

Джим Ал-Халили, Джонджо Макфадън

---

# ЖИВОТ НА РЪБА

---

ЕПОХАТА НА КВАНТОВАТА БИОЛОГИЯ

---

Превод от английски  
*Елена Филипова*





# Съдържание

Благодарности .....	9
1. Въведение.....	11
Скрита призрачна реалност .....	17
Квантова биология.....	25
Ако квантовата механика е нещо нормално, защо е това вълнение около квантовата биология?.....	31
2. Що е живот?.....	36
„Жизнената сила“ .....	40
Триумфът на машините.....	43
Молекулна бiliarдна маса.....	44
Животът е хаос?.....	46
Да надникнем по-дълбоко в живота.....	48
Гените.....	50
Любопитното подсмиване на живота.....	53
Квантовата революция.....	56
Вълновата функция на Шрьодингер .....	61
Първите квантови биолози.....	64
Ред от горе до долу.....	67
Охлаждането .....	71
3. Машините на живота.....	74
Ензимите: между бързите и мъртвите .....	79

Защо са ни ензимите и как поповите лъжички губят опашките си.....	81
Промяна на пейзажа .....	87
Люшкане и клатушкане.....	92
Обяснява ли всичко теорията за преходното състояние? .....	99
Бутане на електрони насам-натам.....	101
Тунелният преход .....	107
Тунелен преход на електрони в биологията .....	110
Местене на протони насам-натам .....	112
Кинетичният изотопен ефект .....	113
И така, утвърждава ли това квантовостта на квантовата биология?.....	117
<b>4. Квантовото биене.....</b>	<b>120</b>
Основната загадка на квантовата механика .....	123
Квантовото измерване .....	138
Пътешествие до центъра на фотосинтезата .....	141
Квантовото биене .....	147
<b>5. Търсенето на дома на Немо.....</b>	<b>157</b>
Физическата реалност на мириса.....	166
Намирането на ключа към мириса .....	173
Подушване с квантов нос .....	181
Битката на носовете.....	185
В подушването се включват физиците.....	189
<b>6. Пеперудата, плодовата мушица и квантовата червеношийка .....</b>	<b>193</b>
Птичийт компас.....	200
Квантовият спин и призрачното действие .....	209
Радикален усет за посока .....	216
<b>7, Квантови гени.....</b>	<b>225</b>
Вярност .....	231
Невярност .....	237

Жирафът, граховото зърно и плодовата мушица .....	238
Кодиране с протони.....	245
Квантово прескачащи гени? .....	251
<b>8. Умът.....</b>	<b>263</b>
Колко странно е съзнанието?.....	268
Механиката на мисълта .....	274
Как умът движи материята.....	281
Изчисление с кубити .....	282
Изчисление с микротубули? .....	288
Квантови йонни канали? .....	293
<b>9. Как е започнал животът.....</b>	<b>300</b>
Проблемът с лепкавата субстанция.....	306
От лепкавата субстанция до клетките .....	310
Светът на РНК .....	312
И така, може ли квантовата механика да помогне? .....	320
Как е изглеждал първият саморепликатор? .....	324
<b>10. Квантова биология: живот на ръба на буря.....</b>	<b>326</b>
Добри, добри, добри, добри вибрации (боп, боп).....	330
Размишления върху движещата сила на живота .....	336
Живот на квантовия ръб на класическа буря.....	344
Можем ли да използваме квантовата биология, за да създадем нова жива технология?.....	350
Изграждане на живот отдолу нагоре .....	353
Създаване на първичната квантова протоклетка .....	358
<b>Епилог</b>	
Квантовият живот .....	364
<b>Бележки .....</b>	<b>367</b>

*На  
Пени и Оли  
Джули, Дейвид и Кейт*

# Благодарности

Написването на тази книга отне три години, макар че авторите се занимават с изследвания в тази въодушевяваща нова област, обединяваща квантова физика, биохимия и биология, от близо две десетилетия. Когато обаче става дума за такава междудисциплинарна област като квантовата биология, просто е невъзможно човек да стане експерт в достатъчна степен, за да обясни в задоволителна дълбочина и с необходимата увереност цялата научна основа, нужна за обрисването на пълната картина – особено когато се касае за написването на първата книга за непрофесионална публика по тази тема.

Факт е, че несъмнено никой от авторите не би могъл да напише тази книга сам, тъй като всеки от нас е внесъл в проекта своите специални познания от областите съответно на физиката и биологията. Още по-несъмнен факт е, че не бихме могли да създадем една книга, с която и двамата се гордеем извънредно, без помощта и съветите на много хора, повечето от които са водещи световни специалисти в своите изследователски области.

Благодарни сме на Пол Дейвис за многото му плодотворни дискусии с нас двамата през последните петнайсет години по въпросите на квантовата механика и нейното потенциално значение в биологията. Задължени сме и на многото физици, химици и биолози, които сега правят големи крачки в тази нова област и чиято вещина и задълбочени познания в съответните им специализирани области ние нямахме и нямаме. В частност сме задължени на Дженифър Брукс, Грегъри Енджъл, Адам Годбиър, Сет Лойд, Александра Олая-Кастро, Мартин Пленио, Санду Попеску, Торстен Риц, Грегъри Скоулс, Найджъл Скръгън, Пол Стивънсън и Влатко Ведрал. Бихме искали да благодарим също на Мирела Думич, координатор на Института за авангардни изследвания към Университета на Съри, която почти сама организира нашия изключително успешен международен семи-

нар „Квантовата биология: настоящо състояние и перспективи“ в Сърби през 2012 г., финансиран съвместно от ИАИ, Изследователския съвет по биотехнологии и биологични науки и Проекта „Модели и математика в науките за живота и обществото“. Този семинар събра много от водещите фигури от цял свят – това е една област, която сега възниква, и броят на работещите в нея е относително малък, – занимаващи се понастоящем с изследвания в квантовата биология, и ни накара да се почувстваме наистина като част от тази въодушевяваща изследователска общност.

След като книгата бе готова в чернова, ние помолихме няколко от изброените по-горе колеги да я прочетат и да ни кажат мнението си. Съответно сме особено благодарни на Мартин Пленио, Дженифър Брукс, Александра Олая-Кастро, Грегъри Скоулс и Найджъл Скъртън. Бихме искали да благодарим и на Филип Бол, Пийт Даунс и Грег Ноулс за изчитането отчасти или изцяло на окончателния вариант и изказването на толкова много проникновени и полезни забележки, които подобриха книгата изключително много. Едно голямо благодаря заслужава нашият агент Патрик Уолш, без когото книгата нямаше да види бял свят, и Сали Гаминара от „Рандъм Хаус“ за нейната вяра в нас и ентузиазма ѝ към проекта. Още по-голямо благодаря заслужават Патрик и Кари Плит от „Конвил & Уолш“ за техните съвети и предложения относно структурата и формата на книгата и за помощта им в оформянето на окончателния вариант, който е на светлинни години от първоначалното неугледно състояние. Задължени сме и на Джилиан Съмърскейлс за прекрасната ѝ редакторска работа.

Най-накрая, но съвсем не и по важност, искаме да благодарим на своите семейства за тяхната безрезервна подкрепа, особено в онези периоди, когато бяхме изправени пред самоналожени и издателски срокове, което означаваше да оставим настрана всички други ангажименти и да се затворим някъде с лаптопите си. Вече сме изгубили бройката на всичките вечери, уикенди и семейни почивки, през които квантовата биология е била на първо място. Надяваме се книгата да си заслужава.

Заради нас двамата и заради новата област на квантовата биология се надяваме също това пътешествие да е едва в началото си.

*Джим Ал-Халили и Джонджо Макфадън  
август 2014 г.*



# 1

## Въведение

Зимният мраз е настъпил рано тази година в Европа и във вечерния въздух се усеща пронизващ студ. Някъде дълбоко в ума на младата червеношийка набира сила едно доскоро смътно усещане за цел и решимост.

През последните няколко седмици птицата е поглъщала далеч повече от обичайната си дажба насекоми, паяци, червеи и плодове и сега тежи почти двойно повече, отколкото през август, когато люпилото ѝ е излетяло от гнездото. Допълнителната маса се състои главно от мазнини, които ще са ѝ нужни като гориво за изнурителното пътешествие, на което скоро ще потегли.

Това ще е първата ѝ миграция от смърчовата гора в централна Швеция, която е обитавала през краткия си живот и където само преди няколко месеца е отгледала пиленцата си. За неин късмет, предишната зима не е била много сурова, защото преди година червеношийката още не е била напълно пораснала и не е била достатъчно силна да предприеме толкова дълго пътешествие. Но сега, с изпълнени до следващата пролет родителски задължения, тя има да мисли само за себе си и е готова да избяга от настъпващата зима, насочвайки се на юг в търсене на по-топъл климат.

Слънцето е залязло преди два часа. Вместо да се приготви за ношуване, тя подскоква в съгъстващия се здрач към края на клона в подножието на огромното дърво, което е превърнала в свой дом от пролетта насам. Отърсва се бързо, също като маратонец, разхлабващ мускулите си преди състезание. Оранжевата ѝ гръд сияе в

лунната светлина. Усърдието и грижовността, с които е свила гнездото си – само на метър от нея, отчасти скрито в мъхестата кора на дънера – вече са смътен спомен.

Тя не е единствената птица, готвеща се да отлети, тъй като и други червеношийки – и мъжки, и женски – са решили, че това е подходящата нощ да поемат на дългия си път на юг. Навсякъде в дърветата наоколо си тя чува силна, пронизителна песен, която заглушава обичайните звуци на другите нощни горски създания. Като че птиците се чувстват длъжни да оповестят заминаването си, изпращайки предупреждение към останалите горски обитатели хубавичко да си помислят, преди да се изкушат да превземат територията и празните гнезда на птиците, докато тях ги няма. Защото тези червеношийки със сигурност се канят да се върнат напролет.

Накланяйки отривисто глава ту на една, ту на друга страна, за да се увери, че хоризонтът е чист, тя излита във вечерното небе. С приближаването на зимата нощите са се удължили и сега нея я чакат цели десет часа полет, преди да може да си почине отново.

Тя поема в посока с азимут  $195^\circ$  ( $15^\circ$  западно от точния юг). През следващите дни ще продължи да лети, малко или много, все в тази посока, изминавайки по 360 км в хубав ден. Тя няма представа какво да очаква по пътя, нито предчувствие колко дълго ще трае той. Теренът около нейната смърчова гора ѝ е познат, но след няколко километра тя вече лети над странен пейзаж от езера, долини и градове, облени в лунна светлина.

Някъде край Средиземноморието тя ще достигне целта си; макар да не лети към определено място, когато достигне подходящо кътче, тя ще спре, запомняйки местните ориентирни, за да може да се върне на следващите години. Ако има сили, може дори да измени целия път чак до северноафриканския бряг. Но това е първата ѝ миграция и единственият ѝ приоритет сега е да избяга от лютия студ на настъпващата северна зима.

Тя като че не забелязва другите червеношийки наоколо си, които летят горе-долу в същата посока и някои от които ще да са правили това пътешествие вече много пъти. Нощното ѝ зрение е отлично, но тя не търси ориентирни по земята – както навярно

бихме сторили ние, ако поемехме на подобно пътешествие, – нито следи подредбата на звездите в ясното нощно небе, сверявайки я с вътрешната си небесна карта, както правят много други нощни прелетни птици. За разлика от тях тя трябва да благодари на едно свое забележително умение и на няколкото милиона години еволюция, че е в състояние да извърши това пътуване от над 3500 км, което ще стане ежегоден есенен прелет.

Миграцията, разбира се, е нещо обичайно в животинското царство. Всяка зима съомгата например хвърля хайвера си в реките и езерата на северна Европа, оставяйки там малките си рибки, които след излюпването си се спускат по течението на реката към морето и Атлантическия океан, където израстват и достигат зрялост. Три години по-късно тези млади съомги се връщат да се размножават в същите реки и езера, в които са се появили от хайвера. Пеперудите монарх в Новия свят мигрират наесен хиляди километри на юг през целите Съединени щати. Те или техните потомци (тъй като те се размножават по пътя) след това се връщат на север в същите дървета, където са излезли от какавидата напролет. Зелените морски костенурки, които се излюпват по бреговете на остров Възнесение в южния Атлантически океан, преплуват хиляди километри в океана, за да се завръщат на всеки три години да се размножават на точно същия осеян с яйчени черупки плаж, на който са се появили. Списъкът продължава – много видове птици, китове, северни елени, лангусти, жаби, саламандри и дори пчели са в състояние да предприемат пътувания, които биха били предизвикателство за най-големите пътешественици сред хората.

Как животните успяват да намерят пътя си по света е било загадка векове наред. Сега ние знаем, че те прилагат най-различни методи: някои се ориентират по слънцето денем и по звездите нощем; други запомнят земните ориентири; трети могат дори да *подушат* пътя си по света. Но най-загадъчното чувство за ориентация сред всички тях притежава червеношийката – способността да възприема посоката и силата на земното магнитно поле, известна като магниторецепция. И макар сега ние да познаваме и редица други създания, които имат това умение, именно начинът,

по който червеношийката (или още червеногръдка, червеногушка – *Erithacus rubecula*), намира пътя си по света, е от най-голям интерес за нашия разказ.

Механизмът, който позволява на нашата червеношийка да разбере докъде да лети и в каква посока, е закодиран в нейната ДНК, наследена от родителите ѝ. Тази способност е необичайна и много фино развита – *шесто чувство*, с което тя следи курса си. Защото, подобно на много други птици, а дори и на някои насекоми и морски създания, тя има способността да усеща слабото магнитно поле на Земята и да черпи от него насочваща информация с помощта на вродено сетиво за ориентация, което в нейния случай изисква един особен вид химичен компас.

Магниторецепцията е загадка. Проблемът е, че земното магнитно поле е много слабо – между 30 и 70 микротесла на повърхността: достатъчно, за да отклони стрелката на компас, застинала в крехко равновесие и почти без триене, но само около стотна от силата на обикновено магнитче за хладилник. Това е озадачаващо: защото, за да може земното магнитно поле да бъде усетено от едно животно, то трябва да повлияе на някоя химична реакция някъде из тялото на животното – това, в края на краищата, е начинът, по който всички живи същества, в това число и ние самите, възприемат какъвто и да било външен сигнал. Но количеството енергия, доставяно от взаимодействието на земното магнитно поле с молекулите в живите клетки, е по-малко от една милиардна част от енергията, необходима за разкъсването или създаването на химична връзка. Как е възможно тогава магнитното поле да бъде осезаемо за червеношийката?

Загадките, дори когато са малки, са заплениващи, защото винаги има шанс тяхното решение да доведе до фундаментален обрат в разбирането ни за света. Размишленията на Коперник през XVI в. по един сравнително незначителен проблем от геометрията на Птолемеевия геоцентричен модел на Слънчевата система например го накарали да премести центъра на тежестта на вселената извън човечеството. Всепоглъщащият интерес на Дарвин към географското разпределение на животинските видове и загадката защо различните видове чинки и присмехулници на един изо-

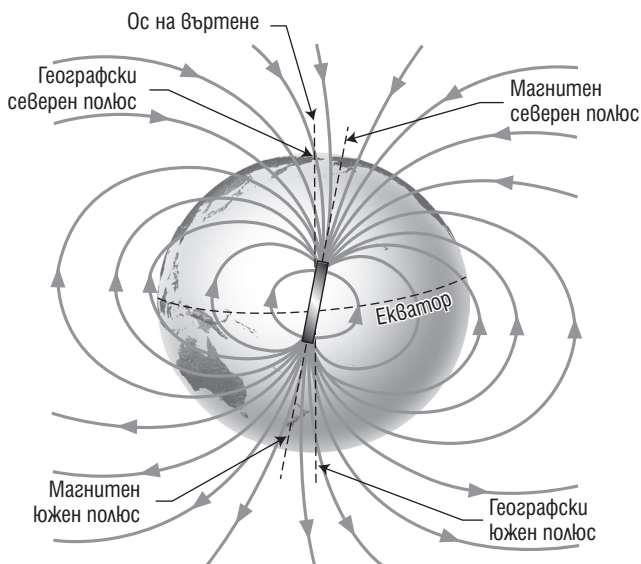
лиран остров проявяват такава специализация го подтикнали да предложи своята теория на еволюцията. А решението на германския физик Макс Планк на загадката с излъчването на черно тяло – свързана с начина, по който топлите обекти излъчват топлина – го накарало да изкаже предположението, че енергията се разпространява на дискретни части, наречени „кванти“, което довело до раждането на квантовата теория през 1900 г. И така, дали не е възможно решението на загадката как птиците намират пътя си по света да доведе до революция в биологията? Отговорът, колкото и чудно да звучи, е „да“.

Подобни загадки обаче са притегателен център и за псевдоучени и мистици; както каза оксфордският химик Питър Аткинс през 1976 г.: „изучаването на влиянията на магнитното поле върху химичните реакции открай време е терен за вихрещ се шарлатания.“<sup>1</sup> И наистина, всевъзможни екзотични обяснения, от телепатия и древни лей линии (невидими пътища, свързващи различни археологически или географски обекти, на които се приписва духовна енергия) до концепцията за „морфичен резонанс“, измислена от спорния парапсихолог Рупърт Шелдрейк, в някакъв момента са били предлагани като механизми, използвани от прелетните птици, за да намират пътя си. Така че резервите на Аткинс през 70-те години са разбираеми: те отразяват скептицизма, преобладаващ сред повечето работещи по онова време учени, към всяко предположение, че е възможно животните да са в състояние да усещат земното магнитно поле. Просто тогава е изглеждало, че няма никакъв молекулен механизъм, който да позволява на животните да правят подобно нещо – поне не в рамките на традиционната биохимия.

По същото време обаче, когато Питър Аткинс изразил скептицизма си, съпрузите Волфганг и Розвита Вилчко – германски орнитолози от Франкфурт – публикували една жалонна статия в „Сайънс“, едно от водещите академични списания в света, в която установявали извън всякакво съмнение, че червеношийките наистина могат да възприемат земното магнитно поле<sup>2</sup>. И още по-забележително: те показали, че сетивото на птиците изглежда не работело като обикновения компас. Защото докато компасите

различават северния и южния магнитен полюс, червеношийката можела да прави разлика само между полюса и екватора.

За да разберем как би могъл да работи подобен компас, трябва да разгледаме линиите на магнитното поле – невидимите черти, които показват посоката на едно магнитно поле и спрямо които се завърта и застава стрелката на компаса, когато бъде поставена някъде в това поле. Те са ни най-познати като линиите на онази фигура, която очертават железни стърготини върху лист хартия, поставен над пръчковиден магнит. А сега си представете, че цялата Земя е един гигантски пръчковиден магнит, чиито линии излизат от южния ѝ полюс, разпространяват се навън, огъват се като примки и влизат в северния ѝ полюс (вж. фиг. 1.1).



Фиг. 1.1. Земяното магнитно поле

Посоката на тези магнитни линии в близост до всеки от полюсите е почти отвесно към или от земята, но с приближаването на екватора те все повече се наклоняват и стават все по-успоредни на повърхността на планетата. Така че един компас, който измерва наклона на магнитните линии спрямо повърхността на земята,

т.нар. *инклинационен компас*, може да прави разлика между посоката към полюса и посоката към екватора, но не може да прави разлика между северния и южния полюс, тъй като магнитните линии сключват един и същ ъгъл със земята и в двата ѝ края. Изследването на семейство Вилчко от 1976 г. установило, че магнитното сетиво на червеношийката работи точно като такъв инклинационен компас. Проблемът бил, че никой нямал представа как би могъл да действа подобен биологичен инклинационен компас, защото по онова време нямало известен или дори мислим механизъм, който да обясни как наклонът на земното магнитно поле може да бъде доловен от тялото на животно. Оказало се, че отговорът се крие в една от най-поразителните научни теории на съвременността и е свързан със странната наука квантова механика.

## Скрита призрачна реалност

Направете една импровизирана анкета сред учени с въпроса коя е според тях най-успешната, влиятелна и значима теория в цялата наука и отговорът най-вероятно ще зависи от това дали питате някого, работещ във физическите науки, или в науките за живота. Повечето биолози смятат Дарвиновата теория за естествения подбор за най-проникновената идея, измисляна някога. Един физик обаче вероятно би възразил, че това почетно място се полага на квантовата механика – в края на краищата, тя е основата, върху която се градят повечето физика и химия, и ни дава забележително пълна картина на градивните елементи на цялата вселена. Всъщност без нейната обяснителна сила много от настоящото ни разбиране за това как функционира светът би се изгубило.

Почти всеки е чувал за „квантова механика“, а представата, че това е една непонятна и трудна научна област, разбирана само от едно много малко и много умно малцинство от хората, е станала част от популярната култура. И все пак истината е, че квантовата механика е била част от живота на всички нас още от началото на XX в. Научната ѝ основа е била разработена като математическа теория в средата на 20-те години на XX в., за да обясни света на

много малките неща (микросвета, както го наричат), което ще рече поведението на атомите, изграждащи всичко, което виждаме наоколо си, и свойствата на още по-малките частици, изграждащи атомите. Така например, описвайки правилата, на които се подчиняват електроните, и начина, по който се подреждат те в атомите, квантовата механика е залегнала в основата на цялата химия, материалознанието и дори електрониката. Колкото и да е странна, нейните математически правила лежат в самата сърцевина на голяма част от техническия напредък през последния половин век. Без квантовомеханичното обяснение на начина, по който електроните се движат през веществата, нямаше да разбираме поведението на полупроводниците, които са в основата на съвременната електроника, а ако не познавахме полупроводниците, не бихме разработили силициевия транзистор, а по-късно микрочипа и съвременния компютър. Списъкът продължава: без напредъка в знанието, дължащ се на квантовата механика, нямаше да има лазери, а значи и CD, DVD и blu-ray плейъри; без квантовата механика нямаше да имаме смартфони, сателитна навигация и ЯМР скенери. Всъщност смята се, че над една трета от brutния вътрешен продукт на развития свят разчита на приложения, които просто не биха съществували без разбирането ни за механиката на квантовия свят.

А това е само началото. Можем да очакваме едно квантово бъдеще – по всяка вероятност още в рамките на нашия живот, – в което лазерният ядрен синтез би могъл да ни достави почти безгранична електроенергия; когато изкуствени молекулни машини ще изпълняват широк диапазон от задачи в областта на инженерството, биохимията и медицината; когато квантови компютри ще осигуряват изкуствен интелект; и когато евентуално дори научнофантастичната технология на телепортацията ще е обичаен начин за предаване на информация. Квантовата революция от ХХ в. набира скорост през ХХІ в. и ще преобрази живота ни по невъобразими начини.

Но какво точно е квантовата механика? Това е въпрос, който ще изследваме през цялата тази книга; като предварителна представа тук ще започнем с няколко примера за скритата квантова реалност, върху която се крепи животът ни.