



1 **ЧУЛО ВИДА**



Боја

2 **БОЈА**

- размотрићемо **три** аспекта боја (у складу са постојањем три домена перцепције)
 - физички: *свeтлост* као физички узрок боје
 - неурални: *нервна активност* у визуелном систему изазвана светлошћу
 - феноменолошки: боја као *свесни* доживљај
- феноменологија боја
 - хроматичност, атрибути боја, сложеност боја
- **хроматичност** ('обојеност') боја: две групе
 - (1) *хроматске* боје 
 - црвена, наранџаста, жута, зелена, плава, љубичаста, ...
 - (2) *ахроматске* боје 
 - црна, бела, нијансе сиве

3 **БОЈА**

- **ахроматске** боје пружају богату информацију о околини
 - примери: црно беле фотографије и филмови
- **хроматске** боје додају нове аспекте доживљају околине

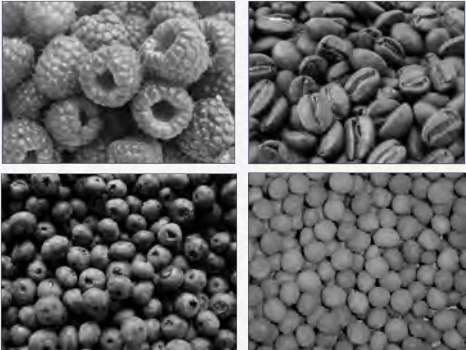


4 **БОЈА**



5 **БОЈА**

- хроматске боје омогућавају бољу дискриминацију објеката



6 **БОЈА**

- хроматске боје омогућавају бољу дискриминацију објеката



7 **БОЈА**

- пример: разликовање зрелог од незрелог воћа



- разлике у бојама одговарају разликама у физичким и хемијским особинама одн. материјалном саставу опажених објеката

8 **БОЈА**

- хроматске боје омогућавају бољу уочљивост





9 **БОЈА**

- хроматске боје омогућавају бољу уочљивост



10 **ФЕНОМЕНОЛОГИЈА БОЈА**

- атрибути боја: три особине сваке боје
 - квалитет, светлина, zasiћеност
- (1) **квалитет**: кључни аспект боје
 - *прости* квалитети: **четири основне хроматске боје**
 - **црвена, жута, зелена, плава** 
 - *карактеристика*: опажају се као чисте, без примеса других боја
 - *сложени* квалитети:
 - *карактеристика*: опажају се као мешавине, комбинације основних боја
 - **наранџаста**: мешавина **жуте** и **црвене** 
 - **љубичаста**: мешавина **црвене** и **плаве** 
 - **тиркизна (плаво-зелена)** 
 - **жуто-зелена** 

11 **ФЕНОМЕНОЛОГИЈА БОЈА**

- примедба: да ли је **зелена** основна боја?
 - по сликарима: не!
 - зелена се може направити од жуте и плаве сликарске фарбе
 - сликарске основне боје су: црвена, плава, и жута
 - по Херингу (и другим психолозима): да!
 - 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*)
 - по инжењерима, **жута** не би била основна боја
 - не може се направити од других *фарби* (пигмената), али се *може* направити од црвене и зелене светлости
 - на ТВ и компјутерским екранима основне боје су: црвена (R), зелена (G), и плава (B); црвена и зелена дају жуту; плава и жута дају *белу* (а не зелену, као код сликарских фарби)


R=255		R=0		R=0		R=255		R=255	
G=0		G=255		G=0		G=255		G=255	
B=0		B=0		B=255		B=0		B=255	

12 **ФЕНОМЕНОЛОГИЈА БОЈА**

- (2) **светлина**: опажени **интензитет** боје
 - 
 - варирање од *тамних* до *светлих* нијанси
- (3) **засићеност**: опажена **чистоћа** боје
 - у односу на једнако светлу сиву
 - 
 - варирање од *веома засићених* до *незасићених* нијанси
 - 
- **нијанса**: одређена комбинација нивоа квалитета H (hue), светлине L (lightness), и засићености S (saturation)
 - може се генерисати од комбинације нивоа црвене (R), зелене (G), и плаве (B) светлости

H=31		R=165
S=82		G=144
L=125		B=85
- атрибути **ахроматских** боја:
 - *квалитет*: неутралан, *засићеност*: нулта, варирање по *светлини*

13 ФЕНОМЕНОЛОГИЈА БОЈА

- **СИСТЕМИ** боја: начини приказа скупова боја
 - принцип: сличне нијансе боја су аранжиране једне поред других, у једној, две, или три димензије
- (а) **низ ахроматских боја**

 - принцип уређености: сличност по светлини
 - облик: отворена линија, црни и бели крај
- (б) **круг хроматских боја**

 - принцип уређености: сличност по квалитету
 - садржи и просте и сложене квалитете
 - облик: затворена линија
 - нема крајева

14 ФЕНОМЕНОЛОГИЈА БОЈА

Херингов круг боја



- **основне боје:**
 - црвена
 - жута
 - зелена
 - плава
- **сложене боје:**
 - смеше парова основних боја
 - нијансе смеша зависе од удела основних (приказ на малом прстену)

15 ФЕНОМЕНОЛОГИЈА БОЈА

- (ц) **диск боја**
 - **принципи:** квалитет и zasiћен.
 - **квалитет:** по круговима
 - **засићеност:** по радијусима
 - обод: најзасићеније нијансе
 - центар: незасићена сива
 - све боје су исте светлине
- (д) **троугао боја**
 - **принципи:** zasiћ. и светлина
 - **засићеност:** по хоризонтали
 - **светлина:** по вертикали
 - максимална zasiћеност: углавном средње светлине
 - све боје су исто квалитета

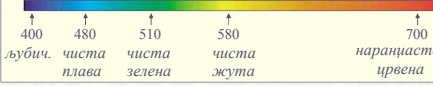
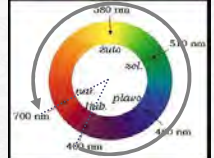
16 ФЕНОМЕНОЛОГИЈА БОЈА

- (е) **двострука купа боја [слика 4-74]**
 - **принципи:** квалитет, светлина, zasiћеност
 - **квал.:** по кругу, **засић.:** по радијусу, **светл.:** по вертикали
 - **хоризонтални пресеци:** дискови конст. светлине
 - **вертикални пресеци:** два спојена троугла

17 ФИЗИКА БОЈА

- **Њутнов опит:** однос таласних дужина (λ) и боја
 - пропуштање уског снопа дневне светлости кроз призму
 - **резултат:** појава дугиних боја
 - **дуга:** преламање светлости кроз капљице кише
- **закључци:**
 - бела светлост садржи зраке свих λ између 400 и 700 nm
 - **призма** раслојава зраке: угао преламања зависи од λ
 - што је краћа λ , преламање је јаче
 - појединим **тал. дуж.** (λ) одговарају поједине **боје**
 - изненађујући закључак: бела боја је мешавина хромат. боја!

18 ФИЗИКА БОЈА

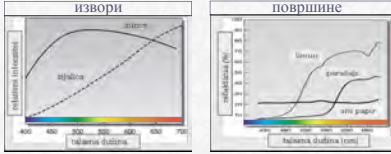
- свакој појединачној λ из спектра (400-700 nm) одговара једна одређена нијанса боје
 
 - бројеви су просеци, а постоје варијације
- ово су **спектралне** (дугине) боје
 - на оба краја спектра има примесе црвене, али се не спајају у круг
- у дуги **недостају** неке боје, и то:
 - чиста црвена, и неке наранџасте и љубичасте
 - то су **екстраспектралне** боје
 - браон: тамно наранџасто-жута
 - недостају и ахроматске боје

поређење спектра боја и круга боја

19

ФИЗИКА БОЈА

- појединачне спектралне боје су *монохроматске*
 - само једна (или узак распон) λ
- већина *извора* светлости су *полихроматски*
 - *емитују* светлост свих λ између 400 и 700 нм
- већина *површина* су полихроматске
 - *рефлектују* светлост свих λ између 400 и 700 нм



- већина боја у природи су резултат *мешавине* λ
 - *питање*: који су закони мешања боја?

20

МЕШАЊЕ БОЈА

- какав је психофизички однос таласних дужина (драж, физика) и боја (опажај, феноменологија)?
 - знамо: појединачне $\lambda \Rightarrow$ спектралне боје
 - али: комбинације $\lambda \Rightarrow ??$
 - нека на исто месту на мрежњачи доспевају зраци две, три, или више таласних дужина
 - то је физичка чињеница
 - шта се у том случају на том месту опажа?
 - која је феноменолошка последица?
- користимо следећу терминологију:
 - таласне дужине: стимулусне *компоненте*
 - приказане вредности ће бити приближне, ради илустрације
 - боја настала мешавином: опажајна *резултанта*

21

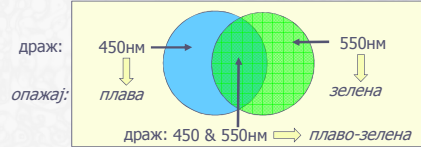
МЕШАЊЕ БОЈА

- пример: комбинација светлости две λ
 1. компонента: $\lambda = 450$ нм - (*љубичасто*) *плава*
 2. компонента: $\lambda = 550$ нм - (*жуљасто*) *зелена*
 - таласне дужине су приближне
- физичка комбинација: $\lambda = 450$ нм & $\lambda = 550$ нм
 - која боја се опажа?
- опажајна резултанта: *плаво-зелена*
- напомена:
 - опажај је исти као за монохроматску $\lambda = 500$ нм
 - таласна дужина је приближна
- важна чињеница: физички сасвим *различите* дражи могу дати феноменолошки *исти* опажај!
 - драж 1 (500 нм) изгледа једнако као драж 2 (450 & 550нм)
 - такви парови дражи (а има их много) се називају *метамери*

22

МЕШАЊЕ БОЈА

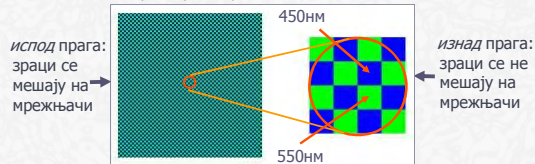
- начини комбиновања таласних дужина:
 - *физичко мешање*: преклапање зрака
 - *физиолошко мешање*: физички непреклопљени зраци стапају се у опажају услед ограничења мрежњаче
 - ограничења у *просторном* разлучивању
 - ограничења у *временском* разлучивању
- *физичко мешање*
 - преклапање пројектованих снопова зрака



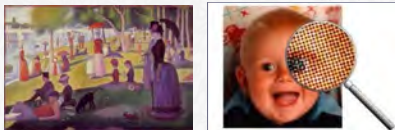
23

МЕШАЊЕ БОЈА

- физиолошко *просторно* мешање:
 - блиски распоред боја, тако да се не могу разлучити
 - испод просторног прага



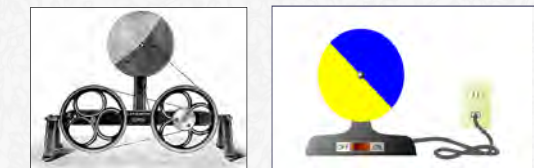
- примена: сликарство, штампа, TV, компјутерски екрани



24

МЕШАЊЕ БОЈА

- физиолошко *временско* мешање
 - брза смена боја, тако да се не могу разлучити
 - испод временског прага
 - ротација обојених површина (Максвелови дискови)
 - *споро* обртање: зраци се не мешају
 - *брзо* обртање: зраци се мешају

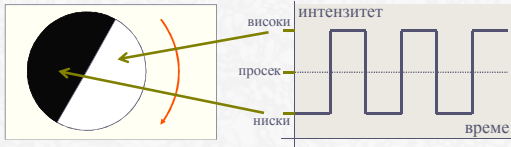


мешачи боја

25

ПРИМЕРИ МЕШАЊА БОЈА

- (1) мешање ахроматских компоненти



- услед временског мешања, интензитет светлости на мрежњачи је *просек* високог и ниског
- коју нијансу сиве има резултанта?
 - средње сива? светло сива? тамно сива?

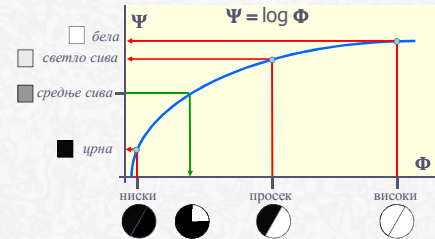


- извршимо експеримент!

26

ПРИМЕРИ МЕШАЊА БОЈА

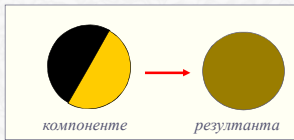
- резултанта је релативно *светла*! Зашто?
- Фехнеров (или Стивенсов) закон!
 - интензитет сензације (Ψ) је логаритам (или степен) интензитета стимулације (Φ)



27

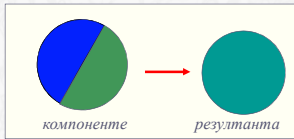
ПРИМЕРИ МЕШАЊА БОЈА

- (2) мешање хроматских и ахроматских боја



- *резултанта*: тамнија нијанса хроматске компоненте

- (3) мешање две хроматске боје

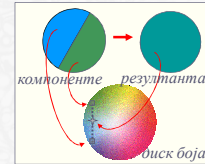


- *резултанта*: међу-нијанса хроматских компоненти

28

ПРАВИЛА МЕШАЊА БОЈА

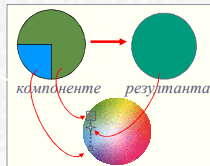
- правило мешања хроматских боја:
 - мешањем две компоненте добија се резултанта која на *диску боја* приближно лежи *између* њих:
 - компоненте у *једнаком* износу \Leftrightarrow резултанта на *средици* између компоненти
 - компоненте у *неједнаком* износу \Leftrightarrow резултанта на *позицији* сразмерној уделу компоненти
 - правило важи уз ограничења
- пример 1:
 - *компоненте*: зелена и плава у једнаком износу
 - *резултанта*: плаво-зелена на *средици* између њих



29

ПРАВИЛА МЕШАЊА БОЈА

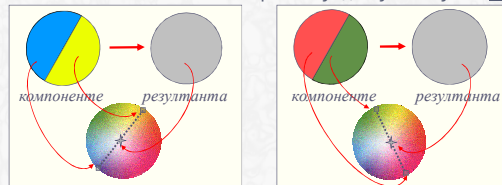
- пример 2:
 - *компоненте*: зелена и плава у односу 3:1
 - *резултанта*: плаво-зелена три пута ближа зеленој него плавој
- резултанта је често *мање засићена* него компоненте
- последица правила мешања две компоненте:
 - *ако су компоненте*: две конкретне боје у *свим* могућим квантитативним односима
 - *онда су резултанте*: *све* нијансе на спојној линији између компоненти на диску



30

ПРАВИЛА МЕШАЊА БОЈА

- пример 3:
 - *компоненте*: на крајевима пречника диска
 - такве боје су *комплементарне* (допуњавајуће)
 - *резултанта*: ахроматска нијанса!
 - мешањем комплементарних боја добија се нијанса сиве



- постоје *многи парови* комплементарних боја
 - комплементарне боје су *метамери*

31 ПРАВИЛА МЕШАЊА БОЈА

• пример 4: мешање три боје

1. корак: плаво + жуто (1:1)

2. корак: сиво + црвено (2:1)

компоненте резултанта

32 ПРАВИЛА МЕШАЊА БОЈА

• крајња резултанта *не зависи од редоследа* корака

• крајња резултанта *зависи од износа* компоненти

33 ПРАВИЛА МЕШАЊА БОЈА

• последица правила мешања три компоненте:

- ако су компоненте: **три** конкретне боје у **свим** могућим односима
- онда су резултате: **све** нијансе на диску садржане у **троуглу** кога граде компоненте

• три почетне компоненте зову се **примарне боје**

- боје садржане у конкретном троуглу зависе од конкретног избора примарних боја

34 ПРАВИЛА МЕШАЊА БОЈА

• погодним избором трију примарних боја, троугао компоненте може садржати **цео** круг боја

- могући су многи различити избори примарних боја

• важан закључак: сви **квалитети** боја могу се добити од **само три** примарне боје

- међутим, троугао компоненте не може садржати све нивое **засићености**
- то се види на горњим примерима

35 ПРАВИЛА МЕШАЊА БОЈА

• основни колориметријски оглед

дводелни стимулус примарне боје (у пољу Б)

тест боја (λ) (у пољу А)

λ_1 (на пр. 450 nm)

λ_2 (на пр. 550 nm)

λ_3 (на пр. 700 nm)

• задатак субјекта: наћи интензитете примарних боја (I_1, I_2, I_3) тако да Б има **исту** боју као А

- математички израз мешања: $\lambda = I_1 * \lambda_1 + I_2 * \lambda_2 + I_3 * \lambda_3$
- понекад се једна од примарних боја мора пројектовати у **тест** половину стимулуса, да смањи засићеност тест боје
- у једначини: предзнак **минус** за ту компоненту
- **кључни резултат**: потребне **три** примарне боје
 - **две** примарне боје су недовољне, **четири** су непотребне

36 ПРАВИЛА МЕШАЊА БОЈА

• 'диск боја' у научној и техничкој употреби није **кружан** већ има облик **потковице**

- **обли део обода**: спектралне боје
- **равни део обода**: екстраспектралне боје
- **центар**: ахроматска тачка
- **три кружића**: приближне примарне боје TV екрана
 - црвена, плава, зелена
- **троугао**: опсег боја приказивих на TV екрану

• ова фигура служи за исправно предвиђање боје било које комбинације таласних дужина

37

ВРСТЕ МЕШАЊА БОЈА

- две врсте мешања боја
 - (1) *мешање светлости*: природно, адитивно
 - мешање светлости на мрежњачи
 - светлости се *додају*
 - (2) *мешање пигмената*: сликарско, суптрактивно
 - мешање *фарби* на површини објеката
 - фарба део светлости одбије а део упије ('одузме')



адитивно мешање

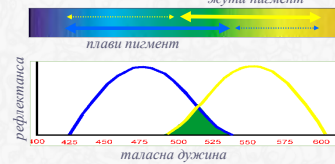


суптрактивно мешање

38

ВРСТЕ МЕШАЊА БОЈА

- зашто плава и жута фарба дају зелену (док плава и жута светлост дају сиву)?
 - мешање пигмената је *суптрактивно*
 - *плави пигмент*: одбија највише плаву и делом зелену светлост, упија жуту
 - *жути пигмент*: одбија највише жуту и делом зелену светлост, упија плаву
 - мешавина пигмената: одбија највише *зелену*



39

ФЕНОМЕНИ ОПАЖАЊА БОЈА

- два ефекта *просторног контекста*
 - исти објект се опажа да има различиту боју у различитим околинама
- **1. симултани контраст**
 - *контекст*: светло жута
 - *контекст*: тамно црвена
 - *објект*: физички иста наранџаста
 - *опажај*: тамније наранџаста (у светлом контексту)
 - *опажај*: светлије наранџаста (у тамном контексту)
- боја у контексту *контрастира* са околином
 - опажа се као светлија на тамној позадини, а тамнија на светлој
- *неурално објашњење (делимично)*: инхибиторно дејство околине рецептивних поља контрастира дејству центра РП



опажај: тамније наранџаста

опажај: светлије наранџаста

40

ФЕНОМЕНИ ОПАЖАЊА БОЈА

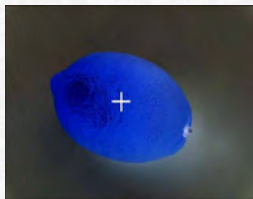
- **2. асимилација**
 - *контекст*: жуто-зелене траке
 - *контекст*: љубичасте траке
 - *објект*: физички исте тиркизне (плаво-зелене) траке
 - *опажај*: физички исте плаво-зелене траке изгледају:
 - *зеленије* у зелено-жутом контексту
 - *плавивије* у плаво-црвеном (љубичастом) контексту
 - ефект је све јачи са све већом *удаљеношћу* посматрача
 - боја се у контексту *асимилије* са околином (постаје јој је *сличнија*)
 - *неурално објашњење (делимично)*: хелије са великим рецептивним пољима комбинују дејство више трака



41

ФЕНОМЕНИ ОПАЖАЊА БОЈА

- **сукцесивни контраст**
 - накнадни ефект претходног опажања боја
- пример 1
 - дуже фиксирање правца погледа на крстић (до 20-30 сек.)



42

ФЕНОМЕНИ ОПАЖАЊА БОЈА

- **сукцесивни контраст**
 - накнадни ефект претходног опажања боја
- пример 1
 - дуже фиксирање правца погледа на крстић (до 20-30 сек.)

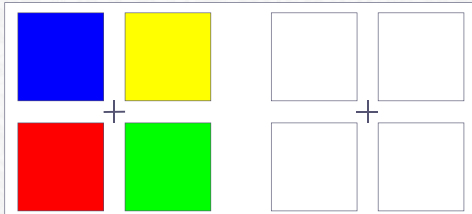


- након уклањања слике и замене белом позадином:
- краткотрајна појава жуте боје, комплементарне плавој

- комплементарна боја је слична правој жутој боји

43 ФЕНОМЕНИ ОПАЖАЊА БОЈА

- **сукцесивни контраст**
 - накнадни ефект претходног опажања боја
- пример 2
 - гледање у леви крстић, до 20-30 секунди
 - премештање погледа на десни крстић
- **резултат:** опажање бледих комплементарних боја



44 ФИЗИОЛОГИЈА БОЈА: ТЕОРИЈЕ

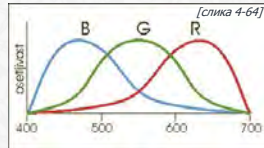
- која је физиолошка основа опажања боја?
- две класичне, међусобно супротстављене рецепторске теорије (19. век)
 - Јанг-Хелмхолцова теорија и Херингова теорија
- **Јанг-Хелмхолцова теорија**



- **психофизички налази**
 - све боје се могу направити од три примарне боје
- физиолошка претпоставка Јанга, разрађена од Хелмхолца
 - постоје три врсте фоторецептора (чепића)
 - чепићи имају различиту **спектралну осетљивост**
 - различито су осетљиви за различите таласне дужине (λ)

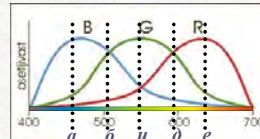
45 ФИЗИОЛОГИЈА БОЈА: ТЕОРИЈЕ

- Хелмхолцова хипотеза
 - спектрална осетљивост за три врсте чепића (B, G, R)
 - за сва три чепића: осетљивост прво расте, има максимум, па опада
- разлике у **максимуму** осетљивости
 - B (blue, плави), назван и S (short)
 - максимална осетљивост за *кратке* λ (на пр. 450 nm)
 - G (green, зелени), назван и M (medium)
 - максимална осетљивост за *средње* λ (на пр. 550 nm)
 - R (red, црвени), назван и L (long)
 - максимална осетљивост за *дуге* λ (на пр. 650 nm)
 - таласне дужине су приближне, служе за илустрацију



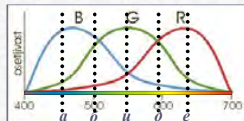
46 ФИЗИОЛОГИЈА БОЈА: ТЕОРИЈЕ

- примери ефеката светлости различитих λ (а једнаке јачине) на активност B, G, R и чепића:
 - светлост сваке поједине таласне дужине активира *сва* три рецептора, али са различитом јачином



	λ	активација чепића	приказ	боја
(а)	450nm	B јако, G и R слабо		плаво
(б)	500nm	B и G исто, R слабо		пл.-зел.
(ц)	550nm	G јако, B и R слабо		зелено
(д)	600nm	G и R исто, B слабо		жуто
(е)	650nm	R јако, G и B слабо		црвено

47 ФИЗИОЛОГИЈА БОЈА: ТЕОРИЈЕ



	λ	активација чепића	приказ	боја
(а) +	450nm	B јако, G и R слабо		плаво+зел.
(ц)	+550nm	& G јако, B и R слабо		=
		= B и G исто, R слабо (исто као за 500 nm)		плаво-зел.
(а) +(ц) +(е)	450nm +550nm +650nm	B, G, R исто сви јако сви слабо		бело тамно сиво
(а) +(д)	450nm +600nm	B јако, G и R слабо & G и R исто, B слаб. = сви исто		плав.+жуто = ахромат.

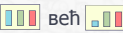

48 ФИЗИОЛОГИЈА БОЈА: ТЕОРИЈЕ

- **напомена:** што је јача светлост, то је јача реакција чепића
- **уочити:** исти чепић може бити *једнако* ангажован *различитим* таласним дужинама
 - на пр.: G је *једнако* активан:
 - слабом светлосту од 550
 - на коју је врло осетљив
 - средњом св. од 500 или 600 nm
 - на коју је средње осетљив
 - јаком св. од 450 или 650 nm (на коју је слабо осетљив)
- **закључак:** појединачни чепић 'не зна' каквом светлосту је стимулисан!
- опажање боја се заснива на *поређењу* реакције три врсте чепића на исту светлост



49

ФИЗИОЛОГИЈА БОЈА: ТЕОРИЈЕ

- опште објашњење постојања метамера:
 - физички веома различите комбинације таласних дужина могу имати физиолошки једнаке ефекте на три врсте чепића
 - *пример:* објект на ТВ може емитовати физички различиту комбинацију λ него у природи, али изгледати врло слично по боји
- објашњење накнадних ефеката боја:
 - дуготрајно гледање плаве боје привремено замара В-чепић
 - последица: бела површина не изазива  већ 
 - та структура активација чепића је неурални код за жуту боју!
 - зато се види *жута*, када се после дугог гледања *плаве* погледа *бела*

50

ФИЗИОЛОГИЈА БОЈА: ТЕОРИЈЕ

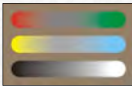
- **Херингова теорија:** критика Хелмхолца
 - *по Хелмхолцу:* опажање црног се дешава када ниједан чепић није ангажован
 - *али:* неангажованост би била *невиђење*, а црно није исто што и невиђење, већ је позитиван доживљај
 - *по Хелмхолцу:* жуто се опажа када су једнако ангажовани G и R-чепић
 - *али:* жуто се *не опажа* као мешавина црвене и зелене већ као основна боја
 - *по Хелмхолцу:* постоје три врсте чепића
 - *али:* зашто онда постоје четири основне боје?
 - зашто неке опажајне мешавине основних боја *постоје* а друге *не постоје*?
 - *на пр.:* плаво-зелену *опажамо* као мешавину плаве и зелене
 - *али:* не постоји *црвено-зелена* боја (коју би опажали као мешавину црвене и зелене)



51

ФИЗИОЛОГИЈА БОЈА: ТЕОРИЈЕ

- **Херингова теорија**
 - постоје три рецептора, другачији него Хелмхолцови
 - сваки рецептор је одговоран за *пар опонентних* (супротних) основних боја
 - црвено-зелени рецептор: RG
 - плаво-жути рецептор: BY
 - црно-бели рецептор: WbK
 - хемијска синтеза (анаболички процеси у рецептору) генерише једну боју у пару
 - хемијска анализа (катаболички процеси у рецептору) генерише другу боју у пару
- постојање оваква три рецептора објашњава зашто постоје четири основне хроматске основне боје (и две ахроматске)



52

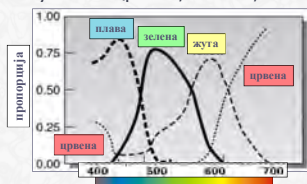
ФИЗИОЛОГИЈА БОЈА: ТЕОРИЈЕ

- предности Херингове теорије:
 - *црно:* није невиђење већ активација црно-белог рецептора (у 'црном' смеру)
 - *жуто:* није производ активације црвеног и зеленог већ плаво-жутог (B-Y) рецептора (у 'жутом' смеру)
 - *црвено-зелена боја:* не постоји, зато што су 'црвени' и 'зелени' процеси у *истом* рецептору *опонентни* (супротстављени), и не могу се истовремено одвијати
 - *плаво-зелена боја:* постоји, зато што изазива процесе у *различитим* рецепторима, који нису опонентни
 - плаво-зелена настаје заједничком активацијом B-Y (у 'плавом' смеру) и R-G (у 'зеленом' смеру)
 - проблем:
 - сиве нијансе се *опажају* као мешавине беле и црне, а та два процеса би требало да буду супротстављена

53

ФИЗИОЛОГИЈА БОЈА: ТЕОРИЈЕ

- *оглед 1:* опажање основних боја у спектру
- *поступак:* вербална процена
 - *приказано:* спектрална боја (400nm, 410 nm, ... , 700nm)
 - *задатак субјеката:* проценити у којој *пропорцији* су у њој заступљене црвена, зелена, плава и жута



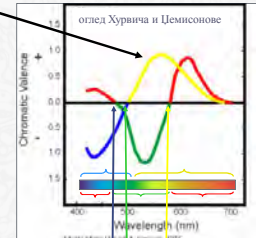
- *резултат:* скоро свуда постоје само две основне боје
- *уочити:* црвена крива из два дела, на два краја спектра

54

ФИЗИОЛОГИЈА БОЈА: ТЕОРИЈЕ

- *оглед 2:* опажање основних боја у спектру
- *поступак:* неутралисање присуства примесе основне боја додавањем комплементарне боје

- на пр. присуство примесе *жуће* мери се количином *плаве* која је потребна да *уклони* опажај жуће
 - види се да се највише плаве мора додати на око 580nm
- слично се мери присуство примесе плаве, црвене и зелене
- *уочити:* где има плаве нема жуће, и обрнуто, а где има црвене нема зелене, и обрнуто
- пресеци криви са апсцисом одговарају основним (чистим) бојама (плава, зелена, жута)
 - чисте црвене ту нема, јер није спектрална
 - добија се мешавином *дугих* и *кратких* λ



55 ФИЗИОЛОГИЈА БОЈА: ТЕОРИЈЕ

- касније теорије: 'мирење' Хелмхолца и Херинга
- **теорија опонентних процеса** (Хурвич и Џемисонова, 1974):
 - двослојна теорија
 - први слој: 'Хелмхолц'
 - рецептори: α , β , γ (то су В, G, R)
 - други слој: 'Херинг'
 - на пр. биполарне ћелије: BY, RG, WBk
- ћелије првог слоја утичу на активност ћелија другог слоја:
 - ексцитацијом (+) \longrightarrow
 - инхибицијом (-) $\cdots\cdots\cdots\longrightarrow$

56 ФИЗИОЛОГИЈА БОЈА: ТЕОРИЈЕ

- активација BY ћелија:
 - B-, G+, R+
 - G и R дају Y
- активација RG ћелија:
 - B+, G-, R+
 - B+ има слаб утицај
- активација WBk ћелија:
 - B+, G+, R+

општа шема теорије

[слика 4-70]

прикази компоненти опште шеме (BY, RG, WBk)

57 САВРЕМЕНА ИСТРАЖИВАЊА

- **фоторецептори: Хелмхолц** у праву (у основи)
 - нађене су три врсте чепића са различитом максималном спектралном осетљивошћу
 - максимална осетљивост:
 - В (одн. S): 440 нм
 - G (одн. M): 535 нм
 - R (одн. L): 565 нм
 - В-чепића има много мање него G и R
- В-чепићи региструју само половину спектра (од 400 до око 550 нм), G и R региструју цели спектар
- G и R имају веома сличну осетљивост (размак 30 нм)
- постоје извесне варијације максимума осетљивости код различитих људи, нарочито код G-чепића

58 САВРЕМЕНА ИСТРАЖИВАЊА

- ганглијске ћелије: **Херинг** у праву (у основи)
 - реакције ћелија су **хроматски опонентне** [слика 4-66]
 - ексцитација (+) и инхибиција (-), за различите λ
- две врсте BY ћел.
 - краће λ : -, дуге λ : +
 - B+Y-
- две врсте RG ћел.
 - кратке, средње λ : -, дуге λ : +
 - R+G-
 - кратке, средње λ : +, дуге λ : -
 - R-G+
- постоје и две врсте хроматски не-опонентних ћелија (WBk)
 - за све λ : +
 - за све λ : -

59 САВРЕМЕНА ИСТРАЖИВАЊА

- објашњење хроматски опонентних реакција
 - опонентна акција G и R чепића
 - опонентна акција B, и R и G чепића

осетљивост чепића		
опонентни утицај чепића на RG ћелије		

- **напомена:** стимулација **целог** рецептивног поља ганг. ћел.

60 САВРЕМЕНА ИСТРАЖИВАЊА

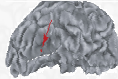
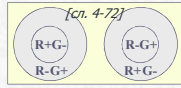
- структуре рецептивних поља субкортикалних ћелија (мрежњача, ЛГН) [слика 4-71]
 - **хроматски једно-опонентне ћелије:**
 - 4 типа RG ћелија: X(П), парвоцел.
 - 2 типа BY ћелија W(К), кониоцел.
 - 2 типа WBk ћелија Y(М), магноцел.
 - **хроматски не-опонентне ћел.:**

<p>просторно опонентне</p>	<p>просторно не-опонентне</p>	<p>просторно опонентне</p>
----------------------------	-------------------------------	----------------------------

61

САВРЕМЕНА ИСТРАЖИВАЊА

- структуре РП кортикалних ћелија зоне V1
 - ћелије у блобовима
 - просторно опонентне
 - хроматски дво-опонентне
 - ћелије у интерблобу
 - већином мање осетљиве за боју него блоб ћелије
 - али: постоје многе хроматски осетљиве просте, комплексне и хиперкомплексне ћелије
- зона V4 садржи ћелије посебно осетљиве за боје
 - мождани удар: губитак осетљивости за хроматске боје
 - нови налаз на људима (2008):
 - активација електродом одређене локације у V4 доследно изазива опажање плаво-љубичасте
 - приказивање плаво-љубичасте боје као стимулуса активира ту локацију у V4 (fMRI снимак)



62

ЕВОЛУЦИЈА И ГЕНЕТИКА БОЈА

- теорија Кристине Лед-Френклин (1929 год.)
 - током еволуције, прво су се развили штапићи
 - затим чепићи за жуто ('дуготаласни') и плаво ('краткоталасни')
 - по данашњим схватањима, пре више стотина милиона год.
 - затим, из чепића за жуто, чепићи за црвено и зел.
 - по данашњим схватањима, пре око 35 милиона година
- ген за V-чепић се налази на хромозому 7
- гени за R и G чепиће су на X-хромозому
 - мушкарци имају један X-хромозом, а жене имају два
 - код жена, ако је ген на једном X-хромозому дефектан, одговарајући ген на другом може да преузме функцију
 - последица: знатно већа подложност слепилима за боје код мушкараца него код жена

63

СЛЕПИЛА ЗА БОЈЕ

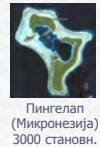
- поремећаји у опажању боја код људи
 - стари назив: 'Далтонизам'
 - носиоци поремећаја нису их увек свесни
 - јачина: од благих (чешће) до јаких (много ређе)
 - порекло: већином урођени, понекад стечени
 - учесталост: много чешћа код мушк. (7-8%) него код жена (0.5%)
 - понекад се јављају у већем броју у малим, изолованим заједницама (народ Самарићани, острво Пингелап)
 - неурални ниво поремећаја: већином периферни (мрежњача), понекад централни (кортекс)



64

СЛЕПИЛА ЗА БОЈЕ

- једна савремена класификација бојних слепила:
 - ахроматизам: мрежњача не садржи активне чепиће
 - потпуно одсуство опажања хроматских боја
 - веома ретко (пример: Knut Nordby)
 - обично: мање од 0.03%
 - на Пингелалу: до 10%
 - монохроматизам: само једна врста чепића
 - изузетно ретко, недовољно испитано
 - дихроматизам: само две врсте чепића
 - протанолија ('прво невиђење'): недостаје R
 - деутеранолија ('друго невиђење'): недостаје G
 - тританолија ('треће невиђење'): недостаје B
 - аномални трихроматизам
 - постоје све три врсте чепића, али спектрална осетљивост неких чепића значајно одступа од нормалне



65

СЛЕПИЛА ЗА БОЈЕ

- опажања боја по ранијим схватањима:
 - протанолија: невиђење црвене
 - деутеранолија: невиђење зелене
 - тританолија: невиђење плаве
- новија истраживања и теорије:
 - није тачно да опажање црвене зависи само од R, опажање зелене од G, а опажање плаве од B
 - протанолија и деутеранолија су слични
 - разлог: R и G-чепићи имају сличну осетљивост
 - не разликују црвену од зелене, с тим што протанолија опажају црвену као нешто тамнију, а деутеранолија зелену
 - има их много више код мушкараца него код жена
 - тританолија не разликују жуте и плаве
 - има их знатно мање од протанолија и деутеранолија
 - једнак број код мушкараца и жена

66

СЛЕПИЛА ЗА БОЈЕ

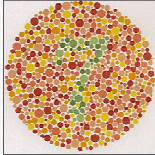
- симулације опажања код слепила за боје



67

СЛЕПИЛА ЗА БОЈЕ

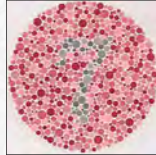
- методи испитивања слепила за боје:
- **Ишихарине таблице** (за клинички тест)
 - скуп фигура чије успешно препознавање зависи од исправног опажања боја
 - питање на тесту: који број се налази на цртежу?



опажај трихромата



опажај леуотеранопа

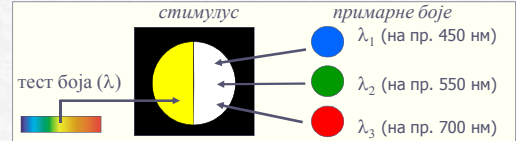


опажај тританопа

68

СЛЕПИЛА ЗА БОЈЕ

- **аномалоскоп** (за темељнија испитивања)
 - уређај коришћен у колориметријским огледима, прилагођен за тестирање слепила за боје



- **задатак:** мешањем три примарне репродуковати тест
 - **ахроматима** је довољна само једна, било која примарна боја
 - **дихроматима** су довољне две, у различитим износима
 - **аномалним трихроматима** су нужне три примарне боје, али у различитим износима него нормалним трихроматима
 - на пр., за чисту жуту неким је потребно више зелене, а другима више црвене него нормалним трихроматима

69

ОПАЖАЊЕ БОЈА КОД ЖИВОТИЊА

- делимично упознато
- немају све животиње три врсте чепића!
 - **ахромати:** животиње са очима без чепића
 - неке рибе из дубоких мора имају само штапиће
 - **монохромати:** очи са једном врстом чепића
 - осетљив на дуге λ , као R (до сада утврђени случајеви)
 - делфини, фоке, неки ноћни сисари (ракуни)
 - **дихромати:** очи са две врсте чепића
 - један осетљив на дуге λ (R) а други на кратке (B)
 - већина сисара: пси, мачке, бикови, ...
 - **трихромати:** очи са три врсте чепића
 - од сисара: само људи и неке врсте мајмуна
 - остале врсте: пчеле, златне рибице, неке птице, ...

70

ОПАЖАЊЕ БОЈА КОД ЖИВОТИЊА

- код пчела, чепић осетљив за кратке λ региструје и ултраљубичасте зраке
 - разне врсте цвећа рефлектују ултраљубичасте зраке, које пчеле детектују
- код неких мајмуна мужјаци су дихромати а већина женки су трихромати!
- неке животиње имају више од три врсте чепића
 - неке птице и лептири имају 4-5 врста чепића
 - неки ракови имају више од 10 врста чепића!
- последице разлика у броју чепића:
 - **објективно мерљиве:** разлике у дискриминацији боја
 - **ново истраживање (2007):** после генетске интервенције над мишевима (који су нормално дихромати), они се понашају као трихромати!
 - **субјективне:** разлике у доживљавању боја?