

Київське обласне територіальне відділення МАН України
Всеукраїнський інтерактивний конкурс «МАН-Юніор Дослідник»
Номінація «Еколог-Юніор 2024 р»

ФІЗИКО-ОПТИЧНИЙ АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ БУДОВИ ТА ФУНКЦІЙ ЗОРОВОЇ СИСТЕМИ БАБОК: *БІОНІЧНИЙ ПІДХІД*

ЄРЬОМІН ВОЛОДИМИР СЕРГІЙОВИЧ
Учень 9 класу гімназії «Мономакс»

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК: К.Б.Н., РОЗЕНБЛІТ ЮЛІЯ ВАСИЛІВНА



НАУКА - ЖИВА!



АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ:

МІЛЬЙОНИ РОКІВ ЕВОЛЮЦІЇ ЗРОБИЛИ З БАБОК ОДИН З НАЙЕФЕКТИВНІШИХ ХИЖАКІВ. БАБКИ ЧУДОВО АДАПТУВАЛИСЬ ОБХОДИТИСЬ БЕЗ СЛУХУ, ПОКЛАДАЮЧИСЬ ЛИШЕ НА СВІЙ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ЗІР, І ПРИ ЦЬОМУ ДОСЯГАЮТЬ УСПІХУ У 95%.



ПОЛЮВАННЯ У ПРОСТОРІ ЗАЗВИЧАЙ ВИМАГАЄ СКЛАДНИХ ОБЧИСЛЕНЬ. ЗОКРЕМА, ДЛЯ УСПІШНОГО ЗБИТТЯ ЗАСОБАМИ ППО ЦІЛІ, ЩО ПРОСТО РУХАЄТЬСЯ З ПОСТІЙНОЮ ШВИДКІСТЮ – ПОТРІБНО НЕ ЛИШЕ ОБЧИСЛИТИ ЦЮ ШВИДКІСТЬ, АЛЕ Й РОЗВ'ЯЗАТИ СИСТЕМУ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ. В ОСНОВІ Ж ВИСОКОЇ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТІ БАБОК ЛЕЖАТЬ НЕ СКЛАДНІ ОБЧИСЛЕННЯ, А КІЛЬКА СУТТЄВИХ ПРИСТОСУВАНЬ ТА ПРОСТИХ АЛГОРИТМІВ ПОВЕДІНКИ. ЦІ ЕВОЛЮЦІЙНІ ОСОБЛИВОСТІ, ЩО ПЕРЕВІРЕНІ СОТНЯМИ МІЛЬЙОНІВ РОКІВ ПРАКТИКИ, МОЖУТЬ БУТИ ДУЖЕ КОРИСНИМИ ДЛЯ СТВОРЕННЯ БІЛЬШ ДОСКОНАЛИХ ПРИСТРОЇВ



БІОНІЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ НЕОДНОРАЗОВО БУЛИ ВПРОВАДЖЕННІ З МОРФОЛОГІЧНИМИ ОСОБЛИВОСТЯМИ БАБОК. ЗОКРЕМА, ПІСЛЯ ДОСКОНАЛОГО ВИВЧЕННЯ ФОРМИ КРИЛ РІЗНОКРИЛИХ БАБОК БУЛО ВНЕСЕНО БАГАТО ВДОСКОНАЛЕНЬ В БУДОВУ ПЛАНЕРІВ ТА ЛІТАКІВ.



АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження переваг сферичного зору бабок можуть бути використаними в техніці для створення та вдосконалення систем ширококутного, багатоспектрового спостереження та пошуком пожеж чи мінування, або для формування карт. Сформульовані алгоритми полювання бабок відкривають шлях до створення програмних рішень для захоплення та збиття літаючих цілей без застосування значних потужностей для обчислення.



Мета роботи полягала у здійсненні фізико-оптичного аналізу зорової системи та поведінки бабок з метою інтерпретації отриманих результатів до біонічної моделі ефективної системи штучного бачення

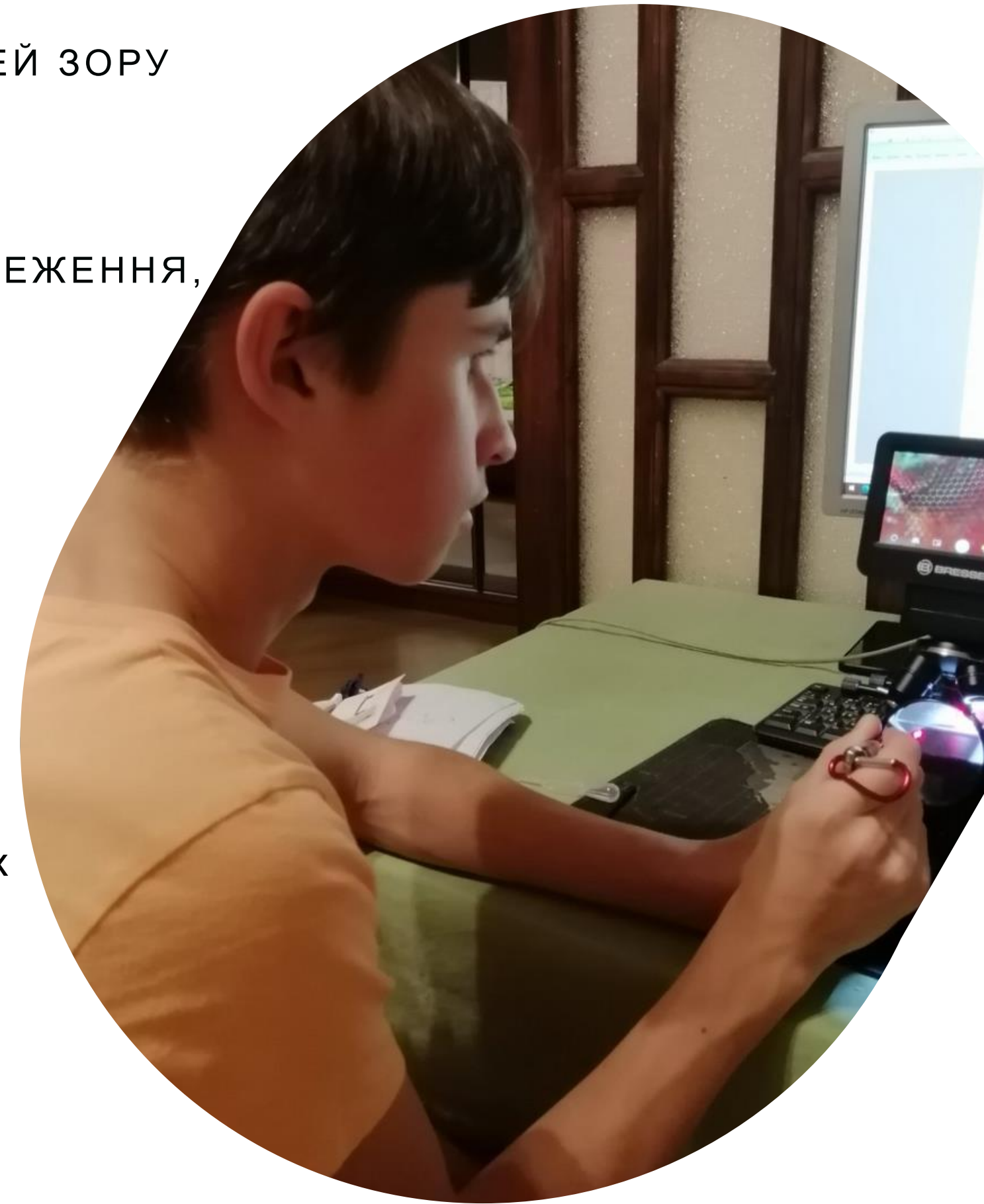
ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ: ФІЗИКО-ОПТИЧНІ ПАРАМЕТРИ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗОРУ БАБОК, АЛГОРИТМИ ПОВЕДІНКИ ПРИ ПОЛЮВАННІ

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ: РІВНОКРИЛІ (*ZYGORTERA*) ТА РІЗНОКРИЛІ (*ANISORTERA*) БАБКИ

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ: АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ, СПОСТЕРЕЖЕННЯ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ, ПОЛЬОВІ, МІКРОСКОПІЧНІ, СТАТИСТИЧНІ

ЗАВДАННЯ:

1. Проаналізувати особливості зорового апарату рівнокрилих та різнокрилих бабок з метою проведення фізико-оптичного аналізу типових представників
2. Визначити коефіцієнт заломлення (для верхніх «монохромних» фасеток та нижніх кольоро-чутливих очок) кожного представника з зорових груп.
3. Здійснити статистичне опрацювання отриманих результатів та провести перевірку методом підбору рідини з відповідними оптичними параметрами. Обчислити фокусну відстань для різних зон зору.
4. Проаналізувати, як особливості зору впливають на поведінку під час полювання.
5. Обґрунтувати поєднання біологічних принципів та простих алгоритмів для нових технічних рішень.



МАТЕРІАЛАМИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ БУЛА ВЛАСНА КОЛЕКЦІЯ БАБОК ЗІБРАНИХ ПРОТЯГОМ 2019–2023 РР.



**У РІВНОКРИЛИХ ТА РІВНО-РІЗНОКРИЛИХ БАБОК
ДВА МАЙЖЕ СФЕРИЧНИХ ОКА РОЗТАШОВАНІ
НА ВІДСТАНІ ОДИН ВІД ОДНОГО**

**У ВСІХ ПРЕДСТАВНИКІВ РІЗНОКРИЛИХ – ДВА
ОКА НАЧЕ ЗРОСЛИСЬ В ЄДИНИЙ ОРГАН.**



Рис. 1. Власна колекція бабок



**ТИПОВИЙ ПРЕДСТАВНИК РІВНОКРИЛИХ:
КРАСУНЯ БЛИСКУЧА**



**ТИПОВИЙ ПРЕДСТАВНИК РІЗНОКРИЛИХ:
ДОЗОРЕЦЬ – ІМПЕРАТОР (АБО ДОЗОРЕЦЬ-ВОЛОДАР)
ANAX IMPERATOR**



МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

I. ОПТИЧНА МОДЕЛЬ ФАСЕТКОВОГО ОКА ТА ФОРМУЛА РОЗРАХУНКУ ФОКУСНОЇ ВІДСТАНІ



ТАК ЯК ТОВЩИНА ФАСЕТКИ ЗНАЧНО МЕНША ЗА ЇЇ ЛІНІЙНІ РОЗМІРИ, ТО НАЙБІЛЬШ ТОЧНОЮ ОПТИЧНОЮ МОДЕЛЛЮ Є:
ТОНКА ДВООПУКЛА ЗБИРАЛЬНА ЛІНЗА.



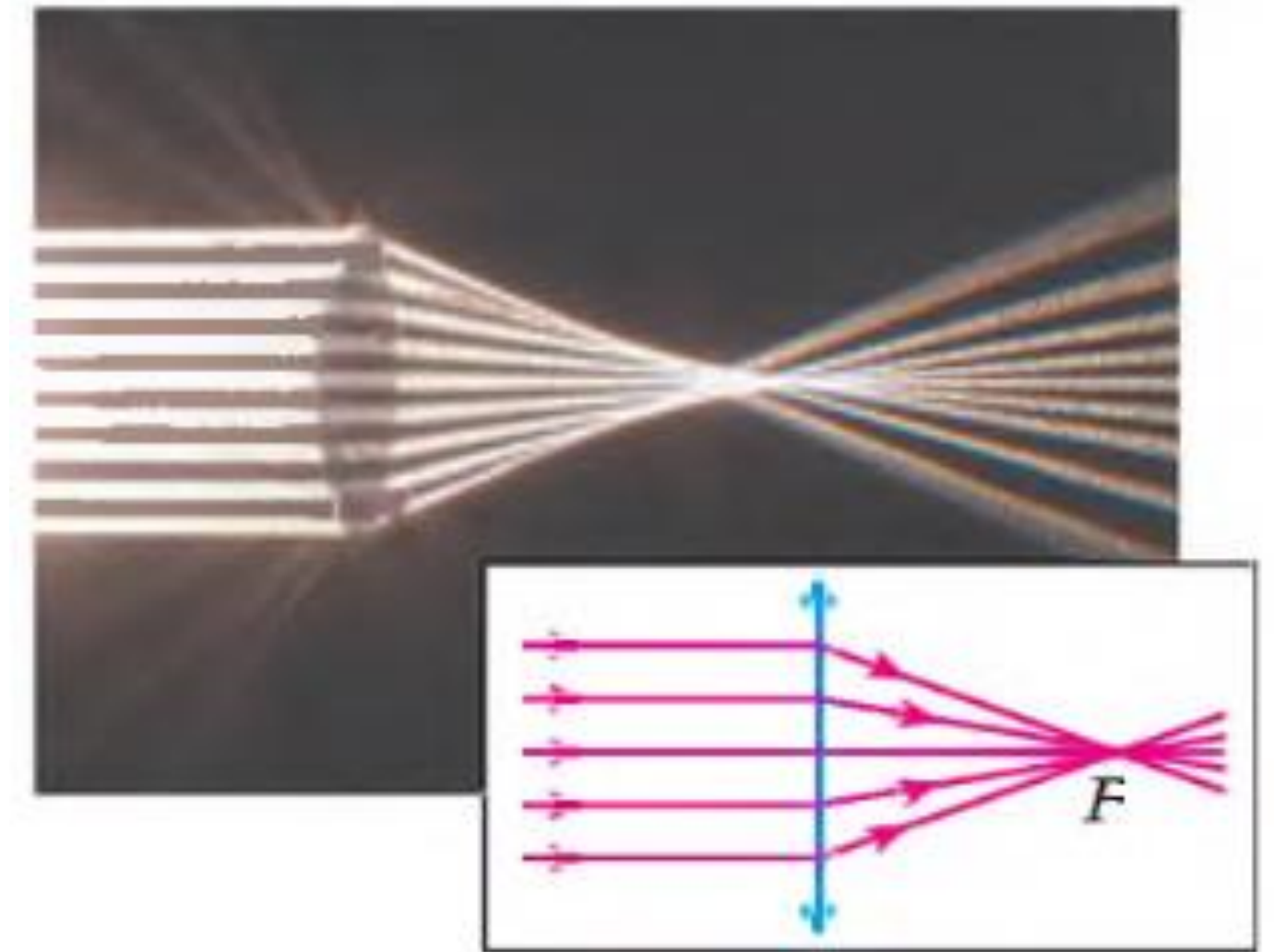
ФОРМУЛА ОБЧИСЛЕННЯ ФОКУСНОЇ ВІДСТАНІ :

ДЕ n – ВІДПОВІДНІ КОЕФІЦІЄНТИ ЗАЛОМЛЕННЯ, А R_1 ТА R_2 – ЗОВНІШНІЙ ТА ВНУТРІШНІЙ РАДІУСИ КРИВИЗНИ НАШОЇ ЛІНЗИ, ТОБТО ФАСЕТОК. ВИХОДЯЧИ З АНАТОМІЇ ФАСЕТОК, ЗОВНІШНІЙ І ВНУТРІШНІЙ РАДІУСИ ПРАКТИЧНО ОДНАКОВІ, ТОМУ МОЖЕМО СПРОСТИТИ ФОРМУЛУ:



ОТЖЕ, ДЛЯ ОБЧИСЛЕННЯ ФОКУСНОЇ ВІДСТАНІ НАМ НЕОБХІДНО ЗНАЙТИ 2 НЕВІДОМИХ:

1. обчислити коефіцієнт заломлення фасеток.
2. виміряти радіус кривизни лінз-фасеток, що дуже відрізняються для майже сферичних очей рівнокрих і більш приплюснутих очей різнокрих.



$$\frac{1}{F} = (n_{\text{лінзи}} - n_{\text{середовища}}) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$F = \frac{R}{2(n_{\text{лінзи}} - n_{\text{середовища}})}$$

ДЛЯ БАБКИ СЕРЕДОВИЩЕ – ЦЕ ПОВІТРЯ, ТОМУ $n = 1$.
ДЛЯ НАЯДИ, ЩО МЕШКАЄ У ВОДІ $n = 1.33$

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

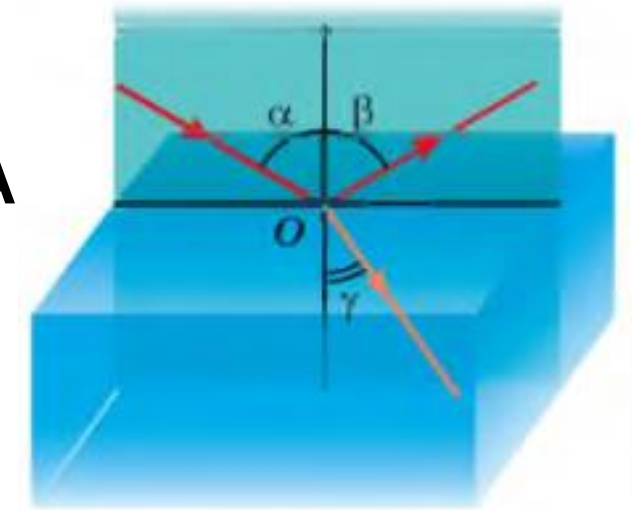
II. ОБЧИСЛЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ЗАЛОМЛЕННЯ ФАСЕТОК МЕТОДОМ ВИМІРЮВАННЯ КУТА ЗАЛОМЛЕННЯ



ТЕОРІЯ.

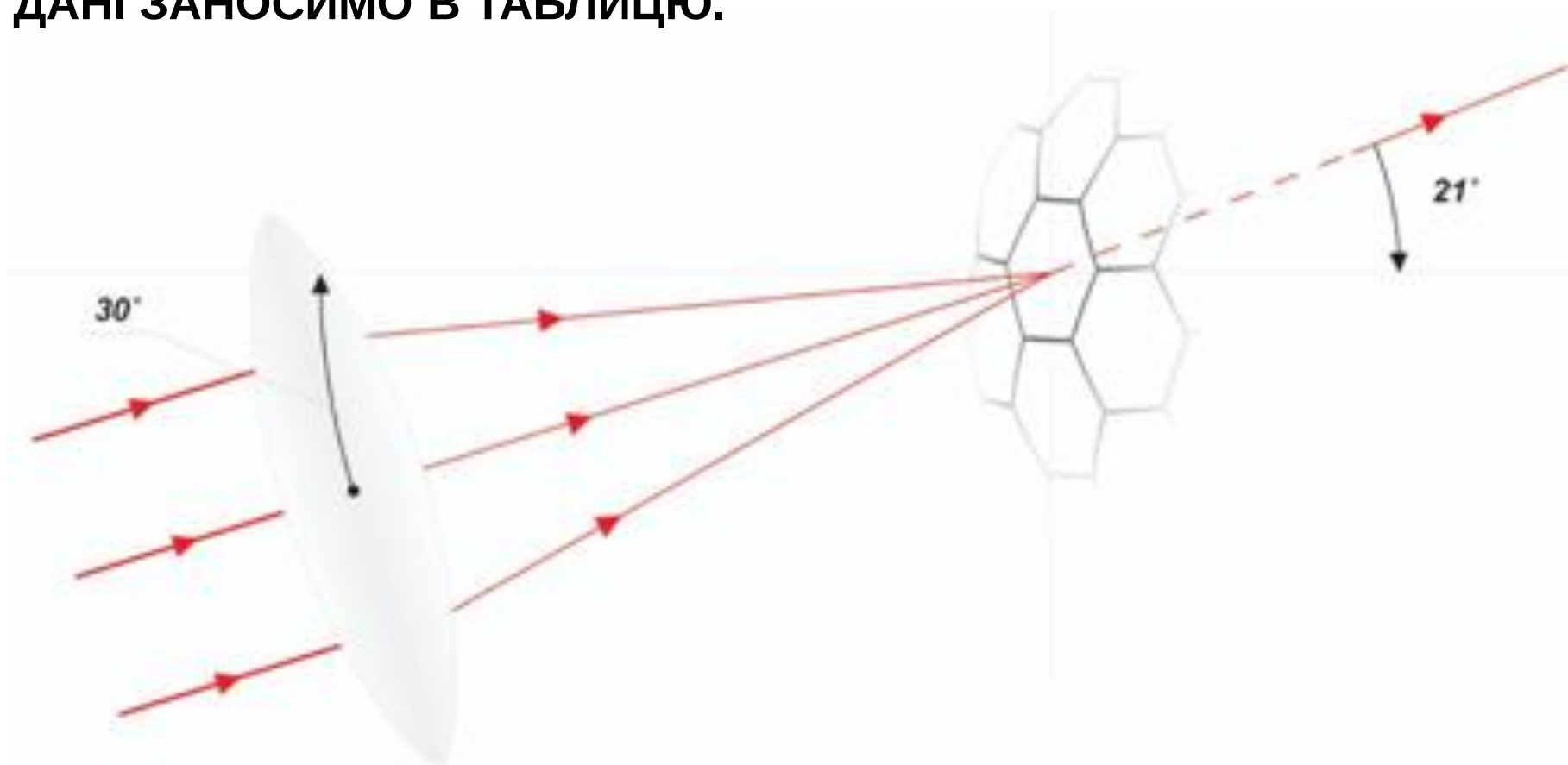
ЗГІДНО ЗАКОНУ ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА – ПРИ ПЕРЕХОДІ В БІЛЬШ ОПТИЧНО ГУСТЕ СЕРЕДОВИЩЕ, КОЕФІЦІЄНТ ЗАЛОМЛЕННЯ РІВНИЙ ВІДНОШЕННЮ СИНУСІВ ПАДАЮЧОГО ТА ЗАЛОМЛЕНОГО КУТІВ

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}$$



ЗНАХОДИМО КОЕФІЦІЄНТ ЗАЛОМЛЕННЯ N ОКРЕМО ДЛЯ ВЕРХНІХ «МОНОХРОМНИХ» ФАСЕТОК ТА НИЖНІХ КОЛЬОРО-ЧУТЛИВИХ ОЧОК РІВНОКРИЛИХ ТА РІЗНОКРИЛИХ БАБОК.

ПОЧЕРГОВО ПРОСВІЧУЄМО ЛАЗЕРОМ ПІД ПЕВНИМ КУТОМ (СПЕРШУ ПІД 30, А ПОТІМ ПІД 45 ГРАДУСІВ) ВЕРХНІ ТА НИЖНІ ОМАТИДІЇ ТА ПІД МІКРОСКОПОМ ВИРАХУВУЄМО КУТ ЗАЛОМЛЕННЯ ДАНІ ЗАНОСИМО В ТАБЛИЦЮ.



РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

I. Обчислення коефіцієнту заломлення фасеток методом вимірювання кута заломлення

Таблиця 1. Розрахункові дані обчислення кута заломлення

Об'єкт експерименту		кут α , градуси	$\sin \alpha$	кут γ , градуси	$\sin \gamma$	$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}$
Рівнокрилі	верхні фасетки	30°	0,5	21°	0,3584	1,395089
	нижні фасетки	30°	0,5	21°30'	0,3665	1,364256
	верхні фасетки	45°	0,7071	30°30'	0,5075	1,3933
	нижні фасетки	45°	0,7071	31°	0,515	1,37301
Різнокрилі	верхні фасетки	30°	0,5	21°30'	0,3665	1,364256
	нижні фасетки	30°	0,5	22°	0,3746	1,334757
	верхні фасетки	45°	0,7071	30°	0,5	1,4142
	нижні фасетки	45°	0,7071	31°	0,515	1,37301
Середнє значення						1,376485



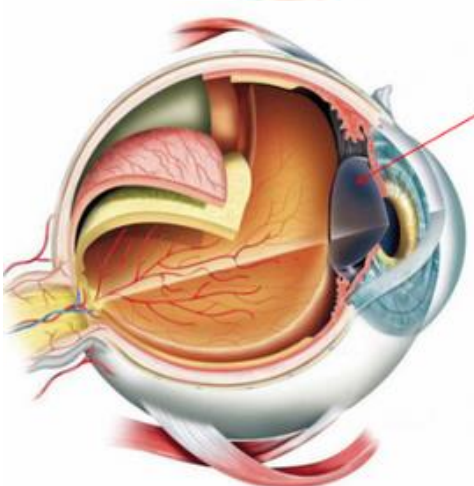
КОЕФІЦІЄНТ ЗАЛОМЛЕННЯ РІЗНИХ БАБОК ПРАКТИЧНО НЕ ВІДРІЗНЯЄТЬСЯ



КОЕФІЦІЄНТ ЗАЛОМЛЕННЯ НИЖНІХ І ВЕРХНІХ ФАСЕТОК ПРАКТИЧНО ОДНАКОВИЙ



ОТРИМАНІ ДАНІ ДУЖЕ БЛИЗЬКІ ДО ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ КРИШТАЛИКА, ЩО ВІДІГРАЄ РОЛЬ ЛІНЗИ У ЛЮДСЬКОМУ ОЦІ. У ДОРОСЛОЇ ЛЮДИНИ КРИШТАЛИК НЕОДНОРІДНИЙ ПО ТОВЩИНІ, А ЙОГО КОЕФІЦІЄНТ ЗАЛОМЛЕННЯ КОЛИВАЄТЬСЯ МІЖ 1,386 В НИЖНІЙ ТОЧЦІ ДО 1,406 В ЦЕНТРІ



- кришталік
- міститься позаду зіниці
 - прозоре еластичне тіло в тонкостінній сумці
 - двоопуклий
 - заломлює промені

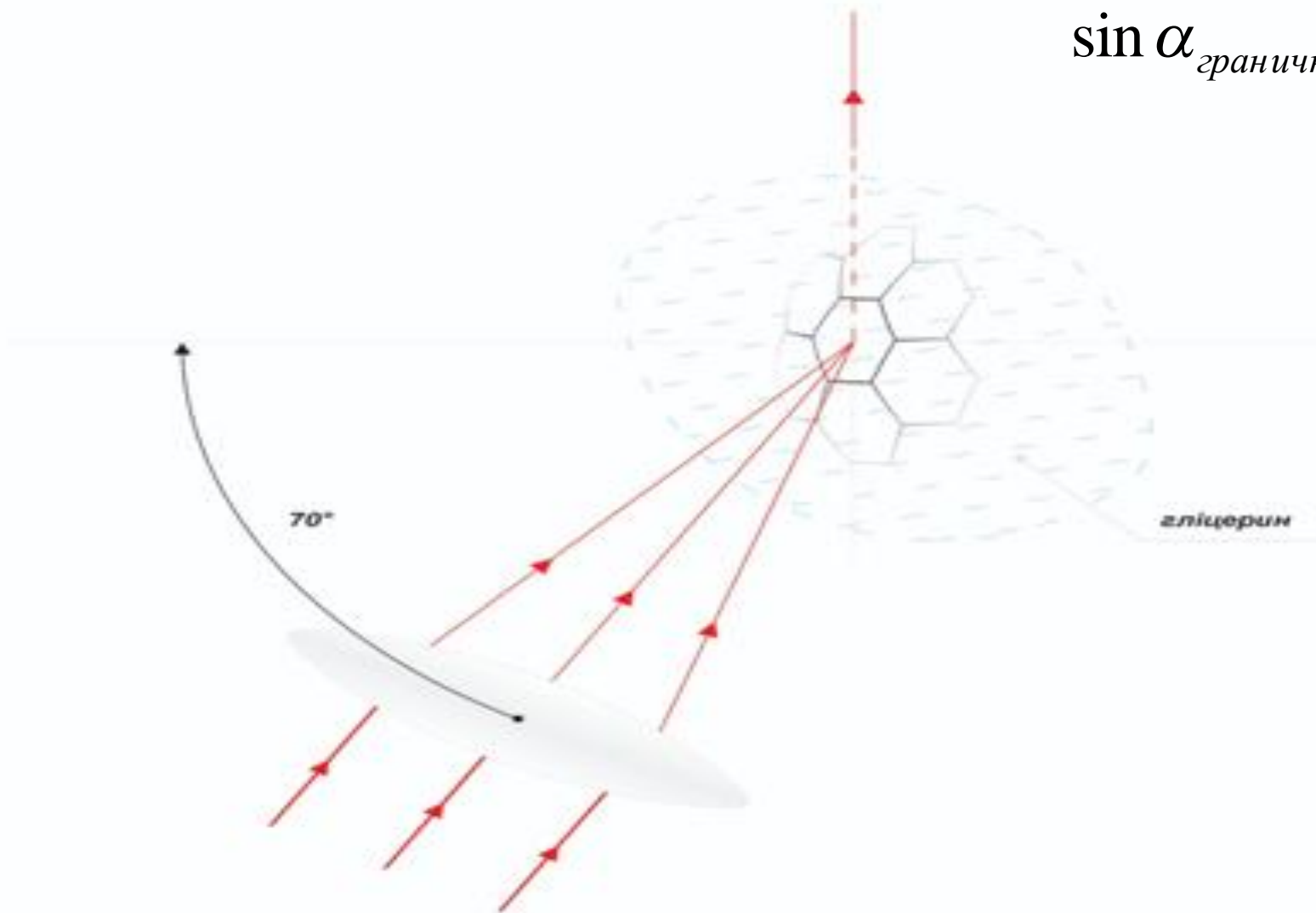
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

II. Обчислення коефіцієнту заломлення фасеток методом вимірювання граничного кута відбиття в більш оптично густому середовищі

Маючи оцінку n з даних попереднього експерименту можна нанести на око бабки оптично більш густу рідину і по чергово просвітити лазером відповідні оматидії (верхні, нижні) та користуючись мікроскопом вирахувати граничний кут повного відбиття, тобто кут, при якому світло лазера, що приходить до фасетки, повністю відбивається:

$$\sin \alpha_{\text{граничне}} = \frac{n}{n_{\text{глицерину}}}$$

звідси: $n = \frac{\sin \alpha_{\text{граничне}}}{n_{\text{глицерину}}}$



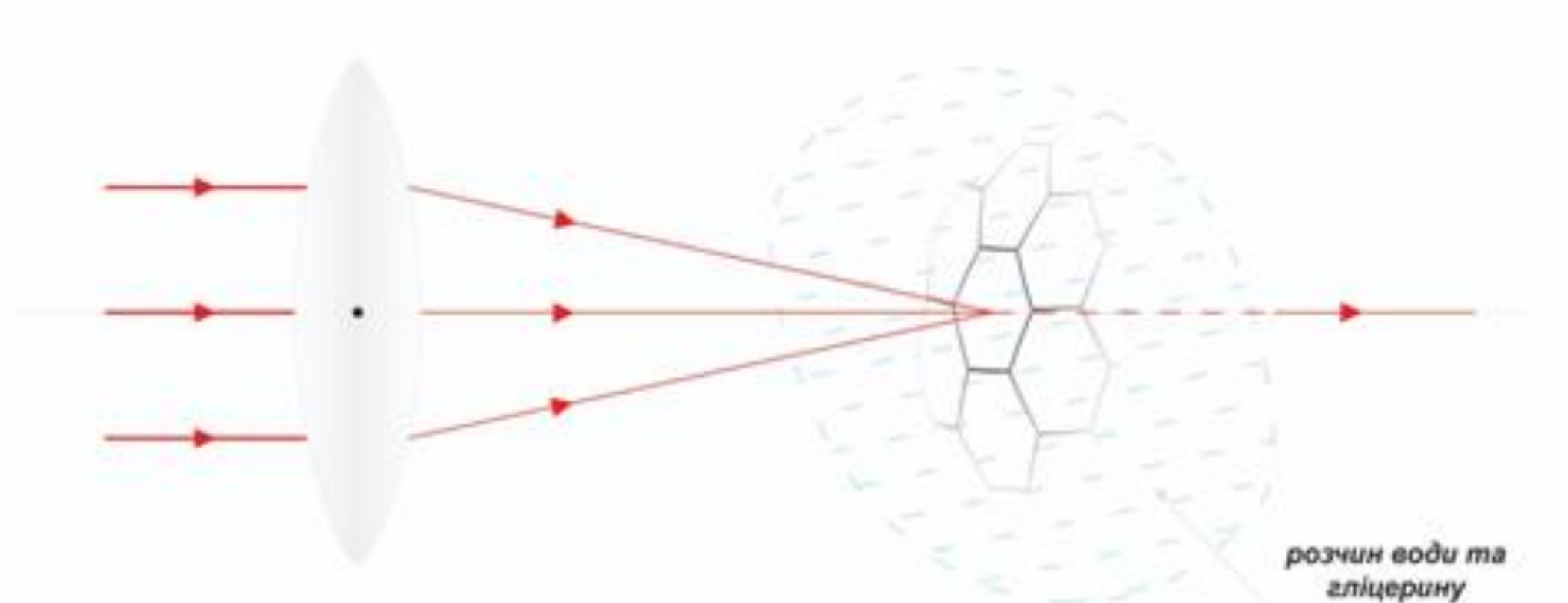
Таблиця 2. Розрахункові дані обчислення граничного кута повного відбиття

Об'єкт експерименту		кут α , градуси	$\sin a$	n глицерину	n бабки
Рівнокрилі	верхні фасетки	69°	0,9336	1,473	1,375193
	нижні фасетки	70°	0,9397	1,473	1,384178
Різнوکрилі	верхні фасетки	$69^\circ 30'$	0,9367	1,473	1,379759
	нижні фасетки	$70^\circ 30'$	0,9426	1,473	1,38845
Середнє значення					1,381895

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

III. Перевірка отриманих результатів

1. ОБЧИСЛЮЄМО СЕРЕДНЄ ЗНАЧЕННЯ n ОТРИМАНЕ В РЕЗУЛЬТАТІ ОБОХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ: $n_{\text{середнє}} = 1,379$
2. ГОТУЄМО РІДИНУ З ВІДПОВІДНИМ ЗНАЧЕННЯМ (СУМІШ ВОДИ ТА ГЛІЦЕРИНУ)
3. НАНОСИМО ЇЇ НА ОКО
4. ПРИ ПРОСВІТЛЮВАННІ ЛАЗЕРОМ, СПОСТЕРІГАЄМО ВІДСУТНІСТЬ ЗАЛОМЛЕННЯ ПРИ ПЕРЕХОДІ ПРОМЕНЯ З РІДИНИ В ОКО



КОЕФІЦІЄНТ ЗАЛОМЛЕННЯ ПРИГОТОВАНОЇ НАМИ РІДИНИ ТА ЛІНЗИ ОМАТИДІЯ – РІВНІ, ЩО Є СВІДЧЕННЯМ ВІРНО ЗДІЙСНЕНИХ РОЗРАХУНКІВ



РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

IV. Обчислення фокусної відстані

Таблиця 3. Розрахункові дані вимірювання радіусу

Об'єкт експерименту		R, м
Рівнокрилі	верхні фасетки	0,0015
	нижні фасетки	0,0015
Різнокрилі	верхні фасетки	Від 0,004 до 1,5*
	нижні фасетки	0,004

Таблиця 4. Обчислення фокусної відстані

		R, м	n (середнє)	F, м	Оцінка для F
Рівнокрилі	верхні фасетки	0,0015	1,379	0,001979	Приблизно 2 мм.
	нижні фасетки	0,0015	1,379	0,001979	Приблизно 2 мм.
Різнокрилі	верхні фасетки	Від 0,004 до 1,5	1,379	Від 0,005 до 1,978892	Від приблизно 13 мм. до 2 м.
	нижні фасетки	0,004	1,379	0,005277	Приблизно 13 мм.



АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ ДАНИХ ДОЗВОЛЯЄ СТВЕРДЖУВАТИ, ЩО ЛИШЕ ДЛЯ ВЕРХНІХ ФАСЕТОК РІЗНОКРИЛИХ БАБОК ФОКУСНА ВІДСТАНЬ Є ЗНАЧНОЮ. В ІНШИХ ВИПАДКАХ БАБКИ Є ДУЖЕ «КОРОТКОЗОРИМИ» І МАЮТЬ БАЧИТИ ОБ'ЄКТ ТИМ КРАЩЕ, ЧИМ ВІН БЛИЖЧЕ.



НА ПЕРШИЙ ПОГЛЯД ЗІР РІЗНОКРИЛИХ БАБОК НАГАДУЄ БІФОКАЛЬНІ ОКУЛЯРИ, В ЯКИХ ЛІНЗА СКЛАДАЄТЬСЯ З ДВОХ ЧАСТИН: НИЖНЯ ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ ДЛЯ «ЧИТАННЯ», А ВЕРХНЯ – ДЛЯ ЗОРУ ВДАЛИНУ.

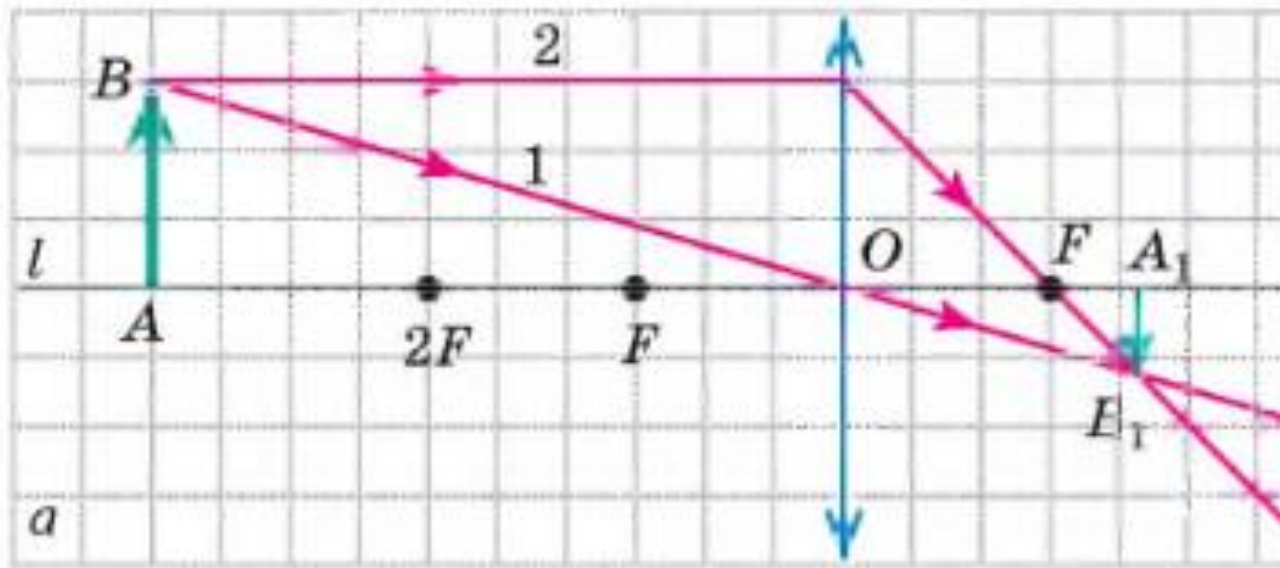
ЗДАЄТЬСЯ, ЩО РАЗ ФОКУСНА ВІДСТАНЬ ЦИХ ОЧОК БІЛЬША, ТО САМЕ ВОНИ ПОВИННІ БУЛИ Б ДАВАТИ ОСНОВНУ ІНФОРМАЦІЮ КОМАСІ ПРО ДАЛЬНІ ПРЕДМЕТИ. АЛЕ МИ ЗНАЄМО, ЩО ВЕРХНІ ФАСЕТКИ СЛУЖАТЬ ЛИШЕ ДЛЯ СПРИЙНЯТТЯ ДУЖЕ ОБМЕЖЕНОГО СПЕКТРА СВІТЛА, І БАЧАТЬ ЛИШЕ РОЗМИТІ ПЛЯМИ ОБ'ЄКТІВ.



ЧОМУ Ж ВЕРХНІ ФАСЕТКИ, ЯКІ МАЮТЬ ТАКУ ЗНАЧНУ ФОКУСНУ ВІДСТАНЬ І МАЛИ Б ДАВАТИ МАКСИМАЛЬНУ КІЛЬКІСТЬ ІНФОРМАЦІЇ, ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ КОМАХОЮ ЛИШЕ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ОБРИСІВ ЗОБРАЖЕННЯ? ПОДІБНА ЗАГАДКА ВІДНОСИТЬСЯ І ДО ДОРСАЛЬНИХ ОЧОК

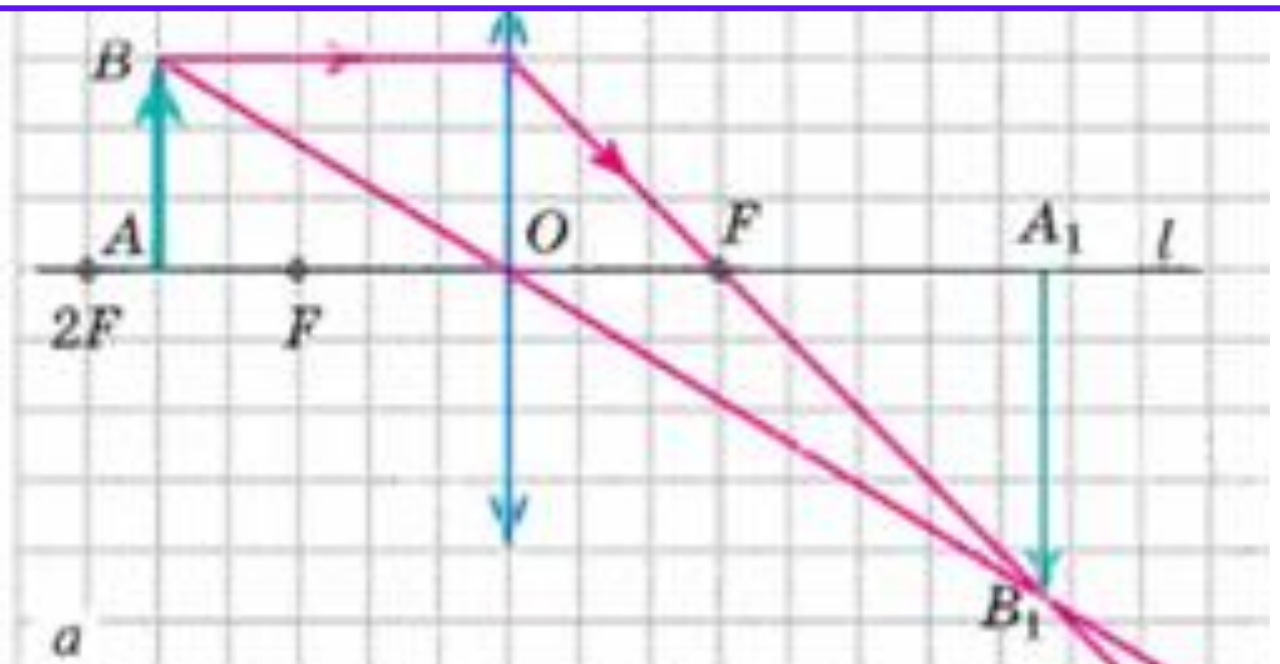
РОЗГЛЯНЕМО, ЯК РОЗМІРИ ТА ВИД ЗОБРАЖЕННЯ ЗАЛЕЖАТЬ ВІД ФОКУСНОЇ ВІДСТАНІ

РОЗМІРИ ТА ВИД ЗОБРАЖЕННЯ ЗАЛЕЖАТЬ ВІД ФОКУСНОЇ ВІДСТАНІ

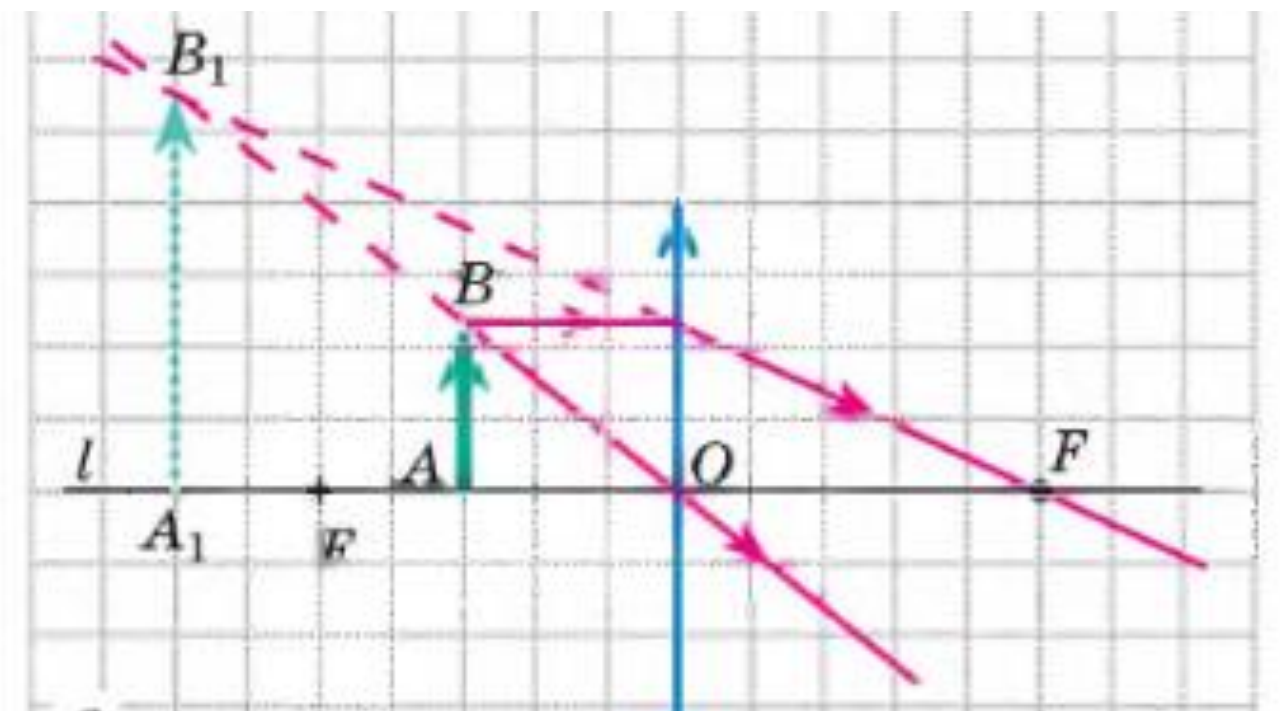


ВАРІАНТ 1 (ПРЕДМЕТ ДАЛЕКО).

ОБ'ЄКТ РОЗТАШОВАНИЙ ЗА ПОДВІЙНИМ ФОКУСОМ ($2F$) ОКА
ЗОБРАЖЕННЯ ПРЯМЕ, ЗМЕНШЕНЕ, ПЕРЕВЕРНУТЕ



ВАРІАНТ 2. (ПРЕДМЕТ РОЗТАШОВАНИЙ МІЖ ФОКУСОМ І
ПОДВІЙНИМ ФОКУСОМ ФАСЕТКИ).
ЗОБРАЖЕННЯ ПРЯМЕ, ЗБІЛЬШЕНЕ, ПЕРЕВЕРНУТЕ



ВАРІАНТ 3. (ПРЕДМЕТ БЛИЗЬКО)

ОБ'ЄКТ РОЗТАШОВАНИЙ МІЖ ФОКУСОМ І ОКОМ
ЗОБРАЖЕННЯ УЯВНЕ, ЗБІЛЬШЕНЕ, НЕ ПЕРЕВЕРНУТЕ



ГІПОТЕЗА ЩОДО ПРИЧИН РОЗФОКУСУВАННЯ ВЕРХНІХ ТА ДОРСАЛЬНИХ ОЧЕЙ



ПРИПУСТИМО, ЩО ЗОБРАЖЕННЯ ВЕРХНІХ
ФАСЕТОК ТА ДОРСАЛЬНИХ ОЧОК «РОЗМИТО» НА
РІВНІ СІТКІВКИ, ЧЕРЕЗ ОПТИЧНІ ЕФЕКТИ.



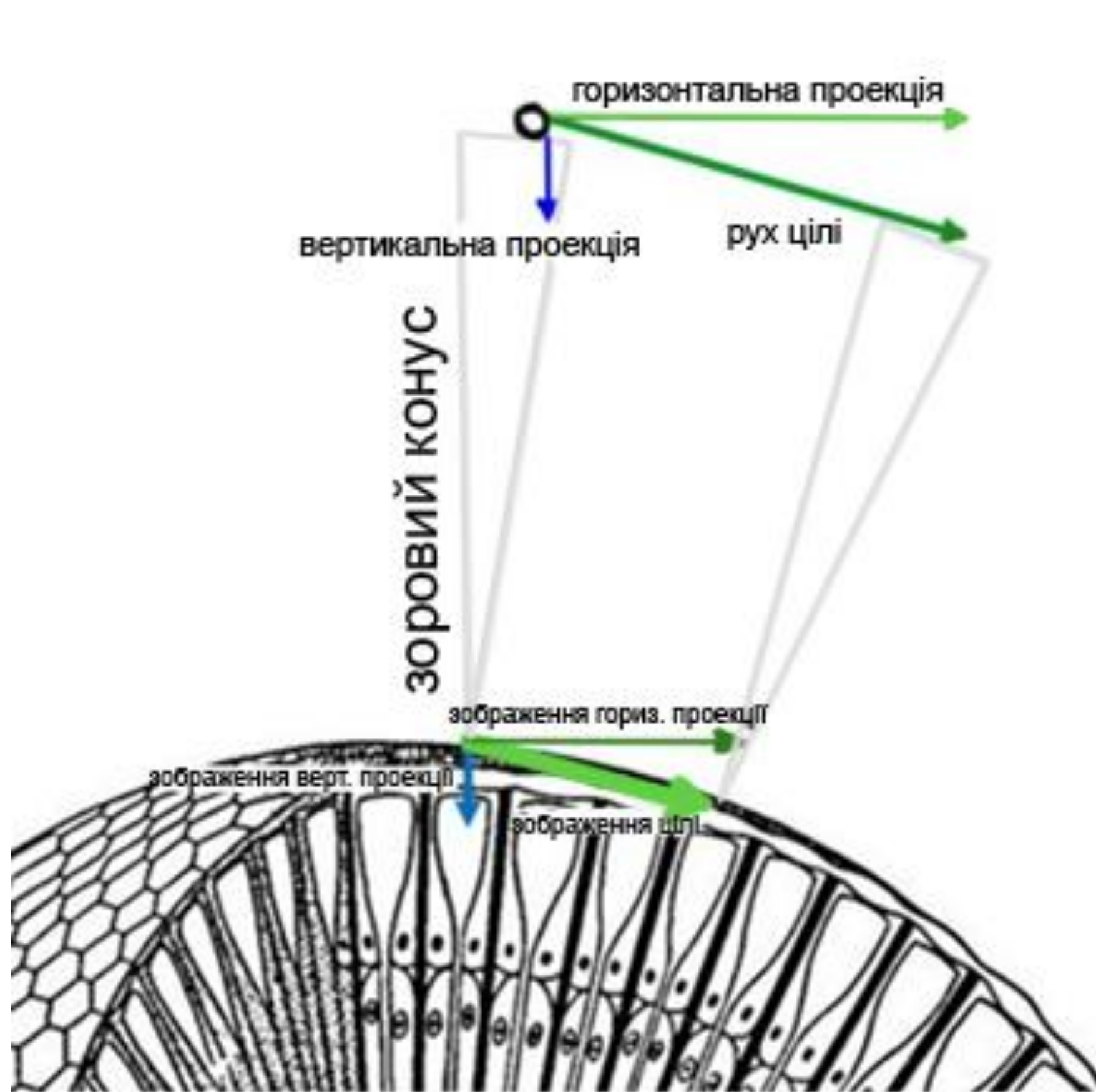
АДЖЕ ЧЕРЕЗ ЗНАЧНУ ФОКУСНУ ВІДСТАНЬ
ВІДОБРАЖЕННЯ ПРЕДМЕТІВ НА СІТКІВЦІ ЗАЛЕЖИТЬ ВІД
ВІДСТАНІ.

ВОНО ТО ЗБІЛЬШЕНЕ, ТО ЗМЕНШЕНЕ, ТО
ПЕРЕВЕРНУТЕ, ТО НІ.

ПІД ЧАС РУХУ ВИНИКАЄ СКЛАДНІСТЬ ОБРОБКИ ДАНИХ.
ТОМУ БІЛЬШЕ КОРИСТІ, ЯКЩО ЗОБРАЖЕННЯ БУДЕ
РОЗМИТО.



СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ПОВЕДІНКОЮ БАБОК ТА АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄ КОМАХА



АЛГОРИТМ ДІЙ ПРИ ПЕРЕХОПЛЕННІ

Даний алгоритм може стати в пригоді при проектуванні та програмуванні систем спостереження та перехоплення низько летючих цілей.

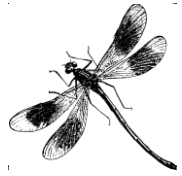
АЛГОРИТМ ПЕРЕСЛІДУВАННЯ:

Цей простий алгоритм може бути корисним при проектуванні та програмуванні бпла для знищення рухомих цілей, зокрема важких безпілотників та крилатих ракет.

СКАНУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ:

Ці еволюційні надбання потребують подальшого вивчення і можуть здійснити прорив у побудові пристроїв (сферичних тепловізорів або широкополосних лідарів), що здатні шукати, наприклад, осередки пожеж, або вирубок лісів та можуть дуже допомогти у складанні карт та пошуку мін і вибухових предметів.

ВИСНОВКИ



1. БАБКИ РІЗНИХ ТАКСОНОМІЧНИХ ПОЛОЖЕНЬ МАЮТЬ СУТТЄВІ ВІДМІННОСТІ В РОЗТАШУВАННІ ТА ФОРМИ ЗОРОВОГО АПАРАТУ. ЗА ЦИМ КРИТЕРІЄМ МОЖНА КЛАСИФІКУВАТИ ІСНУЮЧІ ПІДВИДИ НА 2 ГРУПИ І ПРОВЕСТИ ДЛЯ НИХ ПОДАЛЬШІ ОБЧИСЛЕННЯ.



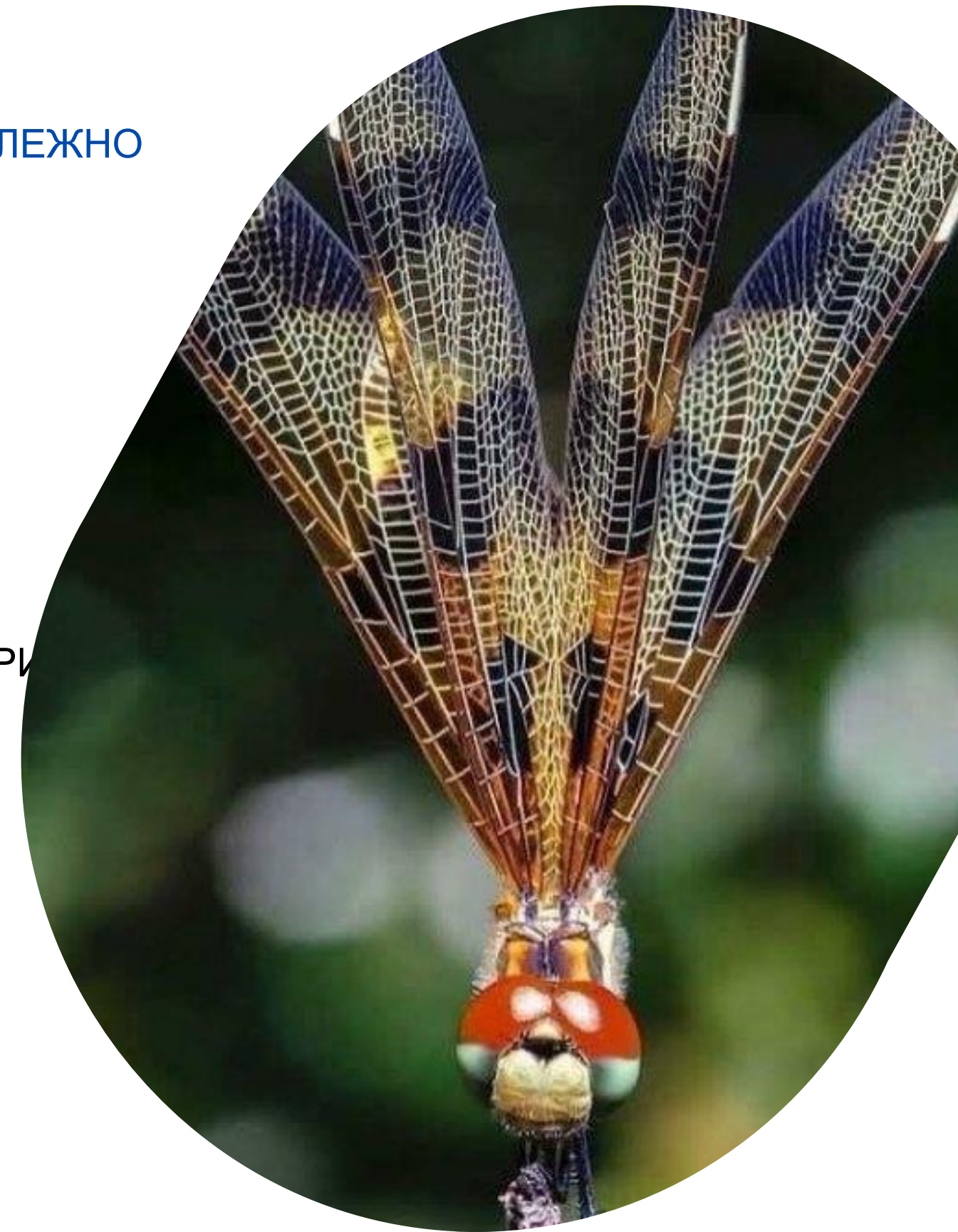
2. КОЕФІЦІЄНТ ЗАЛОМЛЕННЯ ФАСЕТОК БАБОК ПРАКТИЧНО ОДНАКОВИЙ НЕ ЗАЛЕЖНО ВІД РОЗМІРУ ЧИ РОЗТАШУВАННЯ І БЛИЗЬКИЙ ДО КОЕФІЦІЄНТУ ЗАЛОМЛЕННЯ КРИСТАЛИКА ЛЮДСЬКОГО ОКА.



3. ФОКУСНА ВІДСТАНЬ БІЛЬШОСТІ ОМАТИДІЙ БАБОК ДУЖЕ МАЛА, АЛЕ ВЕРХНІ ФАСЕТКИ РІВНОКРИЛИХ БАБОК (ТА ДОРСАЛЬНІ ОЧКИ) МАЮТЬ ЗНАЧНО БІЛЬШУ ФОКУСНУ ВІДСТАНЬ (В ГРАНИЧНОМУ ВИПАДКУ – АЖ ДО 2 М.). ВНАСЛІДОК ВІДСУТНОСТІ АКОМОДАЦІЇ ЦЕ МАЄ ПРИЗВОДИТИ ДО ВИНИКНЕННЯ ОПТИЧНИХ ЕФЕКТІВ – ЗОБРАЖЕННЯ ПРЕДМЕТІВ СИЛЬНО ЗМІНЮЄТЬСЯ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ПОЛОЖЕННЯ ВІДНОСНО ФОКУСУ. САМЕ ОПТИЧНІ ФАКТОРИ МОЖУТЬ БУТИ ПРИЧИНОЮ, ЧОМУ ЗОБРАЖЕННЯ З ВІДПОВІДНИХ ФАСЕТОК РОЗФОКУСОВАНІ НА РІВНІ СІТКІВКИ І ДАЮТЬ ЛИШЕ ОБРИЗКИ ОБ'ЄКТІВ.



4. ОСОБЛИВОСТІ ЗОРУ БАБОК: СФЕРИЧНІСТЬ, ЗНАЧНА РОЗДІЛЬНА ЗДАТНІСТЬ, ВИСОКА ЧАСТОТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ, ШИРОКИЙ СПЕКТР РОЗПІЗНАВАННЯ КОЛЬОРІВ ТА ЗДАТНІСТЬ ЗОСЕРЕДЖУВАТИСЯ НА ОКРЕМІЙ ЧАСТИНІ ЗОРУ ПРИ ВІДСУТНОСТІ АККОМОДАЦІЇ - МАЮТЬ ПРЯМИЙ ВПЛИВ НА ПОВЕДІНКУ.





ДЯКУЮ ЗА УВАГУ !