

РАМУЧКА

Вылікі полісскі колайдэр
імені Наркевіча-Ёдка

НАВУКОЎЦЫ

Якуб Наркевіч-Ёдка:
беларускі геній і ягоны
үнёсак у сусъветную навуку

БІЯЛЁГІЯ

Абат генэтыкі

КОМІКС

Пра абата

БІЯЛЁГІЯ

Трубач і пазнаньне

БІЯЛЁГІЯ

Speedrun пачатку
развіцця зіготы

ПАЛЕАНТАЛЁГІЯ

Самы дзіўны дыназаур

МАТЭМАТЫКА

Што такое
сystэма зылічэння?

ПРАКТЫЧНАЯ ФІЗЫКА

Сіла пяску, або Свабода
пад нагамі



Размова з Ганнаю Марозавай:

«Я пастановіла, што хачу распрацоўваць тэлескопы!»

РАМҮŁКА

Вітаем цябе, чытачу!

Гэта чацьверты нумар РАМҮŁКА ZIN!

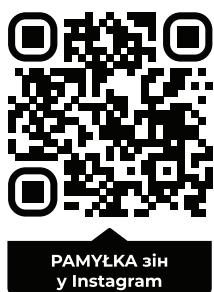
Ён прысьвежаны ідэі Вялікага палескага калайдэру. Ня мары, а ідэі, ці пляну, нашага бачаньня. Чаму Палесьсе, прычым тут Наркевіч-Ёдка, а таксама пра вытокі і Калайдэр – у першым артыкуле: на мове палескае зямлі, на адной з шматлікіх гаворак беларускае мовы. Ці не ўласабляе Калайдэр ідэі адкрытае навукі, якую стварае і разъвівае агульнымі намаганьнямі супольнасьць? Мы хочам раскрыць гэтую тэму і пашырыць межы нашага агульнага ўяўлення пра беларускую навуку, якою яна ёсьць і можа быць. Навесьці на думку й пераканацца: стваральную энэргію нам даюць зямля і мова.

Над зінам працавалі:

САЦЫЯТЭХНІЦА
Света Волчак

ДЫЗАЙН, ВЁРСТКА
Паліна Лістапад

ПЕРАКЛАДНІЦА, РЭДАКТАРКА
Настасься Кахран



РАМҮŁКА зін
у Instagram

РАМҮŁКА • НАДРУКАВАНА Ў ПОЛЬШЧЫ • 2024

Фота на вокладцы:

Косьця Helaku

Наконт усіх пытаньняў пісаць на

pamylka.zin@gmail.com

ЗЪМЕСТ

**4 ВЫЛІКІ ПОЛІССКІ КОЛАЙДЭР
ІМЕНІ НАРКЕВІЧА-ЁДКЭ**

6 НАВУКОЎЦЫ

Якуб Наркевіч-Ёдка:
беларускі геній і ягоны ўнёсак
у сусьветную навуку

16 БІЯЛЁГІЯ

Абат генэтыкі

20 КОМІКС

Пра абата

22 БІЯЛЁГІЯ

Трубач і пазнаньне

29 БІЯЛЁГІЯ

Speedrun пачатку
развіцця зіготы

33 ПАЛЕАНТАЛЁГІЯ

Самы дзіўны дыназаўр

38 МАТЭМАТЫКА

Што такое
сystэма зылічэння?

44 ПРАКТЫЧНАЯ ФІЗЫКА

Сіла пяску, або Свабода
пад нагамі

51 ФІЗЫКА

Размова з Ганнаю Марозавай:
«Я пастанавіла, што хачу
распрацоўваць тэлескопы!»

ВЫЛІКІ ПОЛІССКІ КОЛАЙДЭР ІМЕНІ НАРКЕВІЧА-ЁДКЭ

Вылікі – гато ідея
Полісскі – місьце
Колайдэр – кірунок
Наркевіч-Ёдка – гато людэна
І получаецца **РУХ**

Ідея

Всі гатэ компонентэ важнэ, коб заповнытэ Білорусь знаннямэ, одкрэттэмэ, новымам хвормамэ жыття, талантамэ і добробутом.

Місьце

І найліпшэ місьце для гатога – Поліссе.



Поліссе – найвылікшы культурніцкі рэгіён у Білорусі. Чёсом стрічаюца погорыстэ элементэ, ала збільшого гато слабо заселяна равніна. Простора равнінэ мае місьце для тэсяч новых особ і ідей.

У полішукіў своя ідентічность, і вонэ відають, дэ начынаеца юха терторія і дэ заканчуеца. Язэк і норовэ полішука дозволылэ ны просто жэтэ ў болотовэ, ала й одолітэ ёго – і практычно, і інтелектуальна. Полішукіў, ек і білорусуў, маньчае. Ала прырода ны відае пустотэ. І тое, шо оказалось свободным на некі момент, заповніоцца.

Поліссе дало світовэ дысцеткэ і сотні талантуў. Тыпар жэ ж мэ хочымо, коб талантэ заповнылэ Поліссе для сваі творчості, навучных пошукуў і побудовэ новых хворм сужыття.

Кірунок

Колайдэр – гато ідея і місьце. Гато сума працэ разных громадств, екайі постановэлэ працоватэ для навучных одкрэттуў. Ёго можно побудоватэ оно на прынцыпах кооперацыі, одкрэтості, взаімопомошчі і партнёрства.

Колайдэр – гато столкновенне. Столкновенне разных поглядуў. Гато діалог, мэта екого – пошук правдэ. Навучныі.

Спочатку сталкуюца на паршы погляд нызаўажнэ гіпотезэ. Новэ навукэ одкрывають нызвідану простору. Повстae нова дейтельность людэнэ в рэальных законах прыродэ і Всесвіту. Колайдэр разганяе мікрочасціце і одкрывае глобальнэ розумінне світу. Цоглэнкэ, з екэх побудовано всё – і зорэ, і мэ, людэ.

Колайдэр – гато пошук. У пошуку одного, а по дорозі одкрываеца шмат гэньчых правд, спочатку нызаўажных.

Колайдэр почынаеца з людай. Імэнно людэ задають кірунок і прэнцыпэ пошуку.

Людэна

Якуб Наркевіч-Ёдка – гато білорускі Тэсла. Він вэнайшов быспроводнэй способ пырыдаватэ і прыйматэ электромагнітнэ хвалі на расстояніі і шмат гэньчога. У XIX віковэ гато було фундаментальна.

Мэ вважайімо, шо варто створэтэ ўмовэ для такэх особ у екнайблішому маштабовэ. Коб на Поліссе сыба добрэ почувалэ такэйі Наркевіч-Ёдка – з Білорусі і всёга світу – і могле робэтэ одкрэттва.

Рух

Мэ почынаемо з журналу Рамућка, екайі яднае білорускіх вучоных в супольность. Вона роста і знаходзіть пуддержку од білорускіх грамадян з всёга світу. Збільшую свой рэсурсэ.

Білорусь вэзволяна од діктатурэ, навучна супольность разом з предпрынімателямэ выростае і хворміруе паршэ групэ досліднікуў Полісся, дэ можно засноватэ поселення вучоных.

Паралельно мэ вплываемо на нову владу і створуемо в рэгіоновэ вдобнэ ўмовэ для засновання поселенню особы, екайі любляті і практыкують навуку. Нызалежно од того, скіль прыходяць гатэ людэ – з Білорусі чы гэньчых крайін.

Разом з гатым створуюцца зручнэ ўмовэ для развіття іновацыйнага прадпрыніматальства в гатому рэгіоновэ, а таксамо тэх, хто розбудоўве інфраструктуру.

Почынаюць будаватыся новэ поселення – з жытлом, дослідчым і навуковым цэнтрамі. Выкарыстоўваюцца і пустэй дома, кэнтут будэнкі колхозуў, школ і прадпрыятый.

Кажна суполка ўводыць свойі прэнцыпі самокірування, ала пуддержане Маніхвест одкрэтыі навуковыі супольності Полісся.

Гатэ поселення продовжают назапашуватэ рэсурсэ і рэзвыватэ зносынэ між собою і світом. Створуюць удобну інфраструктуру в гармоніі з прыродою і культурою полішукіў. Там, дзе траба спасаць прыроду, засновальнікі поселенню корыстаюцца остатнім із открэтыя, коб одновэць дэку прыроду.

Паралельно повстаюць новэ навуковэ супольності і цэнтры, дзе робыцца праца в разных гуленах навукі.

Коб прыятагнутэ більш сэлэ, мэ развіваемо ідею Колайдэра разом з сусіднім громадствам, одкрэтым для равноправнага обмену, і створуемо пункт рэгіональнага росту тут, на Полісі.

Будушчы Колайдэр будэ містытыся ў двох крайінах, бо Поліссе – в Беларусі і Украіні.

Гатацэ об'еднанне дозволыть помножыць рэсурсэ, расцопэтэ холоднэ зносынэ пусля войнэ і створэць пункт рэгіональнага росту.

Так, шлях до Колайдэра довгі і покручасты. Можэ бутэ, шо той, хто почна рэалізацыю, побачыць оно частічно рэзультат свайі працы. **Колайдэр** – гато довга мэта.

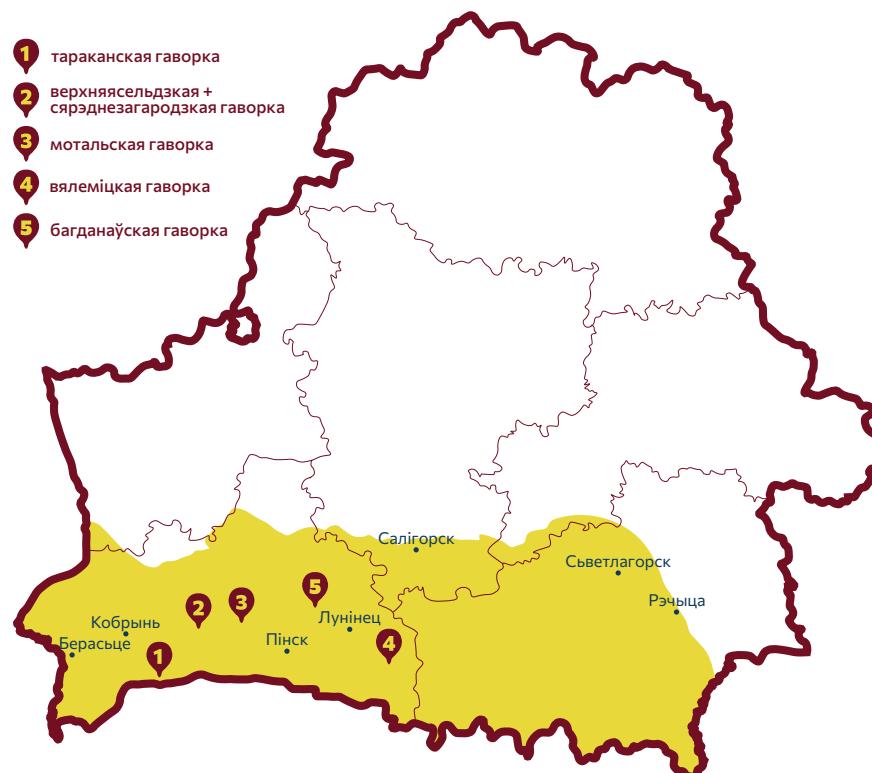
Полісскі колайдэр народжуе шмат самых ныжданых створальных і вітальных проектуў, екайі всё більш прытэгуюць новэ талантэ і моладу энэргію в гаты край.

Наконаць Колайдэр добудованы. Чоловіцтво одкрэло быzmіжнэ крыніцэ энэргіі. Кажды жытэль планетэ мае і можэ самастойно створэць на основі открэтых знанніў Колайдэра прыладэ, екайі генеруюць дастаточно энэргіі для жыття свога і свайі сымні. Гатац, энэргія наконаць вправду дэцэнтрализавана.

Само чоловіцтво можэ робэць квантовэ скачкэ ў сусідні Всесвітэ. Одкрэеца нова эпоха.

Початак гатога подорожжа можэ початыся з Полісся. Тому мэ пэшымогатэ радкэ. Мэ готовэ сталкувацца в пошуках правдэ і супольныі справэ – побудовэ Вылікага полісскага колайдэра. З міром і энэргіёю для кожнаго.

На тараканскую гаворку пераклаў
Канстанцін Лойчыц



Паляшук? Не знаходзіш сваёй гаворкі? Дасылай пераклад нам у рэдакцыю! Ці самастойна дадавай на GitHub!



Мапа з абрысамі беларускага Палесься на падставе артыкулу ў «Вікіпэдый»: Палескія гаворкі





ЯКУБ НАРКЕВІЧ-ЁДКА: БЕЛАРУСКІ ГЕНІЙ І ЯГОНЫ ЎНЁСАК У СУСЬВЕТНУЮ НАВУКУ

Маланьня Якімовіч

Ідэя і аўтарства ілюстрацыяў
ZMESHANYLES



Забыты герой

Я пэўная, што частцы чытачоў імя Якуба Наркевіча-Ёдкі вядомае, бо з канца XX ст. зьявілася цікаўнасьць да ягонае фігуры ў беларускім навуковым асяродзьдзі. А за апошнія гады нават шэраг YouTube-каналаў выклаў відэаматэрыялы пра ягоныя лёс і дзеяньніцы. Але, на мой погляд, распаўсюд ведаў пра выбітнага беларускага навукоўца недастатковы. Ягонае імя ня згадваецца на старонках падручнікаў біялёгіі, гісторыі, прыродазнаўства ці фізыкі, хоць вынаходзтвы дасьледніка і ягоны ўнёсак у разьвіццё сусветнае навукі былі прарыўныя на свой час. І ў працяг думкі: ёсьць у Менску вуліца імя Нікалы Тэслы. А вуліцы ў гонар Якуба Наркевіча-Ёдкі – няма.

Шукаць інфармацыю пра чалавека, які займаўся навуковымі дасьледаванынямі ў другой палове XIX – пачатку XX стст., – цікавае заданыне. Спачатку мяне цікавіла, ці ведае штосьці пра Якуба Наркевіча-Ёдку (далей Н.-Ё.) штучны інтэлект (<https://asistent.by/>). Аказалася, што так. Ён скіраваў мяне на два цікавыя рэсурсы – Бібліятэку Кангрэсу ЗША (<https://www.loc.gov/>) і Нацыянальную бібліятэку Францыі (<https://www.bnff.fr/>). У апошній, дарэчы, вельмі шмат дыгіталіза-

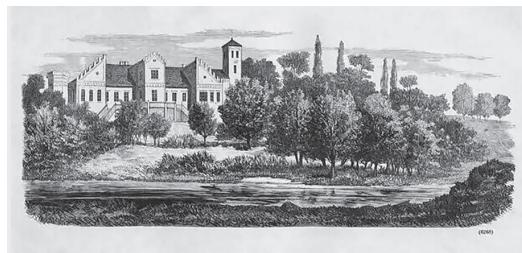
ваных газетных нумароў, дзе згадваецца наш герой. Апроч вынікаў онлайн, мне было цікава праверыць, ці выходзілі кнігі пра Н.-Ё. І – так! Нават па-беларуску – «Прафэсар электраграфіі і магнэтызму» невялікім накладам надрукавала выдавецтва «Навука і тэхніка».

Съведкі сівое даўніны

Увесну 2023-га я наведала Наднёман. У гэтага месца незвычайная гісторыя. Першапачаткова яно называлася Малыскаўшчына, гэта была вёсачка побач з пераправаю праз Нёман, яна адносілася да суседняга маёнтку Пясочнае. Яно з XV ст. было вядомае як уласніцца буйнога магнацкага роду князёў Алелькавічаў. У той час навакольныя пейзажы былі зусім іншыя – паўсюль непралазная пушча. Аднак у XV ст. вялікі князь літоўскі Жыгімонт Аўгуст прызнаў прыбытковы патэнцыял лесу і ўбачыў магчымасць прадаваць драўніну на вонкавых рынках. Каб атрымаць выгаду з гэтае задумы, трэба было больш людзей – распрацоўваць рэсурсы. У 1568 г. манарх выдаў прывілей аб падатковых ільготах для ахвочных пасяліцца на гэтых землях. Што прывяло да хуткага прытоку асобаў, якія ня толькі нарыхтоўвалі лес, але і пабудавалі млыны, бровары, корчмы. Гэтак непадалёк узьнікла мястэчка Пясочнае.



У 1600 г. княгінія Сафія з роду Алелькавічай выйшла замуж за Януша Радзівіла, абыяднаўшы землі. Князі Радзівілы адыгралі значную ролю ў іх гісторыі цягам наступных двух стагоддзяў. Аднак матэрыяльнае становішча знакамітага магнацкага роду пагоршылася пасля вайны 1812-га. У выніку ў 1823-м маёнтак выкупіў Ануфрый Наркевіч-Ёдка гербу Ліс. За ўдзел у паўстанні 1830–1831 гг. яго засудзілі на пажыццёвае зыняволенне ў сваім маёнтку, што прымусіла яго засяродзіцца на кіраваньні гаспадаркай. Ануфрый меў амбітную задуму – пабудаваць на гэтай тэрыторыі палацава-паркавы комплекс, што было папулярным у тагачасным асяроддзі беларускіх шляхты. Аднак узынікла дылема пра бровар, што дастаўся ў спадчыну ад Радзівілаў. Наркевіч-Ёдка пераўтварыў яго ў... палац. Задума ажыццяўлася, і ў 1840 г. сын Ануфрыя – Атон Наркевіч-Ёдка (бацька Якуба) – скончыў будоўлю. У выніку атрымаўся надзвычай атмасферны палац з архітэктурай, якая нагадвае гатычны стыль. Першапачатковы выгляд адлюстраваны на малюнку Напалеона Орды: палац нагадваў казачны сярэднявечны замак. Маёнтак таксама вылучаўся навакольным паркам, гаспадарчымі пабудовамі і малюнічнай тэррасаю зь відам на Нёман. Цікава, што менавіта Атон Наркевіч-Ёдка даў былому маёнтку Малыскаўшчына прыгожую назvu Наднёман. На маю думку, яна цалкам адпавядае гэтаму мястэчку, дзе й ладзіў свае дасьледаванні Якуб Н.-Ё.

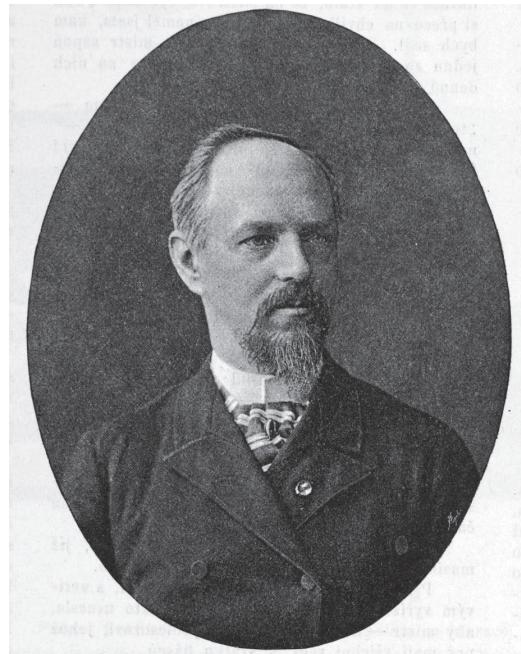


Гравюра Напалеона Орды

Per aspera ad astra¹

Давайце бліжэй пазнаёмімся з асобаю нетрывіяльнага беларускага навукоўца. Мы ўжо ведаєм, што ён з заможнае сям'і: па мячы² паходзіць са шляхетнага роду Ёдкаў (яны ж Ядкевічы і Ядкоўскія), які бярэ пачатак у 1480-ыя ад Буйвіда Ёдкі, якога прыняў на службу вялікі князь. Па кудзелі³ ягоныя продкі паходзяць зь німецкага роду Эсткаў (Эсткен), якія аселі на тэрыторыі ВКЛ у XVII ст. Дарэчы, маці мае дачыненьне да роду Касцюшкoў, чым вельмі ганарылася і што любіла прынагодна згадаць.

Наш герой нарадзіўся ў 1847 г. I, як тады было прынята, меў патронае імя: Сармат-Якуб-Жыгімонт. Паводле біяграфіі, выдадзенай у Парыжы, уважаюць, што Н.-Ё. нарадзіўся ў маёнтку маці – Турыне (сучасная Меншчына). Дзяцінства правёў у Наднёмне. Асоба маці была вызначальная ў лёссе навукоўца. Менавіта яна перака-



Якуб Наркевіч-Ёдка
Крыніца: Svetozor, 1892 г.

нала мужа не паскупіцца грашыма і даць дзецям добрую адукцыю. Нягледзячы на пэрспэктывы весьці забясьпечанае жыццё заможнага землеўладальніка, таленавітую натуру Якуба вабілі навука і мастацтва. Маці заўважыла ў яго музычны талент. Дзеля гэтага быў запрошаны настаўнік, які вучыў хлопца граць на фартэпіяна.

У 1865-м Якуб скончыў Менскую губэрнскую клясычную гімназію, а праз два гады стаўся бакаляўрам навук. Некалькі гадоў правёў у культурніцкіх і навуковых цэнтрах Захадній Эўропы: ўдасканальваў майстэрства граць на фартэпіяна ў Парыскай кансерваторыі, пасляхова выступаў як піяніст у знакамітых канцэртавых залах, у тым ліку ў каралеўскіх палацы Цюільры (Tuilleries, Парыж) перад асобай імпэратара Напалеона III. Ягоныя музычныя таленты былі высока ацэненыя музычнымі крытыкамі. Якуб ахвотна даваў публічныя музычныя вечары ў гарадзкіх філярмоніях. У съвецкіх колах пра адoranага маладзё́на казалі няйначай як пра музыку, якога Бог пацалаваў пры нараджэнні. У 1868–1869 гг. выкладаў курс тэорыі музыкі ў Марыінскай Ярмолаўскай навучальнай установе (Масква).

Але натура праўгнула навуковае дасканаласці. Акурат у той час прыродазнаўцыя навукі набывалі вялікую прывабнасць у моладзі. У 1869-м Якуб рэзка мянья кірунак дзейнасці і паступае на лекарскі факультэт Парыскага ўніверсітэту. Бярэ актыўны ўдзел у навуковым жыцці Францыі ды езьдзіць стажывацца і на лекцыі найлепшых прафэсараў мэдыцыны ў Рыме й Флярэнцыі. Там ён меўмагчымасць стасавацца з піянэрамі навукі. Несумненна, гэтыя сустрэчы глыбока пайплывалі на развіццё навуковых

¹З латыні – «Праз церні да зораў».

²Тое сама, што па бацьку.

³Тое сама, што па маці, па матцы.

прынцыпаў маладзёна. Імаверна, Якуб Н.-Ё. гэтак бы і застаўся ў Францыі да канца жыцця, калі б ня франка-prusкая вайна. Парыж быў узяты немцамі ў асаду, у горадзе пачаўся голад. Парыжане нават зъелі жывёлінаў з заапарку. Каб ацалець, Якуб быў вымушаны вучыць музыцы. Ён расклейў па аблозаным горадзе аўявы: «Даю лекцыі музыкі. Кошт дамоўны. Якуб Наркевіч-Ёдка». І нават у гэтыя жудасныя дні знаходзіліся асобы, якія запрашалі вучыць сваіх дзяцей. Згаладалы музыка прадаваў сваё ўменьне за абеды.

Па ваенных дзеяньнях Н.-Ё. вяртаецца на родіму, у канцы 1871 г. Удома ён застаў хворага састарэлага бацьку й занядбаную гаспадарку. Зь вялікай энэргіяй узяўся Якуб аднаўляць маёнтак – з уласцівымі яму талентам і навуковым падыходам. Найперш набыў маладых бычкоў і збудаваў валовую ферму. Гэта дазволіла атрымаць крыніцу стабільных даходаў, а пасля залагоджваньня эканамічных праблемаў ужо нішто не магло спыніць прагрэс Якуба да навук.



Час зъбіраць камяні

Спадар Наркевіч-Ёдка без сумнёву быў неардынарным і таленавітым навукоўцам зь вельмі актыўнаю жыццёваю пазыцыяй. Яго можна беспамылкова назваць чалавекам эпохі Адраджэння, бо таленты ягонія былі яскравыя і вельмі рознабаковыя. На падставе інфармацыі, дасяжнай на гэты момант, можна даведацца, што Якуб Н.-Ё. браў удзел у шмат якіх дасьледаваньнях і самастойна ладзіў досьледы.

Ягоная навуковая дзейнасць пачынаецца ў 1872 г. пасля вяртання з Парыжу. Разумеючы непэрспэктыўнасць традыцыйных мэтадаў вядзеньня сельскае гаспадаркі і адначасова імкнучыся да навізны, ён правёў першыя досьледы ў электрычнасці. Якуба цікавілі пытаныні, звязаныя з уплывам электрычнасці на матэрыяльныя аб'екты, найперш на расыліны, а таксама на чалавечы арганізм. Менавіта гэтым дасьледаваньням навуковец прысьвяціў усё даследаваньне жыццё.

У маёнтку Антонава Якуб адбудаваў мэтэаралягічную станцыю, якую ў 1888 г. перанёс у палац бацькі ў Наднёман, дзе стала пасяліцца зь сям'ёю. Спачатку станцыя мела II разрад, а ў 1895-м – пасля ўдасканалення абсталявання – яе перавялі ў I разрад. Яна была адною з найбуйнейшых у заходній частцы тагачаснай Расейскай імперіі ды ўваходзіла ў сетку станцыяў Галоўнай фізычнай абсэрваторыі Пецярбургской акадэміі навук. Як карэспандэнт гэтай абсэрваторыі Якуб мусіў сыстэматычна праводзіць розныя назіранні за станам атмасфэры – цікам, вільготнасцю і тэмператураю паветра, кірункам і сілу ветру, колькасцю ападкаваў, замяраць вільготнасць глебы, вызначаць таўшчыню і асаблівасці сънегавога покрыва.

Мэтэаралягічная станцыя Наднёман была забясьпечаная першакляснымі прыборамі, сярод якіх – арыгінальныя, сканструяваныя ўласна Якубам Н.-Ё. У 1889 г. на адным з пасяджэнняў Мэтэаралягічнай камісіі Расейскага геаграфічнага таварыства навуковец пропанаваў спосаб вызначаць хуткасць руху воблакаў і прадманстратаваў адпаведны прыбор. Каб сыстэмна вымяраць вільготнасць глебы, ён сканструяваў лізыметар. Пры яго дапамозе зь вялікаю дакладнасцю можна было вызначаць вільготнасць глебы на глыбіні да трох метраў.

Наступным крокам была ахова тэрыторыі маёнткаў на Меншчыне – з мэтаю паменшыць шкоду ад навальніцаў і градабою. Спачатку навуковец ужываваў на палях сядзібы вядомыя раней прыстасаванні, аднак адразу ж істотна іх удасканальваў. Прылада для абароны ад граду складалася з завостранага на адным канцы меднага стрыжня, злучанага металічным дротам з цынкаваю пласцінай, умураванага ў зямлю. Медны стрыжань месціцца на драўлянай вежы-слупе вышынёю з 12 метраў. Прыстасаванні



для абароны ад граду былі на полі – згодна з систэмай, эксперыментальна распрацаванай навукоўцам. Справа здачы пра выкарыстаньне зьявіліся на старонках пэрыядычнага выдання ў 1880-х. Першая афіцыйная справа здачы Н.-Ё. на пасяджэнні Мэтэаралягічнае камісіі Расейскага геаграфічнага таварыства ў лютым 1889 г. была ўхваленая.

Распрацаваныя навукоўцам прылады для абароны ад граду таксама служылі крыніцамі электрычнага току ў эксперыментах для вывучэння ўзыдзеяньня электрычнасці на расыліны. Якуб Н.-Ё. зарганізаваў эксперыментальныя сэкцыі электракультывациі на паліях у Наднёмне. Ён выявіў, што праходжаныне току пэўнае сілы праз глебу скарачала вэгетацыйны перыяд, пры гэтым памер пладоў павялічваўся ў некалькі разоў. Ураджайнасць сельскагаспадарчых культураў вырасла ў парадунаныні з кантрольнымі ўзорамі на 20 %. Абагульненыне і аналіз вынікаў эксперыменту дазволілі навукоўцу прыйсці да высновы, што электрычнасць паскарае хімічныя процесы ў глебе. У 1892 г. на сходзе сельскіх уладальнікаў у Санкт-Пецярбурзе Н.-Ё. выступіў з афіцыйным дакладам пра вынікі эксперыменту ў справе ўплыву атмасфернай электрычнасці на рост расылінаў. Знаныя навукоўцы А. Ваікаў і А. Саветаў станоўча ацанілі гэтыя эксперыменты.

Шматлікія досьледы навуковец ладзіў пры дапамозе сканструяваных крыніцаў пастаяннага і пераменнага току, лейдэнскага слоіка (ад нідэрл. гораду Leiden), шпулі Румкарфа (Rühmkorff coil) ды іншых прыстасаванняў. Н.-Ё. шляхам доўгага і ўсебаковага вывучэння электрычных зьяваў прыйшоў да высновы: электрычнасць падпарадкоўваецца агульным законам фізікі і – як гук і съятло – распаўсюджваеца хвалепадобнымі ваганьнямі. І гэта ў той час, калі шмат хто з славутых навукоўцаў не разумеў фізичнага сэнсу раўнанння Максўела.

Вяртаныне на радзіму не перапыніла штогадовых навуковых паездак Якуба ў асноўныя дасьледчыя цэнтры Заходняй Эўропы, падчас якіх знаёміў калегаў з сваімі новымі вынікамі і ідэямі, ладзіў навуковыя канфэрэнцыі ды чытаў лекцыі. У канцы 1880-х – пачатку 1890-х праводзіў супольныя дасьледаваныні з заходнеэўрапейскімі навукоўцамі. У 1889-м на запрашэнне італьянскіх навукоўцаў браў удзел у кліматалягічных дасьледаваннях Лігурыйскага мора ўзімку зь незвычайна ніzkімі тэмпературамі для паўночнай Італіі. Улетку 1892-га на запрашэнне чэскіх навукоўцаў ладзіў эксперыменты ў абсэрваторыі і на мэтэаралягічнай станцыі Праксага ўніверсytetu. Затым дасьледніка за прасілі ў Вену ўзяць удзел у эксперыментах для вывучэння атмасфернай электрычнасці.

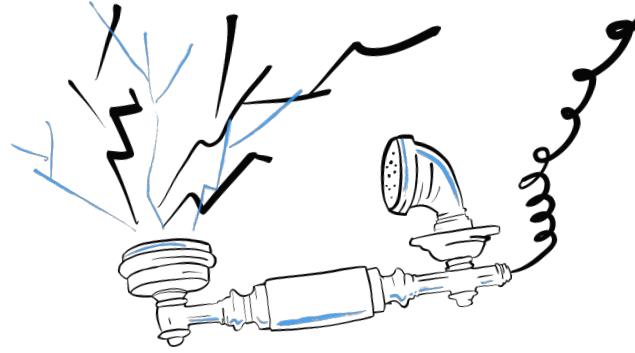
Раўнаныні Максўэла – набор фундаментальныхых раўнаннняў, што апісваюць паводзіны электрычнага і магнітнага палёў у космасе. Упершыню былі сформуляваныя Джэймзам Максўэлам (James Maxwell) у XIX ст. і адыгралі вызначальную ролю ў развіцьці тэорыі электрамагнітнага звязання. Гэтыя раўнаныні складаюць аснову клясычнага электрамагнітизму і дасюль шырока выкарыстоўваюцца ў сучаснай фізыцы і тэхніцы. Яны забяспечылі глыбокое разуменіне ўласцівасцяў і паводзінаў электромагнітных палёў, што прывяло да значнага прагрэсу ў розных галінах – тэлекамунікацыі, электроніцы і энэргасистеме ды інш.

Ад Эйфэлева вежы да Нёмну

У 1889 г. Якуб Н.-Ё. браў удзел у знакамітай Парыскай выставе электрычна-тэхнічных вырабаў, дзе прэзэнтавалі ўсю тагачасную электроніку сьвету. Тады ж адкрылі Эйфэлеву вежу. (Маштаб падзеі быў такі велізарны, што горад адмыслова з гэтае нагоды ўзвеў у цэнтры 300-мэтровую жалезную вежу, якую распрацаваў Гюсташ Эфель (Gustave Eiffel).) Вядома, што на выставе прысутнічаў Нікала Тэсла (Нікола Тесла / Nikola Tesla, які вынайшаў рухавік і генэратор пераменнага току). Дакладных звестак, што навукоўцы сустрэліся, няма. Але, мяркуючы з таго, што абодва апантана дасьледавалі электрычнасць і прытрымліваліся тэорыі этэру, ёсьць высокая імавернасць, што яны мелі нагоду стасавацца. Уласна я веру, што навукоўцы лісталіся. Верагодна, архіўныя досьледы праліоць съвято на гэтае пытаньне.

Цікава, што Наркевіча-Ёдку і Тэслу шмат яднае: абодва зрабілі грандыёзныя адкрыцці, абодва былі надоўга забытыя і абодва апярэдзілі свой час на стагодзьдзе. Толькі імя Тэслы гучыць маштабна ў гісторыі навукі, а Наркевіч-Ёдка займае сціплае месца ў шэрагу навуковых кніг і згадак навукоўцаў.

У 1888 г. нямецкі фізык Гайнрых Гэрц (Heinrich Hertz) знайшоў пацьверджаньне тэорыі электрамагнітных хваляў Джэймза Максёла, і магчымасць бяздротавага перадавання сыгналаў ужо не падавалася фантастыкай. У Н.-Ё. зьявілася ідэя выкарыстаць распрацаваны Гэрца. Ён надумай стварыць прыбор, які здолее апавяшчаць набліжэнне маланкі.



Ужо ў 1890-м Якуб Н.-Ё. ужыў для рэгістрацыі навальнічных разрадаў свайго роду радыёпрымач. Прыбор, галоўнаю часткай якога служыла тэлефонная трубка, дазваляў рэгістраваць электрычныя разрады ў атмасфэры на адлегласці да 100 км. Нататку пра досьледы надрукавалі ў № 4 часопісу «Метеорологіческий вестнік» за 1891 г., дзе пісалася, што 28 ліпеня 1890-га дасьледнік на зробленай паводле сваёй систэмы атмасферычнай станцыі прыняў з дапамogaю тэлефона моцныя сыгналы пра набліжэнне навальніцы. Апісаныя падзеі адбываліся ў Наднёмне. З набліжэннем навальнічных хмараў «...у телефоне ўсё выразней і выразней чуўся шум і характэрны трэск».

Гэтак, можна сцьвярджаць: 28 чэрвеня 1890 г. Якуб Наркевіч-Ёдка сабраў адзін зь першых — калі на першы — у гісторыі чалавецтва радыёпрымач. Вядома, што беларускі навуковец неадна-



разова паўтараў досылед зь бяздротавым прыё́мам і перадачаю сыгналаў перад навукоўцамі розных краінай. У апісаньнях гэтага эксперыменту знаходзім, што ў якасці дэтэктара ў прычны Н.-Ё. выкарыстоўваў пакаёвую расыліну.

Ёсьць цікавы да́кумэнт, які пацьвярджае прыярытэт Якуба Н.-Ё. у вынаходніцтве бяздротавае перадачы сыгналаў. Гэта пратакол пасяджэння Французскага фізычнага таварыства ў Парыжы ў сінэжні 1898 г. У ім адзначаецца: Оліверу Лоджу (Oliver Lodge) «належыць першая ідэя тэлеграфіі без правадоў, калі мы не пажадаем дайсьці да Наркевіча-Ёдкі, ...які двумага-трыма гадамі раней выканаў у Вене вельмі цікавыя перадачы са шпулю Румкарфа, злучанай зь зямлём, антэнай і прыёмнікам, створаным з антэны і телефона, таксама заземленага (праўда, можа быць, без выразнага ўсьведамлення ролі электрамагнітных хваляў у гэтых досыледах)».

Немцы съцвярджаюць, што адным зь першых радыёпрымач вынайшаў іхны суайчыннік Гайнрых Гэрц, італьянцы аддаюць перавагу інжынёру Гуллельму Марконі (Guglielmo Marconi), амэрыканцы – Нікалу Тэслу, французы – Эдуару Бранлі (Édouard Branly), расейцы – Аляксандру Папову. Але Папоў зрабіў сваё адкрыццё на 5 гадоў пазней за Наркевіча-Ёдку – 7 траўня 1895-га. І 7 траўня ў Беларусі адзначаюць Дзень радыё. Варта было б аддаць гонар свайму навукоўцу і адзначаць 28 чэрвеня, прынамсі ў Беларусі.

Лябараторыя ў сутарэньях

З імем Якуба Н.-Ё. звязаныя піянэрскія работы ў справе выкарыстання электрамагнітнага выпраменяньня газаразраднае плязмы для

візуалізацыі жывых арганізмаў ды іх практичнага ўжывання ў мэдыцыне для ацэнкі фізіялягічнага стану арганізму. У 1892 г. навуковец паведаміў пра «мэтад рэгістрацыі энэргіі, выпраменяй жывым арганізмам пры ўзьдзеяньні на яго электрычнага поля», які ён назваў электраграфіяй.

Досьледы наконт ўзьдзеяньня электрычнасці на чалавечы арганізм Н.-Ё. праводзіў у адмыслова абсталяванай у Наднёмне электраграфічнай лябараторыі. Яна месцілася ў сутарэньях, дзе пераважна і прайшло напоўненае надзвычайнімі падзеямі, посьпехамі і няўдачамі, творчымі пошукамі і знаходкамі жыцьцё дасыледніка. Тут навуковец атрымаў першыя эксперыментальныя пацьверджанні сваёй канцепцыі, што жывы чалавечы арганізм – сталая незгасальная крыніца электрычнай энэргіі. Чалавек – ня нейкая замкнёная сістэма: ягоная электрычнае энэргія вылучаецца ў навакольле, зъмяняючы яго, або, як тады казалі, зъмяняючы стан «этэру, які напаўняе асяродзьдзе».

Навуковец у якасці крыніцы напружання выкарыстоўваў шпулю Румкарфа, якая прыводзілася ў дзеяньне гальванічным элементам. Н.-Ё. неаднаразова падкрэсліваў важнасць уплыву атмасфэры на вынікі эксперыменту, у тым ліку ў сваіх дакладах Інстытуту эксперыментальнай мэдыцыны, членам-карэспандэнтам якога быў з 1892 г. Зьяўленне электрычнага разраду ў паветраным зазоры паміж аб'ектам – напрыклад, рукою чалавека і рэгістральным матэрыялом, якім была фотапласыцінка, – навуковец лічыў неабходнай умовай фармавання электраграфічнага малюнку.





Электрычнасьць – у масы!

Якуб Н.-Ё. знайшоў практычнае выкарыстаньне электраграфіі ў мэдыцыне для дыагностыкі захворваньняў. На аснове якаснага аналізу 1500 малюнкаў, атрыманых з аб'ектаў жывой і нежывой прыроды, навукоўцу ўдалося выяўіць пэўную заканамернасць, харэктэрная жывым аб'ектам. Ладзячы шматлікія эксперыменты, ён заўважыў розніцу ў электраграфічным малюнку адноўкаўых участкаў цела хворых і здаровых, стомленых і ўзбуджаных, сонных і нядрэмных людзей.

Вынікі прафесара Н.-Ё. наконт электраграфіі сталіся вядомыя навуковай супольнасці ў 1892–1894 гг. Ён выступіў зь першым дакладам на сходзе сельскіх гаспадароў у Санкт-Пецярбурзе 28 студзеня 1892-га, затым у Інстытуце эксперыментальнай мэдыцыны, на канфэрэнцыі аб электраграфіі і электрафізіялёгіі ў Санкт-Пецярбурскім універсытэце. У 1893-м праягоныя дасьледаваньні даведаліся ў навуковых цэнтрах Заходняй Эўропы – Берліне, Вене, Празе, Парыжы. Навукоўцы, якія наведалі лекцыі, адзначалі важнасць дасьледаваньняў для мэдыцыны і фізіялёгіі.

Электраграфічныя дасьледаваньні Якуба Н.-Ё. маюць шырокі распаўсюд і цяпер. На іх падставе вызначаюць псыхалягічную сумышчальнасць групаў людзей, якія працуюць у экстрэмальных умовах: касманаўтаў, паліянікаў, падводнікаў іншых. Таксама на падставе адкрыцця нашага суічынніка стварылі дэтэктар хлусны.

Н.-Ё. распрацаваў мэтад электратэрапіі, заснаваны на ўзьдзеяньні на арганізм электрычнага току, лякалізаванага «толькі ў строга вызначаных крапках – выбранных цэнтрах нэрвовай сістэмы». Мэтад электратэрапіі пад назваю систэма Ёдкі ўжываўся ў клініках Рыму, Фларэнцыі, у шпіталі Salpêtrière у Парыжу.

З 1893 г. мэтад электратэрапіі знайшоў шырокое ўжыванье ў санаторыі «Наднёман», што прызначаўся для лекаваньня паралізаваных і нэрвовых хворых. Электраграфічныя фатаграфіі адлюстроўвалі гісторыю хваробы пацыентаў, фіксуючы ўсе змены ў арганізме хворага падчас лячэньня. У санаторыі лекаванье электрычнасцю дапаўнялася воднаю, паветранаю, съветлавою і магнітатэрапіяй, гіпнозам і музычнаю тэрапіяй, гімнастыкаю, лячэньнем кумысам і кефірам, а таксама выкарыстаньнем мясцовых мінеральных водаў.

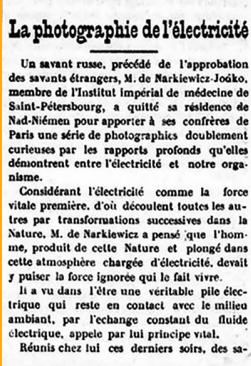
Як доктар Н.-Ё. прапагандаваў гігіенічныя ўмовы жыцьця сярод мясцовага насельніцтва, надаваў дармовую мэдычную і амбуляторную дапамогу бедным сялянам. За свой кошт набыў супрацьдифтерыйную сываратку для мясцовага насельніцтва ў Інстытуце эксперыментальнай мэдыцыны, і яе выкарыстаньне прынесла добрая вынікі.

Polski lekarz w Rzymie.

W Rzymie bawił przez kilka tygodni Dr. Jakób Narkiewicz-Jodko, elektrolog, właściciel dóbr i zakładu elektoterapeutycznego Nadniemen w gubernii mińskiej. — P. J. Narkiewicz Jodko urządził tutaj kilka wykładów dla specjalistów, którym przedstawił własne doświadczenia na polu elektrografii, oraz swoją metodę stosowania elektryczności. Założony od niedawna w Rzymie na większą skalę instytut kinesiterapeutyczny, mający na celu leczenie chorób nerwowych masażem elektrycznym, mianował pana Narkiewicza Jodkę honorowym konsultantem i wprowadził jego metodę do praktyki leczniczej.

Польскі доктар у Рыме

У Рыме некалькі тыдняў бавіў доктар Якуб Наркевіч-Ёдка, электроляг, уладальнік маёмасці і электранэўралягічнай установы ў маёнтку Наднёман Менскай губерні. Спадар Я. Наркевід-Ёдка прачытаў тут колькі лекцыяў спэцыялістам, якім прэзэнтаваў уласны досьвед у полі электраграфіі ды свой мэтад ужывання электрычнасці. Нядаўна створаны ў Рыме кінэзітэрапеўтычны інстытут, што мае на мэце лекаваць нэрвовыя хваробы электрычным масажам, назначыў спадара Наркевіча-Ёдку ганаровым кансультантам і ўвёў ягоны мэтад у лекавальную практику.



La photographie de l'électricité

Un savant russe, précédé de l'approbation des savants étrangers, M. de Narkiewicz-Jodko, membre de l'Institut impérial de médecine de Saint-Pétersbourg, a quitté sa résidence de Nad-Niemen pour apporter à ses confrères de Paris une série de photographies doublément curieuses par les rapports profonds qu'elles démontrent entre l'électricité et notre organisme.

Considérant l'électricité comme la force vitale première, d'où découlent toutes les autres par transformations successives dans la Nature, M. de Narkiewicz a pensé que l'homme, produit de cette Nature et plongé dans cette atmosphère chargée d'électricité, devait y puiser la force ignorée qui le fait vivre.

Il a vu dans l'être une véritable pile électrique qui reste en contact avec le milieu ambiant, par l'échange constant du fluide électrique, appelle par lui principe vital.

Réunis chez lui ces derniers soirs, des savants français qui se sont spécialement occupés de ces études, le colonel de Rochas, professeur à l'École Polytechnique, les docteurs Baraduc et Georges Encausse, d'Arsonval, Paul Richer, Vigoureux, etc., ont examiné avec intérêt les photographies si curieuses que M. de Narkiewicz a faites des étincelles magnétiques obtenues à la surface du corps humain.

Ces épreuves affectent la forme d'une boule lumineuse, présentant plus ou moins d'irradiations et de fines arborescences, suivant que le sujet est anémique, nerveux, sanguin, ou de vigueur exceptionnelle.

Dans ce dernier cas, on assiste, sur le cliché, à une véritable explosion de molécules électriques.

Les chercheurs français que nous citons plus haut ont été d'autant plus séduits par les expériences et les démonstrations de M. de Narkiewicz-Jodko, qu'elles leurs apportaient la confirmation de leurs propres travaux.

Nous ne pouvons, malheureusement, nous entendre les autres procédés même du docteur russe, dont l'exposé serait trop technique. Contentons-nous de dire avec M. Vigoureux, médecin de la Salpêtrière, qu'une science nouvelle est née.

Фотаздымак электрычнасці

Раней прызнаны замежнымі навукоўцамі спадар Наркевіч-Ёдка, чалец Імпэраторскага мэдычнага інстытуту ў Санкт-Пецярбурзе, пакінүць свою рэзыдэнцыю Наднёман, каб прывезці калегам у Парыжы сэрыю фотаздымкаў, удвая цікавых тым, што дэмантструюць глубокую сувязь паміж электрычнасцю і нашымі арганізмамі.

Разглядаючы электрычнасць як першасную жыццёвую сілу, зь якой у выніку паслядоўных пераўтварэнняў у прыродзе выцякаюць усе астатнія, спадар Наркевіч уважае, што чалавек паходзіць ад гэтага прыроды і, пагружаны ў заладаваную электрычнасцю атмасферу, мае чэрпаць зь яе невядомую сілу, якаяробіць яго жывым.

Sic transit gloria mundi⁴

Улетку 1895 г. у Парыжы сустрэліся французскі публіцыст Марус Дэкрап (Magus Decrespe) і наш суайчыннік Якуб Наркевіч-Ёдка. Дэкрап задумай напісаць эсэ пра жыццё беларускага навукоўца. Прычынаю сталася ягоная неймаверная папуллярнасць у Францыі ды іншых краінах Эўропы. Кнігу надрукавалі ў Парыжы ў 1896-м. Вось як Дэкрап апісаў Ёдку: «Сярэдняга росту, жававы, зь мяккай жэстыкуляцыяй і праніклівым позіркам, з хрыплаватым і ў той жа час вельмі мяккім голасам, ён уяўляе сабою тыповы прыклад зъмешвання заходняга славяніна з унутраным містыцызмам паўночных нароодаў і неутаймаваным энтузізмам жыхароў Міжземнамор'я. Такія людзі не застаюцца не залежныя, яны не пакідаюць абыякавымі тых, хто іх ведае, – нямногія застаюцца абыякавымі да ўплыву, які ідзе ад іх асаблівага зачараўання, поўнага такту і зычлівасці».

Унёсак Н.-Ё. у навуку атрымаў высокое прызнаньне. За працы ў галіне электрычнасці ды яе дастасаваньне ў электратэрапіі яго абраў сябрам-працаўніком фізычнага аддзялення Расейскага фізычна-хімічнага таварыства пры Пецярбурскім універсітэце, членам-карэспандэнтам парыскага мэдычнага, фізычнага, магнэтычнага таварыстваў і Таварыства электратэрапіі, сябрам Італьянскага мэдычна-псы-

ханічнага таварыства, ганаровым сябрам Фізычна-матэматычнага таварыства Галілея ў Фларэнцыі. У 1893-м за арыгінальны спосаб ужываць электрычнасць у мэдыцыне і сельскай гаспадарцы навукоўцу надалі ступень доктара Венскага мэдычнага таварыства. У 1892-м яго ўзнагародзілі дыплёмам Італьянскага мэдычна-псыхалагічнага таварыства за працу «Судносіны паміж фізіялогіяй і электрычнасцю». А ў 1895-м – дыплёмам Сходу аховы здароўя Рәсей за заслугі ў галіне гігіёны і грамадзкай аховы здароўя, у 1901-м на юбілейнай сельскагаспадарчай выставе ў Менску – бронзовым мэдалём за лекаванье кумысам. Прызнаньне шматлікіх навукоўцаў і навуковых таварыстваў атрымалі працы ў даследаванні атмасфернай электрычнасці ды яе выкарыстаныні ў сельскай гаспадарцы. За заслугі ў галіне мэтэаралёгіі па рэкамэндацыі прэзыдэнта Пецярбурскай акадэміі навук Н.-Ё. узнагародзілі ў 1900-м ордэнам Святое Ганны II ступені, у 1891-м – срэбным мэдалём Расейскага географічнага таварыства.

Ен бачыў чалавека сапраўднаю электрычнаю батарэй, якая застаецца ў канакце з навакольным асяроддзізмем з дапамогаю сталага абмену электрычным патокам, і назваў гэта жыццёвым прынцыпам. Французская навукоўцы, сабраўшыся ў калегі ў гасцініцы апошнімі днімі, асабліва зацікаўлены ў гэтых даследаваннях. Палкоўнік дэ Раша, прафесар Політэхнічнай школы, дактары Барадук і Жорж Анкос, д'Арсанваль, Поль Рышэ, Бігур ды іншыя з цікавасцю разглядали фотаздымкі магнітных выбліскі на паверхні чалавечага цела, зроблены спадаром Наркевічам.

Гэтыя ўзоры маюць форму бліскучага шара, які дэманструе большае ці меншае сувязыне і дробныя адгалінаваныні, у залежнасці ад таго, які субект – анэмичны, нэрвовы, сангвінік ці надзвычай энэргічны.

У апошнім выпадку на фатаздымку мы назіраем сапраўдны выбух электрычных малекулаў.

Французская дасыледнікі, якіх мы называлі вышэй, былі надзвычайна ўражаны эксперыментам і доказамі спадара Наркевіча-Ёдкі, бо яны пацвердзілі іхныя ж працы. На жаль, мы ня можам выкасьці ўва ўсіх дэталях працэсаў, апісаных доктарам, празь іх тэхнічныя асаблівасці. Спынімся на tym, што, паводле спадара Вігур, мэдыка з парыскага шпіталю Salpêtrière, нарадзілася новая навука.

З перакладам дапамагалі

**Ліна Мядзведзева,
Соня Карусейчык,
Надзея Клячына**

⁴З латыні – «Гэтак мінае слава людзкая».

Падчас паездкі ў Вену ў 1905 г. здароўе Н.-Ё. рагтоўна рэзка пагоршылася, ён неўзабаве памёр ува ўзросце 57 гадоў. Цела перавезылі на радзіму і пахавалі на сямейных могілках блізу Наднёмні.

На жаль, лёс маёнтку і санаторыю ў Наднёмне сумны. У 1921 г. у Кракаў фактычна ўцёк яго апошні ўладальнік – Конрад (сын Якуба Н.-Ё.), а пры новых уладах маёмысьць раскрапі, будынкі былі закінутыя. Цяпер жа трываюць аднаўленчыя працы маёнтку.

Спадзяюся, гэтае падарожжа ў жыцьцё Якуба Наркевіча-Ёдкі вас захапіла. Прынамсі рэдакцыя зіну Ратушка яўна натхнілася постацьцю беларускага навукоўца і ўшанавала памяць суічынніка, назваўшы ягоным імем калайдэр. Веру, што калі-небудзь будзе аддадзены гонар ягонае постацыі – і пэўная вуліца сталіцы будзе насіць імя Якуба Наркевіча-Ёдкі.

Крыніцы:

1. Грыбкоўскі, В. П. Прафесар электраграфіі і магнетызму: Якуб Наркевіч-Ёдка / В. П. Грыбкоўскі, В. А. Гапоненка, У. М. Кісялёў. – Мінск: Навука і тэхніка, 1988. – 69
2. La Vigie algérienne: journal des intérêts coloniaux, Avril 20, 1894
3. Dziennik Chicagoski (Chicago [III.]), June 3, 1897
4. <https://www.youtube.com/watch?v=2RhFQULNBMw>
5. <https://www.youtube.com/watch?v=cRHsZm1EY3s>





АБАТ ГЕНЭТЫКІ

Д-Р СЬВЯТЛНА КАБАНАВА

Ідэя і аўтарства ілюстрацыі
ДАША ЕРАХАВЕЦ



1865 год. Люты. На дварэ волка і холадна, а ў памяшканыні Таварыства дасъледнікаў прыроды Бруну (цяпер чэскі Брно) цесна і тужліва. Людзі навукі ледзь цямяць, на-вошта сюды запрасілі манаха. І не як слуха-ча, а з дакладам. Вы пазналі яго? Так, гэта Грэгар Мэндэль (Gregor Mendel). Ён паволь-на падыходзіць да трывбуны і на некалькі імгненіння замірае: моліцца пра сябе.

«Тут ня месца для малітваў, а навуковы сход!» – ледзь ня выпаліў нехта з прысутных, але ў час стрымайся. Мэндэль пачаў даклад. Дэйсцава манах апавядыаў, як крыжаваў расыліны гароху з розным насеннем і... Стоп! Дэталі гэтае фунда-мэнтальнае працы мы спазнаем далей, а цяпер з'вернем увагу на твары слухачоў.

Бачыце, як яны бессаромна пазяхаюць і дэманс-трацыйна круцяцца на крэслах, не задаочы ніводнага пытання? На жаль, біёлягі таго часу ня здолелі ацаніць выслікай непадобнага да іх манаха.

«Які цудоўны сёньня сывітанак!» – усьміхнуўся Мэндэль, выглянуўшы з кельлі ў дворык. Там на невялікай дзялянцы ў садзе аўгустынскага кляштару Святога Тамаша быў ягоны райскі куток: на дагледжанай градцы памерам 7 × 35 мэтраў Грэгар Мэндэль высадзіў старанна ада-бранныя бацькоўскія гатункі гароху ў надзеі вы-вучыць атрыманыя гібыды.

Незвычайні занятак для манаха, ці ня так? Трэба аддаць належнае ня толькі выбітным ін-тэлектуальным здольнасцям і стараннасці Грэгара Мэндэля, але й ляяльнасці ягонага начальства, у прыватнасці абата Цырыла Напа (Cyrill Napp).

Насуперак пазыцыянаванью большасці кан-сэрватыўных калегаў, Цырыл Нап заахвочваў занятак навукай і вылучыў маладому манаху сродкі на навучанье натуральных дысцыплінай у Венскім унівэрсытэце. Ці мог падумаць Цырыл Нап, што, атрымаўшы адпаведную аду-кацыю, ягоны пакорлівы падначалены пачаў бы задаваць нязручныя пытанні? Хутчэй за ўсё, дальнабачны абат ня толькі прадбачыў такую хаду падзеяў, але і сам задаваў сабе нязруч-ныя пытанні. І, пераадолеўшы страх, дазволіў маладому калегу пашырыць гарызонты ўспры-маныня сьвету. Ці мог падумаць Цырыл Нап, што Грэгар Мэндэль апярэдзіць навуковую думку на некалькі дзесяцігодзьдзяў наперад і сфармулюе фундамэнтальныя законы генэтыкі, названыя ў ягоны гонар? Імаверна, яны абодва не задумва-ліся пра гэта.

Што ж за далікатныя і дзёрзкія эксперыменты праводзіў Мэндэль у сваім райскім кутку? Ён крыжаваў расыліны гароху, якія адрозніваліся формай і колерам гарошынаў. Давайце да яго далучымся.



Грэгар Мэндэль
Крыніца: wikipedia.org

Не сьпяшайцеся зазіраць у падручнік генэты-кі, дарагія чытачы, прапаную вам паразважаць. Дапусьцім, нам трэба скрыжаваць дзесяць расы-лінаў з гладкім насеннем з такой жа колькасцю расылінаў з зморшчаным насеннем. Як вы думаецце: які адсотак нашчадкаў (гібыдаў) мы атрымаем з гладкім насеннем, а які – з змор-шчаным? Вы сьцвярджаеце, што судносіны могуць быць 50 % да 50 %?

Ня выключана, што Мэндэль спачатку думаў гэтак жа. Але прырода дзеіць разнаплянава і не зайдёды дастасоўваеца да хады нашых думак.

Сасыпеў гарох. Манах падыхтаваў па мяшку для гладкага і для зморшчанага насення ды пачаў вывучаць зъмесціва струкой атрыманых гібыдаў. Неўзабаве яму давялося зь цяжкасцю перасоўваць мяшок з гладкім насеннем. Мяшок, прызначаны для зморшчанага, заста-ваўся пусты. З надзеяй раскрыў Мэндэль апошні струк: «Мушу ж я знайсці хация б некалькі змор-шчаных зярнітак!» Не, не знайшоў. Усё зерне гладкае.

«Як? Ня можа быць! Гэта памылка!» – запра-тэставаў Мэндэль. Супакоіўшыся, памаліўся і... як адказны навуковец, пастанавіў пайтарыць эксперымент. Які быў вынік? Як вы ўжо здагада-ліся, усе расыліны, атрыманыя пры скрыжаваньні іх гладкіх і зморшчаных насенных бацькоў, аказ-валіся гладканасенныя. Ізноў і зноў пры такім скрыжаванні не развівалася ні адной расыліны з зморшчаным насеннем!

Грэгар Мэндэль доўга і апантана маліўся. Па-раіцца не было з кім. Хіба што пагутарыць быса знакамітым сучаснікам Чарлзам Дарвінам?

Але той быў у далёкай Англіі. Яго-ную книгу «Паходжанье відаў», якая зрабіла фурор у науцы, Грэгор Мэндэль прачытаў на адным дыханьні. Падумашы, ён вынес вэрдыкт: «Кніга выдатная, апавядыае пра мэханізмы эвалюцыі жывых арганізмаў. Але пытаныні мэханізмаў атрыманьня канкрэтных прыкметаў у ёй не разглядаюцца». Мужны манаҳ-навуковец пастанавіў працягнуч эксперыменты, нават калі ягонаму атачэнью яны будуць здавацца інтрыгамі д'ябла, а калегам – марнаваньнем часу.

Грэгор Мэндэль развязаў мяшок з гладкім насенінем гароху, атрыманым пры скрыжаванні расылінаў з гладкім і зморшчаным насенінем. Гэта быў гібрыды першага пакаленія, як мы іх цяпер называем. «Бог захацеў зрабіць іх гладкім і прыбраў зморшчанасць» – падумаў манаҳ і скрыжаваў гібрыды першага пакаленія паміж сабой. Ён спадзяваўся атрымаць як мага больш гладкана-сенных расылінаў і выбраць з іх найлепшыя: манаҳі любілі гарохавы суп.

Як жа зьдзівіўся Мэндэль, калі, зьбіраючы ўраджай гібрыдаў другога пакаленія, яму давялося выкарыстоўваць мяшкі на толькі для гладкага, але і для зморшчанага насеніня! Зьбянтэжаны дасыледнік падлічыў агульную колькасць атрыманых гарошынаў і выявіў, што гладкіх ака-залася прыблізна ўтрай больш як зморшчаных.

Неспадзянаныя расыліны з зморшчаным насенінем пацвердзілі даўнюю таемную выснову манаҳ-навукоўца: шлях да ўсявішняга ляжыць праз спазнаныне законаў натуральнага развязіцца съвету. Тым, хто выбірае гэты шлях, неабходныя съмеласць, адказнасць і неардынарнасць думак. Гэтымі якасцямі валодаў Грэгор Мэндэль. Эксперыменты ў садзе кляштару не спыняліся ні на хвіліну.

«Дзе выпадковасць, дзе памылка, а дзе правіла?» – стаў разважаць дапытлівы дасыледнік і ня толькі паўтарыў эксперыменты, але і паширыў іх. Улічваючы, што пасыль скрыжаваннія расылінаў гароху з гладкім і зморшчаным насенінем развязваецца гладкана-сенны маладняк, навуковец сформуляваў чарговую задачу. Якое зерне сасыпее ў гібрыдаў пры скрыжаванні баць-

коў з жоўтым і зялёным насенінем? Жоўтае ці зялёнае? Ці 50 % да 50 %? Як думаеце вы?

Грэгор Мэндэль ня меў магчымасці гуляць у тэтрыс, але хутка зразумеў, як перайначыць градкі, каб высадзіць яшчэ больш варыянтаў скрыжаванніяў. Задумана – зроблена! Гарох спорна пачаў расыці, манаҳ зынемагаў, чакаючы выніку... Прыро-да ахвотна пацвердзіла ўсталяваную заканамернасць: насеніне гібрыдаў, атрыманых пасыль скрыжаваннія расылінаў з гладкім і зморшчаным насенінем, ізноў толькі гладкае.

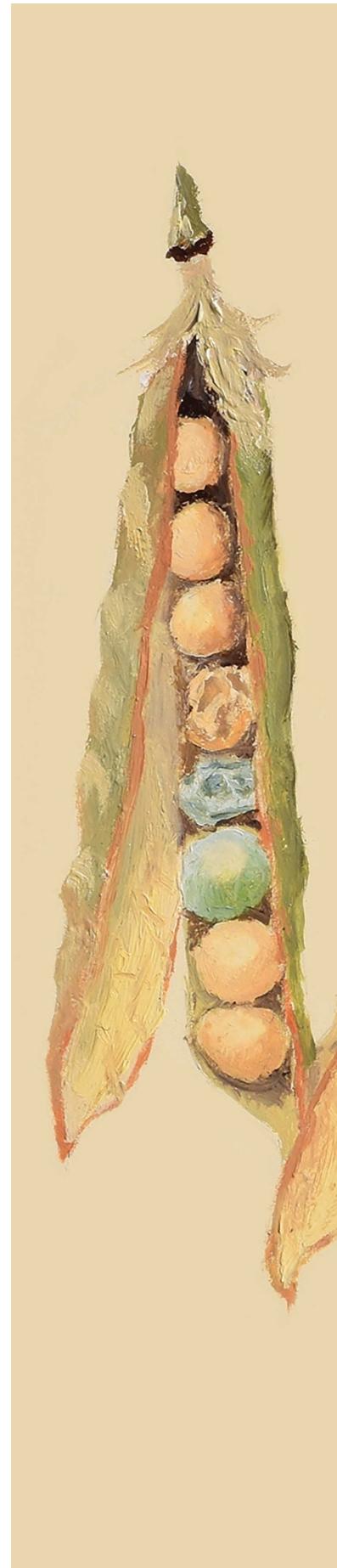
Што датычыць назіраньня за колерам гібрыдаў, то ў гэтым выпадку дасыледніку давялося адкладаці ўбок адзін зь мяшкоў: для зялёнага насеніня. Усё зерне гібрыдаў, атрыманых ад скрыжаваннія расылінаў з жоўтым і зялёным насенінем, было жоўтае.

Якія высновы зрабіў навуковец? Што з'яўжылі мы з вамі? Адно і тое ж: пры скрыжаванні бацькоў, кантрасных у вызначанай прыкмете, у першым пакаленіі гібрыдаў выяўляецца толькі адна з гэтых прыкметаў, а другая не назіраецца наагул. Віншую вас, мы сформулявалі першы закон Мэндэля, або закон аднастайнасці гібрыдаў першага пакаленія.

Прыкмету, якая выяўляецца ў гібрыдаў першага пакаленія, біёлагі называюць дамінантай. Эвалюцыя паступае мудра і нічога ня робіць дарэмна. Калі яна прызначае нейкую прыкмету на дамінантную (галоўную) ролю, то можна быць упэўненым, што менавіта гэтая прыкмета мае бяспрэчныя перавагі ды ававязаная заглушкиць слабыя або не-бяспечныя (рэцэсіўныя) прыкметы. Рэцэсіўныя прыкметы ў гібрыдаў першага пакаленія не праяўляюцца, але прысутнічаюць у схаваным выглядзе.

Манаҳ-навуковец зъмясьціў у асобныя мяшэчкі насеніне гібрыдаў першага пакаленія. У наступным годзе ён іх скрыжаваў: расыліны з гладкім насенінем паміж сабой і расыліны з жоўтым гарошынамі адна з адною.

Як думаеце: якая неспадзянанка насікае пры скрыжаванні жоўтанасенных гібрыдаў першага пакаленія?





Дэннел Дж. Фэрбанкс, «Эксперименты Мэндэля: форма і колер насеньня»
Крыніца: wikipedia.org

Сюрпрызу ня будзе, калі дапусьціць, што сітуацыя будзе разывівацца аналягічна з той, яку мы назіралі ў гібрыдаў другога пакаленяня, атрыманых ад бабуль і дзядуляў з гладкім і зморшчаным насеньнем. Тады мы выявілі, што гладкіх гарошынаў утрайа больш за зморшчаныя. Выкажам здагду, што ў другім пакаленіні колькасць жоўтага насеньня таксама будзе трохразова перавышаць колькасць зялёнага.

Такая ж гіпотэза была і ў Мэндэля, і яна бліскуча пацвердзілася. Лета скончылася, насеньне сасыпела, манах-навуковец сабраў ураджай і выявіў, што мяшок з жоўтым насеньнем гібрыдаў другога пакаленяня ўтрайа цяжэйшы за мяшок зь зялёнімі гарошынамі.

Гэтак, мы выявілі новую важную заканамернасць. Надышоў час сфармуліваць другі закон Мэндэля: у другім пакаленіні гібрыдаў, атрыманых ад скрыжаванняня бацькоў з альтэрнатыўнымі прыкметамі, колькасць асобінаў з дамінантнай прыкметай будзе супадносіцца з колькасцю асобінаў з рэцесіўнай прыкметай як 3:1.

Другі закон Мэндэля інакш называюць законам расшчапленія, бо аднастайная гібрыды першага пакаленія пры скрыжаванні паміж сабою даюць рознае патомства (расшчапляюцца), прычым так, што большая частка асобінаў ($\frac{3}{4}$) насе-дамінантную прыкмету, а астатняя частка ($\frac{1}{4}$) – рэцесіўную.

Цягам гадоў працавіты манах (пасля абат) Грэ́гар Мэндэль пайтараў апісаныя вышэй ды шмат якія іншыя эксперыменты. Гэта была калясальная праца. Разам навуковец правёў каля дзесяці тысяч (!) досьледаў. Адзін. Без адчувальнай дапамогі. Штодзённых абавязкаў у супольнасці ніхто не адмяняў.

У выніку ў навукоўца сабраўся багаты насенны матэрыял. Чаго там толькі ні было: жоўтая гладкая, жоўтая зморшчаная, зялёная гладкая або зялёная зморшчаная зярняткі! Анализуючы выгляд насеньня гароху ў бацькоўскіх формах і гібрыдаў, Грэ́гор Мэндэль выявіў яшчэ адну цікавую заканамернасць. Колер і форма гарошынаў успадкоўваюцца аднолькава і незалежна ад адной! Аднолькавасць выяўлялася ў тым, што

пры ўспадкоўванні як формы, гэтак і колеру гарошынаў выконваліся першы і другі законы Мэндэля. Незалежнасць азначала тое, што дзесяці ў «кляштары»-гарошыне ёсьць «кельлі», кожная зь якіх адказвае за разывіццем прыкметы.

Што вы сказалі? Гены? Вядома, «кельлі» ў «кляштары»-гарошыне – гэта гены, але Грэ́гор Мэндэль не апэраваў гэтым тэрмінам. Пры гэтым ён аргументаваў сцвярджай, што пры скрыжаванні асобінаў, якія адрозніваюцца паводле некалькіх прыкмет, адбываецца незалежнае ўспадкоўванне гэтых прыкмет. Гэтае сцвярджанье легла ў аснову трэцяга закону Мэндэля*.

Нягледзячы на тое, што сучаснікі не ацанілі рэвалюцыйнасці адкрыцця «крамольнага» сцвятара з Бруну, Грэ́гор Мэндэль наважыўся апублікаваць вынікі сваёй працы. Ягоны артыкул пабачыў сьвет у 1866 годзе ў працах Таварыства прыродазнаўства пад назваю «Досьледы над расыліннымі гібрыдамі» [1].

Навуковец быў упэўнены ў сваёй рабцы. Ён казаў: «Мой час яшчэ прыйдзе! Гэтыя слова выбітыя на помніку Грэ́гору Мэндэлю перад садам, дзе абат генэтыкі ладзіў свае досьледы.

Давайце з нашага XXI стагодзьдзя падтрымаем Грэ́гора Мэндэля, даслаўшы яму электроннае паведамленне: «Вашыя высновы слушныя! Хай прапрочуцца гэтыя слова скрэзь незваротнасць часу і дойдущы да неардынарнага абата ў монамант адчаю. Усё праўдзівае застаецца назаўжды!

*Законы Мэндэля ў артыкуле прэзэнтаваны ў спрошчаным выглядзе, але гэта не прымяншае іх значнасці.

Крыніцы:

1. Mendel, Gregor: Versuche über Pflanzen-Hybriden. In: Verhandlungen des Naturforschenden Vereines in Brünn. 4 (1866), S. 3-47.

Сад аўгустынскага
кляштару Свяятога Тамаша.
1856 год, Брун.
Грэ́гар Мэндэль рыхтуеца
высадзіць
старанна адабраныя
бацькоўскія гатункі
гароху ў надзеі
вывучыць атрыманыя
гібрыды.

Які цудоўны
сёняня світанак!

Комік намалявала
PAPRICA_SIDE



Манах крыжаваў расыліны гароху, якія адразыніваліся формай і колерам гарошынаў.

Скрыжуем 10 расылінаў
з гладкім насеннем
з такой жа колькасцю
расылінаў са зморшчаным
насеннем.

Цікава, які адсотак
нашчадкаў (гібрыдаў)
мы атрымаєм з гладкім
насеннем, а які –
са зморшчаным?

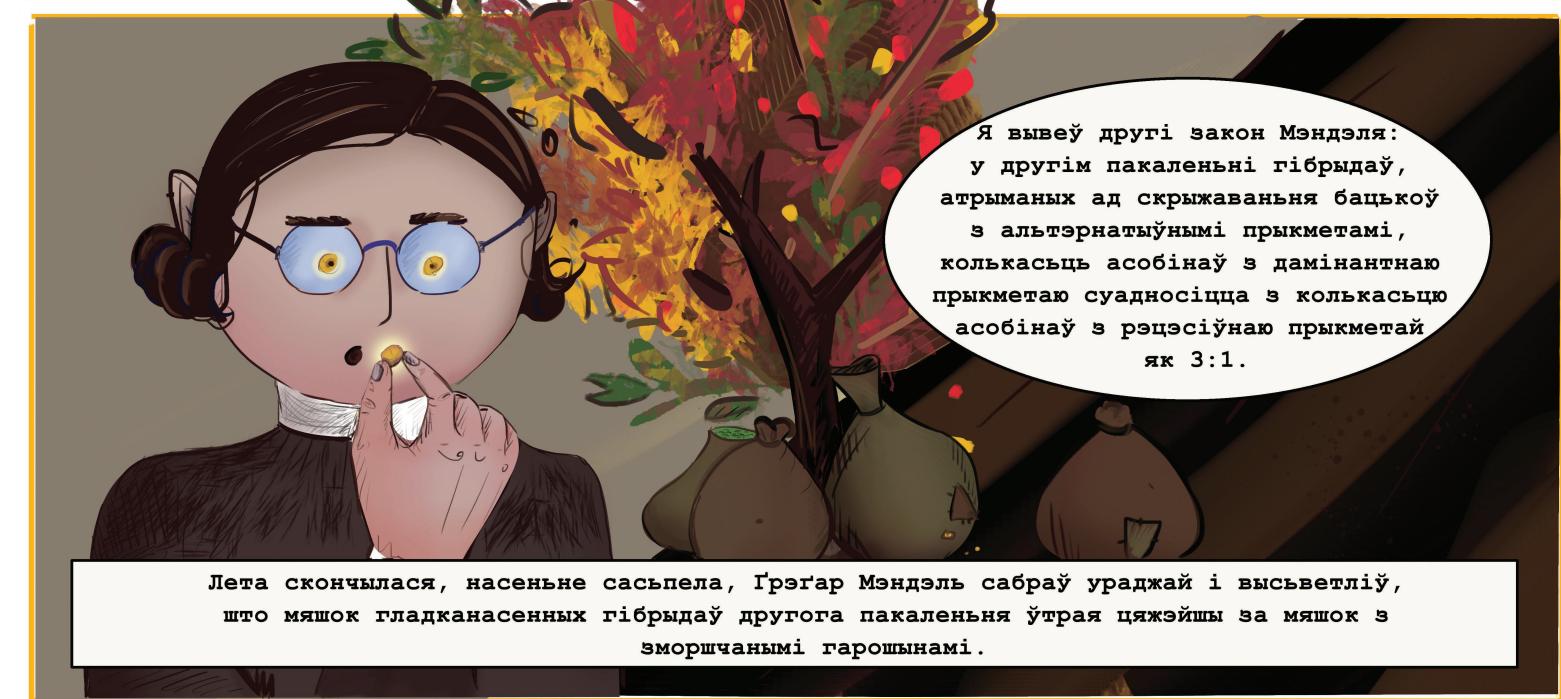
Мушу ж я знайсьці
хаця б некалькі
зморшчаных зярнітак!?

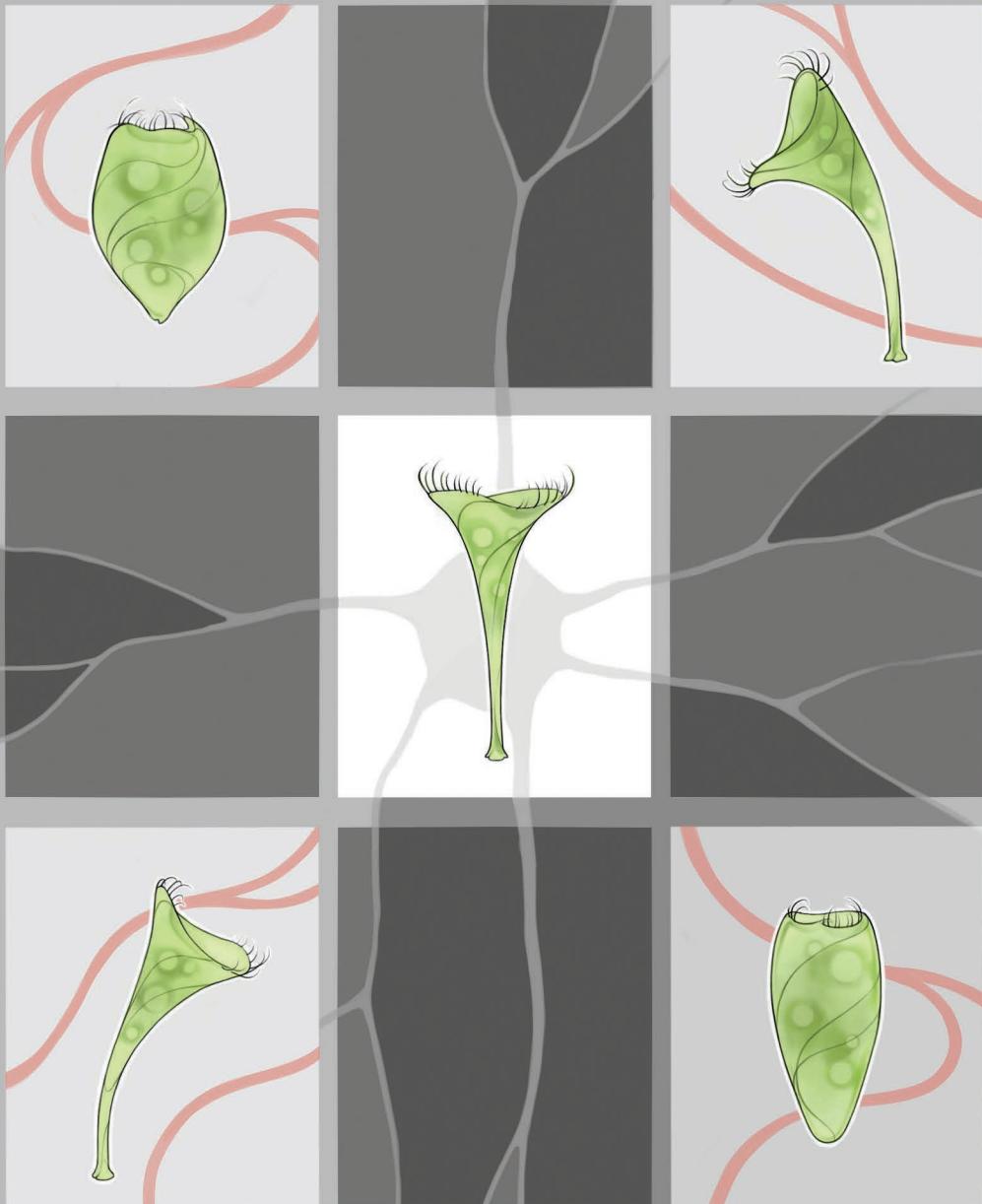
Бог захацеў зрабіць іх гладкімі
і прыбраў зморшчанасць.

Настрой
сёняня
такі!

Пры скрыжаванні бацькоў, кантрасных у вызначанай прыкмете, у першым пакаленіні
гібрыдаў выявляецца толькі адна з гэтых прыкметаў, а другая не назіраецца наагул.
Гэта першы закон Мэндэля.

Манах-навуковец зъмясьціў у мяшечак гладкія гарошыны гібрыдаў першага пакалення.
У наступным годзе ён скрыжоўваў расьліны з гладкім насеннем паміж сабой.





ТРУБАЧ і ПАЗНАНЬНЕ

Аляксандар Даменікан

Ідэя і аўтарства ілюстрацыяў
А. Міро



Miles Davis

JOHN COLTRANE / CANNONBALL ADDERLEY / BILL EVANS / WYNTON KELLY / PAUL CHAMBERS / JIMMY COBB

KIND OF BLUE



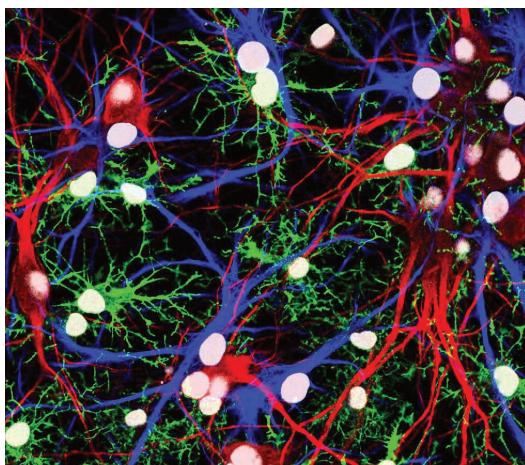
Мал. 1.

Майлз Дэйвіс, альбом *Kind of blue*
Concept and design by Comunicom
Крыніца: www.flickr.com

Ці чулі вы альбом Майлза Дэйвіса *Kind of Blue* (Мал. 1)? Прапаную паслухаць, пакуль чытаеце гэты артыкул. Шмат хто думае, што гэты альбом зъяніў джаз, бо быў напісаны на аснове новае канцепцыі будовы кампазыцыі. Майлз Дэйвіс – адзін з найбуйнейшых джазавых трубачоў усіх часоў – заўсёды імкнуўся да новых формаў і прынцыпаў у музыцы. Але як зъяўляюцца новыя ідэі? І ці магчыма дасьледаваць гэты працэс у навуцы?

Мозг зъменлівы і складны

З гледзішча біялёгіі чалавека, думкі, ідэі і эмоцыі – гэта прадукт дзеяньня галаўнога мозгу. Якім чынам мозг стварае гэтыя зъявы? Гэта адно з самых цікавых пытанняў у сучаснай навуцы [1]. Сённяшні кансансус вылучае нэўраплястычнасць, ужо згаданую ў другім нумары зіну [27], як асноўную крыніцу зъменаў у паводзінах чалавека [20]. Адна з асноўных яе формаў – сынаптычная плястычнасць, альбо здольнасць асобных нэўроноў зъмяніць эфектыўнасць сваіх злучэнняў з іншымі нэўронамі (сынапсаў) [2]. Гэтыя зъмены адбываюцца пад уплывам асяродзьдзя і ўласнага досьведу. З прычыны таго, што нэўроны ўтвораюць шчыльную сетку контактатаў (Мал. 2), сынаптычная плястычнасць можа весьці да грунтоўных пераменаў у працы мозгу. Менавіта таму разуменне мэханізмаў, што вядуць да зъмены нэўроноў ды іх сынапсаў, можа праліць съятло на чалавечую здольнасць да креатыву.



Аўтарства: Neurons & glia NICHD/J. Cohen
Крыніца: www.flickr.com

Нэрвовая сетька з гілакамп пацукі. Нэўроны (сінія) злучаныя між сабою, а таксама з клеткамі гліі (чырвоныя і зялёныя)

Дасьледаваныні нэўроноў чалавека, як і любая дасьледаваныні чалавека, – заданыне нетрывіяльнае. Біялёгія – навука з большага эмпірычнай, то бок высновы наконт дакладных мэханізмаў зъяваў робяцца на падставе эксперыменту і назіраньняў. Найчасцей біялёгіі альбо дасьледоўваюць зъмены, якія адбываюцца ў мозгу пад уплывам асяродзьдзя і досьведу. Але як зъяўляюцца новыя ідэі? І ці магчыма дасьледаваць гэты працэс у навуцы?

дуюць зъмены ў пасълядоўнасці ДНК (мутацыі генаў) ды іх уплыву на стан паддоследнага арганізму – і тады гаворка пра генэтыку. Альбо разбуроюць клеткі ды ачышчаюць асобныя іх кампанэнты (РНК, белкі, арганэлы і г. д.) для далейших дасьледаванняў у прафілактычнай медыцине. Альбо разбуроюць хваробы, а разбурэнне клетак, асабліва клетак нэўроноў, ня можа быць добрай ідэяй. Але нават этычныя дасьледаваныні мозгу іншых жывёлінай ускладняюцца іх шматклетковай арганізацыяй: назіраць дынамічныя зъмены асобных клетак *in vivo* (у жывым арганізме) робіцца вельмі складана. Таму, нягледзячы на прагрес апошніх гадоў, у нашым разуменіні функцыянаваньня мозгу і нэўроноў, дакладныя мэханізмы зъменаў, якія тлумачаць такія зъявы, як памяць, навучанье і прыняцце рашэнняў, застаюцца малазразумелымі [8, 10]. Але ці можам мы дасьледаваць такія працэсы на прасцейших арганізмах?

На сцэну выходзіць трубач

Яшчэ ў 1902 годзе буйны амэрыканскі біёляг Гэрберт Спэнсэр Джэнінгс (Herbert Spencer Jennings, Мал. 3) апублікаваў артыкул, у якім апісаў зъмены паводзінай аднаклетковай інфузорыі-трубача (*Stentor roeselii*, Мал. 4) у адказ на вонкавыя сігналы [7]. Стэнтар – вельмі цікавы арганізм! Па-першае, цела яго – усяго адна, але гіганцкая – даўжынёю 1 мм – клетка¹. Па-другое, цікавая назова – трубач – паходзіць ад асаблівасці формы клеткі, якая выглядае як варонка на доўгай ножцы й нагадвае трубу (таксама *Stentor* – пэрсанаж грэцкага міталёгіі). Стэнтар жыве ў сажалках і мае цікавыя ножкаю да водарасцяў ці глею. Варонка трубы мае клеткавы рот і адмысловыя мікраарасынічкі (або вейкі – cilia), біцьцё якіх утворае віраванье й прыцягвае часцінкі ежы да рота. Па-трэцяе, сваяк гэтага трубача – чаравік... Маецца на ўзве інфузорыя-

¹Для параўнаньня: дыямэтар чалавечага воласа – ад 17 да 181 мкм (1 мм = 1000 мкм), а клетка скуры чалавека (кератынаціт) – 10–15 мкм [13].



Гэрээрт Спэнсар Джэнінгс I JENNINGS, H.S., DOCTOR
Аутарства: Harris & Ewing
Крыніца: www.loc.gov

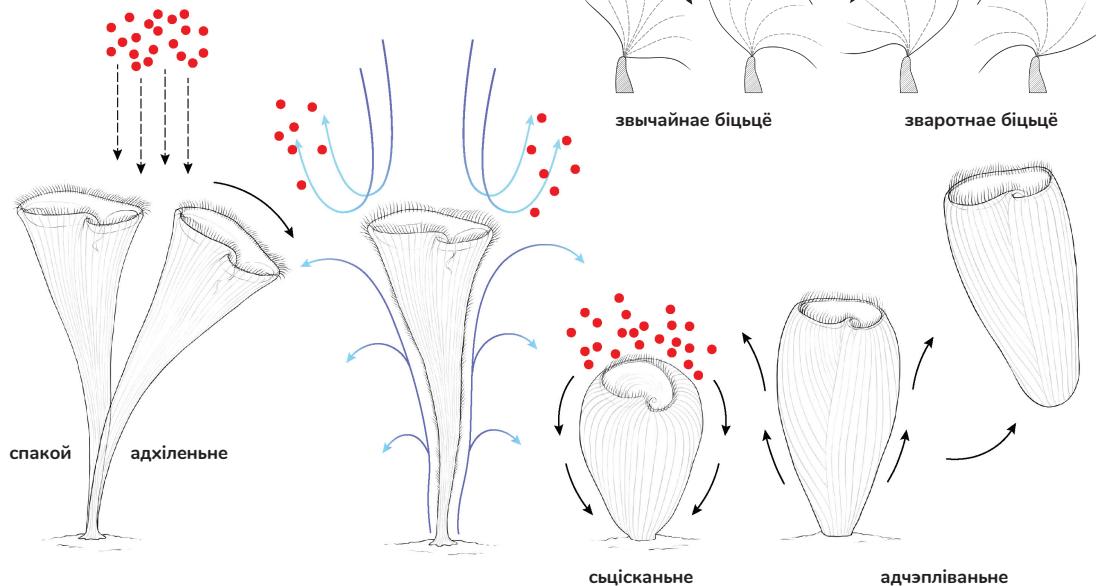


чаравічак (*Paramecium caudatum*), вядомая шмат каму з школьнага курсу біялёгії [6]. І, магчыма, гэтага было б і дастаткова, але аднаклеткавы трубач можа таксама прымада складаны жыцьцёвия рашэнныі, запамінаць і вучыцца!

Джэнінгс знаходзіў трубачоў і вывучаў іхняя падводзіны пад мікраскопам. З дапамогаю тонкае шкляяне трубкі выпускаў у беспасярэдній блізкасці да іх аблокі часыніак чырвонага пігменту – карміну. Кармін ня ёсьць пажыўным рэчывам для стэнтара, і, калі расынічкі прыцягвалі часынікі пігменту да клеткавага рота, трубач, пакаштаваўшы такі ласунак, пачынаў складаны каскад рэакцыяў пазъбяганьня (Мал. 5). Спачатку ён проста спрабаваў адхіленне ад воблака ўбок

(рэакцыя адхілення). Калі гэта не дапамагала, абарочваў біцьцё расынічак, каб ачысьціць ваду ад карміну (рэакцыя зваротнага біцьця расынічак). Калі нават такая рэакцыя не прыводзіла да пажаданага выніку, стэнтар пачынаў съціскацца ў маленьку трубку, каб схавацца ад надакучлівага воблака (рэакцыя съцісканьня). Урэшце, ня маючы магчымасці ўнікнуць раздражняльнага стымулу (упартага Джэнінгса) на месцы, трубач моцнымі штуршкамі адчапляўся ад водарасьці, да якое быў прыматацаваны, і сплываў на новае месца (рэакцыя адчэпліваньня). На падставе гэтых назіраньняў Джэнінгс зрабіў высынову, што гэты аднаклеткавы арганізм можа прымада складаныя рашэнныі, абавязанае на ўласны досьвед.

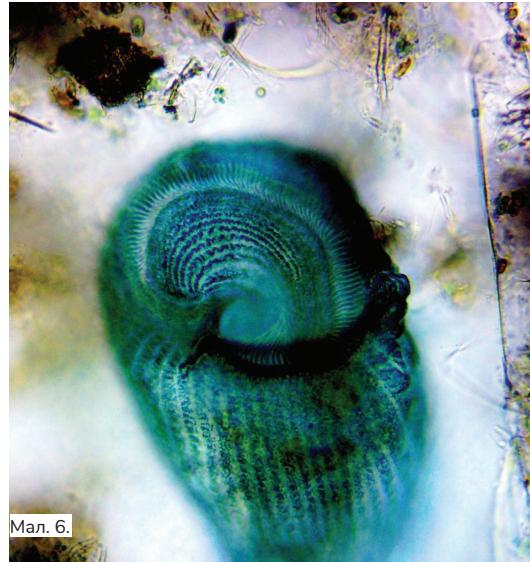
Мал. 5. Рэакцыі *Stentor roeselii* на мікраскапічныя часынікі.



Такія складаныя паводзіны мы звычайна асачаюем з высокаарганізаванымі жывёлінамі, якія складаюцца з мноства клетак і маюць нервовую сістэму. Стэнтар жа – усяго адна клетка. Таму не зьдзіўляе, што вынікі эксперыменту Джэнінгса былі ўспрынятыя з скептыцызмам. У 1967 годзе навукоўцы з універсітэту Нэбраскі нават апублікавалі артыкул, які зняняпрауджваў высновы Джэнінгса пра шматузроўневую стратэгію пазъбяганьня ў інфузорыя-трубачоў [16]. Аўтары сцьвярджалі: шторазу, калі воблака карміну дасягала арганізму, ён адразу ж адчапляўся і сплываў. Такім чынам вынікі Джэнінгса пачалі выглядаць, хутчэй, жаданым, чымся існым. Цікава, аднак, што ў гэтай працы від *St. roeselii* быў заменены на *St. coeruleus*. Аўтары адзначалі: гэты від значна больш мабільны, але, не адшукайшы *St. roeselii*, падалі працу як ёсьць. Між тым, ці раўназначная была такая замена, заставалася невядомым да нядайна.

Каб адказаць на гэтае пытаньне, Джоўзэф Дэкстэр (Joseph Dexter) з калегамі пастанавілі грунтоўна дасьледаваць рэакцыю менавіта *St. roeselii* [5]. У гэтай працы аўтары сцьвярджаюць, што здолелі паўтарыць вынікі работы Джэнінгса. І хоць пасълядоўнасць рэакцыяў асобных трубачоў не заўсёды дакладна адпавядала джэнінгскаму шэрагу, аўтары пасъля назіраньня за выбаркаю клетак статыстычна паказалі існаваньне герархii рэакцыяў. Гэта, напрыклад, адхіленыне сустракалася значна часцей перад рэакцыяй сцісканьня, а апошняя – заўсёды перад рэакцыяй адчэпліваньня. Калі б такое герархii не было, рэакцыі стэнтара разъміярковаліся б у шэрагу выпадкова. Гэтыя звесткі съведчаць, што *Stentor coeruleus* насамрэч здольны прымаць рашэнні і фармаваць індывідуальны досьвед.

Але нават больш мабільны й крыху больш сіняваты (*kind of blue*) *St. coeruleus* (Мал. 6) уражвае здольнасцямі. Дыпа Раджан (Deepa Rajan) з калегамі дасьледавалі рэакцыю гэтага віду

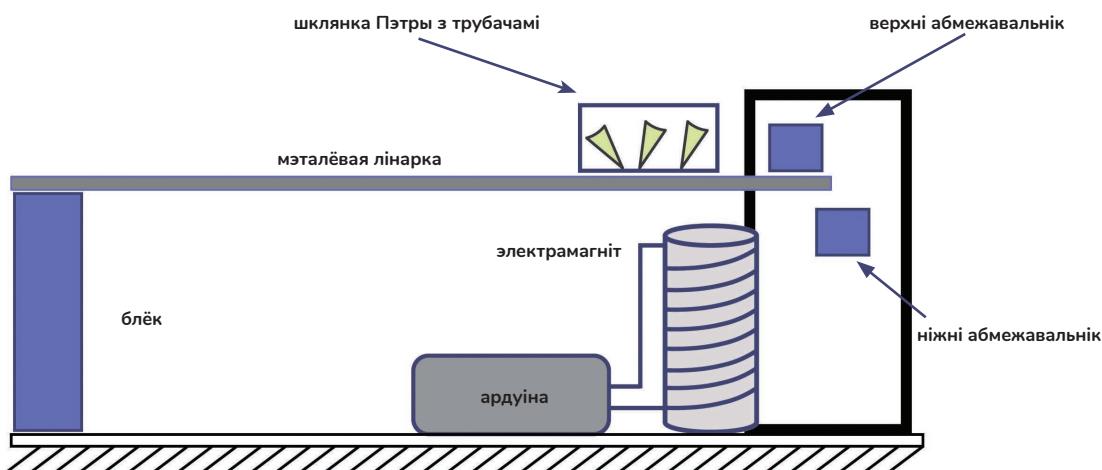


Мал. 6.

Stentor coeruleus. На здымку – варонка з расынікамі
Аўтарства: Lena Struwe

Крыніца: www.inaturalist.org

трубачоў на мэханічныя стымулы вібрацыі [14]. Яны выкарыстоўвалі просты USB-мікраскоп, каб назіраць за некалькімі трубачамі ў шклянцы Пэтры. Шклянка была прымацаваная да канца жалезнае лінаркі, якая на другім канцы была замацаваная да нерухомага блёку накшталт трампіна для скокаў у воду (Мал. 7A). Пад вольным канцом месцыўся электрамагніт, праца якога кантролівалася праз камп'ютар і ардуіна (Arduino) [21]. Пульс актыўнаціі магніта выклікаў хістаныне жалезнае лінаркі і ствараў вібрацыю ў шклянцы Пэтры. Звычайнай рэакцыя *St. coeruleus* на вібрацыю – сцісканьне, бо ў прыродзе такі стымул можа съведчыць пра надыход больш разбуральнага ўздзеяньня альбо сігналізація пра драпежнікаў, якія палююць на інфузорыяў. Пры адсутнасці дадатковых стымулаў стэнтар разгортваецца ў сваю звычайную форму. Паўторныя ж стымулы выклікаюць паўторныя рэакцыі... да пэўнае мяжы. Аўтары



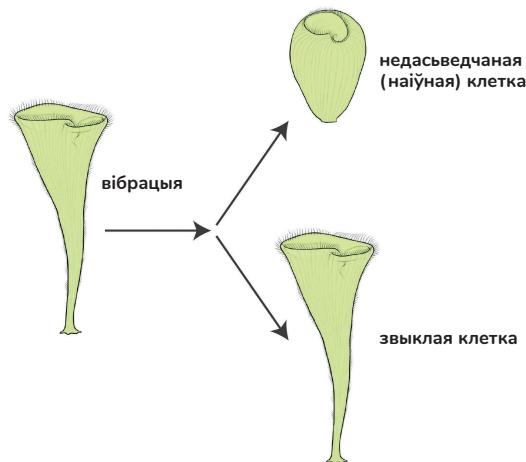
Мал. 7А. Дасьледаваньне звыканьня *Stentor coeruleus*. Эксперыментальная прылада для фармаваньня дакладных мэханічных ўздзеяньняў на клеткі інфузорыя-трубачоў

работы стваралі вібрацыі з перыядам 1 хвіліна і фіксавалі паводзіны асобых трубачоў. Анализ іхных рэакцыяў паказаў, што кожны трубач реагуе на паўторныя стымулы, пакуль не прымае рашэння больш не рэагаваць (Мал. 7Б). Зь цагам часу ўсё больш клетак у паддосьледнай выбарцы прымалі такое рашэнне, і амаль усе яны звыкалі да паўторных вібрацыяў. Такую змену паводзінаў можна лічыць адаптыўнаю, бо съціскацца ў адказ на стымулы, якія ня съведчаць пра надыход небяспекі, – значыць выдаткоўваць энергію дарэмна.

Абодва прыклады, што вышэй, паказваюць здольнасць стэнтараў адаптавацца да вонкавых стымулаў, на якія задоўга (ці зачаста) выпадае рэагаваць. *St. roeselii* выкарыстоўвае шэраг ўсё больш моцных рэакцыяў, каб унікнуць раздражняльных стымулаў. *St. coeruleus* звыкае да ўзыдзеяньня, якія спачатку выглядаюць небяспечна, але пасля шматлікіх паўтарэнняў ператвараюцца ў неістотны шум. У абодвух выпадках гэтыя аднаклеткавыя арганізмы вырашаюць рэагаваць на вонкавыя сігналы з улікам інфармацыі пра час («як доўга/часта я ўжо рэагую»). Іншымі словамі, яны выкарыстоўваюць памяць, якая фармуе індывідуальны досьвед і дазваляе ім адаптыўна змяніць свае паводзіны, то бок навучачца. У гэтym выпадку трубачы дэманструюць здольнасць да неасацыятыўнага навучання, то бок сэнсыбілізацыі (*St. roeselii*) і звыкання (*St. coeruleus*) (Мал. 8).

Чаму гэта важна?

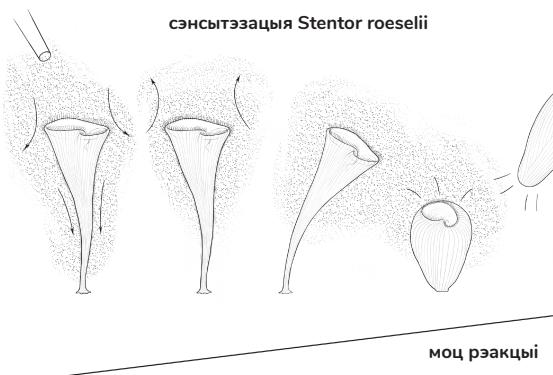
Шмат працы ў біялёгіі адбываецца з аднаклеткавымі арганізмамі. Галоўныя іхныя перавагі ў лябараторыі – непераборлівасць да жыцця і адсутнасць складанай арганізацыі, што дазваляе лёгкі маніпулявання і назіраць за імі. Даўледаваныні аднаклеткавых ня раз прыводзілі да адкрыцця фундамэнтальных мэханізмаў жыцця. Напрыклад, адкрыццё ДНК як носябіта генетычнай інфармацыі адбылося пры даследаванні бактэрыяў [3, 4], а прынцыпы клеткавага дзялення ў вялікай ступені былі высьветленыя спачатку ў дрожджах [12]. Але ці магчыма працоўжыць гэты шэраг у кірунку пазнання? І якое дачыненне да гэтага мае біялёгія?



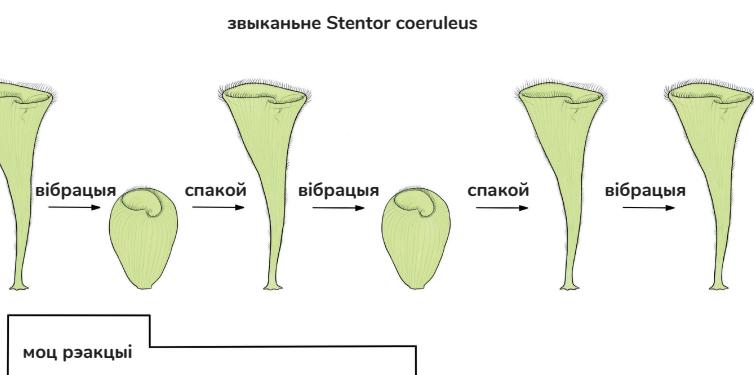
Мал. 7Б. Схематычнае парадкаванне рэакцыяў наўчанне клеткі і звыкласць клеткі

Пазнанье – гэта працэсы, звязаныя з разумам, мысленінем, інтэлектам і да т. п. У сучасным навуковым дыскурсе вывучае пазнанье кагнітыўстыка, альбо кагнітыўная навука (ад анг. cognition – пазнанье) [19]. Гэтая міждисципліна спалучае даследаваныні ў галінах псыхалёгіі, нэўранавукі, штучнага інтэлекту, лінгвістыкі, антропалёгіі і філозофіі (Мал. 9) [11]. Кагнітыўстыка разглядае пазнанье як інфармацыйны працэс, у якім умоўна можна вылучыць этапы ўспрымання інфармацыі, яе апрацоўвання і выкарыстання [18]. Як прыклад пазнавальнага працэсу можна прывесці асвойванье ігры на трубе: глядзіш т'юторыялы на YouTube (успрыманье), запамінаеш ноты і практикуешься (апрацоўванье), урэшце запісваеш альбом (выкарыстанье). Кагнітыўная здольнасць – як памяць і навучанье – забяспечваюць хаду гэтага працэсу.

У сучаснай навуцы пазнанье звычайна разглядаецца альбо ў выключна чалавекацэнтрычным кантэксьце, альбо з далучэннем некаторых найбольш кагнітыўна здатных жывёлінаў [15, 18]. Развіццё гэтае традыцыі ў значайнай ступені абавязанае Рэнэ Дэкарту², які сформуляваў ідэю пра разъдзельнасць чалавечага



Мал. 8. Неасацыятыўнае навучанье інфузорыяў-трубачоў



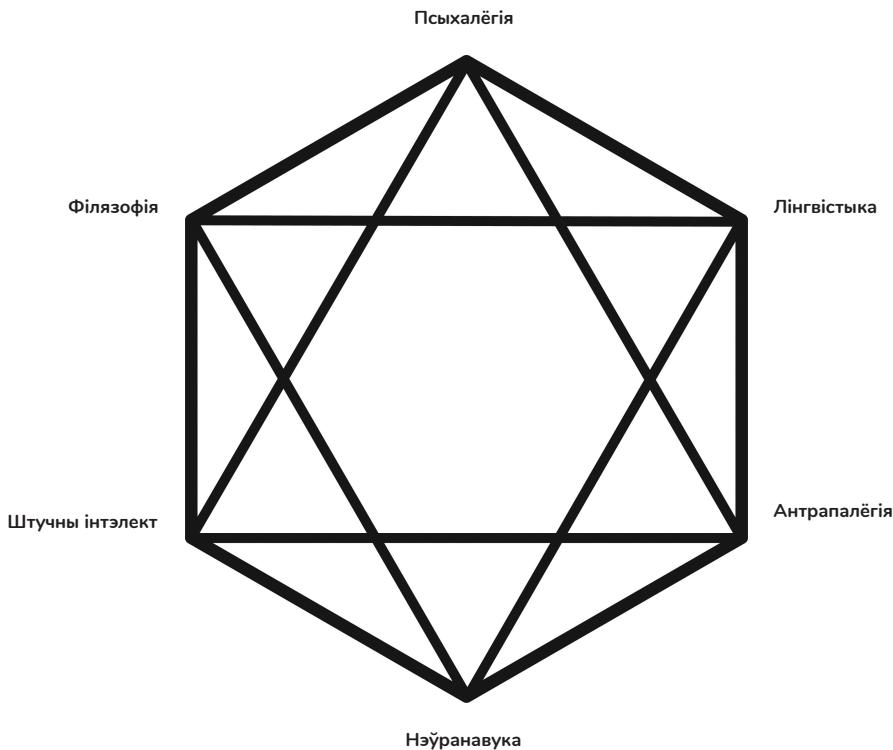
²Рэнэ Дэкарт (René Descartes) – славуты французскі філёзаф, навуковец і матэматык. Яму належыць папулярны выраз «Мыслью – значыць, існую» (лац. Cogito ergo sum) [26].

цела (фізичнае, прыроднае) і разуму (па-за фізыкаю, боскае) – картэзіянскі дуалізм [17]. З часам ідэі пра існаваныне рэчаў, якія не падпрадкоўваюцца законам фізыкі, пачалі пакідаць навуковую плынъ, але ідэі пра асаблівасць чалавека як адзінага носьбіта разуму яшчэ маюць свой уплыў. Менавіта таму сярод галінаў кагнітыўістыкі лічыцца толькі малая частка біялёгіі, якая вывучае мозг, – нэўранавука.

Працы Джэнінгса, Дэкстэра і Раджан паказваюць недарэчнасць гэтае схімы паміж чалавекам ды астатняю жывою прыродой. Фармаваныне памяці, навучаныне, прыняцьце рашэння – прыклады таго, што Пэмэла Ліён (Pamela Lyon) з калегамі назвалі базавымі кагнітыўнымі здольнасцямі (анг. basal cognitive capacities), што ўласцівія ўсім арганізмам [9]. Да съследаваньні такіх здольнасцяў у аднаклетковых – заклік зъмяніць погляд на ролю такіх функцыяў у біялёгіі, а таксама на месца біялёгіі ў кагнітыўнай науцы. Мабыць, асноўнае зъявно тут – канцэпцыя інфармацыі, што, калі шчыра, заслугоўвае асобнага артыкулу. Тут жа можна зайдзіць, што ўсе арганізмы выкарыстоўваюць інфармацыю як інструмент падтрымання сваёй складанай структуры й супрацьстаяння агульнаму росту энтропіі (гл. дэман Максўэла (Maxwell's demon) [24]). Інфармацыя – масток паміж прыродай і культурой, бо аднолькава апісвае дзеяньне і генай, і мэмай [25].

Вяртаючыся да нашых аднаклетковых трубачоў, трэба адзначыць: дакладныя мэханізмы іхнага навучаныня яшчэ чакаюць высьвяленыя. Тым не менш аўтары абодвух артыкулаў цытуюць ранейшыя працы ды спэкулююць, што мадыфікацыі (напр. фасфарыляваныне) іёных каналаў, якія кантролююць узбуджальнасць клеткі, могуць быць адказныя за памяць [5, 14]. З кожным новым вонкавым стымулам клетка запісвае такія мадыфікацыі на малекулы каналаў, як у нататнік. Гэта можа весьці да зъменаў у іхным дзеяньні – выключэння альбо актывацыі. Ці насамрэч памяць трубачоў працуе такім чынам, будзе высьветлена, яўпэўнены, адносна хутка, бо съজежка вывучэння аднаклетковых арганізмаў вельмі добра пратаптаная біёлягамі.

Гэтак, апроч новых мэханізмаў памяці, навучаныня і прыняцьця рашэнняў у аднаклетковых, інфузорыі-трубачы здольныя апавесці нам штось і пра нас. Іхныя кагнітыўныя здольнасці могуць ляжаць на адным эвалюцыйным кантынууме з чалавечым пазнаньнем. І хоць прырода генія музыкі Майлза Дэйвіса ўсё яшчэ застаецца для нас таямніцяю, мы можам шукаць адказы на некаторыя з пытаньняў, вывучаючы разнастайныя арганізмы.



Мал. 9. Асноўныя галіны кагнітыўнае науки. Форму гексагона з дыяганалямі традыцыйна выкарыстоўваюць для ілюстрацыі ўзаемадзеяньня гэтых дысциплінай

Крыніцы:

1. Birch, H., Stuart, C., & Looi, M. K. (2013, September 1). The 20 big questions in science. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/science/2013/sep/01/20-big-questions-in-science>
2. Citri, A., & Malenka, R. C. (2008). Synaptic plasticity: Multiple forms, functions, and mechanisms. *Neuropsychopharmacology*, 33(1), 18–41. <https://doi.org/10.1038/sj.npp.1301559>
3. Cobb, M. (2014). Oswald Avery, DNA, and the transformation of biology. *Current Biology*, 24(2), R55–R60. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.11.060>
4. Dawes, H. (2004). The quiet revolution. *Current Biology*, 14(15), R605–R607. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2004.07.038>
5. Dexter, J. P., Prabakaran, S., & Gunawardena, J. (2019). A Complex Hierarchy of Avoidance Behaviors in a Single-Cell Eukaryote. *Current Biology*, 29(24), 4323–4329.e2. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.10.059>
6. Howard-Till, R. A., Kar, U. P., Fabritius, A. S., & Winey, M. (2022). Recent Advances in Ciliate Biology. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 38, 75–102. <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-120420-020656>
7. Jennings, H. S. (1902). STUDIES ON REACTIONS TO STIMULI IN UNICELLULAR ORGANISMS. IX.—ON THE BEHAVIOR OF FIXED INFUSORIA (STENTOR AND VORTICELLA), WITH SPECIAL REFERENCE TO THE MODIFIABILITY OF PROTOZOAN REACTIONS. *American Journal of Physiology-Legacy Content*, 8(1), 23–60. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1902.8.1.23>
8. Kandel, E. R., Dudai, Y., & Mayford, M. R. (2014). The Molecular and Systems Biology of Memory. *Cell*, 157(1), 163–186. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.03.001>
9. Lyon, P., Keijzer, F., Arendt, D., & Levin, M. (2021). Reframing cognition: getting down to biological basics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 376(1820), 20190750. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0750>
10. Ma, H., Khaled, H. G., Wang, X., Mandelberg, N. J., Cohen, S. M., He, X., & Tsien, R. W. (2023). Excitation-transcription coupling, neuronal gene expression and synaptic plasticity. *Nature Reviews Neuroscience*, 24(11), 672–692. <https://doi.org/10.1038/s41583-023-00742-5>
11. Miller, G. A. (2003). The cognitive revolution: a historical perspective. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(3), 141–144. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(03\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(03)00029-9)
12. Nobel Prize Outreach AB. (2001). The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2001 - Press release. Press Release. NobelPrize.Org. <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2001/press-release/>
13. Pacheco, M. M., García, P. M., & Diego, M. Á. P. (2023). Cell types. Keratinocyte. *Atlas of Plant and Animal Histology. ATLAS of PLANT and ANIMAL HISTOLOGY.* <https://mmeigias.webs.uvigo.es/02-english/8-tipos-celulares/queratinocito.php>
14. Rajan, D., Makushok, T., Kalish, A., Acuna, L., Bonville, A., Correa Almanza, K., Garibay, B., Tang, E., Voss, M., Lin, A., Barlow, K., Harrigan, P., Slabodnick, M. M., & Marshall, W. F. (2023). Single-cell analysis of habituation in Stentor coeruleus. *Current Biology*, 33(2), 241–251.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.11.010>
15. Reber, A. S. (2018). The First Minds: Caterpillars, Karyotes, and Consciousness. In *The First Minds*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780190854157.001.0001>
16. Reynierse, J. H., & Walsh, G. L. (1967). Behavior Modification in the Protozoan Stentor Re-Examined. *The Psychological Record*, 17(2), 161–165. <https://doi.org/10.1007/BF03393700>
17. Robinson, H. (2020). Dualism. In *Stanford Encyclopedia of Philosophy Archive* (Spring 202). Center for the Study of Language and Information. <https://plato.stanford.edu/entries/dualism/#MinBodHisDua>
18. Shettleworth, S. J. (2010). Cognition, evolution, and behavior. 700. https://books.google.com/books/about/Cognition_Evolution_and_Behavior.html?id=Qs1qGys0AwC
19. Thagard, P. (2018). Cognitive Science. In *Stanford Encyclopedia of Philosophy Archive* (Spring 201). Center for the Study of Language and Information.
20. Wallace, R., Olson, D. E., & Hooker, J. M. (2023). Neuroplasticity: The Continuum of Change. *ACS Chemical Neuroscience*, 14(18), 3288–3290. <https://doi.org/10.1021/acschemneuro.3c00526>
21. Wikipedia contributors. (2023a). Arduino - Wikipedia. Wikipedia, The Free Encyclopedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino>
22. Wikipedia contributors. (2023b). Avery-MacLeod-McCarty experiment - Wikipedia. Wikipedia, The Free Encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Avery-MacLeod-McCarty_experiment
23. Wikipedia contributors. (2023c). Hair's breadth - Wikipedia. Wikipedia, The Free Encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Hair%27s_breadth
24. Wikipedia contributors. (2023d). Maxwell's demon - Wikipedia. Wikipedia, The Free Encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Maxwell%27s_demon
25. Wikipedia contributors. (2023e). Meme - Wikipedia. Wikipedia, The Free Encyclopedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Meme>
26. Wikipedia contributors. (2023f). René Descartes - Wikipedia. Wikipedia, The Free Encyclopedia. https://en.wikipedia.org/wiki/René_Descartes
27. Кабанава, С. (2023). А ўсё-такі яны аднаўляюцца! РАМЫЛКА, 2, 27–32.

SPEEDRUN' ПАЧАТКУ РАЗВІЦЦЯ ЗІГОТЫ

Улляна Асташкевіч

Ідэя і аўтарства ілюстрацыі
ASTRANTIUS MON



**Шаноўныя чытачы, спадзяюся, з вашага да-
зволу, перафармулюю выказванне фізікаў
на біялагічны лад («Фізік – гэта спосаб спа-
знання атамаў», – Джордж Ўолд²). І нашыя
клеткі падумаюць пра лёс аднае вельмі зна-
чнае клеткі – зіготы. Але чаму такая ўвага
толькі ёй? Давайце разбіраца!**

Пры апладненні адбываецца зліцё звычайна дзвюх плоцевых клетак (або вузай), якія маюць адзінарны (гаплоідны) набор храмасомаў. Гэтак атрымоўваецца адна клетка з поўным, падвойным (дыплоідным) наборам храмасомаў. Яна называецца **зіготаю** (так, тая самая клетка!), і менавіта з яе пачынаецца развіццё цалкам новага арганізму. У гэтым артыкуле я звярну ўвагу на пачатак развіцця зіготы сысуной, а менавіта чалавека. Але трэба адзначыць, што зігота як структура, якая атрымоўваецца пасля зліця плоцевых клетак, харктэрная не толькі жывёле. І са сваймі асаблівасцямі можа выступаць як вынік зліця плоцевых клетак ды першаю клеткаю новага арганізму ў раслінаў, грыбоў або пратыстаў.

Зігота і клеткі пасля яе першых дзяленняў маюць здольнасць да **татыпатэнтнасці** – кожная з клетак можа даць пачатак фармаванню любое тканкі эмбрыёна. Гэтак, у дарослых сысуной больш за 230 розных тыпаў клетак, якія ўтварыліся з адной! Можаце ўявіць, што ў маленькай клеткі патэнцыяль развіцця... неабмежаваны? Рытарычнае пытанне, бо спойлер у кожным з нас.

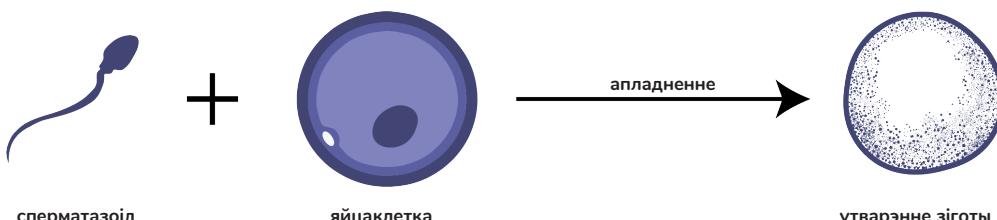
Ну, добра, у нас ёсьць адна клетка, якае дае пачатак развіццю шматклетковага высокаспецыялізаванага арганізму. Але як зігота разумее, што ёй трэба рабіць? Што яе ўвогуле пабуджае да дзеянняў? Як з аднае клеткі атрымоўваецца шмат клетак, якія да таго ж выконваюць розную функцыю?

Развіццё зіготы на ранніх этапах кантралюецца **матчынаю мРНК** (матрыца для сінтэзу бялкоў), якую зігота атрымала ад яйцаклеткі разам з іншымі кампанентамі цытаплазмы. Запас матчынае мРНК патрэбны для першых этапаў развіцця, бо зігота такіх рэсурсаў пакуль не мае. Хоць матчына мРНК і прысутнічала ў яйцаклетцы, але выконваецца функцыю пачынае пасля апладнення.

Наяўнасць такога мРНК разам з цытазольнымі фактарамі значна палягчае развіццё зіготы, бо гэта рэсурс і для падтрымання жыццяздольнасці клеткі, і для рыхтавання зіготы да сінтэзу ўласнае мРНК. Дапамагае клеткам зіготы не страчваць татыпатэнтнасці, а таксама кантралюе правільнасць дзялення і развіцця зіготы.

Каб пачаць спецыялізацыю клетак, трэба павялічыць іх колькасць. Таму зігота пачынае дзяленне. Адны з асноўных генаў, якія падштурховаюць клетку да дзялення, – гены сямейства CDC25, яны дапамагаюць пераходзіць клеткам праз стадыі клеткавага цыклу, кантралююць правільнасць дзялення. Першыя клеткі пасля дзялення зіготы называюцца **blastamерамі**. Прыкладна на стадыі 8 бластамераў пачынаецца актывацыя **зігатычнага геному**. Гэта азначае, што мацярынская мРНК пачынае дэградаваць, а клеткі пачынаюць развівацца з дапамогай уласнае мРНК. Клеткі пачынаюць дзяліцца, але памер структуры застаецца сталы, бо памер клетак памяняшаецца. Калі дасягаеца мінімальны памер клетак, запускаецца праграма росту клетак. На гэтых ранніх стадыях актывуюцца адмысловыя гены, якія вызначаюць будучую арыентацыю і спецыялізацыю клетак. Але перад тым, як нешта абраць, трэба прыняць пастанову. Такою пастановаю можна назваць працэс **дэтэрмінацыі**, а працэс, пры якім выбар рэалізуецца, называецца **дыферэнцыяцыяй**.

Мал. 1. Схематычнае адлюстраванне працэсу апладнення і атрымання зіготы



Мал. 2. Схематычнае адлюстраванне дзялення зіготы да стадыі морулы



¹У відэагульнях – максімальная хуткасць праходжанне відэагульні ці яе часткі.

²«A physicist is the atom's way of knowing about atoms», – George Wald.

Зігота пачынае дзяліцца пад упливам актывацыі генаў сямейства *CDC25*, *Oct4*, *Nanog* ды інш. Стадыя, калі колькасць клетак роўная звычайна 32, называецца морула – шарападобная структура з клетак. На гэтай стадыі пачынаюць быць актыўныя гены, якія адказваюць за будуче дыферэнцыяванне.

Дэтэрмінацыя праграмуе і вызначае лёс кожнае клеткі, якія тыпы тканак будуць развівацца з кожнай з іх, фармуе шлях развіцця клеткі ў складзе розных тканак. Дэтэрмінацыя можа адбывацца на ўзору рэгуляцыі генаў.

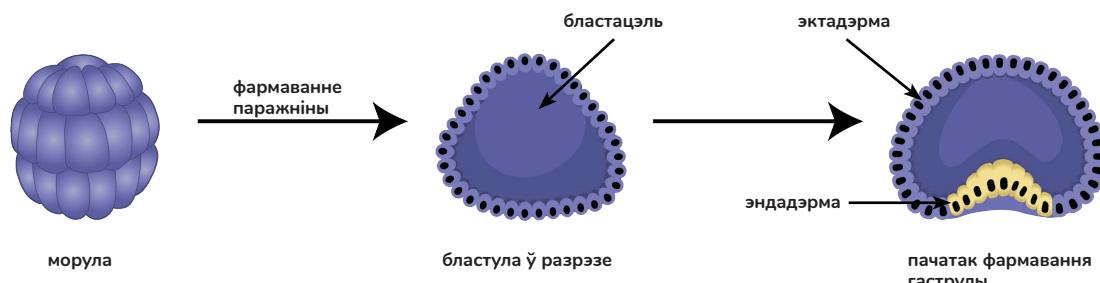
Крытычную ролю ў выкананні праграмаў клеткаю адыгрывае экспрэсія генаў (праўленне актыўнасці гену), а дакладней, іх актывацыя ці заглушэнне ў неабходныя моманты. Дзякуючы такой рэгуляцыі вызначаюцца асноўныя характеристыстыкі і спецыялізацыя клетак. Прыкладам дэтэрмінаванай экспрэсіі генаў можа быць размеркованне структураў пры асиметрычным

дзяленні клетак, што характэрна для чалавека. Умоўна, калі матчына клетка ўтрымлівала малекулы A, B, C, то адна даччыная клетка атрымала толькі кампанент B, а другая – A і C. Праз такое нераўнамернае размеркованне матэрыялу адна клетка больш схільная да хуткае спецыялізацыі (есць умовы для экспрэсіі адпаведных генаў), а другая клетка здольная падтримліваць недыферэнцыянаваны стан.

Наступны важны працэс – **дыферэнцыяванне**, менавіта яно адказвае за ўласна пераўтварэнне стваловай (або растковай) клеткі ў клетку пэўнага тыпу (нервовую, цяглічную ды інш.).

Дыферэнцыяванне клетак рэгулюеца з дапомагаю паслядоўнае змены актыўных генаў. Гэта адбываецца дзякуючы перадачы сігналаў ад аднае клеткі і ўспрыняцця гэтых сігналаў іншымі, магчымасці клетак быць успрымальнымі да індуктыўных сігналаў у пэўны момант.

Мал. 3. Схематычнае адлюстраванне пераўтварэння морулы да гаструлы



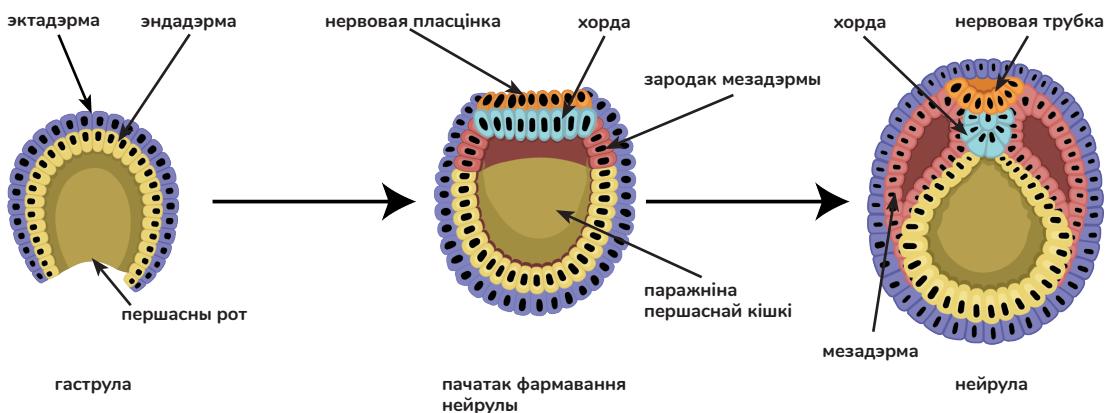
Клеткі морулы пачынаюць рухацца, што прыводзіць да фармавання бластулы з нутраною паражнінай. Паступова пад упливам генаў (ВМТ, *Wnt*) фармавецца эктадэрма (адказвае за вонкавыя структуры) і эндадэрма (адказвае за нутраныя будучыя структуры эмбрыёна)

Важна разумець, што спецыялізацыя клетак цесна звязаная з іх просторавым размяшчэннем. Ад градыенту канцэнтрацыі пэўных малекулаў, лакалізацыі клеткі і яе ўзаемадзеяння з іншымі клеткамі залежыць, якія сігналы і ў якой колькасці клетка можа ўспрыняць, а значыць – вызначыцца, якому тыпу тканак будзе даваць пачатак.

Так наяўнасць градыенту фактару росту па баках эмбрыёна можа ўпłyваць на пераўтварэнне клетак у гэтай зоне ў нервовую тканку.

Яшчэ адзін прыклад – сямейства генаў *Wnt*, адна з функцыяў якіх – фармаванне восяў цела. А парушэнне сігнальнага шляху *Wnt* можа прыводзіць да некантролюванага росту клетак, дэфектаў сістэмаў органаў.

Мал. 4. Схематычнае адлюстраванне пераўтварэння гаструлы ў нейрулу



На стадыі гаструлы скончваецца размеркаванне клетак да эктадэрмы і эндадэрмы, утвараеца першасны рот. У некаторых жывёлінаў, у тым ліку і ў чалавека, на месцы першаснага рта ўтвараеца анальны полюс, а ротовы – на супрацьлеглым баку. На стадыі нейрулы з'яўляеца мезадэрма – трэці слой зародка, які месціцца паміж эктадэрмай і эндадэрмай. Мезадэрма дзеі пачатак косцевай, цяглічнай, злучальнай тканкам, сэрцу і судзінам. На канцы нейрулы закладзеныя асноўныя патэрны размяшчэння і далейшага развіцця тканак і органаў. На стадыі нейрулы адбываеца закладанне нервовай трубкі

Калі падсумаваець, то развіццё – гэта складаны, паслядоўны працэс, які рэгулюеца дзякуючы каардынацыі паміж узаемадзеяннем шматлікіх генаў, а таксама фактараў навакольнага асяроддзя, якія забяспечваюць правільнае фармаванне і размяшчэнне розных тыпаў клетак і тканак эмбрыёна.

Крыніцы:

1. Dean, W., Santos, F., & Reik, W. (2003). Epigenetic reprogramming in early mammalian development and following somatic nuclear transfer. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 14(1), 93–100.
2. Karlsson-Rosenthal, C., & Millar, J. B. A. (2006). Cdc25: mechanisms of checkpoint inhibition and recovery. *Trends in Cell Biology*, 16(6), 285–292.
3. Logan, C. Y., & Nusse, R. (2004). THE WNT SIGNALING PATHWAY IN DEVELOPMENT AND DISEASE. *Annual Review of Cell and Developmental Biology*, 20(1), 781–810.
4. Alberts, B. et al. (2022). *Molecular Biology of the Cell* 7th edition.
5. Gilbert, S.F. (2000). *Developmental Biology*. Sinauer Associates.
6. Wolpert, L., Tickle, C., & Arias, A. M. (2015). *Principles of development*. Oxford University Press, USA.



САМЫ ДЗІЎНЫ ДЫНАЗАЎР

Кастусь Зайрэвіч

Ідэя і аўтарства ілюстрацыяў
Дар'я Роскач



Магчыма, загаловак майго артыкулу можа падацца саманадзейным ці клікбэйтным, але гаворка пойдзе пра дыназаўра, яко-га афіцыйна прызналі самым дзіўным – паводле Кнігі рэкордаў Гінэса. Magу скажаць, што ўсе падставы для гэтага ёсць, хоць канкурэнтаў было дастаткова. Пачнем жа з пачатку.

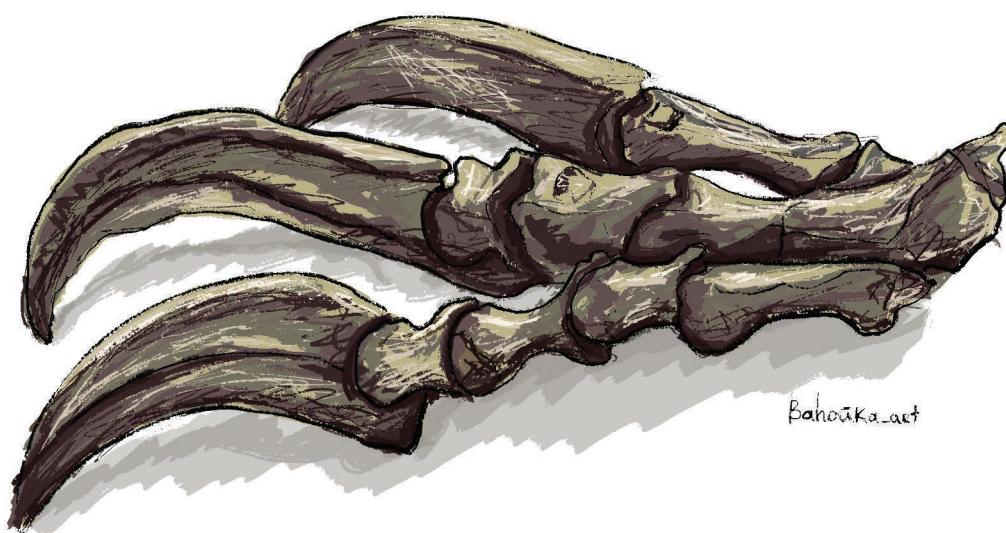
У 1948 годзе савецка-мангольская экспедыцыя на чале з Іванам Яфрэмавым скіравалася на раскопкі ў пустэльню Гобі (фармацыя Нэмэгт у паўднёва-заходняй Манголіі). Навукоўцы выка-
палі вялікія пласты пароды, каб пасля апраца-
ваць іх у больш прыдатных умовах. Што і было зроблена. Сярод знайдзенага былі рэшткі пра-
даўгаватых рэбраў і вялікіх кіпцюроў. Яфрэ-
маў у сваёй кнізе «Дарога вятроў» апісвае гэта так: «Ужо ў Москве ў маналіце са шкілетам драпежнага дыназаўра з Р-5 выявіліся косткі незвычайнага, да гэтага часу невядомага на-
вуцу яшчара. Падобны да вялікага чарапахі метраў шасці даўжынёй і ўзброены метровымі вострымі, як брытвы, серпападобнымі кіпцюро-
мі, яшчар быў насельнікам марскіх узбярэж-
жаў. Малеев [які беспасярэдне зрабіў апісан-
не. – Заўвага аўт.] назваў яго тэрэзіназаўрам (*Therizinosaurus cheloniformis*), што па-грэцку значыць «ящчар-касец»».

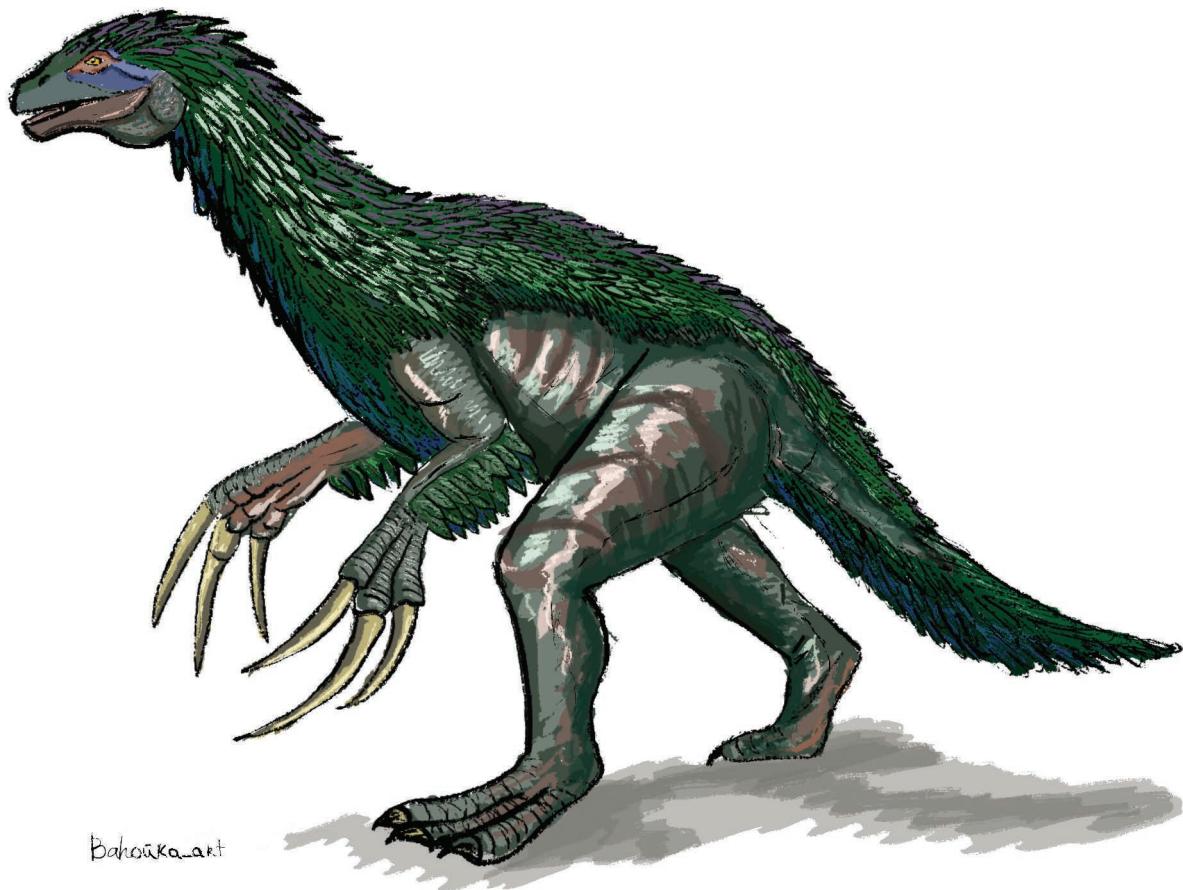
І не дзіва, што навукоўцы былі гэтак уражаныя. Самая буйная кіпцюрная фаланга сягала 52 см, а значыць, жывёліна магла мець кіпцюры 60–65 см! Даўгія рэбры пераканалі Яўгенія Малеева, што перад ім буйная марская чарапаха даўжынёю прыблізна 3,2 метра, а даўгія кіпцюры былі патрэбныя, каб зручней збіраць марскую траву.

Мал. 1. Адмаліваны аналог кіпцюроў

У 1970 годзе савецкі палеонтолаг Анатолій Раждзественскі ў артыкуле «Пра гіганцкія кіп-
цюрныя фалангі загадковых рэптыліяў мезазою»
першы выказаў думку, што **тэрэзіназаўр** –
прадстаўнік тэррападавых дыназаўраў. Як мы
цяпер ведаем, Раждзественскі цалкам меў
рацыю, хаця тады і сам не быў зусім у гэтым
упэўнены: «Ясна, што выказаныя думкі ні ў якой
меры не прэтэндуюць на бязгрешнасць і ў зна-
чнай ступені дыскусійныя, натуральна, могуць
быць пацверджаныя або зняпраўдженыя больш
поўнымі знаходкамі». Можна скажаць, што тэорыя
Раждзественскага сталася глебай, ад якой па-
чалі адштурхоўвацца навукоўцы ў далейшым
назапашванні ды аналізе звестак. Гэтак,поль-
скія палеанталагі Гальшка Асмульска (Halszka Osmólska) і Эва Раневіч (Ewa Roniewicz) у тым
же 1970-м змаглі апісаць стрыечнага брата
тэрэзіназаўра – дэйнахейруса (*Deinocheirus*).
А мангольскі палеонтолаг Рынчэнгійн Барсбалд
(Ринченгійн Барсболд) у 1976 годзе апісаў
плячо і перадплечча тэрэзіназаўра, канчаткова
даказаўшы, што той – тэррапод. У пачатку 1980-х
адбыўся сапраўдны бум знаходак і апісан-
ня тэрэзіназаўраў: эрліяназаўры (*Erliansaurus*,
2002), эрліказаўры (*Erlikosaurus*, 1980), на-
троніхусы (*Nothronychus*, 1998), сэгназаўры
(*Segnosaurus*, 1979). Усіх іх разам з тэрэзіназаў-
рам аб'ядналі ў сямейства **тэрэзіназаўрыдаў**
(*Therizinosauroidea*).

Пазнаёмімся бліжэй з нашым герояем на мал. 2.
Адносицца тэрэзіназаўр да падатраду тэррапо-
даў. Гэта былі ў асноўным драпежныя дыназаў-
ры, якія перамяшчаліся на задніх канцавінах (бі-
педалізм, або двуногасць), маглі нялага бегаць,
пярэднія канцавіны ў іх былі альбо рэдукаваныя
(як у тыраназаўра), альбо прыстасаваныя для





Мал. 2. Тэрызіназаўр

фікацыі здабычы (эараптар). Пярэднія канцавіны звычайна мелі 3 пальцы, заднія – 4. Значная частка тэрраподаў была цеплакроўная і пакрытая пер'ем. Тэрызіназаўр быў нетыповым прадстаўніком тэрраподаў. Ягоныя продкі ў свой час сталі на шлях вегетарыянства, што здаралася з тэрраподамі нячаста. Заднія канцавіны былі адносна кароткія, трывалыя і шырокія. Хвост быў вельмі тоўсты, але кароткі. Такое спалучэнне рабіла з тэрызіназаўра вельмі кепскага бегуна. Шыя была даўгая, а галава вельмі малая адносна памераў цела – наступствы пераходу на раслінную ежу. Выказваюцца версіі, што тэрызіназаўр час ад часу не адмаўляўся схапіць і з'есці невялікага сысуна ці дыназаўра, бо форма зубоў такой дыеце спрыяе.

Цяпер мы ведаем, што тэрызіназаўры былі пакрытыя пер'ем. Асабліва можна вылучыць на пярэдніх канцавінах і шыі падоўжаныя да паўметра пёркі, якія, хутчэй за ўсё, маглі распушвацца, як гэта цяпер робяць страусы. Карысная практичная рэч, калі хочаце заўважна павялічыць свае памеры перад драпежнікам, адагнаць яго ці ўразіць прыгажуну самку.

Мы не маём беспасярэдніх доказаў, што тэрызіназаўры былі цеплакроўныя, але ўскосныя доказы ёсць.

Тэрызіназаўры былі вялікія істоты. Самыя вялікія сярод свайго сямейства. Даўжыня – 9–10 метраў, вага – з 3,5 тоны. Некаторыя крыніцы ўказваюць 5 ці нават 6 тонаў, але мне такія звесткі падаюцца завышанымі, і тут тырчыць хвост экстрапалізацыі суадносінаў вагі і памераў ад сысуноў. У дыназаўраў усё ж былі вельмі лёгкія трабекулярныя (губчатыя) косткі, лёгкія чарапы з вялікімі фенестрамі і паветранымі мяхамі, якія былі важнаю часткай дыхальнай сістэмы, таму нават вельмі вялікія дыназаўры былі вельмі лёгкія адносна свайго памеру. Вышынёю тэрызіназаўр сягаў 5–6 метраў і змог бы спакойна зазірнуць у вакно другога паверху. Гэтага яму хапала, каб аб'ядаць высокія і больш маладыя ды пяшчотныя галінкі дрэваў.

І вось мы падышлі да самай вялікай асаблівасці тэрызіназаўра – пярэдніх канцавінаў даўжынёю 2,5–3,5 метра з унікальнымі 65-сантыметровымі кіпцюрамі. Дарэчы, тэрызіназаўр трапіў у Кнігу рэкордаў Гінэса як уладальнік самых вялікіх кіпцюроў сярод дыназаўраў. Галоўнае пытанне, якое ставяцца перад сабою навукоўцы, – навошта. Адназначнага адказу няма. Але ўсе думкі на гэты конт не супярэчаць і не выключаюць адна адной. Калі Раждзественскі ў 1970 годзе аднёс тэрызіназаўра да тэрраподаў, то палічыў, што кіпцюры выкарыстоўваліся, каб даставаць тэрмітаў

і мурашоў, як гэта цяпер робяць ляніўцы. Апроч знішчэння тэрмітнікаў, даўгімі кіпцюрамі было добра выкопваць карані, рассоўваць расліны, каб дачягнуцца да смачнейшай ежы, ці прыгінаць галінкі, каб зручней яе аб'есці. Таксама лічыцца, што тэрызіназауры маглі карыстацца кіпцюрамі для дэманстрацыі моцы драпежнікамі і карысталіся імі ва ўнутрывідавой канкуренцы.

Дыназауры ўвогуле былі вельмі вялікімі аматарамі (як іхныя нашчадкі – птушкі) патраціць рэсурсы арганізму на часам абсолютна непатрэбныя і нават шкодныя для выжывання рэчы, якія пры гэтым моцна вабяць прадстаўнікоў супрацьлеглага полу. Можна ўспомніць яскравую расфарбоўку, рознага кшталту грабяні і нарасці (драпежнікі ўхваляюць). Ёсць і больш радыкальныя варыянты. Напрыклад, навукоўцы прыйшли да высновы, што адзін з самых славутых дыназаураў – трыцератапс – не карыстаўся рагамі для абароны ад свайго галоўнага ворага – яшчэ больш вядомага тыраназаура, бо чэрап і рогі былі проста непрыстасаваныя наносіць удары. Яны не вытрывалі б нагрузкі і ўсё скончылася б зламаным рогам, але вялікія прыгожыя рогі маглі ўразіць самку. Паводле гэтай жа аналогіі тэрызіназауры мог выкарыстоўваць кіпцюры –

для дэманстрацыі самцы, што лепей хлопца за яго ўва ўсёй Манголіі не знайсці. Ці пры набліжэнні драпежніка распушыць свае даўгія пёркі на пярэдніх канцавінах, выставіць кіпцюры і ўзняцца, каб паказаць, што да яго лепей нават не набліжацца, бо істота ён небяспечная. Але ці мог ажыццяўіць свае пагрозы насамрэч? Усё сведчыць пра тое, што без кіпцюроў-зброй тэрызіназауры не выжыў бы. Бо мы маем вельмі павольнага дыназаура без моцных сківіцаў, які ніяк не мог бы адбівацца сваім кароткім хвастом і не меў ніякіх шанцаў уцячы. Так, ён быў вялікі, а часам толькі памер можа ратаваць істоту ад драпежнікаў (як гэта часта бывала ў заўраподаў, калі драпежнікі мелі шанцы толькі ў стасунку да маладых, хворых і старых істотаў), але тэрызіназауры жылі ў суседстве з тарбазаурамі (*Tarbosaurus*).

А гэта былі найбліжэйшыя сваякі тыраназаураў, ім яны мала саступалі ў памерах, масе і моцы сківіцаў. Дзесяціметровы монстр вагою 5 тонаў з 8,5-сантыметровымі зубамі і хуткасцю бегу да 29 км/г (тэарэтычна). І што мог такому драпежніку супрацьпаставіць тэрызіназаур? Калі не ўлічваць кіпцюроў, то нічога. Ні ўцячы, ні адбіцца.

Мал. 3. Тарбазаўр



Але тэрызіназаўры мільёны гадоў паспяхова сусінавалі разам з тарбазаўрамі. Таму лагічна зрабіць выснову, што ўсё ж кіпцюры былі зброяй супраць драпежнікаў – толькі гэта і магло бы яго ратаваць. Тэрызіназаўр мог за кошт даўжыні пярэдніх канцавінаў трывамаць дыстанцыю ад тарбазаўра і наносіць кіпцюрамі ўдары, ці нават хутчэй уколы (бо край кіпцюроў не быў востры ў адрозненне ад кончыка), як гэта робяць фехтавальнікі, у раён галавы і шыі ворага, што для апошняга магло скончыцца вельмі кепска. Хутчэй за ўсё, тарбазаўры нават не спрабавалі атакаваць настолькі абароненай істоты, бо наступствы ад ранаў (нават пры ўдалым паляванні) маглі прывесці да траўмай самога драпежніка, якіх тыя вельмі намагаліся ўнікаць і не любілі авантураў (у адрозненне ад таго, як гэта паказваюць у галівудскіх фільмах). Каб весці фехтавальны бой з тарбазаўрам, тэрызіназаўр мусіў мець добрую каардынацыю. І тут мы падыходзім да самай цікавай асаблівасці гэтага дына-зашара. Высвятляеца, што ў расліннаеднага дына-зашара (а такія звычайна не былі Спінозамі) захаваўся ад драпежных продкаў надзіва развіты мозг! Мазжачок і вочныя долі былі надзіва добра развітыя. І таму тэрызіназаўр мог добра ацаніць адлегласць да ворага і каардынаваць свае ўдары. Але што рабіць, калі вораг знянанецку падкрадзеца ззаду? Даследаванні мозга тэрызіназаўрыдаў сведчаць пра развітасць лобнае долі галаўнога мозга, што можа сведчыць пра сацыяльныя паводзіны. А значыць, магчыма, былі і сацыяльныя групы – статак. Яны маглі забяспечваць назіранне і своечасовае выяўленне драпежнікаў. А для заўважанага тарбазаўра было б сапраўдным самагубствам нападаць на статак настолькі добра абароненых траваедаў. Мяркуюць, што ў плане сацыяльнасці тэрызіназаўры перасягалі кракадзілаў, але саступалі птушкам.

Тэрызіназаўры з'явіліся каля 70 мільёнаў гадоў таму ў канцы Крэйдавага перыяду. Жылі на тэрыторыі сучасных Манголіі і Кітаю. Тэрыторыя тады ўяўляла сабою буйныя вільготныя лясы, але ўзімку тэмпература там была даволі нізкая. Пачыналі яны свой жыццёвы шлях адразу самастойна – падставаў думаць, што бацькі хоць неяк клапаціліся пра патомства, няма. Моладзь намагалася трывамацца ў глыбіні гушчароў, каб унікаць сустрэчы з драпежнікамі, актыўна там харчавалася і старанна расла. Да статкаў дачукаліся, толькі калі дасяглі больш-менш па-раўнальнага з дарослымі памеру. Да гэтага часу дажывала меншыня.

Канец тэрызіназаўрам настаў 65,5 мільёна гадоў таму, калі ў Зямлю ў ваколіцы сучаснага паўвострава Юкатан (Yucatán) упаў дзесяцікаметровы метэрарыт, выклікаўшы шэраг экалагічных крызісаў, што прывяло да вымірання значае колькасці відаў. Цяпер гэта вядома як **крэйдав-палеагенавае** выміранне. У першую чаргу паярпелі найбольш спецыялізаваныя віды з доўгім часам росту і дасягнення плоцевае спеласці. Хто быў найбольш прыстасаваны і трывала ўтрымліваў сваю экалагічную нішу, той і вымер (усе дына-зашары, марскія рэптыліі і птэразаўры, большая частка кракадзілаў і птушак). Яны пакінулі зямлю больш універсальнымі відамі з хуткім размнажэннем і ростам. Быў сярод вымерлых відаў і тэрызіназаўр.

Крыніцы:

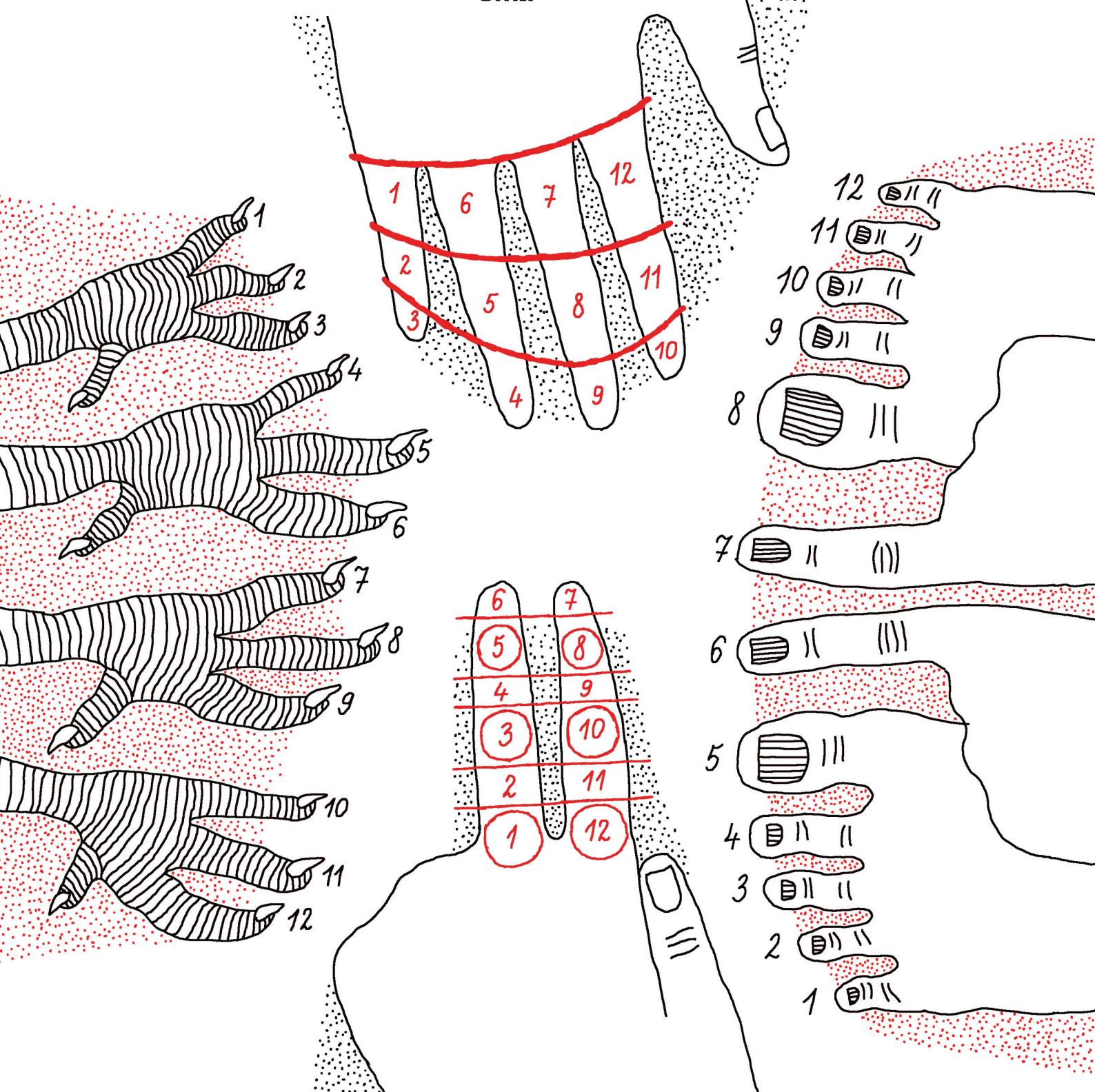
1. И.А. Ефремов. Дорога ветров (Гобийские заметки). – М.: Трудрезервиздат, 1956. – 360 с.
2. А.К. Рождественский. На поиски динозавров в Гоби. – 3-е изд. – М.: Наука, 1969. – 294 с.
3. А.К. Рождественский. О гигантских когтевых фалангах загадочных рептилий мезозоя. – Палеонтологический журнал, 1970: с. 131–141.
4. Paul, Gregory S. The Princeton field guide to dinosaurs – 2nd edition. – Princeton, N.J. – 1 online resource (360 pages)

ШТО ТАКОЕ СЫСТЭМА ЗЪЛЧЭНЬЯ?

Аляксей Бусылайка



Ідэя і аўтарства ілюстрацыі
Вольга Пранкевіч



Але як гэта? Паглядзім бліжэй, што адбываецца ўва ўсім вядомай систэмзе зылічэння (далей с. зыл.) – **дзесятковай**. У ёй наш **альфабэт систэмы зылічэння** – набор ужываных лічбаў – складаецца зь дзесяці знакаў (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9), зь іх дапамогаю мы натуральна можам запісаць любы лік да дзеявіці ў адным разрадзе¹. Можна ўявіць сабе ўсе гэтыя значкі ў выглядзе кальца, як у старым тэлефоне, дзе пасыль 0 ідзе 1, пасыль 1 – 2... А што пасыль 9?

Вядома ж, 0! Тут адбываецца галоўны фокус – **перапаўненне разраду**. Калі да 9 дадамо 1, то адзіны разрад, зь якога складаецца наш лік, скідаецца да нуля, бо пасля 9 больш лічбаў няма, а дабаўленую адзінку мы запісваем ужо ў новым разрадзе, гэтак атрымліваецца 10. Пасля чаго лічым далей: 11 -> 12 -> 13 -> ... -> 19 -> [першы разрад скідаецца да 0, другі павялічваецца на адзінку] 20 -> ... -> 99 -> [першы разрад перапаўняеца, і тут бы дадаць 1 да другога, але другі перапаўняеца таксама, і таму адзінка выносіцца ў наступны, трэці разрад] 100. Тут ужо ясна, што гэтаク сама будзе і для сотняў, і для тысячай, і гэтаク далей.

Колькасьць лічбаў для запісу лікаў можа быць якото заўгодна. Гэта называецца асноўныя систэмы злічэння. Вось толькі што мы выкарыстоўвалі дзесяць розных лічбаў, ці, інакш кажучы, систэму злічэння з асноваю 10. А можам выкарыстоўваць аснову 2. Тады наш альфабэт с. зьл. будзе зъмяшчаць два знакі – 0, 1. Лічым мы ў такім выпадку гэтак:

0 -> 1 -> [перапаўненне разраду]
10 -> 11 -> [перапаўненне першага разраду, потым другога] 100 ->
101 -> etc.

Аснова с. зъл. 3: 0 -> 1 -> 2 -> 10 ->
11 -> 12 -> 20 -> 21 -> 22 -> 100 ->
101 -> 102 -> etc.

Аснова с. зъл. 8: 0-> 1 -> 2 -> 3 -> 4
-> 5 -> 6 -> 7 -> 10 -> 11 -> 12 -> 13
-> 14 -> 15 -> 16 -> 17 -> 20 -> etc.

А што, калі аснова сыштэмы большая за колькасць вядомых нам лічбай? Для гэтага найчасцей выкарыстоўваюцца лацінскія літары.

Напрыклад, шаснаццатковая систэма зылічэння выкарыстоўвае альфабэт на 16 знакаў: ад 0 да 9 і A, B, C, D, E, F. Лічэнныне ў гэтай систэме будзе выглядаць наступным чынам:

0 -> ... -> 9 -> A -> B -> C -> D ->
E -> F -> [перапаўненьне першага
разраду] 10 -> 11 -> 12 -> ... -> 1E
-> 1F -> 20 -> ... -> 2A -> 2B -> 2C ->
... -> FF -> [перапаўненьне першага і
другога разрадаў] 100.

Калі трэба больш за 16 знакаў (здараецца ня вельмі часта), то звычайна праста дабіраюць літары з лацінскага альфабету. Напрыклад, у **дваццатковай** с. зыл, выкарыстоўваюцца лічбы ад 0 да 9 і літары ад A да J.

Каб адрозыніваць лікі ў розных систэмах звычэйна, выкарыстоўваюць наступны запіс. 100_2 можа чытацца як «4 у дзвайковай систэме», 100_{10} – «100 у дзесятковай», 100_{16} – «256 у шаснаццатковай», $14A_{16}$ – «330 у шаснаццатковай», $14A_{20}$ – «490 у дваццатковай».

Усе систэмы, апісаныя вышэй, – **пазыцыйныя**: велічыня лічбы залежыць ад яе пазыціі ў ліку. Напрыклад, лічба 2 абазначае дзьве адзінкі ў ліку 52_{10} , у ліку 29_{10} – ужо два дзясяткі, 4233_{10} – дзьве сотні. Ці, напрыклад, Б у ліку $2B_{16}$ роўнае 11_{10} , а ў ліку $B2_{16}$ роўнае 176_{10} (працэс пера-воду адных систэмай зьяўляецца ў іншыя пакажу пазней).

Е́сьць і **непазыцыйныя** систэмы зылічэнья. Як можа зразумець з азначэння, вага кожнае лічбы ў ёй дакладна вызначаная і не залежыць ад становішча ў ліку. Найлепшы прыклад тут – рымская с. зыл. Напрыклад, лік $IX = 9_{10}$, а $XI = 11_{10}$, але і ў першым, і ў другім выпадку Х абазначае менавіта 10, незалежна ад таго, на якой пазыцыі Х стаіць.

Такі ж непазыцыйны прынцып выкарystоўвалі і выкарystоўваюць шмат якія іншыя с. зыл. : грузінская, габрэйская, грэцкая, кірылічная, армянская, і г. д., дзе ў якасці лічбаў выкарystоўваюцца літары альфабету. Ніжэй – прыклад славянскага зылічэння, дзе для адрозніванья лікаў да звычайных літараў над лікамі пісалі адмысловы знак – **тытул**. [1]

ā	ē	ā	ā	ē	ā	ā	ī	ā
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ī	ķ	ā	ā	ī	ō	ā	ī	ā
10	20	30	40	50	60	70	80	90
ŗ	č	ā						
100	200	300	400	500	600	700	800	900

¹Разрад – пазырныя лічбы ў запісе ліку. Разрады нумаруюцца справа налева, пачынаючы з нуля.

I назад.

Лік **MCMXLII**, тоўстым вылучаныя лічбы, меншыя за наступныя (C, X), іх будзем адымаць, а ўсё астатнія складаць. Лічым: $M + M + L + I + I - C - X = 1000 + 1000 + 50 + 1 + 1 - 100 - 10 = 1942$.

Гісторыя лічбаў і ўжываныне розных систэмай зылічэння

Самаю першаю формай запісу лікаў была, хутчэй за ўсё, ужо згаданая ўнарная. Часта менавіта на ёй вучачца лічыць у раннім веку, выкарыстоўваючы падліковыя палачкі. Таксама такую систэму выкарыстоўваў, напрыклад, Рабінзон Круза, робячы засечкі на слупе й гэтак рахуючы дні на востраве. Такая систэма, вядома, вельмі навочная, але вельмі грувасткая: звычайна складаныне і адніманыне ў такой систэме ператвараецца ў сапраўдныя жахи.

Таму пазней у розных месцах Зямлі зьяўляліся іншыя спосабы запісваць лікі, і часта яны былі звязаныя менавіта з лічэннем на пальцах. Тут варта крыху спыніцца і сказаць пару словаў пра гісторыю лічбаў *per se*.

Лічбы – систэма знакаў для запісу лікаў у розных систэмах зылічэння. Вядомыя нам лічбы ад 0 да 9 маюць індыйска-арабскае паходжаныне. Мне падаецца, іх гісторыя прыблізна вядомая шмат каму, а таму падрабязна спыняцца на ёй ня буду. Нагадаю толькі, што індыйска-арабскія лічбы ўзынілі калі V ст. н. э. у Індыі, і ў Сярэдніявеччы былі прывезеныя ў Эўропу арабскімі навукоўцамі. З таго часу ў Эўропе яны крыху памянілі выгляд, а вось у шмат якіх ісламскіх краінах дасюль выкарыстоўваецца іх арыгінальнае арабскае напісаныне.



Выявы рымскіх лічбаў наўпрост звязаныя з лікам на пальцах. Лічбы I, II, III, IIII – выява колькасці пальцаў, V увасабляе руку з чатырма прыціснутымі адзін да аднаго пальцамі і адстайленае вялікім пальцам, а X – гэта дзве V, або дзве скрыжаваныя руки.

Таксама, як я згадваў, былі спробы выкарыстоўваць літары розных алфабетаў у якасці лічбаў. Што цікава, такія алфабетныя лічбы існавалі ўсіх этнасаў, якія вынаходзілі свой уласны алфабэт (гаворка ўласна пра алфабэт – зь пісьменнасцю на аснове герогліфаў такі фокус можа не атрымашацца). Калі вы ўжо маеце систэму знакаў, то чаму не выкарыстоўваць яе ж, але крыху зъмяніць і прыстасаваць для запісу ўжо на словаў, а лікаў? [1]

Рэч у тым, што такія систэмы, як правіла, усё яшчэ непазыцыйныя, а значыць, атрымліваючыя дастаткова грувасткі і не пасуюць для вялікіх ці дакладных вылічэнняў. Паспрабуйце запісаць рашэнне квадратнага раўнанія або дробу рымскімі лічбамі! Менавіта таму разам з індыйска-арабскімі лічбамі ў Эўропе зьяўляеца і пазыцыйнасць у систэмах зылічэння, што дужа спрашчае матэматычныя запісі і спрыяе разьвіццю матэматыкі.

Вяртаючыся да гісторыі с. зыл., можам пастанавіць, што хопіць з нас запісваць па палачцы за кожны предмет. Цяпер будзем лічыць усе аб'екты дзясяткамі – паводле колькасці пальцаў на дзвеюх руках. І гэтак зьяўляеца **дзесятковая** с. зыл., якая цяпер выкарыстоўваецца амаль паўсюдна.

Калі дадаць яшчэ і пальцы на нагах, можна таксама лічыць па дваццаці! Гэтак зьяўляеца **дваццатковая** систэма. Яе ў свой час выкарыстоўвалі мая і ацтэкі. І хоць і яна не паўсюдна выкарыстоўваецца цяпер, съяды рахавання дваццаткамі можна знайсці ў шмат якіх мовах. Напрыклад, у грузінскай пры ліку ад 20 да 99: ოცდაოთ ots-da-at – ‘дваццаць-і-дзесяць’ – 30, ომოცდაහՅոգմէց o(m)-ots-da-shvidmeti – ‘два-дваццаць-і-сямнаццаць’ – 57. У французскай пры ліку ад 80 да 99: quatre-vingt-sept – ‘четыры-двадцать-сем’ – 87, quatre-vingt-dix – ‘четыры-дваццаць-дзесяць’ – 90. Падобна ліцаць і ў кельцкіх мовах, альбанскай, баскскай і дацкай, у іншых мовах Каўказу.

З пальцамі на руцэ звязаная і **дванаццатковая** с. зыл., але тут мы выкарыстоўваем вялікі палец як паказальнік, і лічым ім не самыя пальцы, а фалангі. Гэтак на адной руцэ ўдаецца далічыць да 12, а на дзвеюх – да 24, што ўжо значна больш! Але гэта не адзінай добрая ўласцівасць дванаццатковай с. зыл. Ёсьць яшчэ і большая колькасць дзельнікаў, чымся для дзесятковай, а такім чынам і прасцейшыя арытмэтычныя апэрацыі пры дзяленні ў множаныні на 2, 3, 4, 6 і 12.

Дванаццатковую с. зыл. вельмі актыўна ўжывалі яшчэ ў старажытны час шумеры і бабіёнцы, нарочы з **шасцідзесятковай**. Такое выкарыстаныне дзвеюх систэмай мела свой сэнс, бо 12 – адзін з дзельнікаў 60, а значыць, пералічваць з аднае систэмы ў іншую таксама зручна. Менавіта дзякуючы шумерам, а потым эгіпцянам і грэкам мы дасюль часткова карыстаємся гэтымі систэмамі: 60 сэкундаў у хвіліне, 60 хвілінаў у гадзіне, 24 гадзіны ў соднях і 360 градусаў у круже. [1]

Трошкі наводдаль білягічна абумоўленых систэмай зылічэння – **двойковая** і **шаснаццатковая**. Двойковую с. зыл. выкарыстоўвалі інкі на працягу ўсёй сваёй гісторыі ў вузельчыкавым пісьме кіпу (quipu, khipu). Таксама, падаецца, кіпу выкарыстоўвалася і як пісьмовая систэма,

але навукоўцы пакуль так і не зразумелі, як мечавіта. Двойковую с. зыл. у сучасным яе выглядзе апісаў яшчэ Готфрыд Ляйбніц (Gottfried Leibniz) у 1703 годзе і нават паспрабаваў пабудаваць вылічальную машыну, якая яе выкарыстоўвае, але закінчыў гэтую справу, бо тэхналёгіі таго часу не дазвалялі пайсьці далей за тэорыю. [2]

Двойковая с. зыл. выкарыстоўваецца абсалютна ўсюды ў кампьютарах, аўтаматах і вылічальнай тэхніцы. Чаму не дзесятковая? У якасці базавай ячэйкі памяці ў кампьютары выкарыстоўваецца трывер – электронная схема. Адзін трывер выкарыстоўваецца для захоўвання аднае лічбы. І калі ствараць трывер, які б запамінаў лік, скажам, 234_{10} як ён ёсьць у дзесятковай с. зыл., то гэта азначала б, што кожны трывер павінен працаўваць у 10 розных станах. А гэта ўжо моцна ўскладняе мікрасхему і, натуральна, кошт усяго кампьютара. Таму ўжо ў пачатку эры кампьютараў (1940-я гг.) інжынеры адмовіліся ад гэтай ідэі, садзымулі пыл з красылюнкаў Ляйбніца і пастанавілі будаваць прасцейшыя ды надзейныя трыверы, якія працуяць толькі ў двух станах – 0 і 1. Вось і атрымліваецца, што запіс на лік 234_{10} кампьютару як 11101010_2 значна прасцей, чымся рабіць гэта ў любых іншых с. зыл. (Аднак спрабы пабудаваць кампьютары на базе недвойковое с. зыл. былі, самыя паспяховыя зь якіх працаўвалі на трайковай с. зыл. Трайковая, здаецца, мае самы вялікі патэнцыял сярод іншых с. зыл., таму эксперыменты ў гэтым полі не спыняюцца.)

Таму калі вы чулі, што кампьютар думае адзінкамі і нулямі, то гэта можна разумець абсалютна літаральна. Уся інфармацыя ў кампьютары – у двойковай систэме, і ўсе апэрацыі над імі адбываюцца гэтаксама ў двойковай с. зыл. з дапамогаю мікрасхемаў, якія працуяць на двойковай лёгіцы. [3]

Шаснаццатковая систэма таксама вельмі часта выкарыстоўваецца ў кампьютарнай тэхніцы. Пераважна таму, што рабіць двойковы запіс больш кампактавым – у яе можна зручна й хутка пеправодзіць з двойковай, дый выглядае яна больш звыкла, чымся штыкетнік з адзінак і нулёў. У нізкаўзроўневым праграмаванні і тэхнічнай дакументацыі адрасы рэгістраў (набор трывераў) у працэсары пазначаны ў шаснаццатковай систэме.

Яе ж выкарыстоўваюць для адрасу і ў інтэрнэце. Сучасныя IP-адресы (прыблізна з 2019 года, IPv6) звычайна запісваюцца з дапамогаю шаснаццатковай с. зыл. Прыклад такога адрасу: 2001:1db2:11a3:09e7:1f34:8a2f:07a0:725d.

Шаснаццатковую систэму можна знайсці ў Юнікодзе (Unicode). Гэта табліцы для сымбаляў амаль любое пісьмовае мовы съвету. Ці не любы сымбаль мае ў Юнікодзе свой унікальны ідэнтыфікатор, зададзены ў шаснаццатковай систэме. Напрыклад, кірылічная Р мае код U+0420, а Ў – U+040E.

	о	1	2	3	4	5	6	7	8	9	А	В	С	Д	Е	Ф
U+040х	Ё	Ё	҃	҃	€	Ѕ	І	Ї	Ј	Љ	Њ	Ћ	Ќ	Ї	Ӯ	Ҫ
U+041х	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	Ӣ	Ӣ	Ӣ	Ӣ	Ӣ	Ӣ	Ӣ
U+042х	Р	С	Т	У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ҋ	Ҋ	Ҋ	Ҋ	Ҋ	Ҋ
U+043х	а	б	в	г	д	е	ж	з	и	Ӣ	Ӣ	Ӣ	Ӣ	Ӣ	Ӣ	Ӣ
U+044х	р	с	т	у	ф	х	ц	ч	ш	щ	Ҋ	Ҋ	Ҋ	Ҋ	Ҋ	Ҋ
U+045х	è	ë	ћ	ѓ	€	ѕ	і	ї	ј	љ	њ	Ћ	Ќ	Ї	Ӯ	Ҫ
U+046х	Ѡ	ѡ	҃	҃	҃	҃	ѧ	ѧ	ѧ	ѧ	ѧ	ѧ	ѧ	ѧ	ѧ	ѧ
U+047х	Ѱ	ѱ	Թ	Թ	Վ	Վ	Վ	Վ	Օ	օ	օ	օ	օ	օ	օ	օ
U+048х	Ҫ	܂	܂	܂	܂	܂	܂	܂	܂	܂	܂	܂	܂	܂	܂	܂
U+049х	Ѓ	Ѓ	>F	F	Ծ	Ծ	Ծ	Ծ	Ծ	Ծ	Ծ	Ծ	Ծ	Ծ	Ծ	Ծ
U+04Ax	Կ	կ	Կ	կ	Հ	հ	Հ	հ	Հ	Հ	Հ	Հ	Հ	Հ	Հ	Հ
U+04Bх	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ
U+04Cx	I	Ж	Ж	҃	҃	Լ	Լ	Լ	Լ	Լ	Լ	Լ	Լ	Լ	Լ	Լ
U+04Dх	Ӑ	ӑ	Ӑ	ӑ	Ӕ	ӕ	Ӗ	ӗ	Ӗ	Ӗ	Ӗ	Ӗ	Ӗ	Ӗ	Ӗ	Ӗ
U+04Ex	Ӡ	Ӡ	Ӣ	Ӣ	Ӣ	Ӣ	Ӣ	Ӣ	Ӣ	Ӣ	Ӣ	Ӣ	Ӣ	Ӣ	Ӣ	Ӣ
U+04Fx	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ	Ӯ

Іншае распаўсюджанае ўжываньне шаснаццатковае систэмы – кадаваньне колеру. Калі вы дызайнэр ці мастак, то, напэўна, часта сутыкаўся з каляроваю мадэльлю RGB. Мадэль RGB апісвае ўсе колеры з дапамогаю зъмешвання трох – чырвонага (**Red**), зялёнага (**Green**) і сіняга (**Blue**), выкарыстоўваючы шаснаццатковы лік з 6 разрадаў: напрыклад, #34a8b3. У гэтым ліку 34_{16} – доля чырвонага колеру, $a8_{16}$ – зялёнага, $b3_{16}$ – сіняга (гэта, дарэчы, атрымаецца цёмнатуркусовы, можаце загугліць!). Адпаведна, калі нам трэба праста чырвоны, гэта будзе #FF0000, праста фіялетавы – #FF00FF, абелы – #FFFFFF. [4]

У канцы яшчэ адна задача. Як вы думаеце: да колькі можна палічыць на пальцах рук? Як вы ўжо, напэўна, зразумелі, гэта залежыць ад систэмы зылічэння.

Пачнём зь непазыцыйнай унарнай. Калі будзем лічыць толькі пальцы, то спынімся на 10. Калі будзем лічыць фалангі замест пальцаў, то даличым да 24. Але тут можна пачаць хітраваць: выкарыстоўваем правую руку для падлічвання адзінак да 12, а на левай лічым колькасць тузінаў. Атрымліваецца $12 + 12 + 12 \dots$ і гэтак 12 разоў. Інакш кажучы, $12 * 12 = 144$. Мы можам лічыць да 144 з дапамогай усяго дэзвюх рук!

Тут можна заўважыць, што наагул магчыма лічыць ня толькі фалангі пальцаў, але й месцы сулянення фалангаў ды атрымаць такім чынам

не 12 адзінак на адной руцэ, а ўсе 24. А значыць, хітра лічачы на дэзвюх руках, можна тэарэтычна дайсьці да астронамічна лічбы 576...

Можам ужыць пазыцыйную двайковую систэму для рахунку на руках: загнуты палец будзе азначаць 0, а разагнуты – 1. Які самы вялікі лік можна гэтак атрымаць? Лічачы кожны палец за адзін разрад, складаем вагу кожнага разраду:

$$\begin{aligned} 512 + 256 + 128 + 64 + 32 + 16 + 8 + \\ 4 + 2 + 1 = 1023. \end{aligned}$$

Ня верыце? Палічыце!

Атрымліваецца, калі мы зможем загінаць кожны палец некалькімі рознымі способамі, то нашая лічыльная магутнасць неймаверна ўзрастает! У тэорыі – так, але на практыцы пальцы не прымяюць больш за тры стани: 0 – сагнуты палец, 1 – напаўсагнуты, 2 – разагнуты цалкам. Але нават так у нас атрымліваецца вялікая лічба:

$$\begin{aligned} 2*3^9 + 2*3^8 + 2*3^7 + 2*3^6 + 2*3^5 + \\ 2*3^4 + 2*3^3 + 2*3^2 + 2*3^1 + 2*3^0 = \\ 39366 + 13122 + 4374 + 1458 + 486 \\ + 162 + 54 + 18 + 6 + 2 = 59048. \end{aligned}$$

Таму, калі вас наступным разам папросяць палічыць нешта на пальцах, заўсёды ўдакладнейце, якая систэма зылічэння маецца на ўвазе!

Крыніцы:

1. Chrisomalis, Stephen (2010). Numerical Notation: A Comparative History. Cambridge, England: Cambridge University Press. pp. 133–187. <https://books.google.com/books?id=kXZhBAAAQBAJ&pg=PA182>
2. Ares, J.; Lara, J.; Lizcano, D.; Martínez, M. (2017). «Who Discovered the Binary System and Arithmetic?». Science and Engineering Ethics. 24 (1): 173–188. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11948-017-9890-6>
3. Ternary computer. Wikipedia; 2023.
4. Hexadecimal. Wikipedia; 2023.



СІЛА ПЯСКУ, АБО СВАБОДА ПАД НАГАМІ

Міхась Волчак

Ідэя і аўтарства ілюстрацыяй
Андрусь ТАКІНДАНГ



Перад чалавецтвам стаіць цікавы выклік: як не толькі збіраць энергію, але і захоўваць яе ў вялікіх аб'ёмах ды выкарыстоўваць пры патрэбе.

Як выкапнёвыя, гэтак і аднаўляльныя крыніцы здольныя даваць энергію, калі мы іх беспасярэдне ўжываем. Напрыклад, спальваем газ ці дровы, каб яны давалі энергію (цяпло ці электрычнасць). Як толькі мы перастаём іх спальваць, патрэбнага нам віду энергіі (цеплавой ці электрычнай) няма. Тоэ ж адбываецца і з аднаўляльнымі крыніцамі. Возьмем вецер ці сонца: пакуль яны ёсць, нам прыходзіць энергія, але ўнахцы ці пры бязветраным надвор'і мы гублем магчымасць мець такую энергию.

Каб захоўваць энергию, людзі вынайшлі прыстасаванні і назвалі іх акумулярамі (батарэмі). Шырокі распаўсюд атрымалі хімічныя акумулятары: літые выя, нікель-кадміевая, кобальтавая і шэраг іншых. Але гэтыя акумулятары: а) дарагія (асабліва вялікіх ёмістасцяў), бо патрабуюць рэдказямельных элементаў (за якія, дарэчы, шмат дзе ў свеце ідзе калі не вайна, дык эксплуатацыя рабскага сілы); б) брудныя для глебы, бо выкарыстоўваюць токсічныя электраліты – як падчас вытворчасці, гэтак і пасля выкарыстання (утылізацыя).

Ёсць альтэрнатыўныя акумулятары энергіі, яны экалаґічныя і могуць канкуруваць з канвенцыйнымі. У папярэднім сваім артыкуле (чытайте № 1 зіну Раму́тка) я апісваў тэхналогію, якія ляжаць у аснове гравітацыйных батарэяў. У гэтым матэрыяле я апавяду пра батарэі, заснаваныя на ўласцівасцях пяску. Іх энергію можна ўжываць для абагравання дамоў, цяпліцаў, генеравання пары для індустрыйнае вытворчасці ці выпрацоўвання электрычнасці.

Такія батарэі магчыма рабіць у прымысловым маштабе і для сваёй гаспадаркі ці дому. Зараз вы даведаецца, як тэхналогія пясчаных батарэяў працуе і што ўжо ёсць у свеце.

Уласцівасці матэрыялаў назапашваць цяпло

Цеплаёмістасць

Паспрабуем разабрацца, чаму менавіта з фізічнага гледзішча людзі спыніліся на пяску.

Існуе ўласцівасць рэчываў і матэрыялаў – утрымліваць цяпло. Яе называюць адноснаю (ці ўдзельнаю) цеплаёмістасцю матэрыялу. Гэтая характеристыка паказвае, колькі трэба патраціць джоўляў энергіі, каб нагрэць адзін кілаграм рэчыва на адзін кельвін.

Формула адноснае цеплаёмістасці (*specific heat capacity*) [1]:

$$\text{адносная цеплаёмістасць} = \text{энергія} / (\text{масу} (1 \text{ кілаграм}) * \text{тэмпературу} (1 \text{ кельвін}))$$

Стандартныя ўмовы – гэта 15°C і ціск $101,325 \text{ кПа}$.

Напрыклад, сярод вадкіх рэчываў вада мае найбольшую цеплаёмістасць. Дарэчы, вада лідаруе і сярод цвёрдых прыродных матэрыялаў. Якую ж яшчэ ўласцівасць мае пясок, што можа нам спатрэбіца для батарэяў?

Цеплаёмістасць вады роўная 4184 , у цэглы – 841 , у вугалю – 1262 , нарэшце ў пяску – $710\text{--}780$, а вось у жалеза – 462 . Відаць, што пясок – сераднячок паводле цеплаёмістасці [2].

Шчыльнасць энергіі, ці тэрмальная маса

Мы ведаем, што кілаграм рэчыва можа займаць і малыя аб'ёмы (напрыклад, металы) і даволі вялікія, калі гэта нейкі газ. Таму спецыфічная цеплаёмістасць паказвае, як можа назапашвацца энергія, але не дае вычарпальнага адказу.

Трэба, каб рэчыва было і кампактнае, і магло ўтрымліваць вялікую колькасць цяпла, паступова аддаючы яго. За гэта адказвае іншая ўласцівасць – тэрмальная маса.

Чым больш устойлівы матэрыял ці рэчыва да ваганняў тэмператураў (сезонных ці дзённых), тым большая тэрмальная маса (*thermal mass*). Тут таксама можна прымяніць формулу:

$$\text{тэрмальная маса} = \text{адносную цеплаёмістасць} * \text{масу цела}.$$

Калі мы хочам даведацца тэрмальной масы для адзінкі аб'ёму ($= 1 \text{ м}^3$), дастаткова замест масы паставіць шчыльнасць рэчыва.

Калі возьмем шчыльнасць пяску, атрымаем [3, 4]:

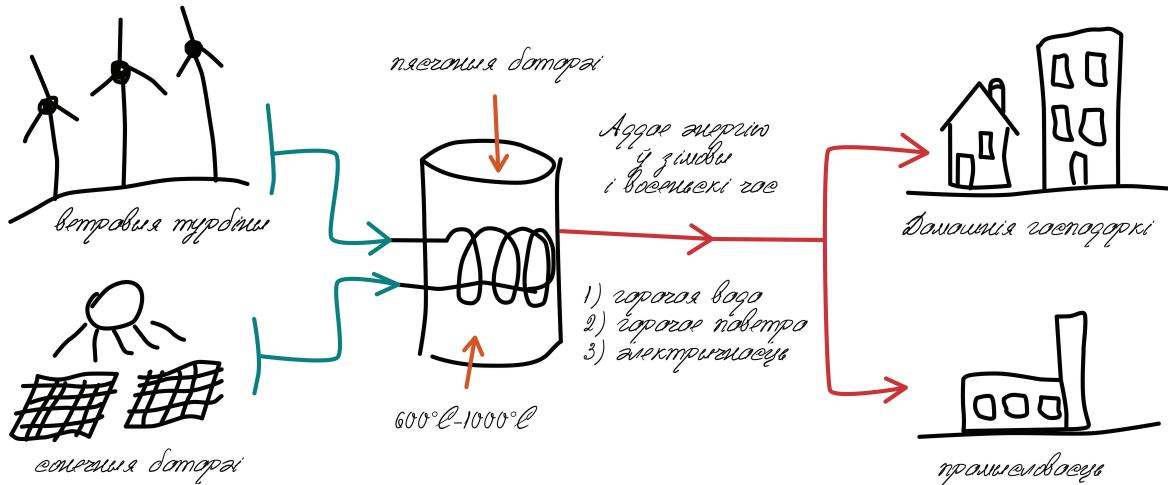
$$\text{тэрмальная маса (пяску)} = 750 * 1600 \sim 1200 \text{ кіладжоўля} / \text{кельвін}.$$

Спатрэбіца для разагравання аднаго кубічнага метра пяску на адзін кельвін. Іншымі словамі, 1.2 МДж энергіі будзе ўтрымлівацца ў кожным градусе пясчанага куба з бокам 1 метр .

Дарэчы, відаць, як газы, пры магчымасці мець высокую цеплаёмістасць, за кошт сваёй малой шчыльнасці маюць даволі невялікую тэрмальнью масу. Напрыклад, той жа вадарод у выніку мае тэрмальнью масу $= 14300 * 0.0898 = (\text{усы-ро!}) 1483 \text{ джоўлі} / \text{кельвін}$. Гэта ўжо зусім няшмат: напрыклад, тая ж вада будзе мець 4184 кДж/К . Пяску ўсё ж яшчэ далёка да таго, што мае вада. Але ўжо не такі вялікі разрыў. Тым больш ёсць яшчэ адна цікавая ўласцівасць, якая нам спатрэбіца ў складанні гэтага пазлу [5].

Тэмпература плаўлення

З вадой ёсць праблема. Напрыклад, калі мы захочам назапашваць тэмпературу больш за 100°C . А практычна гэта мае сэнс. Вада ў такім



Агульная схема функцыянавання пясчаных батарэй у сетцы

стане мяняе агрэгатны стан і робіцца парай. А гэта зусім іншыя ўласцівасці, якія патрабуюць іншага падыходу ў назапашванні (балоны высокага ціску). Дый памятайма: газы губляюць сваю прыцягальнасць, бо іх энергетычна шчыльнасць (тэрмальная маса) не такая вялікая, як у цвёрдых рэчаў.

Паглядзім на пясок. Самая нізкая тэмпература яго плаўлення = 1600°C [6]. Калі ж узяць ня-чысты, то бок з іншымі мінераламі пясок (такі сустракаецца часцей за SiO_2), дык яго тэмпература плаўлення можа быць 2000°C і больш [7].

Гэтак, мы можам разаграваць пясок да тэмпературы $500\text{--}600^{\circ}\text{C}$ і больш, не пераймаючыся магчымаю зменай яго агрэгатнага стану. Гэтая ўласцівасць дзе большы патэнцыял у захоўванні энергіі і перавагу над вадою.

Дарэчы, разагрэць пясок да $250\text{--}300^{\circ}\text{C}$ не ўжывле вялікае тэхнічнае проблемы нават у хатніх умовах. Глядзіце відэа, а лепш – канал амерыканца Майка. Ён апантаны блогер-экспериментатар і фанат пясчаных батарэй, вядзе канал з выразнаю назваю *Off-grid Survival Mike* і смажыць сабе рыбу на пясчанай батарэі.



Глядзець канал
Майка

Электрычнасць – у цяпло

Вядома, разаграваць пясок можна выкапнёвым палівам ці, напрыклад, дровамі, як гэта зрабіў іншы экспериментатар для падагрэву дому.

У гэтым выпадку я хачу разабрацца менавіта з максімальна аўтаматызаваным падыходам: атрыманнем цяпла для нашае батарэі з лішкай зялёной электраэнергіі. Значыць, наш пясок будзе разагравацца з дапамогай электрычнасці нейкім награвальнікам.

Напрыклад, для свайго эксперыменту брытанскі гік-фізік бярэ звычайны награвальны элемент для электрачайніка за 5 фунтаў.



Наш награвальны элемент будзе награваць не ваду, а пясок.

Трэба высветліць, якімі ўласцівасцямі мусіць на-агул валодаць награвальныя элементы.

1. Высокая тэмпература плаўлення. Бо батарэя будзе амаль увесі час трymаць высокую тэмпературу (гэта яе асноўная ўласцівасць).
2. Устойлівасць да акіслення. Пясок можа ўтрымліваць кісларод, ваду і розныя міне-ралы.
3. Стрэсаўстойлівасць матэрыялу. Сталыя стрэсавыя ваганні на высокіх тэмперату-рах могуць стаміць награвальнік.
4. Пластычнасць матэрыялю. Бо, магчыма, трэба будзе адаптаваць награвальны элемент пад форму (спіраль).
5. Высокое супраціўленне.
6. Нізкі тэмпературны каэфіцыент супра-ціўлення, які паказвае, як змяненне тэмпе-ратуры. У нашым выпадку чым меншы такі каэфіцыент, тым лепш [8].

Насамрэч дастаткова і больш-менш даступных, і дарагіх сплаваў для награвальных элементаў на высокіх тэмпературах. Напрыклад, ніке-ле-хромавы сплаў дае $40 \text{ Ом на } 1 \text{ см}$, маючы пункт плаўлення 1400°C , з тэмпературным каэфіцыентам $0.0004 / ^{\circ}\text{C}$, устойлівы да эрозіі. Ці жалезна-хромавы алюміневы сплаў дае $145 \text{ Ом на } 1 \text{ см}$, маючы пункт плаўлення 1500°C , з тэм-пературным каэфіцыентам $0.000001 / ^{\circ}\text{C}$ і высо-кай устойлівасцю да эрозіі [9].

Ёсць шэраг іншых сплаваў, якія падыдуць, бо награваць пясок нам трэба будзе да тэмпературы 500–600 °C.

Пры чым тут закон Ома?

У нас ёсць абёём пяску і награвальны элемент. Маленькім награвальным элементам можна не здолець нагрэць, напрыклад, некалькі тонаў пяску на свае патрэбы. Таму разуменне супраціўлення награвальнага элемента дае нам магчымасць разлічыць выходную магутнасць награвальнага элемента ды эфектыўна нагреваць ім пэўны абёём пяску. Дарэчы, чым большы абёём пяску, тым больш эфектыўная пясчаная батарэя.

З закону Ома мы ведаем, што напружэнне = сіла току * супраціўленне.

Напрыклад, супраціўленне нашага награвальнага элемента – 100 Ом.

У нас ёсць 6 панэляў па 34 выхадныя вольты. Сумарна маем вольтаў 204.

Сіла току роўная $204/100 = 2.44 \text{ A}$

Магутнасць = сіла току * напружэнне
 $= 2.44 * 144 \text{ вольты} = 414 \text{ ватаў}$ дае наш награвальны элемент.

Блогер эксперыментальна нагрэў з 25 кілаграмаў пяску награвальнікам 15 Ом за некалькі гадзін да 120°C [10].

Згадаем формулу цеплаёмістасці:

цеплаёмістасць 1.6 тоны пяску (тэрмальная маса) = адносная цеплаёмістасць * 1.6 тоны (маса) = 1200 кДж/K .

Вылічыць, напрыклад, тэрмальную энергію тут не складана. Яна роўная тэрмальнай масе, памножанай на разніцу тэмпературы, на якую мы хочам нагрэць цела. Пакуль мы гэтае роз-

ніцы не ведаем. Таму папрацуем з тэрмальнаю масаю, бо яна дае разуменне энергіі для змены 1 куба пяску на 1 градус.

Прыменім першы закон Джоўля для разумення, колькі часу спатрэбіца на гэтае нагреванне і ці правільна мы абрали награвальны элемент (або магутнасць сонечных панэляў):

$$\text{энергія} = (\text{сіла току})^2 * \text{супраціўленне} * \text{час}.$$

$$\text{Час} = \text{энергія} / (\text{сіла току} \cdot \text{квадраце супраціўленне}) = 34 \text{ хвіліны}$$

у такім раскладзе нагревацца наш куб пяску на 1 градус.

У гэтym прыкладзе я паказаў, як награвальны элемент, дакладней – крыніца электрычнай энергіі і нагревальнаяя элементы, узаемадзеюць, каб атрымаць рэалістычны і практичны вынік [11].

Трэба прызнаць, што нагреванне пяску адбываецца нераўнамерна праз цеплаізалацыйныя формы, у адрозненне ад вадкіх рэчываў ці газаў, дзе адбываецца канвекцыя. Тэмпература вакол нагревальных элементаў можа быць значна большая, чымся з краю. Нягледзячы нават на добрую цеплаізалацыю.

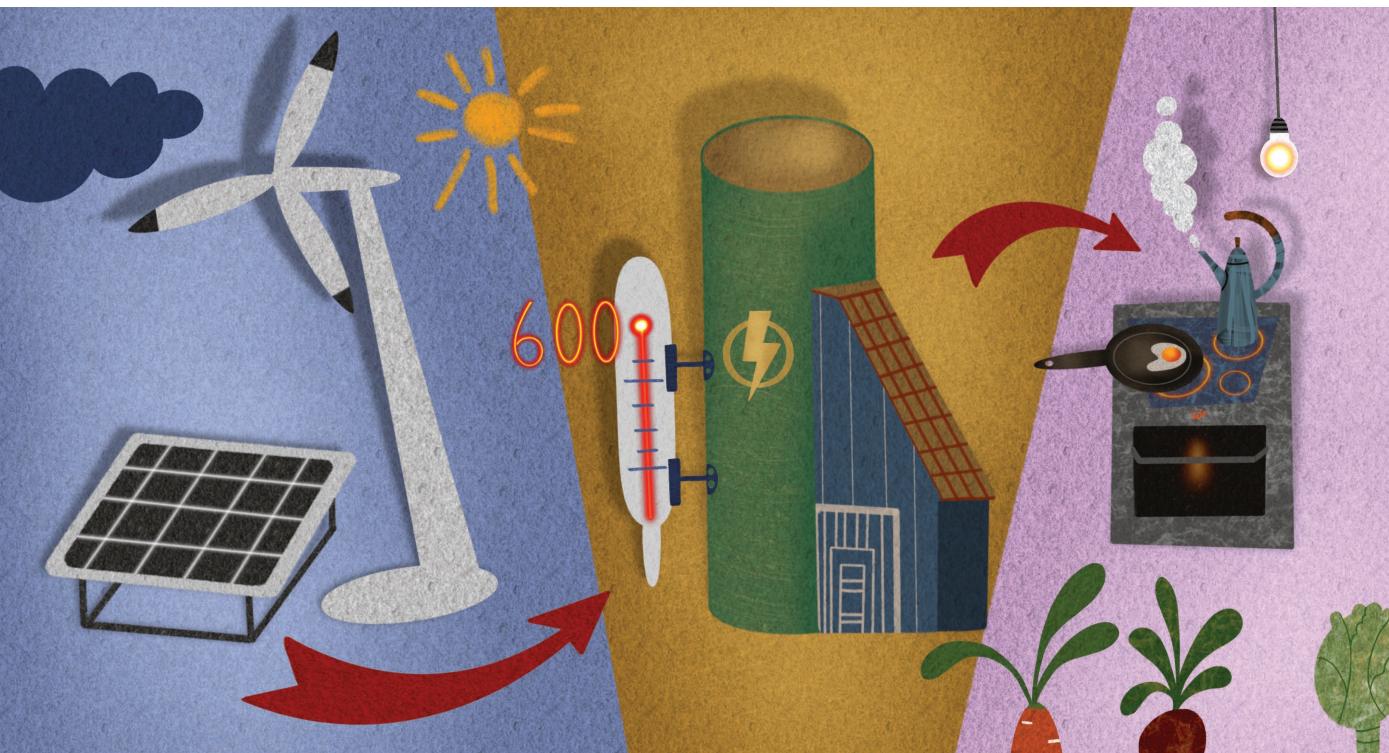
Пераўтвараем цяпло ў электрычнасць

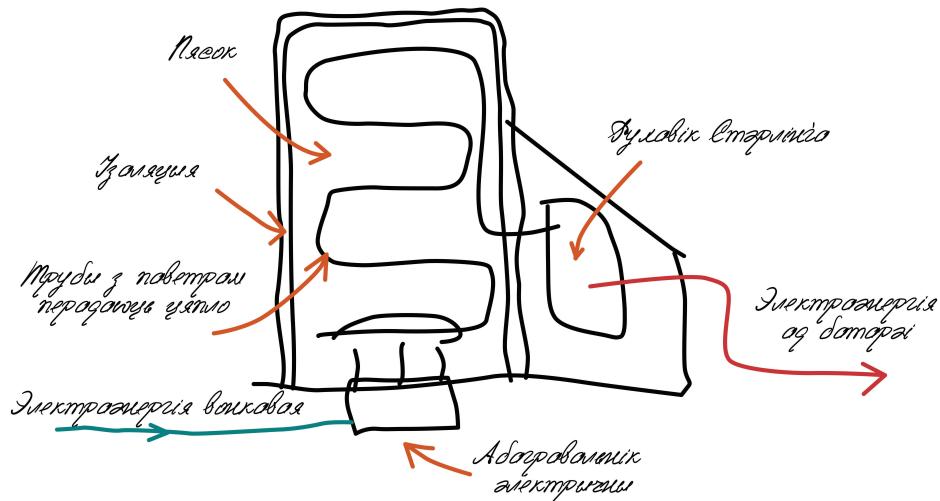
Нагрэтыя да 500–600 °C вялікія абёмы пяску ў цеплаізалацыйных формах могуць ахалоджацца месяцамі. Гэта даволі зручна ў халодны сезон [12].

Ют'юбер-эксперыментатор нагрэў сваю батарэю да 250°C у хатніх умовах. Па-першае, ён амаль не выкарыстоўваў ніякай спецыяльнай ізоляцыі. Ягоная тэхналогія вельмі простая: пастаўленыя адно ў адно вёдры і дзве сонечныя панэлі. Пасля Майк з



Раю паглядзеце
гэтае відэа





Амерыкі замяраў дынаміку ахалоджвання сваёй пясчанай батарэі і атрымаў цікавы вынік.

Праектуючы нашую сонечную батарэю, мы разумеем, на што будзе расходавацца накопленая энергія: абагрэй цяпліцы, дому або вады ці на выпрацоўванне электрычнасці. Ад гэтага залежыць, якія дадатковыя кампаненты мы будзем усталёўваць. Напрыклад, калі на выхадзе батарэі нам патрэбнае гарачае паветра, мы можам усталяваць рухавік С्टэрлінга (Stirling engine), што дапаможа запусціць электрагенераторы прамога току, напрыклад.

На другой схеме вы можаце ўбачыць схематычную структуру пясчанае батарэі.

Наколькі гэта дарагая тэхналогія

Закранём найбольш відавочныя кошты для тэхналогіі, звязаныя з захаваннем энергіі.

1. Асноўны(я) матэрыял(ы) для акумулявання энергіі.
2. Кошт адзінкі энергіі для ладавання.
3. Інфраструктура і яе абслугоўванне.
4. Тэхналогіі (калі ёсць актыўныя патэнты).
5. Дастава энергіі спажыўцу.

Кошт пяску. Пясок – асноўны матэрыял, які будзе захоўваць энергію. Напрыклад, у Польшчы тона пяску каштуе 15–20 злотых, у Беларусі – 7–12 рублёў. Атрымліваецца прыблізна 4–5 долараў у Польшчы і 3–4 долары ў Беларусі. Для малых праектаў, магчыма, дастаткова будзе 5–20 тонай пяску, што каштуе як адзін паход у краму па прадукты.

Акрамя пяску, можа быць жвір [13].

Кошт адзінкі энергіі. Найлепей пасуюць крыніцы ўзнайўляльнай энергіі: калі яны не ўжываюцца, іх кошт мінімальны. Таму мы можам карыстацца энергіяй сонца ці ветру. Найбольш даступна пяціпер у сваім агародзе мець сонечныя панэлі.

Кошты на інфраструктуру шмат у чым залежаць ад мэты. З базавага нам спартрэбіцца: ёмістасці для пяску (гальванізаваныя); трубы, у якіх будзе цыркуляваць паветра (вада?); награвальныя элементы, што адпавядаюць абёму пяску; правады, цеплаізоляцыя (матэрыялы з высокую цеплападаючай і нізкую цеплаправоднасцю адначасова), сістэма контролераў, рэле і датчикаў, якія аўтаматызуюць працэс награвання і астуджэння батарэяў.

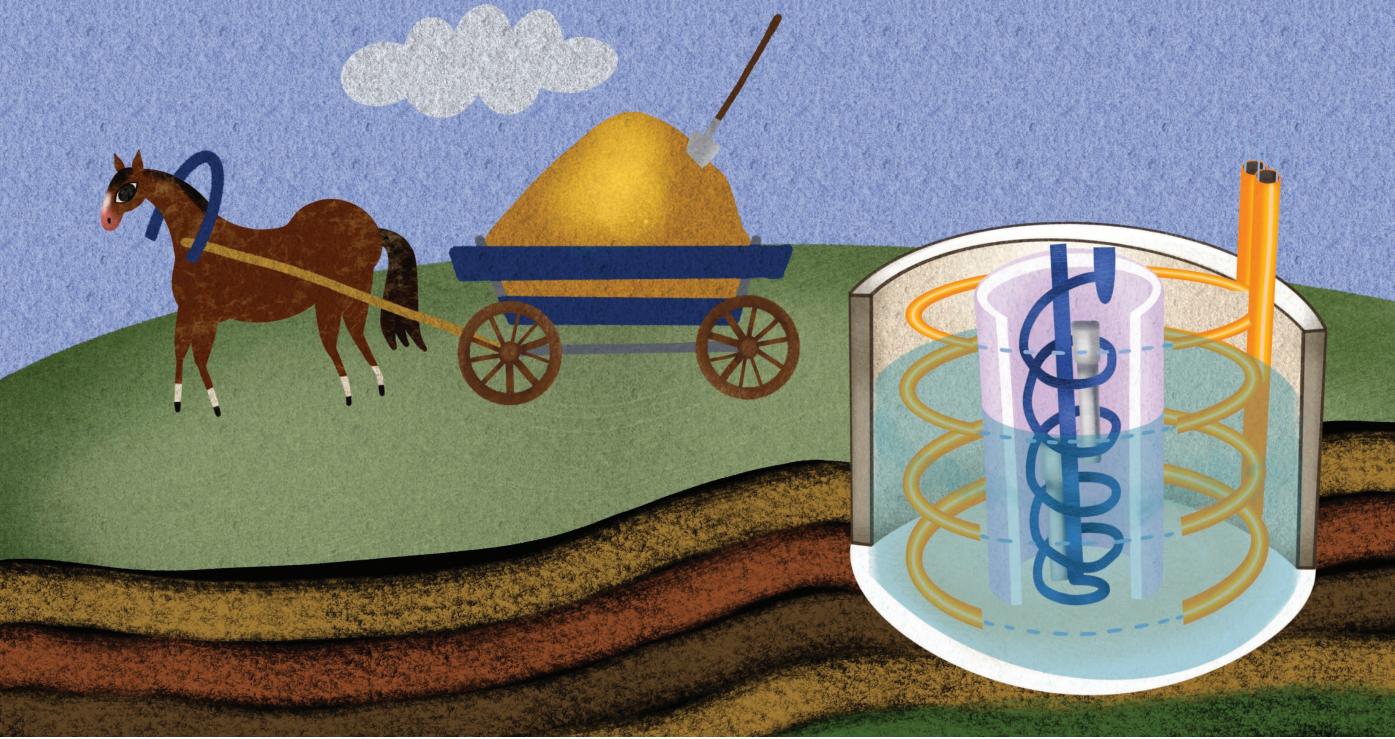
Для выкарыстання энергіі сонечнае батарэі для ацяплення спартрэбіцца турбіна (кулер) адпаведнае моцы, што можа пампаваць гарачае паветра ці ваду па трубах. Калі нашая мэта – электрычнасць, значыць, яшчэ трэба будзе генератор (Стэрлінга, напрыклад).

Абслугоўванне. Гэта асобнае пытанне. Магчыма, толькі практична праверыць, як часта трэба мянуть пясок, ці сушыць яго.

Дастава спажыўцу. Калі гэта генератар на вашым гародзе, тут выдаткі будуць на тое, каб улучыць у сетку абагрэву ці электрычнасці. Такія выдаткі будуць для любой іншай сістэмы.

Новая тэхналогія найчасцей каштуе даражэй за агульна прынятую і пастаўленую на паток традыцыйныя падыходы. Першыя прататыпы – звычайна ручное працы, дый эксперыменты і даследаванні забіраюць свае гроши. Але калі казаць пра энергетычную бяспеку, гэты праект не выглядае вельмі касмічным. Амаль усе кампаненты можна замовіць онлайн (Amazon, AliExpress) ці набыць у мясцовых крамах.

Важна заўважыць, што тэхналогія пясчаных батарэяў для сучасных патрэбай з'явілася ў канцы 1970-х, але тэхналогія так і не была зреалізаваная для камерцыйнага выкарыстання. Шмат з таго, што цяпер з'яўляецца, ёсць прадуктам працы пакаленняў навукоўцаў і вынаходнікаў. Што яшчэ тут ключавое: сам способ атрымання рознай энергіі з цяпла



пяску (ці іншых матэрыялаў) нельга выкарыстоўваць эксклюзіўна. У нейкім сэнсе гэты падыход стаўся ўніверсальна даступным.

Кейс

Вернемся да камерцыйнага кошту, які вылічылі фіны з Polar Night Energy (далей PNE). Стваральнікі камерцыйных батарэяў прапанавалі прыклад саўны з сталаю патрэбоу 0.5 мегават-гадзіны. Кошт адной мегават-гадзіны цяпла PNE ацаніла на 11 еўраў, калі карыстаща пясчанаю батарэяй ёмістасцю (200 мегават-гадзінай). Карыстанне звычайнай электрасеткаю наўпрост для атрымання падобнай энергіі 1 мегават-гадзіну будзе каштаваць 86 еўраў, газам – 70, а цэнтральний ацяпляльнаю сістэмаю – 90 еўраў. Перавага пяску відавочная.

У чым сакрэт таннасці? Фінскія стваральнікі тлумачаць такую эканомію tym, што батарэя ладуеца (на 25 %) за час мінімальных ладаванняў сеткі толькі кожныя 15 дзён. У дадатак – час, калі батарэя разладоўваецца: спажыўцу гэта нічога не каштует. Таму атрымане цяпла каштует радыкальна менш, чымся пры іншых падыходах. Яшчэ стваральнікі з PNE адзначаюць: чым большай ёмістасці будзе батарэя, tym таннейшае будзе цяпло, бо батарэя зможа абраць час мінімальнага кошту энергіі для свайго даладоўвання больш гнутка [14].

Дарэчы, заяўлены PNE жыццёвым цыкл камерцыйна запушчаных прататыпаў – прыблізна 50 гадоў. Як адзначаюць інжынеры, у пясчаных батарэяў рухомыя часткі – толькі рухавікі, якія перамяшчаюць паветра ці ваду або лёгказмянельныя генератары.

БОНУС

Я прыдумаў некалькі практикаарыентаваных задачаў. Хто знайдзе рапшэнне, дасылайце ў пошту рэдакцыі – атрымаеце прыз ад мяне і камунікацыю. Магчыма, мы нешта зробім разам =)

Задачы

1. Якое магутнасці неабходна ўсталяваць сонечныя панэлі ў гародзе, каб можна было нагрэць 5 тонаў пяску да тэмпературы 500°C ?
 2. Колькі часу будзе награвацца 1 тона пяску да тэмпературы 500°C , калі магутнасць крыніцы энергіі – 2000 ватаў, а ККД награвальнага элементу – 70 %.
 3. Якое супраціўленне трэба мець награвальному элементу, каб нагрэць ёмістасць з пяском вагою 1 тона да тэмпературы 500°C ?
 4. Колькі трэба тонаў пяску, каб батарэя мела магутнасць 1 мегават-гадзіна і магла награвацца ад сонечных панэляў агульнаю магутнасцю 1000 ватаў?
 5. Які матэрыял награвальніка найбольш пасуе для награвання пяску? Падумайце над задачай і прапануйце 2 варыянты, зазначыўши плюсы і мінусы.
- Яшчэ цікавінкі пра батарэі.
- Пясок, які засыпаецца ў батарэю, можа быць даволі розны – тут не неабходны кварцавы ці адмысловы будаўнічы. Напрыклад, пясок з пустэльняў таксама пасуе. Важна яго падсушыць =)
 - Чым большы аб'ём батарэі, tym яна раздзей патрабуе ладавання, то бок можа выкарыстоўвацца на доўгіх часовых дыстанцыях.
 - Модульнасць пясчанае батарэі дазваляе адносна лёгка маштабавацца і разортвацца ў новых умовах.

- Экалагічнасць. Мінімальны ўплыў на экалогію пры выкарыстанні і CO₂-адбітак на яе стварэнне.
- Дапасаванасць да розных крыніцаў енергіі (вецер, геатэрмальная, сонца). У тым ліку добра інтэграваныя ў сетку [15].

Свабода вялецца пад нагамі, або Палітычная роля пяску

Прыемна назіраць, як тэхаскі ці амерыканскі блогер спрабуюць паказаць прынцып дзеяння пясчаных батарэй, зробленых на каленцы. Ці як фіны запускаюць у камерцыянае выкарыстанне свае батарэі. За імі ідуць ізраільцы, якія сканцэнтраваліся на жвіры.

Працягаючы думку з папярэдняга артыкулу пра гравітацыйныя батарэі, паўтару: энергетычная залежнасць нараджае палітычную. Таму шмат якія краіны імкнуцца да энергетычнае незалежнасці. І гэты артыкул я пішу дзеля таго, каб Беларусь зрабілася незалежна.

Беларусь цяпер залежыць ад аднаго дастаўцы – Расеі (і газ, і нафта, і вугаль). І гэта праблема для цэлага грамадства. Бо гэты дастаўца дыктуете свае ўмовы, як нам жыць.

У выпадку з пясчанымі батарэямі, як і гравітацыйнымі, мы адкрываем магынёсць мясцовеа (лакальнае) вытворчасці і захавання энергіі. Гэтая лакальнасць дазваляе нам будаваць аўтаномію – і энергетычную, і палітычную. Бо пяску ў Беларусі хопіць усім. Дыў зялёной энергіі таксама нам дастаткова, каб ладаваць пясчаныя батарэі, раскіданыя па ўсёй Беларусі.

Крыніцы:

1. Specific heat capacity (2024a) Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Specific_heat_capacity
2. Evans, P. (2020) Specific heat capacity of materials, The Engineering Mindset. <https://theengineeringmindset.com/specific-heat-capacity-of-materials/>
3. Density (2024) Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Density>
4. Table of specific heat capacities (2024) Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Table_of_specific_heat_capacities
5. Table 6 thermal conductivity, specific heat capacity and density. https://help.iesve.com/ve2021/table_6_thermal_conductivity_specific_heat_capacity_and_density.htm#
6. Mjownh et al. (2023) Sand melting point: 11 facts you should know!, meltingpoints.org. <https://meltingpoints.org/melting-point-of-sand/>
7. Housing News DeskHousing News Desk is the news desk of leading online real estate portal (2023) Density of sand in KG/m3: All you need to know, Housing News. <https://housing.com/news/how-to-measure-sand-density/>
8. Zedníček, T. (2023) Understanding high-precision resistor temperature coefficient of resistance, Passive Components Blog. <https://passive-components.eu/understanding-high-precision-resistor-temperature-coefficient-of-resistance/>
9. Network, eSites (no date) The performance and the operating life of a heating element depends on the properties of the material..., Heating Element Materials. <https://www.heating-element-alloy.com/article/heating-elements-materials.html>
10. Sand Battery Heater Solar powered 250F / 120c with no flames or fuel! DIY (2023) YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=fzUs9DKjI70>
11. Peltola, M. (2023, October 12). Sand Battery's efficiency explained – polar night energy's "sand battery" has efficiency up to 95 per cent. Polar Night Energy. <https://polarnightenergy.fi/news/2022/11/24/sand-battery-s-efficiency-explained-polar-night-energys-sand-battery-has-efficiency-up-to-95-per-cent>
12. 'Sand battery' can store excess renewable energy for months. <https://www.popularmechanics.com/science/energy/a41869336/sand-battery/>
13. Израильская компания объявила об открытии первого в мире предприятия по хранению тепловой энергии - новости израиля и мира. Cursorinfo. (2023, 4 мая). <https://cursorinfo.co.il/israel-news/izralskaya-kompaniya-obyavila-ob-otkrytii-pervogo-v-mire-predpriyatiya-po-hraniyu-teplovoj-energi/>
14. Peltola, M. (2023a, 12 кастрычніка). Empowering the energy transition: The sand battery's impact on heating costs. Polar Night Energy. <https://polarnightenergy.fi/news/2023/9/20/empowering-the-energy-transition-the-sand-battery-s-impact-on-heating-costs>
15. Technology. Polar Night Energy. <https://polarnightenergy.fi/technology>



Насамрэч свабода вялецца ў нас пад нагамі.
Энергетычная свобода

Энергетычныя свобода даслоўна ў беларусаў пад нагамі.



РАЗМОВА З ГАННАЮ МАРОЗАВАЙ:^{#4} «Я ПАСТАНАВІЛА, ШТО ХАЧУ РАСПРАЦОЎВАЦЬ ТЭЛЕСКОПЫ!»

Съвета Волчак

Ідэя і аўтарства ілюстрацыі
LIZARD KLOVA



Як знайсці працу мары

Сьвета: Раскажи крыху пра сябе: хто ты, адкуль, дзе вучылася, на каго? Кім ты хацела стаць? Ці стала тым, кім хацела?

Ганна: Мяне завуць Ганна, я з Барысава. У школьныя гады я займалася астрономіяй і брала ўдзел у астронамічных алімпіядах. І ў рэспубліканскай алімпіядзе па астрономіі таксама. Атрымаўшы дыплём, хацела стаць астрономам! Але ў нас няма ніякай вышэйшай адукацыі ў гэтай галіне, а школу мы скончаем, калі нам толькі 17 гадоў. І мяне мама не пусціла вучыцца куды-небудзь. То бок я ня стала прафесійным астрономам. Але заўсёды вельмі хацела!

І ў год, калі я скончыла школу, на факультэце радыёфізыкі БДУ адкрылі новую катэдру – пра касымічныя дасьледаванні. То бок там катэдра звалася «агульной фізыкі» дасюль, а ў той год яна сталася «агульной фізыкі і...

Сьвета: ...аэракасымічных тэхналёгіяў», так! Ведаю, бо я працавала менавіта на гэтай катэдры!

Ганна: І з першага курсу, як у Менск пераехала, я пачала шукаць, што ў нас ёсьць – якая альтэрнатыва астрономіі, што я буду рабіць са сваймі спадарожнікамі. То бок я спачатку пастанавіла, што пайду на спадарожнікі, а што потым буду рабіць, ня ведала. І вось я знайшла ў Менску кампанію, якая займаецца оптэлектронікаю для спадарожнікаў. Зь першага курсу я надумала, што скончу гэтую катэдру і пайду туды інжынерам працаваць... У мяне былі вельмі далёкія пляны!

Сьвета: Клас!



Фота падчас навучання ў расейскай магістратуры. Ганна на тле аднаго з радыётэлескопаў



Ганна: ...Усё так і выйшла! Пасьля ўніверситету я сем гадоў працавала ў гэтай кампаніі.

Трэба адзначыць, што нейкім на чацвертым, на пятym курсе, калі пісала свае дыпломнія працы і курсавыя, мне ўсё ж хацелася нейкай тэарэтычнай астрономіі. І я шукала на нашым факультэце каляастронамічныя працы. У мяне там было крыху і пра **квантавую гравітацыю** (курсач на чацвертым курсе), і пра **касымічныя выпра-меньванні** (мой дыплём). То бок я ўсё хацела, усё марыла пра навуку, але стала інжынэркай, і мне ўсё ў прынцыпе падабалася...

А потым, як чалавек з шылам у пэўным месцы, то бок пасьля ўсяго ўніверситетскага, у 2018 годзе я знайшла магчымасць атрымаць магістратуру ў галіне астрафізыкі ў Рэсеi дыстанцыйна, ездзячы туды раз на паўгоду. Там радыёфізычная абсэрваторыя. І мне як радыёфізыку вельмі-вельмі цікавая была **радыёфізычная астрономія**. Гэта быў пункт перасячэння маіх досьведу і ведаў!

Насамрэч астрономія ў школе – гэта ня той узровень, які людзі атрымліваюць за пяць гадоў вышэйшай адукацыі. То бок мне вельмі складана было зайсьці ў тэарэтычную астрафізыку праста так, бо мне гэта падабаецца. А тут, паколькі гэта радыёастрономія, я здолела скончыць і атрымала вельмі вялікую асалоду. Зразумела, што такое адукацыя, калі ты ўжо дарослы, калі абіраеш тое, што табе шчыра падабаецца. Паралельна працавала ў Менску і атрымала яшчэ й магістра.

Там у нас быў курс пра тыпы тэлескопаў, якія выкарыстоўваюцца ў розных галінах астрафізыкі. І калі мы пісалі рэферат пра розныя тыпы тэлескопаў, мне трапіўся **нэўтронны**. Я гэтак усім натхнілася!.. І пастанавіла, што хачу распрацоўваць тэлескопы! Што я скамбінуў сваю новую магістарскую адукацыю й досьвед і пайду куды-небудзь у гэтыя вашыя Эўропы распрацоўваць нэўтронныя тэлескопы.



Съвета: Я акурат учора паглядзела таймлайн на сайце, там плянуюць вось тое, што ты сказала, запуск у 2035 годзе. А раскажы падрабязнай, што ты там рабіла. Я троху ўяўляю, што такое гравітацыйны хвалі, але зусім не ўяўляю, што менавіта там можна рабіць. Вось што рабіла ты, а што іншыя людзі робяць?



Ганна: Тэлескопы **гравітацыйных хваляў** – гэта не тэлескоп глядзець у неба, на той тэлескоп аптычны, да якіх мы звыклі. Гэта будзе падэземны вельмі вялікі трывутнік, 10 кіляметраў у кожны бок. І там будзе туды-сюды ганяць лазэр. Насамрэч будзе нават шэсцьць лазераў. Але можна сабе ўяўіць, што лазэр, каторы будзе туды-сюды ганяць 10 кіляметраў у кожны бок, – гэта мусіць быць вельмі-вельмі вялікі лазэр, вельмі моцны. І ён будзе вельмі дакладны.

Проста загу́гліла сыпісы праектаў, што распрацоўваюцца, сыпісы ўніверсітэтатаў, якія да гэтага маюць дачыненне, і пісала ім усім. Нават ня проста шукала працу на LinkedIn, а пісала наўпрост на катэдры тых універсітэтатаў, якія датычаць праектаў. Я пісала на нэўтранныя тэлескопы і на гравітацыйныя, на **тэлескоп Айнштайн**, бо ён проста клёвы. Бо гэта ж гравітацыя, яно ж цікавае!

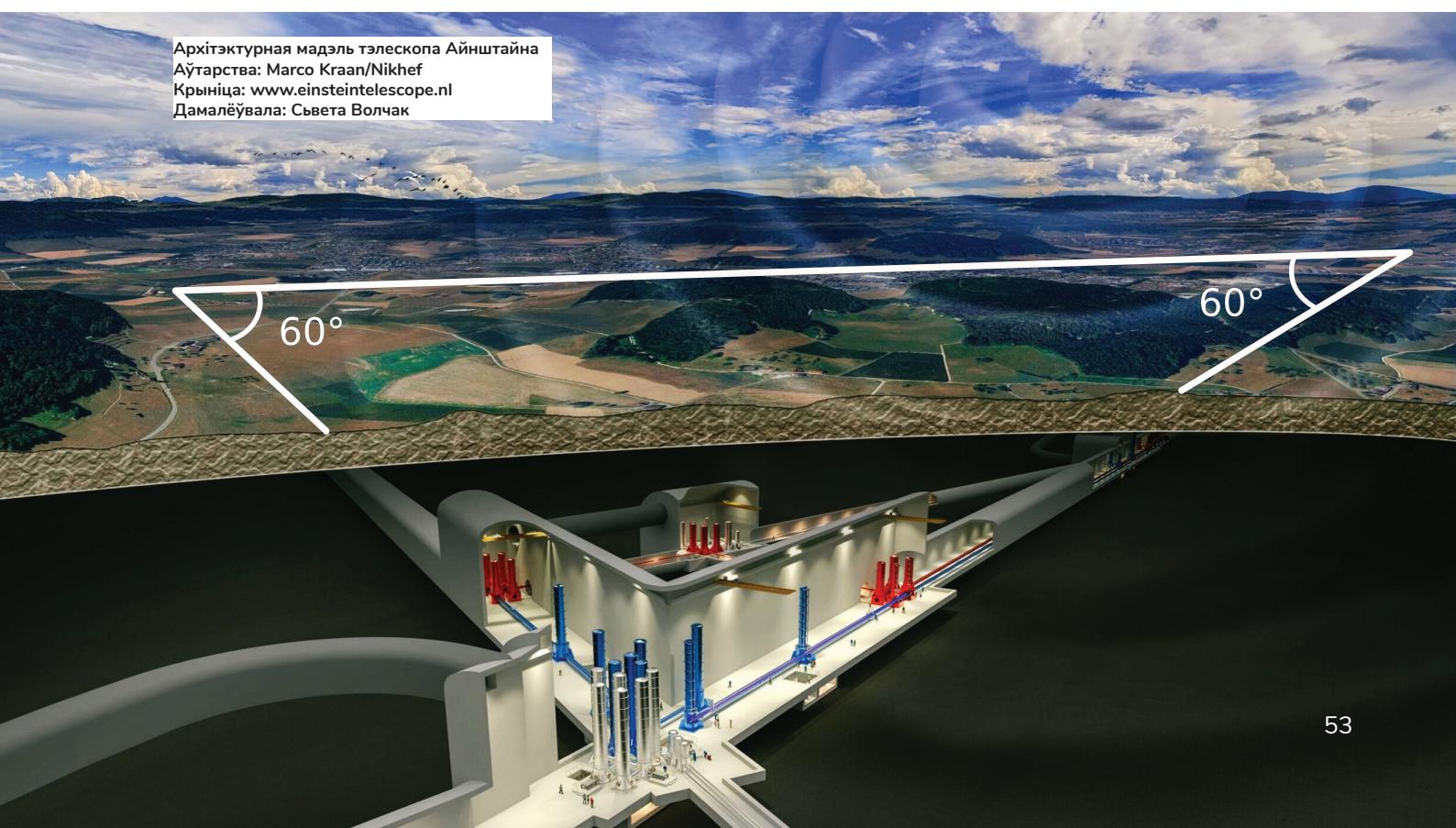
Тэлескопы гравітацыйных хваляў

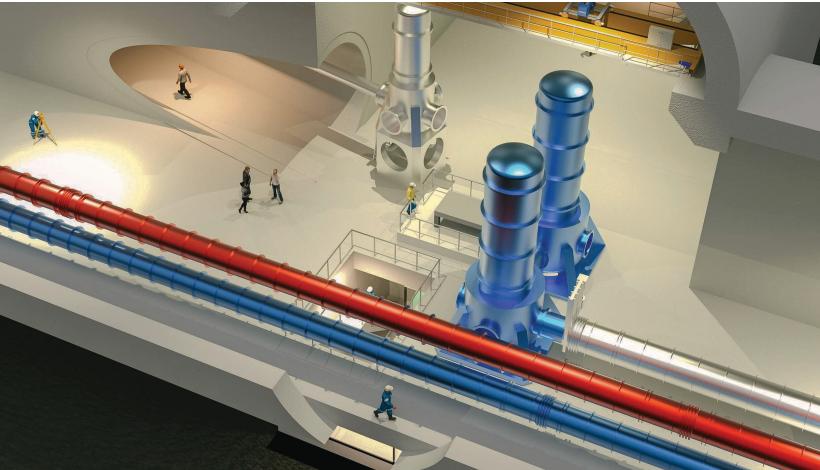
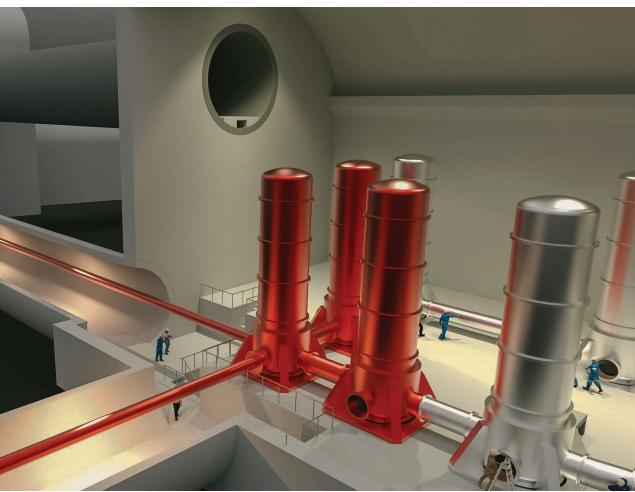
Ганна: Чаму я шукала ўніверсітэты? Бо ў такіх праектах працуюць толькі ўніверсітэты, на іх няма ніякіх распрацовак у прыватных кампаніях. І так, некаторыя ўніверсітэты адказвалі, і гэтак я атрымала свой контракт у Нямеччыне ў праекце тэлескопа Айнштайн. Гэта тэлескоп гравітацыйных хваляў, які неўзабаве... ну як неўзабаве – у 2035 годзе плянуюць адкрыць...

Гэта будзе самая дакладная прылада ў сьвеце на той момант. І яму перашкодзіць можа ўсё, што заўгодна, і нават той факт, што чалавецтва ня ўмее рабіць ідэальнае вакууму. Ці ўсе дробязі, якія робяць наш тэлескоп неідэальным, могуць крышачку зъмяніць хаду съятла. Напрыклад, які-небудзь прамень пойдзе крыху не пад тым кутом, які б мы хацелі. І нават гэты малюсенькі кут на працягу 10 кіляметраў будзе адчувацца даволі моцна.

Калі лазэр пройдзе па тэлескопе, мы ўбачым інтарфэрэнцыйную карціну, то бок узор на плашчыні. І кожны такі праменьчык, што пайшоў на тым шляхам, як плянавалася, будзе зъмяніць гэту карціну. Насамрэч іх будзе некалькі, і калі болей, чым трэба, мы можам падумаць, што праз тэлескоп прайшла гравітацыйная хвала, а гэта была не яна.

Архітэктурная мадэль тэлескопа Айнштайн
Аўтарства: Marco Kraan/Nikhef
Крыніца: www.einstein-telescope.nl
Дамалёўка: Съвета Волчак





Архітэктурная мадэль тэлескопа Айнштайн
Аўтарства: Marco Kraan/Nikhef
Крыніца: www.einsteintelescope.nl

І вось маё заданьне – мадэляваць гэтая прамяні, гэтае **расьсеянае съятло**, як яго называюць. Яно можа быць шмат якіх відаў. Нешта можа адбівацца ад бакоў, ад шурпатасцяў на паверхні лютстэрка... Мая задача – улічыць, якія асноўныя крыніцы гэтага расьсеянага съятла могуць быць, і прыблізна прадбачыць, прадказаць, дзе і колькі расьсеянага съятла мы будзем бачыць.

Яшчэ адно з маіх практычных заданьняў. Ёсьць розныя віды барацьбы з расьсеяным съятлом, і адзін з самых вядомых – усталяваньне на працягу гэтых дзесяці кілямэтраў перагародак. То бок калі ў нас ёсьць труба, мы туды ўсталёўваем **абсалютна чорнае кола**, то бок якое паглынае съятло. Калі ў нас ёсьць некаторыя прамяні, якія ідуць некуды ўбок, то яны трапяць у гэтае кола й паглынуцца ім. І вось адно з маіх заданьняў – падлічыць, дзе, на якіх месцах нам лепей паставіць гэтую перагародку, гэтую колу і ў якой форме, якіх памераў. Што нам лепей зрабіць, каб было як мага меней гэтага расьсеянага съятла, каб яно нам меней перашкаджала. Вось!

Съвета: Слухай, я б сказала, што ты рызык-мэнэджэрка гэтага скіраванага съятла, траблшутэр! Чалавек, якому звоняць, калі нешта пойдзе ня так, і ты разбіраецца з усімі гэтымі проблемамі!

Ганна: І так, і не! Бо тэлескоп новы. Праект вельмі вялікі, інтэрнацыянальны, там шмат розных краінаў і ўніверсітэтав, шмат народу працуе. Структура і заданьні на працягу трох гадоў, што я працую, мяняліся.

І вось яно працуе цяпер. У нас ёсьць маленькая група, чалавек пяць, інтэрнацыянальная – з розных краінаў і ўніверсітэтав, якая працуе з гэтым расьсеяным съятлом. І ў нас ёсьць лідэр гэтаяе суполкі. Як што – яму тэлефануюць, а ўсе мы працуем з крыху рознымі заданьнямі над гэтым расьсеяным съятлом. То бок я падлічу, куды нам ставіць перагародкі, а ёсьць хлопец, які распрацоўвае, як нам змагацца з пылам, як пыл можа перашкодзіць. Той пыл, якога адразу няма, але зьяўляецца з часам.

Мы плянуем, што тэлескоп будзе працеваць на працягу, можа, пяцідзесяці гадоў.

Съвета: Там на сайце было напісаны, да якой даты, угу!

Ганна: І з часам там будзе пыл! І вось ён спрабуе прадказаць, як хутка гэты пыл будзе там зьбірацца й зьмяняць нашае расьсеяньне, як мы будзем гэта ўлічваць. То бок заданьні крыху розныя.

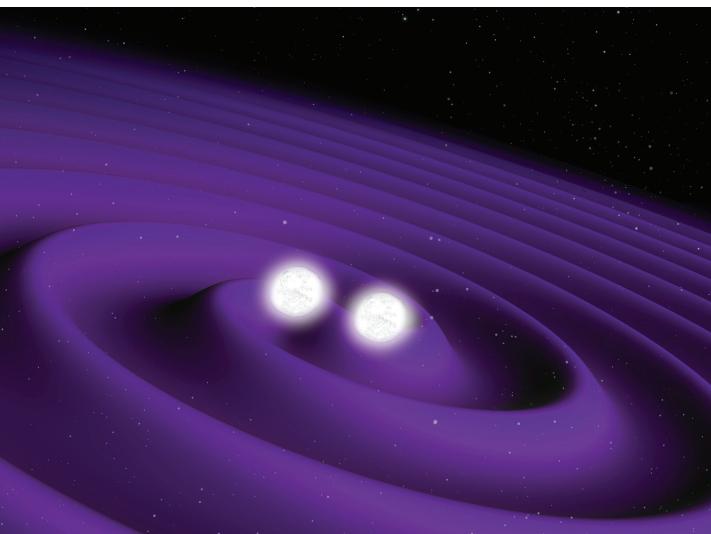
Калі трэба перагародкі – можна тэлефанаваць мне наўпрост!

Съвета: Клас! Гэта вельмі цікава!

Што такое гравітацыйныя хвалі?

Съвета: А распавядзі крыху пра гравітацыйныя хвалі. Як гэты **інтэрфэромуэтар** будзе лавіць гэтыя хвалі? Як ён іх вымірае?

Ганна: З **гравітацыяй** складана, бо гэта самы слабы від узаемадзеяньня. То бок звычайна мы не заўважаем нічога навокал з гравітацыйнага гледзішча. Мы можам заўважыць толькі вельмі вялікія падзеі. Напрыклад, дэ́зве чорныя дзіркі злучаюцца: тады простора зъмяняецца – пашыраеца ці звужаеца, ці спачатку адное, потым другое. Гэта і ёсьць гравітацыйная хвала. Мы не адчуваем яе, бо зъмяняецца ўласна **мэтыка просторы**. То бок мы ўсе разам і ўся наша Зямля расшыраеца, а потым звужаеца, і мы ня можам гэтага заўважыць, бо ўсё вакол нас гэтак жа зъмяняеца аднолькавым чынам.



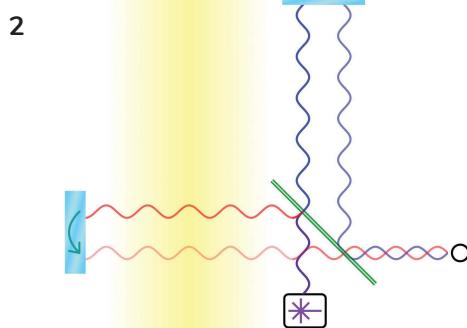
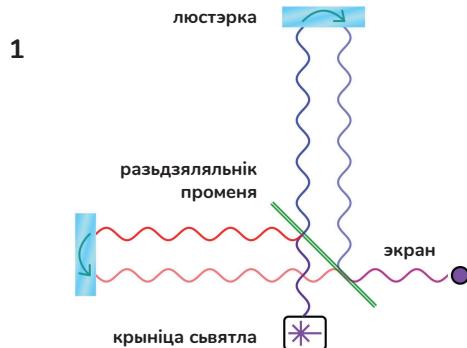
Сутыкненне нейтронных зорак з утварэннем гравітацыйных хваляў

Аўтарства: European Space Agency
Крыніца: www.commons.wikimedia.org

Каб прасьцей сказаць, мы ўсе выміраем мэтрамі і нечым, што залежыць ад мэтра, але **сам мэтар зъменіцца!** А ўсё навокал будзе заставацца гэткім жа адносна мэтра. Выклікам робіцца тое, як нам дэтэктуваць гэтыя гравітацыйныя хвалі.

Самы папулярны мэтад, які выкарыстоўваеца ўва ўсіх тэлескопах ці праста дэтэктарах гравітацыйных хваляў, – гэта інтэрфераметрыя. То бок систэма лазераў. Лазэр туды-сюды бегае, і калі мы стыкуем два лазэрныя пучкі, то ведае, як гэтыя два лазэры зъмешваюцца адзін з адным. Гэта мы называем **інтэрферэнцыйную карціну**, малюнкам. Калі мы вельмі добра настроім нашыя лазэры, то карціна ня будзе зъмяняцца. І мы можам яе прадказаць.

Гэты малюнак залежыць ад хвалі съятла. І вось калі ў нас лазэры, налады якіх мы вельмі добра ведаєм, як яны стасуюцца адно да аднаго, то наш фінальны малюнак ня будзе зъмяняцца.

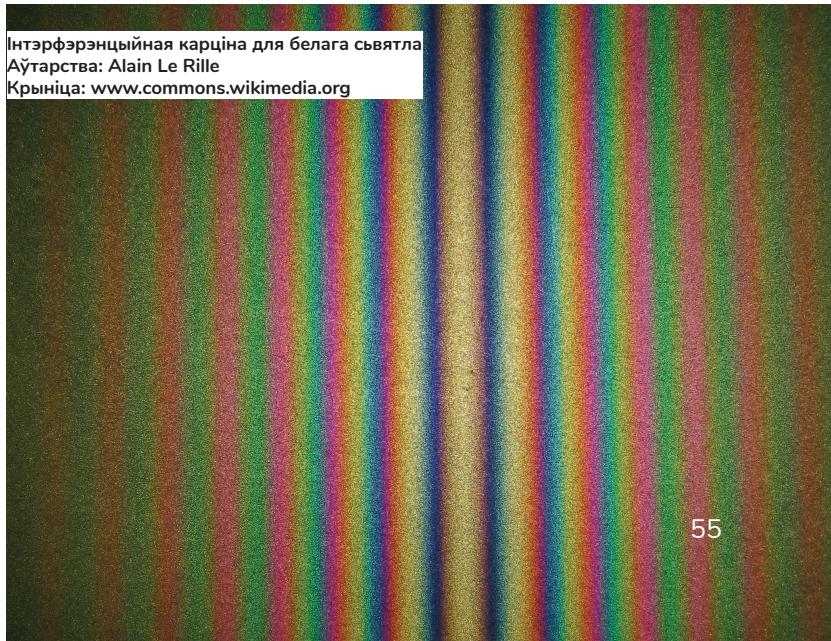


Прынцып працы інтэрферомуэтра LIGO. Дэтэктуванне гравітацыйнае хвалі. 1. Няма хвалі. 2. Прайшла хвала
Аўтарства: Cmglee
Крыніца: www.wikimedia.org

Ён будзе заўсёды той сама. Але калі нешта зъменіцца – ці дыстанцыя, ці хвала съятла, то малюнак таксама зъменіцца. І калі праз гэтыя інтэрферомуэтар пройдзе гравітацыйная хвала, мы нічога не заўважым. Але даўжыня хвалі лазэра на нейкую долю сэкунды зъменіцца, а потым вернеца. Бо зъменіцца і вернеца мэтыка просторы, і зь ёй – ўсё навокал. І напрыканцы мы ўжо ўбачым, што наш малюнак зъмяніўся. Гэтак паводле зъмены малюнку мы зможам сказаць, што нешта было, мы нешта злавілі.

Другая пастка для гравітацыйных хваляў у тэлескопе – тое, што мы спрабуем рабіць гэтыя лазэры пад нейкімі дзіўнымі кутамі. Звычайна іх робяць пэрспэндыкулярна адзін аднаму. У тэле-

Інтэрферэнцыйная карціна для белага съятла
Аўтарства: Alain Le Rille
Крыніца: www.commons.wikimedia.org





LIGO – лазэрны інтэрфэромуэтар для назіранья за гравітацыйнымі хвальмі. Разъмешчаны ў Гэнфардзе (Вашынгтон) і Лівінгстоне (Луізіяна), ЗША. Быў пабудаваны ў 2002 годзе, а ў 2015-м упершыню дэтэктаў гравітацыйную хвалю
Аўтарства: LIGO
Крыніца: www.commonswikimedia.org

скопе Айнштайнагэта будзе 60 градусаў. То бок мэтрыка будзе зьмяняцца неаднолькава. Калі хвала прыходзіць з гэтага боку, то ў нас два гэтыя шляхі лазэра зьменяцца таксама крышачку па-рознаму...

Сьвета: ...Ix **праекцыя** зьменіцца аднолькава, але яны самыя – не!

Ганна: Так. І мы зможем на толькі сказаць, што гравітацыйная хвала прыйшла праз нас, што адбылася **падзея**, як гэта называюць, але мы можам таксама ўяўіць сабе, адкуль гэта прыйшло. І калі ў нас ёсьць у сьвеце некалькі тэлескопаў, то можна даволі дакладна сказаць, адкуль у нас прыйшла хвала, і там ужо ўступае **multi-messenger astronomy** – астрономія з розных крыніцаў. То бок мы можам сказаць: «Слухайце, мы тут думаем, што нешта здарылася вось у гэтым пункце неба!» І там народ зь іншых тэлескопаў – з аптычных, з рэктгенавскага, з нэўтрона – таксама можа атрымаць нейкі сыгнал адтуль. І тады мы можам, гледзячы на тое, што прыйшло з гэтага пункту ў гэты момант ці пасыля, ці дасюль, сказаць, што ўласна там адбылося. Бо розныя фізичныя працэсы даюць нам розныя сыгналы. Працэс прыблізна такі.

Сьвета: Мне вельмі спадабалася, як ты апісал! Вось гэта тое, як, у майм уяўленыні, мусіць выглядаць гутарка з чалавекам, які працуе дзесьці на тэлескопе! Калі маладзёны такое паслушаюць, то ў іх будзе разуменне, што можна рабіць, што яны мусіць ведаць. Напрыклад, разумець **геаметрычную оптыку**, каб ведаць, як будуть адлюстроўвацца промні ў тэлескопе... Гэта вельмі-вельмі натхнільна!

Займацца навукаю versus быць у прамысловасці

Сьвета: Ці ёсьць у цябе нейкая фізичная мара?

Ганна: Фізичная мара мая заўсёды была – гэта паспрабаваць быць бліжэй да навукі. Я працавала ў прамысловасці – у касымічнай прамыс-

ловасці, і ў мяне заўсёды было нейкае такое: «Ах, а вось бы я што-небудзь вось да навукі!» І гэты мой контракт на тры гады і стаўся маёй марам, яна зьдзезісьнілася! І цяпер я не хачу ўжо працягваць. Я паспрабавала – і зразумела, што гэта не маё.

Сьвета: Гэта таксама вельмі важна!

Ганна: Я вельмі радая, што паспрабавала, бо я ўсё жыцьцё думала б, што са мною сталася б, каб пайшла ў навуку... Навука крышачку іншая. Здаецца, мне з навукаю больш складана паводле пэрсанальных рысаў. Мне больш падабаецца працаваць у прамысловасці, і я зараз вяртаюся ў прамысловасць. Но мне прасьцей, я больш арганізаваная. Прамысловасць дынамічная, арганізаваная. Калі нейкая прамысловасць не такая, яна ня выжыве праз канкурэнцыю.

А навука... Часам гэта ўсё ж дасьледаваныні з нагоды дасьледаваныні. То бок гэта трэба вывучыць, нават калі выніку ня будзе. Нават калі табе нешта не падабаецца – ўсё роўна трэба гэта нешта зрабіць. Яна больш імправізацыйная, і, здаецца, мне вельмі складана быць у гэтым рымте.

Я вельмі натхняюся людзьмі, якія з мною працујуць. І маймі прафэсарамі з нашае катэдры – гэта ўсё неймаверныя людзі. Але мне псыхалягічна вельмі складана. Я заўсёды думаю пра гэту працу. Я там унаучы ня сплю, бо думаю, што я там, а ня гэтае вось ўсё. І яшчэ той факт, што гэта праца маёй мары, не дae мне расслабіцца. І гэта зносіць мne дах. Я еду ў адпачынак і думаю толькі аб працы, я не могу глядзець на прыгажосць навокал... І я пастанавіла, што пайду проста на працу інжынэрам – рабіць карысныя рэчы для ўсіх навокал. І буду працаваць сваю працу, а потым буду адпачываць свой адпачынак, а потым буду чытаць сваю кніжку і на парыцца.

За ўсе гэтыя тры гады я не могу сказаць, што ў нечым прашарылася. Я выкарыстоўвала скілы,

якія мела раней, але гэта ўсё было пра нейкую рэарганізацыю, презэнтациі. Гэта ўсё пра тое, што цяпер называюць soft skills. І для мяне гэта заўсёды выхад з маёй зоны комфорту.

Цяпер жа я вяртаюся ў прамысловасць, бо я нейкі піражок, якому болей комфортна ў прамысловасць.

Сьвета: Ты сказала вельмі крутая! Мне падаецца, гэта карысная інфармацыя, бо гэта рэальны досьвед, і яго ніхто не раскажа, акрамя чалавека, які гэта перажыў.

Дапамажы мне разабрацца, бо я ў гэтым пляне фрык і навічок. Што значыць «займаца навукай» і што значыць «быць у прамысловасці»? Бо ў прамысловасці ты ж таксама фізык?

Ганна: Ну, так і не! Магу распавесці толькі з асабістага досьведу.

Мая праца ўва ўніверсітэце такая, што на сваёй катэдры я адзіная займаюся тэмаю расцеянага святла. У мяне ёсьць трэы званкі на тыдзень з рознымі групамі, з рознымі людзьмі, каторым я распавяджаю, што зрабіла. То бок я заўсёды ўсё раблю адна і толькі ўсім распавяджаю, што зрабіла, а што не. А калі зрабіла, то што ў мяне за вынік і што я буду рабіць з гэтым вынікам. Гэта заўсёды нейкія рэпорты.

А мене персанальна больш зручны teamwork, працаца з камандай. Я экстравэртка для навуки.

У навуцы экстравэртам быць даволі складана, бо навука сама па сабе, калі ты ня майстар-студэнт, а калі ты ўжо ідзеши далей, гэта ўсё пра тое, што тыробіш даволі ўнікальную штуку і мусіш гэта рабіць сам. Гэтак ты маеш контакты для абмену досьведам, ёсьць канфэрэнцыі, але насамрэч большую частку часу ты працуеш аўтапномна.

А мене больш цікава, калі вы камандаю седзіце і пастаноўляеце разам. І калі ты пайшла папіць каву на кухню на працы, вы там п'яце гэтую каву і размаўляеце пра аднолькавую працу, бо ў вас адзін і той жа праект. І гэтак у вас могуць быць розныя ролі: нехта інжынэр электронікі, нехта дасьледнік, нехта систэмны інжынэр, але ў вас адная мэта – зрабіць прыладу, каб яна працевала, каб ўсё было нармальна.

Сьвета: Я цалкам разумею! Трэба падабраць пад свой псыхалагічны тып, пад свой характар працу! Такім жа чынам я не змагла працаца ў IT-канторы, бо гэта не маё, бо я ня бачыла выніку сваёй працы, была адчужданая ад яе... А вось выкладаньне – аказалася, мая тэма!

Ганна: Насамрэч я вельмі-вельмі радая, што мяне некалі мама не пусціла вучыцца на астронома! Мая мама мела рацыю!

Тут, на прыкладзе Нямеччыны, людзі, якія працуецца над чыста астрафізичнымі штукамі, сканчвалі фізычныя факультэты. І тыя, хто распрацоўвае тэлескоп, 95 % з іх таксама сканчвалі фізычныя факультэты. Як паказвае мой досьвед, каб стаць астрафізыкам, ня трэба ісці на астрафізичныя факультэты. Гэта нешта такое, што я мала дзе бачыла, акрамя постсавецкае просторы.

У 18–20 гадоў мы ня ведаем, куды ідзём. Пайсьці на фізычны факультэт, убачыць усе віды фізыкі і там абраць, што табе больш падабаецца, – гэта больш практична. Таму, **калі нехта плянуе нешта такое высокое, далёкае, стратэгічнае, я б ўсё роўна сказала, што ёсьць сэнс ісці ў фізыку.** Але з асабістага досьведу я магу сказаць, што радыёфізыка – гэта быў the best choice!

Менавіта радыёфізыка мне першая дала магчымасць працаца ў прамысловасці, дзе я атрымала свой асноўны досьвед на гэты момант. У мяней працы ў Нямеччыне я выехала толькі на тым, што напрацавала сабе зь Беларусі на прамысловасці.

Цяпер іду таксама працаца ў прамысловасць – для вырабу друкаваных платаў, інтэгральных схемаў. Гэта ўсё радыёфізыка!

Сьвета: Вялікі дзякую! Вельмі крутая парады! Я ж ня ведала, што ты вучылася на радыёфізыцы да таго, як распавяла цяпер... Мне ўвогуле падаецца, што там нейкае магічнае месца, месца моцы. **Рошча.**



Дадам пра адукцыю астрафізыкаў. Гэта вельмі важна, бо тэма астрономіі актуальная заўжды. Дзеці гадоў дзесьці ўжо ўсе ведаюць пра астрономію, вельмі захапляюцца, але ведаюць, ясна, не на ўзору ніды фэрэнцыйных раўнанняў! Вось яны праста могуць ня ведаць, куды пайсьці, каб стацца астрафізыкам. А цяпер будуць ведаць!

Інтэрфэромуэтар на Палесьсі

Сьвета: Як ты думаеш, што трэба, каб пабудаваць інтэрфэромуэтар? І ці мажліва пабудаваць яго на Палесьсі? Бо я маю надзвычайнью мару. Вельмі хочацца, каб было месца навукі ў Беларусі пад кодаваю называю **Вялікі палескі калайдэр**. Вядома, ня сёньня, ня заўтра... Калі мы вернемся!

Ганна: Насамрэч гэта больш рэчаіснасць, чым ся ты сабе можаш уявіць! Я ня вельмі дакладна ведаю наконт калайдэраў, але могуць уявіць, што сітуацыя для іх падобная.

Бо найперш, што датычыць гравітацыінага тэлескопа, яны ж робяцца пад зямлёю. **Для гэта трэба, каб быў сэйсмічна неактыўны рэгіён, ня вельмі населены**, і каб там вось гэта накапаць, каб было як мага меней шуму. Таму ў Беларусі можна было бы ўсё гэта накапаць – 30-кіляметровы трыкутнік! Мне здаецца, можна на Палесьсі, можна на поўначы. Магчыма, на Палесьсі было бы складана капаць, бо там жа балоты... Но тут патрэбныя геолягі? А так у Беларусі ёсьць месца, ня вельмі вялікая шчыльнасць насельніцтва, у нас няма ніякай сэйсмічнай актыўнасці. У той жа Фінляндыі таксама магчыма было бы, але туды ехаць доўга.

А другі пункт – што мала выкапаць. **Трэба, каб там была інфраструктура.** Праект міжнародны! Па-першае, там заўсёды мусяць быць людзі, якія працуяць на тэлескопе: напрыклад, мэханікі, якія могуць нешта зрабіць, калі штосьці паламалася.

Сьвета: На Палесьсі шмат закінутых вёсачак. Вельмі класна – прырода, атмасфера, вялікія палі. У Беларусі цяпер модна набыць хатку і аднаўляць, як Андрусь Горват апісваў у «Радзіве «Прудок»». Гэта і ёсьць плян...

Ганна: ...Можна зрабіць сядзібы для прыежджых навукоўцаў!

На гэты момант гэта быў бы эканамічны трабл у Беларусі. Бо гэта натоўп навукоўцаў з розных краінаў... Ім рэгулярна трэба будзе прыяжджаць. І гэта ня толькі пра гатэлі, якія мусяць там быць, а яшчэ і пра транспарт. Найперш гэта быў бы рэжым «бязь візай», трэба даволі блізка нейкі аэрапорт. А каб з нашага лётнішча менскага даехаць да Палесьсі, можна было бы пусціць нейкі трансфер і хуткі цягнік. І даяжджаць да месца за дзіве гадзіны ці за тры было бы нармальна.

Сьвета: Клас!

Ганна: З аднаго боку, ужо шмат інфраструктуры мусіць быць на месцы, то бок у краіне ўжо мусяць быць спэцыялісты, якія могуць, напрыклад, капаць гэтыя тунэлі. Геадэзісты, геолягі, інжынеры... Вядома, гэта ўсё будзе пад кірауніцтвам міжнароднае суполкі ў справе тэлескопа, але мусяць быць яшчэ і кампаніі, якія здолеюць гэта ўсё выкапаць, пабудаваць, зарганізаваць гэты трансфер.

З другога боку, калі праект усё-такі будзе, гэта будуць вельмі вялікія гроши, якія трапяць у эканоміку. Ужо існыя кампаніі атрымаюць вялікія гранты, і гэта будзе моцны штуршок разъвіцьцю эканомікі. Гэта і міжнародны прэстыж – мець такі тэлескоп, бо такія праекты мусяць статус інтэрнацыональных. Напрыклад, нават на CERN'e, на калайдэры, калі чалавек працуе на CERN'e афіцыйна, гэта ня лічыцца працаю на Швайцарыю. Гэта лічыцца працаю на інтэрнацыянальным праекце.

Такі праект – афіцыйна міжнародны аб'ект з абавязковым міжнародным доступам усіх краінаў, усіх працаўнікоў. І калі мы марым пра нейкое будучое і адкрытыя межы, лоўкостэры, цягнікі, то так: Беларусь – у цэнтры Эўропы, і, натуральна, усім будзе вельмі блізка даляцець да нас. Давайце нам, «Белавія», квіткі за 140 эўраў туды і назад з багажом, як гэта было раней!

Сьвета на Палесьсі





Вітаем вас, шаноўныя чытачы зіну!

На сувязі – аўтары падкасту пра біялогію па-беларуску «Біябурбалка»!

Я Аня, генетык і настаўніца біялогіі і хіміі. Мой сувядоўца Міша – японіст і даследнік відэагульняў. Ідэя падкасту з'явілася з нашых супольных размоваў, у хадзе якіх выявілася, што біялагічныя пытанні цікавяць усіх і кожнага, увесе час з'яўляюцца ў штодзённым жыцці. І разглядаць іх з гледзішча не толькі біёлагаў нашмат цікавей! Неабходнасць стварыць дадатковы рэурс пра біялогію таксама сталася відавочна падчас маёй настаўніцкай працы. Аказалася, зацікаўленых вучняў турбуюць пытанні далёка па-за межамі рыхтавання да цэнтралізаванага тэставання, але далёка не заўсёды стае часу на іх адказваць.

Гэтак, дзякуючы праекту «Васьміног» з'явіўся наш падкаст «Біябурбалка».

Кірунак вызначаецца тым, што цікавіць і турбую слухачоў. Мы намагаемся стварыць камфортнае асяроддзе, дзе дзеці і дарослыя могуць задаць біялагічныя пытанні навукоўцам і атрымаць на іх адказы. Для нас няма залёгкіх або нязручных пытанняў! Мы будзем прыкладаць усе намаганні, каб адказаць на самыя цяжкія.

Самае галоўнае – мы запрашаем у наш падкаст беларускіх навукоўцаў, якія працујуць у розных галінах біялогіі і ў розных кутках свету!

Натуральна, што я, генетык Аня, не ўсёведная. І ні ў якім разе не збираюся рабіць такі выгляд. Рыхтаванне кожнага выпуску ператвараецца для мяне ў сапраўднае навуковае даследаванне – з вывучэннем шматлікіх крыніц, фактэктнікамі і... часам памылкамі, якія даводзіцца выпраўляць.

Нашыя першыя выпускі былі прысвечаныя, здавалася б, немудрагелістым пытанням: ці вучацца жывёліны адна ў адной, як птушкі вучацца спяваць, навошта мухам кусацца... Але, каб даць на іх цікавы і аргументаваны адказ, мне давялося падарожнічаць у свет эталогіі, арніталогіі, энтамалогіі, мікрабіялогіі і біяхіміі. На шчасце, дзякуючы біялагічнай адукцыі я не згубілася ў гэтых падарожжах. І, спадзяюся, здолела падзяліцца з слухачамі і сваім любімым сувядоўцам Мішам уражаннямі ад іх. Але ўявіце, як цудоўна было б, каб да кожнага майго аповеду далучайцца адмысловец у пэўнай галіне біялагічнае наўкі – расказваў пра сваю працу, дапаўніў мае веды і веды аўдыторы! Калі ласка, далучайцеся да нас у якасці экспертаў!

Спадзяёмся, наш праект аб'яднае асобаў рознага веку і кірункаў дзейнасці, якія цікавяцца біялогіяй, а таксама беларускаю прыродою, мовай і культурою. Наладжваючы контакту паміж аўдыторыяй і беларускамоўнымі навукоўцамі, мы імкнёмся выкрыць міф, быццам вывучэнне і даследаванне прыродазнаўчых навук па-беларуску – штучная з'ява.

Чакаем вас, шаноўныя чытачы зіну «Ратуўка», у якасці слухачоў і экспертаў. Задавайце пытанні, пішыце нам!

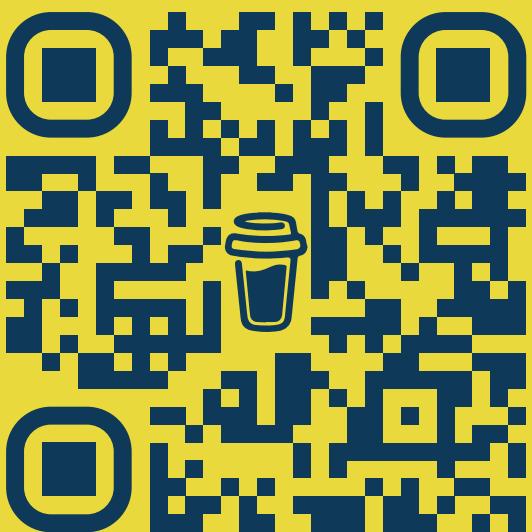
Усе контакты для сувязі вы знайдзеце па спасылцы: <https://bijaburbalka.netlify.app/>



ЗІН – ПРЫКЛАД КОПІЛЭФТ-ПРАЕКТУ. ДЗЯЛІЦЦА ЗІНАМ МОЖНА І ТРЭБА!

Усе ўласныя матэрыялы распаўсюджваюцца пад ліцэнзіяй **Creative Commons Attribution – Share Alike**. Атрыбуцыя (Attribution) значыць, што калі вы бераце матэрыялы зь зіну, вам трэба пазначыць аўтара матэрыялу, такім чынам аддаць яму гонар. **Дзяліцца на тых жа ўмовах (Share Alike)** значыць, што калі вы захочаце ўзяць нейкі матэрыял і перарабіць яго, то вы мусіце зрабіць ваш вытворны твор таксама вольным пад гэтай жа ліцэнзіяй. Такім чынам захоўваецца свабода і пашыраюцца веды.

**Мы ведаем, что любое научное
издание – это только начало разви-
тия белорусской науки!**



**Падтрымаць зін
РАМУŁКА**

