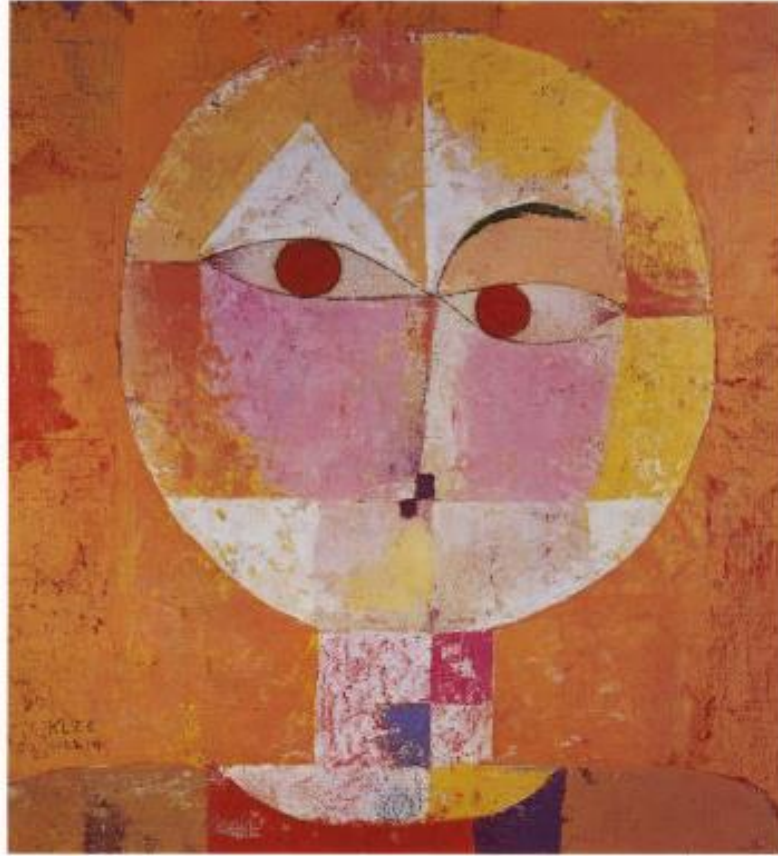


ЧУЛО ВИДА



пратећи текстови уз компјутерске презентације

Дејан Годоровић



Лабораторија за експерименталну психологију, 2010

1. УВОД

БИОЛОШКА ОСНОВА ОПАЖАЊА

- људски и животињски организми се састоје од извесног броја **система** са различитим **функцијама**
 - на пр. *скелетни* систем даје телу чврсту потпорну структуру, *мишићни* систем обезбеђује функцију кретања, *пробавни* систем има улогу у исхрани, *дисајни* систем подржава респираторне функције, итд
- у овом тексту превасходно се бавимо **чулним системом**
 - чулни систем се састоји од чулних *органа* (очи, уши итд), чулних *нерава* који преносе информацију из органа, можданих *центара* у којима се информација обрађује, као и *мишића* који покрећу неке чулне органе (на пр. мишићи очију)
 - чулни систем има *сознајну* функцију, тј. његова сврха је да обезбеди људима и животињама информације путем *чулног опажања (перцепције)*
- **перцепција** има два смера, спољни и унутрашњи:
 - **интероцепција** се односи на информације о стању самог организма (интеро = унутрашње), у шта спада:
 - положај сопственог тела и његових делова (проприоцепција)
 - глад, жеђ, умор, бол итд
 - **екстероцепција** се односи на информације о спољашњем свету (екстеро = спољашње)
 - ту спадају вид, слух, додир, укус и мирис

ЧУЛНО САЗНАЊЕ

- стицање сазнања о телу и свету путем чула је део низа базичних биолошких процеса који нам омогућавају преживљање
 - чулно сазнање се током еволуције појављује код животиња, док га биљке немају (као ни способност кретања)
 - перцепција нам пружа основне информације о свету, што омогућава **рекогницију** (препознавање) објеката
 - на пр. предмет одређене величине, боје, облика, чврстине, укуса, мириса итд. препознајемо као *јабuku*
 - кад препознамо објект, знамо шта је, чему служи, и шта можемо да учинимо са њим, или шта он нама може учинити
 - препознавање објеката омогућава нам њихову **евалуацију** (процену), тј. да ли је то нешто добро за нас, лоше, или тренутно неважно
 - евалуација објекта даје основу за **акцију** (деловање), на пр. да приђемо објекту и да ступимо у контакт са њим, или да побегнемо од њега итд.
 - резултат акције може бити нека промена у околини, о чему нас извештава перцепција, која даље омогућава рекогницију, па евалуацију, итд
- чулно сазнање је *ограничено*, тј. пружа нам информацију о само неким дешавањима у нашем телу и спољашњем свету, док остале не региструје, па их нисмо свесни
 - примери чулима неопажених дешавања у сопственом телу:
 - проток крви кроз вене и артерије, варење хране, зарастање рана, итд
 - примери чулима неопажених дешавања у спољашњем свету:

- кретање земаљске кугле, рендгенски зраци (који пролазе кроз мека ткива и само их кости заустављају), магнетска поља, радио и ТВ таласи и други комуникациони сигнали (који су свуда око нас и региструју их апарати и претварају у сигнале које можемо чулима опазити, као слику и звук) итд
- чулно опажање је важан и увек присутан део нашег свесног живота и даје му снажан печат, без кога би живот био незамисливо другачији
 - замислите да ништа не видите, нити чујете, нити миришете, да ништа не можете да окусите, нити да опипате, да нисте свесни свог тела нити положаја својих удова, да не осећате ни глад, ни жеђ, ни бол ...

ЕКСТЕРОЦЕПТИВНА ЧУЛА

- екстероцептивна чула су специјализована за регистровање различитих физичких процеса у спољној средини, помоћу одговарајућих чулних органа
 - на пр., *оптичке* процесе региструје чуло вида чији је орган око, *акустичке* процесе региструје чуло слуха чији је орган уво, *механичке* процесе региструје чуло додира чији је орган кожа, *термичке* процесе региструје чуло за топлоту чији је орган такође кожа, а разне *хемијске* процесе региструју чула укуса и мириса чији су органи језик и нос
- екстероцептивна чула се могу поделити на *контактна* и *дистантна*
 - **контактна чула** (*чуло додира* и *чуло укуса*), омогућавају опажање својстава оних објеката који су у директном контакту са организмом (са кожом одн. језиком)
 - **дистантна чула** (*чуло вида*, *чуло слуха* и *чуло мириса*) изузетно проширују перцептивне моћи у поређењу са контактним чулима, јер омогућавају опажање објеката који нису у непосредном контакту са организмом
 - али, и код дистантних чула мора постојати директни контакт чула са *неком* дражи (нпр. светлост, ваздушни таласи, молекули мирисне материје), али не и са самим *узрочником* дражи, тј. опаженим објектом, већ са његовим ефектима, који се шире кроз средину

ДОМЕНИ ЧУЛНОГ ОПАЖАЊА

- след догађања у оквиру процеса перцепције спољне средине укључује три релевантна подручја одн. *домена*, и то домен *света*, домен *тела*, и домен *свести*
- први домен је *физички* и односи се на *свет*, т.ј. појаве у спољној средини које су релевантне за јединку (човека или животињу) и њено сналагање у свету
 - појаве у том домену су различити физички (оптички, акустички, топлотни, механички) и хемијски процеси који делују на наша чула
 - научне области које се баве проучавањем оваквих процеса су *физика* и *хемија* (која се, у принципу, може свести на физику) па је познавање неких њихових основних аспеката важно за проучавање опажања
- други домен је *неурални* и односи се на *тело*, т.ј. збивања у нервном систему која су изазвана спољашњим физичко-хемијским процесима
 - појаве у том домену су грађа и разне активности чулних органа, нерава, као и одговарајућих делова мозга
 - научне области које се њима баве су неуроанатомија и неурофизиологија, данас сврстане у *неуронауке*

- трећи домен је *феноменолошки* и односи се на *свест*, одн. свесне доживљаје повезане са спољашњим објектима и одговарајућим активностима нервног система
 - појаве у овом домену односе се на свесно доживљавање боја, облика, мириса, укуса, итд
 - област која се бави проучавањем садржаја свести зове се *феноменологија* (али треба уочити да овај термин такође има и нека нешто другачија значења у психологији и филозофији)

ОДНОСИ МЕЂУ ДОМЕНИМА

- односом између *парова* домена посебно се баве одређене области:
 - односом између спољне стимулације и неуралне активности бави се *сензорна неурофизиологија*
 - односом између спољне стимулације и доживљаја бави се, уопштено речено, *психофизика*
 - према немачком научнику Фехнеру, ова се област назива и *спољна психофизика*
 - односом између нервне активности и свесног доживљаја бави се област која још нема неко опште усвојено име
 - можда најподеснији назив је *неурофеноменологија*
 - у филозофији, ова се област назива ‘проблем односа душе и тела’
 - према Фехнеру, ова се област назива *унутрашња психофизика*
 - природа везе мозга и свести још је увек веома недовољно упозната
 - ипак, може се казати да је веза мозга и свести у оквиру процеса чулног опажања, а нарочито *виђења*, данас боље упозната него физиолошке основе било ког другог психолошког процеса (као што су то мишљење, мотивација, емоција, говор, психопатологија итд)

ОСОБЕНОСТИ ЧУЛА ВИДА

- сва чула служе сазнању, али свако чуло има и карактеристике по којима је специфично и разликује се од осталих чула
 - те карактеристике односе се на врсту спољне енергије, чулни орган, и одговарајући део нервног система, као и одговарајуће предности и мане које имају поједина чула кад се упореде са осталим чулима
- особености чула вида:
 - чуло вида пружа сазнања о спољашњем свету које је посредовано *оптичким* путем, тј. засновано је на информацијама садржаним у *светлости*
 - светлосни сигнали региструју се посебним чулним органима, тј. *очима*
 - сигнали из очију се обрађују у посебном делу мозга, названом *визуелни систем*
- чуло вида има одређене *предности* над осталим чулима у погледу опажања *удаљености, оштрине*, као и *опсега* опажених појава
 - *удаљеност (дистанца)*: да би се опазио неки мирисни објект, он мора бити на удаљености од највише неколико метара, звучни објект може бити на удаљености од неколико десетина или стотина метара, док објект опажен видом може бити и на огромној удаљености (на пр. облаци, месец, звезде)

- *оштрина (резолюција)*: регистравање просторних детаља опажених објеката, као и процена правца у коме се неки објект налази у односу на нас, код мириса је врло непрецизно, код звука је нешто боље, а код вида је далеко најпрецизније
- *опсег регистрованих појава*: само мањи број објеката из спољашњег света миришу или повремено производе звук, док скоро сви одбијају светлост

САЗНАЊА СТЕЧЕНА ВИЂЕЊЕМ

- основне информације које нам чуло вида пружа тичу се структуре *простора*, *светлости*, и *материје* у нашој околини, као и њиховим променама у времену
- сазнања о *простору* односе се на начин на који су објекти распрострајени у простору, тј. њихове *геометријске* особине, и то:
 - којег су *облика* и *величине* објекти, и како су *оријентисани* у простору (хоризонтално, вертикално, косо, итд)
 - како су објекти смештени у простору с обзиром на посматрача и на остале предмете, тј. у којем су *правцу* и на којем *одстојању*
- сазнања о *светлости* односе се на питање *под каквим осветљењем* су објекти, тј. којег је састава и интензитета то осветљење, као и каква је структура сенки
- сазнања о *материји* односе се питање *од чега* су објекти, што се визуелним путем сазнаје на основу *боје* и *текстуре* (просторни сложај боја по површини објекта)
- могу се разликовати два вида чулног сазнања, статички и динамички
 - *статички вид*: чулом вида стичемо сазнања о *тренутном* стању ствари у својој околини, тј. о тренутном облику, величини, положају и боји објеката
 - *динамички вид*: чуло вида нас информисе и о *променама* свих ових особина током времена
 - ту се ради о променама положаја одн. опажању *кретања*, о променама облика, осветљења итд
- описане информације делом стичемо и путем других чула, али на друге начине
 - напр., чуло слуха нас може известити о правцу у коме се налази неки звучни објект, а чуло додир о његовом облику, док је боја специфична само за чуло вида

ИЛУСТРАЦИЈЕ САЗНАЊА СТЕЧЕНИХ ВИЂЕЊЕМ

- графички се може илустровати сазнавање
 - *простора*: облици објеката и њихов положај у простору
 - *светлости*: осветљење и сенке
 - *материје*: боја
 - *материје*: текстура (просторни сложајеви боја)

КОМПЛЕКСНОСТ ВИЂЕЊА

- у свакодневном животу визуелно опажање нам не причињава никакве посебне проблеме, и може нам се чинити да је то доста *једноставан* процес (за разлику, рецимо, од процеса мишљења, доношења одлука, овладавања емоцијама итд)
- међутим, процес виђења је уствари веома *компликован*, али се током еволуције визуелни апарат на тај начин развио да је (као, рецимо, код добрих компјутерских програма), сложеност процеса 'сакривена' од корисника (организама)

- сложеност визуеног опажања илустроваћемо помоћу *четири* широке групе појава
- оне се односе се на ангажованост *мозга* приликом виђења, тешкоће да се *машине* науче да виде, сложене *поремећаје* виђења код пацијената, и необичне појаве у виђењу код *нормалних* особа

АНГАЖОВАНОСТ МОЗГА

- велики део коре великог мозга бави се обрадом визуелне информације
 - према грубим проценама, код човека је то бар четвртина коре великог мозга, а вероватно и више, а код неких мајмуна и до половине
- овако значајна инвестиција еволуције у визуелни систем указује на сложеност процеса које он обавља

ВИЂЕЊЕ КОД МАШИНА

- покушаји да се машине, тј. роботи и компјутери, у оквиру дисциплине познате под именом *вештачка интелигенција*, науче виђењу и визуелном препознавању објеката, за сада још имају велике тешкоће и само ограничене успехе
 - ова чињеница је у контрасту са успесима истраживања у оквиру вештачке интелигенције у неким другим подручјима, на пр. у игрању шаха
- тежина проблема постаје јаснија када се уочи да је слика, коју би машина требало да препозна, у свом основном виду само *скуп обојених тачака*
 - ова се информација може у компјутер унети, на пр., као скуп бројева који означавају светлине тачака, где је '0' црна тачка, '100' бела, а сви бројеви између означавају нијансе сиве
- питања која се, између осталих, постављају су како се на основу такве информације:
 - препознају *објекти*, на пр. да један скуп тачака представља врата, други прозор, трећи рубље, итд
 - уочава *осветљење*, тј. како се разликују предмети од сенки, на пр. да нека тамнија целина не представља тамни предмет већ сенку
 - опажа *дубина*, на пр. да се разликује да ли је објект мали и близу или велики и далеко, да ли је елипса или искошен круг, итд
 - ово су само неки проблеми визуелног опажања
- овакве проблеме већином успешно решавају и веома млади организми, али за машине још увек представљају веома озбиљне тешкоће

ПОРЕМЕЋАЈИ ВИЂЕЊА

- још један индикатор сложености визуелног опажања је да постоје патолошки поремећаји чула вида који се још увек тешко објашњавају, а још теже лече
 - поремећаји опажања *боја*
 - *пример:* пацијент после мањег саобраћајног удеса губи опажање хроматских боја и види само ахроматске боје (нијансе сиве)
 - поремећаји опажања *кретања*
 - *пример:* пацијент опажа да предмети мењају место и облик, али не опажа да се *крећу* са једног места на друго
 - овакав недостатак причињава тешкоће у свакодневном животу, на пр. приликом прелажења преко улице, сипања течности, или праћења покрета мишића лица саговорника у разговору

- поремећаји опажања *простора*
 - *пример:* пацијент обраћа пажњу на објекте са своје десне стране, а занемарује оне са леве стране, и понаша се као да не постоје
- поремећаји опажања *лица*
 - *пример:* пацијент види исправно боје и облике, али не препознаје *лица*, чак ни сопствено у огледалу
- поремећаји опажања *облика*
 - *пример:* пацијент препознаје боје али не и облике, на пр. не може да одговори ни да ли је приказана линија оријентисана хоризонтално или вертикално, али може да исправно усмери своје понашање у складу са датом оријентацијом (на пр. убаци писмо кроз прорез), иако тога није визуелно свестан

СЛОЖЕНОСТ НОРМАЛНОГ ВИЂЕЊА

- и у непатолошком визуелном опажању постоје бројни комплексни феномени
 - на пр. *визуелне илузије* су појаве да ми *погрешно* опажамо неке особине објеката, ако их посматрамо у различитим контекстима
 - постоје *двосмислене слике*, прикази који се могу интерпретирати на два или више начина
 - *немогући објекти* су визуелни прикази који представљају објекте који су физички противречни, тј. не могу постојати
- такви феномени, од којих многи још нису довољно објашњени, нису само атрактивни већ нам пружају и јединствени извор увида у функционисање визуелног система

2: СВЕТЛОСТ

СХВАТАЊА О СВЕТЛОСТИ

- светлост је физичка основа виђења и узрок који омогућава његово постојање
 - суштинска важност светлости за виђење је исказана тврдњом 'да нема сунца не би било ни ока'
- проблем природе светлости одавно се разматра у религији, филозофији и науци
- на пр., према библијском предању светлост игра важну улогу приликом стварања света
- у старој Грчкој постојале су две основне теорије о визуелном опажању
 - према теорији **екстремисије** претпостављало се да се нека активност из ока пружа у свет
 - по овој идеји постоји аналогија *виђења са хватањем*
 - проблеми који су истицани за ову теорију су, рецимо, како активност из ока може да се простире преко огромних даљина и да стигне до звезда
 - према теорије **интромисије** претпостављало се да нека информација из света стиже у око
 - наиме, сматрало се да сви предмети шаљу на све стране слике (тзв. *eidole*), које улазе у око и бивају спроведене до мозга
 - оваква теорија има разне тешкоће, на пр. како слике великих предмета улазе у мало око, зашто се ноћу не види, да ли приликом процеса виђења неко у мозгу гледа те слике, итд
- током историје филозофије и науке многи генијални мислиоци бавили су се проблемима природе светлости и боја
 - ту спадају Еуклид, Декарт, Њутн, Хајгенс, Максвел, Ајнштајн, Хајзенберг, и други

ФИЗИКА СВЕТЛОСТИ

- у деветнаестом веку је утврђено да светлост спада у **електромагнетска зрачења**
 - електромагнетско зрачење је физичка појава, узрокована одређеним променама стања материје на атомском нивоу
- светлост има особине *таласа* и особине *честица*
- *честице* светлости се називају **фотони** или **светлосни кванти**
 - фотони се крећу праволинијски и чине светлосне *зраке*
 - светлосни зраци се шире на све стране *дивергентно* (одн. зракасто) из извора зрачења огромном брзином (300.000 км/сек), простирући се и кроз безваздушни космички простор (за разлику од звука)
 - ако је извор врло далеко, зраци су практично међусобно *паралелни* (на пр. зраци сунца који падају на земљу)
- *таласи* електромагнетског зрачења имају *амплитуду* и *таласну дужину*
 - **амплитуда (а)** се односи на интензитет таласа, изражен висином његовог брега или доље
 - **таласна дужина (λ)** се односи на брзину промене таласања током времена, изражену растојањем између врха два суседна брега таласа, или дна две суседне доље

- постоје велике *варијације* електромагнетских таласа у погледу амплитуде и таласне дужине
 - амплитуде варирају од веома малих до огромних
 - таласне дужине варирају од сићушних делова милиметра до хиљада километара
- око региструје електромагнетска зрачења чија је таласна дужина у распону између око 400 и 700 нанометара, који се назива (светлосни) **спектар**
 - *нанометар* (скраћено: нм) је хиљадити део микрометра, који је хиљадити део милиметра
- **светлост** чине електромагнетска зрачења у оквиру спектра
 - таласна дужина светлости је дакле нешто мања од хиљадитог дела милиметра
 - осетљивост нашег ока на светлост не завршава се *нагло* на зрацима од 400 и 700 нм, већ постепено (али брзо) опада, па неки извори дефинишу светлост нешто шире, као распон од 380 до 750 нм

ОПСЕГ ЕЛЕКТРОМАГНЕТСКИХ ТАЛАСА

- таласи са таласним дужинама нешто краћим од 400 нм су **ултраљубичасти**, а са нешто дужим од 700 нм су **инфрацрвени**.
 - људско око не види зраке изван спектра, али се инфрацрвени зраци осећају кожом, као топли
 - ово је пример како квантитативне разлике у оквиру исте врсте физичке појаве (електромагнетски зраци) организам може регистровати на квалитативно веома различит начин (као светло и као топло)
 - неке животиње су осетљиве и изван ових граница, на пр. очи пчела и златних рибица региструју ултраљубичасту светлост
- постоје и електромагнетски таласи знатно краћих таласних дужина (на пр. гама зраци, X-зраци), као и знатно дужих таласних дужина (на пр. микро-таласи, радио-таласи)
- појединачне таласне дужине у оквиру спектра видимо као одређене *боје*
 - светлост од 400 нм опажа се као *љубичаста*, од 700 нм као *црвена*, а светлости осталих појединих таласних дужина одговарају нијансама боја између љубичасте и црвене
- организми су развили осетљивост на спектрална електромагнетска зрачења зато што наше сунце снажно зрачи у овом опсегу таласних дужина, а слабије изван њега
 - ово је добар пример прилагођавања живог света на услове физичке средине

ОСОБИНЕ СВЕТЛОСТИ

- **монохроматски** извори светлости зраче светлост само једне таласне дужине (одн. веома уског опсега таласних дужина)
 - такви извори су у природи врло ретки, а у техници то су ласери
- **полихроматски** извори зраче светлост једног дела или свих таласних дужина између 400 и 700нм
 - таква је већина извора у природи
- простирање светлости има одређене карактеристике, наиме:
 - светлост се *генерише* у неком извору

- од извора светлост се *шири* кроз неку провидну *средину* (медијум), као што су ваздух, вода, стакло, вакуум
- ширење светлости у одређеном правцу завршава се тиме што светлост *обасјава* неку површину, која може бити непровидна или провидна
- када светлост падне на неку *непровидну* површину одвијају се два процеса:
 - светлост делом врши **рефлексију** (одбијање)
 - а делом **апсорпцију** (упијање)
- касније ћемо размотрити понашање светлости у сусрету са провидним површинама

ОДБИЈАЊЕ СВЕТЛОСТ: ПОЈМОВИ

- за описивање одбијања светлости потребно нам је неколико појмова:
 - **илуминанса** је количина светлости која *пада* на неку површину
 - **апсорбанса** је количина светлости која се *упије* у површини
 - **луминанса** је количина светлости која се *одбије* од површине
- од посебне важности је појам **рефлектансе** или **албеда**
 - то је однос количине одбијене светлости и упадне светлости, а изражава процент одн. пропорцију одбијене светлости, према формули:
 - $\text{рефлектанса} = \text{луминанса} / \text{илуминанса}$
 - пример
 - нека на површину пада светлост јачине 50 јединица, и нека та површина одбије 30 јединица а упије 20 јединица
 - у том случају рефлектанса одн. албеда износи $30/50 = 0.6$ одн. 60%
 - према томе, та површина рефлектује 60% светлости која пада на њу
- албеда (рефлектанса) је *константна* особина сваке површине, на пр., одређена површина увек одбија 60% упадне светлости
 - другим речима, *количина* светлости одбијена од површине (луминанса) може бити већа или мања, зависно од јачине осветљења (илуминанса), али увек износи исти *процент* од упадне количине (рефлектанса)
- напоменимо да је наше опажање, изузев у случајевима илузија, углавном детерминисано рефлектансом (тј. ми опажамо константне особине објеката), а не луминансом (мада је светлосна стимулација која пристиже у око луминанса)

ОДБИЈАЊЕ СВЕТЛОСТИ: ПРОЦЕНТИ

- површине различитих предмета се могу веома разликовати по рефлектанси
 - **ахроматске** ('безбојне') површине (као што су површине црне боје, беле боје, и разне нијансе сиве) имају једнак или сличан албеда за све таласне дужине
 - ако је албеда мањи од око 5%, површина је *црна*
 - ако је албеда већи од око 80 %, површина је *бела*
 - ако је албеда између ове две вредности површина је *сива*
 - **хроматске** ('обојене') површине (црвене, плаве, зелене, жуте, ...) имају различиту рефлектансу за различите таласне дужине
 - на пр., ако површина највише одбија зраке дужих таласних дужина, она ће се опазити као црвена, а ако највише одбија зраке краћих таласних дужина опазити се као плава, итд
- кључна је чињеница да површине објеката који се састоје од различитих *материјала* одбијају зраке различитих таласних дужина у различитим процентима

- стога нам структура таласних дужина одбијене светлости која доспева у наше око пружа информације о материјалу од кога су сачињени спољашњи објекти
 - другим речима, боја неког предмета (мада не само боја) нам говори *од чега* је нешто

ОДБИЈАЊЕ СВЕТЛОСТИ: ПРАВЦИ

- *правац* којим се светлост простире након што се одбије од неке површине зависи од рапавости одн. углачаности површине на коју пада
 - за светлосни зрак који пада на веома углачану површину, на пр. на огледало, одбијање је **директно**, тј. излазни угао између правца зрака и нормале на површину једнак је упадном углу
 - већина површина нису углачане, тј. *рапаве* су на микроскопском нивоу ('мат' површине), и одбијање светлости је **дифузно**, тј. зраци се одбијају мање-више *једнако* у свим правцима
 - за делимично углачане предмете одбијање је **комбиновано**, тј. светлост се одбија у свим правцима али *неједнако*, тј. највише се одбија за одређени угао одбијања (главни правац), што се одражава у појави *одсјаја* код таквих површина
- количина одбијене светлости зависи и од *угла* под којим светлост пада на неку површину
 - наине, највећа количина се одбије ако светлост пада на површину под правим углом
 - уколико упадни угао више одступа од правог, утолико је количина одбијене светлост мања

ОДБИЈАЊЕ СВЕТЛОСТИ: СТРУКТУРА

- будући да количина одвијене светлости зависи од упадног угла, *рељеф* неког тела, тј. његов тродимензионални облик, ће утицати на просторну структуру одбијене светлости
 - на пр., предмети са равним странама које стоје под углом (на пр. коцка) одликују се *наглим* променама у количини одбијене светлости на ивицама
 - с друге стране, предмети са закривљеним површинама (на пр. лопта или цилиндар) одликују се *постепеним* променама количине одбијене светлости
- стога нам структура (просторно варирање) одбијене светлости која доспева у наше око пружа информације о рељефности објеката
 - другим речима, просторно варирање луминансе (мада не само то) нам говори којег *облика* је нешто

ПРОСТИРАЊЕ СВЕТЛОСТИ

- одбијена светлост наставља да се простире кроз провидну средину док опет не падне на следећу непровидну површину, и опет се делом упије и делом одбије у свим правцима, итд
- кроз сваку тачку провидне средине пролазе светлосни зраци из свих правца, и носе *информацију* о структури непровидне средине од које се светло одбило
- ови зраци могу да створе *слику* околине, али само под одређеним условима, јер само простирање светлости још не чини слику

ПРИНЦИП СТВАРАЊА СЛИКЕ

- оптичке принципе стварања слике илуструје **camera obscura** (латински: 'мрачна комора' или 'тамна одаја')
 - овај веома једноставни уређај је просто празна кутија, затворена са свих страна, са веома малим отвором кроз који улази танак сноп светлости из спољашње средине
- светлост се из извора шири на све стране, пада на неку тачку објекта изван коморе, и одбија се на све стране
 - само један одбијени зрак (одн. узак сноп зракова) успева да прође кроз уски отвор коморе и пада на унутрашњу страну њеног задњег зида
 - то се дешава за *сваку тачку* обасјаног објекта изван коморе
 - састав таласних дужина зрака који улазе у комору зависи од *боје* тачке од које се светлост одбила изван коморе
- на описани начин се на зиду коморе ствара *слика* објекта
 - дакле, сликом светлост преноси информацију о спољашњем објекту
- слика објеката на зиду мрачне коморе је двоструко обрнута, и то горе-доле и лево-десно
- мрачна комора је разрађена у 16. веку
 - служила физичарима за проучавање оптичких закона
 - служила је сликарима као помоћ за проучавање правила перспективе, сенчења, и композиције слике
 - предходница је фотокамере, али без могућности да трајно задржи слику
- постоји један практични проблем за коришћење слике која се ствара у мрачној комори
 - наиме, ради оштрине слике отвор мора да буде мали
 - последица: мало светлости доспева у комору, па је овако створена слика веома *бледа*
 - проширење отвора на кутији чини слику светлијом али и мутнијом
 - наиме, од сваке тачке објекта пада шири сноп зрака на зид, и слике суседних тачака се преклапају
- овај проблем се решава постављањем *сочива* на проширени отвор
 - у том случају слика је светлија али је и оштра, јер сочиво фокусира дивергентне зраке
 - да би размотрили принцип рада сочива, потребно је да проучимо како се светлост понаша када обасјава *провидне* средине

СВЕТЛОСТ И ПРОВИДНЕ СРЕДИНЕ

- ако светлост падне на провидну средину (на пр. на површину воде), онда се поред одбијања и упијања врши и **трансмисија** (пролажење) светлости кроз ту средину
 - притом светлост може прећи из оптички ређе у оптички гушћу средину (на пр. из ваздуха у воду или из ваздуха у око), или обрнуто
- приликом трансмисије се врши **рефракција** (**преламање**) светлости на граници између две површине
 - наиме, када падне под неким углом на провидну површину, светлост *мења* правац

- та промена је *ка* нормали на површину, ако светлост прелази из ређе у гушћу средину, а *од* нормале у супротном случају
 - ако светлост пада под *правим* углом, тј. у правцу нормале, она наставља да се простире истим правцем кроз другу средину
 - величина угла преламања зависи од разлике густина две средине, као и од таласне дужине светлости (о чему ће бити више речи у делу о опажању боја)
- зависно од облика границе између две провидне средине, светлост се може преламати на више начина
 - на пр., ако је површина равна, светлост само мења правац, али ако је конкавна или конвексна, може доћи до конвергенције или дивергенције зрака
- ако светлост уђе у неку провидну средину и опет изађе из ње, врше се *два* преламања, а даљи правац простирања светлости зависиће од облика улазне и излазне површине провидне средине одн. објекта
 - на пр., ако светлост пролази кроз провидни објект који има две *паралелне* стране (на пр. кроз стаклену плочу), после проласка кроз ту средину *паралелно* се помера правац простирања
 - ако светлост пролази кроз објект чије стране нису паралелне али су *равне* (на пр. кроз провидну призму), *мења* се правац простирања после проласка, и то за константни угао
 - ако су стране провидног објекта *криве* (на пр. код сочива), угао преламања се мења зависно од закривљености површине објекта и угла под којим пада зрак, па промена правца може бити сложенија

СОЧИВО

- сочиво може да *фокусира* светлост
 - наиме, зраци који се простиру из неке тачке (*извора*) испред сочива шире се (дивергирају) из ње, а после проласка кроз сочиво скупљају се (конвергирају) опет у једну тачку која чини *лик* (слику) извора
 - положај лика зависи од положаја извора
 - слика је *видљива* ако се пројектује на неки *заклон*
- принципи функционисања сочива су биолошки важни, јер сочива постоје у очима животиња и људи
- удаљеност лика (места фокусирања зрака) од сочива зависи од:
 - удаљености извора од сочива
 - што је даљи извор (испред сочива), ближи је лик (иза сочива)
 - за веома удаљене изворе, зраци који падају на сочиво су практично паралелни
 - закривљености сочива
 - што је сочиво закривљеније (испупченије), преламање је јаче, и лик је ближи

3: ОКО

ОКО

- око, посматрано споља, је отвор на кожи лица овалног облика
 - у средини отвора је тамни круг (**зеница** одн. **pupila**), око кога је обојен прстен (**дужица** одн. **iris**), док је остатак бео (**беоњача** одн. **sclera**)
- око, као орган (**очна јабучица** одн. **bulbus oculi**) сферног је облика, пречника око 25 мм, и обмотано је беоњачом као заштитним слојем
 - око је смештено у коштаном дупљу у лобањи
 - само од прилике једна шестина ока видљива је споља
- **очни мишићи** покрећу око

ОКО У ПРЕСЕКУ

- у пресеку ока се може уочити да се на очну јабучицу надовезују очни мишићи и очни нерв
 - очни мишићи ротирају око у разним правцима
 - очни нерв одводи визуелне сигнале из ока ка мозгу

ДЕЛОВИ ОКА: РОЖЊАЧА И ОЧНА ВОДИЦА

- **рожњача** одн. **cornea** је предњи део беоњаче, који прекрива дужицу и зеницу
 - рожњача је провидна и испупчена
 - светлост која из спољашње средине доспева до ока *прелама се* на рожњачи, која фокусира зраке, слично сочиву
- простор иза рожњаче је испуњен течношћу која се назива **очна водица**, чија је оптичка густина већа од ваздуха,
 - разлика у оптичкој густини омогућава преламање светлости
 - ако у спољној средини није ваздух него вода (на пр. када ронимо), преламање на рожњачи је врло слабо јер је спољна средина (вода) сличне густине као унутрашња (очна водица), и виђење је мутно
 - маска за роњење ствара слој ваздуха испред рожњаче, што омогућава нормално преламање и стварање оштре слике
 - очна водица се стално ствара и поново апсорбује
 - тај процес може бити поремећен јављањем *глаукома*
 - то је појава *смањења* апсорпције очне водике, чиме расте притисак у оку, што може довести и до слепила

ДЕЛОВИ ОКА: ЗЕНИЦА

- после проласка кроз очну водицу, светлост пролази кроз **зеницу**, која је кружни отвор на дужици
 - зеница рефлексно мења величину под дејством светлости
 - при јакој светлости она се *смањује*, до на пречник од 2 мм
 - при слабој светлости она се *повећава*, до на полупречник од 9 мм
 - величина зенице регулише и контролише количину пропуштене светлости у око сужавајући њен опсег, тако што при појачаној светлости смањује количину која улази у око, а при смањеној је повећава

- на проширење зенице такође могу да утичу емоције

ДЕЛОВИ ОКА: ДУЖИЦА

- промена величине зенице се врши стезањем и истезањем мишића **дужице**
 - дужица је обојена, тј. садржи пигменте, да не би пропуштала светлост
 - пигменти одређују боју очију, која може бити браон, зелена, плава, итд
 - недостатак пигмената је *албинизам*, који отежава виђење, јер светлост не пролази само кроз зеницу већ и кроз дужицу
 - дужица се састоји од прстенастог и радијалног мишића
 - стезање прстенастог мишића доводи до сужавања зенице
 - стезање радијалног мишића доводи до ширења зенице

ДЕЛОВИ ОКА: СОЧИВО

- иза зенице налази се **сочиво**
 - улога сочива је да додатно прелама светлост, поред рожњаче
 - сочиво је провидно (али жућкасто) и еластично
- старењем сочиво постаје:
 - мање провидно
 - тј. постаје све жуће, чиме се апсорбује део светлости
 - мање еластично
 - смањење еластичности изазива *презбиопију* (старачку далековидост)
 - знатно смањена провидност сочива назива се *катаракт*
 - каратакт се може лечити уклањањем природног сочива и заменом вештачким, од пластике
 - вештачко сочиво не може да мења облик, али је потпуно провидно и омогућује регистровање дела утраљубичастих зрака, које нормално, жућкасто сочиво апсорбује

АКОМОДАЦИЈА СОЧИВА

- сочиво има способност **акомодације**
 - наине, сочиво може да *мења облик*, а тиме и јачину преламања зрака
 - на тај начин омогућено је фокусирање ликова и тиме оштро виђење предмета различите удаљености од посматрача
- процес акомодације сочива контролишу *цилијарни мишић* и *жиле (лигаменти)*, које су повезане са сочивом и одређују његов облик
- да би слике предмета на различитим удаљеностима биле оштре, сочиво прилагођава свој облик њиховој даљини
 - при посматрању *ближих* предмета, цилијарни мишић се стеже, што има за последицу да су лигаменти мање затегнути, тако да је сочиво испупченије и јаче прелама зраке
 - при посматрању *даљих* предмета, цилијарни мишић се опушта, што изазива већи затегнутост лигамената, тако да је сочиво издуженије и слабије прелама зраке
 - у оба случаја лик предмета је фокусиран на задњем зиду очне јабучице

- поредивши рожњачу и сочиво, можемо уочити да сочиво има мању моћ преламања светлости, али да је код сочива јачина преламања прилагодљива, тако да се може фино подешавати ради оштрог вишења, док је код рожњаче константна

КРАТКОВИДОСТ И ДАЛЕКОВИДОСТ

- *еметропија* је нормално виђење, које карактерише фокусирање зрака на мрежњачи и оштра слика
- *миопија* (кратковидост) настаје ако је очна јабучица превише велика (дуга), па зраци из једне тачке пролазе кроз фокус испред мрежњаче и расипају се пре него што стигну до ње, тако да слика није оштра
 - *кратковиде* особе су тако назване јер због дуже очне јабучице оштрије виде *ближе* предмете, чији је фокус у оку *даље* од сочива
- *хиперопија* (далековидост) је такође карактеризована неоштром сликом, али је код ње узрок да је очна јабучица превише мала (кратка), па зраци из једне тачке не достижу фокус
 - *далековиде* особе су тако назване јер због краће очне јабучице оштрије виде *даље* предмете, чији је фокус у оку *ближе* сочиву
- кратковидост и далековидост се отклањају коришћењем додатних сочива, тј. наочарима

ОСТАЛИ ДЕЛОВИ ОКА

- по проласку кроз сочиво светлост улази у простор испуњен провидном желатинозном (пихтијастом) масом, а то је **стакласто тело**
 - постојање стакластог тела омогућава да око поприми округлао облик
 - стакласто тело повремено садржи мале нечистоће које плутају кроз њега, а могу се видети ако се гледа у једнолико обојену светлу површину, на пр. небо
- најзад, светлост доспева до слоја *нервних ћелија*, тј. до **мрежњаче**, којом ћемо се касније бавити много детаљније
 - мрежњача је *сензитивни* део ока, тј. она садржи нервне ћелије које су осетљиве на светлост
- иза мрежњаче, код људи и мајмуна се налази **пигментни слој** који садржи тамне пигменте (обојене материје)
 - тамни пигменти *ансорбују* светлост која стигне до њих, и тако спречавају да се светлост даље расипа по унутрашњости ока
 - међутим, код неких животиња које су активне ноћу (као што су мачке), ту се налази слој који *рефлектује* светлост
 - на тај начин се светлост поново искоришћава у оку (и делимично одбија ван ока, па се чини да мачије очи светле у мраку)
 - ова особина ока ноћну животињу чини осетљивијом на светлост, али такође чини њено виђење мање оштрим
- иза пигментног слоја налази се **судовњача (choroidea)**, која садржи крвне судове који допремају крв до ћелија ока
- најзад, иза судовњаче налази се **беоњача**, која обмотава целу очну јабучицу
- на задњем делу ока налази се **оптички диск**, који је место изласка одн. уласка нервних влакана и крвних судова у око
 - на месту оптичког диска нема ћелија осетљивих на светлост, тако да се слика која пада на тај део ока не види

ОКО И ФОТОАПАРАТ

- и око и фотографски апарат (фотокамера) су мрачне коморе са сочивом и закломом, који користе законе оптике у сврху формирања слике
- заклом код класичне фотографске камере чини *филм*, а код дигиталне камере слој *сензора*, који садрже елементе осетљиве на светлост, што омогућује да слика остане *фиксирана* (трајно очувана)
 - у складу са тим, и сама реч 'фотографија' значи 'цртање одн. писање (графија) путем светлости (фото)'
 - оштрина фотографске слике се регулише померањем заклона или сочива
- код ока, заклом чини *мрежњача*, која садржи ћелије осетљиве на светлост
 - оштрина слике се регулише променом закривљености сочива
- ово су само неке од разлика ока и камере, а главна је да се слика из ока даље обрађује у мозгу

ОЧНИ МИШИЋИ

- око је парни орган, а свако око покрећу по три пара мишића, који су активни током целог дана а повремено и током спавања, у сну
- очни мишићи ротирају око у три правца:
 - хоризонтално (лево-десно), вертикално (горе-доле), а делимично чак и торзионо (око центра у круг)
 - торзионо кретање се појављује на пр. ако се глава накрене налево или надесно (на такав начин да се ухом додирне раме), па се очи аутоматски закрену за неколико степени у супротном смеру од закретања главе
- према начину извођења постоје две главне врсте већих покрета очију:
 - *скоковити* покрети, названи **сакале**, при којим се правац погледа нагло помера са једног места на друго
 - *глатки* покрети, при којима се правац погледа мења постепено, а одвијају се на пр. ако посматрач прати кретање неког објекта
- постоје и врло мали, микро-покрети ока, којих нисмо свесни

ЕВОЛУЦИЈА ОЧИЈУ

- животиње су током еволуције развиле осетљивост за светлост, у различитим облицима
 - овде ћемо размотрити само неколико врста једноставних очију, као и како промене у структури могу да доведу до промена у функцији ока
- веома просто око састоји се од група ћелија које садрже пигменте, материје осетљиве на светлост
 - овакво око омогућава организму да детектује присуство, састав, и јачину светлости у његовој околини, на пр. да ли је дан, ноћ, или сумрак
 - такође се оваквим оком може детектовати нагла промена светлости, што организму указује на могуће присуство потенцијално опасних других животиња
- мало сложеније око је грађено тако да су ћелије осетљиве на светлост распоређене унутар *усека* на телу
 - овакав распоред омогућава детекцију *правца* одакле светлост долази, тј. финију информацију него саму детекцију светлости
- у још мало сложенијем оку усек се проширује у дупљу са отвором

- такво око може да функционише по принципу мрачне коморе, тј. омогућава стварање *слике* околине
- та слика је доста груба, али представља велику предност у поређењу са детектовањем правца светлости
- наиме, *слика* даје информацију не толико о самој *светлости*, већ о структури светлошћу обасјане *околине* у којој се организам налази
- даљим усложњавањем се појављује заштитни провидни слој, тј. рожњача, а у оквиру очне дупље се згушњава ћелијски материјал у грубом облику сочива
 - последице су боље фокусирање слике и оштрије виђење
- додатне промене у структури ока доводе до још боље визуелне регистрације околине
- овакви примери илуструју могући еволуциони процес развоја ока
 - у том процесу, очи на сваком степену развоја, макар биле и веома просте, играју важну биолошку улогу у преживљавању организама
 - бројне мале, поступне структуралне промене током времена доводе до веома корисних побољшања у борби за опстанак
 - на тај начин се, током милиона година, могу формирати доста сложене органске целине, не напречац као комплексне творевине створене ни из чега, већ током постепеног еволутивног развоја

ПРОЈЕКЦИЈА СВЕТА НА МРЕЖЊАЧУ

- свеукупност онога што неки посматрач *види* у датом тренутку назива се његово **визуелно поље**
 - ако посматрач гледа са оба ока, ради се о **бинокуларном** визуелном пољу
 - ако је само једно око отворено, говори се о левом или десном **монокуларном** визуелном пољу
 - величина и однос ових поља лако се може уочити отварањем само једног или другог ока
- код различитих организама очи су постављене на глави на различита места
 - код неких организама (на пр. код мачака или људи), очи су постављене напред тј. *фронтално*
 - стога се два монокуларна визуелна поља већином *преклапају*, али се левим оком ипак не види крајњи десни део визуелног поља десног ока, и обрнуто
 - код других организама (на пр. код зечева и коња), очи су постављене са стране тј. *латерално*
 - стога се монокуларна визуелна поља њихових очију много мање преклапају, а њихово заједничко, бинокуларно поље је много уже него код човека
 - већином су код многих животиња *грабљивица* очи постављене фронтално, док су код *биљоједа* очи постављене латерално
 - код грабљивица очи користе за прецизно бинокуларно опажање дубине, корисно при лову
 - код биљоједа, који представљају плен грабљивица, важније је широкоугаоно, *панорамско* виђење, да би боље приметили могуће нападаче
- нека посматрач гледа право напред у једну тачку у визуелном пољу
 - та тачка (означимо је са А) је *центар фиксације*, и одређује *правац погледа*

- центар фиксације се пројектује у *фовеу* на мрежњачи, која представља подручје најоштријег виђења
 - када променимо правац погледа тако да гледамо у неку другу тачку, око ротира, тако да се центар фиксације увек пројектује у фовеу
- свака друга тачка (означимо је са Б) се пројектује на неко друго место на мрежњачи
- угао α који заклапају неке две тачке назива се *визуелни угао*
- замишљена вертикална линија кроз центар фиксације дели визуелно поље на леву и десну половину, а хоризонтална линија дели га на горњу и доњу половину
 - другим речима, визуелно поље се може поделити на четири *квадранта*, горњи десни (I), горњи леви (II), доњи леви (III) и доњи десни (IV)
- такође, *мрежњаче* у оба ока можемо, у односу на фовеу, замишљеним линијама поделити на десну и леву половину и горњу и доњу половину, на одговарајућа четири квадранта
- обртање слике приликом пројекције има следеће последице:
 - *лева* половина визуелног поља пројектује се на *десне* половине обе мрежњаче, а *десна* на *леве* половине, док се горња половина визуелног поља пројектује на доње половине мрежњача, а доња на горње половине
 - другим речима, квадрант I визуелног поља се пројектује на квадранте III у обе мрежњаче, II на IV, III на I, а IV на II
- чињеница да се свет пројектује на мрежњаче повлачи за собом разне проблеме
 - на пр., можемо се питати зашто видимо свет *једноструко*, иако имамо две мрежњаче
 - одговор је у томе да се информација са два ока у мозгу комбинује, у тзв. *бинокуларним неуронима*
 - такође се можемо питати како опажамо дубину, када се тродимензионални свет пројектује на дводимензионалну мрежњачу
 - овај проблем размотрићемо у одељку о опажању простора
 - најзад, можемо се питати како свет опажамо усправним, када је слика на мрежњачи обрнута?
- обртање слике на мрежњачи се доста дискутовало у прошлим вековима
 - Леонардо да Винчи је сматрао да се слика у оку *два* пута обрће, тако да би ипак усправно падала на мрежњачу
 - у Декартовој теорији коректно је приказано обртање слике на мрежњачи, али је претпостављено да се она у *мозгу* ипак на неки начин обрће, да би је душа, преко жлезде епифизе, посматрала усправну
 - и данас се може понекад срести став да деца прво виде свет обрнуто, а да онда током развоја некако науче да још једном обрну слику, тако да свет виде усправно
 - међутим, већина савремених истраживача сматра да се тако нешто не дешава, тј. да проблем 'исправљања слике' у ствари не постоји, и да је дилема погрешно постављена
 - наиме, проблем потиче од погрешне идеје да у процесу виђења постоји неко ко у мозгу *посматра* слику на мрежњачи
 - тако нешто се не збива, већ је активација мрежњаче само једна од многих фаза у процесу који доводи до виђења
 - такође, не постоји начин да у процесу виђења посматрач, осим информација са мрежњаче, добије на неки други начин и директну, 'необрнуту' визуелну информацију о спољашњем свету, да их

- пореди и да тако утврди да се оне не слажу тј. да је, упоређена са реалном оријентацијом, слика на мрежњачи обрнута
- особине слике на мрежњачи не морају да се директно огледају у нашем опажању
 - уочимо, на пр, да је слика на мрежњачи не само обрнута него и удубљена (јер је мрежњача конкавна површина на коју пада светлост), па из тога ипак не следи да ми свет морамо опажати као удубљен
 - опажање спољашњег света је засновано на одређеним процесима у мозгу, чији просторни положај не мора у сваком погледу бити релевантан за нашу свест
 - на пр, подручје у кори великог мозга у које стиже информација са мрежњаче је на компликован начин извијена површина, сасвим другачијег облика и оријентације него мрежњача, али та анатомска чињеница не утиче на нашу свест о спољашњем свету
 - вршени су експерименти у којима је, помоћу наочара са посебним призмама, слика бивала обрнута још пре ока, и тако, после још једног обртања у оку (услед сочива), збиља падала усправно на мрежњачу
 - субјекти у тим експериментима су свет видели обрнутим, и у почетку су се тешко сналазили, али су се после извесног времена веома добро прилагођавали, али не обртањем слике већ усклађивањем својих *покрета* са новом, обрнутом сликом

4: МРЕЖЊАЧА

МРЕЖЊАЧА

- **мрежњача (retina)** је слој неурона на унутрашњем задњем зиду очне јабучице
 - мрежњача се протеже на више од половине површине задњег зида
 - дебљина мрежњаче је око једне петине милиметра (као дебљи лист папира)
 - име (и српско и латинско) потиче од тога што мрежњача донекле личи на густо испреплетану *мрежу*
 - структура мрежњаче је у принципу слична структури коре великог мозга (кортекса), тако да се она понекад описује као 'истурени део' кортекса
- два карактеристична подручја мрежњаче су **жута мрља** и **слеп мрља**, које се могу уочити на живом оку, посматраном кроз посебни уређај (офталмоскоп)
 - *слеп мрља* је подручје где очни живац и крвни судови излазе из ока (одн. где улазе у око)
 - име потиче од тога што око није осетљиво за светлост у овом подручју
 - *жута мрља* је пречника 2-3 мм, и у средишњем делу је удубљена
 - удубљени део се зове **централна јамица** одн. **fovea centralis** (а најчешће само **фовеа**) и у њему нема крвних судова
 - фовеа представља зону најоштријег виђења – на њу пада слика предмета у кога усмеравамо поглед
 - део мрежњаче у коме је жута мрља често се назива *централни део*, а остатак мрежњаче *периферни део*
- када се хистолошки обради (тј препарира одређеним хемикалијама и обоји), показује се да се мрежњача састоји од већег броја *слојева*, који се могу даље анализирати
- у различитим слојевима мрежњаче налази се пет врста *нервних ћелија*
 - прво ћемо размотрити фоторецепторне ћелије, одн. фоторецепторе

ФОТОРЕЦЕПТОРИ

- фоторецептори су ћелије у мрежњачи које су *директно* осетљиве на светлост
 - остале ћелије у мрежњачи углавном не реагују директно на светлост, већ на њих она делује посредно, као последица активирања фоторецептора
- фоторецептори (= 'примаоци светлости') не само да *примају* светлост, већ, што је важније, врше и *трансдукцију*, тј. претварају апсорбовану светлосну енергију у нервну акцију
 - са фоторецепторима се завршава *оптичка фаза* процеса виђења (у коју спада ширење светлости од извора, осветљавање површина и одбијање од њих, и стицање до ока и пролажење кроз њега) и почиње *неурална фаза*
- фоторецептори садрже **фотопигменте**
 - то су обојене материје чији молекули апсорбују светлост и притом бивају *хемијски* промењени
 - та промена се у основи састоји из *разлагања* молекула фотопигмената на два дела
 - у мраку се молекули *регенеришу*, тако што се два дела опет спајају, па поново могу да реагују на светлост

- разлагање фотопигмената изазива промену *електричног стања* фоторецепторних ћелија
- промена електричног стања фоторецептора, преко синаптичких веза међу неуронима, изазива промену електричног стања других ћелија у мрежњачи

ЕЛЕКТРИЧНО СТАЊЕ ФОТОРЕЦЕПТОРА

- фоторецептори, као и друге нервне ћелије, садрже велики број позитивно и негативно наелектрисаних атома и молекула, одн. **јона**
 - јони могу да под одређеним условима пролазе кроз ћелијску мембрану, тј. да улазе и излазе из ћелије у међућелијски простор
- *електрично стање* нервне ћелије може бити позитивно или негативно, а зависи од тога колико она садржи позитивних и негативних јона, у поређењу са међућелијским простором
- електрично стање *фоторецептора* зависи од тога да ли је он у мраку или је изложен светлости
- у мирујућем стању, тј. када нису изложени светлости, фоторецептори су **електронегативни**
 - наиме, они тада садрже вишак *негативних* јона у односу на спољну средину, одн. имају **електрични потенцијал** од око -60 до -70 милivolти
- када су активирани светлошћу, као последица хемијских процеса фоторецептори мењају своје електрично стање тако што бивају **хиперполаризовани**, тј. постају још више негативни
 - разлог је улазак додатних негативних јона кроз мембрану у ћелију
- по престанку дејства светлости фоторецептори бивају **деполаризовани**, тј. враћају се на ранији ниво електричног стања, што значи да постају мање негативни
 - напоменимо да је описана реакција на активацију светлошћу (хиперполаризација) нетипична за нервне ћелије, јер је за већину других ћелија активација праћена деполаризацијом, тј. релативним повећањем броја позитивних јона

ДВЕ ВРСТЕ ФОТОРЕЦЕПТОРА

- постоје две врсте фоторецептора, названи **штапићи** и **чепићи**
 - чепићи се даље деле на три групе, о чему ће бити речи у поглављу о опажању боја
- штапићи и чепићи се разликују по већем броју особина
 - то су облик, бројност, фотопигменти које садрже, расподела по мрежњачи, осетљивост за интензитет и таласну дужину светлости, адаптација на мрак
- разлике по *облику*: имена фоторецептора потичу од тога што штапићи подсећају на цилиндри (као мали штапови), док чепићи подсећају на издужене купе (као мали чепови)
- разлике по *бројности*: штапића има мање од 130 милиона, а чепића (рачунајући све три групе) мање од 6 милиона (у сваком оку)
 - бројчани однос је дакле око 20:1 у корист штапића
 - као поређење, данашњи компјутерски екрани имају само око милион до неколико милиона пиксела (светлих обојених тачака), и то на знатно већој површини него око
- разлике по *фотопигментима*: чепићи и штапићи садрже различите материје осетљиве на светлост, које су смештене у дисковима

- фотопигмент у штапићима је **родопсин**, откривен још у 19. веку
- фотопигменти у три врсте чепића су откривени много касније, а међусобно се разликују по осетљивости на таласне дужине светлости
- разлике по *расподели на мрежњачи*:
 - чепићи су најбројнији у фовеи, и њихова густина брзо опада према периферији
 - штапића уопште нема у фовеи, а са удаљавањем од ње њихов број брзо расте, до максимума на удаљености од 20 степени, а онда споро опада даље ка периферији
 - под степеном удаљености од фовее подразумева се угао који захвата зрак који пада на неки део мрежњаче
 - ако зрак пада у фовеу његов угао је нулти, а правци осталих места на мрежњачи се одређују углом који одговарајући зраци захватају са зраком који пада на фовеу
- разлике по осетљивост за *интензитет* светлости (амплитуду светлосних таласа): штапићи су осетљивији за слабе интензитета светлости од чепића
 - штапићи се користе се за ноћно одн. **скотопско виђење**, тј. при релативно слабијем осветљењу, као што је ноћ обасјана месечином, или сумрак и зора
 - показано је да под најповољнијим условима штапићи могу да региструју присуство једног јединог фотона, што је максимална могућа осетљивост
 - чепићи се користе за дневно одн. **фотопско виђење**, тј. при нормалном и јаком осветљењу, а нису активни при слабом осветљењу
- разлике по *осетљивости за таласне дужине*: услед разлике у фотопигментима, штапићи и чепићи се разликују по осетљивости за различите таласне дужине светлости
 - *штапићи* су максимално осетљиви (тј. имају доњи праг за регистровање светлости) за светлост таласне дужине од око 500 нм
 - њихова осетљивост постаје све *мања*, одн. њихов доњи праг постаје све *виши*, када се таласна дужина мења од 500 нм навише и наниже
 - комбинована осетљивост за све три врсте *чепића* заједно, максимална је за таласну дужину од око 550 нм
 - крива која показује праг за чепиће је услед тога померена за 50 нм *удесно*; та крива је такође *изнад* криве за штапиће, јер су чепићи *мање* осетљиви (имају виши праг) од штапића за све таласне дужине (осим за најдуже)
 - штапићи омогућавају опажање *ахроматских* боја (беле, црне, и нијанси сиве)
 - у скотопском виђењу виде се само такве боје
 - чепићи омогућавају виђење *хроматских* боја (црвена, зелена, плава, итд), које се виде само при довољном осветљењу, тј. при фотопском виђењу
- разлике по *адаптацији на мрак*: штапићи се на мрак адаптирају (прилагођавају) дуже, али темељније од чепића
 - у свакодневном животу адаптацију на мрак доживљавамо када из светлости уђемо у неку затамњену просторију (на пр. биоскоп)
 - у таквим приликама у почетку ништа не разазнајемо, али се после извесног времена наш визуелни систем прилагођава нижем

осветљењу, тако да постепено све боље видимо (до извесне границе)

- временски ток адаптације на мрак се испитује експериментима са вишеструким мерењем доњег прага за детекцију светлости код субјеката који прво бивају изложени јакој светлости, а затим бораве у мраку дуже време
- са проласком времена праг се *снижава*, тј. осетљивост субјекта *расте*, одн. они могу касније да опазе дражи које претходно нису могли да опазе
- *крива адаптације* (промена прага током времена) има два карактеристична дела:
 - први део криве одражава адаптацију чепића, која траје око 10 минута, када они достижу максималну осетљивост, и њихов праг се више не смањује
 - други део криве одражава адаптацију штапића, који настављају да се адаптирају, тј. њихов праг се снижава и после 10 минута, до око 40 минута

ГРАЂА МРЕЖЊАЧЕ

- поред фоторецептора, у мрежњачи постоје још четири врсте неурона, који су расподељени у различитим слојевима
 - подсетимо се да је очна јабучица обмотана беоњачом, испод које је судовњача, а испод ње је мрежњача
- у фовеи су остали неурони размакнути у страну (тако да чине удубљење), па светлост може да стигне директно до фоторецептора
- у осталим подручјима мрежњаче, светлост прво пролази кроз слојеве осталих неурона (који су доста провидни, али ипак апсорбују део светлости), а тек онда стиже до рецептора
 - код неких животиња, на пр. код октопода, распоред слојева ћелија мрежњаче је обрнут него код сисара, и светло прво пролази кроз фоторецепторе, што се чини логичнијим решењем
- са инжењерске тачке гледишта, мрежњача се може посматрати као уређај за пријем (улаз), обраду, и слање (излаз) сигнала
 - улазни сигнал за мрежњачу је расподела светлости која пада на њу, и тај сигнал бива регистрован од стране *фоторецептора*
 - даљу обраду сигнала врше *хоризонталне, биполарне, и амакрине* ћелије
 - *ганглијске* ћелије врше крајњу обраду и шаљу сигнал даље ка мозгу
- описаћемо неколико типова *веза* између неурона мрежњаче
- **усходне везе** остварују *рецепторне, биполарне и ганглијске* ћелије
 - овим ланцем информација од рецептора *усходи*, одн. 'пење' се ка мозгу
 - наине ланац започињу рецепторне ћелије које реагују на светлост, а које су у синаптичком контакту са биполарним ћелијама, а ове са ганглијским ћелијама
- **попречне везе** остварују *хоризонталне и амакрине* ћелије
 - попречне везе омогућавају контакте између суседних подручја мрежњаче
 - *хоризонталне* ћелије су у синаптичком контакту са фоторецепторним ћелијама, са једним полом (крајем) биполарних ћелија, као и са другим хоризонталним ћелијама

- *амакрине* ћелије су у синаптичком контакту са другим полом биполарних ћелија, са ганглијским ћелијама, и са другим амакриним ћелијама
- међу ћелијама мрежњаче постоје различите врсте *разгранатости веза*
- **слабо конвергентне везе** остварују ћелије у *фовеи*
 - најмање до једне ганглијске ћелије стижу сигнали из само *неколико* фоторецептора (чепића) и биполарних ћелија
 - често се ради о вези чак само *једног* фоторецептора и биполарне ћелије са ганглијском ћелијом, што се назива *један-један* веза
- **јако конвергентне везе** остварују ћелије на *периферији* мрежњаче
 - до једне ганглијске ћелије стижу сигнали већег броја (десетина и стотина) фоторецептора и биполарних ћелија
- степен конвергенције веза расте од центра ка периферији мрежњаче
- постоје и **дивергентне везе**, у којима један фоторецептор активира више (у фовеи само две) биполарних ћелија
- описане разлике у разгранатости веза доводе до специфичних разлика у особинама централне и периферне мрежњаче
- *оштрина вида*, одн. способност мрежњаче за дискриминације (разлучивање) малих просторних промена, најбоља је у центру (где су везе слабо конвергентне или 1-1), а опада од фовее ка периферији (где су јако конвергентне везе)
 - разлог је губљење информације о малим просторним променама сигнала услед конвергенције различитих сигнала на исту ћелију
- *осетљивост* вида, тј. сензитивност за слабе дражи већа је на *периферији* мрежњаче него у центру
 - разлог је да се на периферији услед конвергенције у једној ганглијској ћелији сабира стимулација из више рецептора, док у фовеи активација само једног рецептора може бити преслаба да активира њему одговарајућу ганглијску ћелију
- уочимо како *структурне* анатомске разлике између центра и периферије у разгранатости веза имају *функционалне* последице за сензитивност и дискриминативност визуелног опажања
 - ова анализа важи превасходно за фотопско виђење (чепићи), док се приликом скотопског виђења ситуација мења јер су чепићи мање активни или неактивни, а штапићи имају другачију расподелу по мрежњачи

ГАНГЛИЈСКЕ ЋЕЛИЈЕ

- ганглијске ћелије врше последњи ниво визуелне обраде у мрежњачи
 - људи имају око 900 000 до милион ганглијских ћелија (у сваком оку), тј. бар 100 пута мање него фоторецептора, тако да оне представљају неку врсту уског грла преноса визуелних сигнала
- ганглијске ћелије преко својих *дендрита* (кратких наставка) примају сигнале од биполарних и амакриних ћелија
- за разлику од осталих ћелија у мрежњачи, а слично већини ћелија у нервном систему, електричну активност ганглијских ћелија карактеришу **нервни импулси** (акциони потенцијали)

- то су процеси нагле и снажне деполаризације и брзе поновне хиперполаризације, који се великом брзином простиру од *some* (тела ћелије) дуж *аксона* (дугог наставка)
- нервни импулси омогућавају да активност једне ћелије утиче на активност знатно удаљенијих ћелија у нервном систему
 - на тај начин ганглијске ћелије могу да активирају ћелије у *таламусу* у мозгу
- остале ћелије у мрежњачи у великој већини немају дуге аксоне нити показују акционе потенцијале, тако да могу да утичу само на непосредно суседне ћелије
- активност ганглијских ћелија може се *снимити* у експериментима у којима животиње (често мајмуни или мачке) посматрају екран на коме се приказују стимулуси
 - најпростији облик стимулуса су мале светле тачке које се пројектују на различита места мрежњаче (а користе се и другачији, сложенији стимулуси)
 - снимање се врши помоћу *микроелектрода* које се постављају у поједине ганглијске ћелије или близу њих, а сигнал се одводи у појачивач и бележи разним уређајима, а касније се обрађује компјутерски и анализира
 - снимање активности ганглијских ћелија је технички једноставније него код осталих ћелија мрежњаче, и зато су њихове особине боље упознате
- мера активности ћелије је њена **фреквенца паљења** одн. просечан број нервних импулса у секунди
 - фреквенца паљења је у распону од нула до неколико стотина нервних импулса у секунди
- и у потпуном мраку, без спољашње стимулације, ганглијске ћелије имају одређену *спонтану активност*, тј. показују извесну, релативно ниску фреквенцу паљења
- *изазвана активност* односи се на фреквенцу паљења која је последица неке светлосне стимулације
- фреквенца паљења ћелије се обично снима пре, за време, и после приказивања светлосне стимулације
- стимулација светлосну одређеног места на мрежњачи може довести до једног од *три* следећа ефекта на одређену ганглијску ћелију, чија се активност снима микроелектродом:
 - (1) *без промене* фреквенце: наставак спонтане активности
 - у том случају активност ћелије током стимулације је мање више једнака као пре или после стимулације
 - (2) *повећање* фреквенце: **он-реакција** одн. *ексцитација* (означена са '+')
 - прецизније, *појавом* стимулације нагло расте фреквенца импулса а затим нешто опада
 - *престанком* стимулације краткотрајно опада фреквенца импулса, а затим се враћа на фреквенцу пре појаве стимулације
 - (3) *снижење* фреквенце: **оф-реакција** одн. *инхибиција* (означена са '-')
 - прецизније, *појавом* стимулације нагло опада фреквенца импулса а затим донекле расте
 - *престанком* стимулације нагло расте фреквенца импулса, и затим се враћа на фреквенцу пре стимулације

- имена ова два типа реакција потичу од тога што је у случају он-реакције ћелија највише активна управо када је стимулус *укључен* (енглески: 'on'), док је у случају оф-реакције ћелија највише активна када је стимулус *искључен* (енглески: 'off')
 - откриће постојања оф-реакције било је извесно изненађење: пре него што је она откривена, претпостављало се, наравно, да светлосна стимулација може да делује *ексцитаторно*, али се није много разматрала могућност да светлост може и да *инхибира* ћелије визуелног система
- на који ће од три наведена начина конкретна ћелија реаговати зависи од *места* стимулације на мрежњачи
 - стимулација већине места на мрежњачи *не мења* реакцију снимане ћелије, већ ћелија бива активирана само ако је стимулисано једно релативно мало, округласто подручје
 - то подручје мрежњаче, чија стимулација доводи до *промене* активности дате ганглијске ћелије (било ексцитаторне било инхибиторне), назива се њено **рецептивно поље**
 - другим речима, једна ганглијска ћелија је 'надлежна за', тј. снима активност рецептора, одн. визуелну стимулацију, само у оквиру свог рецептивног поља
- свака ганглијска ћелија има своје рецептивно поље на мрежњачи, при чему
 - различите ганглијске ћелије имају различита рецептивна поља
 - суседне ганглијске ћелије имају суседна рецептивна поља, која се међусобно делимично *преклапају*
 - другим речима, стимулација истог подручја на мрежњачи може изазвати промену активности више ганглијских ћелија
- рецептивна поља ганглијских ћелија нису исте величине на свим деловима мрежњаче: у фовеи и око ње су мала, а њихова величина расте ка периферији
 - разлог је повећање конвергенције веза ка периферији
- рецептивна поља свих ганглијских ћелија прекривају целу мрежњачу
 - овим смо описали *глобалну структуру* скупа рецептивних поља ганглијских ћелија, а сада ћемо прећи на опис унутрашње структуре рецептивног поља појединачне ћелије
- рецептивна поља већине ганглијских ћелија имају унутрашњу **концентрично-антагонистичку** структуру
 - наине, рецептивна поља се могу поделити на два *концентрична* дела, и то на *центар*, у облику диска, и *околину*, у облику прстена око диска
 - и у центру и у околини рецептивног поља може се појавити и он- и оф-реакција, али оне су *антагонистичке* (=супротстављене), тј. међусобно се искључују, наине:
 - с обзиром на место и тип реакције, већина ганглијских ћелија се деле у две једнако бројне групе:
 - **он-ћелије** показује он-реакцију у центру а оф-реакцију на периферији
 - **оф-ћелије** показују оф-реакцију у центру а он-реакцију на периферији

- описане карактеристике рецептивних поља ганглијских ћелија односе се на дражење белом светлошћу, док ће реакције на различите хроматске боје (црвена, зелена итд) бити описане касније, у одељку о опажању боја
- концентрично-анатагонистичка структура настаје на следећи начин:
 - активација *центра* рецептивног поља ганглијске ћелије потиче од мале групе (или чак *само једног*) фоторецептора, остварене путем усходних веза, преко биполарних ћелија
 - активација *периферије* рецептивног поља потиче од веће, околне групе рецептора, остварена путем попречних веза, преко хоризонталних, а можда и амакриних ћелија
 - код он-ћелија усходне везе су ексцитаторне а попречне инхибиторне, док је код оф-ћелија обрнуто

ПРИМЕРИ РЕАКЦИЈА ГАНГЛИЈСКИХ ЋЕЛИЈА

- прва подгрупа примера односиће се на реакције ганглијске *он-ћелије*
 - *пример А:*
 - *стимулус:* цело рецептивно поље он-ћелије је у мраку
 - *реакција:* слаба, спонтана активност ћелије
 - *пример Б:*
 - *стимулус:* мала светла тачка пројектована у оквиру центра он-ћелије
 - *реакција:* релативно слаба ексцитација ћелије
 - јачина реакције зависиће од јачине стимулације, тј. јача светлост ће изазвати јачу ексцитацију од слабије светлости
 - *пример Ц:*
 - *стимулус:* цео центар рецептивног поља он-ћелије стимулисан је белом светлошћу, док је околина у мраку
 - *реакција:* снажна ексцитација
 - ово је *оптимални* стимулус (изазива *максималну* ексцитацију)
 - *пример Д:*
 - *стимулус:* цело рецептивно поље обасјано је белом светлошћу
 - *реакција:* релативно слаба активност
 - наине, ексцитација изазвана стимулацијом центра биће већином, мада не нужно сасвим, поништена инхибицијом коју изазива стимулација околине
 - ово је био неочекиван налаз, јер би се (пре него што је откривена структура рецептивних поља), у принципу очекивало да ће већи визуелни стимулус увек изазвати јачу реакцију ћелије
 - *пример Е:*
 - *стимулус:* мала светла тачка пројектована у оквиру околине он-ћелије
 - *реакција:* релативно слаба инхибиција ћелије
 - јачина реакције зависиће од јачине стимулације, тј. јача светлост ће изазвати јачу инхибицију од слабије светлости

- *пример Ф:*
 - *стимулус:* цела околина рецептивног поља он-ћелије стимулирана је белом светлошћу, док је центар у мраку
 - *реакција:* максимална инхибиција
- друга подгрупа примера односиће се на реакције ганглијске *оф-ћелије*
 - ове реакције могу се уопштено описати као 'негатив' одн. 'слика у огледалу' реакција он-ћелија
- *пример Г:*
 - *стимулус:* мала светла тачка пројектована у оквиру околине оф-ћелије
 - *реакција:* релативно слаба екситација ћелије
- *пример Х:*
 - *стимулус:* цела околина рецептивног поља оф-ћелије стимулирана је белом светлошћу, док је центар у мраку
 - *реакција:* снажна екситација, ово је оптимални стимулус
- следећа група примера описује реакције он-ћелија на *ивицу:*
 - овај стимулус се састоји од леве, светле половине, и тамне, десне половине, са вертикалном праволинијском границом
 - реакција ћелије зависиће од положаја ивице у односу на рецептивно поље
 - размотрићемо реакцију за пет положаја ивице, при чему се она помера преко рецептивног поља
 - *пример А:*
 - *стимулус:* цело рецептивно поље он-ћелије прекривено је десним, тамним делом
 - *реакција:* слаба, спонтана активност
 - *пример Б:*
 - *стимулус:* светли део ивице покрива део околине рецептивног поља, управо додирујући центар
 - *реакција:* инхибиција ћелије
 - *пример Ц:*
 - *стимулус:* ивица пада по средини, тако да половину рецептивног поља стимулише светли а половину тамни део
 - *реакција:* слична спонтаној, јер ће екситација и инхибиција бити сличне снаге (или ће екситација благо надјачати инхибицију)
 - *пример Д:*
 - *стимулус:* светли део потпуно прекрива центар, али и део периферије
 - *реакција:* ћелија је релативно снажно екситирана
 - наине, екситаторна активност центра, који је потпуно активиран, биће јача од инхибиторног дејства периферије, која није тотално активирана
 - *пример Е:*
 - *стимулус:* светли део ивице прекрива цело рецептивно поље
 - *реакција:* релативно слаба екситација
- *заједнички приказ* реакција више он-ћелија распоређених дуж линије (које имају суседна рецептивна поља која се деломично преклапају) на светло-тамну ивицу има следеће карактеристике:
 - ћелије *даље* од ивице, са обе стране, биће релативно *слабо* активирани
 - ћелије *близу* ивице, са *светле* стране, биће релативно *јако екситирани*

- ћелије *близу* ивице, са *тамне* стране, биће релативно јако *инхибиране*
- описана активност ганглијских ћелија може имати свој одраз у опажању
 - ако пажљиво посматрамо стимулус који састоји од низа суседних површина обојених различитим нијансама сиве боје, уочићемо специфичну структуру на ивицама
 - наике са *светле* стране ивица уочава се уска, још светлија трака, а са *тамне* стране још тамнија уска трака
 - ове траке су *илузорне*, тј. нису последица варирања светлосне стимулације, већ неуралне обраде на нивоу ганглијских ћелија (а можда и касније обраде у визуелном систему)
 - ове појаве се називају *Махове траке*, према физичару и филозофу Ернсту Маху, који их је први описао, у 19. веку, и уочио њихово значење за визуелну физиологију (тј. да оне указују на постојање попречних инхибиторних веза у мрежњачи)
- стимулус у облику ивице између две површине различите светлине је изузетно чест у свакодневном опажању
 - наике, ивице карактеришу *контуре* објеката, и дефинишу њихов облик
 - појава описаних светлих и тамних трака може да служи *акцентуацији* (наглашавању) ивица, и да помаже у опажању контура
- други пример визуелног феномена који се може, бар делимично, објаснити активношћу ганглијских ћелија, је тзв. *Херманова решетка*
 - она се састоји од групе хоризонталних и вертикалних светлих пруга ('улица') које се секу ('раскрснице') на тамној позадини
 - феномен се састоји у томе да се на раскрсницама опажају релативно нејасне тамније мрље, иако су оне *физички* једнако светле целим дужинама
- феномен се може објаснити поређењем стимулације рецептивних поља он-ћелија на местима пресека пруга и на местима ван пресека
 - наике, стимулација *центра*, која изазива ексцитацију ганглијске ћелије, је једнака за раскрснице и улице
 - међутим, стимулација *околне*, која изазиве инхибицију ганглијске ћелије, је већа за раскрснице него за улице
 - у збиру, он-ћелија на *раскрсници* ће бити мање активирана, тј. имаће мању фреквенцу паљења него он-ћелија на *улици*
 - одавде се може предвидети да ће доживљај светлине на раскрсницама бити нешто мањи него на улицама, што се манифестије у опажању тамних мрља
 - међутим, ово вероватно није потпуно објашњење, и на основу различитих варијанти овог феномена може се претпоставити да и даља обрада у мозгу такође игра улогу при опажању ове илузије
- користећи описане принципе можемо, у принципу, анализирати структуру активације ганглијског слоја мрежњаче за било који сложенији стимулус
 - таква испитивања су технички веома сложена са реалним, биолошким мрежњачама, али се такође могу користити вештачке или компјутерски симулиране мрежњаче

ПОДЕЛА ГАНГЛИЈСКИХ ЋЕЛИЈА

- ганглијске ћелије сисара се могу поделити и по другим критеријума, осим по структури рецептивног поља

- према тим критеријумима, ганглијске ћелије код мачака су подељене у три групе, које су назване X-ћелије, Y-ћелије, и W-ћелије (које су најмање испитане)
- код мајмуна (а слично је и код људи) постоји аналогна подела на П-ћелије (одговарају X-ћелијама), М-ћелије (одговарају Y-ћелијама), и К-ћелије (одговарају W-ћелијама)
- све ове ћелије се могу наћи и у центру и на периферији мрежњаче, а могу бити и он-ћелије и оф-ћелије
- ове три групе ћелија се *разликују* на више начина
 - ми ћемо детаљније размотрити особине П одн. X, и М одн. Y ћелија
 - W-ћелије још нису детаљно испитане, али зна се да неке од њих учествују у опажању боја
- разлике по *броју* ћелија
 - међу ганглијским ћелијама, X-ћелија има преко 80%, док Y-ћелија има мање од 10%
- разлике по *величини* ћелија:
 - у поређењу са X-ћелијама, Y-ћелије су *веће*: имају крупније тело, дебље аксоне, и разгранатије поље дендрита
 - ка периферији расту и X и Y ћелије, али су на сваком појединачном месту мрежњаче Y веће од X
- разлике по *брзини* спровођења импулса
 - услед разлика у дебљини аксона, Y-ћелије *брже* спроводе нервне импулсе
- разлике по *величини рецептивних поља*:
 - услед разлике у величини дендритских мрежа, рецептивна поља Y-ћелија су *већа* од рецептивних поља X-ћелија
- разлике по *просторној дискриминативности*:
 - услед разлике у величини рецептивних поља, X-ћелије могу да преносе информације о *финим* детаљима стимулације боље него Y-ћелије, док Y-ћелије могу да детектују *крупније* форме
- разлике у реакцији на *покрет*:
 - Y-ћелије су *осетљивије* за детектовање кретања стимулуса него X-ћелије, јер сакупљају информацију са веће површине мрежњаче
- разлике у реакцији на *дуготрајнији* стимулус:
 - код Y-ћелија реакција на стимулус је *пролазна*, а код X-ћелија је *трајнија*
 - наиме, у случају *он-реакције* оба типа ћелија повећавају фреквенцу паљења, која затим опада, међутим
 - код Y-ћелија фреквенца убрзо опада на *спонтани* ниво паљења иако стимулус наставља да траје
 - код X-ћелија реакција не опада на спонтани ниво већ остаје повишена све време дејства стимулуса
 - у случају *оф-реакције*, оба типа ћелија смањују фреквенцу паљења, која затим расте, али је њихово понашање слично као код он-реакције, наиме
 - реакција Y-ћелија убрзо расте до спонтаног нивоа
 - реакција X-ћелија остаје снижена све време трајања стимулације
- разлике у дискриминацији *боја*: X-ћелије, као група, преносе информације о различитим таласним дужинама и играју улогу у опажању боја, док Y-ћелије преносе само информацију о светлини

5: ВИЗУЕЛНИ ПУТЕВИ

ГРАЂА И ПРЕСЕЦИ МОЗГА

- на почетку ћемо поменути само врло укратко неке основне аспекте опште грађе мозга, а потом ћемо се знатно детаљније бавити визуелним нервним системом
- људски мозак се грубо дели на велики и мали мозак
 - на великом мозгу је са спољне стране је највише уочљива његова наборана кора, названа *кортекс*, док се испод ње у унутрашњости мозга налазе разне *субкортикалне* ('поткорне') структуре
- кортекс се дели на четири *лобуса* одн. *режња*, и то на фронтални (чеони), паријетални (темени), окципитални (потиљачни) и темпорални (слепочни)
- кортекс има бројне *сулкусе* (удубљења одн. усеци) међу којима су посебно уочљиви централни, латерални и лонгитудинални сулкус
- кортекс такође показује бројна испупчења одн. *гирусе*
- да би се приказала унутрашња структура мозга користе се анатомски *пресеци*
- најважији пресеци се врше у три равни, које међусобно стоје под правим углом
 - једна раван пресека је хоризонтална, а друге две су вертикалне, од којих је једна *фронтална* (попечна) а друга *сагитална* (уздужна)
- овакви пресеци дају основни увид у сложену структуру мозга

ГЛАВНИ ВИЗУЕЛНИ ПУТ

- сигнал који светлост генерише у фоторецепторима простира се кроз мрежњачу и активира ганглијске ћелије
- главно наредно место куда стижу сигнали из мрежњаче налази се у субкортикалном можданом центру који се назива *таламус*, а одатле сигнали стижу у део *окципиталног кортекса*
- нервни пут којим сигнали стижу од мрежњаче до таламуса чине *оптички нерв* и *оптички тракт*, а пут којим сигнал стиже од таламуса до кортекса назива се *оптичка радијација*
 - осим овог главног пута, информација из мрежњаче стиже још на нека места у мозгу
- нервна влакна чији сноп чини оптички нерв су аксони ганглијских ћелија
 - сваки од два оптичка нерва је дебљине тање оловке, и садржи до милион влакана

ОПТИЧКА ХИЈАЗМА

- два оптичка нерва се *укрштају*, чинећи структуру названу *оптичка хијазма*
 - име долази од грчког слова χ ('хи'), које обликом симболизује укрштање
 - у хијазми се два снопа влакана не спајају физички, већ пролазе једни мимо других
- код неких животиња се влакна оптичког нерва простиру *контралатерално*, тј. сва влакна из једног ока прелазе на супротну страну главе

- као што је видљиво на анатомском цртежу, Декарт (17. век) је сматрао, погрешно, да се код људи простирање влакана врши *ипсилатерално*, тј. да сва влакна из једног ока остају на истој страни тела на којој је око
 - он је такође сматрао, погрешно, да се нервни путеви још једном укрштају, да би, по њему, стигли усправно до хипофизе, где ће на тај начин душа исправно регистровати телесне сигнале из спољашњег света
- данас се зна да је код људи и других сисара укрштање *комбиновано*, тј. један део нервних влакана се простире контралатерално а други део ипсилатерално
- начин простирања нервних влакана зависи из које *половине мрежњаче* она потичу, а може се приказати на два (једнако исправна) начина
- један начин је подела на назалну половину и темпоралну половину мрежњаче
 - влакна из *назалних* половина две мрежњаче у хијазми се укрштају, тј. прелазе на супротну, контралатералну страну тела
 - назалне половине су оне ближе *носу*, а то су лева половина десног ока и десна половина левог
 - влакна из *темпоралних* половина две мрежњаче у хијазми се не укрштају, тј. остају на истој, ипсилатералној страни тела
 - темпоралне половине су оне ближе *слепочницима*, а то су лева половина левог ока и десна половина десног
- други начин приказа је преко поделе на десну и леву половину мрежњаче
 - влакна из *левих* половина двеју мрежњача стижу у *леву* половину мозга, а влакна из *десних* половина двеју мрежњача стижу у *десну* половину мозга

СУБКОРТИКАЛНИ ВИЗУЕЛНИ ЦЕНТРИ

- после хијазме снопови влакана из ока више не носе име 'оптички нерви' већ 'оптички трактуси' одн. 'тракти'
- аксони ганглијских ћелија стижу из ока у неколико *субкортикалних* центара у левој и десној можданој хемисфери
 - највећи део влакана (преко 80%) одлази главним путем и стиже у *таламус*, и то у његов део под именом **бочна коленаста тела** одн. **латерални геникулатни нуклеуси** (скраћеница: ЛГН),
 - постоје два ЛГНа, један у левој половини мога а други у десној
 - назив овог центра потиче од тога што се тај део налази са бочне (латералне) стране таламуса, а слојеви од којих се састоји нису равни већ повијени, па подсећају на мало колена (*geniculatum*)
 - мањи део влакана одлази у центре под именом. *горње квржице* (латински: *colliculi superior*), подручја која контролишу мишиће који покрећу очи
 - преостали део влакана одлази у друга подручја мозга која играју улогу у визуелном опажању
 - на пр., један део влакана носи информацију о количини светлости која пада на мрежњачу, и чини део рефлексног лука којим се контролише величина отвора зенице

БОЧНА КОЛЕНАСТА ТЕЛА (ЛГН)

- информација са мрежњаче је у сваком слоју ЛГН-а представљена по принципу **ретинотопске репрезентације** (репрезентација= представљање), наиме:

- активност блиских стимулуса на мрежњачи изазива активност блиских ганглијских ћелија, која се преноси блиским нервним влакнима, које изазивају активност блиских ћелија у ЛГН-у
- другим речима, мрежњача је *пресликана* на ЛГН, у смислу да на ЛГН-у остаје очуван просторни распоред активација на мрежњачи
- ЛГН има *шест* уочљивих слојева, као и тање међуслојеве, у које се расподељују сигнали из слоја ганглијских ћелија мрежњаче и преносе на ћелије ЛГН-а
- у ЛГН-у постоје три типа ћелија:
 - *магноцелуларне* ('великоћелијске'), које се налазе у слојевима 1 и 2
 - *парвоцелуларне* ('малоћелијске'), које се налазе у слојевима 3, 4, 5 и 6
 - *кониоцелуларне* ('прашинастоћелијске', тј веома ситне, и стога релативно скоро откривене) које се налазе у међуслојевима између 6 главних слојева
- ганглијске ћелије остварују специфичне синаптичке контакте са ЛГН ћелијама, наиме:
 - аксони ганглијских М-ћелија (одн Y-ћелија) активирају магноцелуларне ћелије ЛГН-а
 - аксони ганглијских П-ћелија (одн X-ћелија) активирају парвоцелуларне ћелије ЛГН-а
 - аксони ганглијских К-ћелија (одн W-ћелија) активирају кониоцелуларне ћелије ЛГН-а
- ганглијске ћелије и њима одговарајуће ЛГН ћелије имају сличне особине
 - на пр., као и М-ћелије, и магноцелуларне ћелије су крупније, брже спроводе сигнале, имају већа рецептивна поља, итд
 - структура рецептивних поља код ћелија ЛГН-а испитује се на исти начин као код ганглијских ћелија
 - наиме, светлом тачком се стимулише мрежњача на разним местима, и прати се фреквенца паљења испитиване ћелије ЛГН-а
 - добијају су врло слични резултати као код ганглијских ћелија, тј. рецептивна поља имају концентрично-антагонистичку структуру, и постоје он-ћелије и оф-ћелије

ОД МРЕЖЊАЧЕ ДО ЛГН-а

- из левих половина очију левог и десног ока стижу сигнали у леви ЛГН, а из десних половина очију левог и десног ока стижу сигнали у десни ЛГН
- расподела аксона у слојеве ЛГН-а зависи од врсте ћелија од којих стижу сигнали
- у оквиру *магно пута* сигнали из М-ћелија у мрежњачи стижу до магноцелуларних ћелија у ЛГН-у, у слојеве 1 и 2
 - у леви ЛГН у слој 1 стижу сигнали из леве (назалне) половине десног ока, а у слој 2 из леве (темпоралне) половине левог ока
 - у десни ЛГН у слој 1 стижу сигнали из десне (назалне) половине левог ока, а у слој 2 из десне (темпоралне) половине десног ока
 - другим речима, у оба ЛГН-а у слој 1 стижу сигнали из назалне половине контралатералног ока, а у слој 2 из темпоралне половине ипсилатералног ока
- у оквиру *парво пута* сигнали из П-ћелија у мрежњачи стижу до парвоцелуларних ћелија у ЛГН-у, у слојеве 3, 4, 5 и 6

- у леви ЛГН у слојеве 4 и 6 стижу сигнали из леве (назалне) половине десног ока, а у слојеве 3 и 5 из леве (темпоралне) половине левог ока
- у десни ЛГН у слојеве 4 и 6 стижу сигнали из десне (назалне) половине левог ока, а у слојеве 3 и 5 из десне (темпоралне) половине десног ока
- другим речима, у оба ЛГН-а у слој 4 и 6 стижу сигнали из назалне половине контралатералног ока, а у слој 3 и 5 из темпоралне ипсилатералног ока
- заједно узевши и магно и парво пут, из назалних половина контралатералних очију сигнали стижу у први, четврти и шести слој ЛГН-а, а из темпоралних половина ипсилатералних очију аксони стижу у други, трећи и пети слој ЛГН-а
- бројећи слојеве од 1 до 6, латералност ока из кога стижу сигнали у ЛГН је контра, ипси (то су два магно слоја), па затим ипси, контра, ипси, контра (то су четири парво слоја)

ОД ТАЛАМУСА ДО КОРТЕКСА

- из ЛГН-а нервна влакна одлазе оптичким радијацијама у кортекс, и то из левог ЛГН-а у леви кортикални визуелни центар, а из десног ЛГН-а у десни

ТОК ВИЗУЕЛНЕ ИНФОРМАЦИЈЕ

- просторна шема стицања информација из визуелног поља у визуелни кортекс може се описати на следећи начин
 - приликом пројекције визуелног поља на очи долази до *оптичког укрштања*
 - на име, лева половина визуелног поља пројектује на десне половине две мрежњаче, а десна половина поља на леве половине мрежњача
 - приликом слања сигнала из очију у два ЛГНа долази до *неуралног укрштања*
 - на име, влакна из левих половина мрежњача стижу у леви ЛГН, а влакна из десних половина мрежњача у десни
 - приликом слања сигнала из ЛГНа у кортекс не збива се никакво укрштање
 - на име, из левог ЛГНа сигнали стижу у визуелни центар у левом окципиталном кортексу, а из десног ЛГНа у десни окципитални кортекс
- коначна последица ове сложене структуре простирања оптичких сигнала и неуралних веза је да информација из леве половине визуелног поља стиже у десну мождану хемисферу, а из десне у леву

6. ВИЗУЕЛНИ КОРТЕКС

КОРТИКАЛНЕ ЗОНЕ

- кора великог мозга (кортекс) може се поделити на више *зона*
 - једну такву поделу дао је почетком 20. века неуролог Бродман, па се такве зоне још називају и *Бродманова поља*
 - Бродман је зоне означио различитим бројевима, који немају неко посебно значење за рад мозга
- различите зоне имају различите *функције*
 - те функције су сензорне (обрађују информацију из чулних органа), моторне (контролишу кретање руку, ногу, очију итд), когнитивне, језичке (омогућавају разумевање и продукцију језика), емотивне итд
- Бродманова подела је данас донекле застарела, али је у основи још увек корисна
 - последњих година и деценија врше се бројна истраживања функција кортикалних зона, коришћењем све моћнијих експерименталних техника

ВИЗУЕЛНЕ КОРТИКАЛНЕ ЗОНЕ

- зоне кортекса у које стижу визуелни путеви из два ЛГНа налазе се у окципиталним деловима две мождане хемисфере
- ова кортикална визуелна зона има неколико имена:
 - 17. Бродманово поље
 - *примарна кортикална визуелна зона*
 - *стријатни кортекс*
 - по томе што се на хистолошком препарату овог подручја појављује уочљива светла црта (*stria*), названа и 'Генаријева линија', по анатому који ју је први описао
 - VI (чита се 'ве-један'), што значи 'визуелно подручје бр. 1'
 - ово је сада најубичајенији назив за ово подручје
 - као што ћемо видети, постоје и зоне V2, V3 итд

ЗОНА VI

- површина зоне VI код мајмуна износи око 15 cm² (слично као банковна картица), дебљина њеног попречног пресека је око 2 мм, а садржи око 100 милиона ћелија
 - велики део зоне VI код људи није на самој површини већ се налази у завијуцима кортекса
- у пресеку се VI, као и све остале зоне кортекса, дели на 6 слојева, означени од I до VI (бројано од површине ка унутрашњости)
 - слој 4 у примарном визуелном кортексу је издиференциранији него одговарајући слој у другим деловима кортекса, и дели се на три слоја, 4A, 4B (Генаријева линија), и 4C
- сигнали из ЛГН-а стижу већином у слој 4C, који се даље дели на подслојеве 4C α и 4C β
 - магноцелуларне ћелије из ЛГН-а шаљу аксоне у слој 4C α
 - парвоцелуларне ћелије из ЛГН-а шаљу аксоне у слој 4C β

- неурони слоја 4Ц остварују бројне синаптичке контакте са неуронима у другим слојевима у зони V1, а поменућемо само два главна типа веза
 - неурони из слоја 4Ц α шаљу информације у слој 4Б
 - неурони из слоја 4Ц β шаљу информације у слојеве II и III
- слојеви 2 и 3 зоне V1 се не разликују толико као у осталим деловима мождане коре, и стога се у зони V1 углавном третирају као *један* слој, означен као 2/3
 - слој 2/3 нема хомогену структуру, већ је прошаран тамнијим мрљама које су назване 'блобови', а остатак тог слоја, између мрља, назван је 'интерблоб'
- као и ЛГН, зона V1 одликује се ретинотопском репрезентацијом
 - наиме, активација два блиска неурона у ЛГН изазива активацију два блиска неурона у V1
 - дакле, ЛГН је 'пресликан' на зону V1, а како је мрежњача 'пресликана' на ЛГН, то значи да је мрежњача 'пресликана' на V1
 - ова чињеница је била позната од раније на основу последица повреда мозга
 - наиме повреде одређених делова зоне V1 редовно су праћене оштећењима вида у одговарајућим деловима визуелног поља
- пресликавање на V1 није верна копија мрежњаче, већ се одликује *кортикалном магнификацијом*
 - ово значи да се делови мрежњаче не пресликавају на V1 пропорционално својој површини
 - наиме, фовеални део мрежњаче пројектује се на релативно знатно већу кортикалну површину (отуд термин 'магнификација', што значи 'увећање'), а периферни на мању

ТИПОВИ ЋЕЛИЈА ЗОНЕ V1

- први истраживачи рада ћелија визуелног кортекса помоћу електрода били су Д. Хјубел и Т. Визел, који су за та и друга истраживања добили Нобелову награду 1982. год.
- као и ганглијске ћелије и ћелије ЛГН-а, и неурони у кортексу имају *рецептивна поља*
 - то су одређена подручја на мрежњачи чија стимулација утиче на њихову активност, тј. мења фреквенцу паљења
 - ова рецептивна поља имају другачију структуру него код ганглијских ћелија и ћелија ЛГН-а, и другачије оптималне стимулусе
- описаћемо три типа кортикалних ћелија, назване *просте, комплексне, и хиперкомплексне*
- рецептивна поља **простих** ћелија немају концентричну структуру, већ се она састоје од антагонистичких *трака*
 - оријентација ових трака, одн. њихов нагиб, чини *доминантну осу* ћелије
 - утврђено је да постоје ћелије са доминантним осама свих могућих нагиба, мада их је нешто више са вертикалном и хоризонталном оријентацијом него осталих нагиба
- описаћемо два честа типа простих неурона, названи *детектори линија и детектори ивица*

- код *детектора линија* рецептивна поља се састоје од три траке, наиме
 - постоји једна уска средишња пруга (аналогна центру код концентрично-антагонистичких неурона), и два шира бочна подручја (аналогна периферији)
 - реакције средишње и бочних пруга су антагонистичке (супротстављене), а постоје две могућности:
 - (1) средишња пруга показује он-реакцију а бочна подручја оф-реакцију
 - (2) средишња пруга показује оф-реакцију а бочна подручја он-реакцију
- из описане структуре рецептивних поља проистиче специфичност реакције детектора линија за различите стимулације, наиме
 - оваква ћелија је максимално осетљива (каже се и 'наштимована') за стимулусе у облику *линије* у визуелном пољу, и то оне линије која има оријентацију која одговара *нагибу* њене доминантне осе
 - наравно, као и за све друге ћелије, основни услов је да се таква стимулација појављује у оквиру *рецептивног поља* те ћелије на мрежњачи
 - ћелије чија средишња пруга има он-реакцију детектују светле линије на тамној позадини, док ћелије са оф-реакцијом средишње пруге детектују тамне линије на светлој позадини
- друга група простих неурона, названи *детектори ивица*, имају рецептивна поља која немају средишњу пругу, већ само две антагонистичке траке
 - једна од две траке показује он-реакцију а друга оф-реакцију
 - као и детектори линија, и ови прости неурони имају доминантну осу, која може имати било који нагиб
 - међутим, услед нешто другачије структуре рецептивних поља, они нису специјализовани за детекцију линија већ светло-тамних *ивица* различитих оријентација
- постоје и просте ћелије са сложенијом структуром рецептивног поља него детектори линија и ивица, са више од три антагонистичких паралелних трака
- реакције простих ћелија се испитују тако што се користи стимулус у облику линије или ивице којој се систематски мења нагиб, и прате се промене у реакцији ћелије
 - што је нагиб стимулације сличнији нагибу доминантне осе, утолико је виша фреквенца паљења те ћелије
 - разлог је да су тада утолико више стимулисана подручја он-реакције, а мање стимулисана подручја оф-реакције рецептивног поља
 - на пр., нека одређени неурон има *вертикалну* доминантну осу, тј. максимално је осетљив за вертикалне линије
 - овај неурон ће такође бити активираан за линије са нагибима који донекле одступају од вертикале, али у мањој мери, тј. фреквенца паљења ће бити утолико мања уколико је одступање од вертикале веће
 - у случају дражи са веома различитом оријентацијом од вертикале, рецимо хоризонталне линије, овај неурон неће показивати никакву реакцију
 - међутим, постојаће неки други неурон, са рецептивним пољем на сличној локацији на мрежњачи, који је максимално осетљив за

дражи хоризонталне оријентације, и који ће регистровати ту хоризонталну драж

- Хјубел и Визел претпостављају да поменути специфичне особине рецептивних поља простих ћелија потичу од специфичности њихових анатомских веза са неуронима ЛГН-а
 - на име, претпоставка је да појединачни прости неурон бива стимулисан од стране неколико ћелија са концентричним рецептивним пољима
 - притом се рецептивна поља ових неурона делимично преклапају, а лоцирана су дуж линије одређене оријентације
 - оријентација те линије одређује нагиб доминантне осе простог неурона
 - овакве и сличне претпоставке за остале типове ћелија, које ћемо касније навести, још нису дефинитивно потврђене
- треба уочити да ћелије са концентричним рецептивним пољима саме *нису* осетљиве на разлике у нагибима
 - на име, овакве ћелије ће једнако реаговати за стимулусе различитих нагиба, ако су лоцирани на исти начин у односу на рецептивно поље ћелије
- осетљивост за различите нагибе код простих ћелија, сматра се (мада то још није недвосмислено доказано) да настаје специфичним, горе описаним везама међу ћелијама са концентричним рецептивним пољима
 - ово је пример како 'структура генерише функцију', тј. како одређене комбинације елемената нижег реда могу да омогуће стварање елемената вишег реда, са *новим* особинама, које немају ћелије нижег реда
- друга група неурона добила је име **сложени** или **комплексни** неурони
 - као и прости неурони, и комплексни неурони имају рецептивна поља
 - та поља су нешто већа него код простих неурона, и такође имају доминантну осу
 - међутим, за разлику од већине до сада описаних неурона, рецептивна поља комплексних неурона нису подељена на антагонистичке делове
 - на име, ови неурони показују сличну реакцију у свим деловима свог рецептивног поља и на почетак и на престанак стимулације, тј. свуда имају и он и оф реакцију
 - комплексни неурони су посебно осетљиви на стимулусе који се *крећу*, и то у одређеном правцу, а често само у једном од два смера
 - Хјубел и Визел претпостављају да особине ових ћелија потичу од тога што појединачни комплексни неурон бива стимулисан од стране неколико простих неурона, смештених у низу
- трећа, разнородна група ћелија су **хиперкомплексни** неурони
 - њихова рецептивна поља имају неке сложеније особине, које међутим још нису довољно испитане и сасвим потврђене
 - на пр, једна група ових неурона има особину да су специјализовани за детектовање линија не само одређеног нагиба већ и одређене *дужине*
 - на име, овакав неурон ће реаговати све *јаче* уколико се линија одређеног нагиба продужава, али само до одређене дужине, а онда ће даљим продужењем линије реакција све више *слабити*
 - оваква реакција се разликује од реакције простих и комплексних неурона, који ће при сличној стимулацији после одређене дужине престати да повећавају јачину реакцију, али је неће смањивати

- Хјубел и Визел претпостављају да особине ових ћелија потичу од тога што хиперкомплексни неурони бивају активирани од стране више комплексних неурона

ЛОКАЛНА ОРГАНИЗАЦИЈА ЗОНЕ V1

- локална организација зоне V1 има два аспекта, вертикални и хоризонтални
- *вертикална организација:*
 - неурони који се налазе приближно *вертикално* једни испод других у различитим слојевима зоне V1 чине 'стубиће' који се називају **колумне**
 - ћелије колумне имају извесне заједничке особине:
 - идентична или већим делом преклопљена рецептивна поља
 - *исти* нагиб доминантне осе
 - на пр, ако се у једном слоју на одређеном месту налази неурон максимално осетљив за дражи нагиба од 30 степени, онда ће се испод и изнад њега наћи неурони максимално осетљиви за исти нагиб
 - ово не важи за слој 4Ц нити блобове, где има само неурона са концентричном структуром рецептивних поља, без доминантне осе
 - колумне као такве нису видљиве на хистолошком препарату мозданог ткива (за разлику од блобова, који су тамнији од околине), већ представљају *функционалну физиолошку јединицу*
- *хоризонтална организација*
 - када се електродом пролази поступно *хоризонтално* кроз неки слој зоне V1, већином се региструју неурони чија се осетљивост за нагибе поступно и релативно правилно *мења*, од 0 до 180 степени, по дужини од око једног милиметра
 - другим речима, неурони који се налазе на *истој* дубини, тј. у истом хоризонталном слоју зоне V1, и то једни близу других, специјализовани су за нагибе *сличне* оријентације
 - на пр, близу неурона доминантном осом нагиба од 30 степени, већином ће се наћи неурони максимално осетљиви за сличне нагибе, на пр. од 25 или 35 степени
 - за сваки поједини нагиб постоји одговарајућа колумна
- *окуларна доминација*
 - неурони у слоју 4Ц су *монокуларни*
 - наиме, они примају сигнале искључиво из *једног* ока, левог или десног (слично као и ћелије ЛГНа)
 - неурони у осталим слојевима су *бинокуларни*
 - они примају сигнале из *оба* ока, али је већина ћелија *доминирана* једним или другим оком, тј. примају сигнале претежно из једног или из другог ока
- специфичан скуп суседних колумни назива се **хиперколумна**, у оквиру које се могу разликовати следећи подскупови колумни:

- *окуларне колумне*, тј. два блока колумни, један доминиран левим оком а други десним
- *оријентационе колумне*, које садрже доминантне осе нагиба између 0 и 180 степени
- *блoб колумне*, које садрже ћелије са концентричним рецептивним пољима (које немају доминантну осу), и посебно су осетљиве за боје
- све ћелије хиперколумне имају рецептивна поља која се делимично преклапају и чине тзв. *заједничко рецептивно поље* за целу хиперколумну
 - постоје два таква заједничка рецептивна поља, једно на левој мрежњачи, за леви окуларни блок, а друго на десној, за десни окуларни блок
 - положај ова два заједничка поља је исти или сличан у обе мрежњаче, тј. на приближно истом месту у левом и у десном оку
- површина хиперколумне је око 1x1 мм², а висина одн. дубина је 2 мм (наиме, то је дебљина зоне V1)
- функција хиперколумне је да врши анализу локалне информације на мрежњачи, тј да региструје боју и нагиб контуре за одређену 'тачку' одн. мали део визуелног поља (који одговара заједничком рецептивном пољу колумне)

ГЛОБАЛНА ОРГАНИЗАЦИЈА ЗОНЕ V1

- глобална организација зоне V1 састоји се од система суседних хиперколумни
 - у раном, поједностављеном моделу глобалне организације Хјубела и Визела, наизменични редови десних и левих окуларних колумни укрштају се под правим углом са колонама оријентационих колумни осетљивих на поступно мењајуће нагибе, од нула до 180 степени
 - један начин да се графички представи осетљивост за различите нагибе је да сваки од њих буде означен различитом *бојом*
 - таквих хиперколумни има на хиљаде у V1
- *суседне хиперколумне* садрже неуроне који имају суседна, делимично преклопљена заједничка рецептивна поља
 - скуп заједничких рецептивних поља свих хиперколумни прекрива на правилан начин целу мрежњачу
 - услед тога, слојеви у зони V1, као и у ЛГН-у, имају особину *ретинотопске репрезентације*, тј представљају одређену 'слику' одн. неурално обрађену *мапу* активације целе мрежњаче
- каснији налази о глобалној организацији добијени су испитивањем знатно већих делова зоне V1, дају нешто сложенију слику, која не оповргава раније налазе и моделе, већ их употпуњава
 - наиме, систем колумни окуларне доминације нема строго паралелну организацију већ чини 'зебрасту' структуру наизменичних пруга, доминираних једним или другим оком, по целој површини зоне V1 слоја 4Ц
 - такође, систем оријентационих колумни није грађен као скуп паралелних трака, већ чини специфичну, сложену структуру по целој површини зоне V1

ДРУГЕ КОРТИКАЛНЕ ВИЗУЕЛНЕ ЗОНЕ

- осим зоне V1 кортекс садржи већи број додатних визуелних зона

- број ових зона 'растао' је током последњих година, тј. истраживачи су их постепено откривали, тако да се њихов број данас процењује на око 30
- могуће је да њихов број неће даље расти већ смањивати, ако се утврди да се неке зоне које су открили различити истраживачи различитим методама поклапају
- неколико следећих зона назване су V2, V3, итд, а користе се и друге анатомске скраћенице
- зоне су већином међусобно повезане директним и повратним везама
 - наиме, сигнали из једне зоне одлазе у једну или више других зона, а такође из тих зона сигнали стижу натраг у њу
 - на пр., зона V2 прима сигнале директно из зоне V1, али такође шаље повратне сигнале у зону V1
- већина кортикалних визуелних зона имају особину *ретинотопске репрезентације*, али различитих степена прецизности и потпуности
- питање које се поставља је зашто кортекс има толико различитих зона?
 - основни разлог је тај да су различите зоне специјализоване за различите аспекте обраде визуелне стимулације
 - на пр., неке од ових зона више су осетљиве за опажање боја, друге за опажање нагиба, треће за опажање покрета, итд итд.
- међутим, ове специјализације су ретко потпуне, већ су углавном делимичне
 - на пр., у истој зони могу постојати подскупови ћелија са сасвим различитим специјализацијама (на пр. неке за боју, друге за нагиб, итд)
 - такође, иста ћелија може бити осетљива за више аспеката
 - на пр., ћелија максимално осетљива за одређен нагиб може такође различито реаговати и на различите боје и покрете, али са мањом дискриминативношћу

ЗОНА V2

- непосредно уз зону V1 у кори великог мозга налази се једна друга визуелна зона, позната под различитим називима:
 - *секундарни визуелни кортекс*
 - *18. Бродманово поље*
 - V2 (у значењу 'визуелна зона бр. 2'), данас најчешћи назив
- зона V2 је сличне површине као зона V1, такође има ретинотопску репрезентацију, а рецептивна поља њених ћелија су нешто већа него код зоне V1
- када се препарира хемијско-хистолошки, показује се да су ћелије ове зоне организоване у већи број наизменичних *пруга*, које се разликују по боји и дебљини, и садрже различите типове ћелија
 - постоје *бледе* пруге и *тамне* пруге, а међу тамним пругама, *танке* и *дебеле*
- неурони из различитих пруга зоне V2 примају информације из различитих области зоне V1:
 - влакна из слоја 4Б одлазе у тамне дебеле пруге
 - неурони у овим пругама примају информације из оба ока и играју улогу у стерео-виђењу (бинокуларном опажању дубине), као и опажању кретања
 - влакна из слоја 2/3 из блобова одлазе у тамне танке пруге
 - неурони из ових пруга играју улогу у опажању боја
 - влакна из слоја 2/3 из интерблоба одлазе у бледе пруге

- неурони у овим пругама осетљиви су за линије одређених нагиба и дужина, и играју улогу у опажању облика

ЗОНА V5

- зона V5, такође названа и зона MT (МедиоТемпорална зона) је једна од боље проучених визуелних зона
 - она је знатно мања од зона V1 и V2, а рецептивна поља њених ћелија су знатно већа
 - специфичност неурона из зоне V5 је да су они изразито осетљиви за *покретне* стимулусе, и то највише за одређени *смер* кретања, док нису осетљиви за кретање у супротном смеру
 - слично зони V1, неурони зоне V5 имају *вертикалну* и *хоризонталну* организацију
 - на име, сви неурони у истој вертикалној колумни (којих има око 1000) су максимално осетљиви за *исти* смер кретања, а неурони у суседним колумнама (по хоризонтали) су осетљиви за *сличне* смерове
 - на пр. ако су неурони у једној колумни максимално осетљиви за вертикално кретање нагоре, неурони у суседним колумнама биће максимално осетљиви за кретање вертикално горе десно или горе лево
 - у огледима са мајмунима коришћене су електроде не само за *снимање* рада ћелија ове зоне већ и за електрично *стимулисање* ћелија појединих колумни
 - утврђено је да таква директна неурална стимулација има ефект сличан природној оптичкој стимулацији, тј. да се мајмун понаша као да је опазио кретање у одређеном смеру
 - ово је занимљива експериментална потврда схватања Јоханеса Милера да је оно чега смо свесни у крајњој линији стање нервног система, без обзира на који начин је изазвано
 - огледи са људима који су претрпели оштећења ове зоне показују да они имају тешкоће у опажању кретања
 - на име, иако региструју *промену положаја* покретних објеката, они немају, или им је знатно ослабљен, пратећи *доживљај кретања* тих објеката од места до места, па њихово опажање изгледа више личи на след статичких слика
 - овакво оштећење отежава таквим пацијентима сналажење у свакодневном животу када треба пратити покрет неких објеката, на пр. кретања аутомобила при прелажењу улице, преливања течности при сипању чаја у шољу, или регистровање промене конфигурације уста и лица приликом слушања говора друге особе

ВИЗУЕЛНИ ПУТЕВИ (СТРУЈЕ)

- према везама између различитих визуелних неурона, до сада описани део визуелног система се може поделити на два главна *пута* (одн. визуелне *струје*), и то на магно пут и парво пут, који воде од мрежњаче на даље
 - **магно пут:**
 - овај пут започињу *M-ћелије* (одн. Y-ћелије) из мрежњаче,
 - које шаљу сигнале *магноцелуларним* ћелијама ЛГН-а,
 - које контактирају ћелије слоја *4Cα* у зони V1,
 - које шаљу сигнале ћелијама из слоја *4B* у зони V1,

- из кога информација стиже у *тамне дебеле пруге* у зони V2,
 - а одатле се преноси у зоне V3 и V5
 - **парво пут:**
 - овај пут започињу *II-хелије* (одн. X-хелије) из мрежњаче,
 - које су у контакту са *парвоцелуларним* хелијама ЛГН-а,
 - које контактирају хелије слоја *4Цβ* у зони V1,
 - које контактирају хелије из слоја *2/3* у зони V1
 - у слоју *2/3* постоје блобови и интерблоб
 - хелије из *блобова* шаљу сигнале у тамне танке пруге у зони V2
 - хелије из *интерблоба* шаљу сигнале у бледе пруге у зони V2
 - из слоја *2/3* сигнали стижу у зону V4
- у овом донекле поједностављеном приказу веза визуелног пута занемарени су неки аспекти, наиме:
 - извесна конвергенција (заједничке везе) између магно и парво пута
 - доприноси W-хелија и кониоцелуларних хелија (које шаљу сигнале у блобове)
 - део визуелног пута који из мрежњаче не одлази у ЛГН већ у друге делове
- ланац обраде визуелних сигнала се овим завршава, већ се наставља у даљим зонама у мозгу
 - особине неурона виших кортикалних зона представљају веома активно подручје истраживања последњих година, која доводе до нових важних открића о функционисању визуелног система

ВИШЕ ВИЗУЕЛНЕ ЗОНЕ

- постоје разне технике испитивања рада мозга код људи
 - један начин је коришћење *електрода*
 - електродама се детаљно снимају промене у активности једне или неколико хелија током времена
 - ова се техника широко користи код животиња, али врло ретко код људи, и то у медицинске а не експерименталне сврхе
 - електроенцефалограмом (ЕЕГ) се снима комбинована активност рада веома великог броја неурона истовремено
 - ЕЕГ је веома користан у медицинске сврхе, али је његова *просторна резолуција* (разликовање активности суседних подручја мозга) релативно груба
 - постоје неколико техника које дају просторну слику структуре и активности мозга код људи
 - у раније више коришћене методе спадају САТ и ПЕТ технике
 - последњих година се све више користи MRI техника (*магнетна резонанца*), која даје до сада најдетаљније приказе мождане анатомије код живих организама
 - веома важна варијанта ове методе је fMRI техника, која се користи не само за приказ анатомије већ и мождане активности за време док субјект обавља различите радње или задатке
- име fMRI технике односи се на сликовни приказ *функционалном* магнетском резонанцом (енглески: functional magnetic resonance imaging)

- она се у испитивању виђења користи тако што се субјекту задају одређени визуелни задаци, а притом се снима које мождане зоне су активне док субјект решава те задатке
- ова техника се још увек разрађује, али последњих година постаје доминантан начин анализе рада мозга код људи, и може се очекивати да ће у блиском наредном периоду донети значајна, па и револуционарна нова сазнања о физиолошким основама психичког живота
- последњих година се све више испитују визуелне зоне у темпоралном режњу великог мозга, које имају нешто другачије карактеристике него до сада описане зоне
 - овакве зоне имају слабо изражену ретинотопску репрезентацију, њихове ћелије имају веома велика рецептивна поља, а специјализоване су за стимулусе знатно сложеније него светле тачке, нагиби, боје, или кретање
- на пр. код мајмуна су, коришћењем електрода нађене зоне чије су ћелије посебно активне приликом опажања *лица* (било људских било мајмунских), док су знатно мање активне приликом опажања бесмислених фигура или других делова тела, на пр. шаке, руке итд
- један од многих новијих резултата добијен коришћењем fMRI методе је да је и код *људи* потврђено постојање кортикалних визуелних зона које су посебно активне приликом посматрања лица
 - најактивнија подручја се обично приказују хроматским бојама (на пр. жутом) а мање активна ахроматским
 - помоћу посебних компјутерских програма могуће је приказати активност не само у оквиру гируса (споља видљивих избочина на површини мозга) него и на целој кортикалној површини, укључујући, поред гируса, и сулкуси (удубљења која нису споља видљива)
 - приликом приказивања мождане активности користи се посебан, компјутерски припремљен 'напумпани' приказ мозга, где су гируси приказани светло сиво а сулкуси тамно сиво
 - може се користити приказ активности мозга који је ротиран, из различитих углова
 - такође се користи и 'испеглани' приказ, где је кортекс представљен као равна површина, и где се најлакше може уочити распоред више и мање активних подручја у одређеном задатку
- као пример, поменућемо једно новије истраживање где је коришћена веома сложена стимулација: десетоминутна секвенца из једног каубојског филма
 - за време приказивања филма активност можданих зона се снима fMRI техником
 - активност различитих зона мења се током времена, и зависи од приказаног филмског садржаја, при чему у различитим тренуцима различите зоне максимално реагују на различите садржаје
 - овакви подаци дају увид у специјализације појединих можданих зона
 - у овом истраживању потврђено је постојање зоне у темпоралном режњу (тзв. фузиформног гируса), која посебно реагује на приказе лица
 - наине, та је зона већином била најактивнија управо када су у филмској сцени приказивана лица

- такође је нађена зона (колатерални сулкус) која је највише реаговала када су приказиване просторне сцене, са пејзажима или већим просторијама
- најзад, једна зона (постцентрални сулкус) је, изгледа, највише реаговала када су приказивани покрети руку

7. ОПАЖАЊЕ БОЈА

БОЈА

- опажање боја, као и друге феномене опажања, можемо посматрати као ланац дешавања у три домена, физичком, физиолошком, и феноменолошком
 - физички домен се односи на спољашњу физичку енергију, одн. стимулус, који је у овом случају светлост
 - физиолошки домен се односи на физиолошку реакцију, одн. активацију визуелног нервног система као последицу светлосне стимулације
 - феноменолошки домен се односи на свесни доживљај, одн. опажај боје
- ова три домена приказаћемо на следећи начин:
 - прво ћемо разматрати само трећи члан ланца, тј. *феноменолошки опис* боја, онако како се оне доживљавају, без обзира на физички узрочник и физиолошку основу
 - затим ћемо размотрити однос физичког и феноменолошког домена, тј које физичке особине светлости одговарају нашем доживљају боја
 - притом ћемо строго раздвајати физички узрок, тј. *светлост*, од свесног доживљаја, тј. *боје* (мада се у свакодневном говору обе речи често користе за оба појма)
 - на крају ћемо размотрити физиолошке основе опажања боја
- у оквиру феноменологије боја бавићемо се прво основним карактеристикама доживљавања боја
 - размотрићемо питања *хроматичности*, *атрибута*, и *сложености* боја
- **хроматичност** се односи на особину 'обојености' боја, тј. чињеницу да постоје две суштински различите групе боја:
 - *хроматске* ('обојене') боје: црвена, жута, зелена, плава, наранџаста, итд
 - *ахроматске* ('необојене') боје: црна, бела, и све сиве нијансе
- ахроматске боје омогућавају веома богате информације о спољашњем свету
 - то се лако може уочити посматрањем црно-белих фотографија и филмова
- међутим, хроматске боје додају и неке нове квалитете доживљају света
 - хроматске боје омогућавају бољу дискриминацију објеката
 - пример: разликовање зрелог од незрелог воћа (што није неважно у борби за преживљавање)
 - наиме, разлике међу бојама одражавају разлике у материјалном (физичком и хемијском) саставу објеката
 - хроматске боје такође утичу на уочљивост живих организама

ФЕНОМЕНОЛОГИЈА БОЈА

- **атрибути** боја су три основне особине (одн. три својства, аспекта, димензије) које има свака боја, а то су *квалитет*, *светлина*, и *засићеност*
- **квалитет** је кључни аспект по коме се боје међусобно разликују
 - према немачком психологу Херингу (19. век) постоје четири *проста* квалитета, и то црвени, плави, жути, и зелени

- то су четири основне хроматске боје јер су *јединствене* одн. *чисте*, тј. не опажају се да имају примесе других боја
 - на пр. чиста плава се не опажа да садржи ни зелену ни жуту ни црвену примесу, чиста црвена не садржи примесе ни плаве, ни зелене, ни жуте, итд
 - *сложени* квалитети боја су они који се *опажају* као мешавине, тј. да садрже примесе чистих боја, одн. да су њихове комбинације
 - то су разне нијансе наранџасте, љубичасте, тиркизне (плаво-зелене) и жуто-зелене
 - на пр. наранџаста се *опажа* као мешавина црвене и жуте, љубичаста као мешавина плаве и црвене, плаво-зелена као мешавина плаве и зелене, итд
- уврштавање зелене међу основне боје је донекле контроверзно
 - према неким схватањима, на пр. међу теоретичарима сликарства, зелена није основна, зато што се може направити мешањем жутог и плавог пигмента (фарбе)
 - у оквиру овог схватања, постоје само три основне боје: црвена, плава и жута
 - међутим, треба уочити да је описани сликарски критеријум да би се нека боја прогласила основном *физички*, тј да ли се она може *направити* од других боја
 - Херинг и други психолози који се баве опажањем боја заснивају своје схватање на основу *феноменолошког* критеријума, тј. како се боја *опажа*
 - тачно је да се зелена може *направити* од жуте и плаве, али се не *опажа* као мешавина жуте и плаве
 - психолошки критеријум основности боја је *феноменолошки* (шта се *види*), а не *физички* (како се *прави*)
 - и жута боја се, као што ћемо видети, може *направити* од других боја (наиме мешањем црвене и зелене *светлости*), али се ипак *опажа* као чиста
 - према инжењерским критеријумима, основне боје би биле црвена, плава и зелена, јер се од њих праве све остале боје које се виде на ТВ и компјутерским екранима
 - наиме, свака боја на екрану је комбинације одређеног износа црвене (означене са R, према енглеском 'red'), зелене (G, према 'green') и плаве (B, према 'blue')
 - износ појединих компоненти се креће од 0 до 255
 - чиста црвена одговара комбинацији R=255, G=0, B=0, чиста зелена са R=0, G=255, B=0, чиста плава са R=0, G=0, B=255
 - чиста жута се добија као комбинација црвене и зелене, у облику R=255, G=255, B=0
 - чиста бела је комбинација R=255, G=255, B=255, тј. може се схватити као комбинација плаве и жуте (које, као пигменти, у комбинацији не дају белу већ зелену)
- **светлина** боја је опажени интензитет боја
 - светлина варира од тамних до светлих нијанси
- **засићеност** боја је опажена чистоћа боја у поређењу са одговарајућом сивом *једнаке* светлине

- боја је утолико засићенија уколико има мању примесу сиве
- засићеност варира од незасићених (сивих) до максимално засићених нијанси
- конкретна нијанса неке боје је одређена комбинација квалитета (означено са H, према енглеском 'hue'), светлине (L, означено према енглеском 'luminance' или, исправније, 'lightness') и засићености (S, према енглеском 'saturation')
 - на екранима се свака боја може описати као одређена комбинација H, L, и S
 - пример такве комбинације је H=31, S=82, L=125
 - свака таква комбинација одговара одређеној RGB комбинацији
 - у конкретном примеру, поменутој HLS комбинацији одговара RGB комбинација облика R=165, G=144, B=85, којом се спецификује иста нијанса
- ахроматске боје се такође могу описати преко три атрибута, али на посебан начин
 - за те боје се каже да имају *неутрални* квалитет и *нулту* засићеност, тако да варирају само по светлини
- **системи боја** су идеализоване шеме којима се приказују одређени скупови боја
 - принцип по коме су боје уређене у такве системе је да се доживљајна *сличност* приказује геометријском *близином*
 - наине, сличне нијансе се постављају једне до друге, а боје се аранжирају у једној, две, или три просторне димензије
 - зависно од тога који скуп боја приказујемо постоје и различити системи боја, а ми ћемо приказати следеће системе: низ ахроматских боја, круг хроматских боја, диск боја, троугао боја, и двоструку купу боја
- **низ ахроматских боја** је систем којим се приказују ахроматске боје, уређене по светлини
 - боје су приказане као распоређене дуж отворене линије, чији један крај чини црна боја а други крај бела, док се између њих налазе све нијансе сиве, поређане по светлини
- **круг хроматских боја** је начин приказа хроматских боја, уређених по квалитету
 - сви квалитети, и прости и сложени, приказани су дуж круга
 - за разлику од ахроматских боја, круг хроматских боја *нема крајева*, па се зато мора користити затворена линија (као што је круг, мада се понекад користи и квадрат), за њихов приказ
- однос простих и сложених квалитета је предочен на Херинговом приказу круга боја, који садржи четири основне, просте боје, и сложене боје које су мешавине парова простих боја
 - на пр. на врху је црвена, на дну зелена, лево је жута, а десно плава, а све сложене нијансе су распоређене између простих
 - на таквом кругу боја, све боје у горњој половини круга имају примесу црвене, све у доњој примесу зелене, све у левој половини примесу жуте, а све у десној примесу плаве
 - удео сваке од основних боја у мешавинама се правилно мења дуж круга,
 - свака сложена боја је приказана као смеша, у одређеној сразмери, по две основне боје, при чему удео једне расте а удео друге се смањује
- **диск боја** приказује боје с обзиром на два атрибута, по квалитету и по засићености
 - квалитет је на диску приказан циркуларно (по концентричним круговима) а засићеност радијално (по радијусима одн. полупречницима)

- најзасићеније нијансе приказане су по ободу, а у центру је незасићена сива
 - крећући се по било ком кругу, прелазимо све квалитете исте засићености
 - крећући се по било ком радијусу прелазимо све засићености истог квалитета, од незасићене сиве у центру до најзасићеније нијансе на ободу
 - на пр. одређена црвена боја, смештена на ободу круга, има максималну засићеност
 - идући од обода ка центру, смештене су нијансе те исте црвене боје које имају све мању и мању засићеност
- све боје на одређеном диску боја имају исту светлину
- **троугао боја** приказује боје по атрибутима засићености и светлини
 - засићеност је приказана по хоризонтали а светлина по вертикали
 - крећући се по хоризонталама прелазимо све засићености исте светлине
 - крећући се по вертикалама прелазимо све светлине исте засићености
 - код већине (али не свих) боја, највећу засићеност имају боје средњих светлина, док су веома светле и веома тамне боје углавном мање засићене
 - међутим, жута боја је изузетак, јер може бити веома засићена и када је релативно светла
 - све боје у одређеном троуглу боја имају исти квалитет
- **двострука купа боја** је комбинација дискова и троуглова, и приказује боје по сва три атрибута, тј. по квалитету, светлини, и засићености
 - квалитети се приказују по круговима, засићености по радијусима, а светлине по вертикалама
 - свака појединачна боја има своје место (одн. адресу) у купу, зависно од њеног квалитета, светлине, и засићености, које чине њене ко-ординате у овом систему
 - средишњу вертикалну осу двоструке купе чини *ахроматска оса*, тј. уређен низ ахроматских боја, од црне на доњем темену до беле на горњем темену
 - *омотач* двоструке купе чине најзасићеније нијансе свих светлина
 - *хоризонтални пресеци* двоструке купе су дискови боја различите светлине, при чему је у оквиру сваког диска светлина константна
 - што је *више* постављен пресек на двострукој купу, боје на диску су *светлије*
 - *вертикални пресеци* двоструке купе су спојени парови троуглова боја са заједничком ахроматском осом
 - понекад се уместо двоструке купе за представљање атрибута боја користе и друга геометријска тела, као што су двострука пирамида, сфера, као и неки мање правилни облици
 - уочимо да су, гледано са математичке стране, сви поменути системи боја (низ, круг, диск, троугао, двострука купа) уствари базирани на различитим ко-ординатним системима, који имају једну, две, или три димензије
 - притом ко-ординате одговарају атрибутима боја, а локација сваке појединачне боје на линији, у равни, или у простору зависи од вредности њених атрибута

ФИЗИКА БОЈА

- кључни *психофизички проблем* у опажању боја тиче се односа светлости и свести, тј. утврђивања везе између таласних дужина (λ) и опажених боја
- суштински помак у разумевању овог проблема учинио је у 17. веку Исак Њутн експериментом са разлагањем сунчеве (беле, дневне) светлости
 - танки сноп беле светлости пропушта се кроз тространу призму, а на заклону се добија трака која се састоји од свих дугиних боја
- на основу овог, и многих других огледа, може се закључити
 - бела светлост садржи зраке свих таласних дужина између 400 и 700 нм
 - проласком кроз призму светлост се прелама, а угао преламања зависи од таласне дужине зрака
 - што је таласна дужина већа, угао преламања је мањи, тако да су зраци од 400 нм највише рефрактовани, а зраци од 700 нм најмање
 - услед тога, после проласка кроз призму зраци различитих таласних дужина бивају просторно раслојени, у складу са таласним дужинама
 - појединим таласним дужинама светлости одговарају поједине опажене боје
 - изненађујући закључак је да је бела боја мешавина хроматских боја!
- узрок појаве *дугиних боја* у природи је преламање сунчевих зрака кроз капљице кише у атмосфери
- боје које изазивају зраци у распону од 400 до 700 нм називају се **спектралне боје** (дугине боје)
- свака *појединачна* таласна дужина одговара *једној* нијанси спектралне боје
 - таласној дужини од 400 нм одговара љубичаста боја, а порасту таласних дужина у спектру одговарају остале боје на кругу, до дужине од 700 нм, која одговара наранцасто-црвеној боји
 - чистој *плавој* боји одговара таласна дужина од око 480 нм
 - чистој *зеленој* боји одговара таласна дужина од око 510 нм
 - чистој *жутој* боји одговара таласна дужина од око 580 нм
 - ови подаци се заснивају на испитивањима у којима се субјектима приказују спектралне боје, а тражи се да укажу на најчистију нијансу основних боја
 - дате таласне дужине чистих боја су *просеци*
 - међу појединим субјектима постоји извесна *варијабилност* у погледу избора таласне дужине најчистије нијансе
 - примесе црвене боје јављају се на *оба* краја спектра, тј не само код дугих таласних дужина, него и код кратких, као компоненте љубичасте
 - спектралне боје се не спајају у круг, наиме, боје на једном крају спектра се не преливају континуално у боје на другом крају, већ постоји скок
- у дуги не постоји неколико група боја
 - једну групу боја на кругу боја којима не одговара *ниједна* појединачна таласна дужина чине тзв. **екстраспектралне боје**, а у њих спадају део љубичастих, основна црвена, и део наранчастих боја
 - екстраспектралне боје могу се добити *мешавином* више таласа различитих таласних дужина, на пр. таласа од 400 нм и таласа од 700 нм, у различитим пропорцијама
 - у дуги не постоји ни браон боја, али за њу се може показати да је она тамни прелив жутих и наранчастих нијанси
 - ахроматске боје уопште нису представљене у дуги

- светлосни извори могу бити монохроматски и полихроматски
 - појединачне спектралне боје су *монохроматске* (садрже зраке само једне таласне дужине, или уског распона таласних дужина)
 - већина природних извора светлости су *полихроматски* (садрже зраке многих таласних дужина), а разликују се по *пропорцији* зрака које емитују на различитим таласним дужинама
 - на пр., сунце емитује зраке свих таласних дужина у, грубо речено, сличној пропорцији, уз одређено снижавање интензитета емитовања за кратке таласне дужине
 - сијалица такође емитује зраке свих таласних дужина, али тако да са порастом таласне дужине од 400 до 700 нм расте и интензитет емитованих зрака
- *површине* објеката могу се поделити по томе како одбијају светлост различитих таласних дужина
 - природни објекти су већином полихроматски, тј. одбијају зраке свих таласних дужина, а разликују се у *пропорцији* одбијених зрака на различитим таласним дужинама, на пр.:
 - *сиви* лист хартије је ахроматска површина који одбија исти или скоро исти процент светлости (на пр. 20 %) за све таласне дужине
 - *жути* лимун више одбија зраке средњих и дугих таласних дужина, а мање зраке кратких таласних дужина
 - *црвени* парадајз више одбија зраке дужих таласних дужина, а мање зраке краћих и средњих дужина
 - додатни примери:
 - *плаво-љубичаста* шљива више одбија зраке краћих таласних дужина а мање зраке средњих и дужих таласних дужина
 - *зелена* трава више одбија зраке средњих таласних дужина, а мање зраке краћих и дужих таласних дужина
- из претходних излагања може се закључити да је већина боја у нашој природној околини резултат мешавина

МЕШАЊЕ БОЈА

- какав је општи психофизички однос таласних дужина (драж, физика) и боја (опажај, феноменологија)?
 - знамо да појединим таласним дужинама одговарају одређене нијансе боја
 - питање које се поставља је шта се дешава ако се више боја *меша*?
 - другим речима, ако на исто место на мрежњачу пристигну зраци две, три, или пуно различитих таласних дужина (што је физичка чињеница), која боја ће се опазити (тј. каква ће бити феноменолошка чињеница као последица физичког дражења)?
- у наредном излагању таласне дужине које се комбинују назваћемо стимулусним *компонентама*, а боју која се опажа као исход мешања назваћемо *опажајном резултантом*
 - вредности таласних дужина ће бити приближне, служећи ради илустрације
- на пр., нека су компоненте зраци таласне дужине од око 450 нм (што се опажа као љубичасто плава боја), и зраци дужине од око 550 нм (што се опажа као жућкасто зелена боја)
 - резултат ове комбинације је физичка мешавина зрака

- ова мешавина се опажа као нијанса плаво-зелене боје
- важно је нагласити да се *идентичан* опажај може изазвати и монохроматском зрацима од око 500 нм
 - другим речима, прва драж (500 нм) изгледа једнако као друга драж (комбинација зрака од 450нм и 550нм)
- општије речено, ово је пример како физички *различите* дражи могу проузроковати *исти* опажај
 - различите стимулације које изазвају исти опажај називају се *метамери*
- зраци различитих таласних дужина могу се у пракси комбиновати помоћу неколико поступака:
 - *физичко мешање* је директно преклапање зрака
 - врши се пројектовањем два или више снопова монохроматске светлости на исто место у простору, које онда одбија зраке обе таласне дужине
 - тако се може опажајно поредити боја која се види на преклопљеном делу са бојама непреклопљених компоненти
 - *физиолошко мешање* је коришћење физички непреклопљених зрака који се стапају у опажају услед ограничених могућности мрежњаче да их разлучи *просторно* или *временски*
 - физиолошко *просторно* мешање се врши блиским постављањем обојених мрља једних до других
 - ако су ове мрље довољно велике (изнад просторног прага) оне ће се и опазити као одвојене
 - међутим ако су довољно мале, тј. ако величина под којом се пројектују на мрежњачу падне испод одређеног прага, онда ће се њихови зраци услед просторне близине мешати на мрежњачи
 - пример за овакву врсту мешања су слике сликара *поентилиста* (на пр. Жорж Сера)
 - овај се принцип такође широко користи за ТВ, компјутерске екране, и штампу у боји
 - физиолошко *временско* мешање врши се обртањем кругова обојених разним бојама (Максвелови дискови)
 - ако је обртање споро, види се разнобојно обојени ротирајући круг
 - међутим, ако је обртање довољно брзо, тако да брзина смене боја падне испод одређеног временског прага, зраци се мешају на мрежњачи
 - постоје различити уређаји, названи *мешачи боја*, које се користе у ове сврхе

ПРИМЕРИ МЕШАЊА БОЈА

- у следећим примерима мешања боја позиваћемо се на поступак временског мешања
- *пример 1:* мешање две ахроматске компоненте, обртањем диска који је пола бео а пола црн
 - светлосни интензитет овакве комбинације је једнак *просеку* интензитета компоненти, тј. налази се на *средини* између високог интензитета (који изазва опажање беле) и ниског интензитета (који изазива опажање црне)

- мешањем беле и црне добија се *сива* резултанта
 - питање које се поставља је *која* нијансе сиве ће се генерисати овакбом стимулацијом
 - наиме, будући да је физички ниво стимулације а средини између високе и ниске, могло би се очекивати да ће и одговарајући доживљај бити на средини, тј. нека *средње* сива нијанса
- међутим, резултујућа нијанса сиве *није* перцептуално на средини између беле и црне компоненте, већ је приметно *светлија*
- овакав исход је последица Фехнеровог (или Стивенсовог) закона
 - наиме, оба закона тврде да са порастом стимулације сензација не расте линеарно већ негативно убрзано, тј. као конвексна крива (логаритамска, по Фехнеру, или степена, по Стивенсу)
 - као што се показује увидом у графикон, одавде произилази да одређеној вредности стимулације на средини између две дате стимулације (ниске и високе) *не одговара* сензација на средини две одговарајуће сензације (црне и беле), већ сензација ближа *вишој* стимулацији
 - да би се добила сензација на средини, потребна је мешавина у којој је више црне а мање беле
 - таква мешавина се може постићи помоћу Максвелових дискова, мењајући угаону пропорцију заступљености беле и црне компоненте, тј. повећањем удела црне боје
- *пример 2:* мешање једне ахроматске и једне хроматске компоненте
 - *резултанта:* тамнија нијанса хроматске компоненте
 - на пр. мешањем жуте и црне добија се тамно-жута
- *пример 3:* мешање две хроматске компоненте
 - *резултанта:* хроматска међу-нијанса
 - на пр. мешањем плаве и зелене добија се плаво-зелена (тиркизна)

ПРАВИЛА МЕШАЊА БОЈА

- резултанта мешања две хроматске компоненте може се *предвидети* на диску боја
- опште правило мешања хроматских боја гласи: мешањем две компоненте добија се резултанта која на диску боја лежи приближно на спојној линији између њих
 - ово правило важи уз извесна ограничења у вези облика диска, који уствари није сасвим кружан, као што ћемо видети касније
- положај резултанте на диску зависи од интензитета две компоненте
 - ако су компоненте *једнаког* интензитета, резултанта се налази на средини њихове спојне линије
 - ако су компоненте *различитог* интензитета, резултанта је на спојној линији смештена ближе јачој компоненти, у складу са односом два интензитета
- *пример 1:* компоненте: зелена и плава једнаког интензитета
 - резултанта: плаво-зелена која се на диску боја налази на средини између две компоненте
- *пример 2:* компоненте: зелена и плава у односу 3:1

- резултанта: плаво-зелена која се на диску боја налази приближно три пута ближе зеленој него плавој компоненти
- често је резултанта *мање засићена* од обе компоненте, и то када је ближе незасићеном центру диска од компоненти
- важи следећи став: комбиновањем две компоненте у свим могућим односима генеришу се *све* боје које се на диску боја налазе на спојној линији *између* компоненти
 - *пример 3*: две компоненте смештене на супротним крајевима диска боја
 - *резултанта*: *ахроматска* нијанса (сива) у центру диска
 - овај резултат, тј. да се мешањем хроматских боја може добити ахроматска, је изненађујући
 - боје које мешањем генеришу сиву зову се **комплементарне** (допуњујуће)
 - постоје многи парови комплементарних боја, на пр. одређене нијансе плаве и жуте, црвене и зелене итд
 - напоменимо да ово не значи да ће *сваки* пар нијанси плаве и жуте бити комплементаран, већ само неки парови
 - парови комплементарних боја су примери *метамера*, тј. различитих *физичких* стимулација које се *опажају* као једнаке
 - *пример 4*: мешање три компоненте
 - црвена, плава и жута у истом износу (однос 1:1:1)
 - *резултанта*: незасићена црвена
 - мешање три компоненте може се свести на мешање две, наиме:
 - прво се утврди резултанта мешања две компоненте, тј. њено место на диску боја према горе описаном правилу
 - у примеру: плава и жута у једнаком износу дају сиву
 - затим се та резултанта третира као нова компонента (која одговара *збиру* прве две), која се комбинује са трећом компонентом, опет према горњем правилу
 - у примеру: сива и црвена, у односу 2:1 дају незасићену црвену
 - добијено место резултанте је *независно* од поретка комбиновања компоненти у предходној анализи
 - наиме, добија се исти резултат, независно од тога које две од три боје су у анализи изабране као прве две компоненте, а која као трећа
 - међутим, место резултанте *зависи* од износа компоненти
 - што је јача одређена компонента, резултанта је ближа њој на диску
- важи следећи став: комбиновањем три компоненте у свим могућим односима генеришу се *све* боје које се на диску налазе у *троуглу* кога чине компоненте
 - те три компоненте које генеришу остале боје називају се **примарне боје**
 - скуп боја које се могу генерисати на основу три дате компоненте зависи од конкретног избора тих трију примарних боја, а ту постоје више могућности:
 - што су компоненте међусобно удаљеније на кругу, троугао резултантних боја има све већу површину
 - ако су три компоненте сличног квалитета, са њима се може направити само мали скуп резултанти

- ако су две од три компоненте комплементарне, скуп могућих резултанти се ограничава на боје само са једне стране пречника круга који спаја комплементарни пар
- на основу резултата експеримената са мешањем боја закључује се да се погодним избором трију примарних боја могу мешањем генерисати *сви квалитети* боја са круга боја
 - наиме, комплетан круг боја ће тада бити садржан у оквиру троугла кога чине компоненте
- дакле, *сви* квалитети боја могу се добити помоћу само *три* примарне боје
 - међутим, важно ограничење је да се на основу три примарне боје *не могу* генерисати све могуће *засићености* свих квалитета (будући да су најзасићеније боје на ободу диска)
- правилности мешања боја и сродне проблеме испитује дисциплина названа *колориметрија*
- основни оглед који се користи у колориметрији има следећу форму:
 - субјекту је приказано дводелно округло поље на тамној позадини
 - у левој половини поља (полукруг А) приказана је *тест боја* одређене таласне дужине λ
 - у десној половини поља (полукруг В) приказана је *мешавина* три примарне боје, чије су таласне дужине, на пр, $\lambda_1 = 450$ нм, $\lambda_2 = 550$ нм, $\lambda_3 = 700$ нм
 - задатак субјекта је да одреди износе *интензитета* примарних боја (I_1, I_2, I_3) који су потребни да би њихова мешавина изгледала *једнако* као тест боја
 - другим речима, субјект треба да помеша примарне боје тако да добије боју која потпуно репродукује тест боју
 - на пр. жуту тест боју субјекти репродукују тако да комбинују одређене износе црвене и зелене примарне боје, док плаву примарну боју остављају на нули
- резултат овог огледа има одређену математичку форму
 - та форма гласи: $\lambda = I_1 * \lambda_1 + I_2 * \lambda_2 + I_3 * \lambda_3$
 - ово је алгебарска једначина, и показало се да су алгебарска правила веома подобна да опишу резултате оваквих огледа
 - у колориметрији се користе и многи сложенији математички поступци
- извесна компликација у овом поступку се састоји у томе да понекад ниједна мешавина примарних боја није довољно засићена да би верно репродуковала тест боју
 - у таквим случајевима врши се додавање једне од примарних боја *тест боји*, (поље А) да је учини мање засићеном, тако да лево и десно поље ипак изгледају идентично
 - математички одраз овакве манипулације је промена предзнака интензитета одговарајуће примарне боје, који се у оваквим случајевима узима као *негативан*
- кључни резултат колориметријских огледа је да су *три* примарне боје и нужне и довољне да би се репродуковали сви квалитети боја
 - наиме, коришћење само *две* примарне боје је недовољно да би се репродуковали сви квалитети, тј. нужно је да их има више од две
 - с друге стране, коришћење *четири* примарне боје је непотребно, тј. довољно је да их има мање

- диск боја који се користи у научној и техничкој пракси, добијен на основу колориметријских огледа, није кружан већ је фигура *потковичастог* облика, са једном испупченом облом ивицом и једном равном ивицом
 - испупчени део контуре одговара *спектралним* бојама
 - праволинијски део контуре одговара *екстраспектралним* бојама
 - близу средине фигуре налази се *ахроматска тачка*, која одговара незасићеној сивој
 - на оваквој фигури могу се назначити места која одговарају *примарним бојама* ТВ или компјутерских екрана
 - постоје многе могуће тројке примарних боја, али се већином користе одређене нијансе црвене, плаве, и зелене
 - њихов избор у пракси зависи од техничких карактеристика материја које генеришу боје у екранима (одређених фосфора)
 - све боје које се могу генерисати на екранима налазе се у одговарајућем троуглу
 - распон боја које се на овај начин могу генерисати је ужи него распон боја у природи, али је сасвим задовољавајући за практичне примене
 - ова потковичаста фигура може служити за предвиђање боја које настају на основу било каквих комбинација таласних дужина

ВРСТЕ МЕШАЊА БОЈА

- постоје две врсте мешања боја, *адитивно* и *суптрактивно*
- једна врста се односи на мешање *светлости* на мрежњачи, а назива се *природно* или *адитивно*
 - назив *адитивно* ('сабирајуће') долази од тога што се при оваквом мешању ефект једне врсте зрака *додаје* на ефект друге врсте зрака
 - овакво мешање користи се код ТВ и компјутерских екрана, код којих су примарне боје плава, црвена и зелена
 - сва до сада описана правила односе се на адитивно мешање
- друга врста мешања односи се на мешање *пигментата* (фарби) на површини предмета, а назива се *сликарско* или *суптрактивно*
 - назив *суптрактивно* ('одузимајуће') потиче од тога што пигменти делом одбијају зраке али делом их и упијају
 - овакво мешање користи се за штампу у боји, а као примарне боје обично се користе жута, магента (нијанса љубичасте) и цијан (нијанса плаво-зелене)
- резултати мешања фарби се делимично разликују од резултата мешања светлости, због делимично различите физичке ситуациј
- на пр, адитивно мешање одређених нијанси плаве и жуте монохроматске *светлости* може да генерише ахроматску *сиву*, али суптрактивно мешање одговарајућих *пигментата*, који одбијају зраке многих таласних дужина, може дати *зелену*, што се објашњава на следећи начин:
 - плави пигмент већином рефлектује зраке краћих таласних дужина (плаве нијансе) и делимично средњих таласних дужина (зелене нијансе) а апсорбује зраке дужих таласних дужина (жуте нијансе)

- с друге стране, жути пигмент већином рефлектује зраке дужих таласних дужина (жуте нијансе) и делимично средњих дужина (зелене нијансе), а апсорбује зраке краћих дужина (плаве нијансе)
- стога ће мешавина плавог и жутог пигмената одбијати већином зраке *средњих* таласних дужина (које оба пигмента делимично одбијају), а остале упијати (јер један упија кратке таласе а други дуже)
- зраци средњих таласних дужина опажају се као *зелени*

ФЕНОМЕНИ ОПАЖАЊА БОЈА

- извесни феномени опажања боја показују да боја коју видимо на некој површини не зависи само од таласних дужина светлости која са те површине тренутно доспева у наше око, већ и од других чиниоца
- једна група таквих феномена су ефекти *просторног контекста*, који показују да *околина* неке обојене површине може имати утицај на њен изглед
 - ови феномени се састоје у томе да се физички идентична површина окружена различитим позадинама опажа у другачијој боји
- први пример утицаја просторног контекста је ефект **симултаноног контраста**
 - на пр. идентична наранџаста површина окружена светлијом, жутом бојом, опажа се као тамнија, а окружена тамнијом, црвеном бојом опажа се као светлија
 - каже се да површина *контрастира* са позадином, тј опажа се *различитом* од ње
 - сматра се да делимично објашњење овог феномена лежи у антагонистичкој структури рецептивних поља ћелија мрежњаче, слично као код Махових трака
 - наиме, центар рецептивног поља ганглијске ћелије биће једнако активирајући у ова два случаја, али ће дејство околине бити различито, и вршиће већу инхибицију у случају светлијег контекста, смањујући укупни сигнал, што доводи до тамнијег опажања
 - међутим, бројни експерименти показују да ово објашњење није потпуно, и да у овом феномену постоје и утицаји касније обраде у кортексу
- други пример утицаја просторног контекста је ефект **асимилације**
 - на пр. идентичне плаво-зелене траке опажају се као више плавичасте ако су прошаране љубичастим тракама, а као више зеленкасте ако су прошаране жуто-зеленим тракама
 - у овом случају опажена боја не контрастира са позадином већ се *асимилије* са њом, тј. постаје јој опажајно *сличнија*
 - вероватно објашњење овог феномена лежи у утицају ћелија са *већим* рецептивним пољима, које комбинују сигнале који потичу из више различито обојених суседних трака у стимулусу
- друга врста феномена је **сукцесивни контраст**
 - ту се ради о *накнадном ефекту* који настаје након дуготрајнијег (на пр. до 20-30 секунди) фиксирања једне обојене површине
 - пример 1: након уклањања површине плаве боје и замене белом позадином, извесно време опажаћ се жута боја, комплементарна плавој

- та је боја слична боји коју изазивају стварно жути објекти, али је утисак краткотрајан и брзо бледи
- пример 2: истовремено опажање више комплементарних боја
- касније ћемо навести објашњење овог ефекта

ФИЗИОЛОГИЈА БОЈА: ТЕОРИЈЕ

- у 19. веку формулисане су две веома утицајне теорије физиолошких основа опажања боја, које су доминирале истраживањима током 20ог века, а то су Јанг-Хелмхолцова и Херингова теорија
 - обе теорије односе се на структуре и процесе у *рецепторима*, али се разликују у претпостављеној реакцији рецептора на светлост
 - обе теорије тврде да се боје опажају услед активности само неколико типова ћелија са различитом осетљивошћу за светлост, чијом комбинованом активношћу настаје опажање великог броја нијанси боја
 - савремена истраживања су показала да су, иако у оригиналном облику директно супротстављене, ипак обе теорије делимично у праву
- *Јанг-Хелмхолцова* теорија се везује за имена *Јанга*, који је један од првих истраживача који ју је поставио, и *Хелмхолца*, који ју је детаљно разрадио и популарисао
- у најкраћем, опажање боја се према овој теорији одвија тако што:
 - постоји одређена *физичка* стимулација, тј. светлост која се састоји од одређене комбинације различитих таласних дужина у различитим износима
 - светлост има за последицу одговарајућу *физиолошку* реакцију, тј. активира фоторецепторе
 - активација фоторецептора, у различитим односима, одговара одређеним *свесним* доживљајима, тј. опажању различитих боја
- ова теорија полази од психофизичких налаза о мешању боја, наиме да се све боје могу генерисати на основу само *три* боје
- на основу ових налаза претпостављено је да физиолошку основу опажања боја чини активност *три* врсте фоторецептора (чепића) у мрежњачи
 - активност чепића при стимулацији светлосћу зависи од њихове *спектралне осетљивости*
 - спектрална осетљивост чепића се односи на начин како њихова активација зависи од *таласне дужине* светлости
- према овој теорији, сви чепићи реагују на *све* таласне дужине светлости, али не истом јачином, већ са порастом таласне дужине њихова активација прво расте а затим опада
- чепићи се разликују по *максималној осетљивости*, тј. таласној дужини на коју најјаче реагују
 - 'плави' рецептори (означени са 'В' према енглеској речи 'blue' за плаво) су најосетљивији за зраке краћих таласних дужина (и стога се такође означавају са 'S', по речи 'short = кратко')
 - за пример ћемо претпоставити да је то таласна дужина од 450 nm
 - 'зелени' рецептори ('G' према 'green') су најосетљивији за зраке средњих таласних дужина (па се означавају и са 'M' према енглеском 'medium' = средње)
 - за пример ћемо претпоставити да је то таласна дужина од 550 nm

- 'црвени' рецептори ('R' према 'red') су најосетљивији за зраке дужих таласних дужина (па се означавају и са 'L', према енглеском 'long' = дуго)
 - за пример ћемо претпоставити да је то таласна дужина од 650 нм
 - све таласне дужине у примерима су приближне и служе само као илустрација
- приказаћемо више илустративних примера утицаја светлости једнаке јачине а различитих таласних дужина на три врсте фоторецептора, према Јанг-Хелмхолцовој теорији:
 - (а) стимулус: 450 нм
 - физиолошка активација: В јако активира, G и R су слабо активирани
 - опажај: види се плава боја
 - (б) стимулус: 500 нм
 - физиолошка активација: В и G су једнако јако активирани, R је слабо активира
 - опажај: види се плаво-зелена боја
 - (ц) стимулус: 550 нм
 - физиолошка активација: G јако активира, В и R су слабо активирани
 - опажај: види се зелена боја
 - (д) стимулус: 600 нм
 - физиолошка активација: В слабо активира, G и R су једнако јако активирани
 - опажај: види се жута боја
 - (е) стимулус: 650 нм
 - физиолошка активација: В и G су слабо активирани, R је јако активира
 - опажај: види се црвена боја
 - (ф) стимулус: а+ц, тј. комбинација зрака од 450 нм и 550 нм
 - физиолошка активација:
 - ефект зрака од 450нм: В јако активира, G и R су слабо активирани
 - ефект зрака од 550нм: G јако активира, В и R су слабо активирани
 - заједнички ефект: ефекти се сабирају, тако да су, у суми, В и G једнако јако активирани, а R је слабо активира
 - треба уочити да се овде ради о истом типу крајњег ефекта на рецепторе као за стимулус од 500нм, тј горњи пример (б)
 - опажај: види се плаво-зелена боја, исто као за 500 нм
 - (г) стимулус: а+ц+е, тј. комбинација зрака од 450, 550 и 650 нм
 - физиолошка активација: услед дејства комбинације три зрака, и В и G и R су једнако јако активирани
 - опажај: ахроматска нијанса
 - јака активација: бело
 - средње јака активација: сиво
 - слаба активација: црно
 - (х) стимулус: а+д, тј. комбинација зрака од 450 и 600 нм

- *физиолошка активација:*
 - ефект зрака од 450nm: В јако активиран, G и R су слабо активирани
 - ефект зрака од 600nm: В слабо активиран, G и R су једнако јако активирани
 - услед дејства комбинације три зрака, и В и G и R су једнако јако активирани
 - *опажај: ахроматска* нијанса, ради се о комплементарном пару плаве и жуте боје
- *напомена:* што је јача светлост, то је јача реакција чепића
- треба уочити да исти фоторецептор може бити *једнако* активиран сасвим различитим таласним дужинама
 - на пр. G-рецептор ће бити једнако активиран слабом дражи од 550 nm (за коју је најосетљивији), средње јаком дражи од 500 или 600 nm (за које је средње осетљив), или јаком дражи од 450 или 650 nm (за које је слабо осетљив)
 - другим речима, активност *појединачног* фоторецептора не даје поуздану информацију о таласној дужини светлости којом је активиран
- опажање боја је засновано на *поређењу* реакција три чепића на исту светлосну стимулацију
- постојање метамера се објашњава тиме што *физички* различите дражи могу имати једнак *физиолошки* ефект, који се одражава у једнаком свесном *доживљају*
 - на пр. зелена трава, црвени парадајз или жута банана у природи рефлектују сасвим различите комбинације светлости него њихове слике на ТВ екрану, али изгледају веома слично по боји
- накнадни ефекти боја (на пр. зашто се после дужег опажања плаве накнадно види баш жута) могу се објаснити променама у активности фоторецептора
 - наиме, услед дуготрајног гледања *плаве*, В-рецептор, који на њу највише реагује, постаје 'заморен' дуготрајном активацијом, тј. има краткотрајно снижену активност (адаптира се)
 - услед тога В-рецептор накнадно на белу светлост привремено реагује мање него G и R
 - исход посматрања беле површине је да су G и R јаче активирани, а В слабије, а то је управо горе описан случај када се опажа *жута* (пример д)!
 - после кратког времена В-чепић се опоравља, и стога накнадна слика нестаје
 - уочимо опет како *различите* физичке стимулације (директно излагање жутој и накнадни ефект плаве) могу довести до *исте* физиолошке реакције, која доводи до истог опажаја
- ова теорија на елегантан начин објашњава која се боја види као накнадни ефект, на основу Јанг-Хелмхолцове теорије и једноставног принципа адаптације
- *Херингова теорија* полази од неких феноменолошких података, и он упућује више замерки Хелмхолцовој теорији, тврдећи да она није у складу са извесним особинама опажених боја
 - по Хелмхолцовој теорији, црна боја одговара слабој или никаквој активацији свих рецептора
 - *али:* неангажованост би била *невиђење*, а црно није исто што и невиђење, већ је позитиван доживљај

- по Хелмхолцовой теорији, опажање жутог се заснива на једнакој активности рецептора за црвено и зелено
 - али: жута боја се *не опажа* као мешавина црвене и зелене, већ као посебна, основна боја
- по Хелмхолцовой теорији, постоје три врсте чепића
 - *али*: зашто онда постоје четири основне боје?
- Херинг истиче да неке боје имају опажајне мешавине, а друге их немају и међусобно се искључују, али да Хелмхолцова теорија не може да објасни те чињенице
 - на пр. плава и зелена имају опажајну мешавину, а то је плаво-зелена, затим, црвена и плава се мешају дајући љубичасту, итд
 - међутим црвена и зелена се међусобно искључују, тј. *не постоји* црвено-зелена боја, нити плаво-жута
- по Херинговој теорији, постоје три врсте рецептора за боје, али другачијих особина него оне које је претпоставио Хелмхолц
 - наиме сваки тип рецептора је задужен за један *пар супротних (опонентних) боја, тако да постоје*:
 - рецептори за црвену и зелену (RG)
 - рецептори за жуту и плаву (BY), при чему се Y односи на жуту (yellow)
 - рецептори за црну и белу (BkW), при чему се ова ознака односи на црно-бело (Black-White)
 - исти рецептор може да изазове опажање две супротне боје, на тај начин што се у њему одвијају хемијски процеси који су *антагонистички* одн. *опонентни* тј. међусобно су супротстављени
 - наиме, по Херингу се једна боја у пару заснива на *анаболичким* процесима (то су процеси синтезе, тј. изградње), а друга на *катаболичким* процесима (то су процеси анализе, тј. разградње)
 - активношћу ових рецептора Херинг објашњава постојање 4 основне хроматске боје и две ахроматске (бела и црна)
- Херингова теорија има одређене предности над Хелмхолцовом, будући да може да објасни неке феноменолошке податке које Хелмхолцова теорија не може да објасни, на пр.:
 - црно није последица неактивности већ активности рецептора (за BkW)
 - жута не настаје комбинованом активношћу црвеног и зеленог рецептора, већ као последица посебног процеса у BY рецепторима
 - црвена и зелена боја, као и жута и плава боја, међусобно су супротстављене и не могу правити опажајне мешавине, зато што се у поједином рецептору не могу истовремено одвијати два хемијски супротстављена (опонентна) процеса
 - опажајне мешавине боја које нису међусобно супротстављене, добијају се тако што су истовремено активна два рецептора
 - на пр., плаво-зелена боја настаје тако што су истовремено активни BY рецептор (генерише плаву) и RG рецептор (генерише зелену)
- један феноменолошки проблем за Херингову теорију је постојање *сивих* нијанси, које се опажају као мешавине црне и беле, иако би та два процеса у BkW рецепторима требало да буду антагонистичка

- у два сасвим различита типа истраживања испитивано је присуство четирију Херингових основних боја за различите спектралне боје (дужина од 400нм, 410нм, 420нм, итд до 700нм)
- у једном типу истраживања од субјеката се тражило да присуство основних боја изразе у процентуалном облику
 - на пр., субјект одређену наранџасту боју описује да садржи 70% жуте и 30% црвене
- исход је да субјекти скоро све спектралне боје описују као мешавину две од четири основне боје, складу са Херинговом теоријом
 - притом се црвена описује као присутна на оба краја спектра
- у другом типу истраживања истраживачи Лео Хурвич и Доротеја Џемисон су од субјеката тражили да датој спектралној боји додају онолику количину одређене *основне* боје која је потребна да се у опажају те спектралне боје *изгуби* примеса њој комплементарне основне боје
 - на пр., присуство *жуте* нијансе код спектралних боја различитих таласних дужина мерено је количином *плаве* додате тим спектралним бојама, која је била потребна да се *уклони* опажај црвене (будући да је плава комплементарна жутој, и са њом гради сиву, тј. уклања 'жутост')
 - оваквим поступком је квантитативно утврђен степен присуства 'жутости' код дужих таласних дужина, али не и код краћих, који у опажају не садрже примесе жуте
 - на исти начин је измерено присуство осталих Херингових основних боја дуж спектра, тј 'зелености' (количином додате црвене потребне да се уклони опажај зелене), 'црвености' (количином додате зелене) и 'плавости' (количином додате жуте)
 - графикон резултата истраживања показује присуство 4 основне боје дуж спектра и чињеницу да су парови боја опонентни, као што предвиђа Херингова теорија
 - наиме у подручјима где се опажа црвена не опажа се зелена, и обрнуто, а где се опажа плава не опажа се жута, и обрнуто
 - на местима где криве пресецају x-осу опажају се чисте боје (плава, зелена и жута)
 - на пр. чиста плава се опажа за таласну дужину на којој се не опажа ни црвена ни зелена
 - чиста црвена се не налази у спектру, а може се добити мешавином кратких и дугих таласних дужина
- савремена схватања се у великој мери ослањају на приступ Хурвича и Џемисонове из 1974 године, назван *теорија опонентних процеса*
 - ова и сличне савремене теорије представљају неку врсту помирења и оригиналне синтезе Хелмхолцове и Херингове теорије
- овакве теорије се називају *двослојне*, будући да претпостављају постојање два слоја неуралне обраде боја, за разлику од класичних теорија, које се баве само обрадом у рецепторима
- према двослојним теоријама, први слој обраде се одвија у чепићима, у складу са њиховом спектралном осетљивошћу, слично Хелмхолцовој теорији
 - њих Хурвич и Џемисонова обележавају са α , β , и γ , а то су В, G, и R чепићи

- други слој ћелија (то могу бити биполарне или ганглијске ћелије) чине неурони који бивају *ексцитирани* или *инхибирани* ћелијама првог слоја, и имају опонентне реакције, слично као у Херинговој теорији
- према овој теорији постоје следећи типови ћелија другог слоја:
 - ВУ: ћелије које инхибирају В-чепићи а ексцитирају G и R-чепићи (који заједно дају У)
 - RG: ћелије које ексцитирају R-чепићи и В-чепићи а инхибирају G-чепићи
 - у каснијим теоријама, ексцитација од стране В-чепића сматра се занемарљивом
 - WBк: ћелије које бивају ексцитиране од стране све три врсте чепића

САВРЕМЕНА ИСТРАЖИВАЊА

- последњих деценија истраживачи су успели да преброде бројне техничке проблеме и да, на више начина, директно утврде спектралну осетљивост различитих ћелија у мрежњачи, и да тако експериментално провере неке аспекте класичних теорија
- утврђено је да постоје три врсте чепића, свака са различитим фотопигментом, са особинама сличним, мада не идентичним, онима које је претпоставио Хелмхолц
 - у овим експериментима испитивана је спектрална осетљивост чепића, тј. како они реагују на зраке таласних дужина између 400 и 700 нм
 - утврђено је да је једна врста чепића (В) максимално осетљива за зраке од око 440 нм, друга (G) за зраке од око 535 нм, а трећа (R) за зраке од око 565 нм
- постоје и извесна одступања ових налаза од Хелмхолцових претпоставки:
 - В-чепића има око 10 пута мање него R- и G-чепића, и, слично штапићима, недостају у самом центру ока
 - В-чепићи су осетљиви само на краће таласне дужине, тј. од око 400 до око 550 нм, док су R и G-чепић осетљиви за све таласне дужине из спектра
 - криве спектралне осетљивости G- и R-чепића се у великој мери преклапају, а разлика у њиховој максималној осетљивости износи само око 30 нм
- у закључку, поредећи две класичне теорије, може се рећи да је на нивоу чепића, уз извесне модификације, Хелмхолц био у праву, а Херинг није
- међутим, утврђено је да такође постоје ћелије у визуелном систему које функционишу на начин сличан претпоставкама Херингове теорије
 - овакве ћелије се могу наћи у мрежњачи (то су хоризонталне ћелије, код неких животињских врста, а биполарне или ганглијске код других), а такође и на вишим нивоима визуелног система
 - у оваквим испитивањима прво се утврђује спонтана активност ћелија (на пр. фреквенца паљења у мраку), а затим њихова спектрална осетљивост
 - главни налаз је да постоје ћелије које неке таласне дужине *ексцитирају*, а друге их *инхибирају* (у поређењу са спонтаном активношћу)
 - овакве ћелије се описују као *хроматски опонентне*
 - у тој антагонистичкој (опонентној) реакцији на различите таласне дужине лежи сличност ових ћелија са ћелијама претпостављеним у Херинговој теорији
 - такви налази потичу још од краја педесетих година прошлог века, и инспирисали су теорију Хурвиче и Џемисонове

- нађени су следећи типови ћелија, од којих су неки хроматски опонентне, а други су хроматски неопонентни:
 - две групе ВУ ћелија
 - В+У-: ћелије које бивају активирани краћим таласним дужинама а инхибирани дужим
 - В-У+: ћелије које бивају инхибирани краћим таласним дужинама а активирани дужим
 - две групе RG ћелија
 - R+G-: ћелије које бивају активирани дугим таласним дужинама а инхибирани средњим и кратким
 - R-G+: ћелије које бивају инхибирани дугим таласним дужинама а активирани средњим и кратким
 - две групе хроматски не-опонентних ћелија
 - ћелије које бивају активирани свим таласним дужинама
 - ћелије које бивају инхибирани свим таласним дужинама
- сваки од ових шест типова ћелија има одговарајућу криву спектралне осетљивости, приказану графиконом
- графикони спектралних осетљивости ових ћелија могу се објаснити на основу спектралних осетљивости чепића и њиховим ексцитаторним и инхибиторним везама, у складу са теоријом опонентних процеса Хурвичи и Џемисонове
 - на пр., R+G- ћелија ће бити *ексцитирана* дугим таласним дужинама зато што код њих степен ексцитације R-чепићем надмашује степен инхибиције G-чепићем, а *инхибирана* средњим и краћим дужинама из обрнутог разлога
 - R-G+ ћелија ће имати обрнут профил осетљивости, из аналогних разлога
 - В+У- ћелија ће бити *ексцитирана* краћим таласним дужинама зато што за њих степен ексцитације В-чепића надмашује степен инхибиције од стране G- и R-чепића, а биће *инхибирана* средњим и краћим дужинама из обрнутог разлога
 - В-У+ ћелија има обрнут профил осетљивости
- напоменимо да се све ове реакције односе на ситуацију када је *цело* рецептивно поље ганглијске ћелије обасјано светлошћу одређене таласне дужине
- још један аспект неуралне обраде боја је *просторна* организација (подела на центар и периферију) рецептивних поља описаних визуелних ћелија
 - у ранијем опису структуре рецептивних поља говорили смо само о стимулацији *белом* светлошћу (ахроматске дражи), а сада ћемо дискусију проширити на светлости различите таласне дужине
- у субкортикалним визуелним зонама (мрежњача и ЛГН) велики број ћелија је и хроматски и просторно опонентан, наиме:
 - X-ћелије (одн. П-ћелије) у мрежњачи, а такође и парвоцелуларне ћелије у ЛГН-у, не само што имају *просторно* опонентно организована рецептивна поља (тј. имају центар и периферију), већ су она и *хроматски* опонентна
 - ово су ћелије RG типа, које постоје у описаним хроматски опонентним варијантама R+G- и R-G+, а оба типа имају и он и оф верзију, тако да их има укупно 4 врсте, наиме:
 - постоје два типа R+G- ћелија, и то оне код којих се R+ односи на центар а G- на периферију, и оне код којих је обрнуто, наиме:

- *он-ћелије*: центар је ексцитиран дужим таласима (R+) а периферија инхибирана средњим и краћим (G-)
 - *оф-ћелије*: центар је инхибиран средњим и краћим таласима (G-) а периферија ексцитирана дужим (R+)
 - такође постоје два одговарајућа типа R-G+ ћелија, тј. оне код којих је центар инхибиран дужим таласима а периферија ексцитирана средњим и краћим (оф-ћелије), и други тип код којих је обрнуто (он-ћелије)
 - све ове ћелије се називају хроматски *једно-опонентне* (једна група таласних дужина у центру опонира другој у периферији), за разлику од тзв. дво-опонентних ћелија, које ћемо касније описати, а које се налазе у кортексу
- новијим истраживањима је показано да у субкортикалним визуелним зонама такође постоји и изван број хроматски опонентних ћелија које *нису* просторно опонентне, тј немају поделу рецептивног поља на центар и периферију
 - то су W-ћелије (одн. K-ћелије) у мрежњачи, и кониоцелуларне ћелије у ЛГН-у
 - ово су ћелије ВУ типа, које постоје у описаним варијантама В+У- и В-У+
 - опонентне реакције на кратке таласе (В) и средње и дуге таласе (У) јављају се на *целом* рецептивном пољу оваквих ћелија
 - наиме, за разлику од свих осталих субкортикалних визуелних ћелија, код њих није ексцитација ограничена на центар а инхибиција на периферију, нити обрнуто
- најзад, у мрежњачи и ЛГНу постоје и *просторно* опонентне ћелије које нису *хроматски* опонентне
 - то су У-ћелије (одн. М-ћелије) у мрежњачи, и магноцелуларне ћелије у ЛГН-у
 - ове ћелије постоје у он и оф варијанти:
 - *он-ћелије*: сва три типа чепа (и тиме све таласне дужине), ексцитирају центар а инхибирају периферију
 - *оф-ћелије*: сва три типа чепа инхибирају центар а ексцитирају периферију
- у кортикалној зони V1 у блобовима нађене су хроматски *дво-опонентне ћелије*
 - постоје два типа ових ћелија, код којих у оба случаја *две* групе таласних дужина опонирају у центру, са обрнутом ситуацијом на периферији:
 - у првом типу центар је типа R+G- а периферија је типа R-G+
 - у другом типу ћелија је обрнуто, центар је типа R-G+, а периферија је типа R+G-
- у зони V1, хроматски осетљиве ћелије постоје и изван блобова (у интерблобу), и укључују просте, комплексне и хиперкомплексне ћелије
- зона V4 садржи ћелије посебно осетљиве за боје
 - губитак осетљивости за хроматске боје може настати као последица можданог удара, који вероватно оштећује зону V4
 - активација електродом одређене локације у V4 код пацијента доследно изазива опажање плаво-љубичасте
 - такође, приказивање плаво-љубичасте боје као стимулуса активира ту локацију у V4 (fMRI снимак)
 - овакви налази иду у прилог идеји Јоханеса Милера да је садржај свести одређен стањем мозга

ЕВОЛУЦИЈА И ГЕНЕТИКА БОЈА

- према теорији Кристине Лед-Френклин, током еволуције прво су се развили штапићи, а затим чепићи осетљиви за кратке и чепићи осетљиви за дуге таласне дужине
 - према савременим схватањима развитак две врсте чепића (дуготаласних и краткоталасних) се десио пре више стотина милиона година
- затим су се, по њеној теорији, из чепића за жуто мутацијом развили чепићи за црвено и за зелено
 - према савременим схватањима то се десило пре око 35 милиона година
- последњих година учињени су велики помаци у испитивању генетске основе опажања боја
 - утврђено је да се ген за В-чепић налази на хромозому бр. 7, док се гени за R и G-чепић налазе на X-хромозому, један до другог
 - жене имају два X-хромозома а мушкарци само један, чиме се објашњава већа подложност поремећајима опажања боја код мушкараца
 - наиме, код жена, ако је један ген дефектан, други одговарајући ген, на другом X-хромозому, може да преузме његову функцију, док код мушкараца ова могућност не постоји
 - услед овакве компензације, могуће је да женска особа има један исправан и један дефектан ген за R- или G-чепић, али да њено виђење боја буде нормално
 - може се десити да један син такве особе наследи исправан ген, а да други син наследи дефектан ген, и стога неки облик бојног слепила, иако мајка има нормално опажање боја

СЛЕПИЛА ЗА БОЈЕ

- један део људске популације има одређене сметње у опажању боја, које се групним именом називају *слепила за боје*
 - овај назив није сасвим примерен, будући да велика већина људи који имају ову врсту сметњи *разликују* боје, али слабије него људи са нормалним опажањем боја
- један од првих описа слепила за боје у историји потиче од британског хемичара Џона Далтона
 - стога стари назив за ове поремећаје гласи *далтонизмом*, а људи који пате од овог поремећаја се називају *далтонисти*
- није ретко да особе које имају неки облик слепила за боје не буду свесне да се њихово опажање боја разликује од опажања других људи
 - разлог је у основи у томе што нико од нас нема могућност да *директно* пореди своје опажаје са опажајима других људи
 - осим тога, ове особе могу рано у животу научити да именују боје предмета на исправан начин, иако оне саме не региструју нарочите разлике међу њима
 - будући да се не могу у пуној мери ослонити на разлике у бојама, њихове стратегије препознавање објеката се у већој мери ослањају на дискриминацију облика и светлина
 - из ових разлога није лако утврдити које боје овакве особе стварно виде, јер се не можемо у потпуности ослонити на њихове исказе

- један начин да се то ипак сазна је испитивање особа које имају слепило за боје само у *једном* оку, док је друго нормално, будући да таква особа може директно да пореди боје опажене једним и другим оком
- постоје разне варијанте оваквих поремећаја, од блажих, који се чешће јављају, до изразитих, који су знатно ређи
- слепила за боје су већином урођена, али могу бити и стечена (на пр. као последица можданог удара)
- као што смо поменули, постоји изразита полна разлика у подложности слепилима за боје, која се одражава у различитом проценту ових поремећаја у популацији
 - наиме, око 7-8% мушкараца показује неки облик слепила за боје (најчешће најблажи), док се то јавља само код око 0.5% жена
- понекад се слепила за боје јављају у знатно повећаном проценту у неким генетски врло изолованим заједницама, као на усамљеним острвима (на пр. пацифичко острво Пингелап) или у малим етничким групама (на пр. народ Самарићани)
- узроци слепила за боје су већином периферни, тј. ради се о поремећајима на нивоу мрежњаче, али могу бити и централни, тј. кортикалног порекла
- према једној савременој класификацији, *нормално* опажање боја, засновано на три врсте чепића, назива се *трихроматизам*, а различите категорије слепила за боје називају се *ахроматизам*, *монохроматизам*, *дихроматизам*, и *аномални трихроматизам*
- *ахроматизам* је најтежи облик слепила за боје
 - људи који пате од овог поремећаја уопште не разликују боје по квалитетима, већ опажају само црну, белу, и различите нијансе сиве
 - код ових људи у мрежњачама постоје само штапићи а чепићи не постоје, или постоје али не функционишу
 - познат је пример научника Кнута Нордбија, који је имао ахроматизам, а бавио се његовим истраживањем
 - овај поремећај је јако редак, и појављује се једном у неколико десетина хиљада људи (око 0.03%)
 - међутим, на острву Пингелап тучесталост ахроматизма је до 10%, из историјско-генетских разлога
- *монохроматизам* је појава да у чепићима постоји само *један* тип фотопигмената
 - оваква појава је код људи тако изузетно ретка да је веома слабо испитана
- *дихроматизам* је појава да у чепићима постоје само *две* врсте фотопигмената
 - зависно од тога који пигмент недостаје, постоје три облика дихроматизма
 - *протанопија* ('прво невиђење') је недостатак фотопигмента који се налази у R-чепићима
 - релативно скоро је утврђено да је управо овај поремећај имао Далтон, на основу анализе остатака његових очију, које је он завештао науци
 - *деутеранопија* ('друго невиђење') је недостатак фотопигмента који се налази у G-чепићима
 - *тританопија* ('треће невиђење') је недостатак фотопигмента који се налази у B-чепићима
- *аномални трихроматизам* се појављује у случајевима када у мрежњачи постоје три врсте фотопигмента, као и у нормалном опажању боја, али су они донекле различити од нормалних

- раније се сматрало да се у протанопији отежано опажа црвена, у деутеранопији зелена, а у тританопији плава, услед недостатка одговарајуће врсте чепића
- каснија истраживања су показала да је ситуација нешто другачија:
 - наике, није тачно да опажање црвене зависи само од R-чепића, зелене од G-чепића, а плаве од B-чепића
 - протанопија и деутеранопија су по симптомима слични поремећаји (што потиче од тога што G и R чепићи имају сличну спектралну осетљивост)
 - наике у оба случаја се отежано опажају и не разликују црвена и зелена, а у спектру се виде претежно жуте и плаве нијансе
 - у тританопији, која је знатно ређи поремећај, не разликују се плава и жута, а опажају се нијансе црвене и зелене
 - ген који одређује B-чепић се не налази на X-хромозому, и сходно томе код тританопије нема полних разлика, тј. у приближно једнаком броју се јављају код мушкараца и жена
- начин на који боје изгледају дихроматима може се, приближно, приказати компјутерски обрађеним фотографијама које симулирају недостатак једне од три врсте чепића
 - приказ за протанопе и деутеранопе је веома сличан, с тим што се мало тамније боје опажају за најдуже таласне дужине код протанопе (услед недостатка R-чепића), а за средње таласне дужине код деутеранопе (услед недостатка G-чепића)
- постоје различите методе тестирања слепила за боје код људи
- један начин клиничког испитивања је коришћење тзв. *Ишихариних таблица*, које садрже специјалне цртеже
 - то су слике које се састоје од великог броја обојених мрља, од којих неке граде одређене препознатљиве облике, на пр. бројеве или слова
 - међутим, ови облици се могу препознати само ако особа има нормално опажање боја, док особе са поремећајима те облике не могу да виде, или их виде само делимично, на основу разлика у светлинама
 - на пр., ако је број на цртежу приказан зеленим мрљама на позадини од црвених и жутих мрља, њега ће нормални трихромати, као и тританопи, лако препознати, док ће га протанопи и деутеранопи веома тешко разазнати
- за детаљнија испитивања користе се специјални апарати, као на пр. *аномалоскоп*
 - тај апарат је сличан уређајима који се користе у колориметријским испитивањима
 - као што је раније описано, уређај садржи дводелно поље које посматра субјект
 - у једној половини приказује се боја одређене таласне дужине, а задатак субјекта је да у другом делу поља репродукује исту боју, комбинујући три примарне боје
 - различита слепила за боје се манифестују различитим понашањима испитаника у овом задатку, наике:
 - *ахроматима* је довољна само једна (било која) примарна боја да репродукују било коју тест боју
 - разлог је да ахромати не разликују хроматске боје већ само светлине, које се под овим условима могу репродуковати манипулишући интензитет било које појединачне примарне боје

- *дихроматима* су потребне само две од три примарне боје да репродукују сваку тест боју
 - у овом задатку, различити типови дихромата (протанопи, деутеранопи, тританопи) се разликују по томе што користе различите интензитета примарних боја
- *аномалним трихроматима* потребне су све три примарне боје
 - у овом задатку често се користи *жута* као тест боја, коју је могуће репродуковати комбинујући примарну црвену и зелену у одређеном односу (без коришћења плаве)
 - аномални трихромати се одликују по томе што користе *различите* односе црвене и зелене него нормални трихромати
 - притом неки користе већи износ црвене а мањи зелене него нормални трихромати, док је код других обрнуто

ОПАЖАЊЕ БОЈА КОД ЖИВОТИЊА

- начин на који различите животиње опажају боје је само делимично упознат, делом и зато што постоји огроман број различитих животињских врста
- кључна чињеница је да немају све животиње три врсте чепића, као људи
- *ахромати* су животиње које немају чепиће у мрежњачи
 - то су неке рибе из дубоких делова мора, до којих допире мало светлости, и које у мрежњачи имају само штапиће
- *монохромати* имају само једну врсту чепића у мрежњачи, а у до сада утврђеним случајевима ради се чепићу осетљивом на дуге таласне дужине (R)
 - у ову групу спадају делфини, фоке, ракуни и неки други ноћни сисари
- *дихромати* имају две врсте чепића, један осетљив на дуге (R) а други на кратке (B) таласне дужине
 - у њих спада већина сисара (на пр. пси, мачке, итд)
- *трихромати* имају три врсте чепића
 - од сисара ту спадају само људи и неке врсте мајмуна
 - занимљиво је да код неких врста мајмуна постоје хроматске полне разлике, наиме мужјаци су дихромати а већина женки исте врсте су трихромати!
 - трихромати су, поред виших сисара, такође и тако различите врсте као што су златне рибице и пчеле, али њихова три чепића се по спектралној осетљивости донекле разликују од људских
 - пчеле региструју и таласне дужине краће од 400 нм, тј оне виде ултраљубичасту светлост, што им помаже у разликовању неких врста цвећа које људи не разликују
- неке животиње имају више од три врсте чепића, и стога вероватно врше бољу дискриминацију боја од људи
 - неке птице имају 4-5 врста чепића, а осим тога још и додатне хроматске филтере у оку (капљице обојеног уља)
 - неки ракови имају више од десет врсти чепића
 - после генетске интервенције над мишевима (који су нормално дихромати), они се понашају као трихромати!
- у принципу је могуће да животиње са бољом хроматском дискриминацијом такође *виде* и неке боје које људи не виде, али је тако нешто веома тешко доказати, а те боје је тешко замислити

ОПАЖАЊЕ ПРОСТОРА

ОПАЖАЊЕ ПРОСТОРА

- чуло вида нам даје информације о *простору*, које се односе на два аспекта:
 - геометријске карактеристике објеката: облик објекта, његова величина и оријентација (да ли је вертикалан, хоризонталан, или искошен)
 - расподела објеката у простору: правац у коме се објект налази у односу на нас, и удаљеност објеката од нас
- класични проблем у области опажања простора је опажање дубине, наиме:
 - спољашњи свет је *тродимензионалан* (3-Д)
 - три правца дефинишу положај сваке тачке: лево-десно, горе-доле, напред-назад
 - другим речима, положај било које тачке је одређен са три броја одн. са три ко-ординате
 - слика на мрежњачи је *дводимензионална* (2-Д)
 - мрежњача није равна него удубљена, али је слика на *површини* мрежњаче, нема трећу димензију
 - другим речима, положај било које тачке на мрежњачи могуће је одредити са две ко-ординате
 - упркос 2-Д пројекцији на мрежњачу, ми не *опажамо* свет као 2-Д него као 3-Д
- приликом пројекције на мрежњачу *губи* се једна од три просторне димензије: дубина
 - на пр., две тачке, А и Б, које су:
 - у истом *правцу* у односу на посматрача
 - на различитом *растојању* (дубини)
 - пројектују се у *исту* тачку П на мрежњачи
- проблем за психологију опажања је како се дубина 'изгубљена' у пројекцији ипак перципира, тј опажа у свести
- општи одговор на то питање је да се трећа димензија опажа на основу тзв. *показатеља* (знакова, индикатора) дубине
- показатељи дубине су одређени аспекти чулне стимулације и реакције организма
 - који *настају* као последица дубине, одн. удаљености објеката од посматрача
 - а који могу да послуже визуелном систему као *информација* (одн. показатељ) о постојању дубине
 - у наредном тексту у овој глави приказаћемо прво неколико подела показатеља дубине, затим њихов списак, а после тога детаљни опис и дискусију појединачних показатеља
- постоје (бар) три поделе показатеља дубине:
- 1. по пореклу информације, на мишићне и оптичке
 - *мишићни показатељи* односе се на сигнале из мишића ока (цилијарни мишићи и окуломоторни мишићи) који могу дати информацију о дубини
 - *оптички показатељи*: односе се на структуру пројектоване слике на мрежњачи која може дати информацију о дубини

- 2. по улози кретања, на статичке и динамичке показатеље
 - *статички показатељи*: они индикатори дубине код којих кретање нема улогу
 - *динамички показатељи*: они индикатори дубине код којих се информација о дубини добија на основу кретања
- 3. по учешћу једног или оба ока, на монокуларне и бинокуларне
 - *бинокуларни показатељи*: они индикатори дубине за које је неопходно комбиновање информације из оба ока
 - *монокуларни показатељи*: они индикатори дубине за које је довољно и само једно око, тј није нужно комбиновати информације из оба ока
- главни показатељи дубине су следећи:
- *монокуларни показатељи*, којих има две врсте
 - *мишићни*:
 - акомодација (информација из цилијарног мишића)
 - *оптички*: постоје две групе
 - *статички оптички показатељи* названи *пикторијални* или *сликарски* показатељи, јер се користе за опажање дубине на сликама
 - величина слика на мрежњачи
 - маскирање
 - перспектива (три врсте)
 - сенке (две врсте)
 - *динамички оптички показатељи*
 - паралакс кретања
- *бинокуларни показатељи*, којих има две врсте
 - *мишићни*
 - конвенгенција (информација из окуломоторних мишића)
 - *оптички*
 - диспаратне слике

МОНОКУЛАРНИ ПОКАЗАТЕЉИ ДУБИНЕ

- акомодација очног сочива
 - као што знамо, што је неки објект више (мање) удаљен, то је сочиво више (мање) издужено, а цилијарни мишић је мање (више) затегнут
 - из овога следи да степен затегнутости мишића *корелира* са удаљеношћу, и стога може служити приликом опажања као *показатељ* удаљености
 - ова информација је у принципу искористива за удаљености до неколико метара, јер за веће даљине сочиво не мења много своју закривљеност
 - питање које се поставља је да ли посматрачи приликом опажања заиста *користе* степен затегнутости мишића као показатељ дубине
 - више истраживача је покушало да да одговор на ово питање
 - *Вунт* је вршио оглед у коме су посматрачи кроз цев гледали конач
 - удаљеност конач је мењана док посматрачи нису гледали, а задатак испитаника је био да процене да ли се конач приближио или удаљио
 - посматрачи су под одређеним условима успевали да исправно опаже промену удаљености

- Вунт је сматрао да је једини могући показатељ дубине у овом огледу била акомодација сочива
 - *Хилебранд* је критиковао Вунтов закључак, указујући да су испитаници могли процењивати промену удаљености и на основу других чиниоца, а не на основу акомодације
 - на пр. они су можда могли да уоче промену у дебљини пројекције конца након удаљавања или приближавања
 - Хилебранд је вршио оглед где је уместо конца коришћен картон који је покривао пола отвора цеви, тако да испитаници нису могли да користе информацију о дебљини
 - у овом огледу испитаници нису били много успешни у процени удаљености, и стога он закључује да акомодација не игра важну улогу у опажању дубине
 - *Бурдон* је користио светли диск у тамној соби на различитим удаљеностима од испитаника, при чему је пречник диска повећавао са удаљеношћу, тако да је слика на мрежњачи имала константну величину
 - у овом огледу испитаници су врло лоше процењивали дубину
 - *Апер* је користио модификацију Вунтовог огледа и закључио да се акомодација користи, али уз конвергенцију (бинокуларни фактор који ћемо касније размотрити)
 - *Максим Апер* је био зачетник експерименталне психологије у Србији, а поменути експеримент је био део његовог доктората код Вунта, године 1896.
- величина слике на мрежњачи
 - према законима геометрије и оптике, што је објект удаљенији од посматрача, то је његова пројекција на мрежњачи мања
 - будући да величина пројекције на мрежњачи *корелира* са удаљеношћу, она може да представља *показатељ* удаљености
 - од два једнака објекта, онај ближи имаће већу пројекцију на мрежњачи
 - питање које се поставља је да ли посматрачи заиста *користе* величину слике на мрежњачи као показатељ дубине
 - овим се проблемом бавио Ителсон (експеримент бр. 1)
 - он је поставио експерименталну ситуацију у којој је испитаник требало да процени удаљеност две карте за играње
 - једна карта је била велика а друга мала, а биле су на једнаком одстојању од посматрача
 - експеримент је изведен под контролисаним лабораторијским условима, тако да су стимулуси приказани као светли објекти у мрачној соби, и то за кратко време, да би се онемогућио могући утицај других показатеља дубине
 - под оваквим условима, испитаници су опажали да су карте једнаке величине, али да је већа ближа а мања даља
 - Ителсон је закључио да је величина слике на мрежњачи пресудни чинилац који је утицао на опажање разлике у удаљености две карте

- напомнимо да у нормалним условима опажања (светла соба, дуже време посматрања) испитаници у овој ситуацији без тешкоћа исправно опажају и величину и удаљеност објеката, зато што тада делују и други показатељи дубине
- Ителсонов оглед крши услов за поузданост показатеља величине слике на мрежњачи: да објекти *исте* величине буду на разним удаљеностима
 - наиме, у Ителсоновом експерименту су коришћени објекти различите величине (играће карте) који обично имају једну једину величину, и код којих стога величина слике на мрежњачи заиста корелира са удаљеношћу
 - ако се користе објекти *различите* величине, онда се може десити да они имају исте или сличне пројекције на мрежњачу, ако се налазе на различитој удаљености од посматрача
- маскирање (прекривање)
 - ако су два објекта смештена на сличном правцу у односу на посматрача, онда ће ближи објект деломично визуелно *маскирати* (прекривати) даљи, тј. ближи ће се објект видети у целости, а даљи се делом неће видети јер че га ближи заклањати
 - одавде следи да ако се опази да један објект маскира други, то значи да је први објект ближи а други даљи, те је на тај начин маскирање показатељ релативне удаљености два објекта од посматрача
 - на који начин посматрач може да утврди који од два објекта је прекривен, а који је прекривајући?
 - један извор ове информације може бити претходно знање о облицима објеката, али се прекривеност може регистровати и на основу чисто геометријских чинилаца
 - један геометријски чинилац је тзв. *T-спој*
 - то је једноставан геометријски склоп који се састоји од две линије које чине конфигурацију сличне слову Т, у различитим оријентацијама и угловима између две линије
 - овакве конфигурације се јављају на местима на којима се сустичу контуре маскирајућег и маскираног објекта
 - једна од те две линије (она која чини врх слова Т) је континуирана, а друга (она која чини основу слова Т) је прекинута првом
 - проста геометријска анализа указује да се прекривајући одн. ближи објект налази са једне стране континуиране линије а прекривени одн. даљи са друге стране, где је прекинута линија
 - овакве анализе се користе приликом машинског препознавања објеката и визуелних сцена
 - Т-спојеви се могу лако уочити на фотографијама и сликама (још из праисторије) и децјим цртежима
 - ово наравно не значи да праисторијски људи и деца *свесно* користе овај показатељ приликом цртања, да би предочили дубину
 - питање које се поставља је да ли посматрачи заиста *користе* прекривање као показатељ дубине
 - и овим се проблемом бавио Ителсон (експеримент бр. 2)

- он је и у овом случају поставио експерименталну ситуацију у којој је испитаник требало да процени удаљеност две карте за играње
 - једна карта је била велика а друга мала, и биле су на једнаком одстојању од посматрача, али је мања била усечена у велику, као да је прекрива
 - оглед је изведен под истим контролисаним условима као први Ителсонов експеримент
 - под оваквим условима, испитаници су опажали да је мања карта ближа од веће, одн. да је 'прекривајућа' карта ближа од 'прекривене'
 - Ителсон закључује да се прекривање користи као показатељ дубине, и да је он *јачи* од величине слике на мрежњачи
 - наиме, у овом случају предмет који има мању слику опажа се као ближи од предмета који има већу слику
 - то је обрнута ситуација него у случају деловања величине слике на мрежњачи
 - сликари понекад користе прекривање да би приказали парадоксалне и противречне сцене (Рене Магрит)
 - Перспектива
 - Леонардо да Винчи описује три врсте перспективе које сликари треба да узму у обзир приликом реалистичних приказа 3-Д сцена на 2-Д платну
 - то су линеарна перспектива, перспектива детаља, и ваздушна перспектива
 - (1). *Линеарна перспектива*
 - то је скуп геометријско-оптичких законитости према којима се 3-Д сцене путем зракова пројекције пројектују из центра пројекције на 2-Д слике
 - у складу са законима линеарне перспективе:
 - настају слике у фотоапарату
 - утврђена су правила која користе сликари реалистичних слика
 - формулисана су једначине које се употребљавају за конструкцију сцена путем компјутерске графике (које се користе у видео играма)
 - једна карактеристична особина слика насталих у складу са законима перспективе је следећа:
 - пројекције међусобно *паралелних* правих у сцени *теже* (конвергирају ка) такозваној тачки недогледа на слици
 - стога је конвергенција правих на слици показатељ дубине
 - постоје бројни примери конвергенције правих на сликама и фотографијама
 - сликарска правила линеарне перспективе утврђена су у 15. веку
 - прву (сачувану) уметничку слику изведену у складу са линеарном перспективом насликао је Мазачо, 1428 год
 - једна од најпознатијих слика које користе линеарну перспективу је Леонардова *Тајна вечера* (око 1496 год.)
 - један други пример је осликани свод цркве Св. Игњација (Поцо, око 1690 г.)

- има многих примера да сликари не користе тачку недогледа (на пр., Лоренцети, 1332 г.)
- не морају конвергентне праве на слици *увек* бити пројекције паралелних правих у сцени, већ могу бити и пројекције стварно конвергентних правих!
 - један такав пример користи Рене Магрит
 - у примеру, један пар конвергентних линија на слици заиста приказује две паралелне праве у сцени, али други, веома сличан пар, приказује две вертикалне конвергентне линије у сцени
- перспективна конструкција може да служи за приказивање парадоксалних и противречних сцена (слика Јос де Мај-а)
- постоје посебно конструисане криве собе, које је дизајнирао Ејмс (Ames), које упечатљиво приказују утицај прспективе на опажање величине
 - овакве собе личе, из одређеног угла посматрања, на обичне правоугаоне просторе, али уствари имају неправоугаоне (трапезасте) стране и нагнуте подове
 - стога је у оваквим собама опажање величине знатно искривљено
- присуство перспективе може да утиче на опажање *величине* на сликама и цртежима
 - наине, објекти једнаке величине на слици могу да се опазе као различити, ако су приказани као да се налазе на различитим удаљеностима у сцени
 - тада објект који је приказан као даљи изгледа већи, а једнакост се може боље уочити тек ако су објекти приказани ван перспективног контекста
- понекад сликари не приказују перспективна скраћења на одговарајући начин
- ако показатељи дубине недостају на слици, дубина ће се погрешно опазити
 - наине, фигуре које се додирују (или су близу) на слици, опазиле се као блиске у простору
- (2) *перспектива детаља*
 - на удаљенијим предметима може се разазнати мање детаља
 - стога је оштрина детаља показатељ удаљности
 - одговарајући савет сликарима је да удаљеније предмете треба сликати мање оштро, да би се реалистичније предочила дубина
- (3) *перспектива боја* одн. *ваздушна перспектива*
 - врло далеки објекти попримају плаво-љубичасте нијансе, услед присуства све дебљег слоја ваздуха између објекта и посматрача
 - из истог разлога, врло удаљене боје показују слабије контрасте
 - одговарајући савет сликарима је да врло удаљене предмете треба сликати у плаво-љубичастим нијансама и са мање контраста
- некад сликари не узимају у обзир наведене три врсте перспективе при приказивању просторних сцена

- Градијенти густине
 - *Демс Гибсон* је указао на важност, за опажање дубине, једне геометријске чињенице која је сродна величини слике на мрежњачи и линеарној перспективи
 - то је чињеница да пројекције предмета сличне величине и облика са удаљеношћу постају *гушће*
 - наиме, оне се правилно *смањују* и међусобно *приближавају*
 - стога *градијент густине* (а то је степен промене густине) одражава, и тиме бива показатељ, *удаљености* делова сцене дуж равни земље
 - има много примера градијента густине

- Сенке и сенчење
 - две врсте сенки доприносе опажању дубине, бачене и везане
 - *бачене сенке* су оне које осветљени објект баца на позадину
 - *везане сенке* одн. *сенчење* се налазе на самом објекту, а јављају се зато што осветљеност објекта зависи од угла под којим светлост пада на њега
 - *бачена сенка* зависи од међусобног односа извора светлости, објекта који баца сенку, и позадине
 - стога бачена сенка носи информацију о положају објекта у односу на позадину
 - на пр., ако се сенка наставља на објект, објект се опажа као да стоји директно на позадини
 - ако је сенка одвојена од објекта, објект се опажа као да се налази на извесној висини изнад позадине
 - *везана сенка* зависи од међусобног односа извора светлости и 3-Д облика осветљеног објекта
 - зато везана сенка (одн. *сенчење*) даје информацију о рељефности (3-Д облику) објекта
 - наиме, *најјаче* осветлење је онде где светлост пада *управно* на објект, а што светлост пада *косије*, то је осветлење *слабије*
 - варирање осветлења *зависи* од рељефа одн. 3-Д облика објекта, и тиме нас *информише* о рељефу
 - сликари користе сенчење за реалистични приказ рељефности објеката
 - Леонардо да Винчи је изучавао физичке узроке сенчења и добијене увиде користио у својим цртежима
 - на Микеланђеловим цртежима се види како осенчени део изгледа знатно *рељефније* (пластичније) од неосенченог дела
 - сенчење није одређено *једнозначно* рељефом објекта, већ зависи и од правца осветлења
 - наиме, као што се види из примера са осветљеном избочином и удубљењем, исти објект под различитим осветљењем добија различито сенчење

- такође, различити објекти под различитим осветљењем могу добити *исто* сенчење
 - ако се слика осенченог објекта обрне, углавном се опажа обрнут објект (оно што је у оригиналној слици доле, у обрнутој слици се опажа као горе, и обрнуто)
 - међутим, у неким случајевима објект на обрнутој слици се не опажа као обрнут већ као просторно изврнут (оно што је у оригиналу испупчено на обрнутој слици се опажа се као удубљено, и обрнуто)
- паралакс кретања ('оптички ток')
 - *динамички* показатељ дубине, који настаје као ефекат кретања *посматрача*
 - наине, кретање посматрача изазива *привидно* кретање објеката у визуелном пољу, као последица кретања *пројекција* објеката преко мрежњаче
 - ако се посматрач креће *унапред* (на пр. као пилот приликом слетања авиона), дешава се *радијално струјање*
 - наине, тачка у коју посматрач гледа мирује на мрежњачи, а слике осталих тачака *струје* преко мрежњаче *радијално* из фовее
 - конкретна структура струјања зависиће од *фиксираних тачки* (тачке у коју посматрач гледа)
 - притом се пројекције различито удаљених објеката крећу (привидно) различитим брзинама
 - стога структура оптичког тока може бити *показатељ* удаљености објеката у целом визуелном пољу
 - ако се посматрач креће *са стране*, дешава се *латерално струјање*
 - ако посматрач фиксира тачку на хоризонту, онда се дешава привидно кретање сцене у супротном правцу од кретања посматрача, при чему се ближи делови сцене привидно крећу брже, а даљи спорије
 - ако посматрач фиксира неку ближу тачку, онда се за тачке ближе од фиксираних тачки привидно кретање сцене врши у супротном правцу од кретања посматрача, а за тачке даље од фиксираних тачки у истом правцу

БИНОКУЛАРНИ ПОКАЗАТЕЉИ ДУБИНЕ

- да би се користили бинокуларни показатељи дубине *нужно* је комбиновање информације из оба ока
 - за коришћење монокуларних показатеља *довољна* је информација из једног ока (али није *нужно* имати само једно)
- два главна бинокуларна показатеља су:
 - конвергенција (мишићни окуломоторни показатељ)
 - наине, два ока при опажању конвергирају (обрћу се једно ка другом) или дивергирају (обрћу се једно од другог)
 - диспаратне слике (оптички показатељ)
 - наине, слике које се пројектују на два ока нису једнаке
- конвергенција

- при фиксирању неке тачке, нарочито за блиске предмете, два ока *конвергирају*
 - наиме, положаји два ока у односу на главу нису исти, већ заузимају одређен угао
 - угао конвергенције зависи од удаљености објекта, а регулисан је окуломоторним мишићима
 - што је објект ближи, мишићи су затегнутији
 - затегнутост мишића може да служи као показатељ удаљености
 - међутим, информација о затегнутости је искористива само за релативно блиске објекте (неколико метара), јер је за даље објекте положај очију сличан а угао конвергенције мали
 - међусобни положај два ока може се дефинисати углом који захватају две оптичке осе
 - *оптичка оса*: права која спаја фиксирану тачку и фовеу
 - постоје две оптичке осе, једна за лево и једна за десно око
 - при фиксирању неке тачке са два ока, слика тачке пада на фовеу оба ока, а оптичке осе секу се у фиксираној тачки
 - удаљеност посматраног објекта се у принципу може израчунати ако је познат размак између очију и угао конвергенције два ока
- двоструке слике
 - фиксирана тачка се пројектује у фовеу оба ока, док се остале тачке у визуелном пољу (оне које *нису* фиксиране) пројектују на остала места две мрежњаче
 - ако су та места *знатно различита* у два ока, посматрани објекти се могу видети *двоструко*
 - притом једна слика потиче са једног ока а друга са другог
 - на пример, ако су нам у видном пољу два прста, један на већем растојању иза другог, онда
 - ако фиксирамо ближи прст, даљи прст видимо двоструко
 - ако фиксирамо даљи прст, ближи прст видимо двоструко
 - у примеру са две тачке које су једна иза друге, фиксирана тачка се пројектује у фовеу, а нефиксирана тачка на различита места на мрежњачи, зависно од тога да ли је ближа или даља од фиксиране
 - ако је нефиксирана тачка је *ближа* од фиксиране, онда
 - њене пројекције на два ока падају *темпорално* од фовеу
 - сигнал који носи информацију о тој тачки се простире *неукритеним* влакнима оптичког нерва
 - ако је нефиксирана тачка је *даља* од фиксиране, онда
 - њене пројекције на два ока падају *назално* од фовеу
 - сигнал који носи информацију о тој тачки се простире *укритеним* влакнима оптичког нерва
 - диспаратне слике
 - будући да су два ока размакнута (у просеку око 6.5 цм), она нам пружају *две тачке гледишта* исте сцене
 - стога су пројекције исте сцене на две мрежњаче *диспаратне*
 - оне су *донекле* различите, али углавном не веома, већ су релативно сличне

- *наиме*, *лево* око види нешто више од објекта са *леве* стране а *десно* са *десне*
- такође исти објект или размак се пројектује као нешто већи у њему ближем оку, а као нешто мањи у њему даљем оку
- диспаратне пројекције не изазивају опажање двоструких слика него рељефности и дубине
- диспаратне пројекције активирају одређене *бинокуларне* кортикалне нервне ћелије
 - то су ћелије које су активирани сигнаlima из оба ока, а имају рецептивна поља на блиским али донекле различитим местима на мрежњачама у левом и у десном оку
- активација бинокуларних ћелија пружа неуралну основу стереопсије
 - тако се назива опажање дубине на основу диспаратних слика у два ока
- стереопсија је важан, али не и једини фактор опажања дубине
 - *наиме*, постоје и бројни монокуларни фактори дубине, која се стога може опазити и само са једним оком
- међутим, показује се да је монокуларно виђење мање осетљиво за фину дискриминацију дубине
- стереопсија се може изазвати и на специјалан начин, и то
- *стереокамером*
 - то су две спојене фотокамере, размакнуте за 6.5 цм, којима се снима сцена
- *стереограм*
 - то су две слике исте сцене, снимљене стереокамером
- два снимка у стереограму представљају поглед на исту сцену левим и десним оком, између којих постоје *фине* разлике
- *стереоскоп*
 - то је уређај који омогућава да једну слику из стереограма види само једно око, а другу слику само друго
 - притом пројекције слика на мрежњачама имају исти положај као при посматрању одговарајућег 3-Д објекта, тј. на лево око пада лева слика, а на десно око десна
- при посматрању стереограма кроз стереоскоп добија се јасан и уверљив осећај дубине на слици, слично посматрању правог 3-Д објекта
- постоје различити модели стереоскопа
- дубина се у стереограмима може видети и *без* стереоскопа, увежбавањем посебног начина гледања
 - *поступак*: фиксирање тачке посматрања *иза* или *испред* стереограма
- аутостереограм: стереограм из једног дела, са вишеструко деломично поновљеном текстуром

ПОРЕКЛО ОПАЖАЊА ДУБИНЕ

- једно важно питање у вези опажања дубине је *порекло* те способности
- постоје два приступа том питању, зависно од тога да ли се сматра да је опажање дубине научено или наслеђено
 - по једном приступу, названом *емпиристички* приступ (раније назван *генетички* приступ), опажање дубине се учи током развоја јединке
 - по другом приступу, названом *нативистички* приступ, опажање дубине се не мора учити већ је наслеђено
- овај проблем није до краја решен, јер постоје огледи који иду у прилог и једном и другом приступу, и вероватно и наслеђе и учење играју улогу
- Торндајков оглед даје налаз у прилог нативистичком приступу
 - он је гајио пилиће у мраку, и када их је први пут изнео на светлост они су одмах опажали дубину, што је закључио на следећи начин
 - када их је поставио на високо постоље, они су остајали на њему
 - када их је поставио на ниско постоље, они су скакали са њега
- оглед Хелда и Хајна даје налаз у прилог емпиристичком приступу
 - они су одгајали два мачета у веома контролисаним условима, при чему се једно маче активно кретало, док је друго маче било пасивно преношено, а било је изложено истим дражима као активно маче
 - у накнадним огледима, показало се да је активно маче боље опажало дубину од пасивног
 - Хелд и Хајн закључују да је предност првог мачета настало успешнијим учењем услед активног понашања
- оглед Гибсонове и Вокове даје налаз у прилог нативистичком приступу
 - оне су постављале малу децу на 'визуелну литицу'
 - то је уређај чија једна половина има непровидан под а друга провидан (од стакла)
 - ако се деца поставе на средину уређаја, она знатно чешће прелазе преко непровидне половине него преко провидне
 - аутори закључују да деца већ на релативно раном узрасту опажају дубину
 - извесна слабост закључака је у томе што деца нису била новорођенчад, па су могла да стекну нека искуства о дубини пре огледа

КРЕТАЊЕ

ОПАЖАЊЕ КРЕТАЊА

- кретање је, по дефиницији, промена положаја у простору током времена
- у физици се описују разне карактеристике кретања, на пр.
 - *путања*, која може бити праволинијска или криволинијска
 - *брзина*, која може бити константна или променљива
 - *тип*, а то може бити translација, ротација, или нека њихова комбинација
 - *врста*: може бити периодично (понављајуће у времену) и непериодично
- опажање кретања је биолошки процес којим организми *региструју* промене положаја објеката и његових карактеристик
 - главна улога опажања кретања је регистровање промене положаја објеката и његових карактеристика, тј. путања, брзина, тип, итд
- опажање кретања има и важну улогу у неким другим аспектима опажања, као што су детектовање присуства и 3-Д облика објекта

ДЕТЕКТОВАЊЕ ОБЈЕКТА

- опажање кретања служи издвајању фигуре из позадине и детектовању објеката на основу њиховог кретања
 - животиње прилагођене својој околини по боји и текстури често су добро *камуфлиране*, тј. не примећују се јер су сличне околини, и нај начин се штите од могућих нападача, али њихово кретање разбија камуфлажу
 - ово је пример биолошки веома важне улоге опажања кретања

ОПАЖАЊЕ 3-Д ОБЛИКА

- још једна улога опажања кретања је приликом препознавања тродимензионалног облика објеката на основу њиховог кретања
 - наиме препознавања тродимензионалног облика објеката је олакшано и упечатљивије је ако се објект креће

БИОЛОШКО КРЕТАЊЕ

- посебна врста опажања 3-Д облика се односи на тзв. *биолошко кретање*
 - тако се у психологији опажања назива кретање људске (или животињске) фигуре у мраку, са светлим тачкама на појединим местима тела
- *статична* фигура изгледа само као хаотични скуп тачака
- међутим, *кретањем* тачака се брзо и лако препознаје фигура
 - треба уочити да је у овом случају врло осиромашена информација ипак довољна за успешно препознавање објекта који се креће

УСЛОВИ ОПАЖАЊА КРЕТАЊА

- једно од основних питања којима се бави испитивање опажања кретања је под којим *условима* се кретање опажа, а они могу бити сложени

- на пр., кретање се опажа онда када се објект стварно креће, али се испоставља да постоје и илузије кретања, тј. да се кретање може опазити и када објект мирује
- такође, могло би се очекивати да се кретање опажа онда када се слика објекта креће преко мрежњаче, али се испоставља да се кретање може опазити и када се објект креће али његова слика мирује
- мировање објекта се опажа када његова слика мирује на мрежњачи, али се испоставља да се мировање може опазити и ако се слика објекта на мрежњачи креће
- да би анализирали услове под којима се опажа кретање одн. мировање, потребно је да узмемо у обзир три чиниоца ...
 - понашање *објекта*: може се кретати или мировати
 - понашање *ока*: може се кретати или мировати
 - понашање *пројекције објекта*: може се кретати или мировати
- ... и како они утичу на
 - свесно *опажање*: да ли се опажа покрет или мировање

НАЧИНИ ОПАЖАЊА КРЕТАЊА

- размотрићемо три ситуације у којима се може опазити кретање или мировање
- 1. *систем ретиналне слике*
 - то је ситуација у којој се *објект* креће, *око* практично мирује (усмерено је у константном правцу), а *пројекција* објекта се креће преко мрежњаче
 - у тој ситуацији опажа се кретање
 - опажај кретања заснива се на активности кортикалних неурона који региструју кретање слике на мрежњачи (на пр. комплексне ћелије)
- 2. *систем око-глава*
 - то је ситуација у којој се *објект* креће, *око* се такође креће (прати кретање објекта), а *пројекција* објекта практично мирује на мрежњачи
 - у тој ситуацији опажа се кретање (иако пројекција објекта мирује)
 - опажај кретања потиче из комбинације две врсте информација
 - опажај положаја објекта на мрежњачи, који се заснива се на активности кортикалних неурона
 - регистровање кретања ока
 - важно питање које се поставља је одакле визуелни систем добија информацију о кретању ока
 - постоје две теорије о извору ове информације
 - Шерингтонова, наизглед доста логична теорија, гласи да информација о кретању ока долази из повратних кинестетских сигнала из мишића ока у кортекс, о *извршеном* покрету очију, након што је из вишег центра стигла *наредба* да се очи покрену
 - ови сигнали се називају *повратни*
 - Хелмхолцова, наизглед мање логична теорија, гласи да информација о кретању ока долази од кортикалних сигнала који се односе на *наредбе* мишићима ока да се изврши кретање очију
 - ови сигнали се називају *директни*
 - ове теорије се могу дискутовати анализом треће ситуације у којој се може опазити кретање или мировање

- 3. Хелмхолцова анализа
 - то је ситуација у којој *објект* мирује, *око* се креће (тј. врши покрет премештајући правац погледа), тако да се *пројекција* објекта се креће преко мрежњаче, и то у супротном правцу од кретања ока
 - у таквим ситуацијама постоје две могућности
- прва могућност: објект се опажа да мирује
 - *услов*: нормално кретање ока помоћу очних мишићи
 - *уочити*: опажање је *исправно*, јер објект стварно мирује, иако се његова пројекција креће преко мрежњаче
 - *објашњење*: при опажању кретања визуелни систем користи механизам којим *компензује* кретање пројекције објекта информацијом о кретању ока, чиме долази до опажања мировања
- друга могућност: опажа се кретање објекта
 - *услов*: споља изазвано кретање ока (на пр. гурање ока прстом)
 - *уочити*: опажање је неисправно, јер објект мирује
 - за разлику од нормалне ситуације, при споља изазваном кретању ока визуелни систем *не компензује* кретање пројекције објекта информацијом о кретању ока
 - *објашњење* (Хелмхолц): не постоји информација о *наредби* да се око покрене окуломоторним мишићима
 - иако постоји повратна информација из мишића о покрету ока, визуелни систем не користи ту информацију
- закључак: информација о кретању ока потиче од *наредбе* за покретање мишића ока, а не од информације о *извршеном* кретању ока

ИЛУЗИЈЕ ОПАЖАЊА КРЕТАЊА

- наше опажање кретања понекад није исправно, тј. долази до *илузија* кретања
 - ту се већином ради о ситуацијама у којима се кретање опажа мада га нема, мада постоје и ситуације у којима кретање постоји и опажа се, али не исправно
 - размотрићемо четири врсте илузија кретања: аутокинетичко кретање, стробоскопско кретање, индуковано кретање, и накнадни ефект кретања
- аутокинетичко кретање
 - стимулус је мала светла тачка у потпуном мраку, која је непокретна
 - под оваквим условима посматрачи опажају да тачка прави мале, углавном хаотичне покрете
 - узрок овог погрешног опажаја су *микросакаде* (увек присутни веома мали несвесни покрети ока), који се обично не региструју у опажању, али постају приметни у мраку
- стробоскопско (тј. привидно) кретање, такође названо и фи-феномен
 - то је опажање кретања узроковано сменом статичних слика
 - у најчешћем облику, стимулација се састоји од две слике, на пр. две тачке или линије или фигуре у два различита положаја у простору (два кадра)
 - слике се излажу наизменично једна за другом, а између њих може (мада не мора) бити пауза, за време које се не излаже стимулација

- у таквој ситуацији, посматрачи имају (погрешан) утисак да се приказани објект *креће* из једног у други положај
- постоје *оптимални услови* приказивања стимулације, под којима је опажање кретања најупечатљивије, наиме:
 - ако се слике смењују пребрзо, опажа се треперење а не кретање
 - ако је пауза између слика предуга, опажа се само нестанак једне дражи и појава друге на другом месту, али без утиска *кретања* између та два места
- назив 'стробоскопско кретање' потиче од *стробоскопа*, апарата за краткотрајно приказивање светлости
 - при осветљавању стробоскопом, објекти који се крећу изгледају као да скоковито мењају свој положај и облик
- најважнија примена стробоскопског кретања је *филм*, у коме брза смена појединачних статичких кадрова изазива опажај глатког кретања
 - раније су се користиле 16 слика у секунди, и опажај кретања је понекад изгледао скоковит
 - данашњи стандард за филм је да се користе 24 слике у секунди, а за видео игре и више, обично 30 до 60 слика у секунди
- назив 'фи-феномен' је дао гешталт психолог Макс Вертхајмер, који је био један од првих истраживача овог феномена
 - он је сматрао да је узрок фи-феномена нека врста кратког споја у мозгу
- према данашњим схватањима, узрок опажања стробоскопског кретања је да стробоскопски стимулус активира ћелије које су осетљиве за кретање
- постоје бројне варијанте стимулуса који изазивају опажај стробоскопског кретања
- у филмовима се понекад види да се точкови на колима обрћу у супротном правцу (тзв. ретроградно кретање) или да стоје
- овај ефект се може објаснити једноставном геометријском анализом слика точка који се окреће
 - наиме, ако се точак за *једну* секунду окрене за 360 степени, онда ће се у свакој од 24 слике померити за $360/24 = 15$ степени
 - ако се точак окрене за 360 степени *24 пута* у секунди онда ће све слике бити исте, и точак ће зато изгледати као да стоји
 - за точак са 4 жбице исто то важи ако се *окреће 6 пута* (или 12, 18, 24 итд пута) у секунди, наиме, исти је када се окрене за 90 степени
 - ако се точак са 4 жбице *окреће 5 пута* у секунди, помериће се за 72 степена, што значи да ће изгледати исто као да се обрнуо уназад за 18 степени
 - опазиће се кретање *уназад* а не унапред, зато што привидно кретање има преференцију кретања ка ближем објекту, што је показано у другим истраживањима
- један од проблема који се испитивао односи се на ситуације у којима има више могућих праваца опажања покрета
 - пример: после приказивања објекта у првом кадру прикажу се два објекта у другом кадру

- питање: у правцу којег од два конкурентска објекта ће се опазити кретање?
 - одговор: кретање се опажа у правцу *ближег* објекта
 - међутим, ако се ближи објект уклони, онда се кретање опажа у правцу првобитно даљег објекта
 - у сложенијим ситуацијама постоје различите могућности опажања покрета
 - у *Тернусовом ефекту* користе се два круга у два кадра, при чему десни круг у првом кадру има исти положај као леви у другом
 - ако средњи круг бива константно приказиван, опажа се да бочни круг прескаче средњи
 - ако средњи круг краткотрајно нестане између два кадра, опажа се да се оба круга као целина крећу лево-десно
 - ако су два објекта у другом кадру једнако близу објекту из првог кадра, поставља се питање какво кретање ће се опазити
 - на пр., ако су конкурентски објекти постављени тако да је један у вертикалном а други у хоризонталном правцу, постоје више могућности
 - кретање се може, у принципу, видети хоризонтално (лево-десно), вертикално (горе-доле), у оба правца, или ни у једном правцу
 - налази се да се кретање чешће опажа у вертикалном правцу
 - међутим, тај опажај није сасвим стабилан, и може се видети кретање и у хоризонталном правцу
 - опажај хоризонталног кретања је стабилнији ако се смањи хоризонтално растојање међу стимулусима
 - такође, на опажени правац кретања може да утиче кретање ока посматрача
 - ако се истовремено приказује више стробоскопских конфигурација, правац опаженог кретања једног стробоскопског стимулуса може да утиче на опажане кретања у другом стимулусу, напр. ако се код једног опазити хоризонтално кретање, опазитиће се и код другом
 - ако су положаји конкурентских објеката у другом кадру дијагонални, опажај је нестабилан и мање јасан
 - све ове карактеристике указују на сложеност рада визуелног система приликом интерпретације кретања
- индуковано кретање је погрешно опажане кретања објекта, услед кретања другог објекта или позадине
 - примери
 - када се (прозрачни) облак креће испред месеца, тако да се месец види иза њега, опажа се као да се *месец* креће
 - ако је статична тачка окружена рамом који се креће, опажа се да се тачка креће
 - у видео играма, када се жели приказати континуирано кретање неког објекта, често он уствари остаје на истом месту на екрану, а креће се околина
 - у овим случајевима постоји *релативно* кретање фигуре у односу на блиску позадину, и оно доминира у опажају

- на пр., месец је статичан, али се креће у односу на облак, и опажа се да се креће (иако је статичан у односу на удаљенију визуелну околину, као што су куће, дрвеће итд)
- посебан случај индукованог кретања назива се *векција*
 - то је индуковање опажања кретања *сопственог тела*, под утицајем кретања околине
 - на пр., ако седимо у возу који стоји, а кроз прозор видимо суседни воз, који почиње да се креће, опажамо као да се наш воз креће, и ми са њим
 - експериментално испитивање векције
 - испитаник седи унутар ротирајућег вертикалног цилиндра са уочљивом структуром (вертикалне штрафте, туфне, итд)
 - неколико секунди након почетка ротације цилиндра, субјект престаје да опажа да се цилиндар креће, већ опажа као да се он сам креће, у супротном правцу
 - феномен векције показује да постоји међусобни утицаји опажаја из различитих чула
 - у овом случају снажна визуелна стимулација може да изазове кинестетску сензацију
- накнадни ефект кретања
 - појава да се након дужег посматрања *стварног* кретања, опажа илузорни покрет у *супротном* правцу
- примери
 - ако се дуже време гледа у водопад, онда када се поглед премести на обалу, опажа се, кратко време, као да се обала креће у супротном правцу
 - ако се дуже време гледа у ротирајућу спиралу опажа се као да се она шири (или скупља, зависно од правца ротације), а када се затим премести поглед на неки статични предмет, опажа се да се он скупља (или шири) неко време
- неурално објашњење овог ефекта сродно је објашњењу накнадних ефеката боја
 - ако се гледа у статичку стимулацију, неурони који су осетљиви на кретање у различитим правцима показују једнаку спонтану активацију
 - на пр. неурони који реагују на кретање улево имају једнаку спонтану активацију као неурони који реагују на кретање удесно
 - када се дуже гледа покрет у одређеном правцу, неурони коју региструју тај покрет бивају снажно активирани, јаче од других неурона
 - на пр., за време приказивања покрета улево, неурони који су осетљиви на такво кретање су знатно активнији него неурони који региструју кретање удесно
 - након престанка стимулације, предходно снажно активирани неурони су привремено заморени, тј. показују снижену или нулту спонтану активацију
 - на пр., после приказивања покрета улево, неурони који су осетљиви на кретање улево су *мање* активни него неурони који региструју кретање удесно
 - ова разлика у активацији неурона је слична као када би постојало кретање у супротном правцу, и опажа се као такво
 - ситуација када су активнији неурони за десно него за лево дешава се у ситуацији када постоји стварно кретање удесно, па се такво кретање опажа и у овој ситуацији

ВИЗУЕЛНЕ КОНСТАНТНОСТИ

- појам *визуелне константности* односи се на важну групу визуелних феномена које се односе на опажање величине, облика, боје и светлине, оријентације, положаја итд
- оне се односе на чињеницу да перцептуалне одлике објеката, као што су опажена величина, облик, боја, светлина, итд, остају *константне*, т.ј. опажају се, исправно, као *исте* или скоро исте, и под условима у којима се њихове пројекције на мрежњачу *мењају*
 - притом њихове физичке одлике остају *исте*, а пројекција на мрежњачу се мења услед промене неких других фактора
 - разлике пројекција углавном не запажамо, осим ако посебно не обратимо пажњу
- *константност величине*
- опажена величина објеката остаје *константна* и када се величина њихове пројекције на мрежњачу *мења* услед промене удаљености објеката од посматрача
 - притом њихова *стварна* величина остаје иста, што значи да је наше опажање је *исправно*, али није у складу са сликом на мрежњачи
- у свакодневном опажању већином нисмо посебно свесни разлика *пројекција*
 - много важније су нам *стварне* величине објеката
 - величине пројекција ипак можемо уочити, ако на њих посебно обратимо пажњу
- *константност облика*
- опажени облици објеката остају *константни* и када се облик њихове пројекције *мења* услед промене просторне оријентације објеката
 - на пр., врата или тањир опажамо, исправно, као правоугаона одн. круга, иако су њихове пројекције скоро увек трапезоидне одн. елипсасте
- *константност боје и светлине*
- опажене боје и светлине објеката остају *константне* и када се интензитет и састав таласних дужина њихових пројекција на мрежњачу *мења* услед промене осветљења објеката
 - на пр., беле или црне објекте опажамо, исправно, као беле одн. црне, и када су на пуној светлости и када су у сенци, иако се притом њихова луминанса може драстично променити
- *константност оријентације*
 - опажене оријентације објеката остају *константне* и када се њихова оријентација на мрежњачи *мења* када се глава накрене
 - на пр., вертикални зид или дрво опажамо, исправно, као вертикалне, и ако накренемо главу, тако да су њихове пројекције косе
- *константност положаја*
 - опажени положаји објеката остају *константни* и када се њихови положаји на мрежњачи *мењају* када се правац погледа промени
- механизми у оквиру визуелног система који омогућавају постојање визуелних константности су сложени и активно се проучавају

- *испитивање опажања величине*
 - у оваквим испитивањима обично се стандардна драж приказује на извесном растојању а варијабилне (поредбене) дражи у близини
 - задатак субјекта је да процени која поредбена драж има исту физичку величину као стандардна драж
 - у оваквим истраживањима, основни резултат је постојање константности величине, тј. да субјекти релативно исправно опажају величине објеката и када су они удаљени, па је њихова пројекција на мрежњачу смањена
 - константност величине није савршена, на пр., у случају веома удаљених предмета, они се могу опажати и као стварно смањени

- *испитивање опажања облика*
 - у оваквим испитивањима често се стандардна драж приказује искошена, док се варијабилне дражи приказују у вертикалној оријентацији
 - задатак субјекта је да процени која поредбена драж има исти физички облик као стандардна драж
 - у оваквим истраживањима, основни резултат је постојање константности облика, тј. да субјекти релативно исправно опажају облике објеката и када су они искошени, па је њихова пројекција на мрежњачу деформисана
 - константност облика није савршена, на пр., у случају знатне искошености, објекти се могу опажати и као стварно деформисани

- *испитивање опажања светлине*
 - у оваквим испитивањима често се стандардна драж приказује у сенци, док се варијабилне дражи приказују под нормалним осветљењем
 - задатак субјекта је да процени који поредбени стимулус има физички исту нијансу сиве боје као стандардни стимулус
 - у оваквим истраживањима, основни резултат је постојање константности светлине, тј. релативно исправно опажање нијансе сиве боје, упркос разлика у луминанси
 - као и остале константности, ни константност светлине није савршена, на пр., у случају јаких сенки, објекти се могу опажати и као стварно тамнији

Садржај



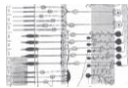
Увод: 1– 7



Светлост: 8 – 13



Око: 14 – 20



Мрежњача: 21 – 31



Визуелни путеви: 32 – 35



Визуелни кортекс: 36 – 46



Боја: 47 – 70



Простор: 71 – 81



Кретање: 82 - 87



Константности: 88 - 89