

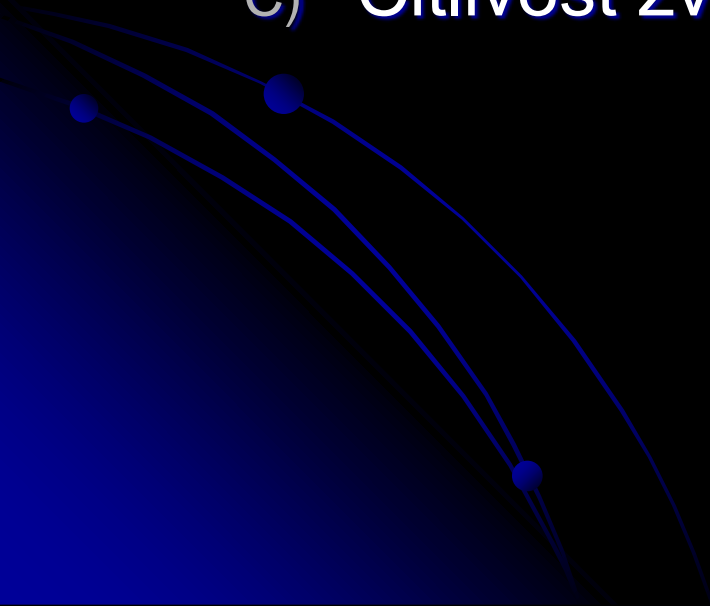
Bezobratlí v neuroetologii

Martin Vácha



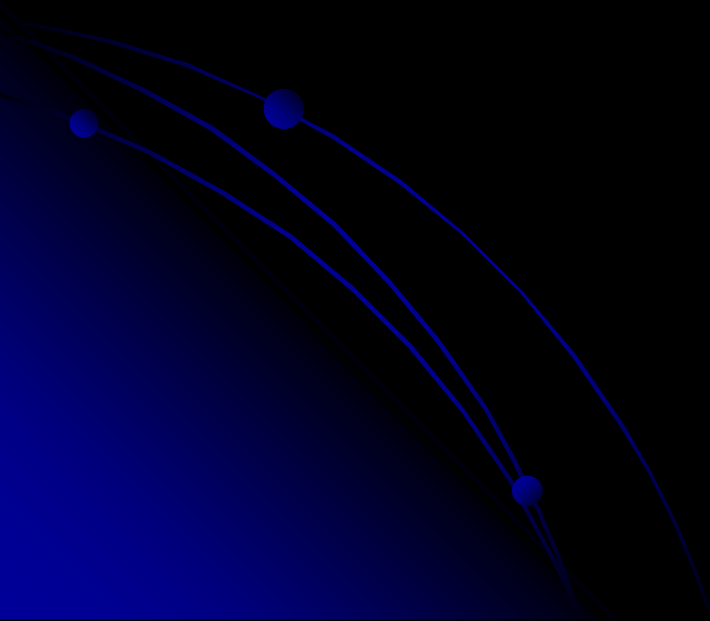
Bezobratlí v neuroetologii

- A) Bezobratlí jako model neuroetologických experimentů
- B) Podmiňování jako klíč k funkcím NS a smyslů
- C) Citlivost zvířat na magnetická pole



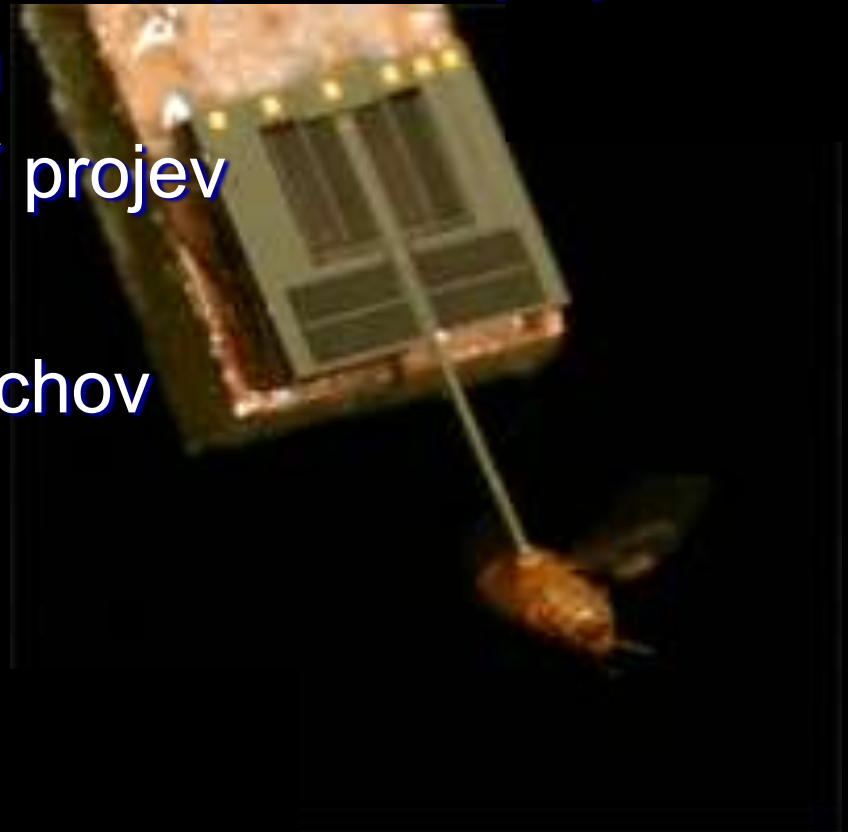
Neuroetologie (behaviorální neurobiologie):

- Syntéza etologie a neurobiologie (60.I)
- Neurální podstata chování
- Nástroj řešení otázek neurofyzologie



A) Bezobratlí v neuroetologii:

- Jednoduchý, snadno přístupný nervový systém
 - Larva 10 tis neuronů
- „Robustní“ behaviorální projev
- Laboratorní podmínky
- Snadný, levný a rychlý chov
- Mutantní linie

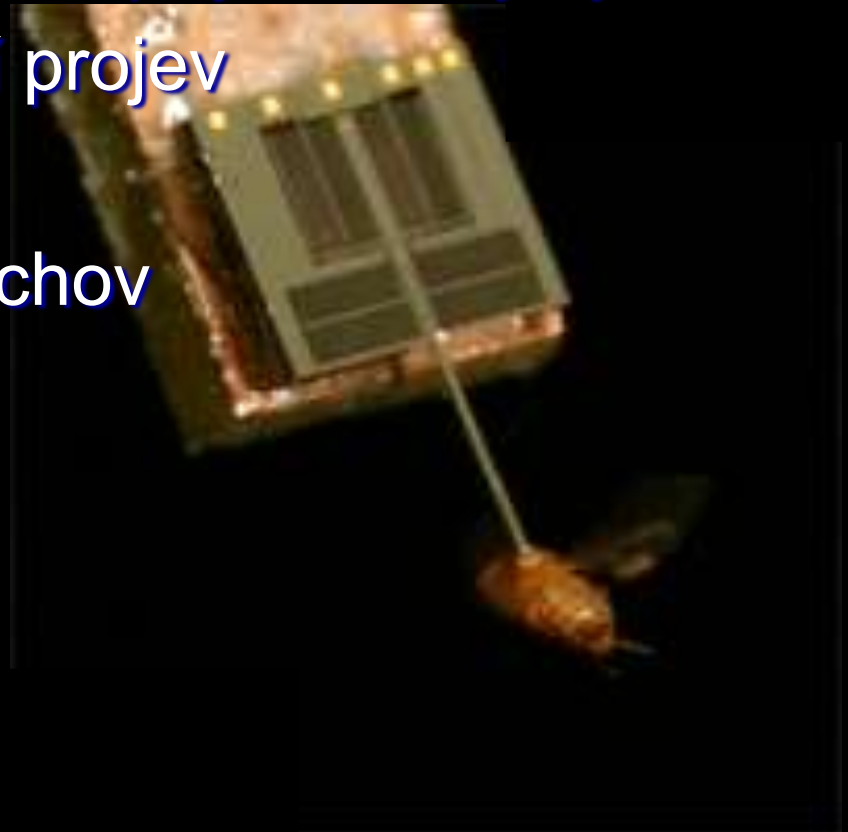


Bezobratlí v neuroetologii:

- Jednoduchý, snadno přístupný nervový systém
- „Robustní“ behaviorální projev
- Laboratorní podmínky
- Snadný, levný a rychlý chov
- Mutantní linie

=

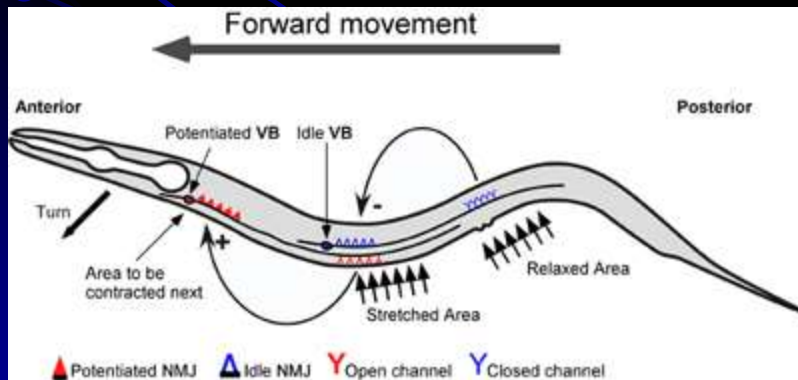
- Mimořádný význam



Bezobratlí v neuroetologii:

- Sensomotorické reflexy

Caenorhabditis elegans (hádčátko)



Bezobratlí v neuroetologii:

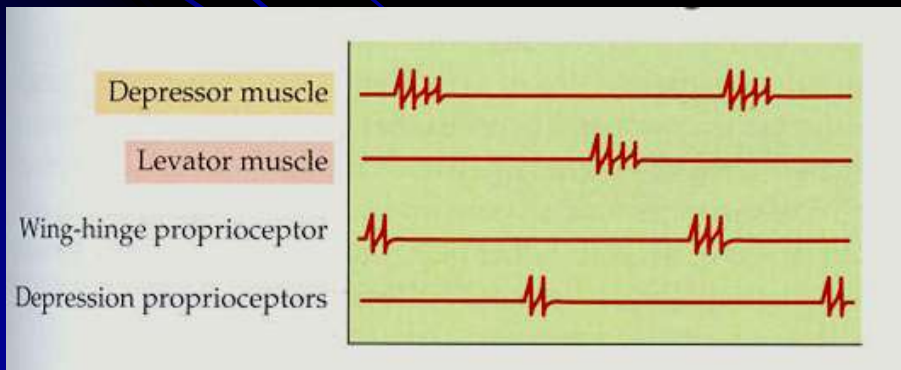
- Sensomotorické reflexy

Caenorhabditis elegans (hádčátko)



Bezobratlí v neuroetologii:

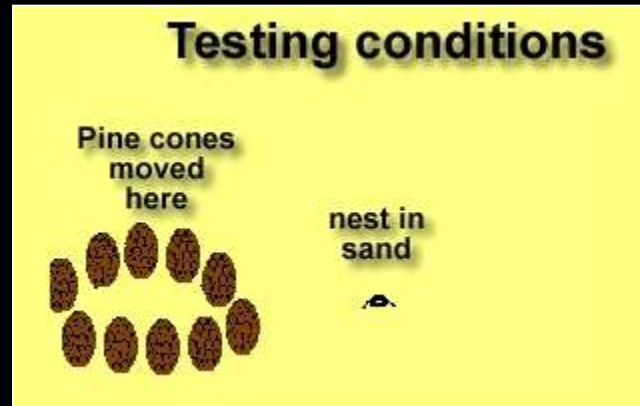
- Sensomotorické reflexy
- Motorické sekvence



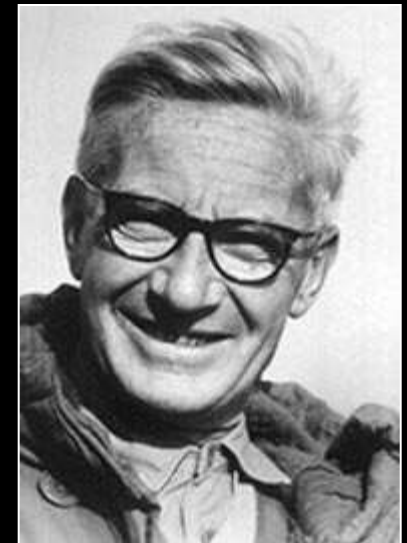
Clione limacina (valovka plžovitá)
„Sea angel“

Bezobratlí v neuroetologii:

- Sensomotorické reflexy
- Motorické sekvence
- Orientace



N. Tinbergen
Nobelova cena 1973



Philanthus triangulum

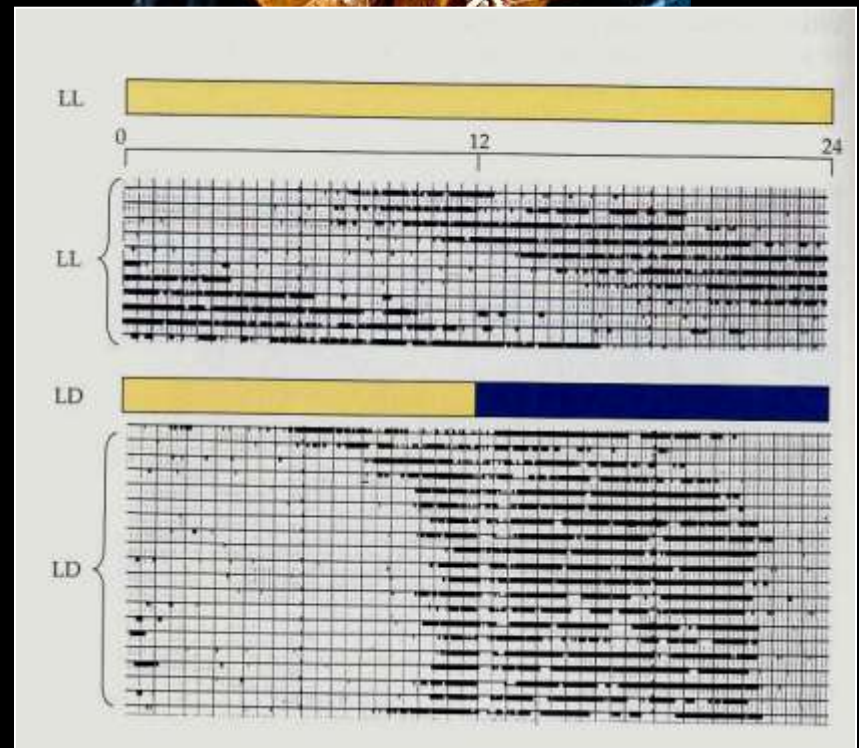
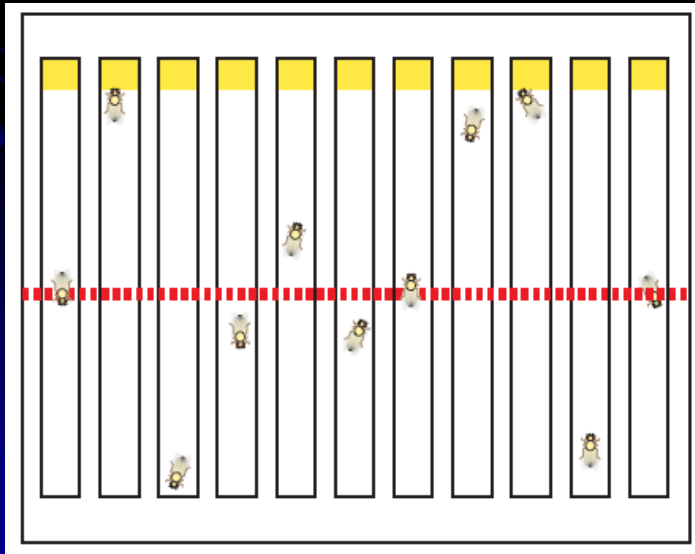
Bezobratlí v neuroetologii:

- Sensomotorické reflexy
- Motorické sekvence
- Orientace
- Komunikace



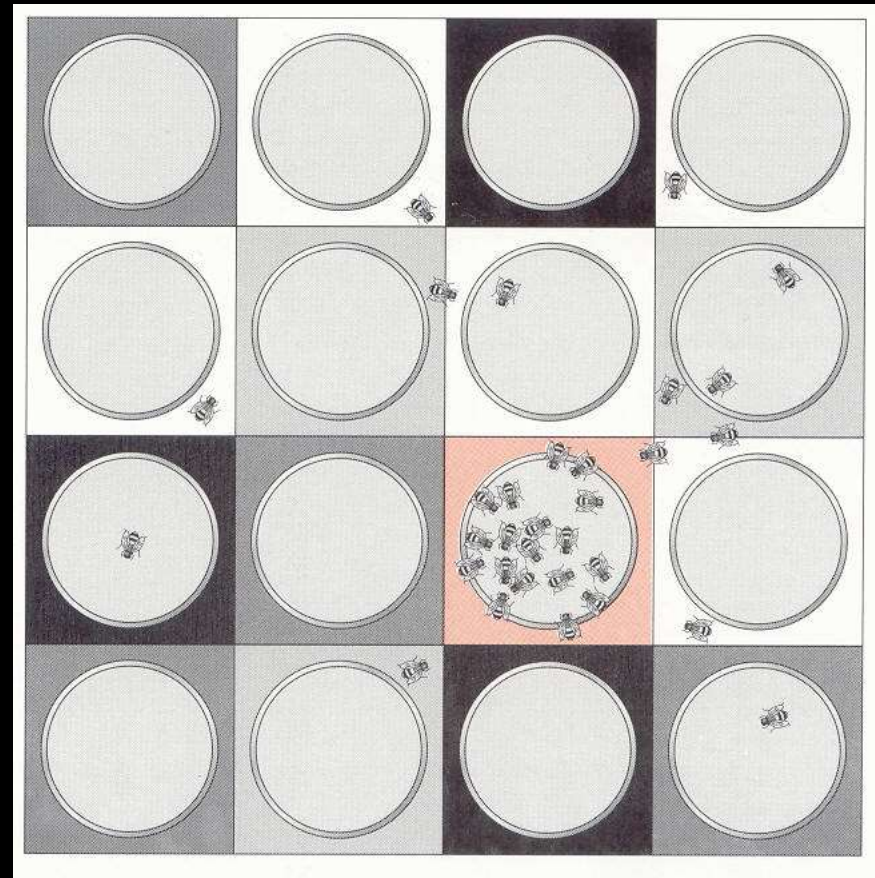
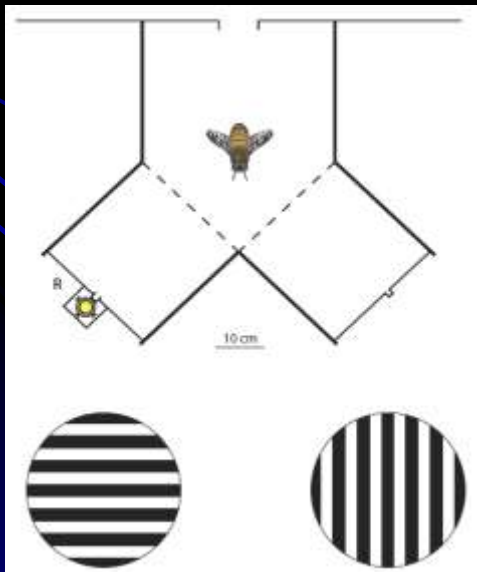
Bezobratlí v neuroetologii:

- Sensomotorické reflexy
- Motorické sekvence
- Orientace
- Komunikace
- Učení a paměť
- Circadiální rytmy



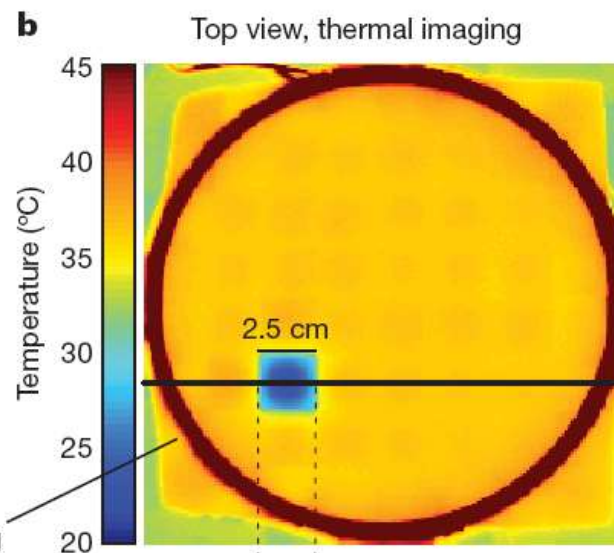
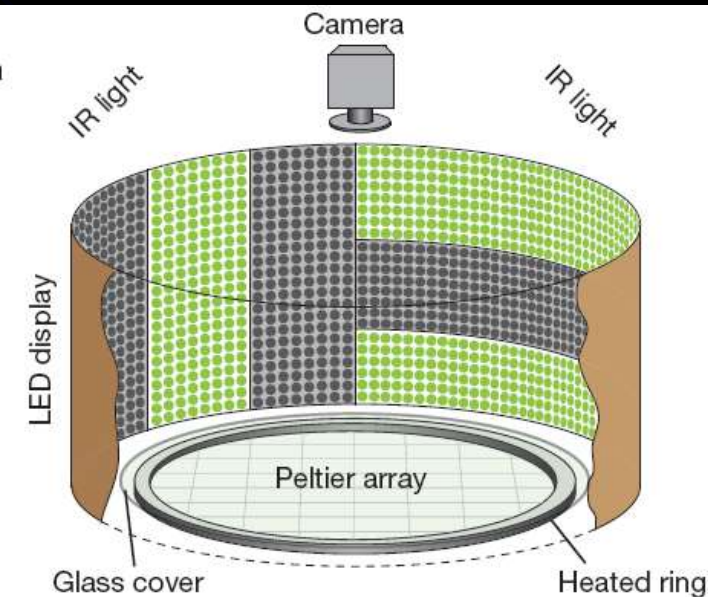
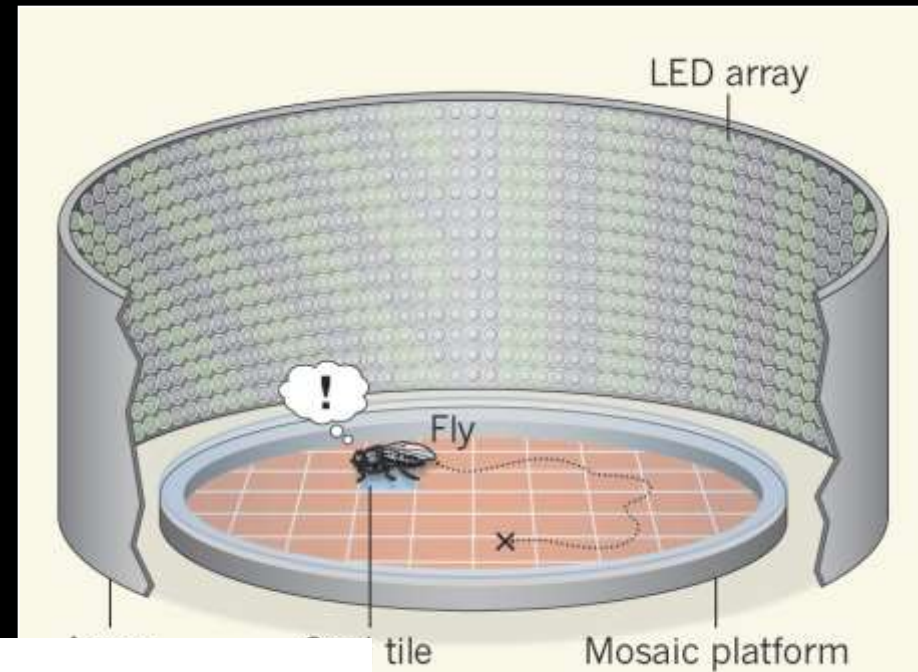
Bezobratlí v neuroetologii:

- Sensomotorické reflexy
- Motorické sekvence
- Orientace
- Komunikace
- Učení a paměť
- Circadiální rytmy
- Smyslové schopnosti



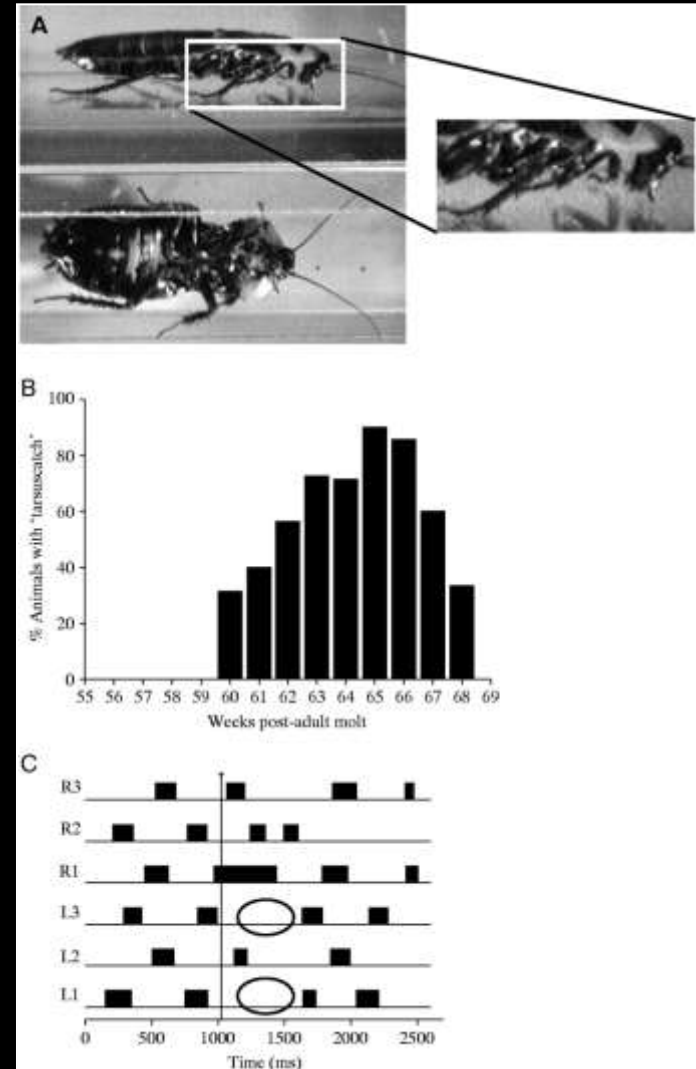
Bezobratlí v neuroetologii:

- Sensomotorické reflexy
- Motorické sekvence
- Orientace
- Komunikace
- Učení a paměť
- Circadiánní rytmy
- Smyslové schopnosti



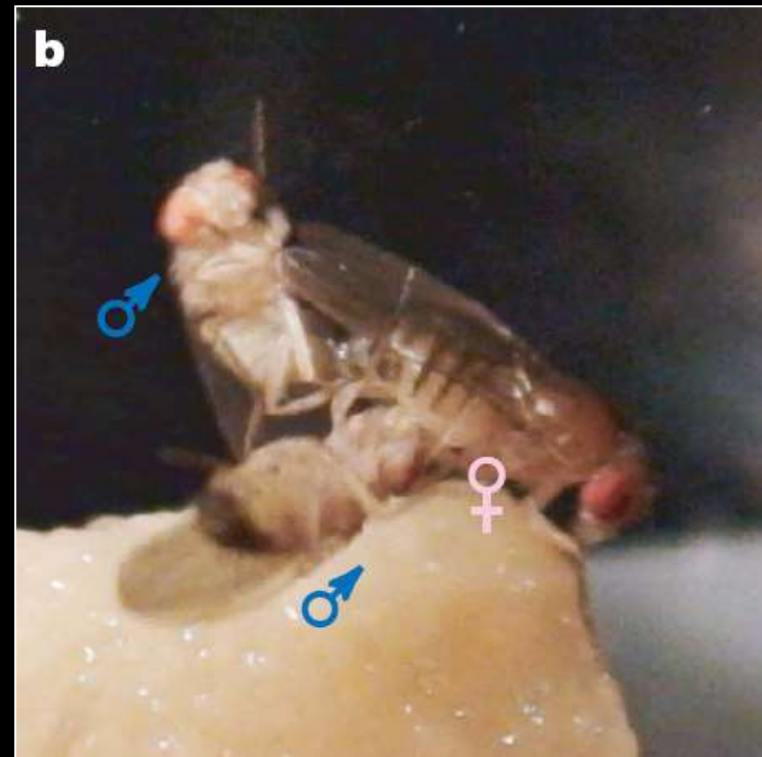
Bezobratlí v neuroetologii:

- Sensomotorické reflexy
- Motorické sekvence
- Orientace
- Komunikace
- Učení a paměť
- Circadiánní rytmy
- Smyslové schopnosti a dráhy
- Stárnutí



Bezobratlí v neuroetologii:

- Sensomotorické reflexy
- Motorické sekvence
- Orientace
- Komunikace
- Učení a paměť
- Circadiánní rytmy
- Smyslové schopnosti
- Stárnutí
- Sexuální orientace



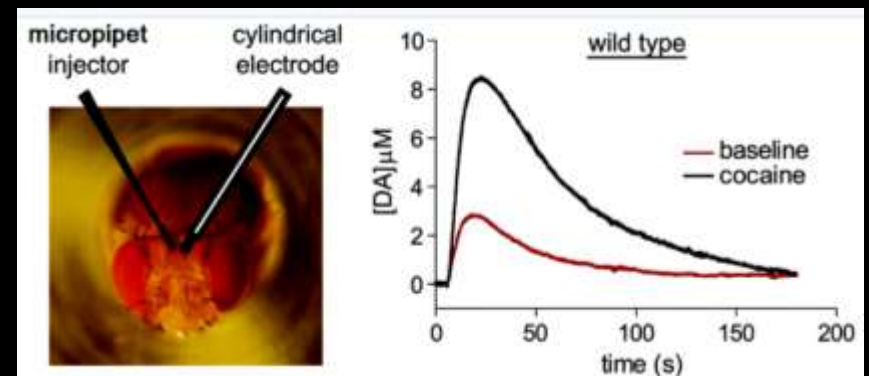
Bezobratlí v neuroetologii:

- Sensomotorické reflexy
- Motorické sekvence
- Orientace
- Komunikace
- Učení a paměť
- Circadiánní rytmy
- Smyslové schopnosti
- Stárnutí
- Sexuální orientace
- Agresivita



Bezobratlí v neuroetologii:

- Sensomotorické reflexy
- Motorické sekvence
- Orientace
- Komunikace
- Učení a paměť
- Circadiánní rytmy
- Smyslové schopnosti a dráhy
- Stárnutí
- Sexuální orientace
- Agresivita
- Působení drog a farmak



Bezobratlí v neuroetologii:

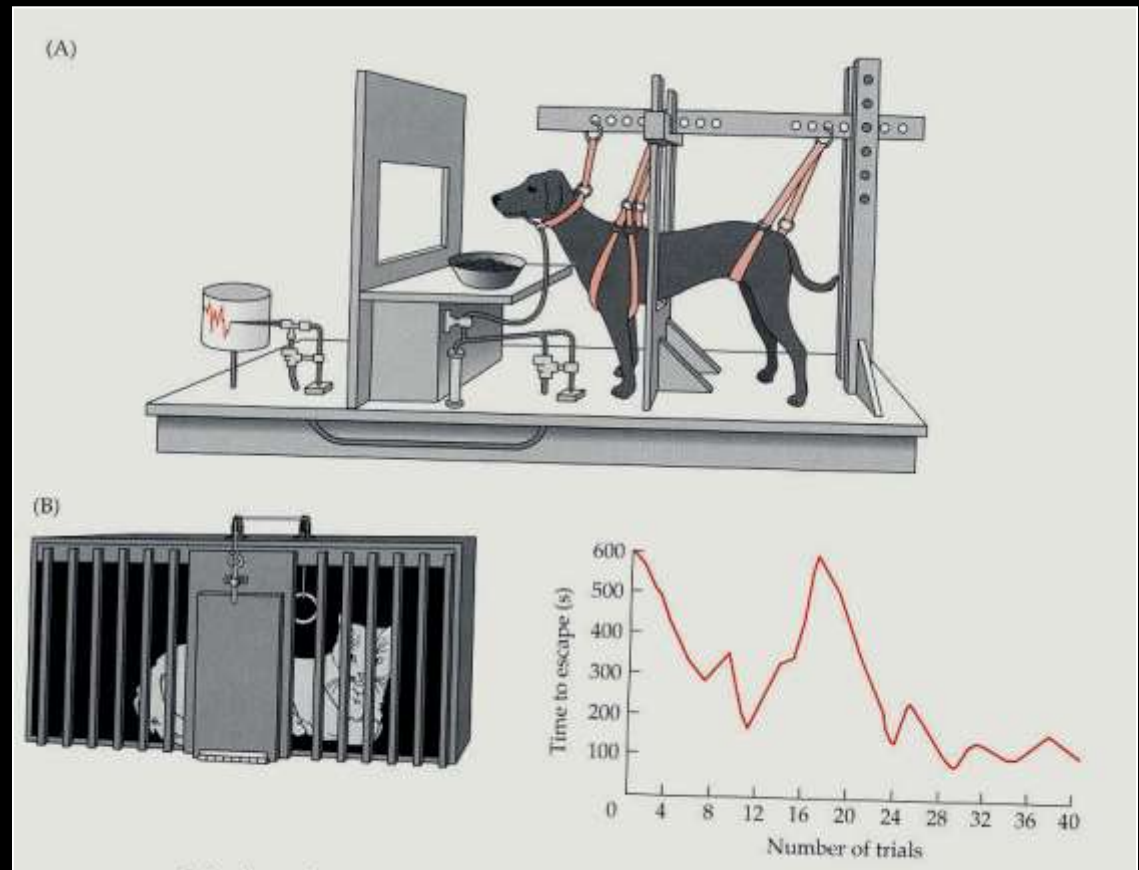
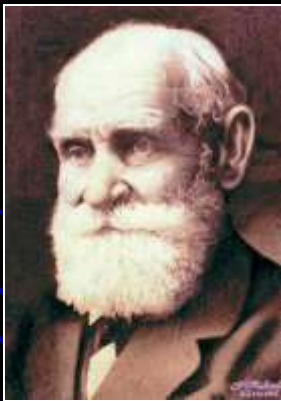
- Sensomotorické reflexy
- Motorické sekvence
- Orientace
- Komunikace
- Učení a paměť
- Circadiální rytmy
- Smyslové schopnosti
- Stárnutí
- Sexuální orientace
- Agresivita
- Působení drog a farmak
- Ochota riskovat, emoce atd...



B) Podmiňování jako klíč k funkci NS a smyslů

Vytvoření podmíněného spojení je důkazem plasticity NS a základem paměti a učení.

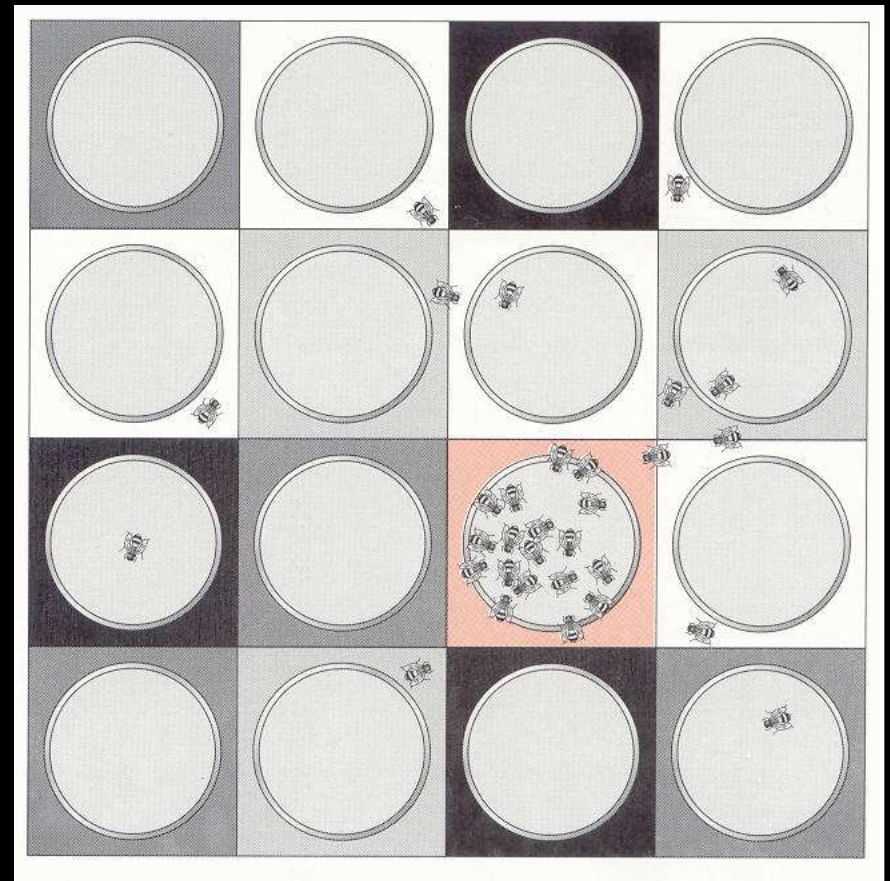
Pavlov



Podmiňování jako klíč k funkci NS a smyslů

Vytvoření podmíněného spojení je důkazem plasticity NS a základem paměti a učení.

von Frish



Vytvoření podmíněného spojení může být: cílem výzkumu paměti a učení



Aplysia – zej
„mořský zajíc“

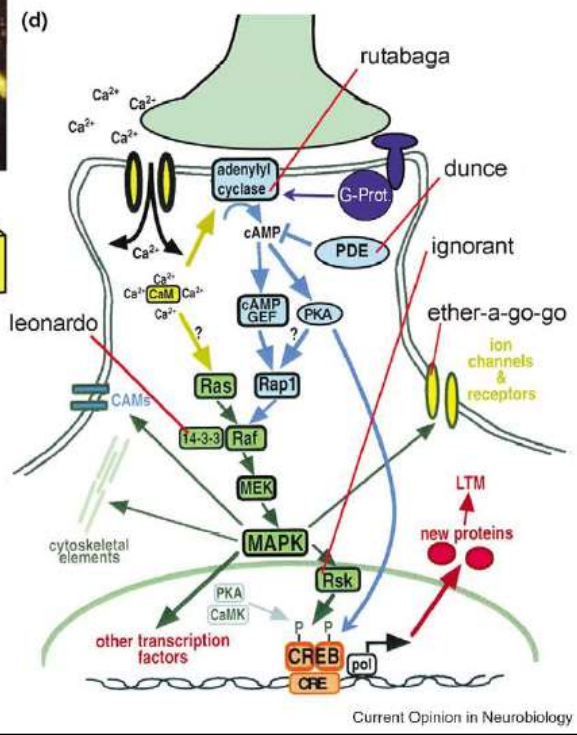
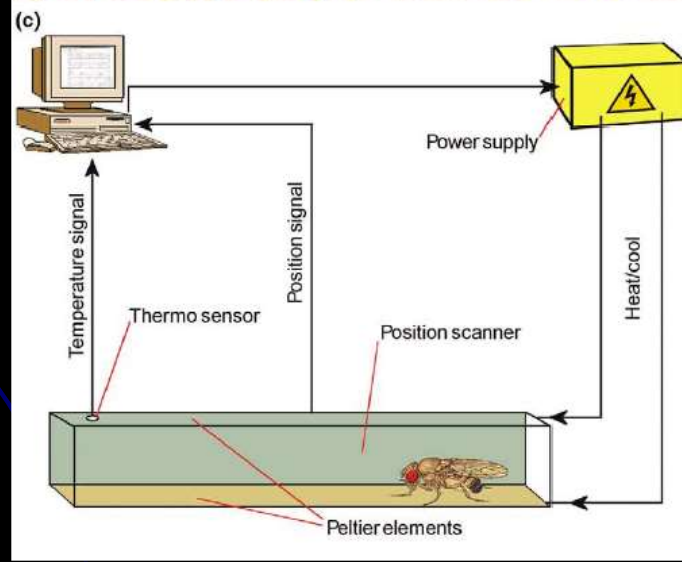
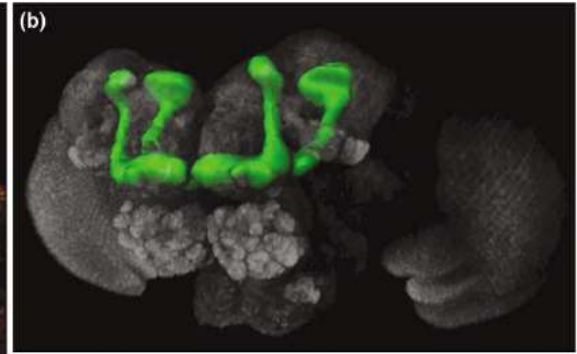
Aplysia

Eric Kandel
Nobelova cena 2000



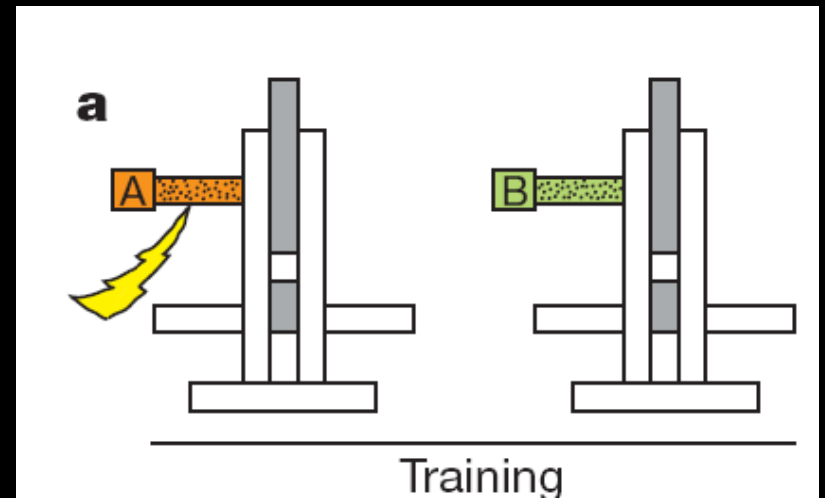
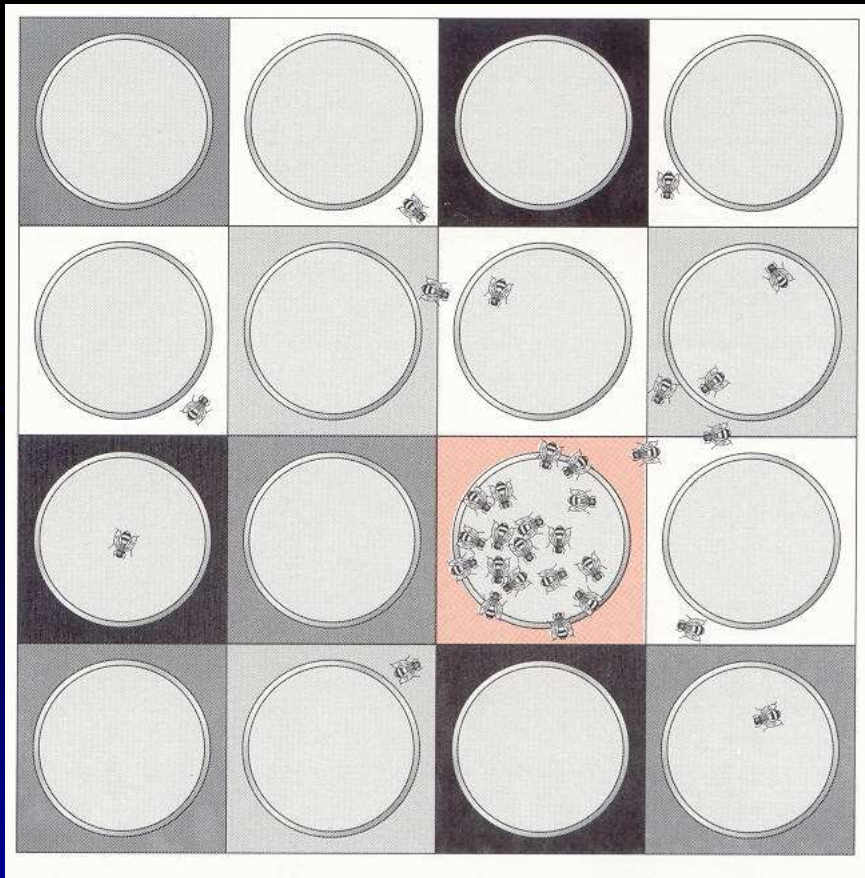
Vytvoření podmíněného spojení může být: cílem výzkumu paměti a učení

Trénink a test



Vytvoření podmíněného spojení může být: nástrojem výzkumu smyslových schopností

Odměna nebo trest při tréninku



Video

Vytvoření podmíněného spojení může být: nástrojem výzkumu smyslových schopností

Richard Axel

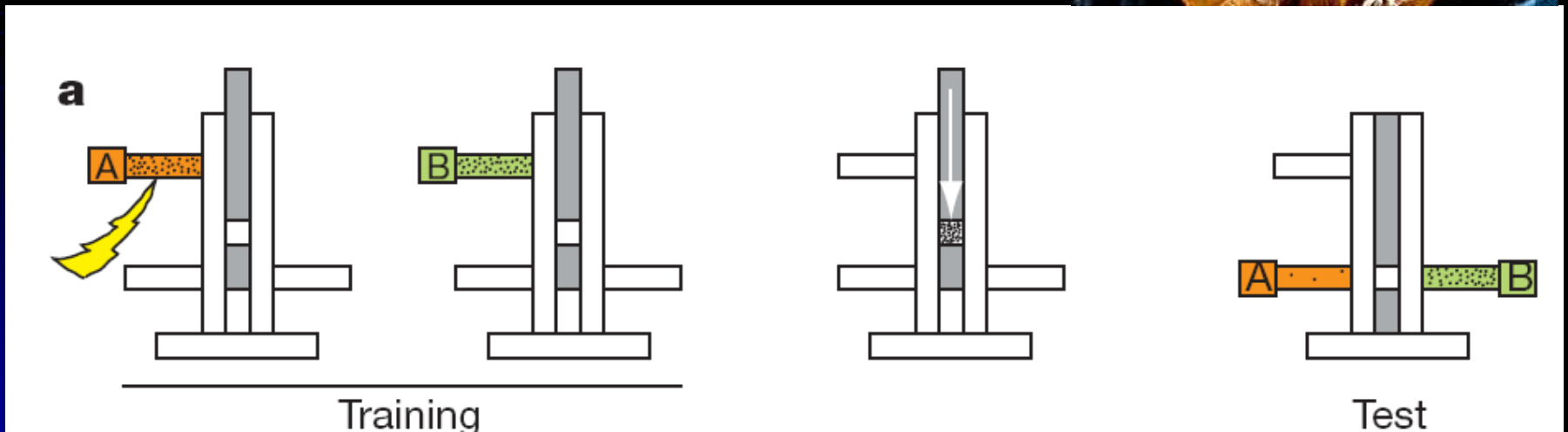
Nobelova cena 2004 za objevy podstaty čichu



Vytvoření podmíněného spojení může být: nástrojem výzkumu smyslových schopností

Richard Axel

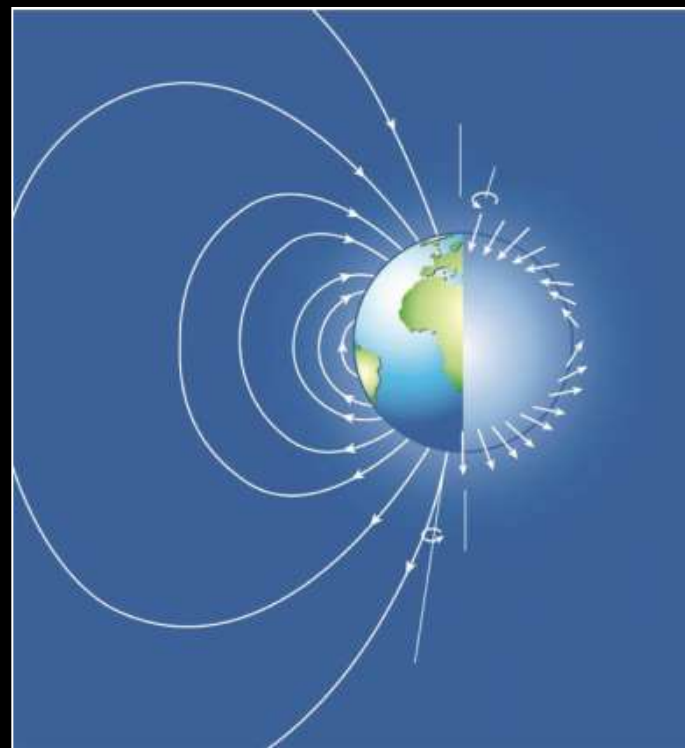
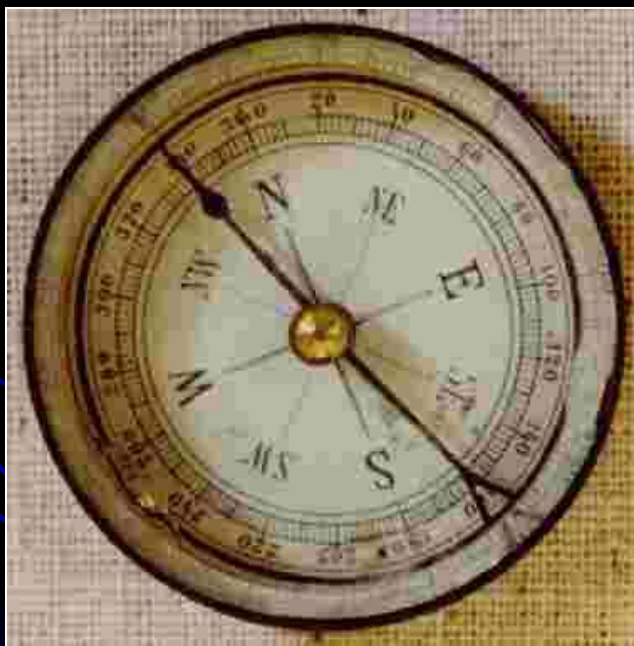
Nobelova cena 2004 za objevy podstaty čichu



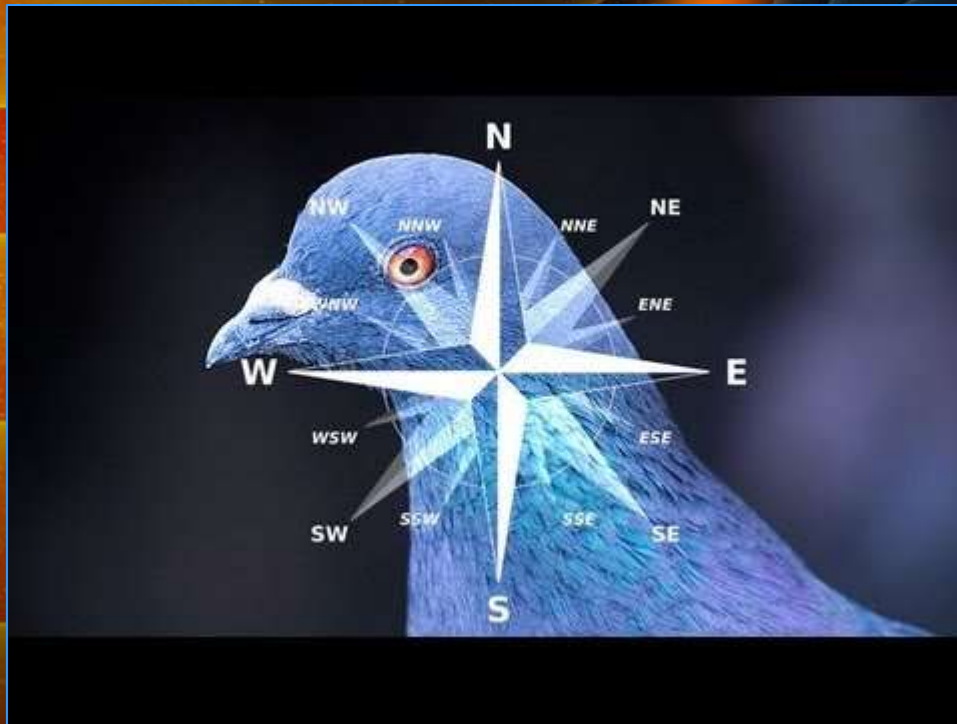
C) Magnetorecepce – výzva smyslové fyziologii



Kompas: Všudypřítomné vodítko



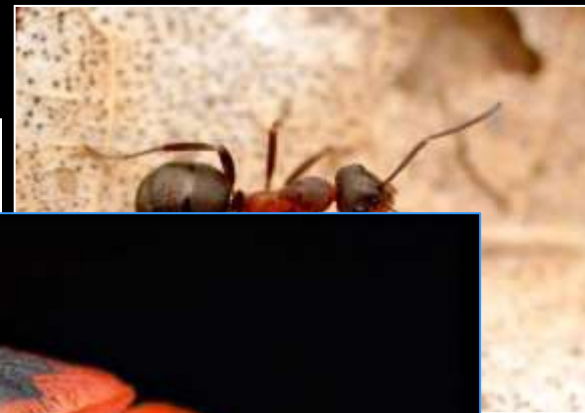
Geomagnetické pole doprovází život od jeho počátku



Schopnost je vnímat je dnes již dobře doložený fenomén.



Od 60' do dneška:



Zájem badatelů neklesá.

WEB OF SCIENCE™

Search

[Return to Search Results](#)

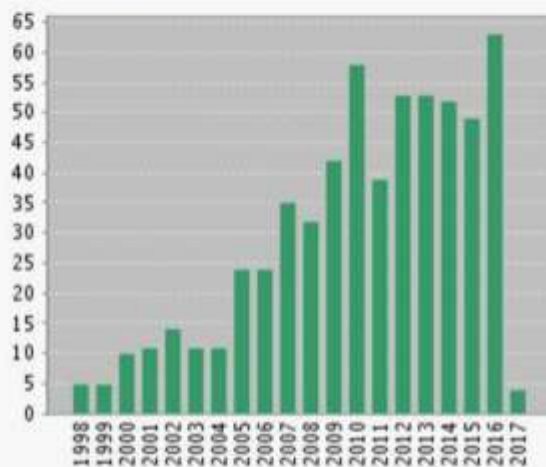
Citation Report: 648

(from Web of Science Core Collection)

You searched for: **TOPIC:** (magnetoreception) ...[More](#)

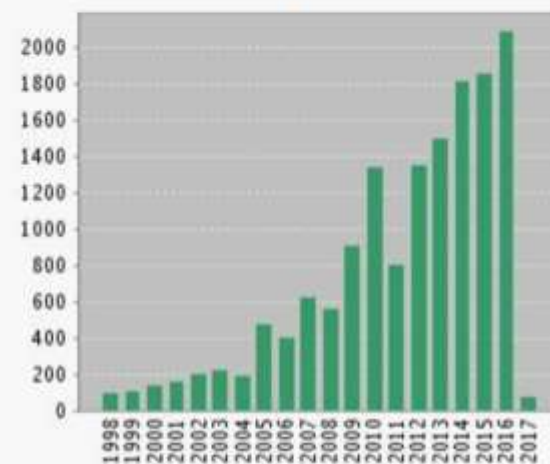
This report reflects citations to source items indexed within Web of Science Core Collection. Perform a Cited Reference Search to include citations to items

Published Items in Each Year



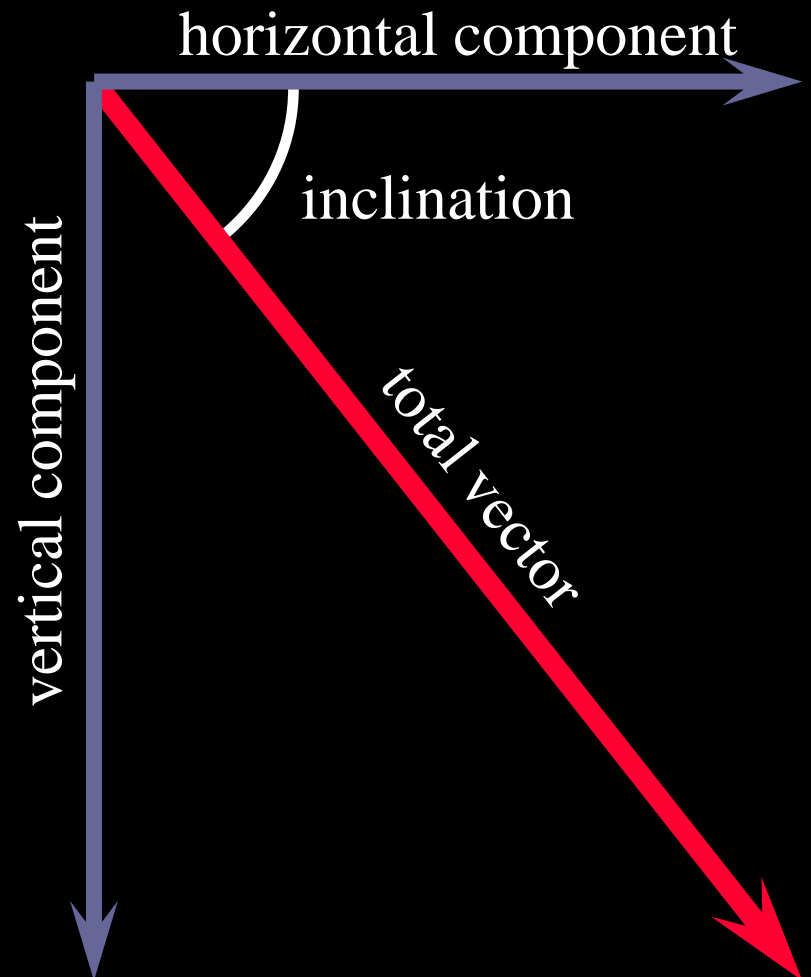
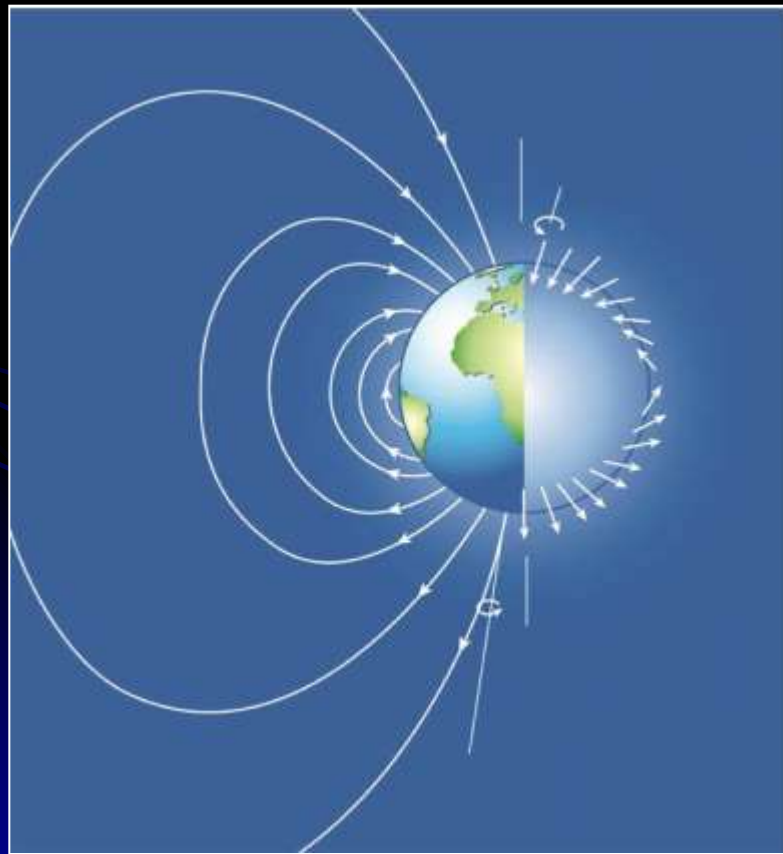
The latest 20 years are displayed.
[View a graph with all years.](#)

Citations in Each Year

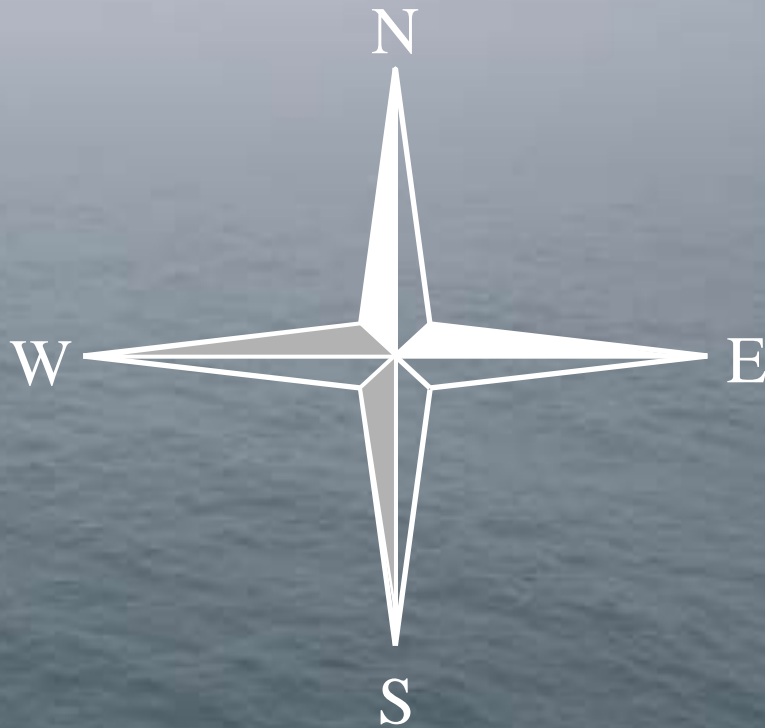
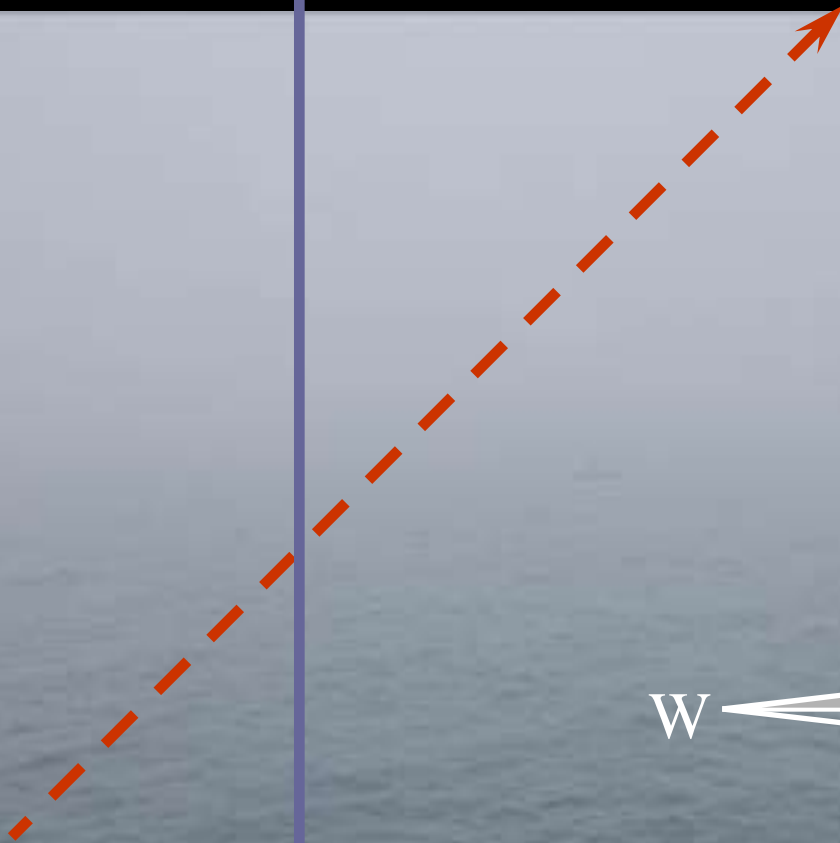


The latest 20 years are displayed.
[View a graph with all years.](#)

K čemu dobrá recepce? Užitečné orientační vodítko.



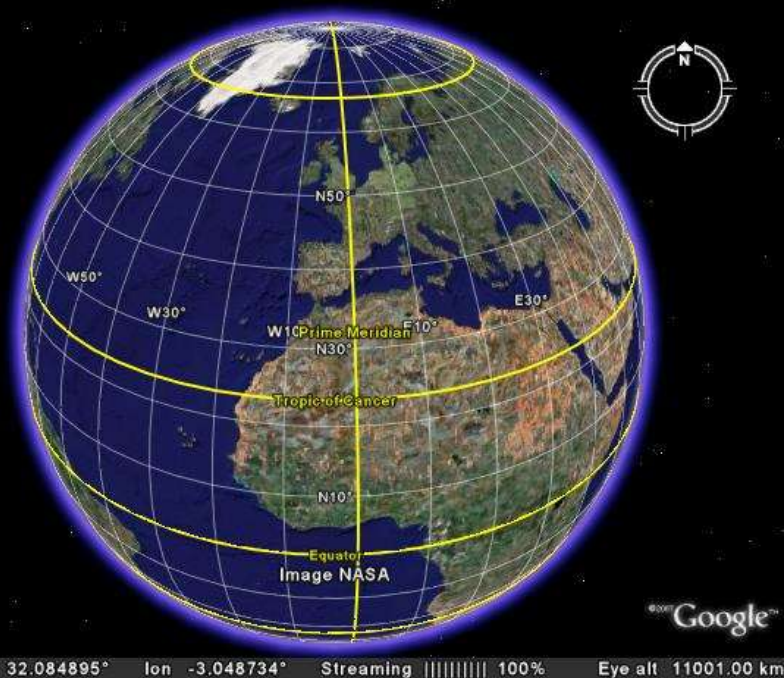
K čemu dobrá?



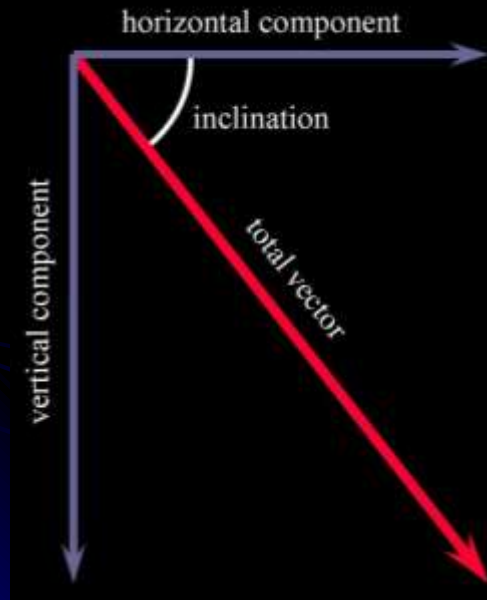
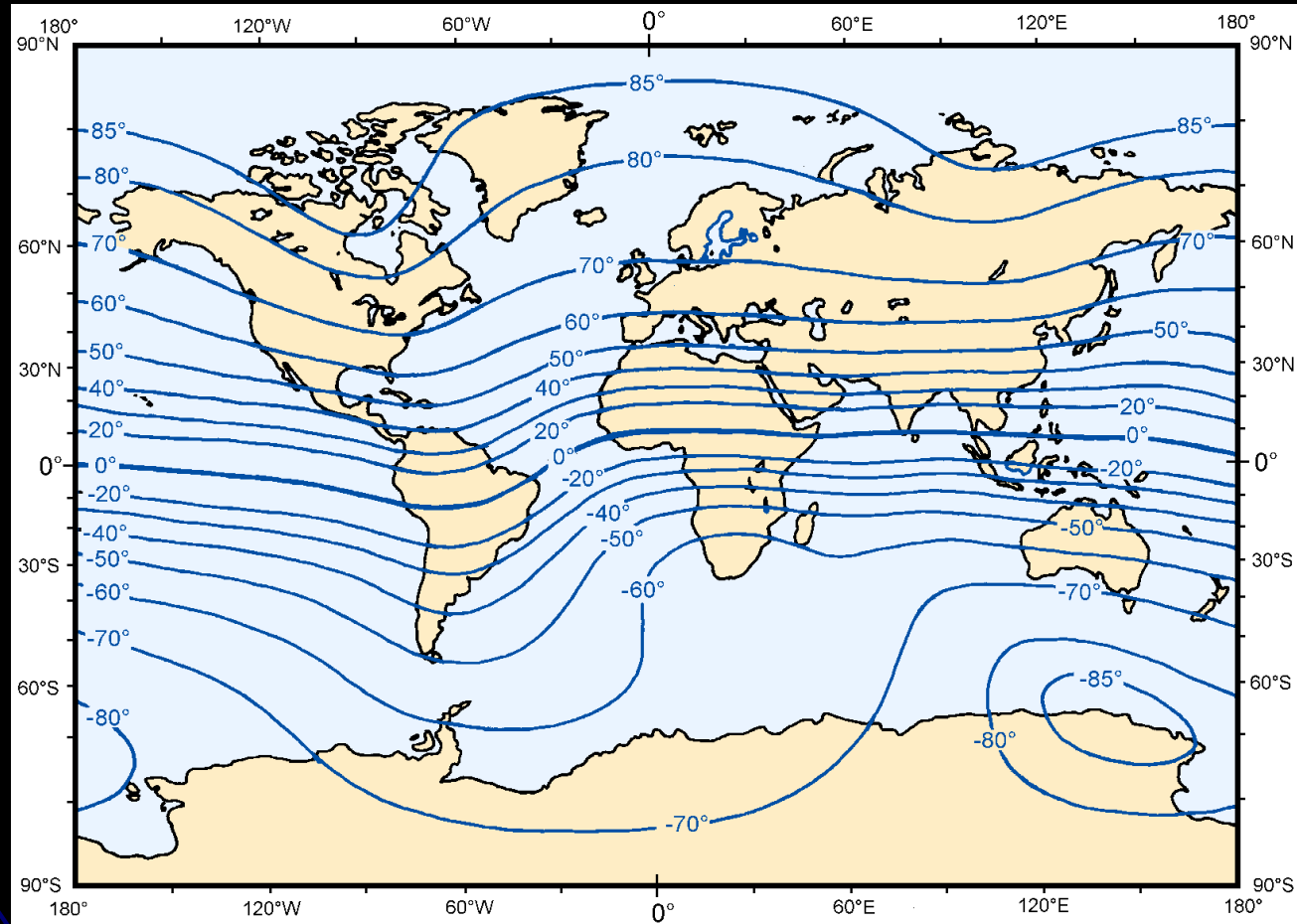
K čemu dobrá?

2. Lokalizovat pozici - **Mapový smysl - navigace**

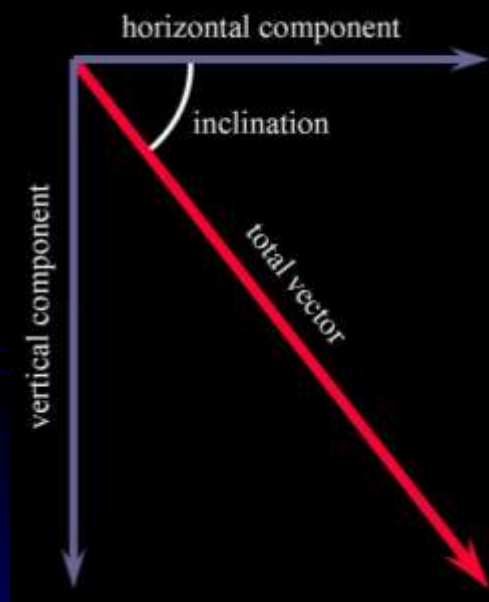
“GPS systém“ zvířat – závisí na souřadné síti
dvou gradientů



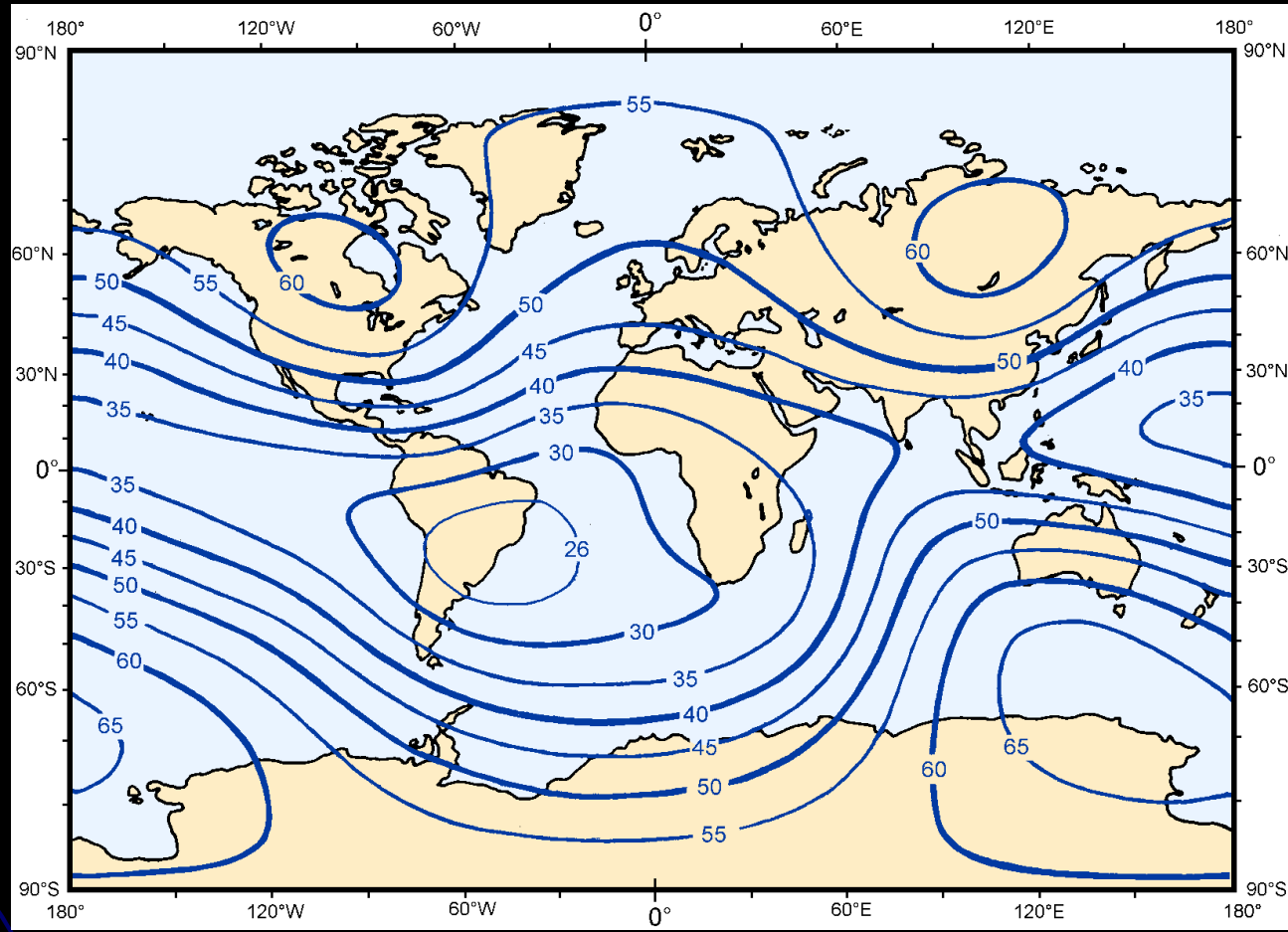
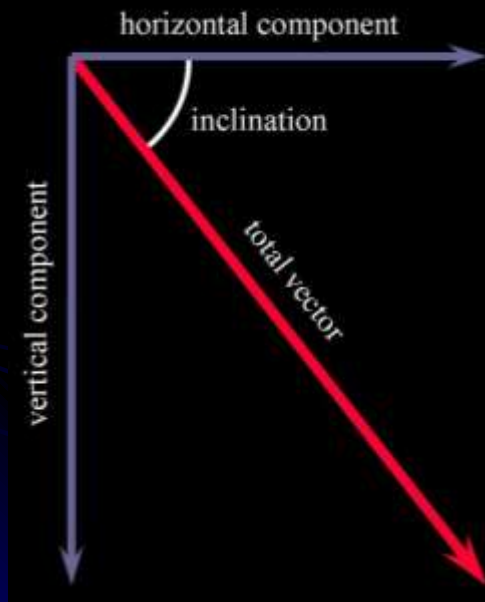
Z inklinace se dá zjistit geografická šířka...



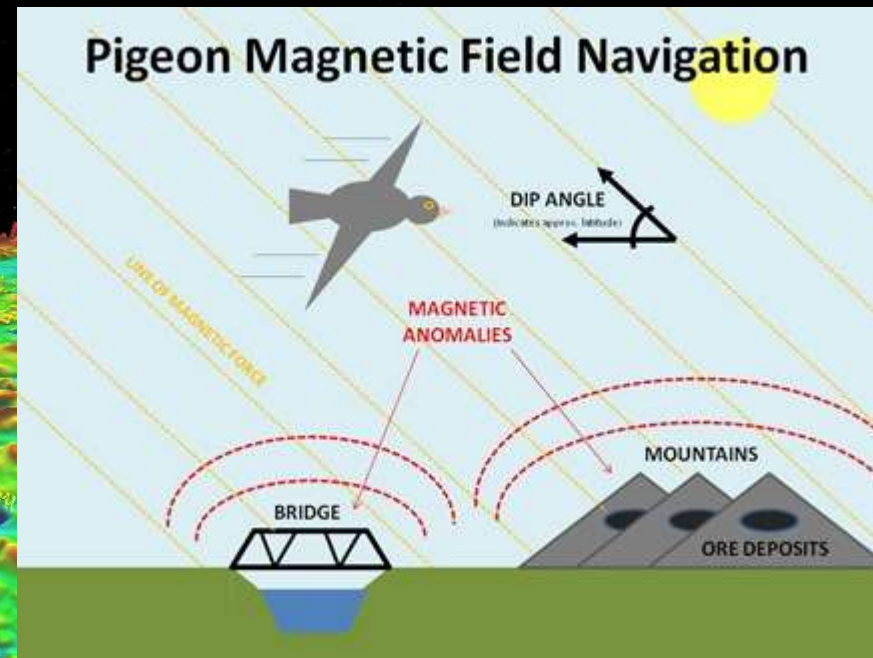
...a lokalizovat severo-jížní pozici.
Potřebujete ale speciální kompas.



Z intenzity se dá zjistit geografická délka



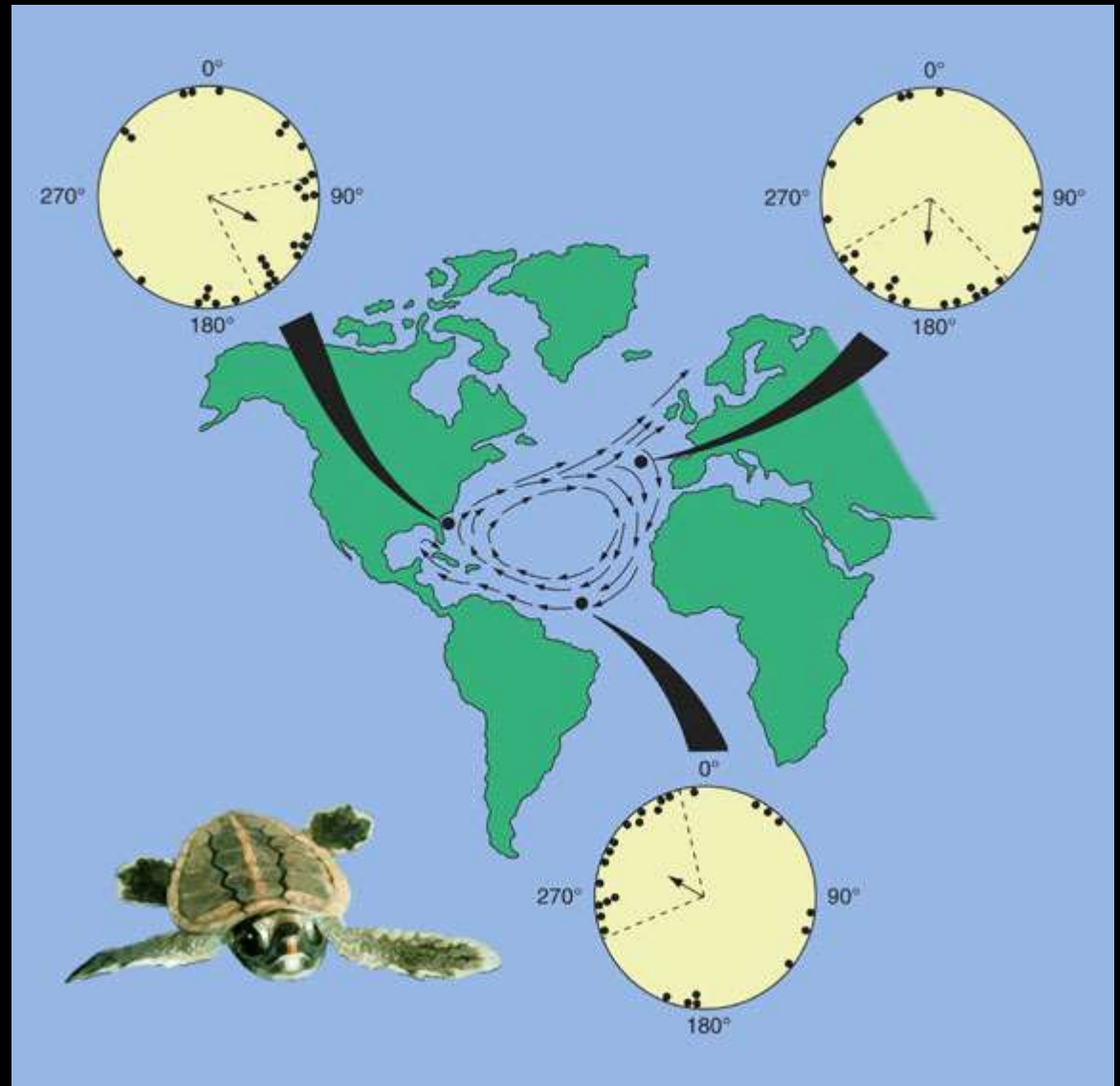
3. Lokální anomálie mohou sloužit jako místní vodítka.



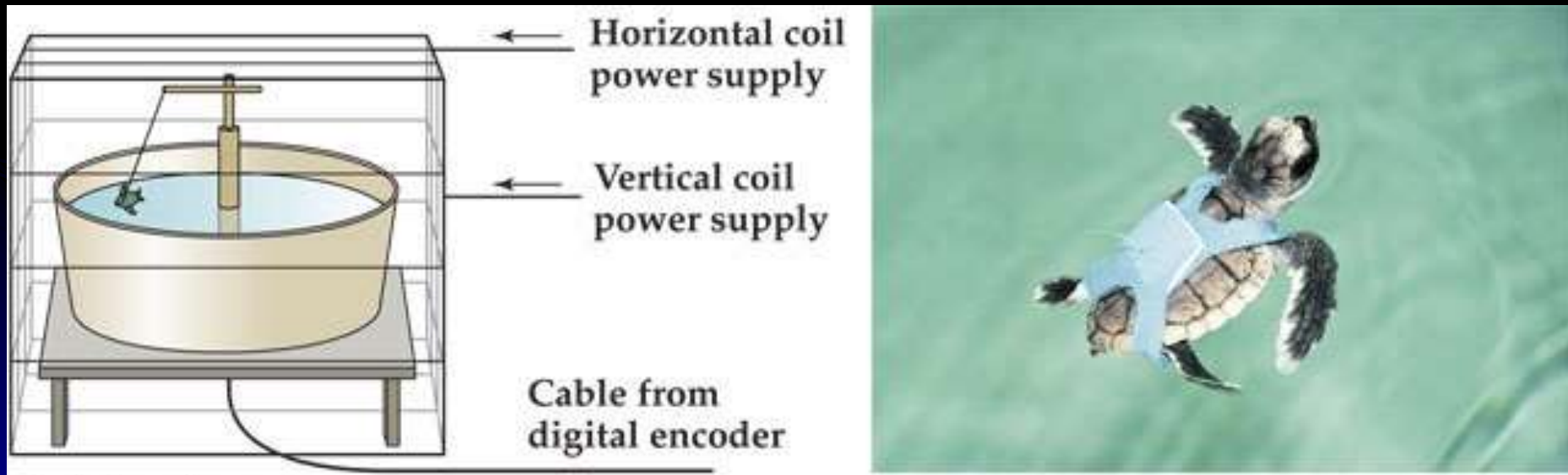
Kompas nebo mapa?

Karety mají
mapu

Používají
magnetické
parametry jako
majáky k
orientaci.



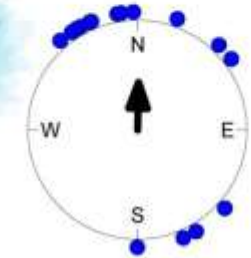
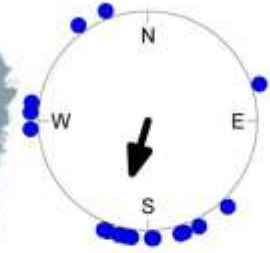
Mladé karety v systému cívek simulujícím lokální pole.



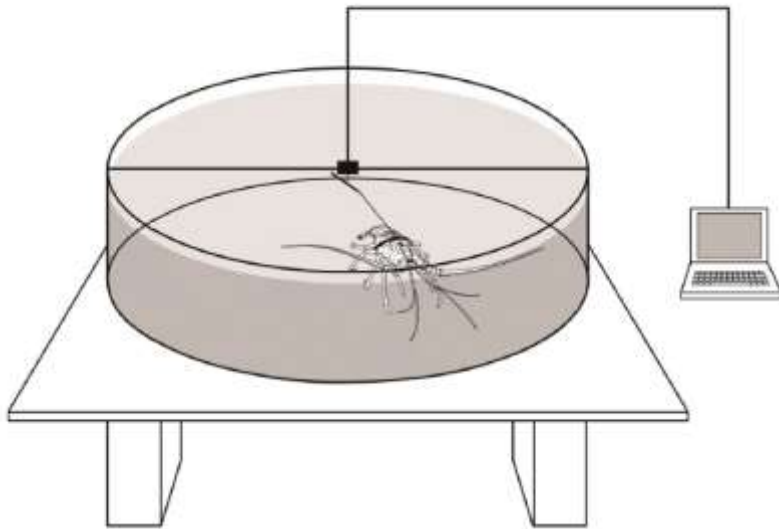
Langusta karibská mapu používá také



Simulated northern location:
47.900nT, 59.3° inclination



Simulated southern location:
42.800nT, 51.4° inclination

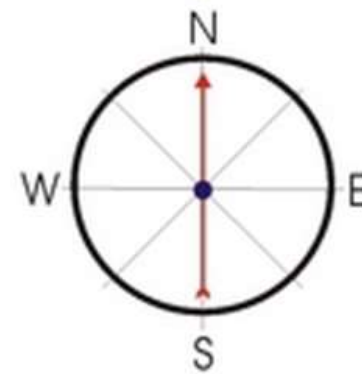
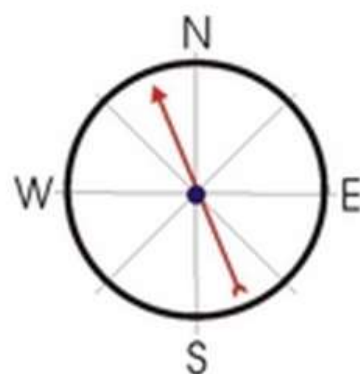
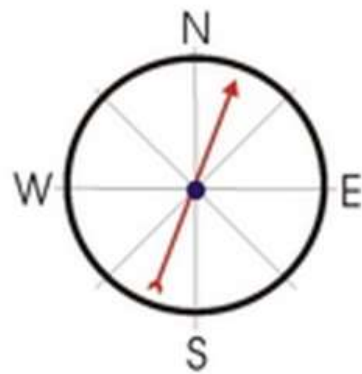
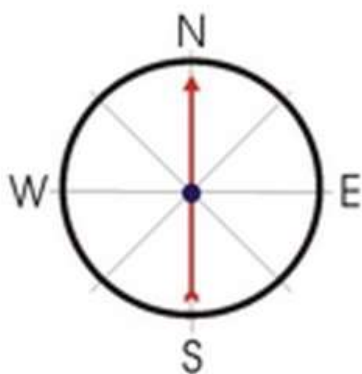
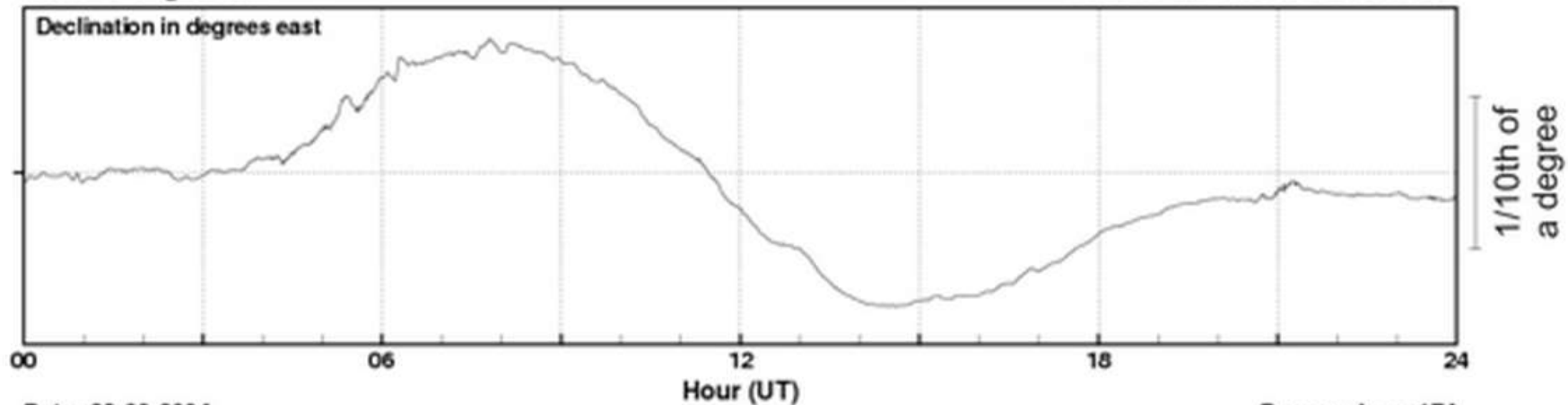


4. Z denných variácií je možné zistiť čas

National Geomagnetic Service, BGS, Edinburgh

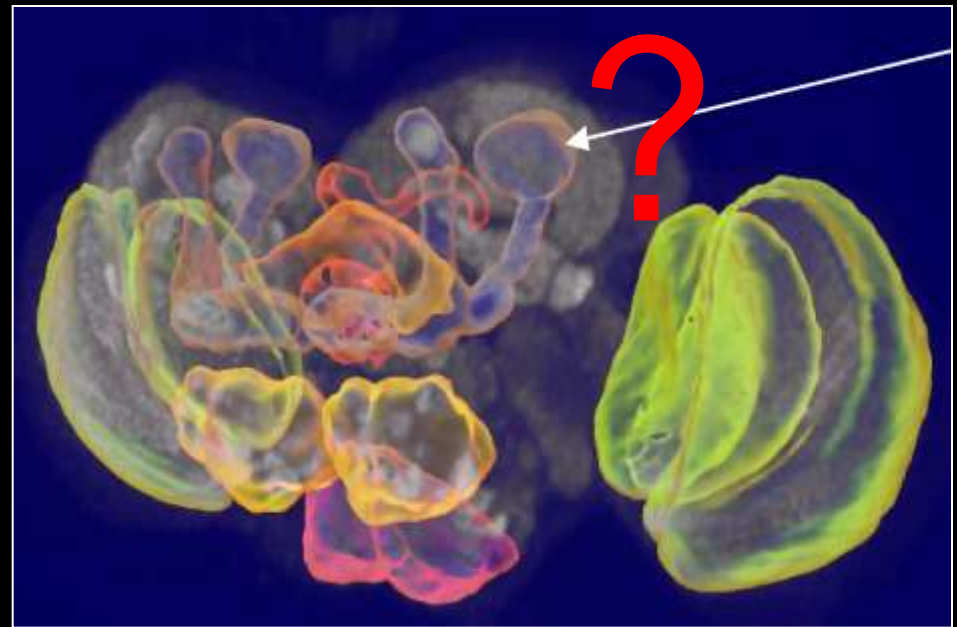
GDAS 1 Fluxgate Data

Hartland lat: 50.995N lon: 355.516E

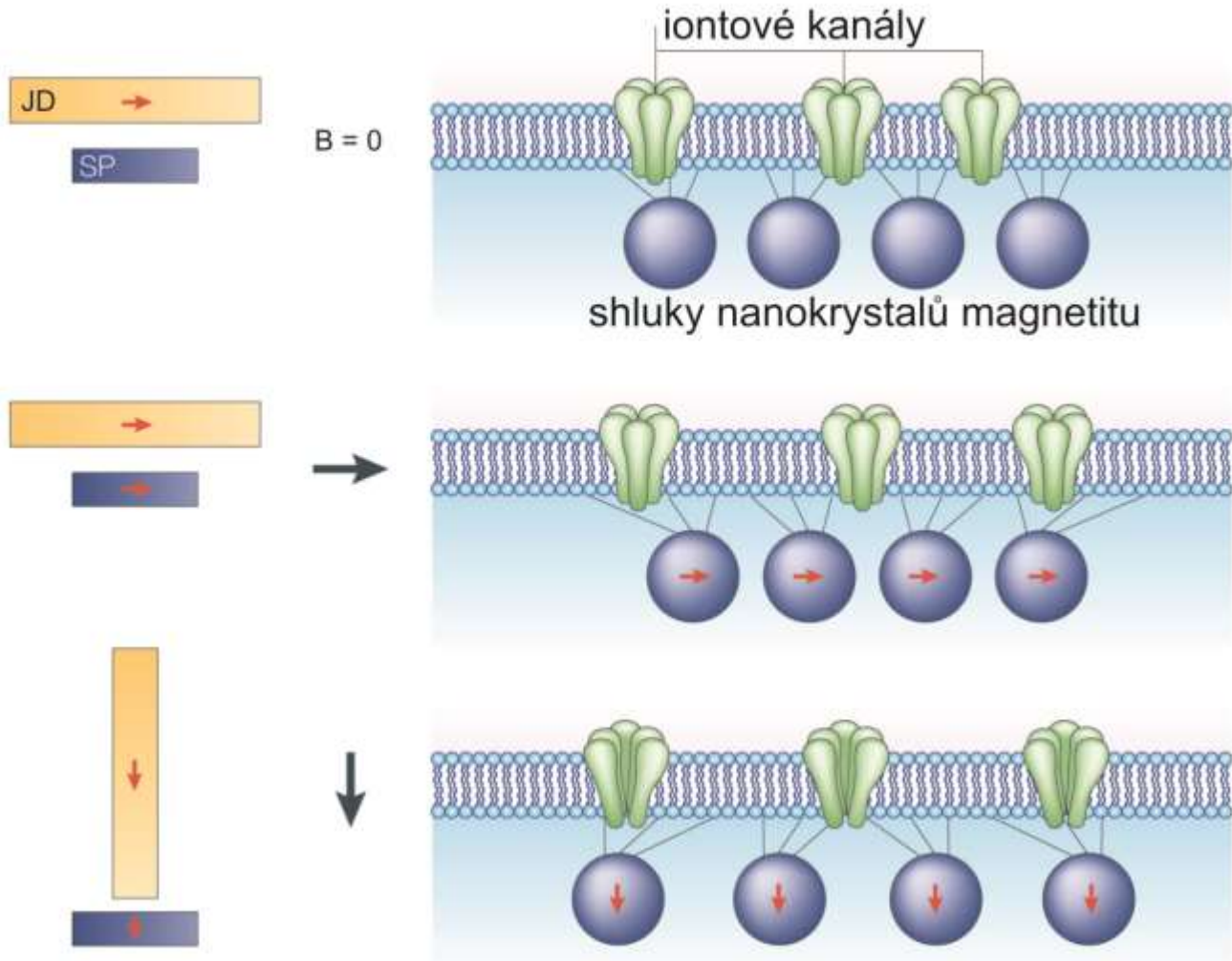


Neznáme:

- Mechanismus recepce
- Lokalizaci receptoru
- Adaptivní význam



Magnetit?



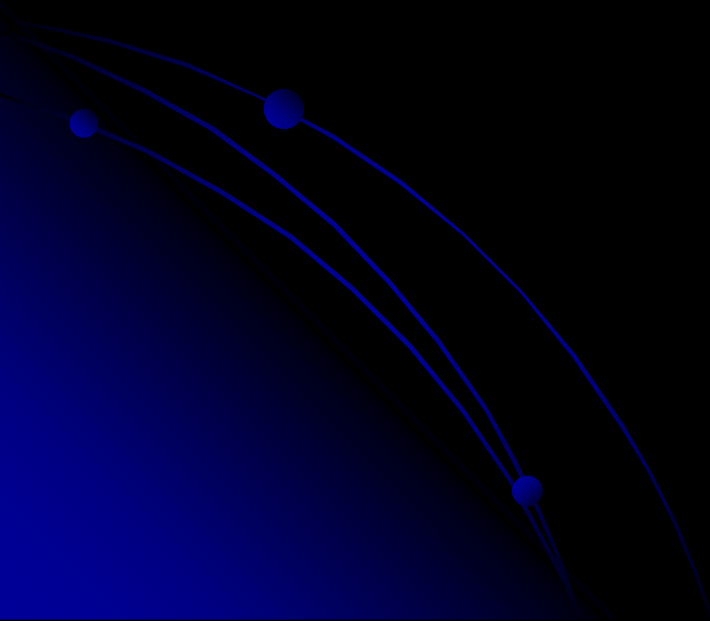
Důkazy pro magnetitový kompas :

Nezávislý na světle

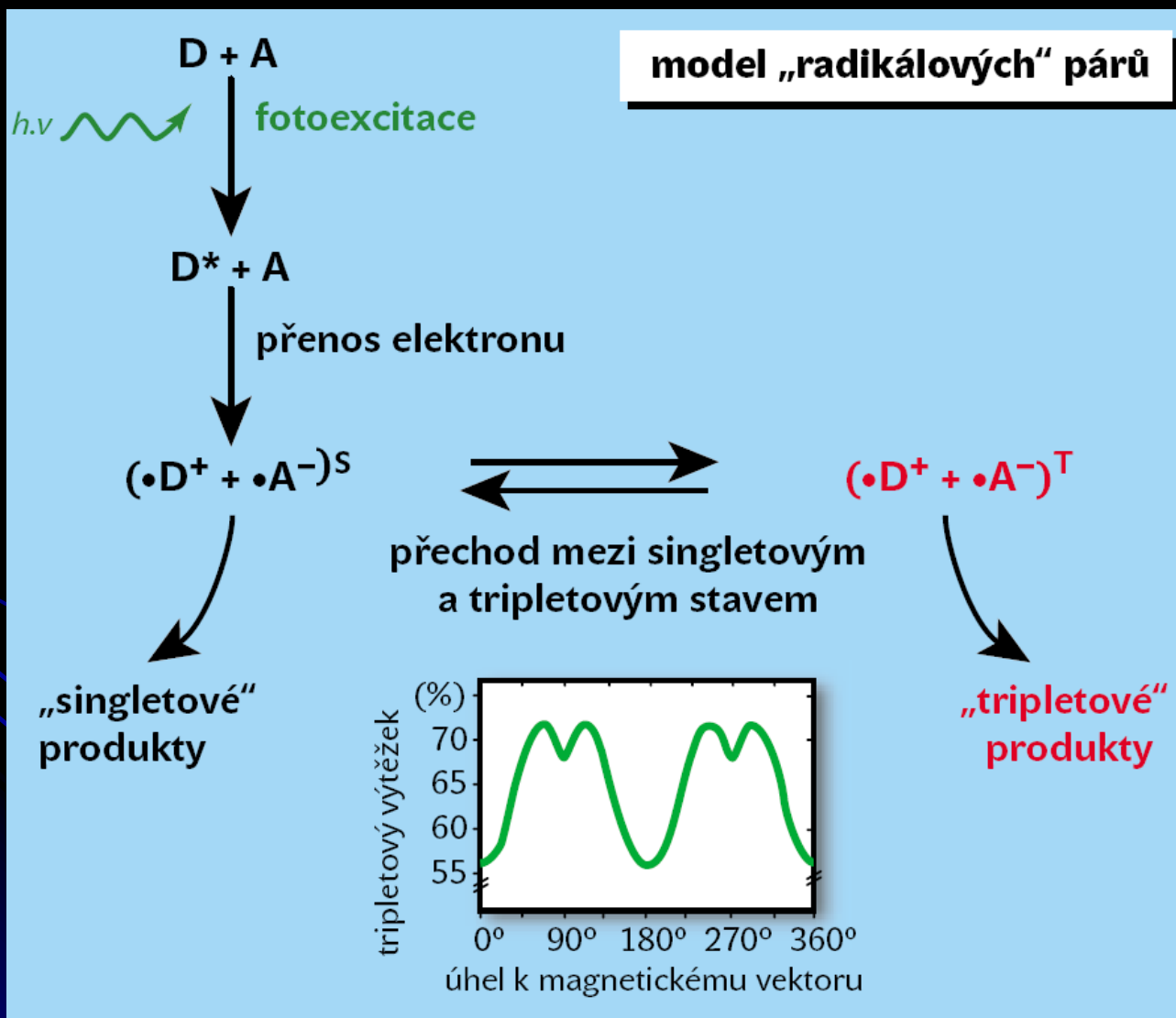
Rozeznává polaritu pole (S od J)

Citlivý na silný magnetický pulz

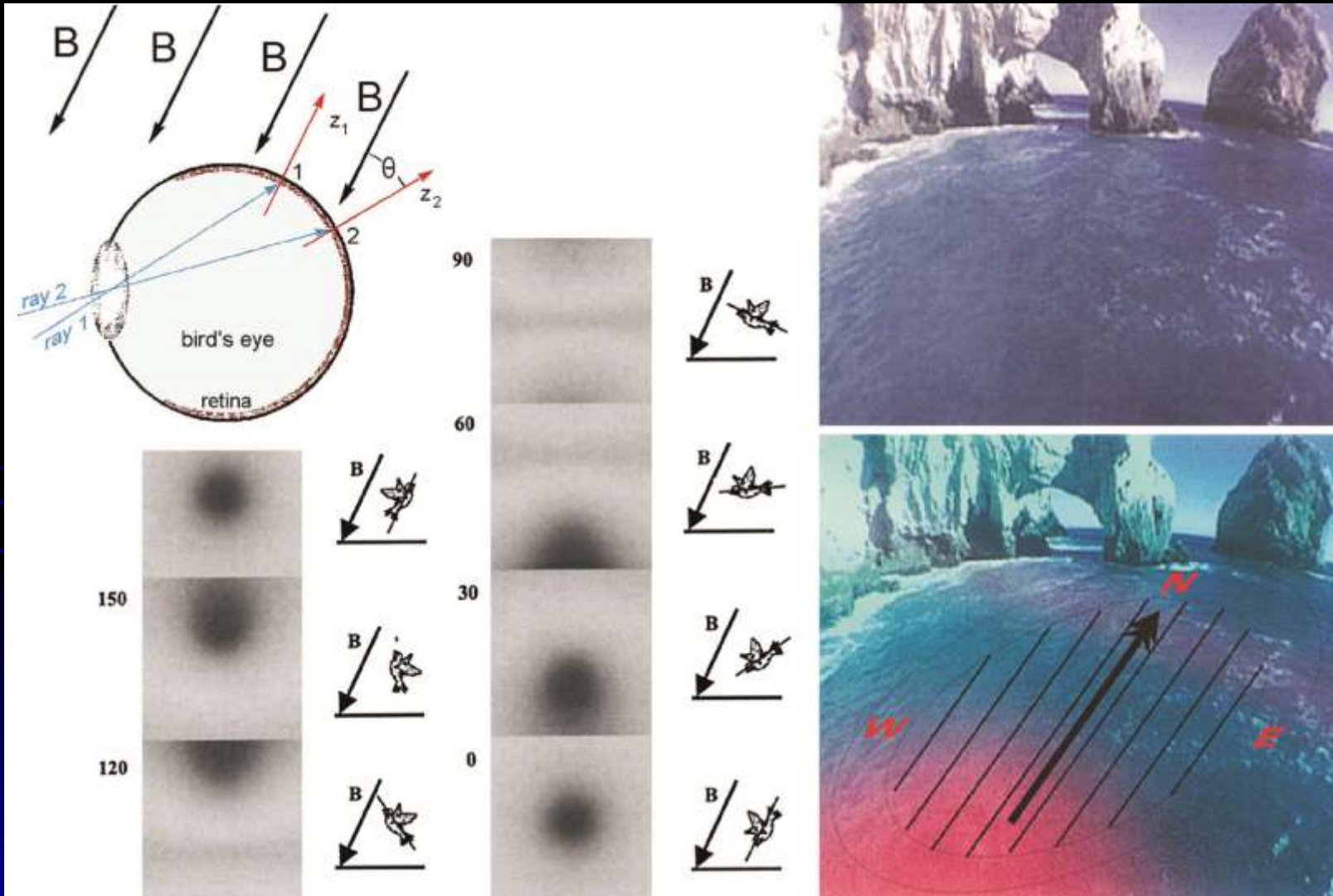
Necitlivý na slabé RF oscilace



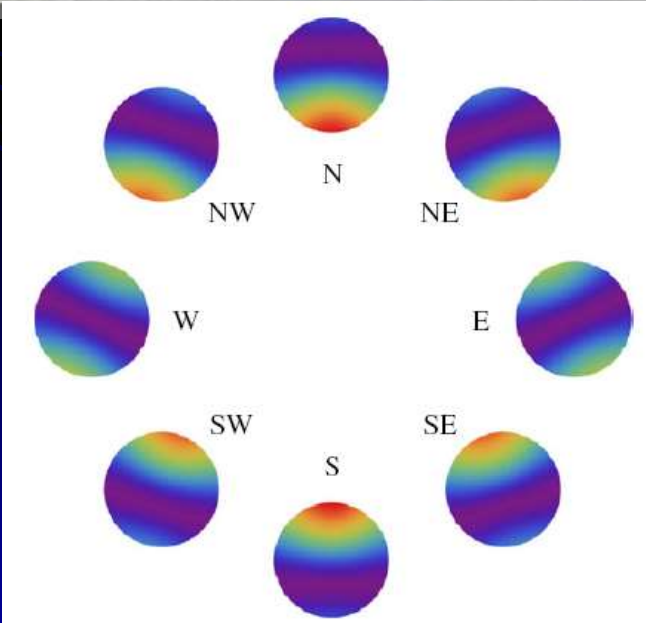
Fotochemická reakce?



GMF vektor může modulovat procesy transdukce světla...



... a tvořit viditelné obrazce (?)



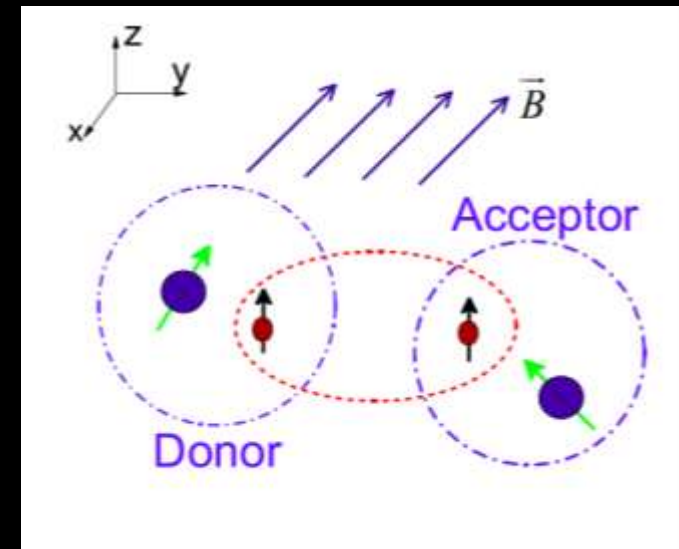
Solov'yov, I. A., H. Mouritsen, and K. Schulten. 2010. Acuity of a cryptochrome and vision-based magnetoreception system in birds. *Biophysical Journal* 99: 40-49.

Fotochemický model:

Základní teze: Biochemická reakce může být ovlivněna GMF.

Nepárové elektrony mají svůj magnetický moment, který interaguje s okolním polem

Nepárové elektrony najdeme v radikálových párech. Ty vznikají např. po dopadu fotonu (chlorofyl, fotolyázy)



Fotochemický model:

Fotosensitivní molekulou s kýženými vlastnostmi je nejspíše Kryptochrom

Nalezené v rostlinách

Příbuzné fotolyázám

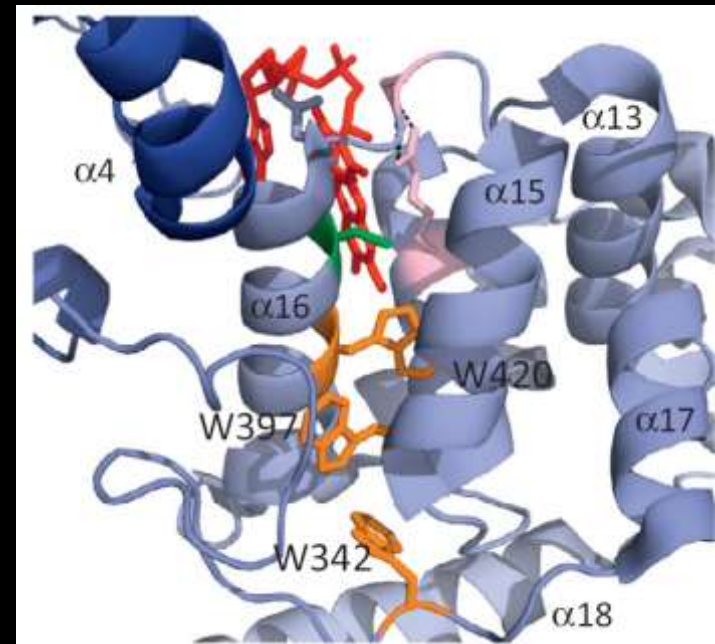
Řídící vnitřní hodiny

Tvořící radikálové páry

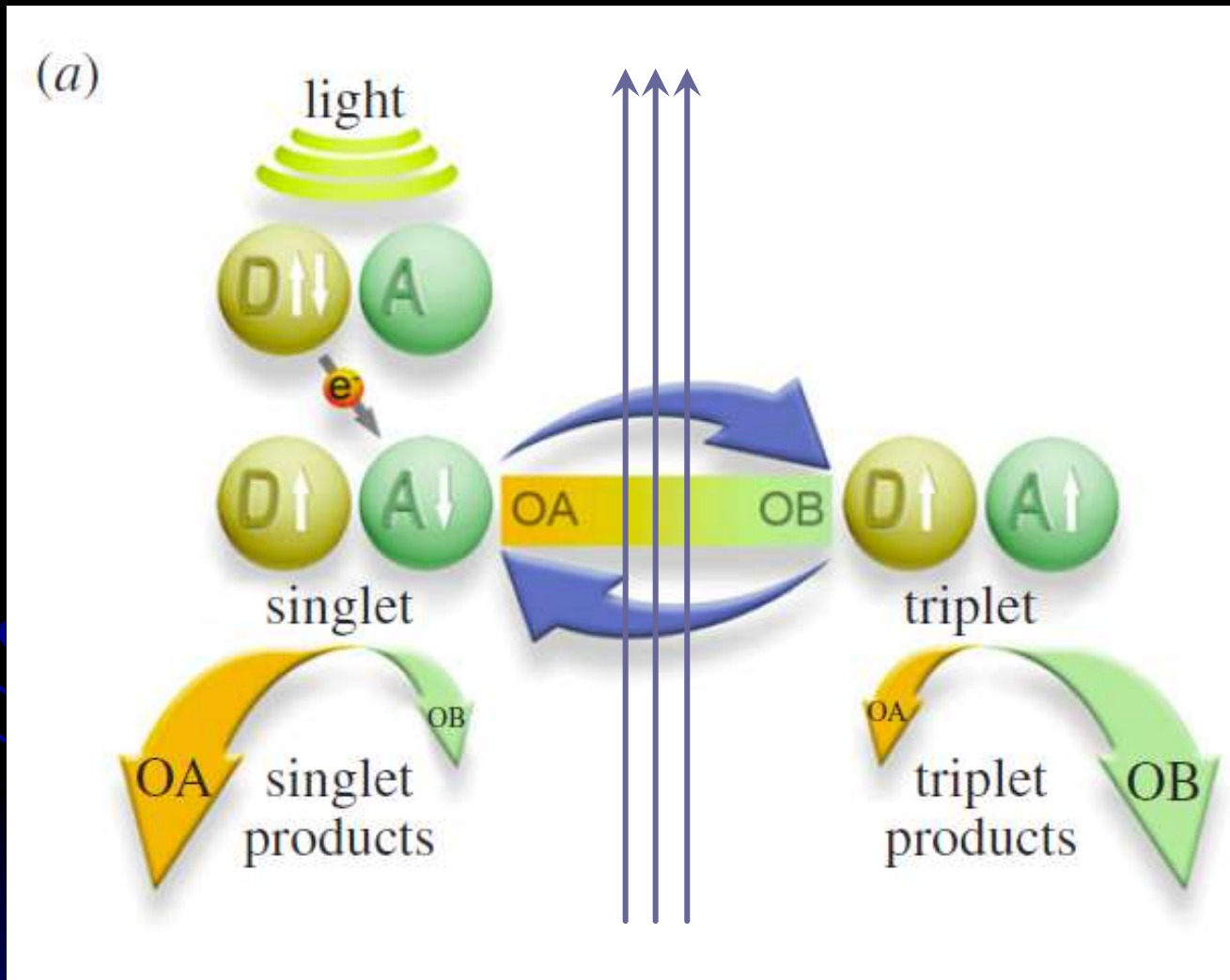


Fotochemický model:

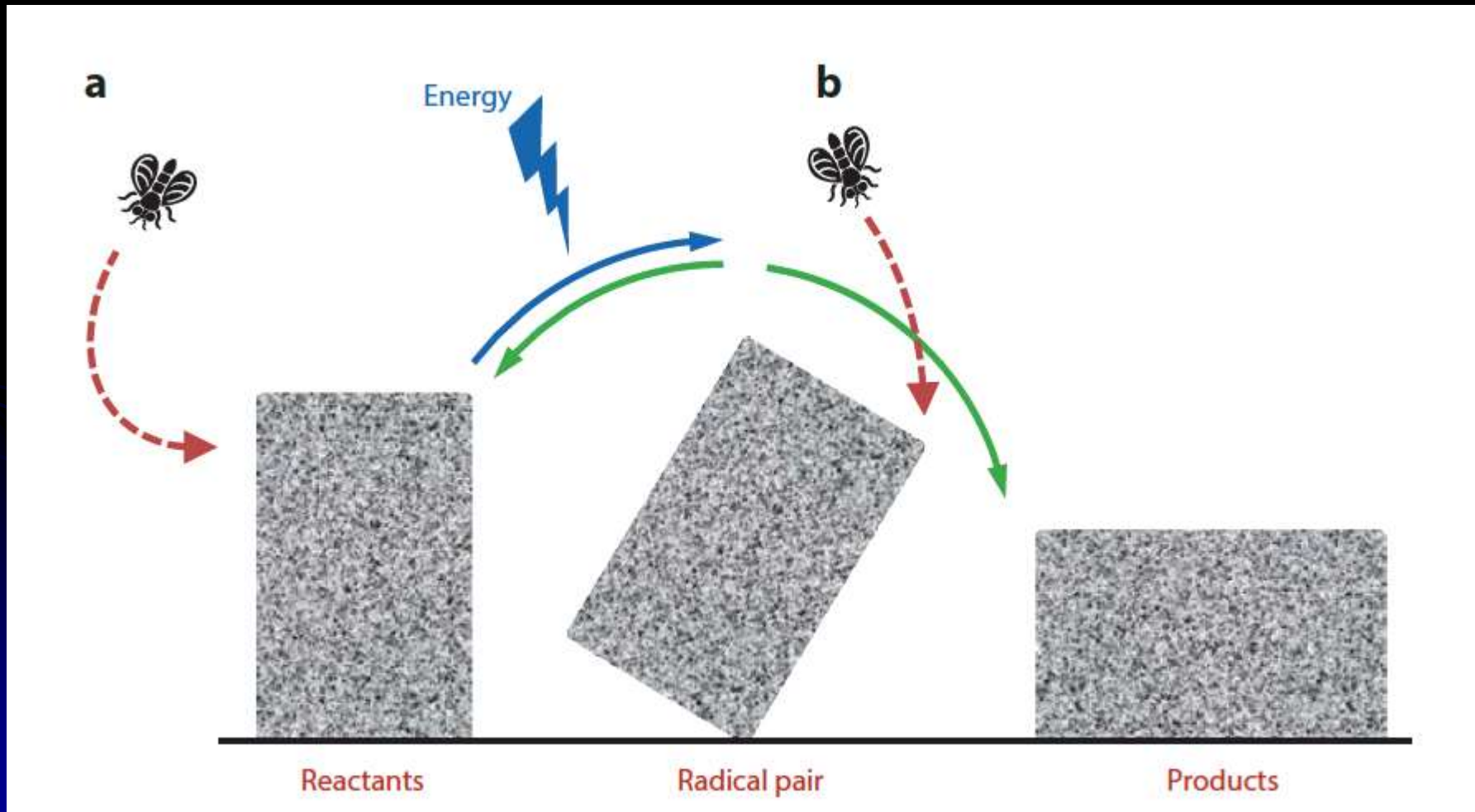
Citlivost Cry k GMP leží ve „hře“ s elektrony mezi proteinem a kofaktorem FAD.



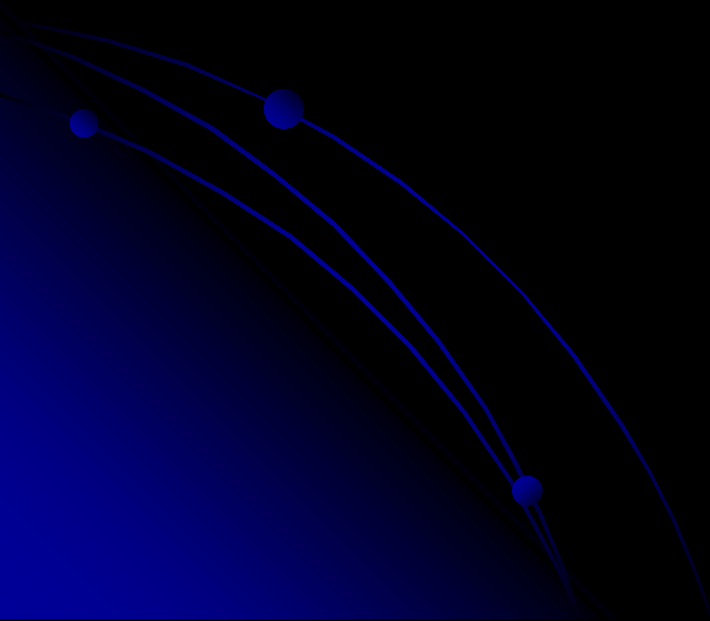
Osud radikálového páru závisí na vzájemné konfiguraci elektronů



Mechanická analogie. I nepatrná energie magnetického pole může ovlivnit to, kterým směrem se systém mimo rovnováhu překlopí.



Metody výzkumu





Blacksburg VA



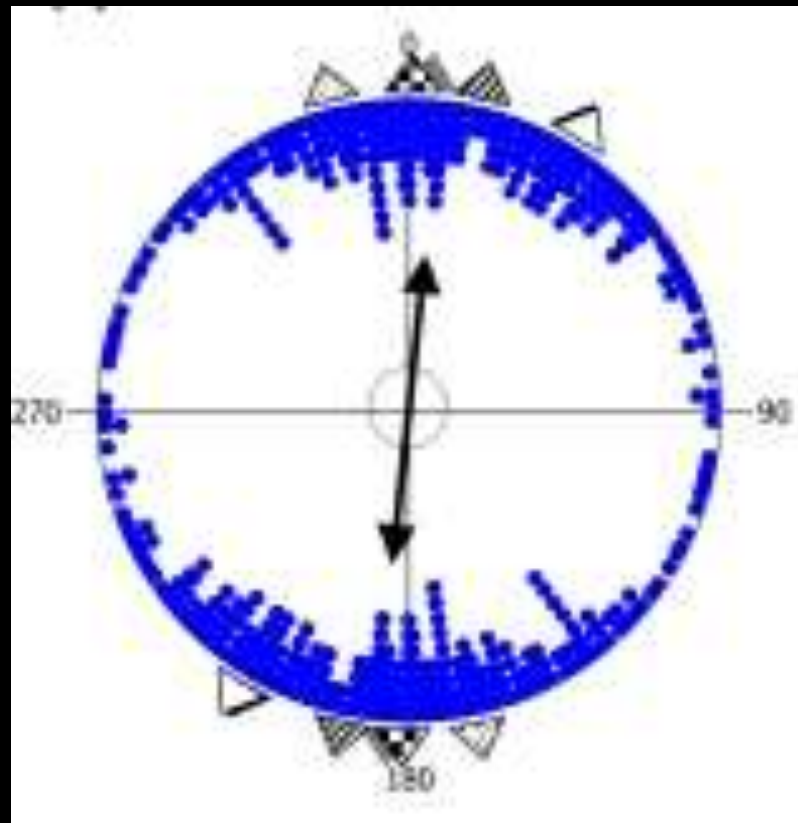
Lund



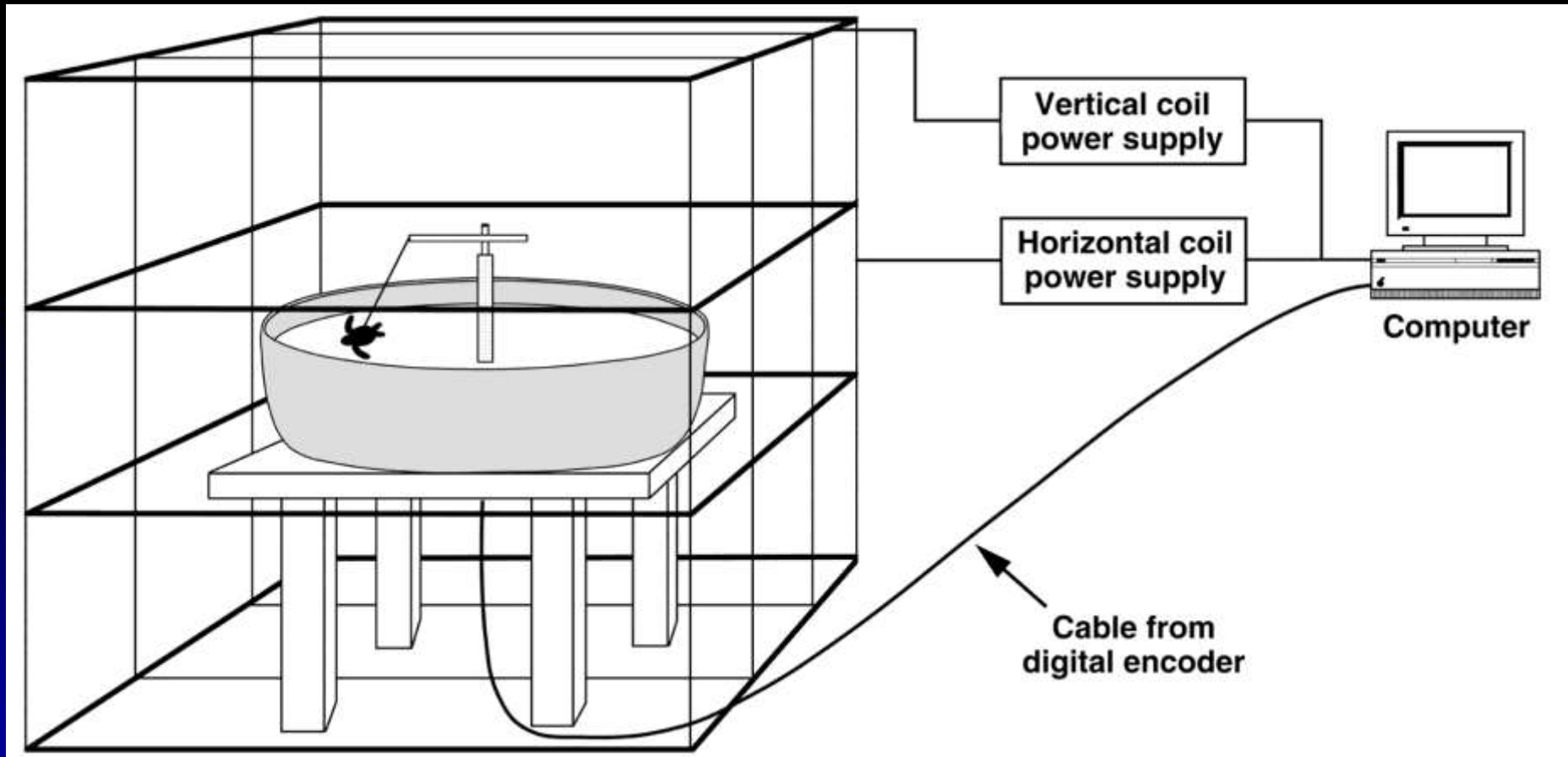
Severo-jížní orientace pasoucích se krav



Severo-jihní orientace pasoucích se krav

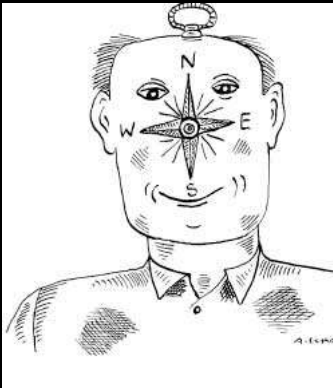


Laboratorní experiment zůstává nejjistějším standardem.



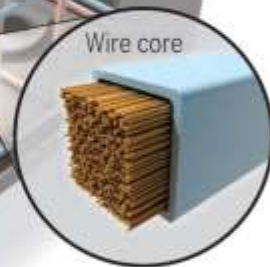
Člověk?

FEATURES

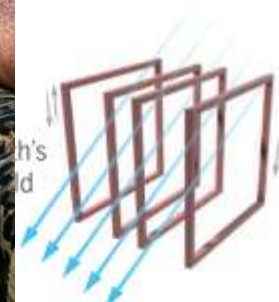


Joe Kirschvink, sporting an EEG sensor cap, was the first subject in his magnetic-sensing tests.

us magnetic sense



Active sham



Alternating currents cancel out applied field, leaving only Earth's.

Nejen laboratoř...

Arthropoda,
Malacostraca
Amphipoda

Bleřivci
Antarktidy



FABIENNE NYSSSEN

Pláž na Lachmanově mysu



S

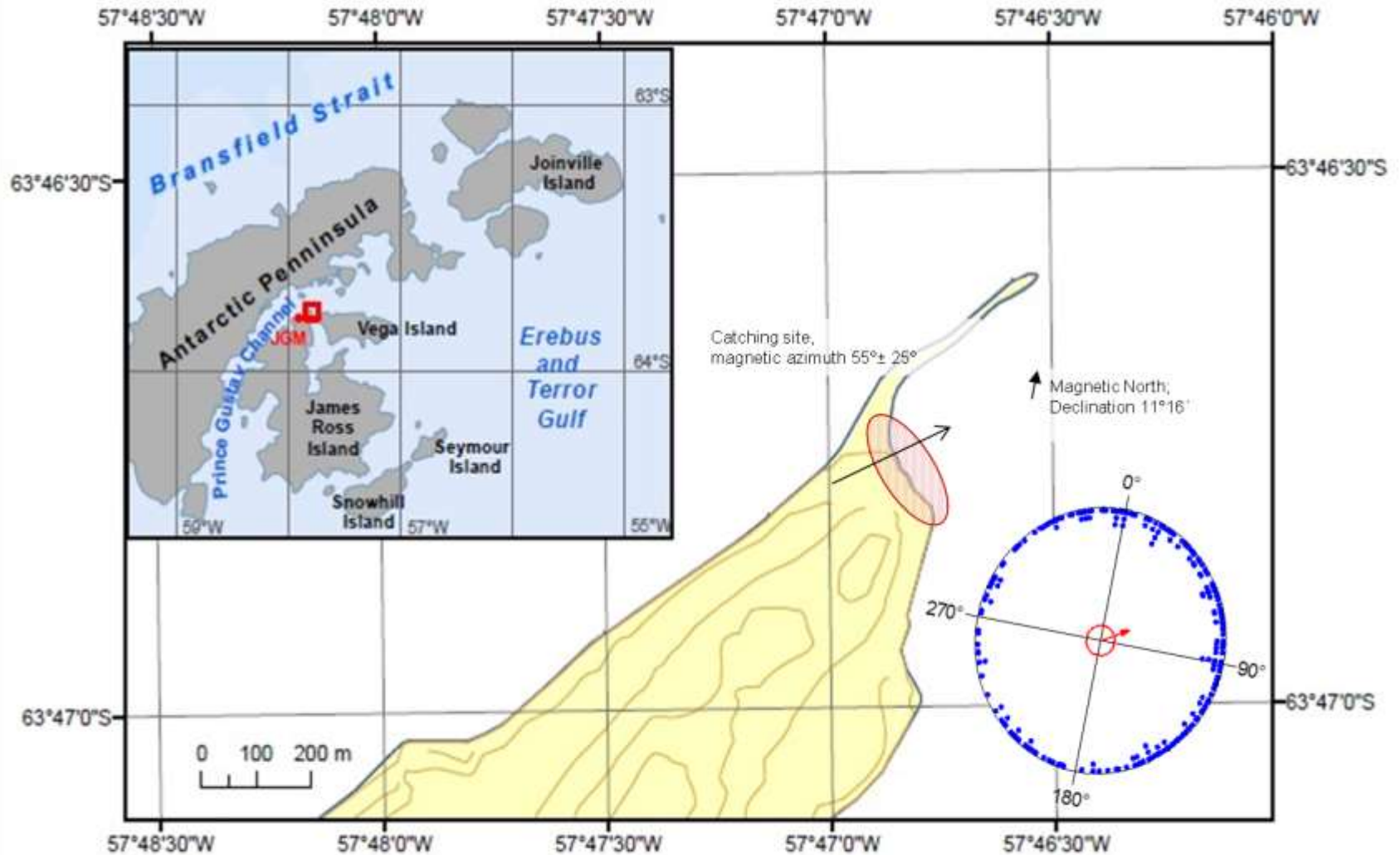
Y- osa azimut 50-90°

Vrtulovna



Vrtulovna





Laboratory rig for cockroach magnetosensitivity testing



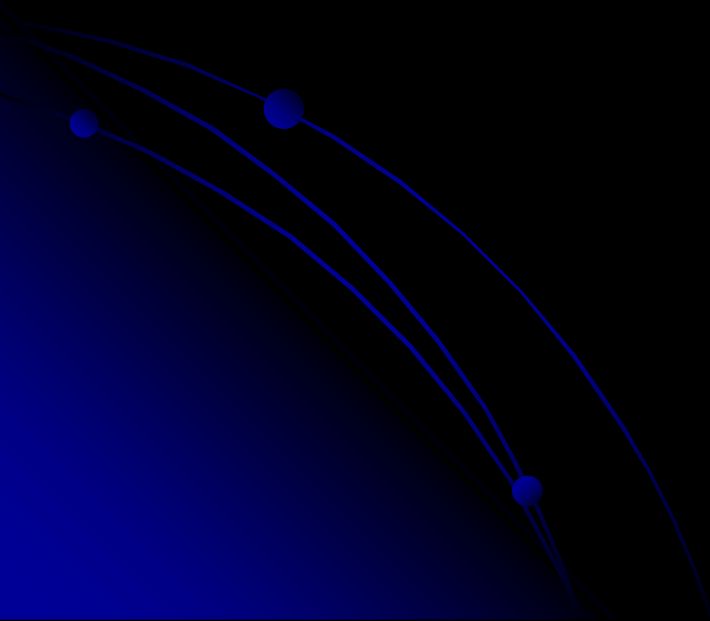
Neuroetologické metody smyslové fyziologie

Podmiňování a spontánní reakce



Neuroetologické metody smyslové fyziologie

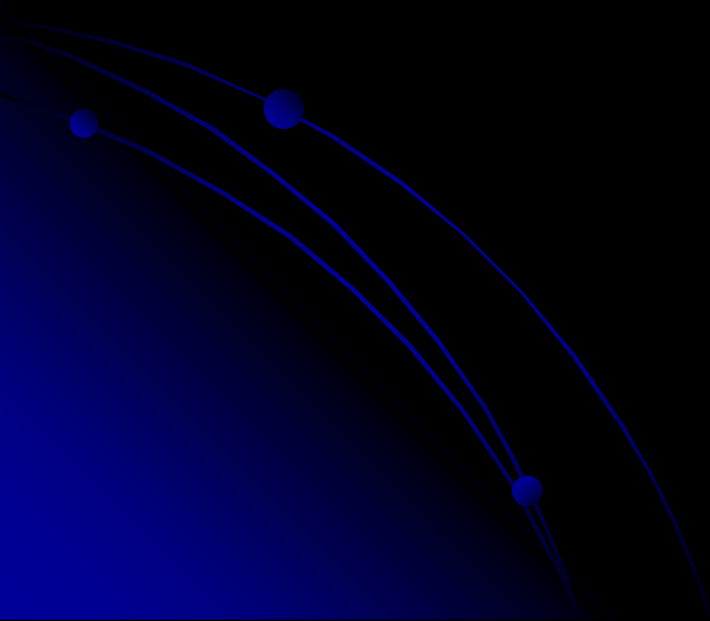
Podmiňování: Trénink a test



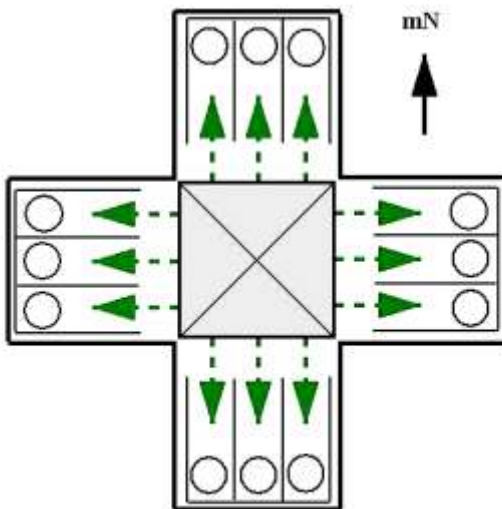
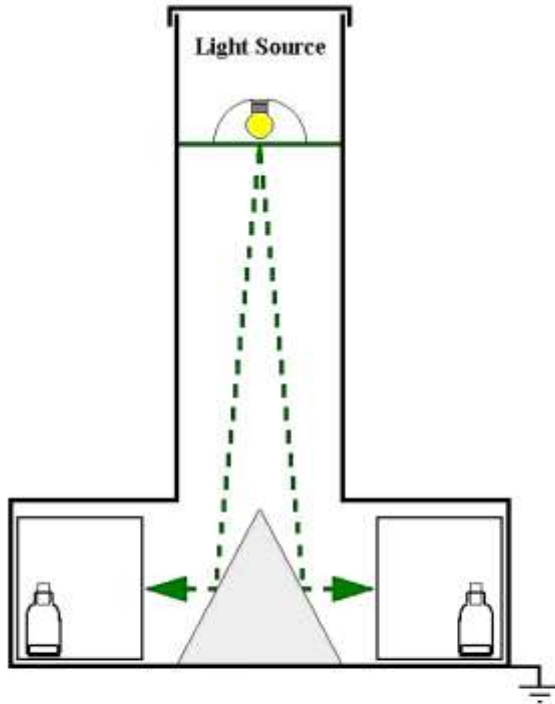
Neuroetologické metody smyslové fyziologie

Podmiňování: Trénink a test

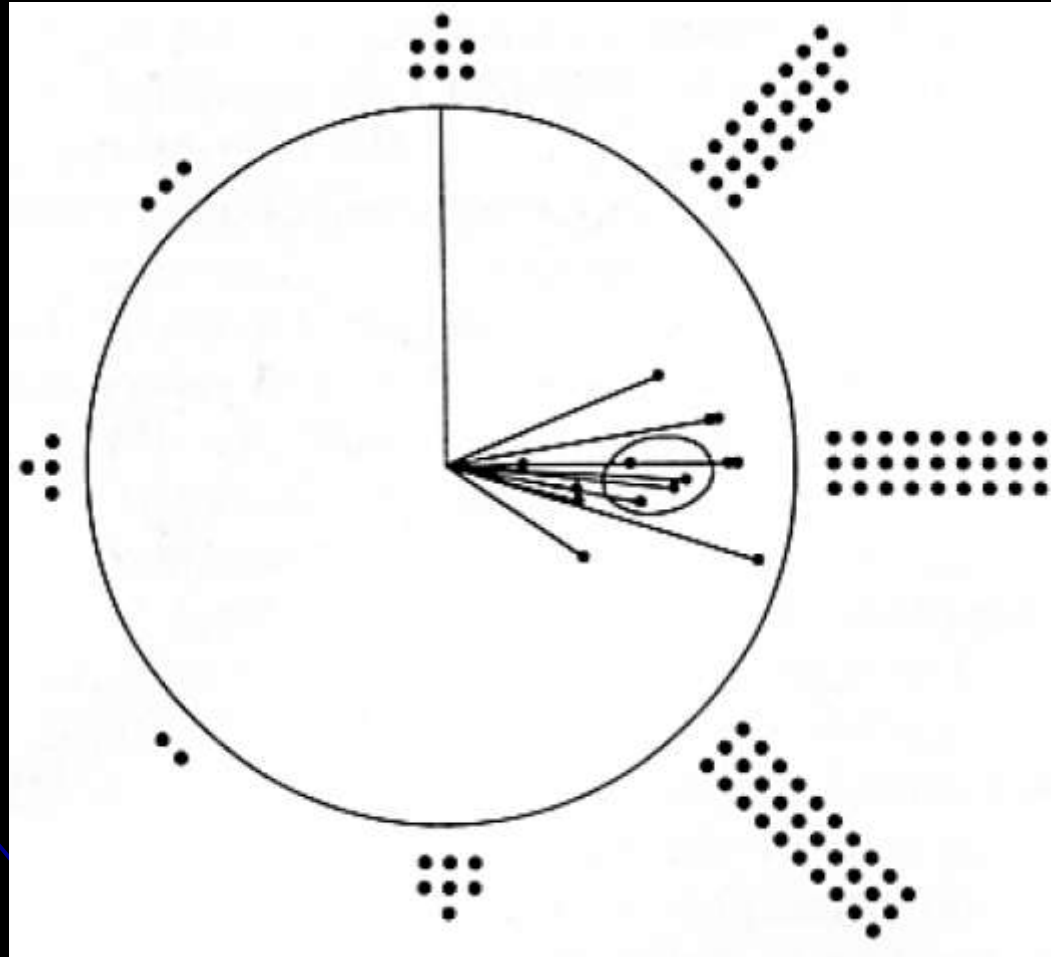
Trénink: Odměna nebo trest



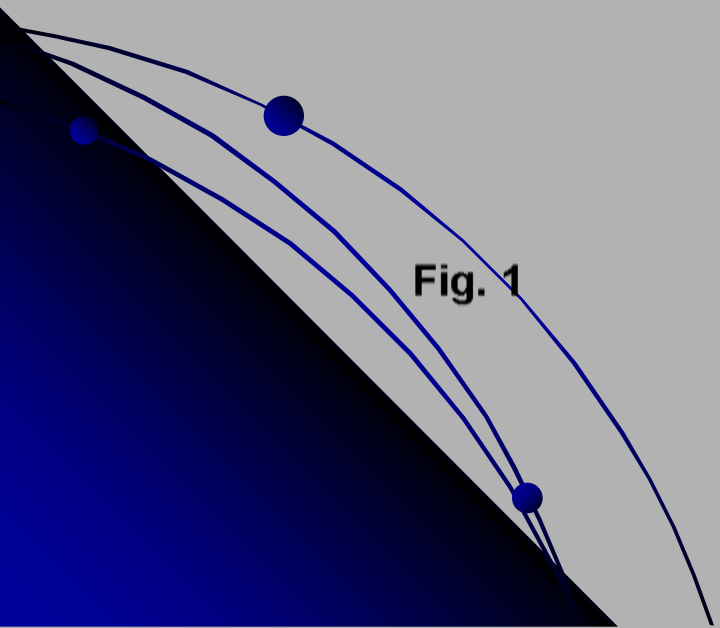
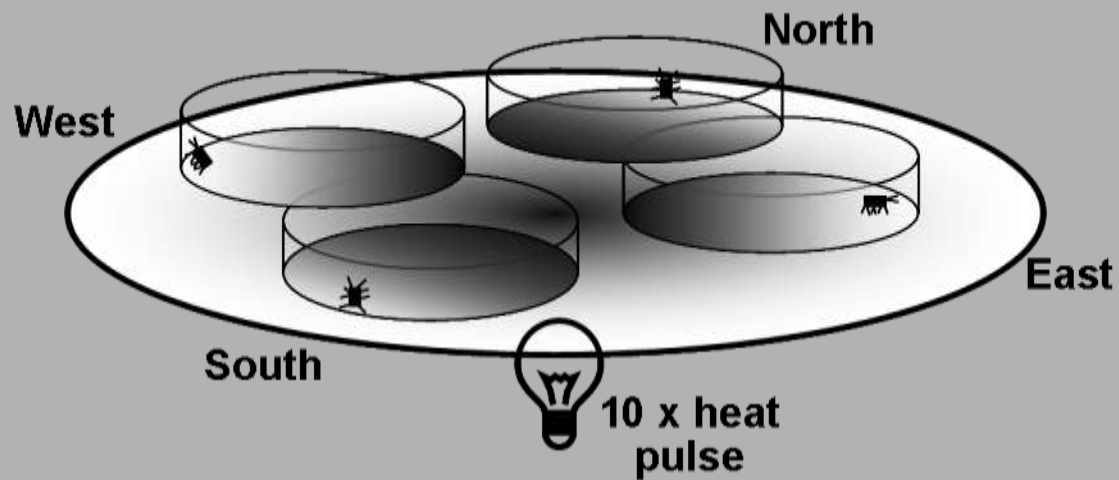
Trénink Drosophila Světlo jako atraktivní stimul



Cirkulární diagramy orientace



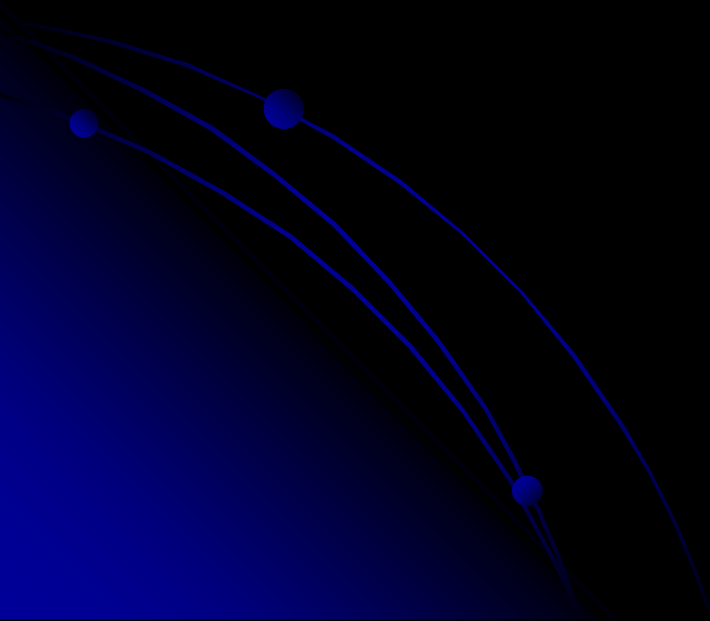
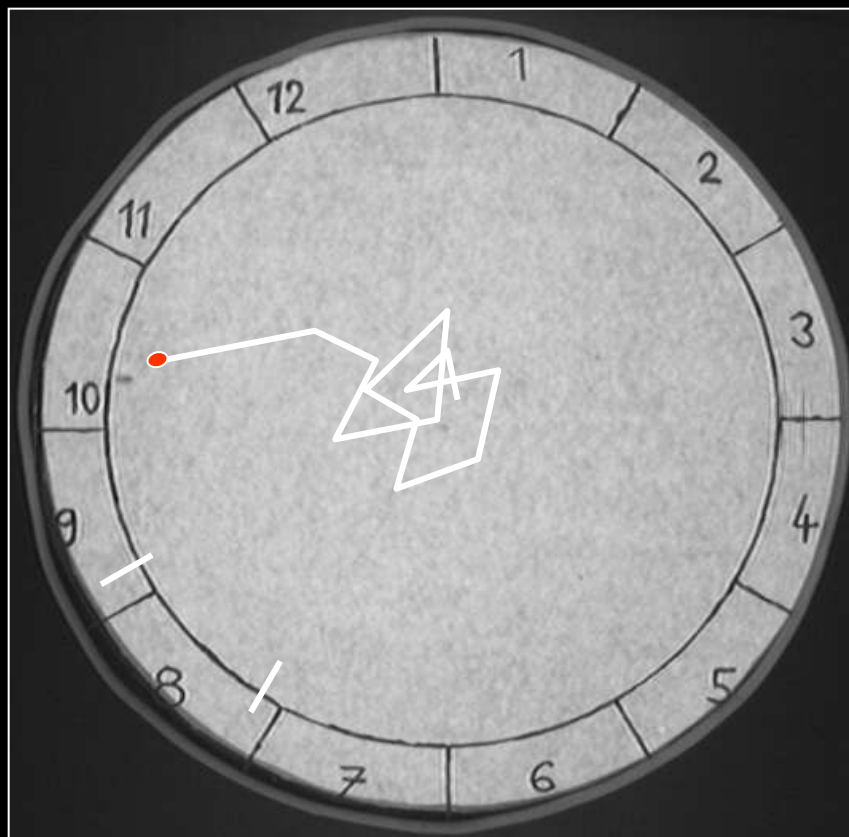
Trénink

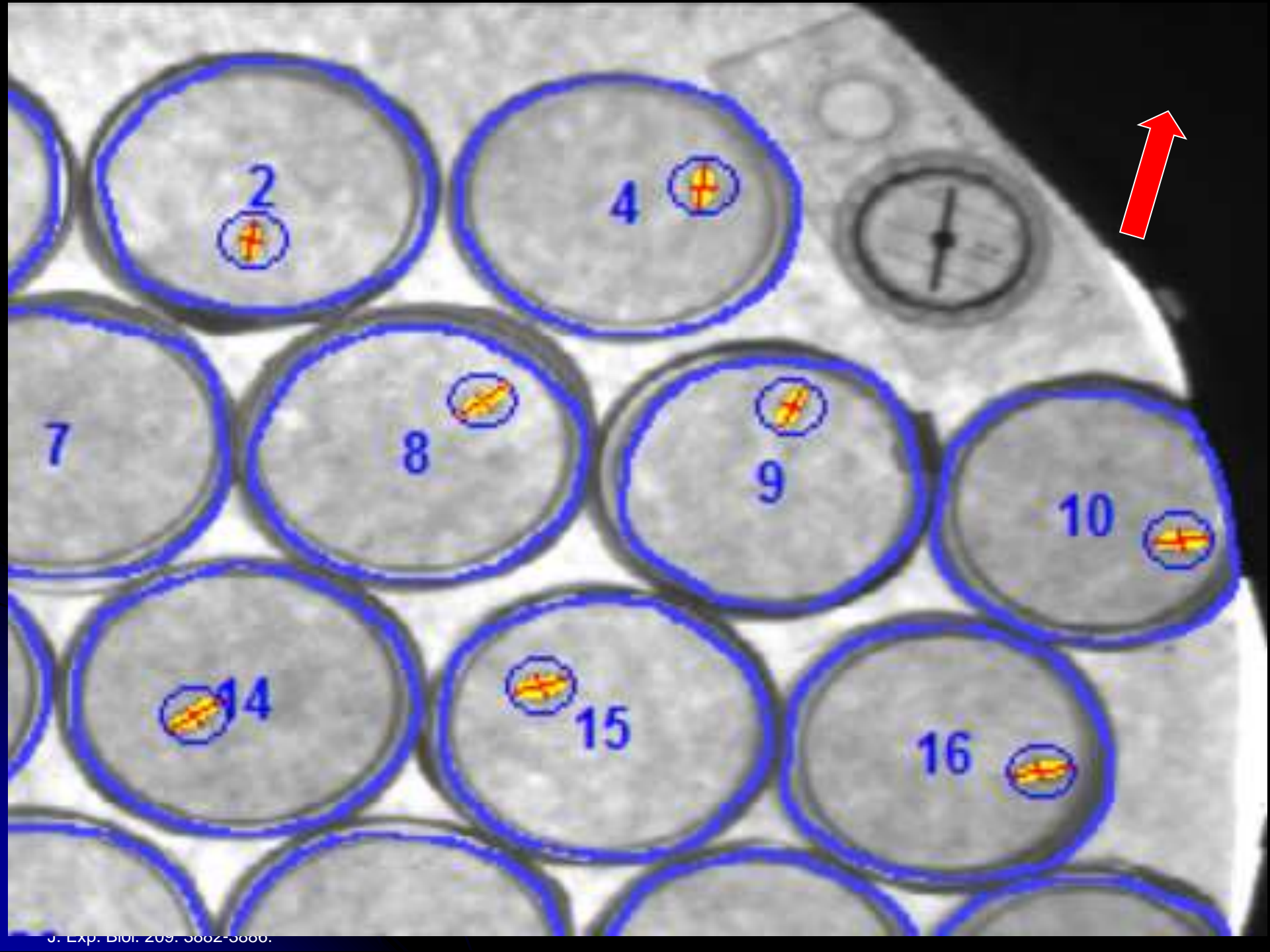


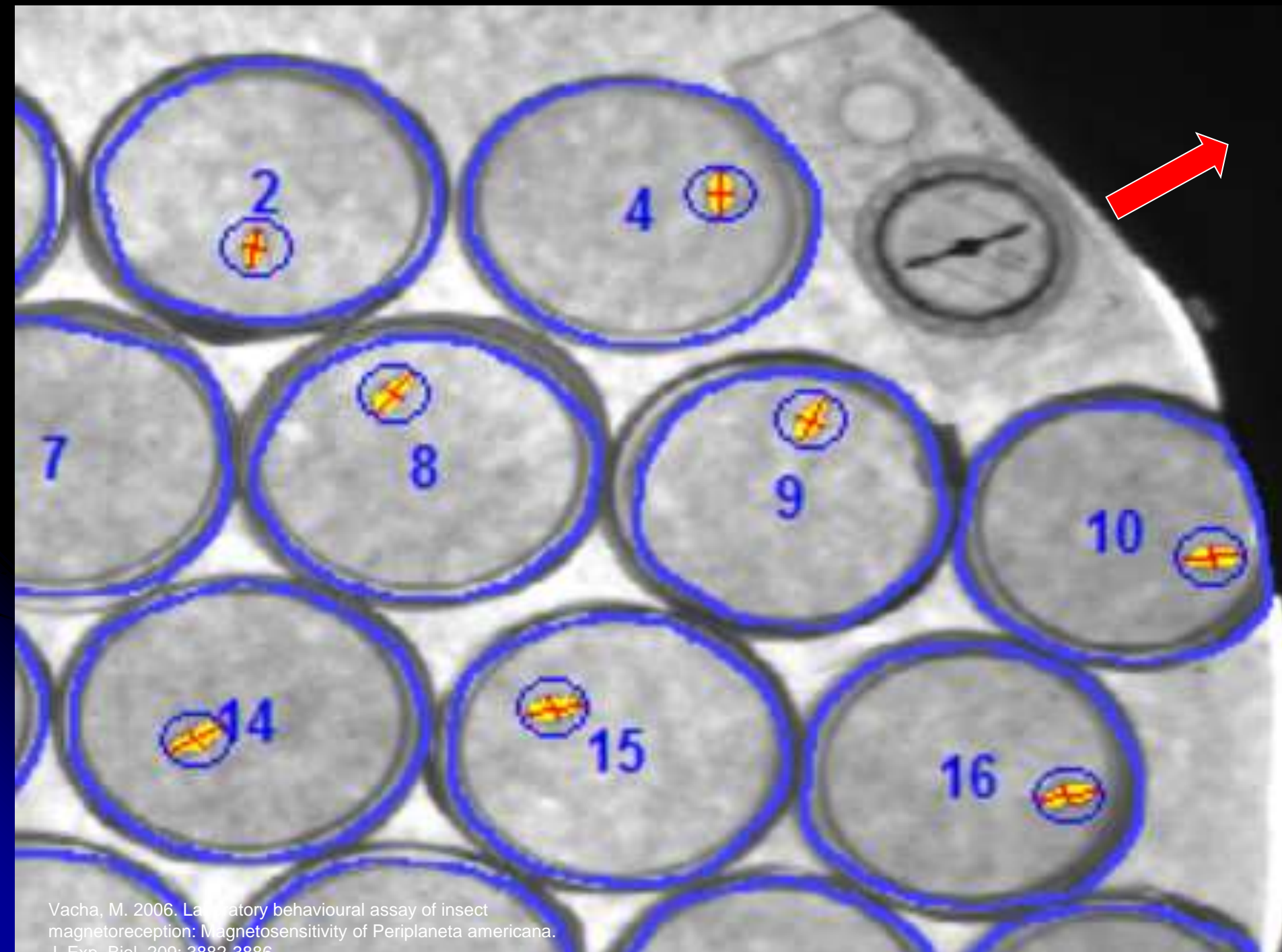
Test



Pohled kamery







● SW analýza obrazu

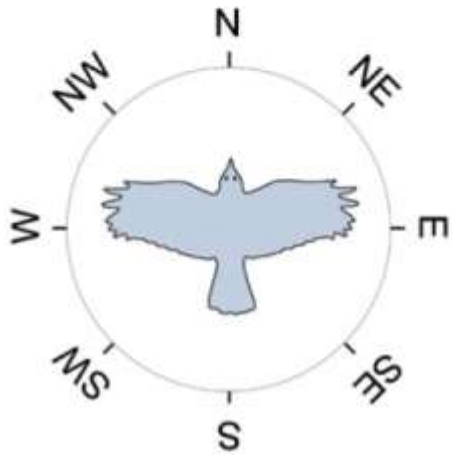
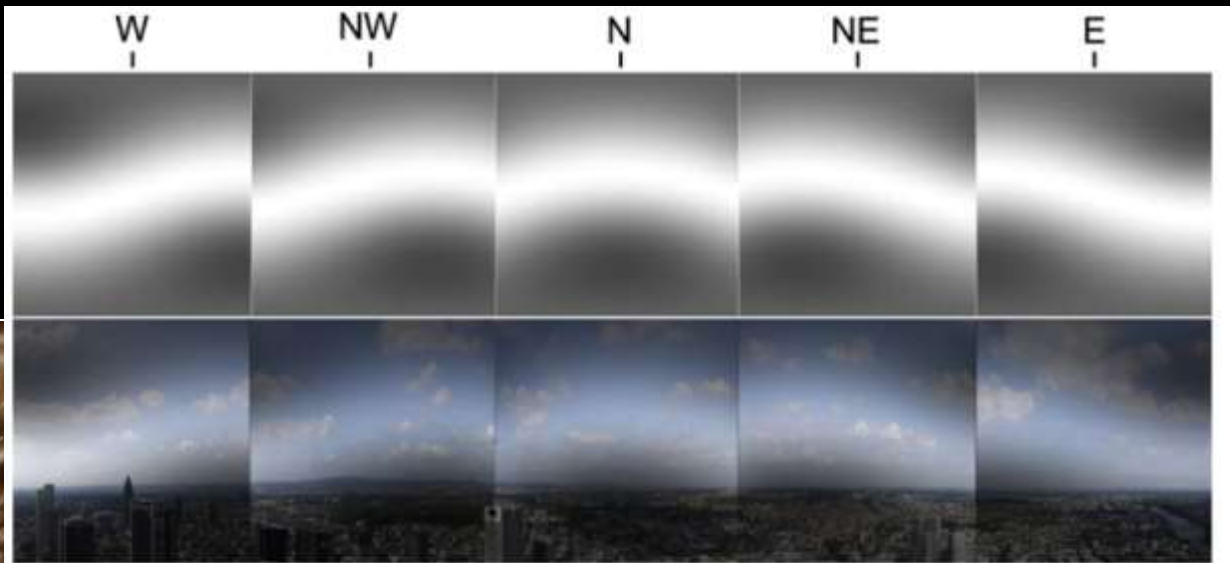
The screenshot displays a software window titled "Obrázek" (Image) with a menu bar containing "Předvolby" (Preferences) and "Pomoc" (Help). The main image shows a top-down view of a circular tray with nine numbered wells (1-9). Each well contains a small object, and the software has overlaid blue and yellow markers on each well for analysis.

On the right side, there are several control panels:

- Misky** (Wells): A list of wells from 1 to 9. Well 1 is selected in the "Aktivní" (Active) list, and the others are in the "Vyřazené" (Disabled) list. Navigation buttons ">>" and "<<" are present.
- Export do Excelu** (Export to Excel): A section for saving data to an Excel file. It includes a "Název listu" (Sheet name) field and a "Cílová buňka" (Target cell) field set to "A1". A checkbox "Otevřít soubor po uložení" (Open file after saving) is checked.
- Měření pohybů** (Movement measurement): A section for configuring movement measurements. It includes:
 - Považováno za pohyb** (Considered as movement): A checkbox that is checked.
 - Rozdíl úhlů** (Angle difference): A spinner set to 15.
 - Rozdíl pozic** (Position difference): A spinner set to 20.
 - Tloušťka okraje** (Edge thickness): A spinner set to 1.
 - Citlivost dotyků** (Touch sensitivity): A spinner set to 3.
 - A checkbox "Nezapočítávat dotyky" (Do not count touches) is checked.
 - "Zobrazit" (Show) and "Uložit" (Save) buttons are at the bottom.

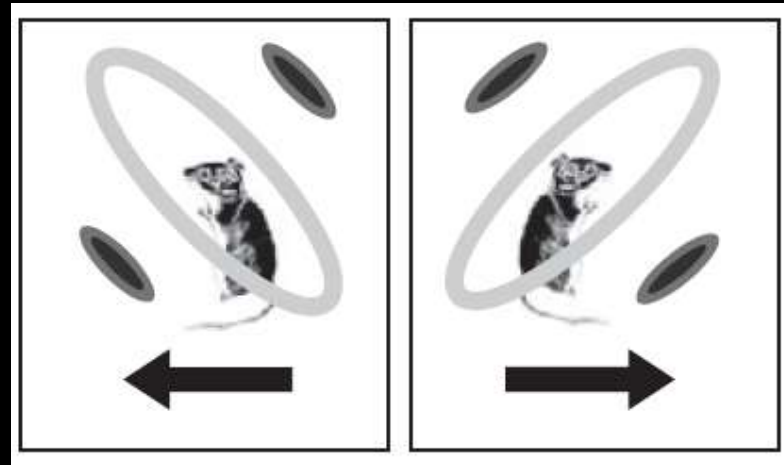
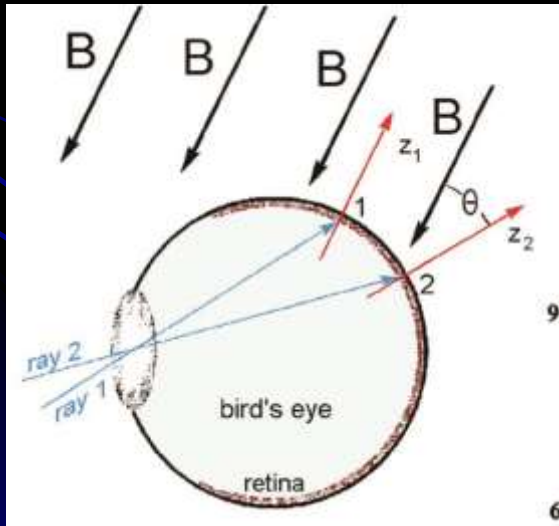
At the bottom of the window, there is a status bar showing "6 / 276" and a "Počet skupin" (Number of groups) spinner set to 6. Below this, there are "Měření úhlů" (Angle measurement) settings: "Počet intervalů" (Number of intervals) set to 24, "Nulový úhel" (Zero angle) set to 0, and "Orientace dat" (Data orientation) with radio buttons for "Na výšku" (Vertical) and "Na šířku" (Horizontal), where "Na šířku" is selected. A "Zobrazit" (Show) and "Uložit" (Save) button are also present. The bottom left corner shows a timer at "4943 s".

Otázky: můžou zvířata magnetické pole vidět? A co přesně vidí?

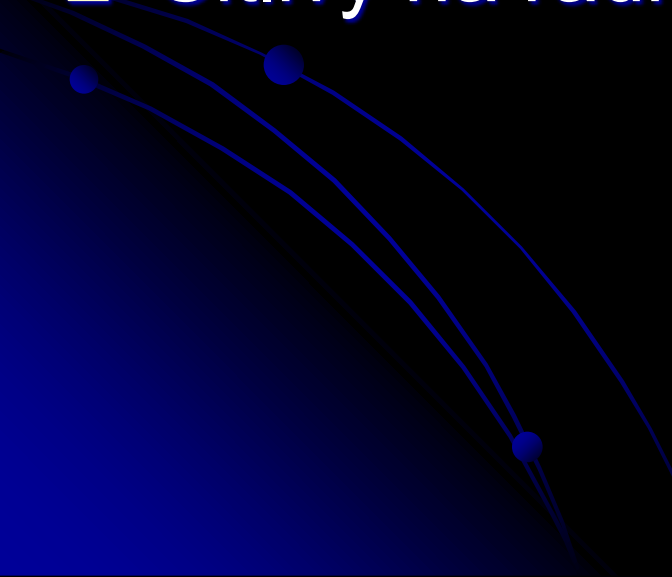


Důkazy pro fotochemický model:

- Závislý na světle
- Nedokáže přímo rozeznat polaritu pole – „vidí“ pouze směr osy



Důkazy pro fotochemický model:

- Závislý na světle
 - Nedokáže přímo rozeznat polaritu pole – „vidí“ pouze směr osy
 - Necitlivý k silnému pulzu
 - Citlivý na radiové frekvence (100kHz-MHz)
- 

Od 2000 hypotéza RP u hmyzu nabývá na síle

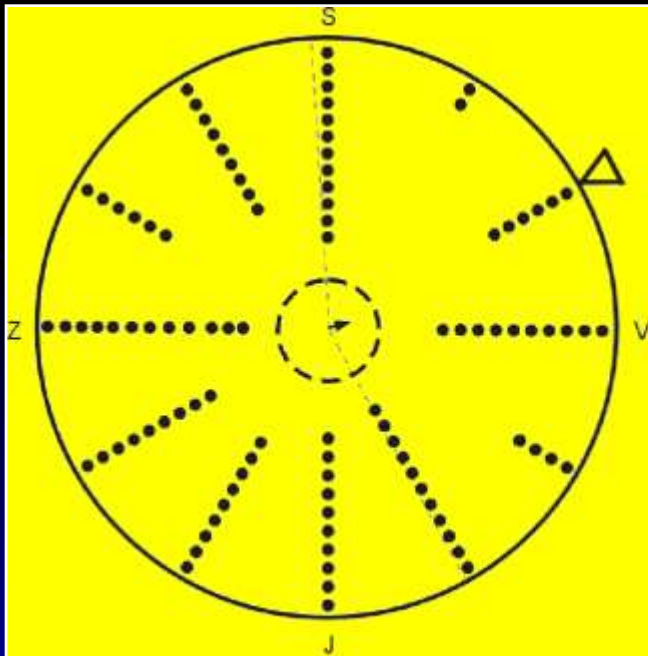
- Kompas hmyzu nepracuje ve tmě



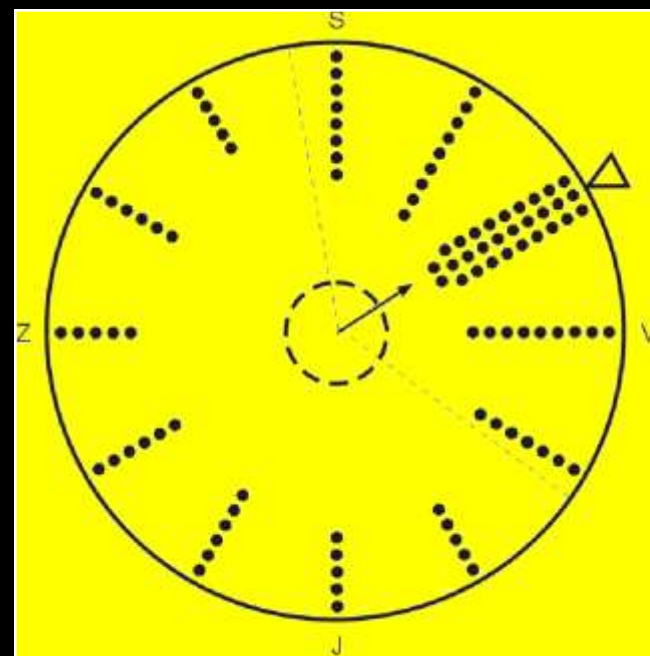
Vacha, M. and H. Soukopova (2004). "Magnetic orientation in the mealworm beetle *Tenebrio* and the effect of light." [J Exp Biol](#) 207(7): 1241-1248.

Ve tmě kompas potemníka nefunguje

Tma
0% RH



Světlo
0% RH



Od 2000 hypotéza RP u hmyzu nabývá na síle

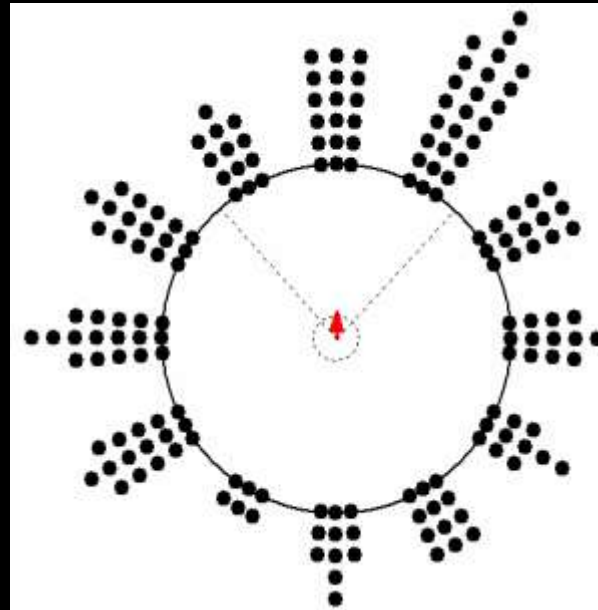
- Citlivý na barvu světla



Vácha, M., T. Puzova, et al. (2008). "Effect of light wavelength spectrum on magnetic compass orientation in *Tenebrio molitor*." J Comp Physiol A **194**: 853-859.

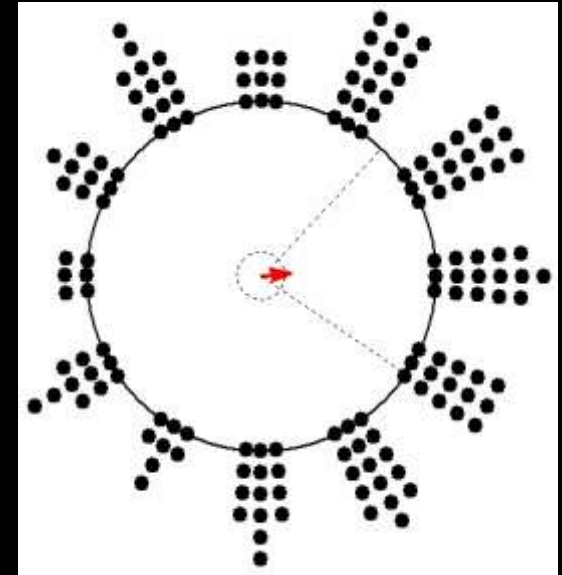
Změna barvy světla způsobí posun orientace

UV/UV



n=174
MVB=1
r=0.16
P=0.0143

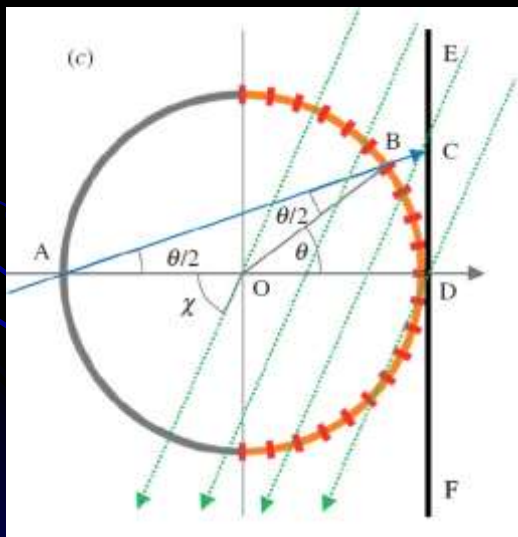
UV/Green



n=155
MVB=84
r=0.17
P=0.0106

Od 2000 hypotéza RP u hmyzu nabývá na síle

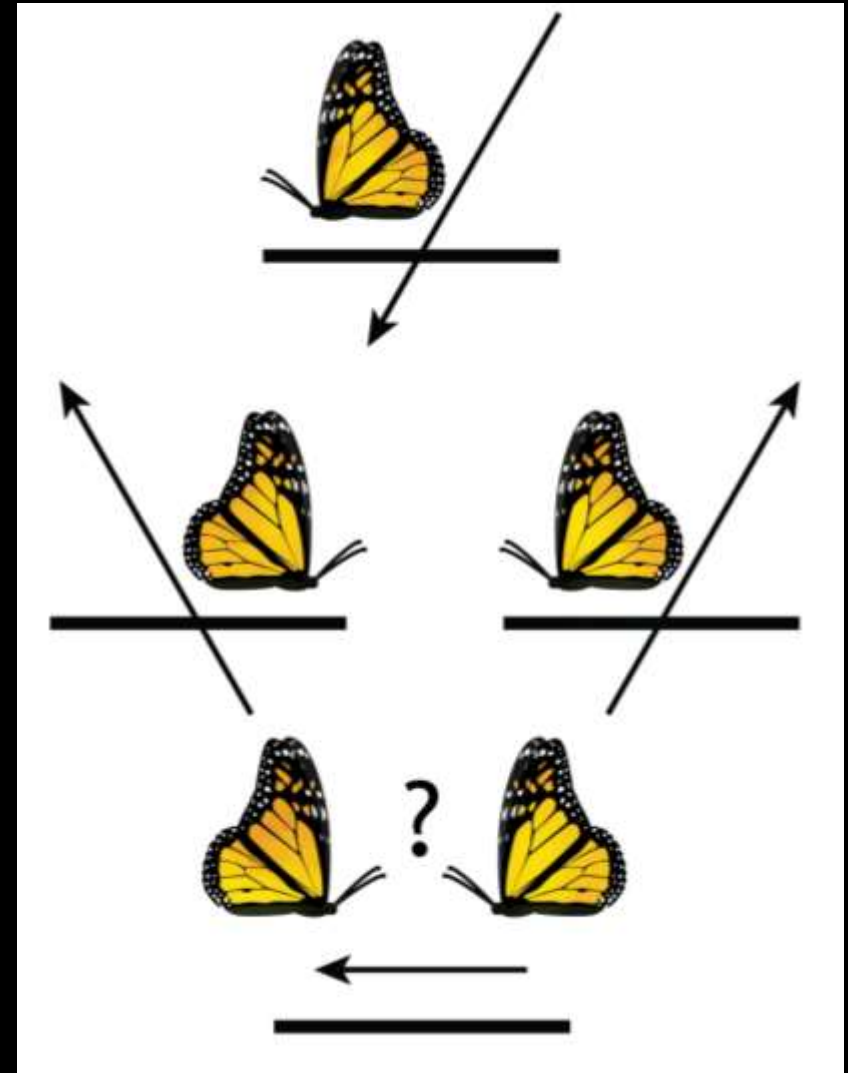
- Hmyzí kompas nerozeznává polaritu



Vácha, M., D. Dršťková, et al. (2008). "Tenebrio beetles use magnetic inclination compass." *Naturwissenschaften* 95: 761-765.
Guerra, P. A., Gegear, R. J. and Reppert, S. M. (2014). A magnetic compass aids monarch butterfly migration. *Nature Communications* 5, 4164, DOI: 10.1038/ncomms5164

Od 2000 hypotéza RP u hmyzu nabývá na síle

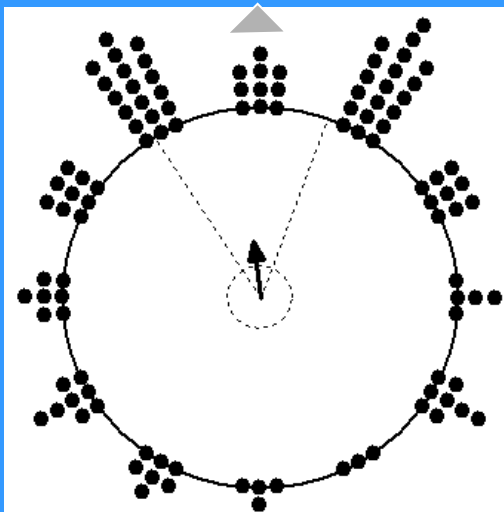
- Hmyzí kompas nerozeznává polaritu



Obrácení inklinace otočí orientaci potemníka – kompas není polaritní

Training ↙ Test ↘

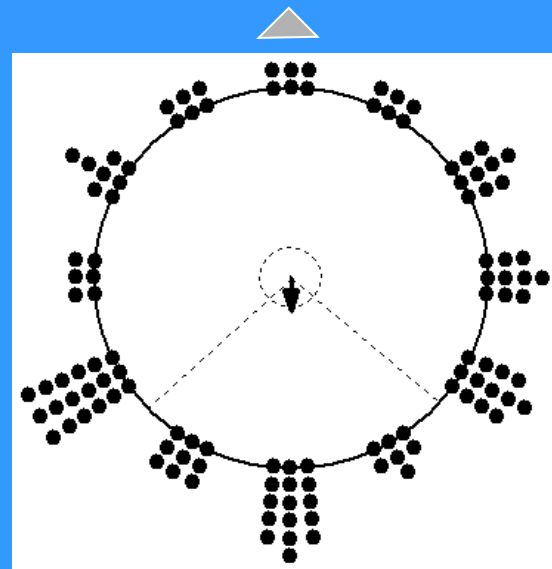
A



↔
 $P < 0.001$

Training ↙ Test ↘

B

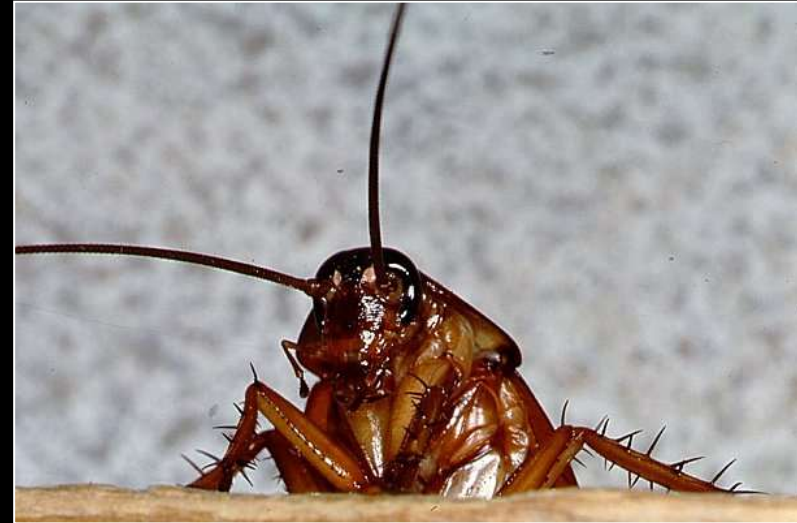


$N = 109$
 $MVB = 354^\circ$
 $P < 0.001$

$N = 115$
 $MVB = 179^\circ$
 $P = 0.03$

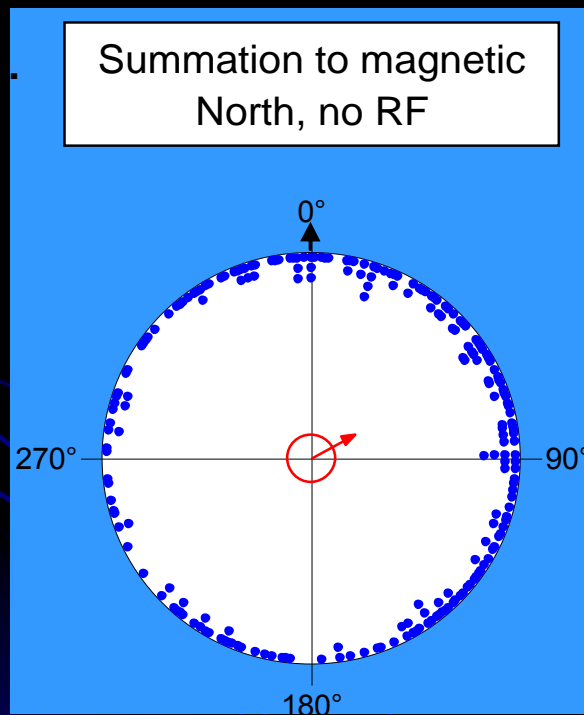
Od 2000 hypotéza RP u hmyzu nabývá na síle

- Citlivý k rušení radiovými frekvencemi

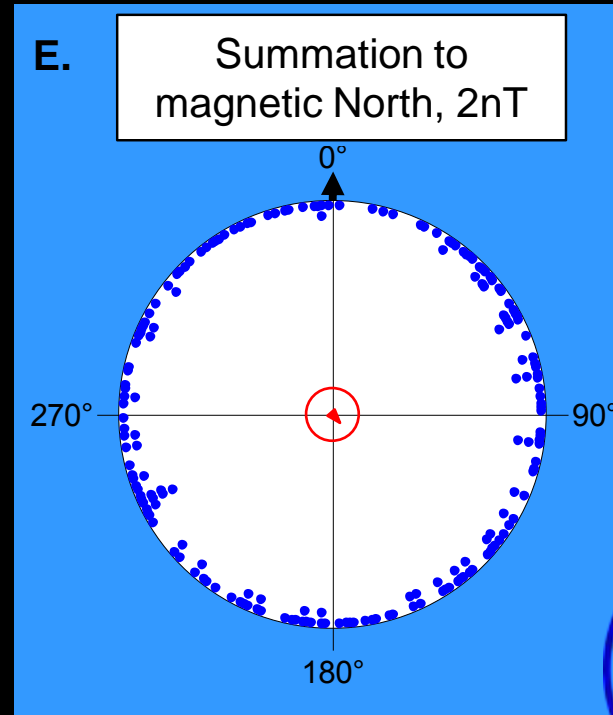


Vácha, M., T. Puzová, et al. (2009). "Radiofrequency magnetic field disrupts magnetoreception in American cockroach." [Journal of Experimental Biology](#) 212: 3473-3477.

- Mimořádně citliví k radiofrekvenčnímu rušení. Pouze 2 nT – 0,01% pozadí GMF !
- Problém antropogenního znečištění prostředí RF poli



$\mu = 61^\circ$, $n = 221$, $r = 0.237$
 $p \leq 0.001$



$\mu = 139^\circ$, $n = 189$, $r = 0.049$
 $p = 0.632$



dí



a

a

b

c

B (nT)

0
0.1

N
↑

2 km

c

University of Oldenburg
Campus Wechloy

Chemistry

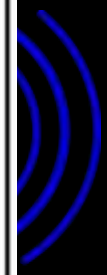
Biology

Math.

Physics

20 m

d



enic

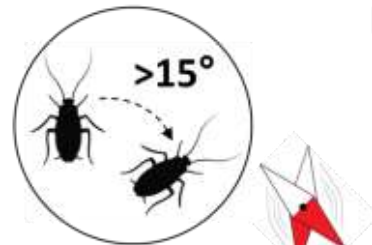
Pro výzkum magnetorecepce je nutné odstíněné prostředí.



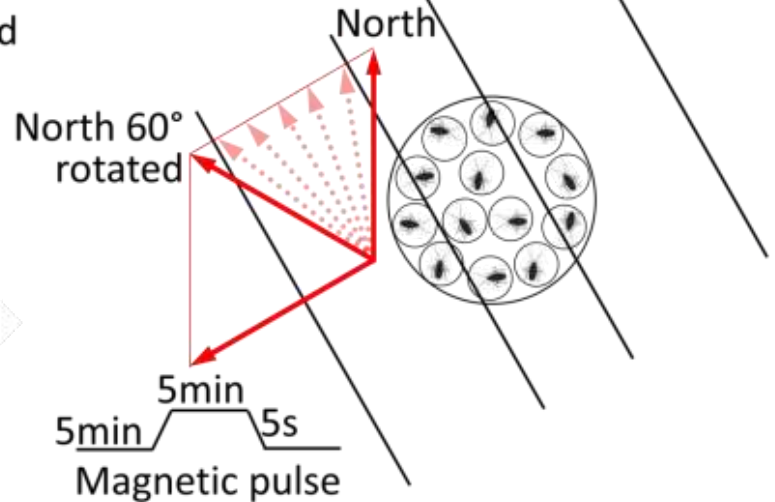
Magnetically induced restlessness (MIR)

Methods:

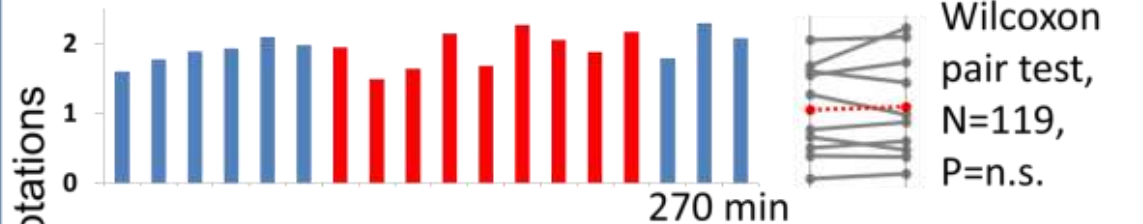
Magnetically Induced Restlessness (MIR)



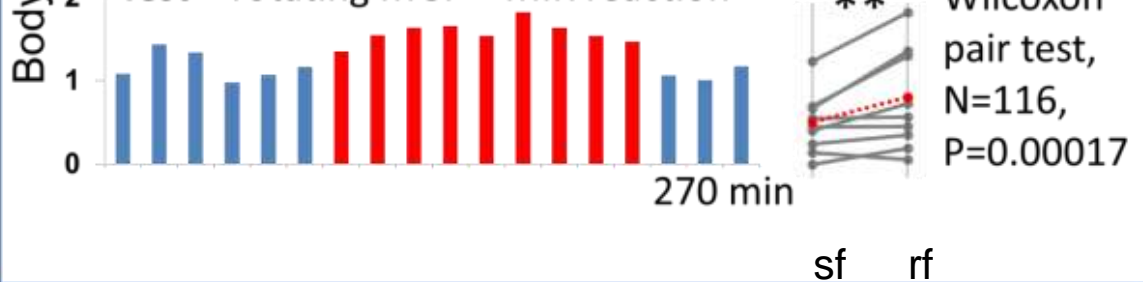
60° oscillations
Period 5 min



Control – no MGF rotation – no MIR reaction

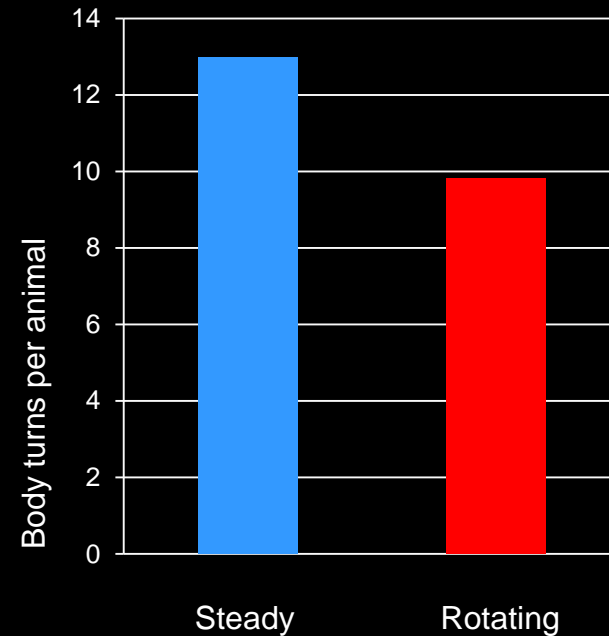
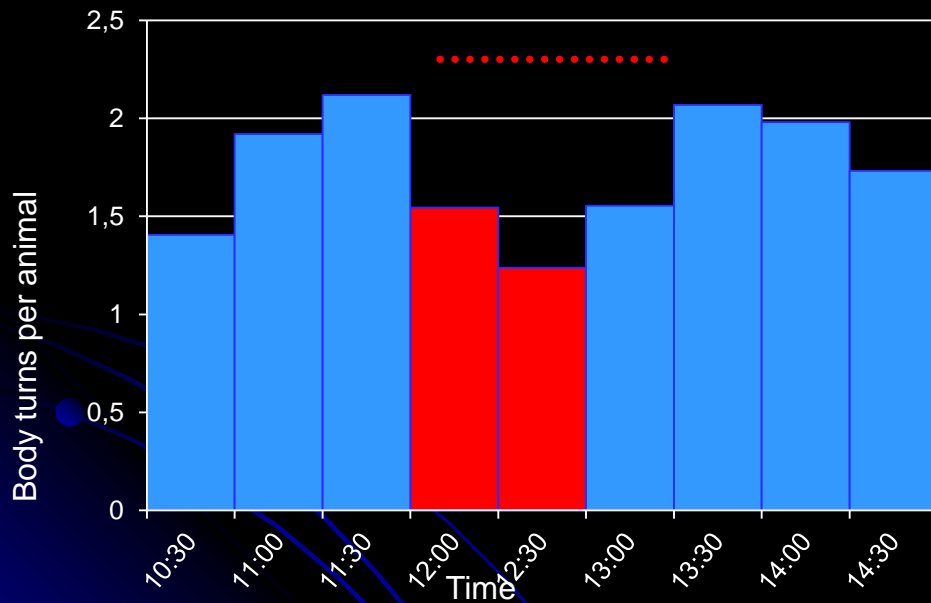


Test – rotating MGF – MIR reaction



Magnetically induced freezing (MIF)

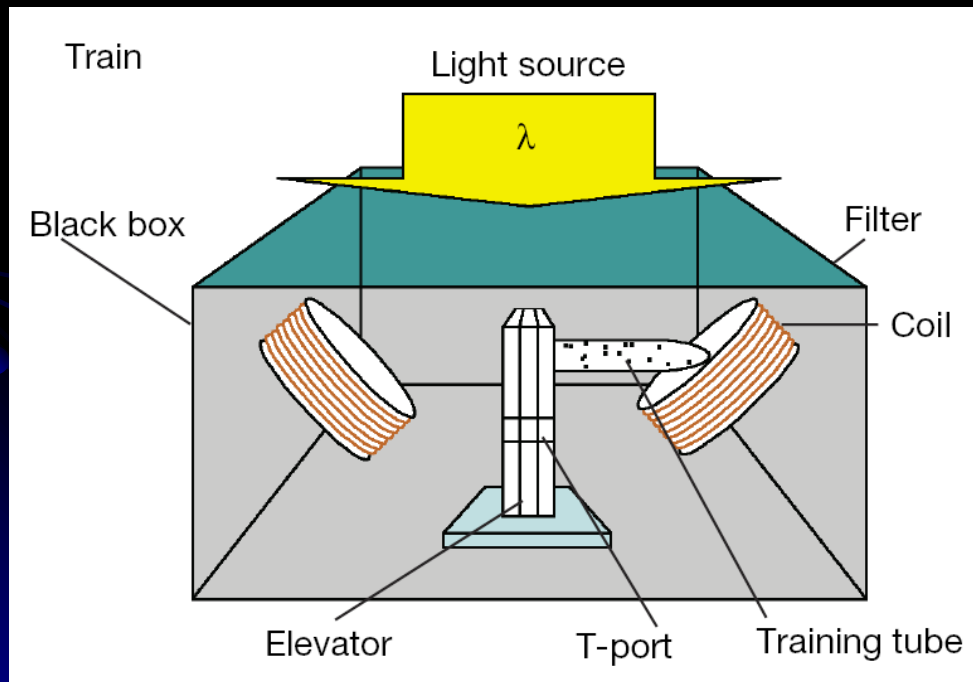
Aversively conditioned temporary immobility.



Kindly see poster P21: Magnetically induced freezing in cockroach. Effect of interstimulus interval.

Jsou to ale skutečně Kryptochromy nutné pro magnetorecepci? Čekalo se na molekulární důkaz.

2008, 2010 Gegear et al. *Drosophila* assay



Metody:

- Spontánní pohybová reakce *Periplaneta americana* a *Blatella germanica* na rotaci pole
- Reverzní genetika – RNA interference



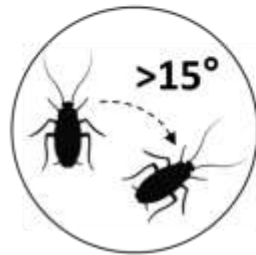
Vacha, M. 2006. Laboratory behavioural assay of insect magnetoreception: Magnetosensitivity of *Periplaneta americana*. *J. Exp. Biol.* 209: 3882-3886.

Magnetically induced restlessness (MIR)

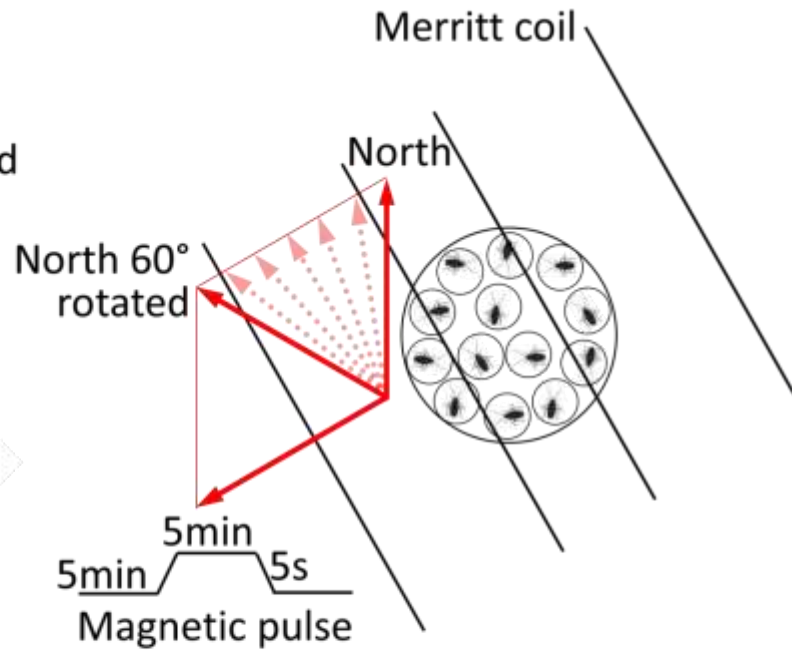


Methods:

Magnetically Induced Restlessness (MIR)



60° oscillations
Period 5 min

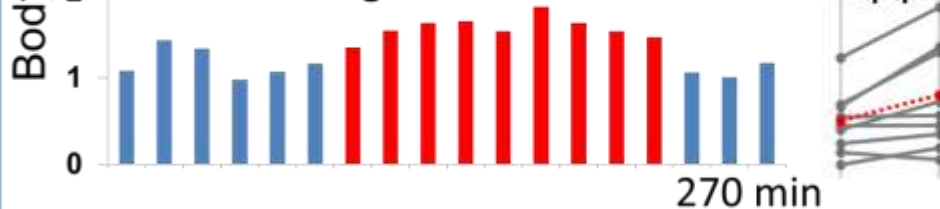


Control – no MGF rotation – no MIR reaction

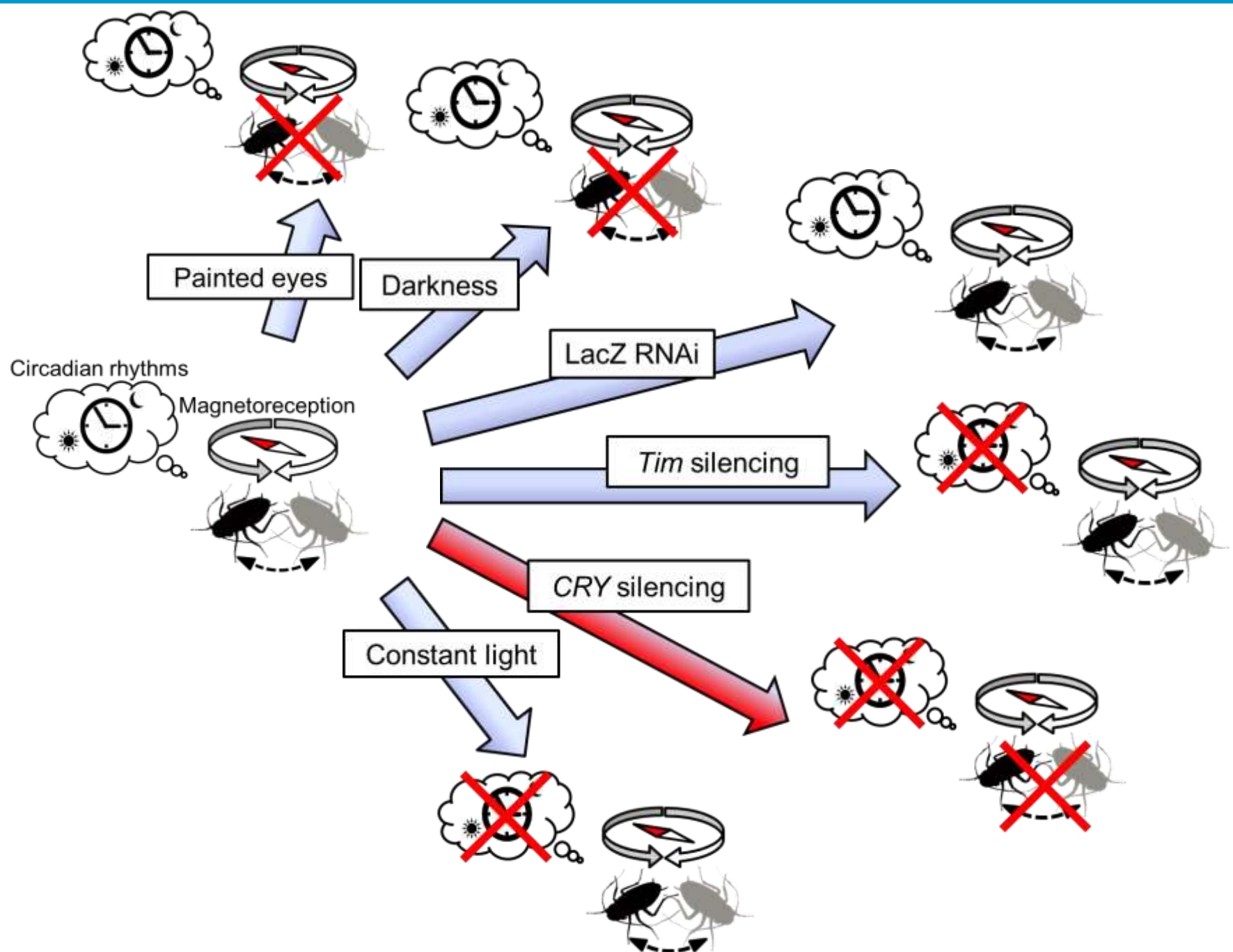


Wilcoxon pair test,
N=119,
P=n.s.

Test – rotating MGF – MIR reaction

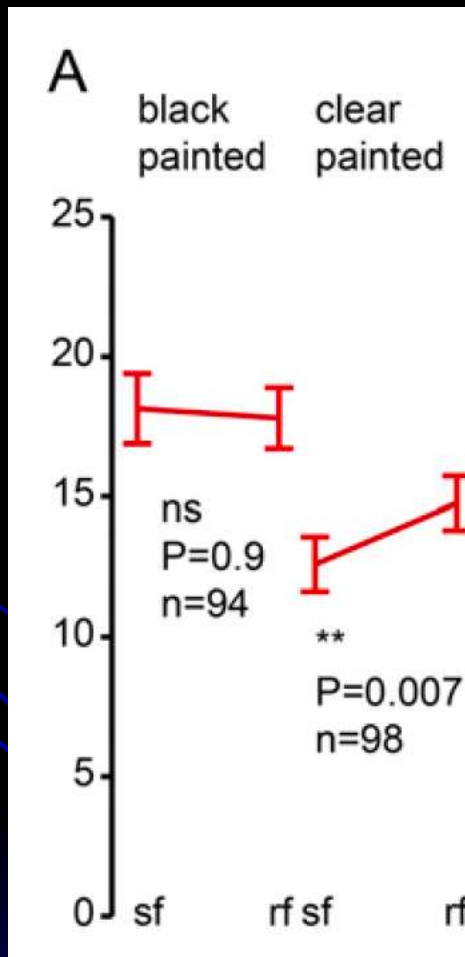


**
Wilcoxon pair test,
N=116,
P=0.00017

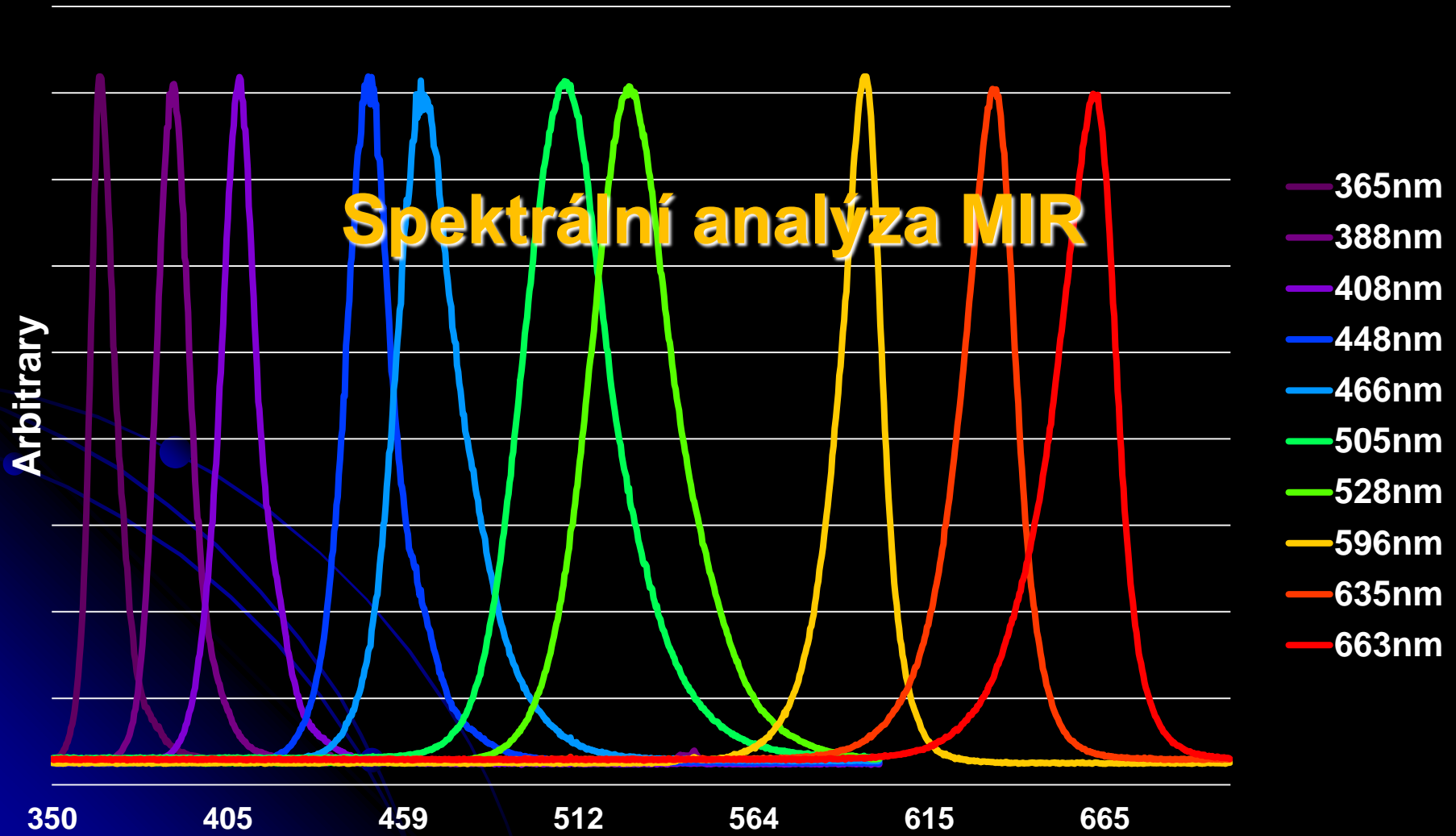


Existuje polokruhovitá struktura s Cry?

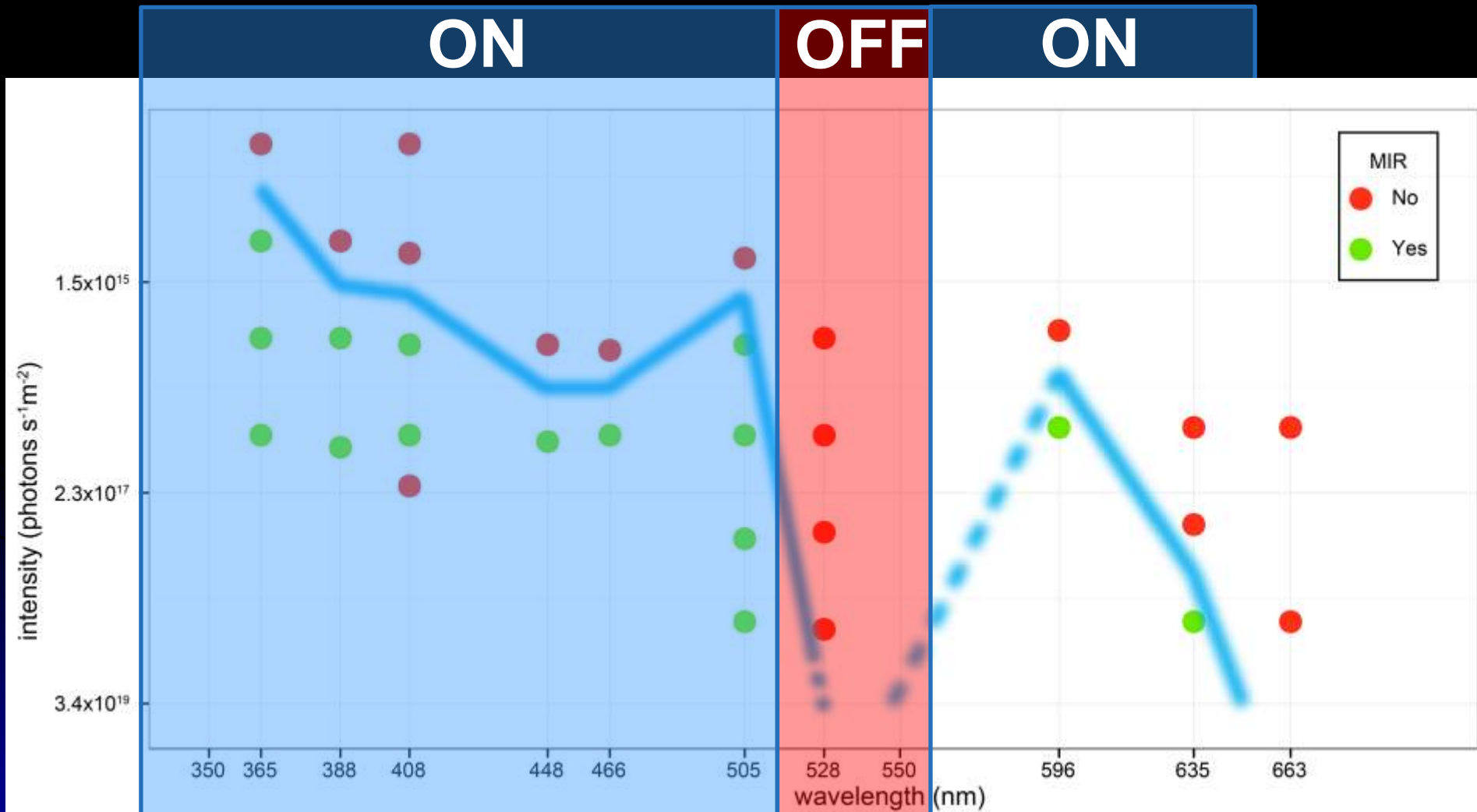
Imunocytochemie: vrstva buněk zespodu kopírujících sítnici



LED spectra



MIR je závislý na barvě



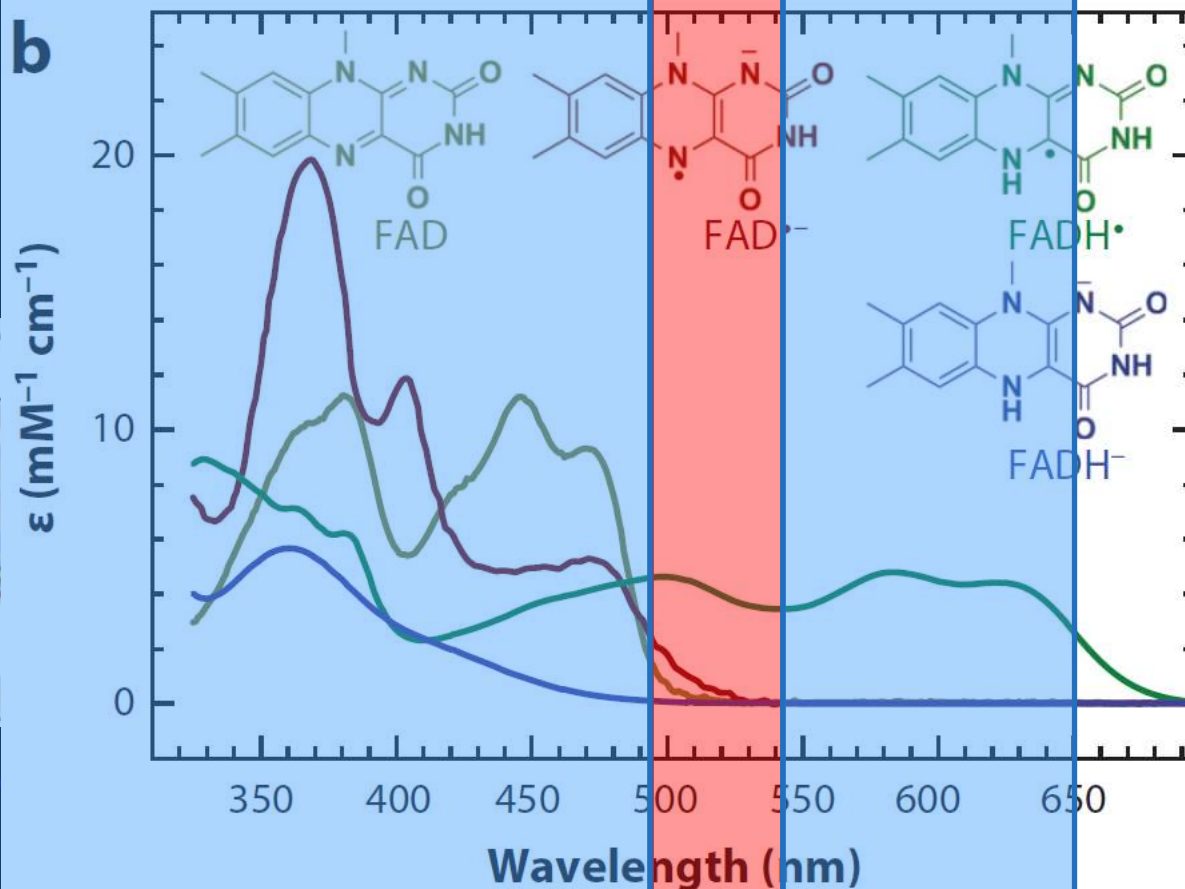
Absorpční křivky Cry.

ON

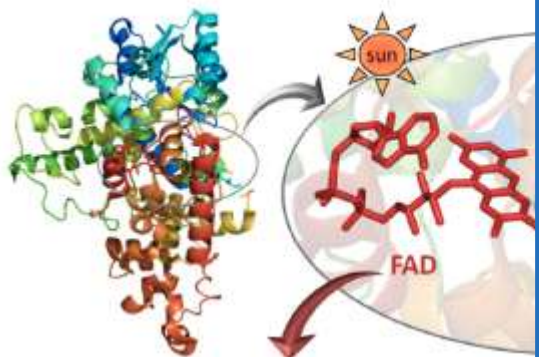
OFF

ON

b



J. Wang et al. / Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry and Photobiology

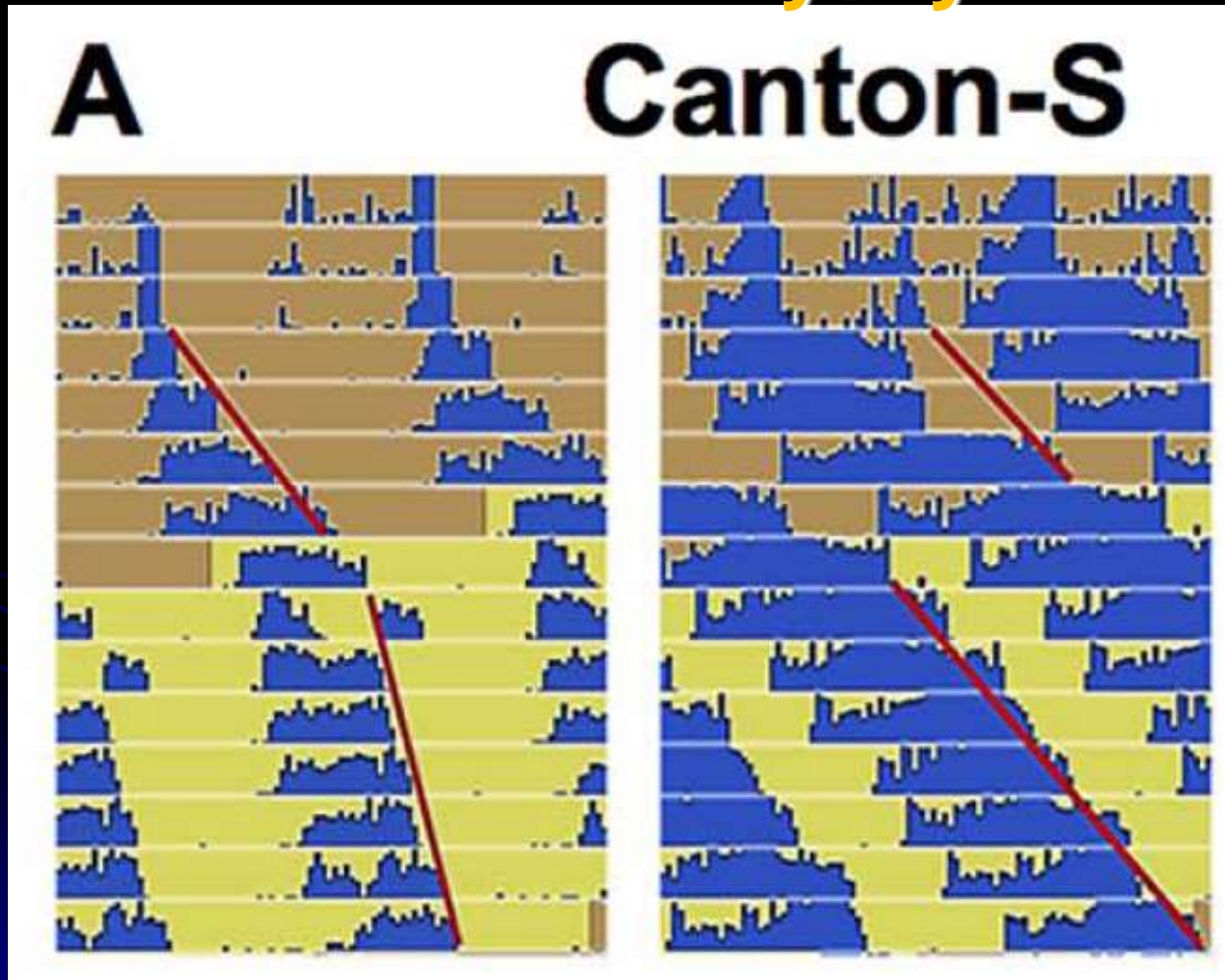


Shrnutí nových výsledků na *Periplaneta* a *Bletella*:

- Magnetorecepce je vázaná na oči
- Spektrální křivka směrové recepce odpovídá absorpci Cry
- *Směrová* magnetorecepce je závislá na funkčním Cry
- Cry je přítomen v polokruhovitě vrstvě pod sítnicí
- Fotochemický kompas je solidní hypotéza a Cry součástí směrové

recepce **GMF**

Nejen orientace a směr. Magnetické pole ovlivňuje prostřednictvím Cry cirkadiální rytmy



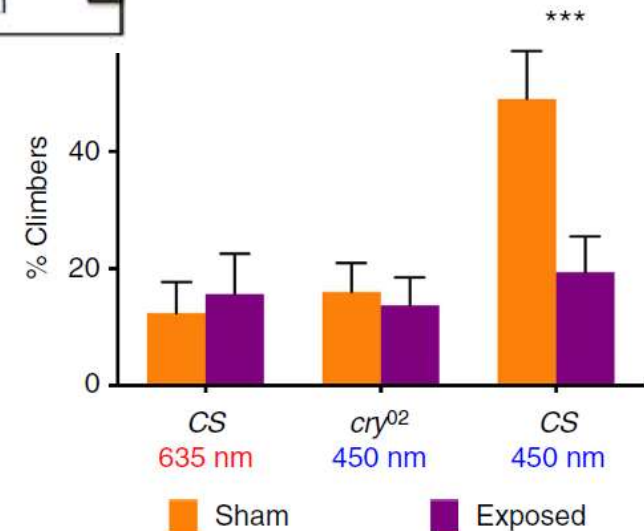
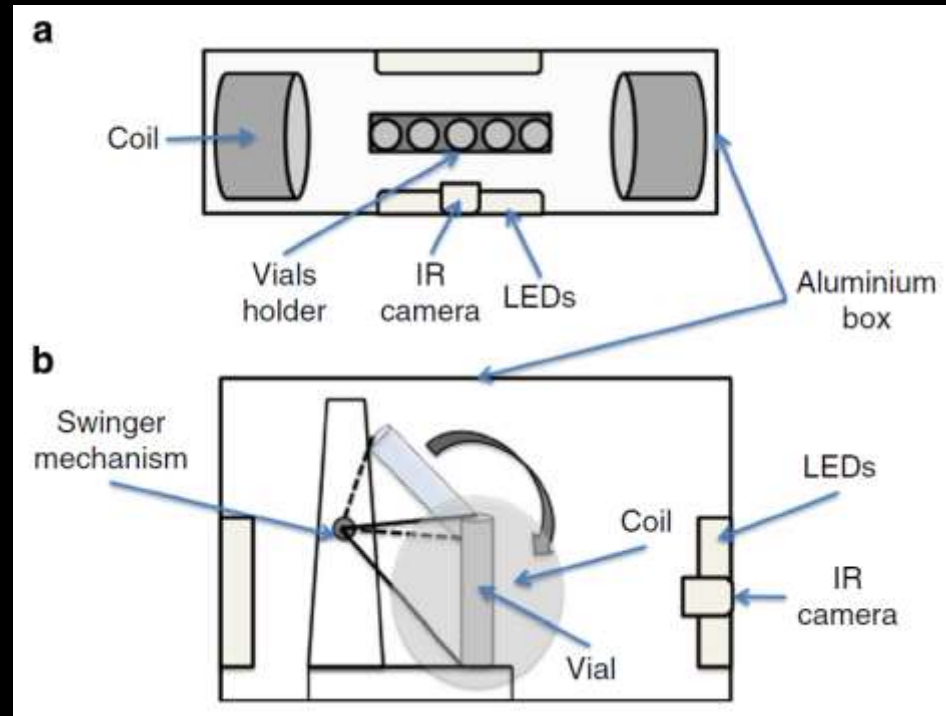
Fedele, G., Edwards, M. D., Bhutani, S., Hares, J. M., Murbach, M., Green1, E. W., et al. (2014). Genetic Analysis of Circadian Responses to Low frequency Electromagnetic Fields in *Drosophila melanogaster*. *PLOS Genetics*, 10(12), e1004804.

Fedele, G., Green, E. W., Rosato, E., & Kyriacou, C. P. (2014). An electromagnetic field disrupts negative geotaxis in *Drosophila* via a CRY-dependent pathway. *Nature Communication*, DOI: 10.1038/ncomms5391.

Ale třeba i geotaxi.

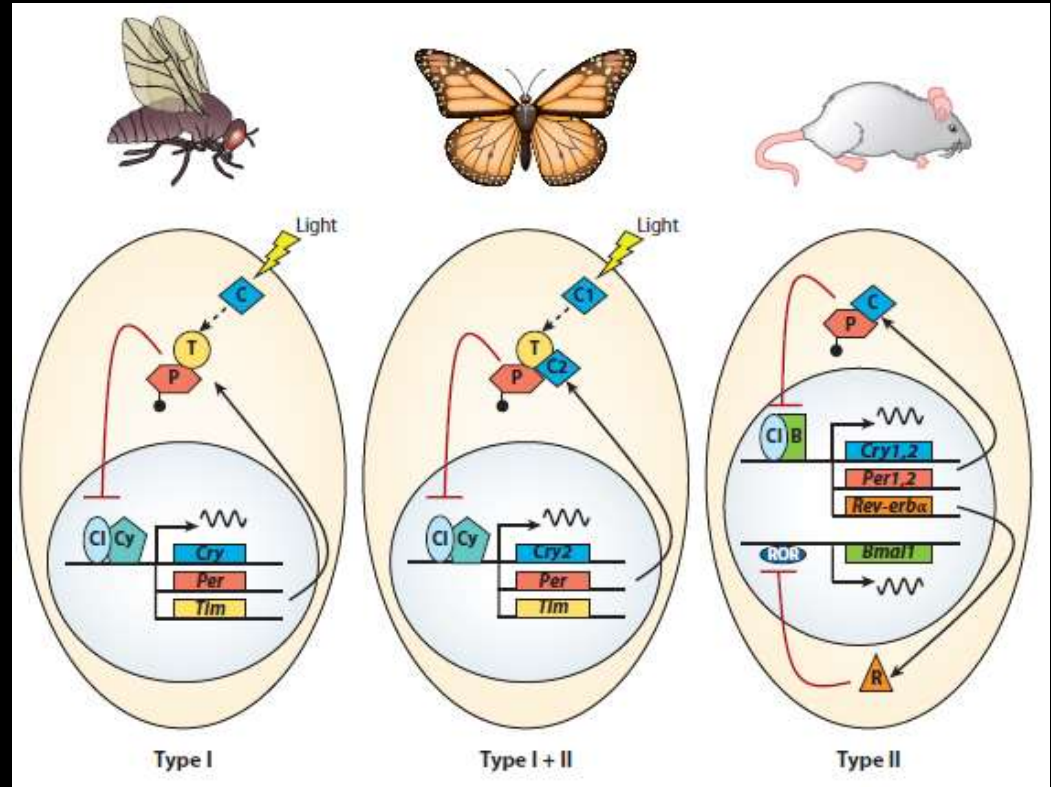
Šplhání mušek vzhůru je MG polem vypnuto.

Ale jen u těch, které mají Cry a na modrém světle.



Resume a výhledy do budoucna Cryptochromy a jejich úlohy.

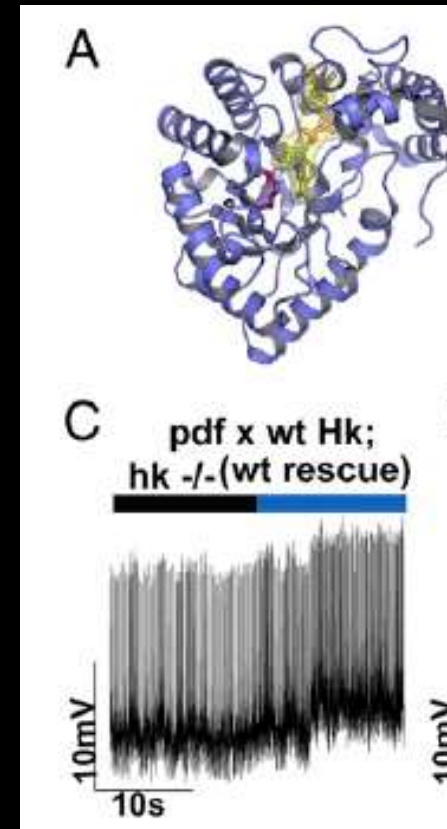
- Hodiny



Chaves I, Pokorný R, Byrdin M, Hoang N, Ritz T, Brettel K, Essen L-O, Horst GTJvd, Batschauer A, Ahmad M. 2011. The Cryptochromes: Blue Light Photoreceptors in Plants and Animals. *Annu Rev Plant Biol* 62:335–364.

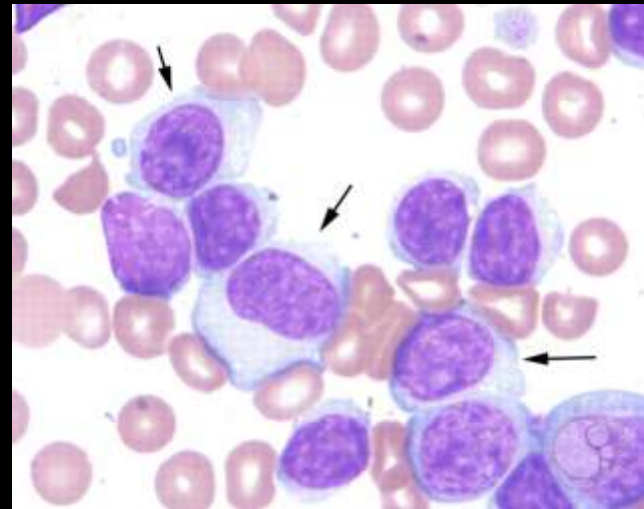
Resume a výhledy do budoucna Cryptochromy a jejich úlohy.

- Hodiny
- Změna membránového potenciálu



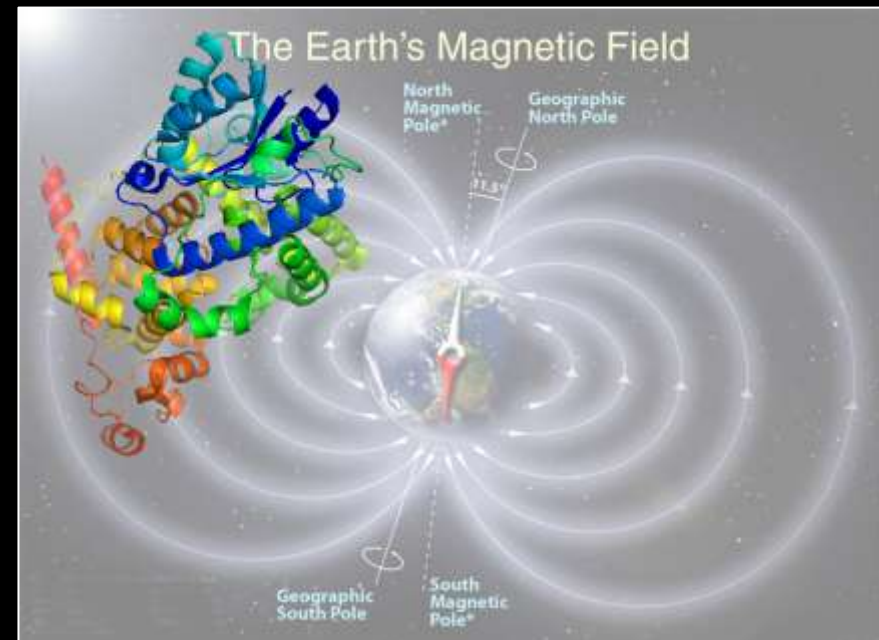
Resume a výhledy do budoucna Cryptochromy a jejich úlohy.

- Hodiny
- Změna membránového potenciálu
- Kontrola buněčného cyklu



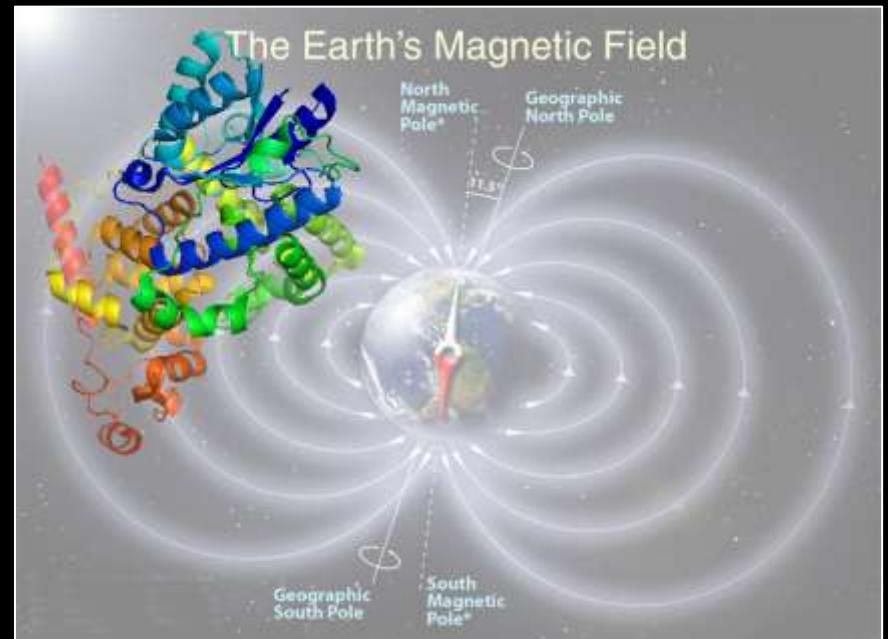
Resume a výhledy do budoucna Cryptochromy a jejich úlohy.

- Hodiny
- Změna membránového potenciálu
- Kontrola buněčného cyklu
- Magnetorecepce



Resume a výhledy do budoucna Cryptochromy a jejich úlohy.

- Možná všechny dráhy, kde je přítomen Cry, jsou citlivé na světlo a magnetická pole !
- Pokud ano, pak i na radiové frekvence.

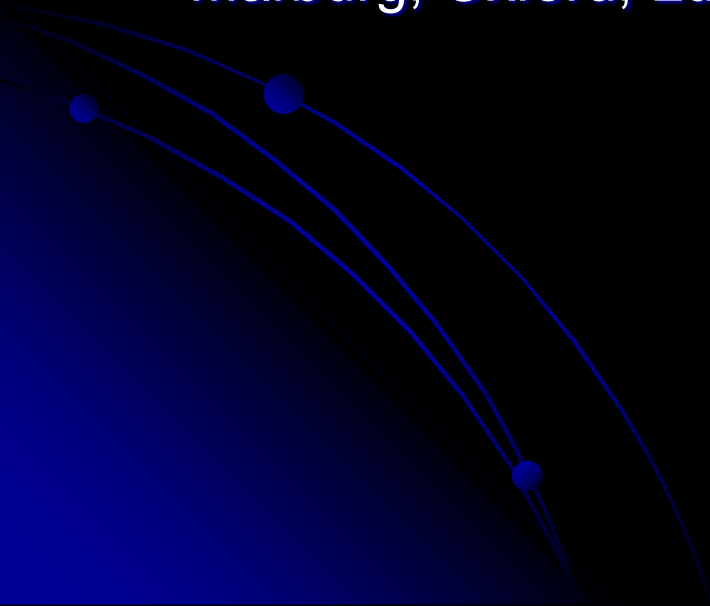


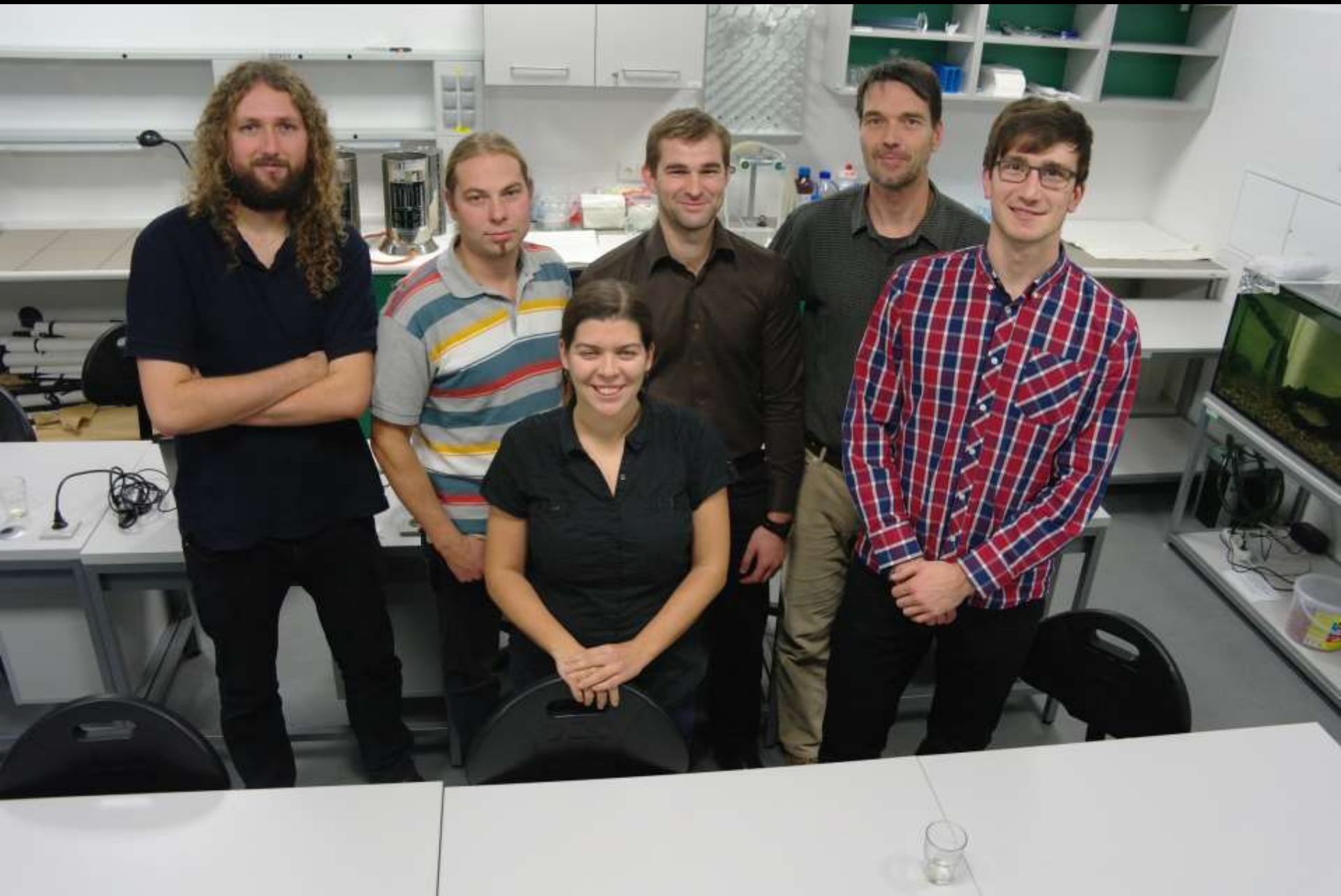
Co říci závěrem o výzkumu úlohy Cry na hmyzím modelu:

- Díky molekulárním technikám hmyz (bezobratlí) pravděpodobně umožní popsat mechanismus magnetické citlivosti
- směr magnetického pole je pro živé systémy důležitější než kompas v ruce pro člověka.
- Výzkum posouvá hranice mezi biologií, „kvantovou biologií“ a fotochemií.
- Praktické aplikace v oblasti ochrany zdraví, kvality spánku, interakcí s technickými zařízeními atd.

Dosavadní granty:

- Ověření magnetorecepce potemníka moučného. GAČR 2001-2003
- Analýza magnetorecepčního chování laboratorních druhů hmyzu. GAČR 2005-2008
- Neurální podstata magnetorecepce hmyzu. GAČR 2007-2010
- Fyziologická a funkčně genetická analýza magnetorecepce na hmyzím modelu GAČR 2013-2015.
- Spolupráce s Molekulární chronobiologickou lab. ČB, Marburg, Oxford, Lund,





Objev: Vědci zjistili, jak se zvířata orientují podle magnetického pole Země

věda & výzkum 16. listopadu 2016 redakce



Foto: Archiv M. Vácha

Foto: Archiv M. Vácha

Martin Vácha se svým týmem ověřoval orientaci podle magnetického pole na hmyzu, konkrétně na potěmnikovi moučném, ruskovi a švábovi americkém.

**Zmiňovaný protein
krytochrom byl nalezen**

Fascinující schopnost některých živočichů reagovat na geomagnetické pole byla již dokázána řadou výzkumů. Dosud však vědci nevěděli, jak tento smysl funguje a čím je směr k magnetickému pólu planety vnímán. Průlomový objev učinil kolektiv vědců

pozvánky >>

- Čtvrtek** 15. 12. Přednáška O botanické exkurzi v Černé Hoři a Albánii
- Čtvrtek** 15. 12. Přednáška: Z dějin ruské estetiky
- Úterý** 20. 12. Přednáška Kdy dojdou světové zásoby ropy?
- Středa** 21. 12. Odborné kolokvium Věda v praxi rozvoje Brna?
- Sobota** 28. 1. Reprezentační právníký ples

Newsletter:
Zůstaňte v obraze

MENDEL LECTURES
2016/2017

**Virtuální prohlídky
vědeckých pracovišť MU**

neoposte si uít

Děkuji za pozornost.

