

Поразителната октава¹

Д. Пий

Лесно е да приемаме зрението като нещо дадено. Ние се къпем в светлина, която може да ни разкаже много за всичко, което ни заобикаля, поради което не е изненадващо, че ние я използваме и само малко на брой животни са слепи. Въпреки това, зрението се основава върху съвпадението на три очевидно по никакъв начин не свързани помежду си свойства, засягащи само една октава² от електромагнитния спектър, обхващаща дължини на вълните от 320 nm до 740 nm.

Да вземем първо Слънцето. Източникът на всичката естествена светлина, Слънцето, представлява жълта звезда от клас G2, която излъчва като абсолютно черно тяло с температура малко над 5800 K, като максимумът в спектъра на излъчването му е около 500 nm. Спектралната плътност на лъчението, т.е. интензитетът за единица интервал от дължина на вълната, пада до половината от максималната стойност в интервала от 370 nm до 730 nm, което почти съвпада с границите на въпросната октава.

Второ, атмосферата е прозрачна за светлина само между 300 nm и малко над 700 nm, което плътно отговаря на максимума в слънчевото лъчение. При по-дългите вълни една поредица от абсорбционни ивици с нарастваща дълбочина, дължащи се на кислорода, въглеродния диоксид и водните пари, поглъща по-голямата част от светлината. Откъм страната на по-късите вълни, светлината с дължина под 280 nm се поглъща силно от стратосферния озон, предпазвайки ни по този начин от канцерогенното С-ултравиолетово лъчение. Под 200 nm както кислородът, така и азотът също поглъщат силно, поради което даже лабораторните експерименти с късовълнова ултравиолетова светлина трябва да се правят във вакуум.

Третото съвпадение е, че самият механизъм на зрението е не просто пригоден към наличния слънчев спектър – той е фундаментално ограничен до въпросната тясна негова ивица от само една октава. Човешкото зрение се простира от ултравиолетовата светлина с дължина на вълната 400 nm, до червената светлина с дължина 700 nm, докато някои животни могат да виждат и А-ултравиолетова светлина с дължина до 320 nm, или инфрачервена светлина до около 740 nm. Златната рибка може да вижда дори и в двата тези диапазона.

Съществуват сериозни физични причини, поради които зрението не би могло да функционира извън тези граници. Регистрирането на светлина се осъществява, когато един фотон се погълне от хромофорната молекула, наречена ретинал. Съставена от нагъната верижка въглеродни атоми, когато погълне фотон с достатъчно голяма енергия, молекулата се разгъва. Това я изтласква извън обвивката от протеина, наречен опсин, като това слага начало на редица събития, които възбуждат клетката да предаде импулс към нервната система.

Различните структури на опсина променят местоположението на максимума на абсорбционната крива. В човешките клетки, наречени колбички, например, абсорбционните максимуми са при 420 nm за синята, при 530 nm за зелената и при 560 nm за червената светлина, осъществявайки по този начин възможност за цветно зрение на основата на три основни цвята. Опсинът в пръчиците, които са отговорни за виждане в

¹ Превод от Physics World, 6, 2003.

² Както е известно, октавата представлява част от спектъра, чиято долна и горна граница се различават с множител 2 (независимо дали става дума за честоти или за дължини на вълните). Строго взето, интервалът честоти на електромагнитните вълни е безкраен, т.е. съдържа безброй октави. Ако се ограничим със спектъра от най-нискочестотните вълни в междувъзвездната плазма (~ 1 kHz) до γ -лъчите с енергия 1 GeV ($2,4 \cdot 10^{23}$ Hz), лесно се проверява, че той обхваща почти 68 октави. За да се убедите, вземете който и да е учебник, в който има логаритмична схема на спектъра и намерете отношението между общата му дължина и широчината на ивицата, заета от видимата светлина. Тази оценка показва, че наистина в статията става дума за нищожна част от електромагнитния спектър. (Бел. прев.)

условията на слаба осветеност, имат максимум при 498 nm; наличието на само един тип пръчици е причина да не различаваме цветовете в условията на полумрак.

При други животни рецепторите на най-късите А-ултравиолетови лъчи имат максимум на поглъщането при 360 nm, поради което чувствителността на зрението е докъм 320 nm. При по-късите вълни лещата и другите оптични елементи на окото поглъщат светлината преди тя да достигне ретината, поради което тези вълни са много вредни. Нуклеиновите киселини и протеините поглъщат силно вълни с такива дължини и енергията на фотона е достатъчна, за да разкъса ковалентните връзки. Ето защо, въпреки че зрение в А-ултравиолетовата област се среща при насекоми и ракообразни, както и при много гръбначни, чувствителност към по-късовълновата В-ултравиолетова светлина е невъзможна.

Повечето млекопитаещи, включително човекът, блокират напълно А-ултравиолетовата светлина, вероятно поради хроматичната аберация. Нашето цветно зрение би трябвало да се основава на съвкупност от ясни и добре разграничени реакции, всяка от които не е засегната чрез замъгляване при други дължини на вълните. Нашите три вида колбички обаче са изненадващо зле съчетани една с друга. Чувствителността им към синята светлина, например, е ниска, докато пък кривите на чувствителността на възприемащите зелената и червена светлина колбички са твърде близки и до голяма степен се припокриват. (Всъщност максимумът на чувствителността на “червените” колбички е при 560 nm, което съответства по-скоро на жълто-зелен цвят.) Ето защо когато трябва да различи червените диви ягоди сред зелените листа, нашият мозък трябва да сравнява два много подобни и застъпващи се сигнала, като извършва качествена работа, използвайки бедни данни. За виждане под 400 nm изобщо не може да става въпрос, тъй като там хроматичната аберация расте бързо.

Други гръбначни имат много по-добро от нашето цветно зрение. Гълъбите, например, имат три вида колбички, чиито максимуми на чувствителността са раздалечени равномерно, докато патиците имат четири – включително такива, чувствителни към А-ултравиолетовата светлина. При рибите, влечугите и птиците всяка колбичка има цветна маслена капчица, която действа като филтър, който допълнително усилва реакцията. В този случай хроматичната аберация не е голяма спънка, тъй като при различните дължини на вълните рязкостта на изображението може да се подобри чрез нагласяване на фокуса.

Вероятно първите гръбначни също се притежавали тези усъвършенствания, но за 180 млн. години те са били принудени от доминиращите динозаври да водят предимно нощен живот. Тъй като цветното зрение не функционира нощем, то е било изгубено и впоследствие не е могло да бъде възстановено напълно. Много млекопитаещи въобще не възприемат цветовете и дори нашата, човешката прочута цветова чувствителност е много слаба в сравнение с тази на птиците и даже на рибите.

В дълговълновия край на спектъра нашето зрение е ограничено от малката енергия на фотоните. Някои риби и амфибии използват малко по-различен хромофор, който е чувствителен до около 740 nm. Може би е съществено, че всички тези същества са студенокръвни, тъй като по-малката широчина на забранената зона на тези хромофорни молекули ги прави по-възприемчиви към топлинно активиране. С други думи, ако очите им бяха топли, те биха били подложени на твърде голям собствен шум.

Обикновеното зрение посредством фотохимична регистрация зависи от съпадението на редица свойства в една единствена октава от спектъра. Биха ли били хората слепи, ако това съпадение не съществуваше? Този въпрос е неуместен, защото в такъв случай и нас нямаше да ни има. Съществуването на растенията се основава на същите условия, тъй като те поглъщат червена и синя светлина, отразявайки нежеланата зелена светлина, за да осъществяват фотосинтезата – източникът на всички храни и на атмос-

ферния кислород. Без кислород или храна “животът, какъвто го познаваме” е немислим.