά από τον Wiltschko. Έπειτα ο Schulten πρότεινε ένα μοντέλο για να εξηγήσει το φαινόμενο της μαγνητικής αντίληψης.

Έτος 1989

Ομάδα επιστημόνων από το πανεπιστήμιο του Berkeley έγινε παρατήρηση του φαινομένου σήραγγας πρωτονίων σε καταλύτες ενζύμων για πρώτη φορά.

Έτος 2000

Ο Thorsten Ritz προτείνει το μοντέλο της κβαντικής πυξίδας στα μόρια κρυπτοχρωμάτων⁸ που βρίσκονται στα μάτια των κοκκινολαϊμίδων.

Έτος 2007

Οι Engel και Fleming ανακάλυψε μακράς διάρκειας κβαντικής συνοχής (quantum coherence) σε σύμπλεγμα των συνοριακών μοριακών τροχιών (FMO=frontier molecular orbitals) κατά το φαινόμενο της φωτοσύνθεσης.

⁸ Κατηγορία φλαβοπρωτεϊνών που βρίσκονται σε φυτά και ζώα ευαίσθητες στο μπλε φως

Κεφάλαιο 2. Φαινόμενα που μελετά η Κβαντική Βιολογία

2.1 Εισαγωγή

Στις αρχές του 20ου αιώνα με την κατασκευή νέων και ισχυρότερων μικροσκοπίων καθώς και με την εξέλιξη των τεχνικών ανίχνευσης οι ερευνητές ξεκίνησαν να εμβαθύνουν στην περιγραφή περίπλοκων βιολογικών συστημάτων. Οι επιστήμες των Μαθηματικών και της Φυσικής ξεκίνησαν να συνδέονται με την επιστήμη της βιολογίας, τα πρώτα φαινόμενα που μελετήθηκαν είναι:

- Το φαινόμενο της μορφογένεσης που μελέτησε το 1952 ο Alan Turing, το οποίο μελετά τον τρόπο που φυτά και ζώα αναπτύσσουν μοντέλα μορφών όπως οι ρίγες της ζέβρας ή οι κηλίδες των αγελάδων
- Το φαινόμενο της φωτοσύνθεσης
- Το φαινόμενο της υπέρθεσης στην βιολογία
- Φαινόμενα που αφορούν τους καταλύτες ενζύμων
- Το φαινόμενο της μαγνητικής αντίληψης (magneto reception) που έχουν ζωντανοί οργανισμοί και μπορούν και εντοπίζουν μαγνητικά πεδία με αποτέλεσμα να έχουν την δυνατότητα να αντιληφθούν το υψόμετρο ή την τοποθεσία ή την κατεύθυνση.

2.2 Η χημική βάση της μορφογένεσης

Ο Alan Turing στο βιβλίο του 'The Chemical Basis of Morphogenesis' προσπάθησε να παρουσιάσει πως βιολογικά συστήματα που αντιδρούν αμοιβαία και παρουσιάζουν το φαινόμενο της διάχυσης⁹ θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την απεικόνιση της βιολογικής μορφής. Στη δημοσίευση περιγράφεται ένα μαθηματικό μοντέλο για την ανάπτυξη ενός εμβρύου. Η κατασκευή ενός μηχανικού ρολογιού είναι πολύπλοκη και η λειτουργία και η χρησιμότητα κάθε κομματιού της κατασκευής εξαρτώνται από τα υπόλοιπα μέρη του ρολογιού ώστε να επιτύχουν τον σκοπό της κατασκευής τους, δηλαδή της μέτρησης του χρόνου, οπότε δεν γίνεται αυτά τα μέρη να κατασκευάστηκαν στην τύχη, ο ωρολογοποιός οφείλει να κατασκευάσει κάθε κομμάτι με κάποιο σχέδιο.

⁹ Η αυθόρμητη ανάμιξη δύο ή περισσότερων χημικών ουσιών που βρίσκονται σε επαφή, στα κύτταρα μέσω της διάχυσης σχηματίζεται η κυτταρική μεμβράνη

Τίθεται λοιπόν το ερώτημα πόσο λιγότερο πιθανό είναι ένας ζωντανός οργανισμός ο οποίος είναι πολύ πιο περίπλοκος από μία κατασκευή να έχει δημιουργηθεί χωρίς κάποιο σχέδιο; Οι περισσότεροι φυσικοί απαντούσαν πως το σχέδιο προκύπτει από την φυσική επιλογή¹⁰, ο A.Turing προσπάθησε να αντικρούσει το επιχείρημα του σχεδιαστή βασιζόμενος στους φυσικούς νόμους, όχι στην εξέλιξη. Απέδειξε πως ήταν δυνατό να δημιουργηθούν χημικές αντιδράσεις σε συνδυασμό με το φαινόμενο της διάχυσης ικανές για τη δημιουργία μοτίβων μορφών. Ο Turing απέδειξε πως με τις κατάλληλες παραμέτρους όπως ο ρυθμός αντίδρασης και ο συντελεστής διάχυσης¹¹ η αρχική ομοιόμορφη κατάσταση ήταν ασταθής ως προς αυθόρμητες διαταραχές, αποτέλεσε το μοντέλο της αστάθειας του Turing¹².

Την εποχή της μελέτης του Turing δεν είχε αποκρυπτογραφηθεί το DNA με αποτέλεσμα να υπήρχαν σημαντικοί περιορισμοί στην μελέτη του, η έρευνα του περιορίστηκε σε περιπτώσεις όπως , δακτυλίου κυττάρου, συνεχούς δακτυλίου ιστού και μίας σφαίρας ιστού. Το σημαντικότερο αποτέλεσμα της μελέτης του Turing ήταν η επεξήγηση της κατανομής των κηλίδων σε μία λεοπάρδαλη, οι ρίγες σε μία ζέβρα, τα πλοκάμια σε μια Hydra. Κατά τη μορφογένεση του κνιδόζωου της Hydra οι ποδίσκοι (πλοκάμια) που εμφανίζονται ακολουθούν το μοντέλο της αστάθειας του Turing. Η θεωρία της μορφογένεσης δεν μπορούσε να απαντήσει στο ερώτημα για τη δημιουργία του σχήματος ζωντανών οργανισμών. Ο Turing δεν κατάφερε να ολοκληρώσει ποτέ το έργο του, παρότι στο τέλος της δημοσίευσης του ανακοίνωσε πως η επόμενη δημοσίευση του θα αφορούσε το θέμα της φυλλοταξίας στα φυτά καθώς είχε αποδειχτεί πως κατά την φυλλοταξία παρατηρούνταν μαθηματικά μοτίβα όπως της ακολουθίας Fibonacci, δηλαδή κάθε επόμενη στοιβάδα έχει τον ίδιο αριθμό φύλλων με το άθροισμα των δύο προηγούμενων στοιβάδων. Ο Turing δυστυχώς αυτοκτόνησε δύο χρόνια αργότερα και το έργο του έμεινε ημιτελές.

¹⁰ Διατυπώθηκε το 1858 από τον Δαρβίνο και είναι η διαδικασία εξέλιξης των ειδών μέσω της οποίας οι οργανισμοί που είναι καλύτερα προσαρμοσμένοι στο περιβάλλον αφήνουν περισσότερους απογόνους.

¹¹ 1ος νόμος του Fick $J = -D \frac{dC}{dx}$ όπου D ο συντελεστής διάχυσης, J η ροή και C η συγκέντρωση

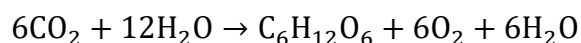
¹² Nanjudiah, N. (2003), Alan Turing and 'The Chemical Basis of Morphogenesis', Indian Institute of science

2.2 Το φαινόμενο της φωτοσύνθεσης

Τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε χημική ενέργεια. Κατά τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης φυτά και κάποιοι ζωντανοί οργανισμοί συνθέτουν οργανικές ενώσεις χρησιμοποιώντας ανόργανα συστατικά. Μέσω της φωτοσύνθεσης αυτότροφοι οργανισμοί μετατρέπουν το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό σε οργανικές ενώσεις, με σημαντικότερη την γλυκόζη.

Τα φυτά και ορισμένα είδη βακτηρίων κατά τη φωτοσύνθεση απελευθερώνεται οξυγόνο (οξυγονική φωτοσύνθεση), ενώ υπάρχουν ορισμένα είδη βακτηρίων που ενώ χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για την σύνθεση οργανικών ενώσεων δεν παράγουν οξυγόνο (ανοξυγονική φωτοσύνθεση).

Η απλουστευμένη χημική αντίδραση της οξυγονικής φωτοσύνθεσης είναι η ακόλουθη



Στα κύτταρα του μεσοφύλλου βρίσκονται οι χλωροπλάστες, στα συγκεκριμένα οργανίδια επιτελείται το σύνολο των φωτοχημικών και βιοχημικών σταδίων της φωτοσύνθεσης. Το πρώτο στάδιο της φωτοσύνθεσης είναι η διαδικασία δέσμευσης του φωτός, έπειτα διεξάγονται οι φωτεινές αντιδράσεις που γίνονται στις μεμβράνες των χλωροπλαστών. Κατά τις φωτεινές αντιδράσεις σχηματίζονται ATP^{13} και NADPH_2^{14} από την διάσπαση του νερού σε πρωτόνια και μοριακό οξυγόνο, στη συνέχεια το οξυγόνο αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα και ακολουθεί το στάδιο των σκοτεινών αντιδράσεων, κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης το φυτό προσλαμβάνει από την ατμόσφαιρα διοξείδιο του άνθρακα και με τη βοήθεια της μεταβολικής ενέργειας των ATP και NADPH_2 συνθέτει την τριόζη 3φωσφορογλυκεριναλδεΐδη μέσω αυτού του μορίου συντίθεται η γλυκόζη.

Κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης το φωτόνιο διεγείρει ένα ηλεκτρόνιο των μορίων του χλωροπλάστη και δημιουργεί μία δομή που ονομάζεται εξιτόνιο (exciton), η οποία αποτελείται από το διεγερμένο ηλεκτρόνιο και τη θετικά φορτισμένη οπή. Το εξιτόνιο μεταφέρεται μέσω μορίων χλωροφύλης μέχρι να βρεθεί σε ένα σύμπλεγμα πρωτεΐνης που ονομάζεται κέντρο αντίδρασης. Αρχικά κυριαρχούσε η πεποίθηση πως η μεταφορά του εξιτόνιου στο κέντρο αντίδρασης γινόταν τυχαία, όμως στη περίπτωση που τα εξιτόνια δεν μεταφέρονταν από τη βέλτιστη διαδρομή θα μεγιστοποιούταν η απώλεια

¹³ Τριφωσφορική αδενοσίνη

¹⁴ Μη κυκλική μεταφορά ηλεκτρονίων

ενέργειας, καθώς τα εξιτόνια μπορούν να χάσουν ενέργεια. Γι' αυτόν το λόγο οι επιστήμονες πρότειναν πως η απώλεια ενέργειας θα μπορούσε να αποφευχθεί εάν η διαδικασία μεταφοράς είχε κβαντική συνοχή. Δηλαδή αν το εξιτόνιο κινούταν ως κύμα και όχι ως σωματίδιο θα μπορούσε να ελέγξει ταυτόχρονα όλες τις πιθανές διαδρομές προς το κέντρο αντίδρασης και να ακολουθήσει την βέλτιστη διαδρομή. Το 2007 μια ομάδα χημικών¹⁵ καθοδηγούμενη από τους Graham Fleming από το πανεπιστήμιο του Berkeley και Robert Blakeship του πανεπιστημίου της Ουάσινγκτον ισχυρίστηκαν πως παρατήρησαν φαινόμενο κβαντικής συνοχής σε συμπλέγματα μορίων χλωροφύλλης, τα οποία πάρθηκαν από πράσινα θειούχα βακτήρια. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν μια τεχνική που αναλύει την ενέργεια που απορροφάται και εκπέμπεται από το δείγμα και εντοπίστηκε ένα σήμα που ονομάστηκε quantum beating-oscillations το οποίο παρουσιάστηκε ως απόδειξη κβαντικής συνοχής σε μοριακά συμπλέγματα που ψύχθηκαν στους 77 βαθμούς Κέλβιν.

Το 2017 ερευνητές από τη Γερμανία παρατήρησαν πως το φαινόμενο της κβαντικής συνοχής στα πράσινα θειούχα βακτήρια είχε διάρκεια λιγότερη από 6×10^{-5} ns, χρόνος πολύ σύντομος ώστε να θεωρηθεί πως επιβεβαιώνεται η μεταφορά ενέργειας στο κέντρο αντίδρασης μέσω κβαντικής συνοχής. Το 2018 υπήρξε ομάδα επιστημόνων¹⁶ που υποστήριξε πως παρατηρήθηκαν διαφορετικοί τύποι κβαντικής συνοχής σε συμπλέγματα μορίων χλωροφύλλης με κάποια από αυτά να φαίνεται πως έχουν χρονική διάρκεια ικανή ώστε να συμμετέχουν στην φωτοσύνθεση¹⁷. μια άλλη ομάδα επιστημόνων υποστήριξε πως υπάρχουν βακτήρια που είναι ικανά να εναλλάξουν το φαινόμενο της κβαντικής συνοχής με τη παραγωγή διαφορετικών μορφών πρωτεϊνών που δεσμεύουν το φως¹⁸. Όλα τα παραπάνω επιστημονικά αποτελέσματα αναζωπυρώνουν την θεωρία πως οι φωτοσυνθετικοί μηχανισμοί έχουν εξελιχθεί ώστε να εκμεταλλεύονται κβαντικά φαινόμενα.

¹⁵ G.S. Engel, T. Calhoun, E. L. Read, T. K. Ahn, T. Mancal, R. E. Blankenship and G. R. Fleming., (2007), Evidence for wavelike energy transfer: Quantum coherence in photosynthetic systems”, Nature, 446, 782

¹⁶ E. Thyryhaug et al., (2018), “Identification and characterization of diverse coherences in the Fenna–Matthews–Olson complex,” [Nat Chem](#), 10:780–86

¹⁷ www.the-scientist.com, article: Quantum Biology may help some of life’s greatest mysteries, ημερομηνία ανάκτησης (13/5/2021)

¹⁸ S.J. Harrop et al. (2014), “Single-residue insertion switches the quaternary structure and exciton states of cryptophyte light-harvesting proteins,” [PNAS](#), 111:E2666–75,

2.3 Το φαινόμενο της υπέρθεσης στη Βιολογία

Μία από τις πιο ενδιαφέρουσες πτυχές της Φυσικής σχετίζεται με το γεγονός πως οι κβαντικές καταστάσεις είναι καλά καθορισμένες ακόμα και στη περίπτωση που σύμφωνα με την Κλασική Φυσική οι καταστάσεις συνυπάρχουν αμοιβαία αποκλείοντας δυνατότητες. Το σημαντικότερο παράδειγμα αποτελεί η διπλή φύση του φωτός που αποδείχτηκε στο περίφημο πείραμα των δύο σχισμών του Young το 1803. Η αρχή της υπέρθεσης σχετίζεται με τον δυϊσμό μεταξύ ντετερμινισμού και κβαντικής τυχαιότητας, το σχήμα και η θέση του διαμορφώματος είναι αποτέλεσμα της συνέλιξης ορίζεται αυστηρά από την εξίσωση κύματος. Σύμφωνα με την θεωρία της Κβαντομηχανικής θεωρητικά και σε κάποιο βαθμό στην πράξη ένα σωματίδιο φαίνεται να βρίσκεται σε δύο μέρη ταυτόχρονα, το συγκεκριμένο παράδοξο ονομάζεται υπέρθεση. Η κβαντική διεμπλοκή (quantum entangled) είναι το φαινόμενο όπου δύο σωματίδια αλληλεπιδρούν ενώ βρίσκονται σε τυχαίες αποστάσεις, ο μηχανισμός ανταλλαγής πληροφοριών σε τέτοιες αποστάσεις ακόμα είναι άγνωστος. Ενώ τα φαινόμενα της υπέρθεσης και της διεμπλοκής παρατηρούνται σε κβαντική κλίμακα, δεν έχουν παρατηρηθεί στον μακρόκοσμο.

Ορισμός: Δύο κβαντικά συστήματα βρίσκονται σε κβαντική διεμπλοκή όταν η κατάσταση τους δεν μπορεί να γραφεί ως τανυστικό γινόμενο των βασικών τους καταστάσεων.

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες ο κλάδος της Κβαντικής Βιολογίας μελετά και αναζητά μέσω πειραμάτων σε ζωντανούς οργανισμούς τα όρια της Κβαντικής Θεωρίας. Μέχρι σήμερα κανένα πείραμα σε ζωντανούς οργανισμούς δεν έχει αποδείξει τα φαινόμενα της κβαντικής υπέρθεσης και κβαντικής διεμπλοκής, όμως το 2018 ομάδα επιστημόνων από το πανεπιστήμιο της Οξφόρδης με επικεφαλής την Chiara Marletto αναλύοντας τα αποτελέσματα του πειράματος που διεξήχθη το 2016 στο πανεπιστήμιο του Sheffield με επικεφαλής τον David Coles, Στο συγκεκριμένο πείραμα δεσμεύτηκαν εκατοντάδες πράσινα θειούχα φωτοσυνθετικά βακτήρια μεταξύ δύο καθρεπτών, η απόσταση των δύο καθρεπτών μειωνόταν σταδιακά σε μερικές εκατοντάδες νανόμετρα. Έπειτα χρησιμοποιήθηκε λευκό φως, το ανακλώμενο μέρος του λευκού φωτός ανάμεσα στους καθρέπτες με σκοπό να προκαλέσουν την σύζευξη των φωτοσυνθετικών μορίων των βακτηριδίων ή την αλληλεπίδραση τους εντός της κοιλότητας. Οι ερευνητές ανέμεναν πως τα βακτήρια θα απορροφούν συνεχώς, θα εκπέμπουν και θα απορροφούν ξανά τα ανακλώμενα φωτόνια. Το πείραμα ήταν επιτυχές, έως 6 βακτήρια παρατηρήθηκε πως

παρουσιάζουν το φαινόμενο της σύζευξης. Η ομάδα της Chiara Marletto παρατήρησε πως συγκεκριμένα φωτόνια χτυπούν ταυτόχρονα και άλλοτε αποτυγχάνουν ταυτόχρονα γεγονός που αποδεικνύει την ύπαρξη κβαντικής διεμπλοκής¹⁹.

2.4 Φαινόμενα που αφορούν τους καταλύτες ενζύμων

Η βιοχημικός Judith Klinman του πανεπιστημίου του Berkeley θεωρούσε πως η υπάρχουσα θεωρία για τους καταλύτες ενζύμων ήταν ημιτελής, καθώς θεωρούσε τα αποτελέσματα από in vitro²⁰ πειράματα με ένζυμο που πάρθηκε από ζύμη παράξενα. Κατά την κατάλυση βενζυλικής αλκοόλης σε βενζαλδεϋδή το ένζυμο της αλκοολικής αφυδρογονάσης²¹ μετατοπίζει ένα άτομο υδρογόνου από μια θέση σε μια άλλη. Όταν όμως η Klinman και οι συνεργάτες της αντικατέστησαν συγκεκριμένα άτομα υδρογόνου στο υπόστρωμα από βαρύτερα ισότοπα όπως δευτέριο (ένα από τα δύο σταθερά ισότοπα υδρογόνου) και τρίτιο παρατήρησαν πως η αντίδραση επιβραδύνθηκε δραστικά. Οι κλασσικές εξηγήσεις για την ενζυμική κατάλυση δεν μπορούσαν να εξηγήσουν την μεγάλη πτώση του ρυθμού που παρατήρησε η Klinman και οι συνεργάτες της, συγκεκριμένα η Klinman είπε πως ‘ αυτά που είδαμε αποκλίνουν από τις υπάρχουσες θεωρίες’²². Έπειτα από έρευνες και μελέτες της ομάδας της το 1989 δημοσίευσαν το άρθρο με την επεξήγηση πως η κατάλυση ενζύμων περιέχει το φαινόμενο της κβαντικής σήραγγας, ειδικότερα η μεταφορά του υδρογόνου γίνεται με το φαινόμενο της σήραγγας. Η συγκεκριμένη υπόθεση εξηγεί γιατί το δευτέριο και το τρίτιο συγκρατούν τις αντιδράσεις (τα βαρύτερα σωματίδια δεν ευνοούν το φαινόμενο της σήραγγας). Τα αποτελέσματα των πειραμάτων επαναλήφθηκαν και από άλλα εργαστήρια για πολλαπλά ένζυμα και παρέχουν μερικές ισχυρές ενδείξεις για κβαντικά φαινόμενα σε βιολογικά συστήματα σύμφωνα με τον Ali-Khalili.

Το φαινόμενο της κβαντικής σήραγγας στις καταλύσεις ενζύμων έχει αποδειχθεί πως συμβαίνει, μόνο που υπάρχει διαφωνία στην επιστημονική κοινότητα για το πόσο

¹⁹ <https://www.scientificamerican.com/article/schroedingers-bacterium-could-be-a-quantum-biology-milestone/> (ημερομηνία ανάκτησης 19/5/2021)

²⁰ Λατινική έκφραση που αποτελεί επιστημονικό όρο της Βιολογίας για πειράματα που εκτελούνται σε δοκιμαστικό σωλήνα και γενικότερα που πραγματοποιούνται σε αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες

²¹ Ένζυμο που περιέχει ψευδάργυρο

²² https://www.the-scientist.com/features/quantum-biology-may-help-solve-some-of-lifes-greatest-mysteries-65873?fbclid=IwAR14_Upa2cYuc0rau2lQrNobts79s_Vh1TLsuCBHsT3Ve-8gJLTkd6TdhBI (ημερομηνία ανάκτησης 19/5/2021)

σημαντικό είναι το φαινόμενο κατά την κατάλυση ενζύμων, καθώς και αν είναι μέρος της φυσικής επιλογής. Ο χημικός Richard Finke (καθηγητής του πανεπιστημίου του Κολοράντο) απέδειξε πως υπάρχουν αντιδράσεις που εμφανίζουν ισοτοπικές αντιδράσεις ανεξαρτήτου της παρουσίας ενζύμου, γεγονός που υποδηλώνει πως τα ένζυμα είναι απίθανο να είναι προσαρμοσμένα για να ενισχύουν τις επιδράσεις της σήραγγας στις αντιδράσεις που καταλύουν.

2.5 Το φαινόμενο της μαγνητικής αντίληψης (magnet-reception)

Κάθε χειμώνα οι Ευρωπαίοι κοκκινολαίμηδες μεταναστεύουν από τη Βόρεια Ευρώπη προς τις περιοχές της Μεσογείου, η συγκεκριμένη διαδικασία οφείλεται στην ικανότητα των πτηνών να ανιχνεύουν το μαγνητικό πεδίο της Γης, αυτή η ικανότητα των πτηνών ονομάζεται μαγνητική αντίληψη. Πειραματικά η άποψη της ύπαρξης μαγνητικής αντίληψης δεν μπορούσε να αποδειχτεί μέχρι το 2000 όπου ο Thorsten Ritz του πανεπιστημίου της Καλιφόρνια εστιάζοντας στο υπάρχον έργο του βιοφυσικού Klaus Schulten του πανεπιστημίου του Ιλινόις, οι δυο τους μαζί με έναν συνάδελφο του Schulten δημοσίευσαν την μελέτη τους για το μοντέλο (radical-pair model) με σκοπό την επεξήγηση του μηχανισμού λειτουργίας του φαινομένου της μαγνητικής αντίληψης των πτηνών. Οι ερευνητές πρότειναν πως οι αντιδράσεις πρωτεΐνης κρυπτοχρώματος δημιουργούν ένα ζευγάρι ελεύθερων ριζών που αποτελούνται από ένα μονήρες ζεύγος ηλεκτρονίων. Η συμπεριφορά αυτών των δύο ηλεκτρονίων είναι σύμφωνη με το φαινόμενο της κβαντικής διεμπλοκής και υπάρχει ευαισθησία στην ευθυγράμμιση ασθενών μαγνητικών πεδίων όπως αυτό της Γης. Σε μία μελέτη που δημοσιεύτηκε το 2004 της παραπάνω ομάδας επιστημόνων χρησιμοποίησε κοκκινολαίμηδες και τους εξέθεσε σε μαγνητικά πεδία διαφορετικών συχνοτήτων και γωνιών, το αποτέλεσμα ήταν η διατάραξη της ευαισθησίας του ζεύγους ελεύθερων ριζών και οι κοκκινολαίμηδες χάσανε την ικανότητα πλοήγησης τους. Οι επιστημονικές μελέτες και έρευνες πρέπει να συνεχίσουν ώστε να επιβεβαιωθεί πως η μαγνητική αντίληψη λειτουργεί κατ' αυτόν τον τρόπο και να διερευνηθεί η σημαντικότητα του φαινομένου της κβαντικής διεμπλοκής στο ζεύγος ελεύθερων ριζών.

Κεφάλαιο 3. Κβαντική Βιολογία και όσφρηση

3.1 Εισαγωγή

Με την εξέλιξη της Κβαντομηχανικής και τη γενικότερη ανάπτυξη των φυσικών επιστημών ξεκίνησαν έρευνες για την ερμηνεία της ζωής, ειδικότερα για την δομή των ατόμων και των μορίων των έμβιων οργανισμών. Αναπτύχθηκε ο επιστημονικός κλάδος της Μοριακής Βιολογίας, το σχήμα των μορίων καθώς και η χημική συγγένεια²³ συνθέτουν την λειτουργικότητα του κυττάρου, αυτές οι ιδιότητες μπορούν να περιγραφούν από τον κλάδο της Κβαντομηχανικής, όπου πλέον υπάγεται στην Κβαντική Βιολογία.

Όσφρηση είναι η ικανότητα των έμβιων οργανισμών να ανιχνεύσουν και να διακρίνουν διαφορετικές οσμές. Οι οσμές προκαλούνται από μία ή περισσότερες πτητικές χημικές ενώσεις. Διαφορετικοί οργανισμοί έχουν αναπτύξει διαφορετικούς μηχανισμούς για τη διάκριση των οσμών.

Το 2007 η βιολόγος Gabriele Gerlach διεξήγαγε πείραμα για να ελέγξει την θεωρία πως οι προνύμφες ψαριών μπορούν να αναγνωρίσουν το σπίτι τους. Για το σκοπό του πειράματος συγκέντρωσε θαλασσινό νερό από τον ύφαλο που επώαστηκαν και από περιοχή πολύ μακριά από το μέρος επώασης, το νερό τοποθετήθηκε σε δύο αυτοσχέδια κανάλια και στη φορά του ρεύματος στα κατάντη τοποθέτησε τις προνύμφες, αυτές προτίμησαν το νερό από τη περιοχή που επώαστηκαν. Η ικανότητα των προνύμφων να μπορούν να ξεχωρίσουν ανάμεσα στο νερό διαφορετικών περιοχών αποδίδεται στην όσφρηση τους.

Παρόμοιο πείραμα διεξήγαγε η Daniella Dixon και επιβεβαίωσε την ικανότητα του ψαριού-κλόουν (anemonefish) να ξεχωρίσει νερό από τον ύφαλο που κατοικεί ανάμεσα σε διαφορετικά δείγματα νερού. Τα παραπάνω καθώς και άλλες μελέτες και πειράματα επιβεβαίωσαν την θεωρία πως τα ψάρια ακολουθούν κάποιου είδους ίχνους οσμών ώστε να αναγνωρίζουν το φυσικό τους περιβάλλον και το είδος τους.

Τα μόρια του ατμοσφαιρικού αέρα υφίστανται δονήσεις, αναταράξεις καθώς και μεταφορά από ένα σημείο σε ένα άλλο ακριβώς όπως συμβαίνει στα μόρια του νερού. Τα μόρια στον αέρα διαχωρίζονται και διασκορπίζονται με μεγαλύτερη ταχύτητα από

²³ Στη Χημεία ο όρος χημική συγγένεια χαρακτηρίζεται γενικά η δύναμη που συγκρατεί ενωμένα τα άτομα μιας μοριακής ένωσης.

ότι στο νερό²⁴. Τα έμβια όντα έχουν τη δική τους χαρακτηριστική όσφρηση. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα:

- Οι αρκούδες μπορούν να διακρίνουν την τροφή τους σε απόσταση έως και 10 μιλίων, επίσης έχουν τη δυνατότητα να εντοπίσουν την τοποθεσία των νεογνών σε μεγάλες αποστάσεις όταν αυτά χαθούν.
- Τα κουνέλια έχουν πάνω από 100 εκατομμύρια οσφρητικά κύτταρα τα οποία τους παρέχουν τη δυνατότητα να αναγνωρίσουν άλλα κουνέλια καθώς και άλλα ζώα.
- Οι ελέφαντες έχουν τη δυνατότητα να μυρίσουν το νερό, ακόμα και όταν βρίσκεται στο υπέδαφος σε απόσταση έως και 12 μίλια μακριά και μπορούν να απομνημονεύσουν την τοποθεσία για μελλοντική ανάγκη.

3.2 Ανατομία του ανθρώπινου αισθητικού συστήματος της όσφρησης

Το οσφρητικό νεύρο που αποτελείται από τους οσφρητικούς νευρώνες και τα οσφρητικά κύτταρα ξεκινά από το μεταιχμιακό σύστημα του εγκεφάλου και καταλήγει στην εσωτερική οροφή της μύτης. Η αίσθηση της όσφρησης εξυπηρετείται από το οσφρητικό νεύρο. Οι οσφρητικοί νευρώνες καταλήγουν στα οσφρητικά τριχίδια, στις άκρες των οποίων βρίσκονται οι οσφρητικοί υποδοχείς, κάθε ένας υποδοχέας δέχεται ερέθισμα από ένα οσμογόνο μόριο που εκπέμπεται από κάθε ουσία. Το ερέθισμα οδηγείται στον οσφρητικό φλοιό, όπου βρίσκεται η αποθηκευμένη μνήμη για την εκάστοτε οσμή, μνήμη που κατέγραψε ο άνθρωπος σε όλη τη διάρκεια της ζωής του.

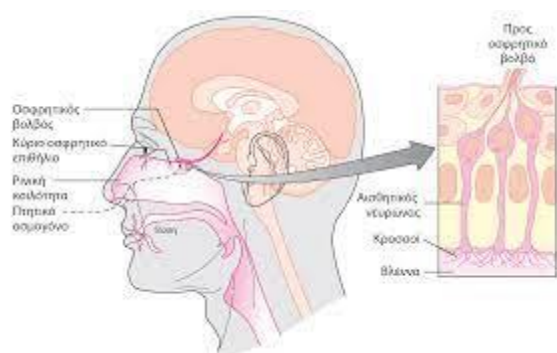
Ο ακριβής μηχανισμός με τον οποίο τα μόρια των ουσιών που προκαλούν οσμή διεγείρουν τα οσφρητικά κύτταρα παραμένει ακόμα άγνωστος, στην παρούσα ενότητα θα παρουσιάσουμε την θεωρία της Κβαντικής Βιολογίας στον μηχανισμό της αίσθησης της όσφρησης.

Τα μόρια των ουσιών που προκαλούν οσμές μπορούν να εισέλθουν στον οσφρητικό σύστημα είτε μέσω των ρουθουνιών είτε από το πίσω μέρος του λαιμού (αυτό συμβαίνει στη περίπτωση της κατάποσης). Τα ρουθούνια δρουν ως θάλαμος που επιτρέπει τη διέλευση του αέρα στη ρινική κοιλότητα, όπου εκεί φιλτράρεται και θερμαίνεται ο αέρας. Στη συνέχεια οι οσμές χτυπούν το οσφρητικό επιθήλιο με

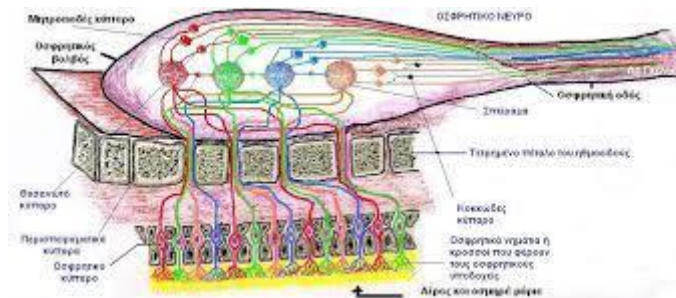
²⁴ J. McFadden and J. Al-Khalili, *Life on the edge: the coming of age of quantum biology* (Broadway Books, 2016).

αποτέλεσμα την αποστολή σήματος στον εγκέφαλο μέσω του οσφρητικού νεύρου και του οσφρητικού βολβού. Το οσφρητικό επιθήλιο φέρει εκατομμύρια οσφρητικούς υποδοχείς, οι οποίοι ενεργοποιούνται από τα διαφορετικά μόρια των οσμών τα οποία θεωρούνται πως έχουν διαφορετικό σχήμα. Το μέγεθος της έντασης του δεσμού των μορίων με τους υποδοχείς δεν είναι σταθερό, αυτή η διαφοροποίηση επηρεάζει την ικανότητα του εγκεφάλου να ξεχωρίσει διαφορετικές οσμές. Η ικανότητα του ανθρώπου να εντοπίζει διαφορετικές οσμές έγκειται στην πολυπλοκότητα της αλληλεπίδρασης μεταξύ των υποδοχέων και των οσμογόνων μορίων. Η εκάστοτε οσμή που διακρίνει και αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος είναι το αποτέλεσμα της ενσωμάτωσης και ολοκλήρωσης της κωδικοποιημένης πληροφορίας που προέρχεται από την αλληλεπίδραση των οσμογόνων μορίων και των υποδοχέων. Το ανθρώπινο οσφρητικό σύστημα αποτελείται από 390 διαφορετικού τύπου υποδοχείς, οι οποίοι με κάποιο τρόπο συντονίζουν τα διαφορετικά ερεθίσματα που λαμβάνουν από τα οσμογόνα μόρια με αποτέλεσμα την διάκριση χιλιάδων οσμών. Η συγκεκριμένη διαδικασία συντελείται έπειτα από μια συνδυαστική διαδικασία, όπου όλοι οι υποδοχείς διαθέτουν κάποιο είδους κώδικα ο οποίος καθορίζει τα χαρακτηριστικά μιας οσμής. Ένα οσμογόνο μόριο ενεργοποιεί περισσότερους από έναν υποδοχέα και ο συνδυασμός των αποκρίσεων τους μας παρέχει τη πληροφορία για την ακριβή οσμή.

Στην παρούσα μελέτη η διαδικασία που μελετάται είναι αυτή της σύλληψης της οσμής από το οσφρητικό νεύρο και αν σε αυτή τη διαδικασία συμπεριλαμβάνονται κβαντικά φαινόμενα.



Εικόνα 3.1: ανθρώπινο οσφρητικό σύστημα (Πηγή: Stryer, Lybert. (1997). Βιοχημεία, τόμος II, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης)



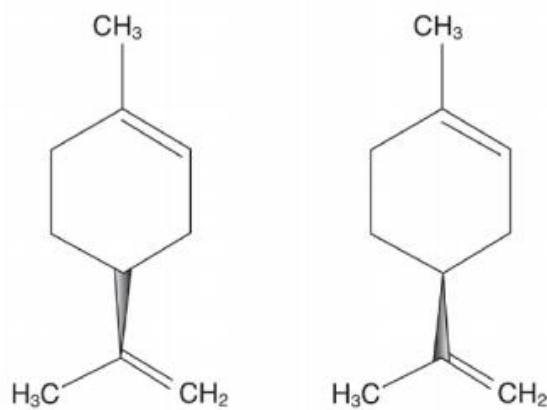
Εικόνα 3.2: το οσφρητικό νεύρο (Πηγή: www.gkelanto.gr)

3.3 Θεωρίες για την όσφρηση

3.3.1 Στερεοχημική θεωρία

Η συγκεκριμένη θεωρία διατυπώθηκε από τον J. Amoore το 1963 και ήταν η πρώτη φορά που παρουσιάστηκε μια σχέση μεταξύ δομής και οσμής. Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη θεωρία το σχήμα, το μέγεθος, η χημική δομή και το ηλεκτρικό φορτίο κάθε οσμογόνου μορίου προσαρμόζεται κατά μοναδικό τρόπο σε μία δεδομένη θέση. Με το πέρας της προσαρμογής μεταδίδεται η νευρική ώση²⁵ στον εγκέφαλο. Ο Amoore εισήγαγε στη θεωρία του επτά διαφορετικές πρωτογενείς οσμές (αιθέρια, μόσχου, καμφορά, πολύ έντονη/επίπονη, λουλουδιού, μέντας, αποσύνθεσης). Στη συγκεκριμένη θεωρία έγινε η παραδοχή πως αφού τα οσμογόνα μόρια έχουν διαφορετικό σχήμα μεταξύ τους, τα μόρια με ίδιο σχήμα θα έχουν ίδια οσμή, αλλά η μετέπειτα μελέτη της δομής των οσμογόνων μορίων κατέρριψε την συγκεκριμένη θεωρία καθώς βρέθηκαν οσμογόνα μόρια διαφορετικού σχήματος που είχαν ίδια οσμή καθώς και μοριακές ενώσεις παρόμοιας δομής που έχουν διαφορετική οσμή. Οι Buck και Axel ανακάλυψαν το 1991 περίπου 400 υποδοχείς, η συγκεκριμένη ανακάλυψη καταρρίπτει τη θεωρία περί μοναδικής προσαρμογής των οσμογόνων μορίων ανά υποδοχέα καθώς τα οσμογόνα μόρια είναι χιλιάδες και από το γεγονός πως ο υποδοχέας είναι μια πρωτεΐνη με δομή έλικα που διαπερνά τη μεμβράνη του κυττάρου 7 φορές, γεγονός που σημαίνει πως η έννοια της δομής του μορίου μεταφράζεται πλέον σε όλες τις πιθανές μορφές αλληλεπίδρασης.

²⁵ Αυτό αναπαραγόμενο ηλεκτρικό σήμα που μεταδίδεται κατά μήκος μιας μεμβράνης ενός νεύρου



Εικόνα 3.3: οι χημικές ενώσεις l-limonene, d-limonene που ενώ έχουν ίδια δομή έχουν διαφορετικές οσμές (Πηγή: J. McFadden and J. Al-Khalili, Life on the edge: the coming of age of quantum biology (Broadway Books, 2016).

Το 1987 επινοήθηκε ο όρος οσμοτόπιο από τον G. Shepherd, το οσμοτόπιο είναι το μέρος του οσμογόνου μορίου προσδένεται στον υποδοχέα, καθώς δεν προσδένεται ολόκληρο το οσμογόνο μόριο στον υποδοχέα παρά ένα μέρος του. Σύμφωνα με τον G. Shepherd υπάρχει η δυνατότητα πρόσδεσης παραπάνω του ενός οσμογόνου μορίου στον υποδοχέα. Αντίστοιχα, το κάθε μόριο μπορεί να αναγνωριστεί από περισσότερους από έναν υποδοχέα ταυτόχρονα με αποτέλεσμα η οσμή του να μεταφράζεται στον εγκέφαλο σύμφωνα με το μοτίβο ενεργοποίησης των υποδοχέων. Έτσι μπορεί να εξηγηθεί πώς γίνεται το σύνολο των οσφρητικών υποδοχέων στον άνθρωπο να είναι περίπου 400.

3.3.2 Θεωρία των δονήσεων

Ο M. Dyson το 1938 δημοσίευσε το άρθρο <<The scientific basis of odour>> πρότεινε τη θεωρία πως η μύτη μπορεί να διακρίνει τη συχνότητα δόνησης της οσμής. Διατύπωσε τη θεωρία πως υπάρχει συσχετισμός μεταξύ της απορρόφησης της υπέρυθρης ακτινοβολίας και οσμής, παρομοιάζοντας τη λειτουργία της μύτης με αυτήν του φασματοσκοπίου. Μέσα από πειράματα παρατήρησε πως σε ορισμένες θειόλες²⁶ ο δεσμός ενός ατόμου υδρογόνου με ένα άτομο θείου προκαλεί μία δυσάρεστη οσμή παρόμοια με σάπιο αυγό. Η μέτρηση της συχνότητας των δονήσεων των μοριακών

²⁶ Οργανικές ενώσεις που περιέχουν τουλάχιστον μία υδροθειομάδα (SH)

ενώσεων ακολούθησε την αρχή του Φαινομένου Ράμαν²⁷, καθώς η ακτινοβολία προσπίπτει στο μόριο προκαλείται δόνηση και η παρατηρούμενη σκεδαζόμενη ακτινοβολία έχει μικρότερη ενέργεια, γεγονός που προκαλεί μείωση της τιμής της συχνότητας του φωτονίου. Η ποσότητα της ενέργειας που χάνεται δίνει το φάσμα Ράμαν. Το φάσμα Ράμαν έχει ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό που αποδίδεται σε συγκεκριμένους χημικούς δεσμούς και αποτελεί ένα είδος ‘υπογραφής’.

Ο Dyson παρατήρησε την ύπαρξη ισχυρής συσχέτισης μεταξύ κάποιων συχνοτήτων του φάσματος Ράμαν και ορισμένων οσμών. Όλες οι μοριακές ενώσεις με τελικό δεσμό θείου-υδρογόνου παρατηρήθηκε πως είχαν συχνότητα στο ίδιο εύρος τιμών. Η εφαρμογή της θεωρίας των δονήσεων στην εξήγηση του φαινομένου της όσφρησης ήταν μια δύσκολη διαδικασία, οι λόγοι ήταν οι εξής:

- ◆ Η εξεύρεση της μεθοδολογίας σύμφωνα με την οποία η μύτη λειτουργεί όπως το φασματοσκόπιο με σκοπό τη συλλογή οσμών με τη μορφή σκεδαζόμενης ακτινοβολίας.
 - ◆ Η αναγκαιότητα της εμπλοκής φωτός κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.
- Η συγκεκριμένη θεωρία καταρρίφθηκε όταν παρατηρήθηκε πως χειρόμορφα μόρια²⁸ με ίδια χημική δομή και πανομοιότυπο φάσμα Ράμαν είχαν διαφορετικές οσμές.

3.3.3 Το φαινόμενο της ανελαστικής σήραγγας των ηλεκτρονίων

Η εξέλιξη της θεωρίας των δονήσεων που εισήγαγε ο Dyson έγινε από τον Luca Turin το 1996 με τη δημοσίευση του άρθρου <A spectroscopic mechanism for primary olfactory reception> (Φασματοσκοπικός μηχανισμός των πρωτογενών οσφρητικών υποδοχέων²⁹), ο Turin στη δημοσίευση του πρότεινε τη θεώρηση του μηχανισμού όσφρησης ως κβαντικό φαινόμενο. Σύμφωνα με τον Turin κάθε υποδοχέας ενεργοποιείται έπειτα από μοριακή δόνηση, ενέργειας E η οποία όταν αντιστοιχηθεί με κάποιο οσμολόγο μόριο ίδια ιδιοσυχνότητας δίνεται η νευρική ώση προς τον εγκέφαλο.

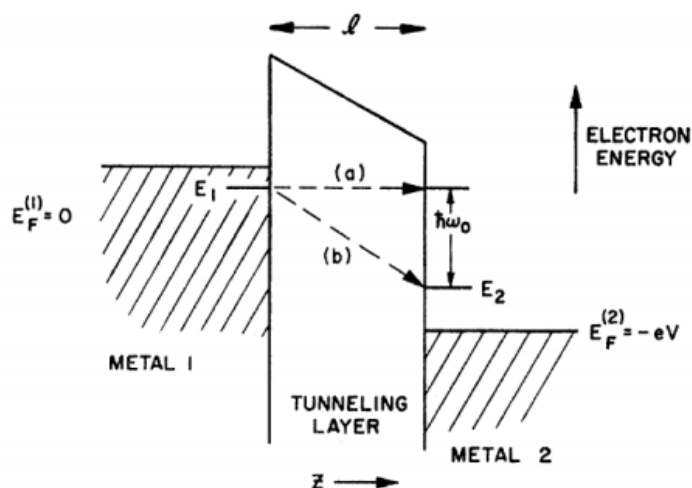
Στην εικόνα 2.4 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι ενεργειακές μεταβολές που συμβαίνουν σε μία ανελαστική σήραγγα ηλεκτρονίων. Δύο μεταλλικές πλάκες τοποθετημένες πολύ κοντά μεταξύ τους, η πλάκα 1 είναι αρνητικά φορτισμένη και η

²⁷ Κατά το φαινόμενο Ράμαν παρατηρείται μερική μεταβολή συχνότητας και φάσης της διερχόμενης ακτινοβολίας (ανελαστική σκέδαση) η οποία είναι περί τις χίλιες φορές ασθενέστερη της ελαστικής σκέδασης Rayleigh.

²⁸ Χειρόμορφα ονομάζεται η διάταξη ατόμων στο χώρο, στην οποία ορισμένες πράξεις συμμετρίας δεν οδηγούν στην αυτοαπεικόνιση

²⁹ Turin L., (1996), A spectroscopic mechanism for primary olfactory reception, Chemical Senses

πλάκα 2 θετικά φορτισμένη. Τα επίπεδα Fermi³⁰ των δύο πλακών διαφέρουν κατά 1eV, όταν εφαρμοστεί τάση 1V στα άκρα της σήραγγας τα ηλεκτρόνια της πλάκας 1 μπορούν κλασσικά σε οριζόντια διεύθυνση στη κατάσταση κενού στη πλάκα 2 χωρίς να γίνει κάποια μεταβολή στην ενέργεια τους. Η διαδικασία διέλευσης της σήραγγας χωρίς να χαθεί ενέργεια λέγεται ελαστική (elastic tunneling), στη περίπτωση όμως που στη σήραγγα υπάρχουν μόρια ενέργειας $\hbar\omega$ το ηλεκτρόνιο διέρχεται ανελαστικά.



Εικόνα 3.4: παρουσίαση ελαστικής και ανελαστικής σήραγγας ηλεκτρονίων (Πηγή: Asogwa, C. (2019), Quantum Biology: Can we explain olfaction using quantum phenomenon?)

Στη περίπτωση της ανελαστικής σήραγγας ηλεκτρονίων κατά τη διέλευση του ηλεκτρονίου παρατηρείτε αύξηση της αγωγιμότητας, γεγονός που υποδεικνύει πως το ενεργειακό φάσμα είναι παρόμοιο με την κρουστική συνάρτηση του Dirac.

Υπενθυμίζουμε πως η συνάρτηση $\delta(x)$ του Dirac ορίζεται από τις ακόλουθες ιδιότητες:

1. $\delta(x) = \begin{cases} +\infty, & x = 0 \\ 0, & x \neq 0 \end{cases}$
2. $\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(x) dx = 1$

Ο Turin πρότεινε ένα μοντέλο για το οσφρητικό σύστημα το οποίο λειτουργεί με τις ίδιες αρχές, οι υποδοχείς λειτουργούν όπως οι πλάκες IETS³¹ της εικόνας 2.4 και το ηλεκτρόνιο λειτουργεί όπως οι πρωτεΐνες g που ενεργοποιούν την νευρική ώση στο οσφρητικό νεύρο. Στην επόμενη υπό-ενότητα ακολουθεί η παρουσίαση του βιολογικού συστήματος ανελαστικής φασματοσκοπίας.

³⁰ Επίπεδο Fermi ενός στερεού σώματος ορίζεται το έργο που απαιτείται για να προστεθεί 1 ηλεκτρόνιο στο σώμα

³¹ Inelastic electron tunneling spectroscopy

3.3.4 Το βιολογικό σύστημα IELTS

Για τη δημιουργία ροής ηλεκτρονίων απαιτείται ενέργεια, επειδή η τάση των οσφρητικών κυττάρων είναι 0,5V μπορεί να γίνει η υπόθεση πως είναι δυνατή η δημιουργία ροής ηλεκτρονίων. Για το βιολογικό σύστημα της ανελαστικής σήραγγας ηλεκτρονίων του Turin είναι απαραίτητη η πηγή που θα προσφέρει ηλεκτρόνια, η μεταφορά ηλεκτρονίων γίνεται έπειτα από χημικές αντιδράσεις οξειδοαναγωγής³². Η μεταφορά ηλεκτρονίων γίνεται με μεταλλοπρωτεΐνες³³, ο Turin πρότεινε πως η πηγή των ηλεκτρονίων θα μπορούσε να είναι το φωσφορικό δινουκλεοτίδιο νικοτιναμιδικής αδενίνης σε συντομογραφία NADPH, το NADPH προσδένεται στην πηγή ηλεκτρονίων στο ένα άκρο του διάκενου διαμέσου διαφόρων μοτίβων αμινοξέων με αποτέλεσμα τη δημιουργία τριτοταγούς δομής μιας πρωτεΐνης, στην άλλη πλευρά του διάκενου ένας υποδοχέας που κατά ισχυρισμό περιέχει ψευδάργυρο. Η συχνότητα δόνησης των οσμογόνων μορίων μπορεί να μετρηθεί μέσω της πρωτεΐνης του υποδοχέα, ο οποίος μπορεί να δράσει ως φασματοσκόπιο σχεδιασμένο για την ανίχνευση κβαντοποιημένης δόνησης που σχετίζεται με τη διαφορά ενέργειας. Ο Turin θεωρεί πως υπάρχουν 10 υποδοχείς που συντονίζονται κατά τη μεταφορά του σήματος με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός συνδυασμού αλληλοεπικαλυπτόμενων μηνυμάτων από διαφορετικά κύτταρα που συμμετέχουν στην διαδικασία. Τα οσφρητικά κύτταρα έχουν δυναμικό ηρεμίας³⁴ μεταξύ -50mV και -65mV (η μέτρηση γίνεται με χρήση της μεθόδου whole cell patch Clamp) και η μέση χωρητικότητα της κυτταρικής μεμβράνης είναι $3,9 \pm 1\text{pF}$. Το εύρος συχνοτήτων περιορίζεται μόνο από την ΗΕΔ από το NADPH στον υποδοχέα. Οι συχνότητες δόνησης που έχουν καταγραφεί από τους περισσότερους μοριακούς δεσμούς των οσμογόνων μορίων φτάνουν μέχρι 4.000cm^{-1} . Η ακριβής μέτρηση της μεταφοράς ενέργειας που σχετίζεται με κάθε υποδοχέα θα είναι πολύ σημαντική ώστε να γίνει κατηγοριοποίηση των οσμών ανάλογα με την παρατηρούμενη ενέργεια. Αυτό σημαίνει πως θα μπορούσαν να εμπλέκονται αρκετοί υποδοχείς ώστε να καλυφθεί το φάσμα δονήσεων και κάθε υποδοχέας θα μπορούσε να συντονιστεί σε συγκεκριμένο εύρος του φάσματος δονήσεων.

³² Ο όρος οξειδοαναγωγή περιγράφει όλες τις χημικές αντιδράσεις κατά τις οποίες τα άτομα των στοιχείων που συμμετέχουν αλλάζουν αριθμό οξειδωσης

³³ Πρωτεΐνες που περιέχουν τουλάχιστον έναν συμπράγοντα ιόντων μετάλλου

³⁴ Όταν ένα κύτταρο δεν παράγει και δεν μεταβιβάζει μηνύματα μεταξύ της εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας της μεμβράνης καταγράφεται μια συγκεκριμένη διαφορά δυναμικού που ονομάζεται δυναμικό ηρεμίας

3.3.4 Μοντέλο αναγνώρισης χειρομορφίας στην όσφρηση

Μία από τις ελλείψεις της θεωρίας των δονήσεων είναι η ανίχνευση εναντιομερών³⁵ χειρόμορφων ομογόνων μορίων που ενώ έχουν διαφορετικά φάσματα έχουν την ίδια οσμή. Η μοντελοποίηση παραδείγματος που θα παρείχε επαρκή εξήγηση του παραπάνω αποτελεί μία δύσκολη διαδικασία³⁶. Σύμφωνα με τον Turin η διαφορετική γεωμετρία των εναντιομερών φαίνεται πως είναι η αιτία που οι υποδοχείς δεν αναγνωρίζουν κάποια μοντέλα δονήσεων. Στην περίπτωση της θυμόλης ($C_{10}H_{14}O$) το καρβονύλιο³⁷ σε ένα από τα δύο εναντιομερή ανιχνεύεται λιγότερο έντονα σε σχέση με το άλλο ως αποτέλεσμα του λανθασμένου προσανατολισμού του μορίου. Για να εξηγήσει λοιπόν ο Turin την διαφορετική οσμή πρότεινε πως με την προσθήκη συχνότητας τάσης (stretch frequency) καρβονυλίου στην θυμόλη θα άλλαζε την οσμή από μέντας σε κύμινο. Στην δημοσίευση των A. Tirandaz, F.T Gahramani και A. Shafiee³⁸ παρουσίασαν ένα κβαντικό μοντέλο όσφρησης για αναγνώριση χειρόμορφων μορίων. Το συγκεκριμένο μοντέλο σε πρώτη φάση ελέγχει τη φυσική βιωσιμότητα της ανελαστικής σήραγγας ηλεκτρονίων. Για την πλήρη ενσωμάτωση όλων των βιολογικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο περιβάλλον ώστε ένας άνθρωπος να αντιληφθεί μία οσμή χρησιμοποιείται ένα σύστημα αρμονικών ταλαντωτών. Το μοντέλο χρησιμοποιεί 3 κύρια χαρακτηριστικά:

1. Το χειρόμορφο ομογόνο μόριο με εφαρμογή της χαμιλτονιανής \hat{H}_{Od}
2. Το ηλεκτρόνιο που κινείται (tunnels) διαμέσου της οσμής στον υποδοχέα με χαμιλτονιανή \hat{H}_e
3. Το περιβάλλον με χαμιλτονιανή \hat{H}_{Ev}

Η συνολική χαμιλτονιανή του συστήματος ορίζεται ως το άθροισμα των ανωτέρω.

$$\hat{H}_O = \hat{H}_{Od} + \hat{H}_e + \hat{H}_{Ev}$$

³⁵ Όταν ένα μόριο δεν είναι πανομοιότυπο με το κατοπτρικό του είδωλο ονομάζεται εναντιομερές και αποτελεί ειδική κατηγορία στερεό-ισομερούς.

³⁶ Dyson, G. (1938), Journal of Chemical Technology and Biotechnology **57**, 647

³⁷ Ονομάζεται η χαρακτηριστική ομάδα που από ένα άτομο άνθρακα ενωμένο με διπλό δεσμό με ένα άτομο οξυγόνου

³⁸ A. Tirandaz, F.T Gahramani, A. Shafiee (2015), Physical Review E **92**, 032724

Κεφάλαιο 4. Κβαντική Βιολογία σε κυτταρικό επίπεδο

4.1 Κβαντική αποσυνοχή (quantum decoherence)

Όταν ένα κβαντικό σύστημα που βρίσκεται σε κατάσταση υπέρθεσης αλληλεπιδρά με το περιβάλλον η κυματοσυνάρτηση που περιγράφει το σύστημα καταρρέει σε μοναδικά παρατηρήσιμο αποτέλεσμα. Έτσι ορίζεται η κβαντική μέτρηση, συγκεκριμένα όταν μετρήσουμε ένα κβαντικό φυσικό μέγεθος ενός κβαντικού συστήματος η τιμή που καταγράφεται είναι μία από τις πιθανές ιδιοτιμές του τελεστή που αντιπροσωπεύει το συγκεκριμένο μέγεθος. Αμέσως μετά τη μέτρηση η κβαντική κατάσταση του συστήματος είναι η ιδιοκατάσταση που αντιστοιχεί στην ιδιοτιμή που μετρήθηκε, μετά τη μέτρηση το κβαντικό σύστημα καταρρέει, αυτή η διατύπωση δηλώνει πως το κβαντικό σύστημα διέρχεται από μία μοναδιαία ομαλή εξέλιξη σε μια απότομη πιθανοκρατική αναγωγή. Το περιβάλλον δρα ως εργαλείο μέτρησης για το σύστημα, η αλληλεπίδραση μεταξύ συστήματος και περιβάλλοντος είναι μη αναστρέψιμη διαδικασία, ως εκ τούτου διάφορα στοιχεία της κβαντικής υπέρθεσης δεν επιτρέπεται να αλληλεπιδράσουν με την κυματοσυνάρτηση, αυτό το φαινόμενο ορίζεται ως κβαντική αποσυνοχή.

Ο Hans Dieter Zeh³⁹ υποστηρίζει πως η κβαντική αποσυνοχή καθορίζει το σύνορο μεταξύ κλασσικής μηχανικής και κβαντικής μηχανικής. Τα βιολογικά συστήματα είναι εξαιρετικά πολύπλοκα και δεν αποτελούν κλειστό σύστημα με το περιβάλλον. Επίσης τα βιολογικά συστήματα σε σχέση με την Ατομική και Πυρηνική Φυσική έχουν πολύ μεγαλύτερο μέγεθος και ο συνδυασμός με την αλληλεπίδραση με το μη ελεγχόμενο περιβάλλον θα καταστείλουν όλα τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της κβαντικής μηχανικής, αυτό χαρακτηρίζεται ως ‘the decoherence argument’ δηλαδή η διαφωνία της αποσυνοχής.

Στο περίφημο βιβλίο του Schrodinger ‘What is life?’ ο Schrodinger υποστήριξε πως ο ζωντανός οργανισμός φαίνεται να είναι ένα μακροσκοπικό σύστημα όπου αρκετά μέρη της συμπεριφοράς του ικανοποιούν τους νόμους της κλασσικής μηχανικής, καθώς

³⁹ Joos, E; Zeh, H. D; Kiefer, C; Giulini, D; Kupsch, J and Stamatescu, I. O (2003). *Decoherence and the Appearance of a classical World in Quantum Theory*. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag. 9-40.

όμως η θερμοκρασία πλησιάζει στο απόλυτο μηδέν το φαινόμενο της κβαντικής αποσυνοχής καταστέλλεται και όλη η ύλη υπακούει στους κβαντικούς νόμους. Στο βιβλίο του ο Schrodinger πρότεινε πως στους ζωντανούς οργανισμούς με κάποιο τρόπο καταστέλλεται η κβαντική αποσυνοχή με αποτέλεσμα να τηρούνται οι κβαντικοί νόμοι σε υψηλές θερμοκρασίες. Για την μελέτη και κατανόηση του φαινομένου της κβαντικής αποσυνοχής σε ζωντανούς οργανισμούς, θα μπορούσε να γίνει χρήση της εκτίμησης του χρόνου αποσυνοχής αλλά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση Zurek καθώς υπάρχουν πολλοί άγνωστοι παράμετροι μέσα σε ένα ζωντανό κύτταρο.

4.2 Το φαινόμενο της υπέρθεσης για ανθρώπινα κύτταρα

Είναι κοινά αποδεκτό πως κανένας ζωντανός οργανισμός δεν μπορεί να βρίσκεται στην κατάσταση της κβαντικής υπέρθεσης, αλλά στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστούν δεδομένα και υποθέσεις που είναι αντίθετα στην συγκεκριμένη άποψη. Το φαινόμενο της κβαντικής υπέρθεσης θα μπορούσε να εξηγήσει τον τρόπο που παίρνουν αποφάσεις τα κύτταρα, όπως να διαιρεθούν, να πεθάνουν ή να διαφοροποιηθούν. Αρχικά να αναφέρουμε πως ο μακρόκοσμος υπακούει προφανώς στους κλασσικούς νόμους, σύμφωνα με την κβαντική θεωρία δεν υπάρχει κάποιο όριο που καθορίζει με σαφήνεια που ισχύουν οι κλασσικοί νόμοι και που οι κβαντικοί.

Ο Schrodinger με την περίφημη γάτα του (Schrodinger's cat) έδωσε έμφαση στο συγκεκριμένο παράδοξο όπου η γάτα βρισκόταν σε κβαντική υπέρθεση ανάμεσα στις καταστάσεις 'ζωντανή' και 'νεκρή'. Το κλειδί για τον διαχωρισμό των επιτρεπτών περιπτώσεων υπέρθεσης και των μη επιτρεπτών, όπως η γάτα του Schrodinger καθώς και της περίπτωσης της υπέρθεσης που προκύπτει από τη βάση του συστήματος του οποίου τα μέρη δεν είναι σαφώς διαχωρισμένα με το περιβάλλον, προτείνεται η φορμαλιστική μακροσκοπική υπέρθεση.

Ο κλασσικός μηχανισμός της εξελικτικής προσαρμογής του Δαρβίνου μέσω της κληρονομικής παραλλαγής και επιλογής συνεπάγεται τον διαχωρισμό σε δύο χρονικές κλίμακες. Η μεγαλύτερη κλίμακα χρόνου αφορά τον καθορισμό σε επίπεδο πληθυσμού καθώς οι παραλλαγές μεταξύ ατόμων του πληθυσμού διενεργούνται μεταξύ αρκετών γενιών, η μικρή κλίμακα χρόνου αφορά τις παραλλαγές που λαμβάνουν χώρα εντός της χρονικής περιόδου αναπαραγωγής του ατόμου.

4.3 Καρκίνος

Ο καρκίνος ουσιαστικά είναι μια ασθένεια της ρύθμισης της ανάπτυξης των ιστών, ένα κύτταρο μετατρέπεται σε καρκινικό όταν διαφοροποιηθούν τα γονίδια που ρυθμίζουν την ανάπτυξη των κυττάρων. Η ανεξέλεγκτη διαίρεση των κυττάρων οδηγεί στην δημιουργία υπερβάλλον ιστού που ονομάζεται όγκος ή νεόπλασμα. Όταν ο όγκος είναι καρκινικός χαρακτηρίζεται ως κακοήθης ενώ στην περίπτωση που η κακοήθεια έχει την ικανότητα εξάπλωσης σε άλλα μέρη του σώματος λέγεται μεταστατικός όγκος. Καθώς τα κακοήθη κύτταρα εισβάλλουν στους γύρω ιστούς προκαλούν την ανάπτυξη νέων αιμοφόρων αγγείων, αυτή η διαδικασία ονομάζεται αγγειογένεση. Τα στάδια για την ανάπτυξη του καρκίνου είναι πολλαπλά, για να γίνει ένα κύτταρο καρκινικό πρέπει να έχουν συμβεί διαδοχικά πολλές μεταλλάξεις. Το γεγονός αυτό αποτελεί εν μέρη μία εξήγηση γιατί χρειάζεται αρκετός χρόνος για να εμφανιστεί ο καρκίνος, καθώς και γιατί εμφανίζεται πιο συχνά σε ανθρώπους μεγαλύτερης ηλικίας. Επίσης προκύπτει το συμπέρασμα πως η ανάπτυξη των κυττάρων ελέγχεται από αρκετά σύνολα ελέγχων⁴⁰. (Tortura, G.J & Derrickson, B. 2006)

Μια μετάλλαξη είναι μια μόνιμη αλλαγή στην ακολουθία βάσης DNA. Οι μεταλλάξεις συμβαίνουν από κατεστραμμένα γονιδιώματα DNA ή RNA που προκαλούνται κυρίως από ακτινοβολία ή χημικά μεταλλαξιογόνα σφάλματα διαδικασίας αναπαραγωγής ή από την εισαγωγή ή διαγραφή τμημάτων DNA από κινητά γενετικά στοιχεία. Παρόλο που οι οργανισμοί έχουν μηχανισμούς όπως η επιδιόρθωση του DNA για την πρόληψη ή τη διόρθωση των μεταλλάξεων, αυτό δεν συμβαίνει πάντα και τα αποτελέσματα των μεταλλάξεων εξακολουθούν να εμφανίζονται. Οι μεταλλάξεις άλλοτε είναι επωφελής για τον οργανισμό άλλοτε επιβλαβής, οι μεταλλάξεις θεωρούνται ως ένα μέσω της εξέλιξης γι' αυτό μπορούν να είναι επωφελής. Βέβαια πολλές μεταλλάξεις οδηγούν σε καρκίνο. Οι μεταλλάξεις μπορούν να συμβούν σε διάφορα επίπεδα, οι μεταλλάξεις που περιλαμβάνουν μόνο ένα ζεύγος βάσης του DNA καλούνται σημειακές μεταλλάξεις ενώ οι μεταλλάξεις που

⁴⁰ Tortora, G. J and Derrickson, B (2006). *Principles of Anatomy and Physiology*. 11th ed. Hoboken: John Willey & Sons, Inc.. 62-103.

περιλαμβάνουν αναδιατάξεις σε μεγάλες περιοχές χρωμοσωμάτων ονομάζονται χρωμοσωμικές μεταλλάξεις.

Ορόσημα του καρκίνου

Η έναρξη και η εξέλιξη του καρκίνου είναι μια διαδικασία πολλαπλών σταδίων στην οποία διαδοχικά η μετάλλαξη συσσωρεύεται για να σχηματίσει μια καρκινική μάζα κυττάρων. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει απόκτηση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών που είναι μοναδικά για τον καρκίνο και τα ξεχωρίζει από τα κανονικά κύτταρα. Τα χαρακτηριστικά έχουν γίνει γνωστά ως χαρακτηριστικά του καρκίνου⁴¹(Walker et al, 2014) . Σήμερα αυτές οι ιδέες είναι ευρέως αποδεκτές ως γεγονότα. Οι Αμερικάνοι επιστήμονες Doug Hanahan και Bob Weinberg το 2000 δημοσίευσαν το άρθρο ‘The Hallmarks of Cancer’ όπου περιγράφηκαν 6 χαρακτηριστικά που είναι μοναδικά στα καρκινικά κύτταρα (Hanahan, D & Weinberg, B. 2000)⁴². Τα οποία είναι τα εξής:

1. Διατήρηση πολλαπλασιαστικού σήματος

Το πιο θεμελιώδες χαρακτηριστικό των καρκινικών κυττάρων είναι η ικανότητα διατήρησης του πολλαπλασιασμού. Τα καρκινικά κύτταρα διατηρούν πολλαπλασιασμό λόγω αυξητικών παραγόντων, οι οποίοι είναι ικανοί να συνδεθούν με κυτταρικούς επιφανειακούς υποδοχείς που ενεργοποιούν ενδοκυτταρική τυροσίνη με μεσολάβηση κινάσης, οδηγώντας τελικά σε αλλαγές στο γονίδιο του κυτταρικού πολλαπλασιασμού και της ανάπτυξης

2. Αντίσταση στον κυτταρικό θάνατο

Τα καρκινικά κύτταρα αντιστέκονται στον κυτταρικό θάνατο, μέσω μηχανισμού που αποφεύγει την διαδικασία της απόπτωσης.

⁴¹ Walker, B. R; Colledge, N. R; Ralston, S and Penman, I. D (2014). *Davidson's Principles and Practice of Medicine*. Edinburgh: Elsevier

⁴² Hanahan, D and Weinberg, R. (2000). The Hallmarks of Cancer

3. Αποφυγή καταστολέων ανάπτυξης

Τα καρκινικά κύτταρα έχουν μηχανισμούς που αποφεύγουν τα προγράμματα που εμποδίζουν τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων. Τα συγκεκριμένα προγράμματα δρουν σε συνάρτηση με τον καρκινικό όγκο και έχουν ως σκοπό λειτουργίας την καταστολή γονιδίων.

4. Πρόκληση αγγειογένεσης

Τα καρκινικά κύτταρα έχουν ανάγκη να ξεφορτωθούν τα απόβλητα του μεταβολισμού καθώς και το διοξείδιο του άνθρακα, γι' αυτό το λόγο δημιουργούν νέα αγγεία.

5. Ενεργοποίηση εισβολής και μετάστασης

Η διαδικασία της μετάστασης αποτελεί την πιο χαρακτηριστική ιδιότητα του καρκίνου, τα καρκινικά κύτταρα έχουν την ικανότητα να ξεφύγουν από τον αρχικό ιστό και να εισβάλουν σε άλλους ιστούς. Αρχικά εισβάλουν στους τοπικούς ιστούς, μετά στο αίμα και τέλος στα λεμφικά αγγεία από τα καρκινικά κύτταρα.

6. Αναπαραγωγική αθανασία

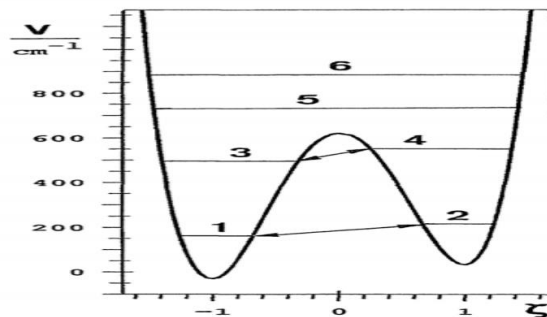
Τα υγιή κύτταρα έχουν ένα όριο που αναφέρεται ως Hayflick όριο που ορίζει τον μέγιστο αριθμό διαιρέσεων που μπορούν να συμβούν. Τα στοιχεία έχουν δείξει ότι ο αριθμός των τελομερών⁴³ που σχετίζονται με το DNA κάθε κυττάρου μειώνεται με κάθε κυτταρική διαίρεση έως ότου είναι επιτευχθεί ένα κρίσιμο μήκος όπου δεν μπορεί να υπάρξει περαιτέρω διαίρεση (Hayflick, 1965)⁴⁴. Αντιθέτως, τα καρκινικά κύτταρα ξεπερνούν αυτό το όριο και είναι ικανά για απεριόριστες διαιρέσεις, γεγονός που τα καθιστά αθάνατα. Αυτό οφείλεται σε ένα εξειδικευμένο ένζυμο πολυμεράσης που ονομάζεται τελομεράση, το οποίο προσθέτει νουκλεοτίδια στα τελομερή που επιτρέπουν τη συνεχή διαίρεση των κυττάρων. Το ένζυμο τελομεράσης εκφράζεται σε σημαντικά επίπεδα σε πολλούς καρκίνους του ανθρώπου.

⁴³ Το τελομερές=είναι μια περιοχή του DNA που βρίσκεται στο τέλος του χρωμοσώματος και προστατεύει την χρήσιμη γενετική πληροφορία από τη φθορά

⁴⁴ Hayflick, L. (1965). The limited in vitro lifetime of human diploid cell strains. *Exp. Cell Res.* 37 (3)

4.4 Προσέγγιση του καρκίνου με χρήση Κβαντικής Μηχανικής

Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 1 το 1963 ο Lowdin βασιζόμενος στο μοντέλο Watson-Crick για το DNA παρατήρησε πως μετά την αντιγραφή του DNA τα πρωτόνια βρίσκονται αναγκαστικά σε μη στατικές καταστάσεις το οποίο σημαίνει πως υπάρχει πιθανότητα για απότομη μετάβαση από μία κβαντική κατάσταση σε μια άλλη τα οποία οδηγούν σε ασυνεχείς αλλαγές στον κώδικα. Αυτές οι αλλαγές εμφανίζονται στην επόμενη αντιγραφή του γενετικού κώδικα, ο Lowdin υπέθεσε πως αυτή η διαδικασία μπορεί να είναι υπεύθυνη για τις αυθόρμητες μεταλλάξεις, το φαινόμενο της γήρανσης το οποίο θεωρείται ως απώλεια χρήσιμων γενετικών πληροφοριών καθώς και την εμφάνιση όγκων. Στο μοντέλο των Watson-Crick οι αζωτούχες βάσεις συνδέονται με δεσμούς υδρογόνου που ικανοποιούν τους κανόνες Chargaff. Ο Löwdin μελέτησε λεπτομερώς τα μέρη των αζωτούχων βάσεων και παρατήρησε πως εάν άλλαζε θέση σε ένα πρωτόνιο από τον απλό πάνω δεσμό υδρογόνου με τον μεσαίο το αποτέλεσμα θα ήταν η καταστροφή της συμπληρωματικότητας των βάσεων το οποίο οδηγεί σε εσφαλμένη αντιγραφή της γενετικής πληροφορίας, οι Watson και Crick πρότειναν πως αυτός ο μηχανισμός θα μπορούσε να εξηγήσει της μεταλλάξεις. Ο Löwdin υποστήριξε ότι η ταυτομερής μορφή μιας βάσης DNA μπορούσε να εξηγηθεί κβαντικά χρησιμοποιώντας την έννοια της σήραγγας πρωτονίων όπου η ταυτομερής μορφή θα μπορούσε να προκαλέσει τις σημειακές μεταλλάξεις. Η έλξη κάθε απλού ζεύγους ηλεκτρονίων σε ένα πρωτόνιο σε δεσμό υδρογόνου αντιπροσωπεύεται από ένα βαθύ δυναμικό ενιαίου πηγαδιού. Η υπέρθεση δύο δυναμικών ενός φρεατίου αποτελεί ένα εξαιρετικά ασύμμετρο δυναμικό διπλού φρεατίου με ένα δυναμικό εμπόδιο στη μέση το οποίο παρουσιάζεται στην εικόνα 4.1



Εικόνα 4.1: Η υπέρθεση των δύο δυναμικών (Πηγή:Wakhule, A. 2018)

Έχει προταθεί από τους Home και Chattopadhyaya ότι το DNA θα μπορούσε να παραμείνει σε υπέρθεση καταστάσεων μετάλλαξης σε μια βιομοριακή έκδοση της γάτας του Schrödinger. Αυτό σημαίνει ότι τα στοιχεία των ζωντανών κυττάρων ενδέχεται να παραμείνουν σε μια ταξινομημένη δομή η οποία είναι σύμφωνη με τη διατήρηση της κβαντικής συνοχής σε υψηλές θερμοκρασίες υψηλότερες από αυτές που θα κατέστρεφαν την κβαντική κατάσταση των άψυχων συστημάτων. Σύμφωνα με τον Pate οι νουκλεοτιδικές βάσεις μπορούν να παραμείνουν σε κατάσταση κβαντικής υπέρθεσης για μακρά περίοδο, ώστε να λάβουν μέρος στην διαδικασία αντιγραφής, όμως η κβαντική υπέρθεση θα καταστραφεί όταν το DNA θα έρθει σε επαφή με το περιβάλλον, το οποίο έχει ρόλο μετρητή για το σύστημα. Τέλος οι McFadden και Al-Khalili προτείνουν πως το περιβάλλον μπορεί να επιταχύνει τις καταστάσεις μετάλλαξης μέσω επιταχυνόμενης κβαντικής αποσυνοχής.

Κεφάλαιο 5. Κβαντική προσέγγιση της συνείδησης

5.1 Εισαγωγή

Είναι ευρέως αποδεκτό πως η συνείδηση και γενικότερα η νοητική δραστηριότητα σχετίζεται με κάποιον τρόπο με την συμπεριφορά του εγκεφάλου. Η θεμελιώδης θεωρία της ύλης μελετάται από την Κβαντική Θεωρία, ως αποτέλεσμα γεννιέται το ερώτημα αν η Κβαντική Μηχανική και ειδικότερα ο κλάδος της Κβαντικής Βιολογίας μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση της συνείδησης, στο παρών κεφάλαιο θα

μελετηθούν διάφορες προσεγγίσεις της σύνδεσης της Κβαντικής Βιολογίας με την συνείδηση. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι προσεγγίσεων:

1. Η συνείδηση είναι μία εκδήλωση κβαντικών διεργασιών στον εγκέφαλο
2. Για την κατανόηση της συνείδησης χρησιμοποιούνται έννοιες και θεωρίες της Κβαντική Μηχανικής, χωρίς όμως να αναφέρονται στην εγκεφαλική δραστηριότητα
3. Η ύλη και η συνείδηση θεωρείται πως αποτελούν διπλές πτυχές μιας υποκείμενης πραγματικότητας

5.2 Νευροφυσιολογικά επίπεδα περιγραφής

Ένας αναπτυσσόμενος τομέας έρευνας της Νευροβιολογίας, αποτελεί ο ρόλος των βιοφωτονίων στον εγκέφαλο. Όπου υπάρχουν φωτόνια, ενδέχεται και η ύπαρξη της Κβαντικής Μηχανικής. Πρόσφατες επιστημονικές μελέτες πρότευνα πως υπάρχει σύνδεση μεταξύ της νοημοσύνης και της συχνότητας των βιοφωτονίων στον εγκέφαλο ζώων. Πιο συγκεκριμένα, το 2016, ο Zhuo Wang⁴⁵, με συναδέλφους του, στο South Central University for Nationalities της Κίνας, διαπίστωσαν ότι η αυξανόμενη νοημοσύνη, συσχετίζεται με μία μετατόπιση της συχνότητας του βιοφωτονίου, προς το ερυθρό άκρο του φάσματος, χωρίς όμως να παρουσιάζεται τεκμηριωμένη επεξήγηση.

Η νοητική κατάσταση θεωρείται σταθερή κατάσταση (stable state), η διάκριση μεταξύ σταθερής κατάστασης, ασταθούς κατάστασης και metastate κατάστασης γίνεται με βάση τον χρόνο παραμονής στην κατάσταση ισορροπίας. Η μετάβαση από την καθαρά ψυχολογική ή γνωστική περιγραφή στο αντίστοιχο νευροφυσιολογικό επίπεδο περιγραφής μας οδηγεί στο ακόλουθο ερώτημα: 'Ποιος είναι ο νευρολογικός συσχετισμός μιας νοητικής αναπαράστασης;' Σύμφωνα με τους Noe & Thompson (2004) οι νοητικές αναπαραστάσεις συσχετίζονται με τη δραστηριότητα αρκετών χιλιάδων συζευγμένων νευρώνων. Ο νευρικός συσχετισμός μιας νοητικής

1. Wang, Z. & Wang, N. & Li, Z. & Xiao, F. & Dai, J. (2016), *Human high intelligence is involved in spectral redshift of biophotonic activities in the brain*, PNAS

αναπαράστασης μπορεί να χαρακτηριστεί από το γεγονός ότι οι συνδέσεις, οι συζεύξεις ή οι σύνδεσμοι μεταξύ αυτών των νευρώνων σχηματίζουν ένα συγκρότημα συνδεδεμένο σε συνάρτηση με το περιβάλλον του. Ο νευρικός συσχετισμός μιας νοητικής αναπαράστασης ενεργοποιείται όταν οι νευρώνες που σχηματίζουν το συγκρότημα λειτουργούν πιο ενεργά, π.χ. παράγουν υψηλότερα ποσοστά εκπομπής σημάτων σε σχέση με την προεπιλεγμένη λειτουργία τους.

Το χαμηλότερο νευροφυσιολογικό επίπεδο στο οποίο θα μπορούσε να υπάρχει σύνδεση κβαντικών διεργασιών με τη συνείδηση είναι ο κυτταρικός σκελετός⁴⁶. Ο κυτταρικός σκελετός αποτελείται από τους μικροσωληνίσκους, τα μικροϊνίδια και τα ενδιάμεσα ινίδια. Οι μικροσωληνίσκοι έχουν διάμετρο 25nm και αποτελούνται από τουμπουλίνη, μία εταιροδιμερή πρωτεΐνη που αποτελείται από δύο ισχυρά συνδεδεμένες σφαιρικές μονάδες, την α-τουμπουλίνη και την β-τουμπουλίνη. Οι τουμπουλίνες στον μικροσωληνίσκο είναι το υπόστρωμα, όπου σύμφωνα με την πρόταση του Hameroff χρησιμοποιήθηκε για την ενσωμάτωση του θεωρητικού πλαισίου του Penrose. Στις καταστάσεις των τουμπουλίνων παρατηρούνται κβαντικά φαινόμενα, οπότε είναι πιθανή η κβαντική συνοχή μεταξύ διαφορετικών τουμπουλίνων. Στο σενάριο που αναπτύχθηκε από τον Roger Penrose και συμπληρώθηκε νευροφυσιολογικά από τον Hameroff⁴⁷, η Κβαντική Θεωρία φαίνεται πως είναι αποτελεσματική για την ερμηνεία της συνείδησης, αλλά ο τρόπος που συμβαίνει είναι αρκετά περίπλοκος. Υποστηρίζεται ότι οι στοιχειώδεις διεργασίες της συνείδησης είναι μη αλγοριθμικές, δηλαδή μη υπολογιστικές και πραγματοποιούνται νευροφυσιολογικά ως μειώσεις των συνεκτικών καταστάσεων υπέρθεσης στους μικροσωληνίσκους που προκαλούνται από τη βαρύτητα.

Την δεκαετία του '90 ο βραβευμένος με Νόμπελ φυσικός της Οξφόρδης, Roger Penrose και ο αναισθησιολόγος Stuart Hameroff, από το Πανεπιστήμιο της Αριζόνα, δημοσίευσαν την έρευνα τους η οποία υποστηρίζει, ότι οι κβαντικοί υπολογισμοί σε κυτταρικές δομές, γνωστές ως μικροσωληνίσκους, έχουν επίδραση στην πυροδότηση νευρώνων και κατ' επέκταση, στη συνείδηση. Η θεωρία τους όμως δέχτηκε σωρεία αρνητικών κριτικών, οι οποίες βασίστηκαν στο γεγονός ότι, ένα κβαντικό σύστημα, το οποίο μπορεί να αναφέρεται για παράδειγμα, στη δυναμική ενός φωτονίου είναι

⁴⁶ Ονομάζεται το πλέγμα ινιδίων το οποίο συγκρατεί τα οργανίδια του κυττάρου

⁴⁷ Penrose, R. & Hameroff, S. (2013), *'Consciousness in the universe'*

ευαίσθητο. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς, που πραγματοποίησε ο φυσικός Max Tegmark, του Πανεπιστημίου του Princeton το 2000⁴⁸, τα κβαντικά φαινόμενα, δεν έχουν μεγάλη διάρκεια, ώστε να έχουν οποιαδήποτε επίδραση στους πολύ πιο αργούς ρυθμούς πυροδότησης των νευρώνων.

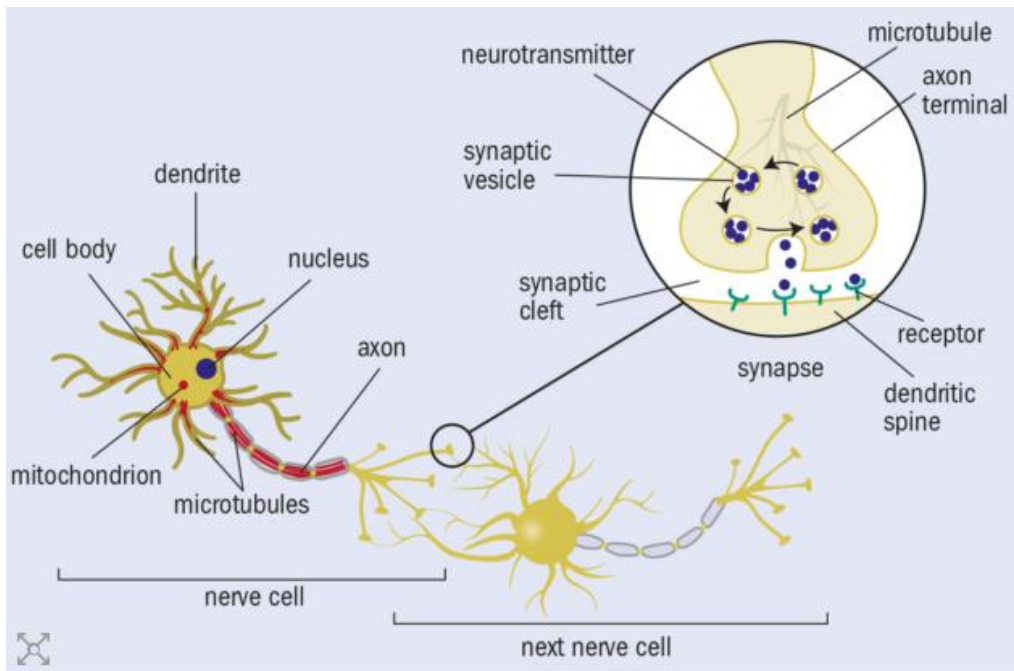
Αντί για κβαντικά φαινόμενα στον εγκέφαλο είναι ενδεχομένως καλύτερο να γίνεται λόγος για κβαντικά φαινόμενα σε νευρικές διεργασίες, για την απεικόνιση των οποίων, χρησιμοποιείται αυτό το διάγραμμα. Τα νευρικά κύτταρα, αποτελούνται από τρία κύρια στοιχεία – το κυτταρικό σώμα, το οποίο περιέχει τα διάφορα οργανίδια, τους δενδρίτες, οι οποίοι λαμβάνουν τα εισερχόμενα σήματα και τον άξονα, ο οποίος μεταβιβάζει αυτά τα σήματα.

Πιστεύεται, ότι τα σήματα, διέρχονται μεταξύ των νευρών στο σημείο, όπου το τελικό άκρο του άξονα ενός νευρικού κυττάρου, έρχεται σε επαφή με τις δενδριτικές άκανθες του επόμενου, στο συναπτικό χάσμα. Καθώς ένα σήμα κινείται μέσω ενός νευρικού κυττάρου και φτάνει στο τελικό άκρο του άξονα, ενεργοποιεί μια διαδικασία που έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση νευροδιαβιβαστών στο συναπτικό χάσμα. Οι νευροδιαβιβαστές, προσδένονται σε υποδοχείς στη νευρική μεμβράνη των δενδριτικών ακανθών, ανοίγοντας κανάλια ιόντων και μεταβάλλοντας έτσι το δυναμικό της μεμβράνης του επόμενου κυττάρου, ενώ γίνεται η μεταβίβαση του σήματος.

Οι μικροσωληνίσκοι συγκροτούν τον κυτταρικό σκελετό και είναι απαραίτητοι για την κυτταρική διαίρεση καθώς και για την κίνηση των κινητικών πρωτεϊνών, μιας ομάδας πρωτεϊνών, που μετατρέπουν τη χημική σε μηχανική ενέργεια. Τα μιτοχόνδρια, χρησιμοποιούν αλυσίδες μεταφοράς ηλεκτρονίων και βαθμίδες συγκέντρωσης πρωτονίων για τη δημιουργία τριφωσφορικής αδενοσίνης (ATP), η οποία τροφοδοτεί τις βιολογικές διεργασίες. Αποτελούν επίσης, το προτεινόμενο πρωτεύον σημείο παραγωγής βιοφωτονίων.

Στην εικόνα 5.1 παρουσιάζεται η δομή και οι λειτουργίες ενός νευρικού κυττάρου.

⁴⁸ Tegmark, M. (2000), *'Importance of quantum decoherence in brain processes'*, Physical Review



Εικόνα 5.1: Η δομή και λειτουργία ενός νευρικού κυττάρου (Πηγή: <https://physicsworld.com/a/do-quantum-effects-play-a-role-in-consciousness/>)

Όσον αφορά, στο *που* συμβαίνουν τα κβαντικά φαινόμενα στον εγκέφαλο, είναι γνωστό ότι, οι πληροφορίες διαβιβάζονται από και προς αυτόν μέσω της πυροδότησης ή μη των νευρώνων. Αυτή η διεργασία εξαρτάται από το ηλεκτροχημικό δυναμικό του νευρικού κυττάρου. Το δυναμικό αυτό, εξαρτάται από την εξάπλωση των φορτισμένων ιόντων, σε όλη την κυτταρική μεμβράνη, καθιστώντας τις δύο πλευρές της, περισσότερο ή λιγότερο, θετικές.

5.3 Συνείδηση

5.3.1 Εισαγωγή

Ο ιδανικότερος τρόπος μελέτης της συνείδησης είναι η μελέτη των μεταβαλλόμενων καταστάσεων της (altered states), ειδικότερα της μελέτης των χημικών ουσιών που συμβάλλουν σε αυτές, κυρίως τα αναισθητικά. Όπως είχε πει ο Luca Turin 'Για το μόνο πράγμα που είμαστε βέβαιοι για την συνείδηση είναι πως είναι διαλυτή στο χλωροφόρμιο'. Ο Turin παρατήρησε πως οι χημικές ουσίες με αναισθητικές ιδιότητες

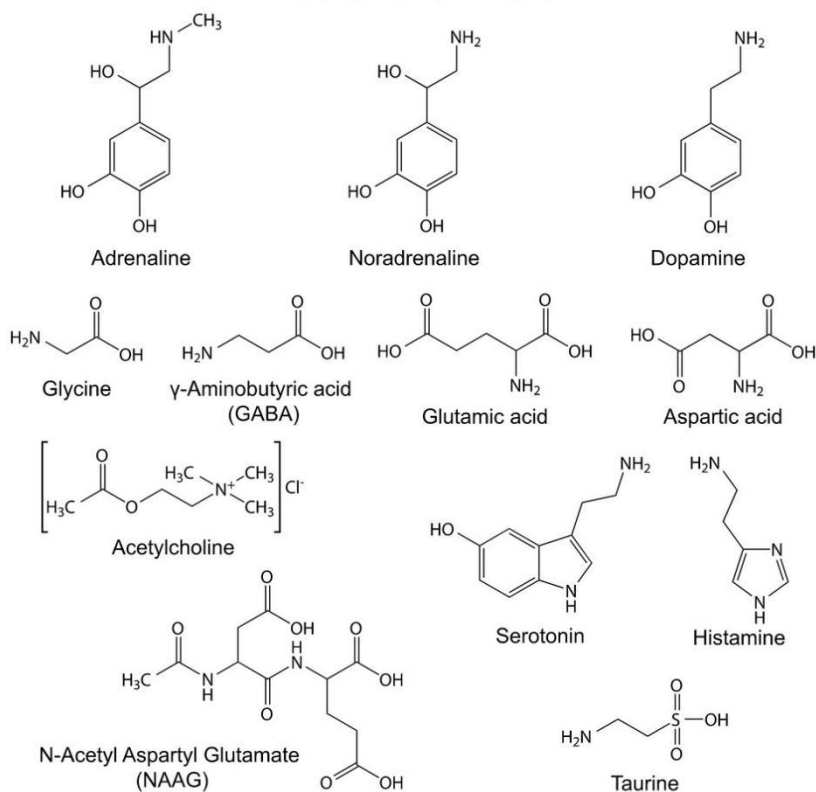
έχουν χημικές και δομικές ιδιότητες που διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους, γεγονός που τον οδήγησε στην μελέτη των φυσικών ιδιοτήτων που κάποιες από αυτές τις ουσίες μοιράζονται μεταξύ τους. Οι χημικές ουσίες με αναισθητικές ιδιότητες αποτελούνται από τα αμινοαμίδια και αμινοεστέρες και συνδέονται με τις πρωτεΐνες. Ο Turin πρότεινε πως τα αναισθητικά διευκολύνουν την ροή των ηλεκτρονίων σε αυτές τις πρωτεΐνες, η απόδειξη του ισχυρισμού θα μπορούσε να επιτευχθεί εξετάζοντας τις αλλαγές της ιδιοστροφορμής (spin) τους. Μέσω του spin μπορούν να περιγραφούν οι μαγνητικές ιδιότητες των κβαντικών σωματιδίων όπως τα ηλεκτρόνια. Ανακάλυψε πως υπό την επίδραση του Ξένον (Xe), που είναι το απλούστερο αναισθητικό στοιχείο, φρουτόμυγες παρουσίασαν μια αύξηση της ιδιοστροφορμής ηλεκτρονίων τους καθώς μετρήθηκαν με χρήση ηλεκτρονίων ιδιοστροφορμής σε συντονισμό.

Η θεωρία πως χημικές ουσίες με αναισθητικές ιδιότητες συμμετέχουν στις ηλεκτρικές ιδιότητες βιολογικών συστημάτων διατυπώθηκε πρώτα από τον Hameroff, τα τελευταία έτη υπάρχει αξιοσημείωτη πρόοδος στην κατανόηση των κβαντικών φαινομένων στην μεταφορά ηλεκτρικού σήματος στα βιολογικά συστήματα. Στο κεφάλαιο 2 έγινε αναφορά για το φαινόμενο της φωτοσύνθεσης και τα κβαντικά φαινόμενα όπως της κβαντικής συνοχής και διεμπλοκής. Στην θεωρία της κβαντικής συνείδησης δομές των νευρικών κυττάρων όπως οι μικροσωληνίσκοι και τα μιτοχόνδρια είναι δυνατόν να μεταφέρουν ενέργεια συντονισμού με παρόμοιο τρόπο όπως στην φωτοσύνθεση.

Τα αναισθητικά δεν είναι οι μόνες χημικές ουσίες που μετέχουν στις μεταβαλλόμενες καταστάσεις της συνείδησης, είναι γενικώς αποδεκτό πως οι διαταραχές στην δράση των νευροδιαβιβαστών ειδικότερα στα μόρια που επικοινωνούν με τους νευρώνες έχουν άμεση σχέση με ψυχικές ασθένειες. Παρ' όλα αυτά ο ακριβής τρόπος λειτουργίας του μηχανισμού των νευροδιαβιβαστών δεν είναι ακόμα γνωστός. Τα αντικαθλιπτικά πιστεύεται πως λειτουργούν αυξάνοντας τους νευροδιαβιβαστές, όπως η σεροτονίνη.

Στην εικόνα 5.7 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι χημικές ενώσεις των νευροδιαβιβαστών.

Neurotransmitters



VectorStock®

VectorStock.com/5081049

Εικόνα 5.2: χημικές ενώσεις νευροδιαβιβαστών (Πηγή: <https://www.vectorstock.com/>)

Η συμβατική θεωρία προτείνει πως οι νευροδιαβιβαστές προσκολλούνται στους υποδοχείς της κυτταρικής μεμβράνης των νευρικών κυττάρων μέσω του μηχανισμού 'lock and key' όπου το σχήμα του κάθε νευροδιαβιβαστή ταιριάζει με τον αντίστοιχο υποδοχέα.

5.3.2 Κβαντικά φαινόμενα στην γνωστική λειτουργία

Η ιδιοτροφορμή και η συμπεριφορά των κβαντικών σωματιδίων σε ένα μαγνητικό πεδίο βρίσκεται επίσης στο επίκεντρο μιας άλλης θεωρίας, η οποία υποδηλώνει ότι τα κβαντικά φαινόμενα εμφανίζονται και μετέχουν στις γνωστικές λειτουργίες. Σε αυτή την περίπτωση, ωστόσο η εν λόγω ιδιοτροφορμή, αφορά τους πυρήνες και όχι τα

ηλεκτρόνια. Οι πυρήνες, μπορούν να παρουσιάζουν συντονισμό ιδιαίτερα μεγάλης διάρκειας ζωής, γεγονός που σημαίνει ότι τα κβαντικά φαινόμενα τους παραμένουν σε χρονικές κλίμακες για αρκετό καιρό, ώστε να διαδραματίζουν ρόλο στην πυροδότηση των νευρώνων, ακόμη και πιθανώς στη λειτουργία της μνήμης.

Ο φυσικός Matthew Fischer από το Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας πρότεινε πως τα μόρια που παρουσιάζουν το φαινόμενο της ιδιοστροφομικής εμπλοκής γνωστά ως Posner μόρια θα μπορούσαν να μας οδηγήσουν στο συμπέρασμα πως υπάρχει συσχέτιση στην μετάδοση σήματος από το νευρικό σύστημα του εγκεφάλου

Εκπληκτικό είναι το γεγονός, που αφορά στο Λίθιο, όπου έχει καταδειχθεί ότι, διαφορετικά ισότοπα, έχουν διαφορετικές επιδράσεις στη μητρική συμπεριφορά των αρουραίων. Ένα παρόμοιο φαινόμενο, καταγράφηκε πρόσφατα στη δράση του αναισθητικού, Ξένου. Ο Na Li και οι συνάδελφοί του, στο Πανεπιστήμιο Επιστήμης και Τεχνολογίας της Huazhong στο Wuhan της Κίνας, διαπίστωσαν ότι διαφορετικά ισότοπα του ξένου, προκαλούν διαφορετικά επίπεδα ασυνείδητου ([Anesthesiology volume 129, pages 271-275⁴⁹](#)). Αυτό είναι εξαιρετικό, ότι η μεταβολή κάτι τόσο μικρού, όσο το σπιν ενός πυρήνα, θα μπορούσε να οδηγήσει σε μακροσκοπικές μεταβολές στο επίπεδο, κάτι τόσο περίπλοκου όσο το μητρικό ένστικτο ή, στην πραγματικότητα, της ίδιας της συνείδησης.

Ποιο, όμως, το όφελος;

Ενώ η πιθανότητα κβαντικών φαινομένων στον εγκέφαλο είναι εγγενώς συναρπαστική, μπορεί επίσης να συμβάλει στους τρόπους με τους οποίους αντιμετωπίζουμε τον εγκέφαλο και τις διαταραχές που σχετίζονται με αυτόν. Η αποκάλυψη του ακριβούς τρόπου με τον οποίο οι νευροδιαβιβαστές προσδένονται στους υποδοχείς θα συνέβαλε στην κατανόηση των συζευγμένων με πρωτεΐνη g

⁴⁹ Na Li, M.D et al, (2018), ‘ *Nuclear Spin Attenuates the Anesthetic Potency of Xenon Isotopes in Mice: Implications for the Mechanisms of Anesthesia and Consciousness*’, [Anesthesiology volume 129, pages 271-275](#)

υποδοχέων, όπως οι νευρικοί και οσφρητικοί υποδοχείς, η οποία αποτελεί έναν από τους πρωταρχικούς στόχους της πλειονότητας των φαρμακευτικών παρεμβάσεων. Αλλά περισσότερο από αυτό, ο προσδιορισμός του τρόπου με τον οποίο μπορούν να διαδραματίσουν κάποιο ρόλο τα κβαντικά φαινόμενα στον εγκέφαλο, θα μπορούσε να προσφέρει έναν εντελώς νέο τρόπο ιατρικής παρέμβασης, στην ασθένεια της κατάθλιψης πέρα από την καθαρά χημική.

5.4 Κβαντικά φαινόμενα και κατάθλιψη

5.4.1 Εισαγωγή

Η κατάθλιψη έχει βιολογικές και γνωστικές πτυχές και ποια από αυτές τις δύο κυριαρχεί είναι θέμα διαμάχης. Η συνειδητή εμπειρία που έχει υποκειμενικές πτυχές θέτει θεμελιώδη ερωτήματα σχετικά με τη φύση της συνείδησης. Δεν υπάρχει κάποια απόλυτη αιτία που προκαλεί την κατάθλιψη, επομένως, δεν μπορεί να αναζητηθεί μία μόνο απάντηση. Η πολυδιάστατη προσέγγιση είναι επιθυμητή, στην συγκεκριμένη ενότητα θα παρουσιαστεί η πιθανή σύνδεση της κατάθλιψης με κβαντικά φαινόμενα. Ο γενικός όρος της κατάθλιψης που θα χρησιμοποιηθεί στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει την γνωστική κατάθλιψη που προέρχεται από μη βιολογικές αιτίες αλλά έχει βιολογικούς συσχετισμούς. Στη πλειοψηφία των περιστατικών κατάθλιψης υπάρχει συσχέτιση με βιολογικά ζητήματα αλλά οι αιτίες της κατάθλιψης δεν είναι απαραίτητα βιολογικές. Τα συναισθηματικά τραύματα του ασθενή θα μπορούσαν να προκαλούν μεταβολές στους νευροδιαβιβαστές του εγκεφάλου ή στους υποδοχείς. Είναι πιθανό σημαντικά γεγονότα της ζωής του ανθρώπου να αλληλεπιδρούν με την Χημεία του εγκεφάλου με αποτέλεσμα την μεταβολή των καταστάσεων της διάθεσης, βέβαια ακόμα κανείς δεν μπορεί να είναι σίγουρος που βρίσκονται τα όρια μεταξύ βιολογικών και μη παραγόντων που επηρεάζουν την Χημεία του εγκεφάλου.

Η βιοχημική βάση της κατάθλιψης συνήθως αναλύεται και μελετάται από γενετική και βιοχημική σκοπιά. Ο Pylkkanen⁵⁰ διατύπωσε πως το κύριο πρόβλημα της Κβαντικής Βιολογίας είναι η ανακάλυψη της σύνδεσης της συνείδησης και του υλικού

⁵⁰ Pylkkanen, P. (2004), 'Can quantum analogies help us to understand the process of thought?' University of Helsinki

κόσμου, ο μεγαλύτερος γρίφος είναι ο προσδιορισμός της κατάστασης όπου οι βιολογικοί και μη βιολογικοί παράγοντες της κατάθλιψης συνδέονται. Στην μελέτη του Massimo Cocchi⁵¹ και των συναδέλφων του παρουσιάστηκαν δεδομένα και δόθηκαν εξηγήσεις για τα κρίσιμα σημεία της πιθανής σύνδεσης μεταξύ των αιμοπεταλίων και της κατάθλιψης.

5.4.2 Νευροχημεία

Η αυξανόμενη γνώση της λειτουργίας του νευρικού συστήματος του εγκεφάλου καθώς και των μονοαμινών αναπτύχθηκε η «υπόθεση μονοαμινών» της κατάθλιψης, η οποία συνεπάγεται ανισορροπίες στις σεροτονινεργικές, νοραδρενεργικές και πιθανώς ντοπαμινεργικές λειτουργίες. Κυριαρχεί στις αντιλήψεις και τις εξηγήσεις της παθοφυσιολογίας της κατάθλιψης από την εμπειρική ανακάλυψη των αντικαταθλιπτικών ιδιοτήτων των αναστολέων της μονοαμινοξειδάσης και των τρικυκλικών πριν από περίπου 50 χρόνια. Αν και οι μονοαμινεργικοί νευροδιαβιβαστές σεροτονίνης (5-HT), νορεπινεφρίνη και ντοπαμίνη (DA) εμπλέκονται αναμφισβήτητα, αναγνωρίζεται πλέον ότι τα ελλείμματα μονοαμίνης είναι μόνο μέρος της ιστορίας και δεν αρκούν για να εξηγήσουν τον μηχανισμό δράσης των αντικαταθλιπτικών. Η δράση των μονοαμινών διαβιβαστών στον εγκέφαλο σχετίζεται με συναισθηματικές αντιδράσεις και ερεθίσματα.

Η σύνθεση των νευροδιαβιβαστών συνήθως γίνεται στο εσωτερικό του νεύρου πριν την απελευθέρωση του στην προσυναπτική μεμβράνη και μετά μεταφέρεται και αποθηκεύεται. Μετά την απελευθέρωση του προσδένεται στους καθορισμένους υποδοχείς και τερματίζεται η δράση του λόγω της διάχυσης ή του μεταβολισμού. Υπάρχουν αρκετές ενδείξεις για ασυνήθιστη συμπεριφορά και λειτουργία των νευροδιαβιβαστών σεροτονίνης και νοραδρεναλίνη σε κατασταλτικές διαταραχές καθώς και διαταραχές κατάθλιψης. Δεν είναι σαφές εάν οι αλλαγές στα επίπεδα των νευροδιαβιβαστών παίζουν καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη και εξέλιξη της κατάθλιψης ή αν η κατάθλιψη προκαλεί αλλαγές στα επίπεδα των νευροδιαβιβαστών. Τα αντικαταθλιπτικά επηρεάζουν διάφορες νευροχημικές διαδικασίες, ωστόσο τα συγκεκριμένα αποτελέσματα της δράσης των αντικαταθλιπτικών παραμένουν ακόμα

⁵¹ Cocchi, M. & Tonello, L. & Rasenick, M. (2010), *'Human depression: a new approach in quantitative psychiatry'*, University of Bologna

άγνωστα. Ειδικότερα οι βιοχημικές αλλαγές δεν έχουν περιγραφεί ούτε από ένα μόνο μοντέλο ή θεωρία. Τις τελευταίες δεκαετίες έχει επικρατήσει η άποψη πως υπάρχουν νευροδιαβιβαστές που δρουν σε διάφορες διαδικασίες του εγκεφάλου και συμμετέχουν με νευροενδοκρινικούς μηχανισμούς στην παθογένεση⁵² της κατάθλιψης. (Taylor et al, 1993)⁵³

5.4.3 Νευροενδοκρινολογία

Έχει βρεθεί πως ένα μεγάλο ποσοστό ασθενών που πάσχουν από κατάθλιψη παρουσιάζουν ανωμαλίες στα επίπεδα κάποιων ορμονών στο αίμα τους παρ' ότι οι αδένες ήταν υγιείς. Επίσης από κατάθλιψη πάσχουν όσοι από αυτούς τους ασθενείς πάσχουν από προβλήματα του ενδοκρινικού συστήματος όπως:

- Σύνδρομο του Cushing⁵⁴
- Νόσο του Addison⁵⁵
- Διαταραχές θυροειδούς

Όταν τα επίπεδα κάποιας συγκεκριμένης ορμόνης ξεπερνούν ένα συγκεκριμένο όριο ο αντίστοιχος αδένας σταματά την παραγωγή της ορμόνης. Αυτή η διαδικασία ανατροφοδότησης της πληροφορίας βρέθηκε να έχει μειωθεί στα άτομα με κλινική κατάθλιψη. Οι ορμονικές ανωμαλίες είναι συνεπώς συνυφασμένες με τη μεταβλημένη Χημεία του εγκεφάλου η οποία αναγνωρίζεται στην κατάθλιψη.

5.4.4 Το ασυνείδητο

Το ασυνείδητο είναι έννοια της ψυχολογίας η οποία χρησιμοποιήθηκε από αρκετούς ψυχολόγους στο παρελθόν αλλά ο ορισμός του δόθηκε και αναλύθηκε από τον Σίγκμουντ Φρόυντ. Ως ασυνείδητο ορίζεται το μέρος του μυαλού στο οποίο

⁵² Ορίζεται ως ο βιολογικός μηχανισμός που οδηγεί σε μια ασθένεια

⁵³ Taylor, MA. & Barenbaum, SA. & Jampala, VC. (1993). 'Are schizophrenia and affective disorders related?' American journal of psychiatry

⁵⁴ Η πάθηση συνίσταται στην υπερπαραγωγή κορτιζόλης από τα επινεφρίδια

⁵⁵ Δυσλειτουργία των επινεφριδίων

δημιουργούνται πολλές νοητικές διαδικασίες οι οποίες εκδηλώνονται στο μυαλό του ατόμου, χωρίς το άτομο να γνωρίζει την ύπαρξη τους. Αυτές οι διαδικασίες μπορεί να είναι κρυφού πόθοι, επιθυμίες, σκέψεις ή ιδέες καθώς και συμπλέγματα και αντιλήψεις. Οι παράγοντες λοιπόν που δημιουργούν το ασυνείδητο έχουν αναγνωριστεί ως πιθανές αιτίες πρόκλησης της κατάθλιψης.

Με την ανάπτυξη του κλάδου της κβαντικής βιολογίας έχει γίνει επιτευχθεί βαθύτερη κατανόηση στην αντίληψη της έννοιας και του μηχανισμού του ασυνείδητου. Το επικρατούμενο αναγωγικό μοντέλο του μυαλού περιορίζει την αιτιολογική μελέτη της κατάθλιψης, όμως η Κβαντική Βιολογία δημιουργεί νέους ορίζοντες έρευνας. Η κβαντική υπνοθεραπευτική και γνωστική άποψη της κατάθλιψης μπορεί να αποκαλύψει τα εργαλεία και τους συνδέσμους που λείπουν ώστε να υπάρξει συσχέτιση της κατάθλιψης και των ψυχοδυναμικών προσεγγίσεων. Η υπνοθεραπευτική άποψη ότι η κατάθλιψη είναι ένα δίκτυο αρνητικών καταστάσεων μετάβασης, η οποία έχει ψυχιατρική σημασία. Για την βαθύτερη κατανόηση των μη χημικών αιτιών της κατάθλιψης είναι σημαντική η μελέτη των νοητικών διαδικασιών του ασυνείδητου. Μετά από 100 περίπου χρόνια διαμάχης στην ψυχιατρική επιστημονική κοινότητα η συνείδηση παραμένει η κορυφή του ψυχικού παγόβουνου που δημοσίευσε ο Φρόυντ, φαίνεται πως οι κβαντικοί φυσικοί υποστηρίζουν την συγκεκριμένη μεταφορά. Τα γεγονότα του ασυνείδητου δεν είναι παρατηρήσιμα γεγονός που αποτελεί θεμελιώδες εμπόδιο για την ενσωμάτωση των φρουϊδικών απόψεων του νου και της επιστήμης της Κβαντομηχανικής. Η συνειδητοποίηση, δηλαδή η ικανότητα του ατόμου να γνωρίζει άμεσα και να αντιλαμβάνεται, να αισθάνεται και να γνωρίζει τα γεγονότα που συμβαίνουν, προκύπτει με την κβαντική κατάρρευση.

Ακολουθεί σύντομη επεξήγηση της κβαντικής κατάρρευσης. Στην Κβαντομηχανική, η εξέλιξη ενός συστήματος παριστάνεται ως γνωστόν από μια κυματοσυνάρτηση. Για το χρονικό διάστημα που το σύστημα δεν υπόκειται σε παρατήρηση η κυματοσυνάρτηση αυτή εξελίσσεται χρονικά κατά τελείως προβλεπτό τρόπο καταλαμβάνοντας μεγάλη περιοχή του χώρου. Μόλις όμως εκτελεστεί μια παρατήρηση ή μια μέτρηση σ' ένα κβαντικό σύστημα, η κυματοσυνάρτηση καταρρέει, το σύστημα εντοπίζεται χωρικά σχεδόν ως σημείο και τα αποτελέσματα της μέτρησης δεν είναι εκ των προτέρων καθορισμένα αλλά πιθανοκρατικά.

Κάθε φορά δηλαδή που η κυματοσυνάρτηση του συστήματος καταρρέει δίνει ως αποτέλεσμα μια μόνο τιμή από τις πολλές πιθανές τιμές ενός μεγέθους που επιτρέπει η κυματοσυνάρτηση πχ της θέσης του. Το φαινόμενο της κβαντικής κατάρρευσης της κυματοσυνάρτησης είναι αυτό που συσχετίζεται με τη σειρά του με τη λειτουργία του εγκεφάλου και τη συνείδηση.

Επιστρέφοντας στο ασυνείδητο, όταν η κυματοσυνάρτηση καταρρέει τότε το ασυνείδητο καθίσταται λειτουργικό, όταν δηλαδή δεν είναι ενεργή η συνειδητότητα. Το ασυνείδητο είναι η πηγή της κβαντικής σκέψης ή της συσχετισμένης σκέψης, γεγονός που καθιστά πιθανό ενδεχόμενο την ύπαρξη ταυτοχρόνως παραπάνω από ενός τρόπου σκέψης. Ο Amit Goswami έκρινε ότι οι άνθρωποι καταστέλλουν τις αναμνήσεις τραυματικών εμπειριών τόσο βαθιά που η επεξεργασία αυτών των τραυμάτων αφήνεται στο ασυνείδητο έπειτα από την κβαντική κατάρρευση τη συνείδησης, γεγονός που συμβαίνει σπάνια. Αυτές οι αναμνήσεις επεξεργάζονται στο ασυνείδητο και φαίνεται πως η επεξεργασία τους παράγει βιολογικά αποτελέσματα που προκαλούν ψυχικές νόσους. Το άτομο δεν έχει γνώσει αυτών των αναμνήσεων γιατί η συνειδητότητα δεν καταρρέει ώστε αυτές οι σκέψεις να επεξεργαστούν στο επίπεδο της συνείδησης. Οι καταπιεσμένες λοιπόν αναμνήσεις δημιουργούν εμπόδια στη ροή ζωτικής ενέργειας έχοντας ως αποτέλεσμα την δυσλειτουργία ζωτικών οργάνων. Goswani (2011)⁵⁶

5.4.5 Κβαντική Μηχανική και το γνωστικό επίπεδο του ατόμου

Το 1967 ο ομότιμος καθηγητής Ψυχιατρικής Aaron Temkin Beck με το βιβλίο του <<Depression: Clinical experimental and theoretical aspects>> έθεσε τις βάσεις για τη δημιουργία μοντέλου της κατάθλιψης που δεν θα αποτελείται καθαρά από βιοχημικούς παράγοντες. Θεωρείται ο πατέρας της γνωστικής θεραπείας και οι θεωρίες του χρησιμοποιούνται ευρέως στην θεραπεία της κλινικής κατάθλιψης. Αρχικά χώρισε το γνωστικό επίπεδο σε τρεις κατηγορίες:

- Αρνητικές αυτοματοποιημένες σκέψεις
- Μη ρεαλιστικές προσδοκίες

⁵⁶ Goswani, A. (2011). *'The quantum doctor'*, Charlottesville

- Γνωστικές αλλοιώσεις, διαστροφές

Σύμφωνα με το γνωστικό μοντέλο της κατάθλιψης τα καταθλιπτικά συμπτώματα δεν προκαλούν κατάθλιψη, αλλά ταΐζουν το ένα το άλλο και παράγουν καθώς και διαιωνίζουν νευροβιολογικές διαταραχές. Αυτές οι γνωστικές δυσλειτουργίες είναι συστηματοποιημένες με τέτοιον τρόπο που μέχρι σήμερα δεν υπάρχει σαφή εξήγηση ακολουθώντας την λογική της συνείδησης εγκεφάλου για τις παρεκκλίσεις των νευροδιαβιβαστών.

Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική μελέτη παρουσιάστηκαν οι ανακαλύψεις ορόσημα της κβαντικής μηχανικής και των εφαρμογών της στους ζωντανούς οργανισμούς, τον κλάδο της κβαντικής βιολογίας. Παρουσιάστηκαν κβαντικά φαινόμενα όπως η υπέρθεση, η διεμπλοκή, η συνοχή και η αποσυνοχή, το φαινόμενο της κβαντικής σήραγγας. Έγινε παρουσίαση εφαρμογών της κβαντικής βιολογίας, αναζητήθηκαν κβαντικά φαινόμενα σε φυσικά φαινόμενα όπως η μαγνητική αντίληψη, η φωτοσύνθεση και η κατάλυση ενζύμων. Ο κλάδος της κβαντικής βιολογίας είναι τόσο συναρπαστικά ενδιαφέρον ώστε πολλοί επιστήμονες αναζητούν σε πολλές ζωτικές λειτουργίες των ζωντανών οργανισμών την ύπαρξη κβαντικών φαινομένων. Οι επιστήμονες αναζητούν απαντήσεις στον τρόπο που ο άνθρωπος αναγνωρίζει τις οσμές, καθώς και στην μελέτη των καρκινικών μεταλλάξεων. Η Κβαντική Βιολογία στο μέλλον θα μπορέσει να δώσει σημαντικές απαντήσεις για την ζωή, στο πέμπτο κεφάλαιο έγινε παρουσίαση και αναφορά για το νευρολογικό σύστημα του εγκεφάλου και το συνειδητό και το ασυνείδητο.

Η εξέλιξη της επιστήμης και της τεχνολογίας στον 21ο αιώνα έχει βοηθήσει στην εξερεύνηση και ανακάλυψη πολλών μυστηρίων της ζωής που απασχολούσαν την ανθρωπότητα για αιώνες, όμως παραμένουν ακόμα πολλά μυστήρια για τη φύση και τη ζωή που είναι αναπάντητα. Είναι σαφές πως τα κλασσικά μοντέλα, αυτά που υπακούν στους νόμους της κλασσικής μηχανικής αποτυγχάνουν να δώσουν μια ακριβή και σαφή εικόνα μιας σειράς διαδικασιών που συμβαίνουν σε ένα ζωντανό σύστημα. Το ζήτημα που τίθεται και καλούν οι επιστήμονες να απαντήσουν στο μέλλον είναι ο βαθμός στον οποίο τα κβαντικά φαινόμενα επιδρούν έχοντας μη ασήμαντο ρόλο στις βιολογικές διεργασίες. Ένας χρήσιμος δρόμος για την απάντηση σε αυτό το ερώτημα είναι μέσω της κβαντικής βιολογίας και χρήση εφαρμογών της οι οποίες μπορούν να ξεπεράσουν τις κλασσικές συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για τον ίδιο σκοπό, για παράδειγμα για την ενεργειακή αξιοποίηση ή την περιβαλλοντική ανίχνευση. Εάν τα κβαντικά αποτελέσματα σε μια μακροσκοπική κλίμακα διαδραματίζουν ρόλο στην επίτευξη της εργασίας καλύτερα σε ορισμένες διεργασίες που τελειοποιούνται για δισεκατομμύρια χρόνια σε φυσιολογικές θερμοκρασίες και σε εξαιρετικά πολύπλοκα

συστήματα, τότε υπάρχει ένας πλούτος πληροφοριών στον βιολογικό κόσμο από τον οποίο θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ιδέες.

Η Κβαντική Μηχανική είναι η βάση της ζωής σε κάποιο μοριακό επίπεδο. Η Κβαντική Βιολογία έχει να κάνει με την αναζήτηση των μη τετριμμένων, των αντιφατικών ιδεών της Κβαντικής Μηχανικής και εξετάζει αν πραγματικά παίζει σημαντικό ρόλο στην περιγραφή των διαδικασιών της ζωής. Στις επόμενες δεκαετίες αναμένεται η Κβαντική Βιολογία να δώσει απαντήσεις σε πολλά ερωτήματα για την ίδια τη ζωή.

Βιβλιογραφία

Έντυπη βιβλιογραφία

1. Nanjudiah, N. (2003), '*Alan Turing and 'The Chemical Basis of Morphogenesis'*', Indian Institute of science, [33-36](#)
2. Engel, G.S. & Calhoun, T. & Read, E.L. & Ahn, T.K. & Mancal, T. & Blankenship, R.E. & Fleming, G.R. (2007), '*Evidence for wavelike energy transfer: "Quantum coherence in photosynthetic systems"*', Nature, [446, 782](#)
3. Thyrgaug, E. et al., (2018), '*Identification and characterization of diverse coherences in the Fenna–Matthews–Olson complex*', Nature Chemistry, [10, 780–86](#)
4. Harrop, S.J et al. (2014), '*Single-residue insertion switches the quaternary structure and exciton states of cryptophyte light-harvesting proteins*', Proceedings of the National Academy of Sciences, [111\(66\), 66–75](#)
5. McFadden, J. & Al-Khalili, J. (2016), '*Life on the edge: the coming of age of quantum biology*', Broadway Books, [1-28](#)
6. Turin, L. (1996), '*A spectroscopic mechanism for primary olfactory reception*', Chemical Senses, [21\(6\), 774-790](#)
7. Asogwa, C. (2019), '*Quantum Biology: Can we explain olfaction using quantum phenomenon?*', University of Waterloo, Ontario, [1-16](#)
8. Dyson, G. (1938), '*The scientific basis of odour*', Journal of Chemical Technology and Biotechnology, [57\(28\), 647](#)
9. Tirandaz, A. & Gahramani, F.T. & Shafiee, A. (2015), '*Dissipative vibrational model for chiral recognition in olfaction*', Physical Review E, [92\(3\), 2-6](#)
10. Joos, E. & Zeh, H. & D. Kiefer, & C. Giulini, & D. Kupsch, J & Stamatescu, I. O (2003). '*Decoherence and the Appearance of a classical World in Quantum Theory*'. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag. [9-40](#).

11. Tortora, G. J & Derrickson, B (2006). '*Principles of Anatomy and Physiology*'. 11th ed. Hoboken: John Willey & Sons, Inc.. [62-103](#).
12. Hanahan, D & Weinberg, R. (2000). '*The Hallmarks of Cancer*' National Library of Medicine, 144(5), [651-652](#)
13. Walker, B. R. Colledge, N. R. Ralston, S and Penman, I. D (2014). '*Davidson's Principles and Practice of Medicine*', Edinburgh: Elsevier, 22nd Edition, [136-160](#)
14. Hayflick, L. (1965). '*The limited in vitro lifetime of human diploid cell strains*', Experimental Cell Research, Philadelphia, [37, 614-636](#)
15. Wang, Z. & Wang, N. & Li, Z. & Xiao, F. & Dai, J. (2016), '*Human high intelligence is involved in spectral redshift of biophotonic activities in the brain*', Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 113(31), [8753-8758](#)
16. Penrose, R. & Hameroff, S. (2013), '*Consciousness in the universe*', Physics of Live Reviews, 11(1), [39-78](#)
17. Tegmark, M. (2000), '*Importance of quantum decoherence in brain processes*', Physical Review, Cornell University, [1-15](#)
18. Na Li, M.D et al, (2018), '*Nuclear Spin Attenuates the Anesthetic Potency of Xenon Isotopes in Mice: Implications for the Mechanisms of Anesthesia and Consciousness*', Anesthesiology, [129, 271-275](#)
19. Pyllkanen, P. (2004), '*Can quantum analogies help us to understand the process of thought?*' University of Helsinki, 12(1), [61-91](#)
20. Cocchi, M. & Tonello, L. & Rasenick, M. (2010), '*Human depression: a new approach in quantitative psychiatry*', Annals of general psychiatry, 9(25), [2-6](#)
21. Taylor, MA. & Barenbaum, SA. & Jampala, VC. (1993). '*Are schizophrenia and affective disorders related?*' American journal of psychiatry, 150(3), [526-527](#)
22. Goswani, A. (2011). '*The quantum doctor*', Hampton Roads, USA, [6-32](#)
23. Wakhule, A. (2018). '*Quantum biology and cancer biology*', Kenyatta National Hospital, [4-46](#)
24. Schrodinger, E. (1944). "*What is life?*", Trinity College, Dublin, [10-54](#)
25. Bordonaro, M.& Ogryzko, V. (2013). '*Quantum Biology at the Cellular Level*', Scranton USA, 112(1), [11-30](#)

26. Arndt, M. & Vedral, V & Juffmann, T. (2009). ‘*Quantum Physics Meets Biology*’, HSFP Journal, 3(6), 386-400
27. Flemming, G. Cheng, Y-C. Scholes, G. (2011). ‘*Quantum effects in biology*’, 22nd Solvay Conference on Chemistry, 3(1), 38-57
28. Pandarakalam, J. (2018). ‘*Bio-Cognitive and Quantum Views of Depression*’, American Journal of Psychiatry and Neuroscience, 6(2), 33-45

Ηλεκτρονική βιβλιογραφία

29. www.physics4u.gr (Ημερομηνία ανάκτησης 14/3/2021)
30. <https://spark.iop.org> (Ημερομηνία ανάκτησης 14/3/2021)
31. <https://el.ruarrioseph.com> (Ημερομηνία ανάκτησης 16/3/2021)
32. <http://light.physics.auth.gr> (Ημερομηνία ανάκτησης 18/3/2021)
33. <http://hep.physics.uoc.gr> (Ημερομηνία ανάκτησης 24/3/2021)
34. www.the-scientist.com , article: Quantum Biology may help some of life’s greatest mysteries, ημερομηνία ανάκτησης (13/4/2021)
35. <https://www.scientificamerican.com/article/schroedingers-bacterium-could-be-a-quantum-biology-milestone/> (ημερομηνία ανάκτησης 19/4/2021)
36. https://www.the-scientist.com/features/quantum-biology-may-help-solve-some-of-lifes-greatest-mysteries-65873?fbclid=IwAR14_Upa2cYuc0rau2lQrNobts79s_Vh1TLsuCBHsT3Ve-8gJLTkd6TdhBI (ημερομηνία ανάκτησης 1/5/2021)
37. www.gkelanto.gr (ημερομηνία ανάκτησης 1/5/2021)
38. <https://physicsworld.com/a/do-quantum-effects-play-a-role-in-consciousness> (ημερομηνία ανάκτησης 19/5/2021)

39. <https://www.vectorstock.com> (ημερομηνία ανάκτησης 29/5/2021)
40. <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsif.2018.0640#d1e1340>
(ημερομηνία ανάκτησης 29/5/2021)
41. <https://www.quantumbiology.gr/> (ημερομηνία ανάκτησης 11/6/2021)
42. https://www.ted.com/talks/jim_al_khalili_how_quantum_biology_might_explain_life_s_biggest_questions/transcript?language=el (ημερομηνία ανάκτησης 11/6/2021)
43. <https://www.scientificamerican.com/article/schroedingers-bacterium-could-be-a-quantum-biology-milestone/> (ημερομηνία ανάκτησης 11/6/2021)
44. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22925839/> (ημερομηνία ανάκτησης 11/6/2021)