

ПАМЫЛКА

FIZYKA

Dzikaje palavańnie
na radon

FIZYKA

Касмічны хамелеон

МАТЕМАТУКА

Найкарацейшы маршрут
з Гомля ў Менск

KOMIKS

Пра тэорыю графаў

INFARMATYKA

Квантавыя вылічэнны – 101,
альбо Квантавыя г'ейты
для нулікаў

ВІДЛОГІЯ

Экстрэмальная танга:
як выжыць, калі ты
бактэрый?

MEDYCZYNA

Паэтычная хвароба,
пры якой дотык
пераўтвараеца ў боль

HIEAHRAFIJA

Гарачыя зоны кліматалогіі:
чатыры палемікі пра клімат
мінулага і сучаснасці

**Кім ёсьць
беларускія навукоўцы**

Астранамічныя падзеі восені:
чакаецца зъяўленыне яркае камэты
і пошук новае зоркі

Кропка крышталізацыі. Злёт сяброў
«Памылкі», або Як мы слухалі адно аднаго
і мыслілі свабодную беларускую навуку



PAMYŁKA

Vitajem ciabie, čytaču!

Heta piaty numar PAMYŁKA ZIN!

U im my padymajem temu, kim jośc biełaruskija navukoūcy. I ūpieršyniu numar aformleny łacinkaju našmat bolš jak papiarednija. Čamu?

Biełaruskaja mova – dvuchhraficnaja. Biełaruskaja łacinka – całkam samostojnaja hrafičnaja systema, sa svajoj historyjaj i doūhaju praktykaju užyvańnia. U 1920-ja hady siarod movaznaўcau surjozna abmiarkoўvalasia prapanova pierajści z kirylicy na łacinku jak adziny biełaruski šryft. Pašyreńnie, raūnaležna z kirylicaju, łacinki, aprača praktyčnaje karyści, mieła b i vialikaje nacyjanalnapalityčnaje značeńnie. Heta u značnaj miery spyniła b identyfikavańnie biełarusaū z rasięciami j macnjej zaśviedčyła b pra biełaruskuju pryna-ležnaść da zachodniaje kultury.

Pavodle S. Stankieviča, 1955 hod

Вітаем цябе, чытачу!

Гэта пяты нумар PAMYŁKA ZIN!

У ім мы падымаєм тэму, кім ёсьць беларускія навукоўцы. І ўпершыню нумар аформлены лацінкаю нашмат больш як папярэднія. Чаму?

Беларуская мова – двухграфичная. Беларуская лацінка – цалкам самостойная графичная систэма, са сваёй гісторыяй і доўгаю практикаю ўжывання. У 1920-я гады сярод мовазнаўцаў сур'ёзна абмяркоўвалася прapanova перайсьці з кірыліцы на лацінку як адзіны беларускі шрыфт. Пашиярэнне, раўналежна з кірыліцаю, лацінкі, апрача практичнае карысьці, мела б і вялікае нацыянальна-палітычнае значэньне. Гэта у значнай меры спыніла б ідэнтыфікаваньне беларусаў з расейцамі й мацней засьведчыла б пра беларускую прыналежнасць да заходняе культуры.

Паводле С. Станкевіча, 1955 год

Спэцыфічныя знакі				Пасылья галосных і ў пач. слова		Пасылья зычных (акрамя I)	
Ćć = ць	Hh = г	Nń = нь	Źź = зь	ja = я	ia = я	la = ля	
Čč = ч	Jj = ў	Sś = сь	Žž = ж	je = е	ie = е	le = ле	
Ch ch = х	Ll = ль	Šš = ш	y = ы	jo = ё	io = ё	lo = лё	
Gg = ғ	Łł = л	Үү = ў		ju = ю	iu = ю	lu = лю	

Nad zinam pracavali:

SACYJATECHNICA
Śvieta Vołčak

DYZAJN, VIORSTKA
Palina Listapad

REDAKTARKA
Nastaśsia Kachan

PAMYŁKA • NADRUKAVANA Ū POLŠCY • 2024

Vokladku prailustravaļa:

Alisa Sałdatava

Nakont usich pytańniaū pisać na

pamyalka.zin@gmail.com



ŽMIEST

4 КІМ ЁСЦЬ БЕЛАРУСКІЯ НАВУКОЎЦЫ

5 FIZYKA

Dzikaje palavańnie na radon

15 FIZYKA

Касмічны хамелеон

21 МАТЕМАТЫКА

Найкарацейшы маршрут з Гомля ў Менск

27 KOMIKS

Пра тэорыю графаў

29 INFARMATYKA

Квантавая вылічэнні – 101,
альбо Квантавая г'ейты для нулікаў

35 ВІJALONIJA

Экстрэмальная танга: як выжыць,
калі ты бактэрый?

42 MEDYCYNA

Паэтычная хвароба, пры якой дотык
пераўтвараецца ў боль

46 HIEAHRAFIJA

Гарачыя зоны кліматалогіі: чатыры палемікі
пра клімат мінулага і сучаснасці

55 ASTRANOMIJA

Астранамічныя падзеі восені: чакаецца
зъяўленне яркае камэты і пошук
новае зоркі

58 SUPOLNAŚĆ

Кропка крышталізацыі. Злёт сяброў
«Памылкі», або Як мы слухалі адно аднаго
і мыслілі свабодную беларускую науку

Кім ёсць беларускія навукоўцы

Цікавае пытанне мы задалі сабе ў рэдакцыі... Ці задумваліся беларускія навукоўцы пра тое, што яны беларускія, і пра тое, што навукоўцы? Ці дачыненне да навуки рабіць цябе навукоўцам? Ці праца выкладчыкам рабіць цябе навукоўцам? Прабыванне за мяжою Беларусі пазбаўляе цябе беларускасці ці, наадварот, дапамагае самавызначэнню?

Я чытаю кнігу беларускага філосафа і метадолага Уладзіміра Мацкевіча «Введение в філософию», дзе ён не проста апісвае філософію, яе гісторыю, а апавядвае, што значыць **быць філософам**. І мне хочацца правесці паралель філософ – навуковец. (Вядома, гэта розныя катэгорыі, і ў іх розныя заданні!)

Мне вельмі падабаецца ідэя, што філософ – гэта чалавек на мяжы ведаў і няведаў, ён задае нязручныя пытанні свету і людзям. І нармальная людзі не задаюць такіх пытанняў, бо ведаюць, што непрыстойна разважаць пра тое, чаго не ведаш. Нармальная людзі не размаўляюць пра тое, чаго не ведаюць. А філософ – размаўляе!

Дык навукоўца я ўяўляю таксама існым на мяжы ведаў і няведаў, толькі ведаў пазітыўных. Больш за тое, існым у момант, калі ён/яна/яно – у працэсе спазнання ці стаўлення пад сумнёў ужо назапашнага досведу. Хто можа быць у працэсе спазнання? Кожны! Няма абмежавання ў веку, ну і іншых параметрах! Але важны момант, на маю думку, – самавызначэнне чалавека, самога сабе як таго, хто спазнае свет, як мысляра, як экспериментатара.

Цягам XX стагоддзя катэгорыя **навукоўца** нібыта была выразаная з стасункаў **навукоўца і прыроды**, пастаўленая на канвеер бюракратыі, на канвеер тэхнага прагрэсу. Але, на маю думку, гэты навуковы канвеер – яшчэ адна эксплуатацыйная мадэль, толькі ўжо не работніка, які працуе рукамі, а які працуе галавой. Але хто пастанаўляе, будзе гэта праца ў межах канвееру ці дзеля вывучэння прыроды? Пастанаўляе чалавек, абапіраючыся на свае каштоўнасці! Але, вядома,

аднаму чалавеку няпроста, і таму трэба, каб людзі стваралі калектывы, групы, супольнасці...

Мы абмеркавалі, як быць **навукоўцам**, цяпер я хачу паразважаць пра тое, што рабіць навукоўца **беларускім**.

Шмат хто стаўся **беларусам** пасля 2020 года :) І я могу гэта зразумець. Як можна асацыяваць сябе прыналежным да нацыі, калі твая нацыя займае амаль уесь свет? Ты жывеш на планеце Беларусь – цэльнай, завершанай сістэме стасункаў, адкуль вельмі цяжка выбрацца і куды вельмі цяжка трапіць. Як часта мы, жывучы на Зямлі, называем сябе зямлянамі? Гэтае саманазыванне можа спатрэбіцца, калі ты НЕ ў Беларусі. І таму беларусамі найперш **робяцца** тыя, хто мае магчымасць вандраваць, ці заехаў у яе, ці з яе выехаў. Тыя, хто мае мажлівасць і здольнасць параўнаць сябе з іншым.

Для мяне любоў і самавызначэнне мяне як беларускі наступіла і ў выніку вандровак, і ў выніку шмат якіх грамадскіх справаў, праробленых з 2009 да 2020 году ў супольнасці сацыяльных гікаў, Фаланстэр. Я вызначаю сябе як беларуска цяпер, бо я рабіла шмат справаў для Беларусі. І я веру: каб нешта ацаніць, трэба прарабіць працу ў той галіне.

Гэтак, **беларускі** навуковец – той, хто рабіць любую справу (навуковую ці грамадскую) для свайго месца, свайго краю. А **беларускі навуковец** – той, хто ведае, з якога ён/яна/яно краю, і спазнае прыроду, мае намер высветліць яе законы дзеля чалавецтва і яго развіцця ды рэфлексіі.

Навошта ведаць адкуль ты, калі навуковая праца не мае межаў? Бо тое адкуль ты стварае ўнікальныя гісторыю, досвед і светапогляд. Рэфлексія гэтага можа дапамагчы як у падыходах спазнання свету, гэтак і ў падыходах да яго змянення ў той ці іншы бок. (Напрыклад, наш зін паўстаў як феномен, бо яго стваральнікі, маючы магутную творчую энергію і веды, не знаходзяць сябе ў межах фармальных беларускіх інстытуцыяў. І болей за тое, разумеюць, што мэта гэтых інстытуцыяў – не веды і не творчасць.)

Гэта толькі пачатак гутаркі пра тое, кім ёсць беларускія навукоўцы. І гутарка не можа быць завершаная ды не мусіць быць завершаная. Беларускія навукоўцы будуть існаваць, пакуль мы пра іх гутарым!

Света Волчак

DZIKAJE PALAVAŃNIE NA RADON

ŠVIETA VOŁČAK



IDEJA I AŪTARSTVA ILUSTRACYI
ŠVIETA VOŁČAK



10.03.24
Klatovy

10.03.24
Klatovy

Jak vy viedajecie, vakoł temy radyjacyi ū Bielarusi zaūždy ažyjataž dy istorija, bo našaja kraina paciarpieła pašla čarnobylskaj avaryi, u nas šmat zabrudžanych terytoryjaū. Pakaleńnie, jakoje biespasia-rednie sutyknutasia z avaryjaj i nastupstvami, spačatku nie asabliva viedała pra radyjeaktyūnaść, a pašla avaryi wielmi prasunułasia ū hetym pytańni. My ž, **pakaleńnie pieršaha paúraspadu cezu (Cs, Caesium)**, uzo mała što viedajem, akramia taho, što ekolahи nas pužauć budavańiem atamnaje stancyi ū Astraúcy...

U zvyčajnaha čałavieka ūsio, što asacyjujecca z radyjacyjaj, vyklikaje strach. Ale nia ū fizyka! *Viedy razburajuc strach!* Viedy demystifikujeć pryrodnužjavu. I viedy nadzialajuć ich nośbita subjektnaściu i zdolnaściu samomu prymać pastanovy.

My sustrakajemsia z radyjeaktyūnym vypramieńvańiem na Ziamli štodnia ūzo tolki tamu, što žyviom na joj. Hetaja žjava nazyvajecca **fonavym vypramieńvańiem**. Prajaje i pojedzie havorka ū artykule.

Padstavaju dla hetaje temy stałasia vandrouka ad škoły, u jakoj ja pracuju jak pamočnica nastaūnikaū fizyki (*Akademieia High School* u Połščy). Mianie zaprasili dałučyccea da ekskursii na temu vymiareńnia radonu, radyjeaktyūnaha hazu. Razam z nastaūnikam fizyki *Dariuszam* [czytajecca: Darjušam] Aksamitam i školnikami my naviedali sutureńni zamku *Książ* [Ksionž] i ūranavyja rudníki kapalni *Podgórze* [Padguže] ū Nižniaj Sylezii.

SŁOŪNIK RADYJOFIZYCY

Kab palavać na radon, varta ūzbroicca viedami: uzhadnič paniatki, fenomeny i adzinki na temu radyjeaktyūnaści :)

Zhadajma, što **radyjacyja** pierakładajecca z anhielskaj jak **vypramieńvańie**. I nas nia musić pužać hetaje słova, bo ūvieś spektar elektrahahnitnych chvalau my taksama nazaviem vypramieńvańiem. Časta ū našaj movie pad radyjacyjaj majecca na ūvazie **radyjeaktyūnaść**. A heta advolny raspad niestabilnaha atama.

Radyjeaktyūny raspad niebiaśpiečny tym, što **ijanizuje** rečy, da jakich dachodzić vypramieńvańie. To bok pieraūtvaraje niezaradžany atam u zaradžany šlacham dadavańia ci adymańnia elektronaū ci vyklikajuć dzialeńnie jadrau na zaradžanyja ijony. (**lijon** – i jośc zaradžany atam.) Takija rečy ci aktyūnyja elementy, traplajući ū arhanizm čałavieka, razburajuc jaho kletki.

Varta skazać i pra **izatopy**. Heta raznavidnaści adnaho i taho ž chimičnaha elementa, u jakoha adnolkavaja kolkaść pratonaū i roznaja kolkaść neūtronaū. Akurat ad kolkaści neūtronaū zależyć stabilnaść albo niestabilnaść jadra. Niestabilnyja jadry tym časam majuć charaktarystykū času raspadu. My padličvajem čas, kali rasałasia pałova tych, što mietasia. Hety čas nazyvajuć **peryjadam paúraspadu**.

Praces raspadu supravadžajecca **alfa-, beta-, albo hama-vypramieńvańiem**. Alfa-čaścinki – heta jadry atama hielu



(He, Helium), beta-čaścinki – elektrony, ci pazytrony, a hama-čaścinki – fatony. I hetyja try vidy vypramieńvańnia majuć roznuju mahutnaść i dalokaść dziejańnia. Naprykład, fatony, čaścinki świątła, adpaviedna ruchajucca z chutkaściu świątła, tamu hama-vypramieńvańnie moža daloka raspausiudzicca. I jano moža nanieści čałavieku škodu vonkavuju – apramienić, ale nie nutranuju.

Nutranuju škodu nanosiać alfa- i beta-vypramieńvańni, kali traplajuć u arhanizm ź ježaju. Hama-vypramieńvańnie maje nizkuju ijanizavalnuju zdolnaść, u adroźnieńnie ad alfa- (samaje ijanizavalnaje) i beta- (stabiliejsze). To bok kali hama-vypramieńvańnie raspausiudžvajecca, jano mała ijanizuje rečyva. Značyć, stvarajecca mała rečaū, što samyja pašla buduć apramieńvać. (Hama-vypramieńvańnie dobra pranikaje praz rečyva. Kab astabić jaho napołovu, treba stoj 1,8 santymetra (cm) stali, ci 5,6 cm betonu, ci 8,4 cm ziamli, ci 21,4 cm dreva, ci 12,2 cm vady.)

A kruty radyjeaktyūny raspad tym, što jon tlumačyć formułu *Einstaina* [Ajnštajna]: $E=mc^2$. I ū vyniku my majem fenomen taho, što masa čaścinki – i jośc jaje enerhija. Heta niemahčyma zrazumieć voś tak adrazu! Reč u tym, što masa čaścinki (jadra), što raspadajecca, nie adpaviadaje sumie masau čaścinak, na jakija jana raspadajecca. Zhublenaja masa – **enerhija suviazi** čaścinak. I hetuju atamnuju enerhiju možna užyć. Jakim čynam – pytańnie inšaje :)

Kab zrazumieć, nakolki my apramienili štokoviek, prydumali **dozy**, jakija adpaviadajuć pahłyńańiu vypramieńvańnia roznymi vidami rečaū i pry roznych sytuacyjach. Ich varta viedać, bo pry vymiareńniach ludzi vymiarajuć ličby, adpaviednyja dozam. A takšama ważny pakaźnik, akramia dozaū, – **aktyunaść** radyjeaktyūnaha elementu.

Aktyunaść (activity) – kolkaść raspadaū za adzinku času. Adzinka vymaireńnia – *becquerel* [bekierel], *Bq* i *curie* [kiury], *Ci*.

Ekspazycyjnaja doza (exposure dose) – zarad, wyzvaleny vypramieńvańiem u danym abjomie **pavietra**, padzieleny na masu pavietra. Adzinka vymaireńnia – *coulomb* [kulon] na *kilahram*, *C/kg* i *roentgen* [rentgen], *R*.

Pahłynalnaja doza (absorbed dose) – wieličyna enerhii ijanizavalnaha vypramieńvańnia, pieradadzienaja **rečyvu**. Heta adhosiny enerhii vytlčeńnia, što pahtynuła

rečyva ū danym abjomie, da jaho masy ū danym abjomie. Adzinka vymaireńnia – *gray* [grej], *Gy* i *rad* [rad].

Ekvivalentnaja doza (equivalent dose) – enerhija ijanizavalnaha vytlčeńnia, jakoje bylo pieradadzienaje **bijalahičnaj tkancy**. Heta adnosiny enerhii da masy rečyva z ulikam vidu vytlčeńnia. Adzinka vymaireńnia – *sievert* [zyvert], *Sv* i ber, 'bijalahičny ekvivalent rentgiena' (rem, 'roentgen equivalent man').

Efektyūnaja doza (effective dose) – uzvažanaja suma ekvivalentnaje dozy z ulikam taho, jak roznya tkanki i orhany arhanizmu ūsprymajuc vytlčeńnie. Vymiarajecca hetak sama, jak i ekvivalentnaja doza.

I tak, asnoūnaja prytada dla vymaireńnia – **ličylnik Geigera** [Gajgiera]. Peūna, pra jaho ūsie čuli, ale nia ūsie macali...

A **radon (Rn, Radon)** – vysakarodny haz, pradukt radyjeaktyūnaha raspadu **radu (Ra, Radium)**, a jon u svaju čarhu – raspadu **úranu (U, Uranium)**. Škodny dla zdaroūja i moža nazapašvacca ū nizinach i sutareńniach, bo stvarajecca naturalnym čynam u ziamli i kamianiach. Nieabchodna rabić zachady dla vymaireńnia i kantrolu jaho kancentracyi dla pracy i žycia ludziej. Heta toje, što ja trochu viedała... Ale ja nia viedała, što isnujuć ludzi, jakija jaho vymiarajuć.

Trymać hetuju infarmacyju ū hałavie ūvieś čas niemahčyma, dyj nia treba. Varta viedać, dzie jaje možna znajsci. Naprykład, u Vikipedyi! *Dziakuj usim valanteram, jakija stvarajecca svabodnyja viedy!*

DARIUSZ AKSAMIT: MY NIA CHOČAM, KAB LUDZI DAVIEDALISIA PRA RADYJACYJU NIEJKIM ABSTRAKTNYM ČYNAM

Uładkavaūssia na pracu ū škołu, ja byta ahałomšanaja, kali daviedałasia, što tam dzieić projekat dla praktychnaha vytlčeńnia i vymaireńnia kancentracyjaū radonu. Bo radyjeaktyunaść – adna z maich ulublenych temau!

Ja trochu papytała nastaūnika fizyki i navukoúca **Dariusza Aksamita**, jaki pracuje ū *Akademieia High School* i na fakultecie fizyki ū Varšauškim technalahičnym universytecie, jak i čamu jon arhanizuje hety projekat dla školnikaū.

Śvieta: Najpierš chaču spytać, čamu hetaja tema cikavaja asabista dla ciabie.



Darek: Pra radon?

Švieta: Aha! I pra radyeaktyūnaś naahut.

Darek: Najpierš radon – najvažnejšaja kryniča ijanizavalnaha vypramieňvańia dla čałavieka. Heta vieli mi važny punkt adliku dla luboju inšaj dyskusii: naprykład pra radyjacyjnemu abaronu.

Pamiataju, kala ja vučyśia u ūniersytecje, išta dyskusja pra budaŭnictva elektrastancyi ū Polščy. I byli ludzi, jakija bajalisia, praz radyjacyju. Navat kala jośc zakon, pavodle jakoha za 400 metraū ad aharodžy reaktara radyjacyja nia moža być bolšaja za $0,01 \text{ mSv}$ za hod. Ale što heta značyć – *milišievert* za hod?! Ci šmat heta – $0,01$?! A ludzi kazali: voj, dyk radyjacyja ź! Adkaz byu tak: kala vy robicie hlyboki ūdych, vy atrymlivacie bolš radyjacyi praz hety radon!

Mnie bylo cikava, što heta jašče i naturalnaja radyeaktyūnaś! Bo ū medyjach aš-viatlajecca Čarnobyl, *Fukushima*¹ ci lubaja radyjacyjnaja avaryja, ale amal nichko nia viedaje pra kal² u bananach ci małace, pra vuħlarod-14 u vašym ciele, ci prosta pra ūsiu radyeaktyūnaś, jakaja jośc vakoł nas. I asabliva – pra radon. Ludzi bajacca zusim nieistotnych rečau, ale nia viedajuć, što nasamreč moža być važnym. Suśvetnaja arhanizacyja zdaroūja (SAZ)³ śčviardžaje, što radon – druhaja pryčyna raku lohkich. Tamu pavyšany ūzrovień radonu – heta važna.

U balšyni miescau u Polščy niama problemau z radonam, ale ū Sudetach ci ū Nižniaj Sylezii heta prablema, a ū Mazovii – nie.

Švieta: Ty navat nie ūjaūlajeś, nakolki tvoj adkaz budzie cikavy biełaruskaj aūdytoryi, bo ū nas jośc atamnaja elektrastancyja ū Astraūcy. I roznyja ekolahi tolki i robiać, što raspaūsiudžvajuć infarmacyju, jak heta drenna. I, viedajeś, nichko ničoha nie razumieje.

Darek: Ja mahu zrazumieć hety strach, jon idzie ad kultury arhanizacyi. Ja maju na uvazie toje, što adbyłosia z Čarnobylem, bo heta byu Saviecki Sajuz – biez kultury biaśpieki i z kulturaju padparadkavańnia ūładam. Tamu ludzi, jakija razumieli, što nasamreč adbyvajecca, nie mahli skazać: maūlaū, chłopcy, heta niapravilna, heta vybuchnie. Bo niechta tam naviersie skazaū: nie, maūčy.

¹[Fukusima].

²K, Potassium

³World Health Organization, WHO

Heta baza: u kultury biaśpieki słowa «biaśpieka» – samaje ważne.

Švieta: Ja taksama bačyla, što adnoju z metaū projektu było naładzić miascovyja kantakty na hetuju temu i emacyjnaje stauleńie da daśledavańia. Što ty majeś na uvazie?

Darek: Kali my vykładajem zvyčajnuju prahramu fizyki, jana časta vieli ahulnaja: heta nie pra ciabie! Niechta prymusiū hetamu navučycce, i ty musiš heta zrabić, bo ū ciabie ispyt – i ūsio. I heta pracuje dla balšyni. Tamu, kala ty možaś mieć emacyjniju suviaź abo ū ciabie jośc miascovy kantekst da taho, što vyvučajecca, heta adrazu pryciahvaje ūvahu i zmianiae ūzrovień uzajemadziejańia.

Hetak, možna vyvučać ahulam zabrudzvańie rek, pavietra, ale jośc rožnica, kala ty biareš probu vady z sažałki abo naładžvaješ prýbor dla vymiareńia pavietra, jaki prynosiu ū škotu.

U hetym kantekście znoū źa my nia chočam, kab ludzi daviedalisja pra radyjacyju niejkim abstraktnym čynam. Bo heta abstraktna i nie pra ich. Ale kala my havorym tolki pra takija rečy, jak Čarnobyl ci Fukushima, to my prapuskajem toj arhument, što heta nieistotna z hledzišča radyjacyjnaj abarony.

Kali my kažam, što radyjacyja – vakoł vas i vy joju dychajecie, to my dajom abstalavańie i dazvalajem vymiarać jaje. I heta zusim inakš, kala ludzi bačać realnyja vyniki ū svaim domie, vadzie z krana, hlebie ū sadzie i hetak dalej. Tady jany zaanhāžavanyja i chočuć viedać bolš na hetuju temu. Nam nia treba prymušać ich vučycca.

Švieta: Heta kruta! Takim čynam ludzi bolš matyvavanyja, kala heta pobač ź imi... Ja taksama chacieła daviedacca, ci adno i toje ź – «radyjacyjný fon», «naturalnaja radyjacyja» i «radyeaktyūnaś navakolnaha asiarodździa»?

Darek: Ahulam tak... Kali my havorym pra «radyeaktyūnaś navakolnaha asiarodździa», to hałoūnym čynam majem na uvazie izatopy, jak i radyjekalohija, i NORM⁴, prydronyja radyjezatopy, ale ū nas taksama jośc štučnaje ūzdziejańie. Kali my kažam «fonavaje vypramieńvańie», heta taksama ūklučaje, naprykład, kaśmičnaje vypramieńvańie – vypramieńvańie, jakoje pastupaje z kosmasu. I kala my ūvohule havorym pra

⁴Radyeaktyūny materyjał naturalnaha pachodžańia (naturally occurring radioisotopes)



Toje ž z vadoju z krana. My pravodzili vymiareńni z dapamohaju techniki vadkich scyntylataraū: sabrali proby i adpravili ich u labaratoryju. Studenty nabirali vadu sa svajho krana. Ja rabiū heta sa školnaha i damašniah kranaū. I taksama my nabirali vadu, kali byli ū padziemnych šachtach.

Ciapier možna zrazumieć adroźnieńi ūzroūniaū. Jak i ū Varšauškim rajonie, u škole vada ū Visły, jana filtrujecca. A ū mianie, heta pobač z Varšavaju, inšaja kampanija. Jany robiać svaju śvidravinu dla vady. U šachte ū niama abmienu vady, a była raniejsza ūranavaja šachta. Takim čynam vy bačcie vyniki, ale ciapier vy možacie zrazumieć, čamu jany adroźnivajucca.

Śvieta: Zdajecca, taja ž vada, ale...

Darek: Tak! Ale vy bačcie prycynu. I hetak sama, kali my abmiarkoūvali padvodnyja krynicu. Adzin student zaūvažyū, što ū nas jośc aligacenavaja śvidravina, i jon uziaū bolš probaū, kab pajsci i pravieryc padvodnuju aligacenavuju krynicu, što niedaloka ad jaho. Tam była samaja cikavaja proba, jakuju my atrymali.

Tak što studenty mahli rabić usio, što chacieli.

Śvieta: Ja bačyla niekatoryja vyniki. Možaś prakamentavać ich? Naprykład, u hetaj aligacenavaj śvidravinie było niešta cikavaje. I ū centry Varšavy byli wysokija pakaźniki, u Żoliborzy⁵, ci nia tak?

Darek: Ale heta vymiareńni pavietra.

Naahuł u vadzie ū Varšavie paūsiul kancentracyja byta niżejsza za paroh vyjaūleńia: niżej za 2 Bq/l. I prycyna ū tym, što heta račnaja vada. Było dastatkova času, kab

⁵[u Žoliborzy]



radon vyrvaūsia. Adkrytaja vada. Ale ū šachcie my atrymali kala $470 \text{ Bq}/\text{L}$. I heta wielizarnaja kolkaść. A ū aligacenavaj śvidravinie heta byto kala $30 \text{ \AA} \text{ niečym } \text{Bq}/\text{L}$. To bok vadu možna pić, i kancetracyja niżejšaja za paroh, jaki wyznačyła SAZ, a heta prykładna $100 \text{ Bq}/\text{L}$. Tamu vychodzić, što pić biaśpiečna.

Cikava, što my sapraūdy možam adrožnić pachodžańie vady. Što heta padziemnyja vody, a nie vada z raki!

I z pavietram my paćvierdzili toje, što čakali: u sklepach my dasiahnuli navat kala 300 z čymści , ale na vierchnich pavierchach heta byto niżej abo kala siaredniaha üzroūniu pa Polščy – kala $50 \text{ Bq}/\text{m}^3$.

Śvieta: Sklep. Ty maješ na ūvazie dla studentau, jakija jaho majuć?

Darek: Tak!

Śvieta: Heta wielmi cikava! I jašče adno pytańie. Raskažy pra mižnarodnuju supolnaśc, jakaja vymiaraje radon. Jak jana pracuje? Jak hetyja inicyjatyvy źviazanya?

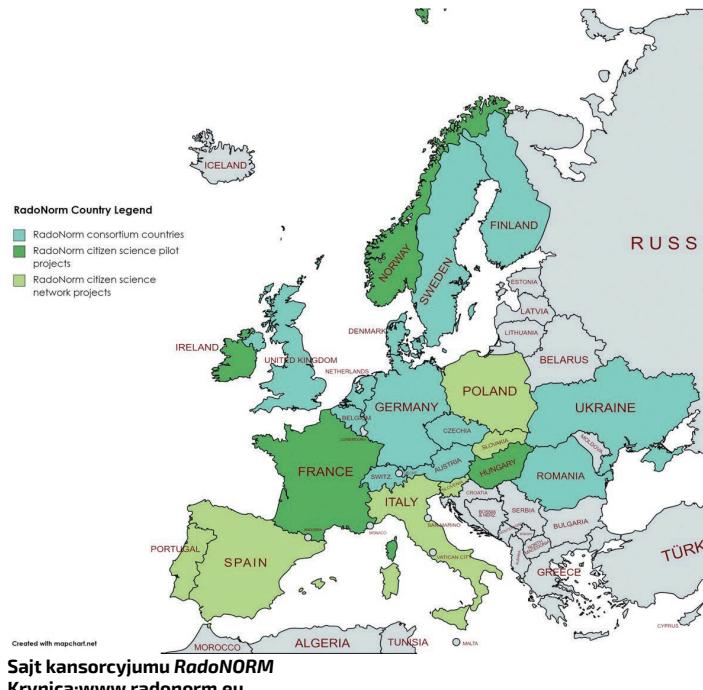
Darek: Ideja idzie ad kansorcyjumu *Rado-NORM*, što zajmajecca radonam i *NORM'am*, pyrodnymi radyjezatopami. Heta ahluna-eūrapiejski kansorcyjum, jaki składajeca z, dumaju, 60 instytutaū, labaratoryjaū, ahienencyjaū, što zajmajucca dazymetryjaj i radyjacyjnaj abaronaj. I jany finansujucca praz *Euratom*, to bok Eūražviaz.



Adzin z pracoūnych pakietau byū pryświečany kamunikacyi i adukacyi. Heta byli pilotnyja projekty pra hramadzianskuju navuku. Ideja ū tym, kab vymiareńni rabilisia nia tolki navukoūcami. Jany chacieli zaachvocić ludziej taksama ueziać udzieł i dziakujucy hetamu lepš zrazumieć, što nasamreč adbyvajecca ū supolnaści dy stacca hramadzianskim navukoūcam.

Hetak byli zapušcanyja dva pilotnyja projekty i abvieščanaja mahčymać hrantu. Kožny moh padacca na hrant sumaju kala $25\,000$ eūraū. Heta byli vialikija hrošy dla nievialikich hrupaū hramadzianaū! Šeść projektaū vyjrali, i adzin ū ich byū naš.

Hetyja projekty krychu adrožnivalisia ad našaha. Naš byū adziny aryjentavany na starejšaklašnikaū. Voś tamu ū nas zadziejanyja tolki dziasiaciera vučniaū, ale my stvarajem patencyjał dla vymiareńnia radonu dla ūsioj škoty i na budučyniu. I my zrabili źmat roznych rečau: vymiaralivadu i pavietra, pracovali z aktyūnymi i pasyūnymi detektarami, pracovali z radonavaju kameraju. My



šmat čaho zrabili! Ale inšyja inicyjatyvy, napríklad, byli zasiarodžanyja na vymiareni kancentracyi ū pavietry, i ū prajekcie byli zadziejanyja, napríklad, 200 čałaviek. Tady ichnyja ludzi prachodzili navučańie i paśla ładzili daśledavańi, a zatym i analiz hetych daśledavańia. I, napríklad, navat rabilis zachady dla znižeńia üzroūniu radonu.

U našym prajekcie nie bylo patreby źmiak-čać nastupstvy, tym časam adna reč adbytasia ū Polščy úpieršniu: u studzieni 2024 hodu adnu pačatkowuju škołu začynili praz zavysokuju kancentracyju radonu. Było heta ū Lublinskim vajavodzvje.

Takim čynam, hetyja 6 prajektaў byli prafinansavanyja, a potym ludzi nabrali svaje kamandy, ciapier – kamandy hramadzianskich navukoúcaū. Kožnyja niekalki miesia-čaū my sustrakajemsja online, kab padvynikavać prahres. Prajekt zaviaršajecca, i ū červieni adbudziecca štohadovaja sustreča kansorcyjumu *RadoNORM*, a taksama budzie panel⁶, prysviečanaja hramadzianskim navukovym prajektam.

Ideja hramadzianskaje navuki pryciah-vaje ūsio bolš uvahi, prynamsi ū Eǔropie. Usio bolš finansujecca hety kirunak, bo heta mahčymy sposab pabudavać daviera da navuki, zajmajučysia realnaju navukaju. Bo tady vy razumiejecie, jak heta pracuje, i nichčo nia skaža vam, što, viedajecie, niechta kankretny kiruje ſvietam, ci chto-kolviek jašče... Bo, bačycie, ułasna vy rabilis vymiareni, vy možacie im daviarać, vy navučanyja rabić ich samastojna ū labatoryi. I asabliva kali vy nie daviarajecie ūradu, ci tym, chto kiruje ſvietam, vy možacie pravieści realnaje daśledavańie. Ale ū hetym vypadku – z prafesijnym padtrymańiem asobaū, jakija mohuć dampahčy taksama z abstalavańiem dla analizu, ale nia tolki.

P. S. My abminuli temu
sacyjalnych sietak :D

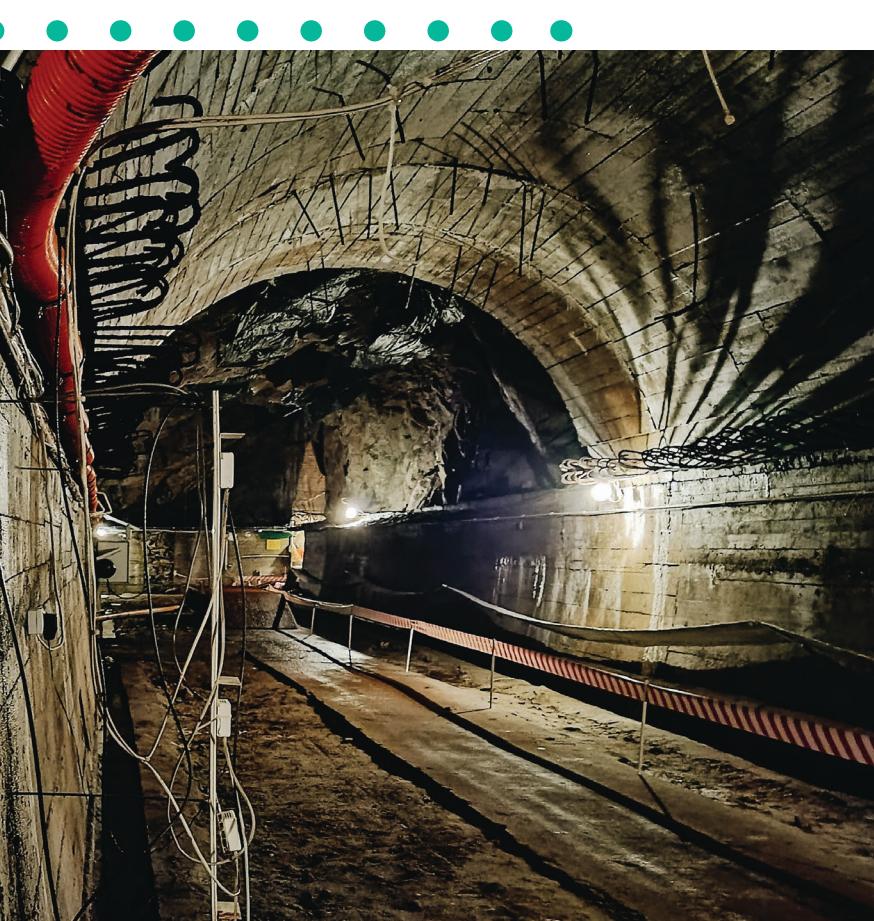


1000 BQ I CIAHNÍK Z ZOŁATAM, ABO PADARÓŻZA Ŭ ZAMAK KSIĄŻ

Spačatku my naviedali zamak Książ [Ksionż] u Nižniaj Sylezii. Tam padčas taho, jak terytoryja naležała nacystam, byli vyrytyja pad zamkam wieličeznyja tuneli, u jakich raźmia-ščalisia pramysłovskyja objekty. U pryncypie kožny moža ich naviedać u luby čas.

U jakaści prývaby apaviadu historyju pra «załaty ciahnik». Za apošnja miesiacy Druhoj sušvietnaj vajny nacyski pancyrny ciahnik, nahružany zołatom dy inšymi kaštoúnaściami, vyjechaū z Breslava (ciapier Vrocłaŭ), prýbyū na stancyju *Freiburg in Schlesien* [Frajburg in Šležjen], ciapier Świebodzice [Świebadzice], ale nie dajechaū da nastupnaj stancyi ū Waldenburzie, ciapier Wałbrzych [Vałbžych]. Padazrajuć, što ciahnik uvajšoū u zakinutuju vuhalnuju šachtu abo ū systemu tunelaū pad zamkam Książ, jaki jośč častkaju niezavieršanaha zvyšsakretnaha na-cysckaha budaūničaha prajektu ū Savinych ha-rach... Ciahnika my pakul nie znajšli, treba jašče žjezdzić :)

Uvohule pieršyja vymiareni radonu ū sutareńiach byli praviedzienja ū 17 traňnia 2014 da 16 traňnia 2015 hodu ū padziemnej hieadynamičnej labarato-



ry Centru kašmičnych daśledavańia Polskaj akademii navuk (Centrum Badań Kosmicznych Polskiej Akademii Nauk, CBK PAN) u zamku.

⁶Na momant vychadu zinu ūžo adbytasia





Padčas tych vymiareńia vyjaviłasia, što kancentracyja radonu zaležyť, viadoma, ad miesca vymaireńia, maje sezonný charakter, a taksama moža mianiacca na praciach dnia. Samyja vysokija pakaźniki aktyúnaści prychodziliśia z požnialej viasny da raňiaje vosieni, samyja nizkija – z listapada da krasavika. Efektyūnyja dozy, jakija atrymovali ludzi ū padziemnych labatoryjach, varjavališia ad 0,001 mSv za hadzinu da 0,012 mSv za hadzinu. (Normaju ličycza 0,12 mkSv za hadziniu = 0,00012 mSv za hadzinu.)

Vymaireni ū zamku praciahnuli i z 8 kastryčnika 2016 da 2 lipienia 2019 hodu. Siaredniaja efektyūnaja doza žmianałasia tady z ad 0,0003 mSv za hadzinu (z listapada da sakavika) da 0,014 mSv za hadzinu (z krasavika da žniūnia).

U miežach školnaha projektu taksama byla ražmieščanaja prylada dla vymaireńia kancentracyi radonu. Siaredni vynik apynuūsia dziūny: kala $50 \text{ Bq}/\text{m}^3$, u toj čas jak z 2014 da 2015 hodu kancentracyja varjavałasia z 500 da $3200 \text{ Bq}/\text{m}^3$ u roznych mescach sutareńiau u roznyja paraviny hodu. U 2017-m siaredniaja kancentracyja składała $1179 \text{ Bq}/\text{m}^3$, a u 2018-m žnižiłasia da $943 \text{ Bq}/\text{m}^3$. Možna zaúvažyć, što tak, kancentracyja žnižiłasia, bo byla palepšanaja ventylacyja tunelaŭ, ale, nu, nie da takoj že stupieni :)

Padčas naviedańia zamku *Dariusz* zamiařau hama-vypramieńvańie z dapamohaju ličylniku *Geigera*. Pad ziamloju pakaźniki pahtynalnaje dozy byli $0,12 \text{ mkGy}$ za hadziniu. Na pavierchni – $0,22$ – $0,4 \text{ mkGy}$ za hadziniu. Vydatnaja demanstracyja taho, što pad ziamloju nas napatkała tolki vypramieńvańie z ziamli, a na jaje pavierchni – jašče i vypramieńvańie z kosmasu.

Jašče my mieli ekskursiju ad čałavieka-inštituci Leopalda Stempoūskaha (Leopold Stempowski), pracaūnika Instytutu hieafizyki Polskaj akademii navuk. Cikava, što ū labaratoryjach zamku zahadvaje tolki jon :) (A tak možna było!? Peūna ž!)

Navukoviec apavioŭ pra vymiareńie sejšmičnej aktyúnaści, jakoje taksama tam pravodzicca ū sejsmalahičnej abservatoryi. Akazvajecca, radon – adzin z samych maħutnych indykatoraў dla vyznačeńia j prahnazavańia ziemlatrusaў. Dziakujučy chimičnym ułaściwaściom (praktyčna nia maje adsorpcyi, apadkaū i rastvareńia) jaho ruch pad pavierchniau ziamli kantralujecca radyjeaktyūnym raspadom, dyfuzijaj i časam advekcyaj. Žmieny ū aktyúnaści radoņu ū padziemnych hazach i vodach mohuć davać kaštoūnuju infarmacyju pra sejšmičnuju aktyúnaść.



I NAREŠCIE ŪRANAVYJA RUDNIKI! KAPALNIA PODGÓRZE Ū KAVARACH⁷

Z 1947 da 1957 hodu šachty Podgórze byli zadziejanya ū zdabyvańi ūranu i pracovali jak dačcyna ja kampanija Pramysłowych pradpryjemstvaŭ R-1 (Zakłady Przemysłowe R-1). Kapalni Podgórze byli zasnavanyja pašla Druhoj sušvetnaj vajny jak druhaja najvialikšaja kampanija dla zdabyvańia rudau u Kavarach.

Uran uvohule nie taki radyjeaktyūny, bo jaho paúraspad u izatopaū $U-238$ – 4,5 miljarda hadoū. Samy niebiašpiečny jaho dačcyny element – rad (*Ra*) i haz radon (*Rn*). Tym nia mienš štolni 19a i 19, častka rudnikoŭ, jakija ūžo nie vykarystoūvajucca, ličacca prastoraju z samaju vysokaju kancentra-

⁷Kowary

cyjaj aktywności radonu, zafiksavanaj u Polščy. Maksymalnyja знаčeńi varjuucca ad 800 Bq/m^3 da miljona Bq/m^3 (знаčeńi byli atrymanyja z krasavika da červienia 2011-ha, trochu mienš byli ž lipenia da vieraśnia).

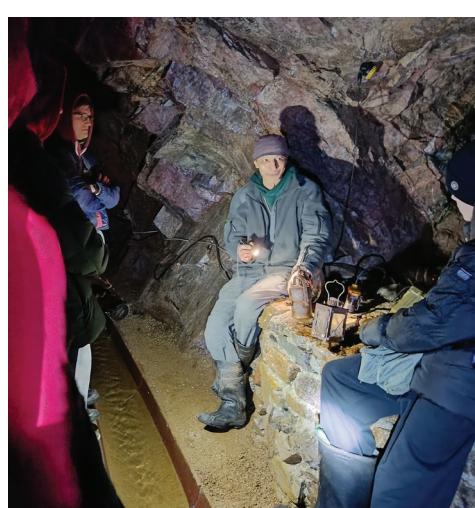
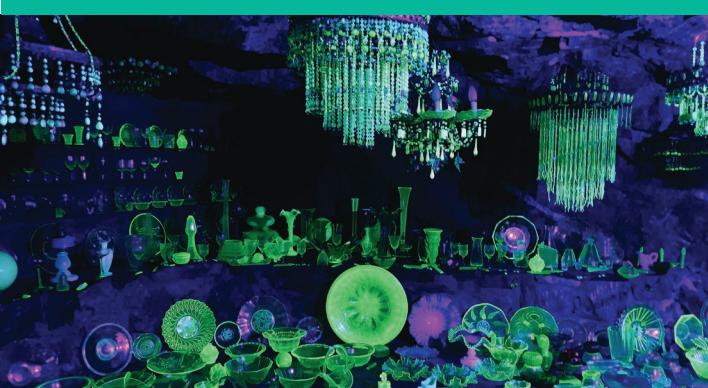
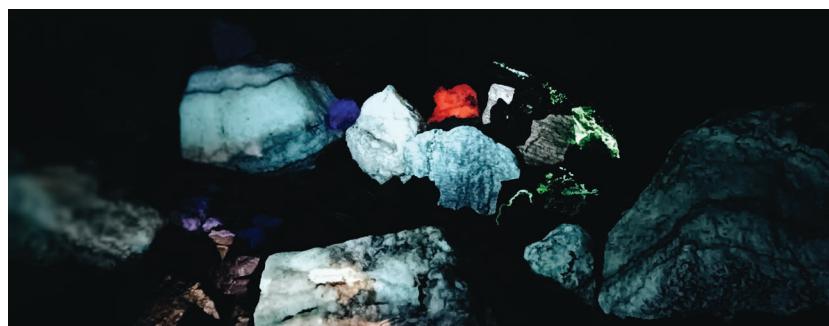
Vidavočnaja niejmavierna ciažkaja praca ludziej, jakija zdabyvali rudy koštam žycia... I ū asnoūnym dziela zbroi. Samaje ciažkaje byto nia stolki apramieńvańie, jak pył, jakim ludzi dychali... Nieki čas achoūnyja maski rabilisia z azbestu (!).

Hety ž uran z kapalni byu vykarystany dla stvareńia pieršaj savieckaj atamnaj bomby. Jaje pratotyp wielmi efektna zachavalu ū šachtach.

U nas byla trasa pavyšanaje składanaści (ahułam turystyczny maršrut składaje kala 1600 m dažynioju), to dzieści treba byto zhinacca i praciskacca, pry hetym nie datykujučy ścienau... U niekatorych miescach byli zavały. Vyhľadała dzika i pryciahalna!

Taksama na fota – wielmi kruty hid, jaki nahadvaū stačkiera. Kažany, jakija spakojna spali dahary nahami na ścienach. (I, darečy, jany śvieciacca ūva ultrafijalecie!) Možna pabačyć, jak śvieciacca i mineraty ūva ultrafijalecie, zialony – uran. I tak, ličylnik Geigera pa-varjacku cikaū i pakazvaū da 10 mGy za hadzinu, kali jaho nabližali da kavałkaū ścienau, što ūtrymlivajuć uranavuju rudu.

Nieki čas byla moda na posud z uranavaha škla, jakoje ciapier možna nabyć jak suvenir. Ale dla zdaroúja jeści ž jaho nielha.





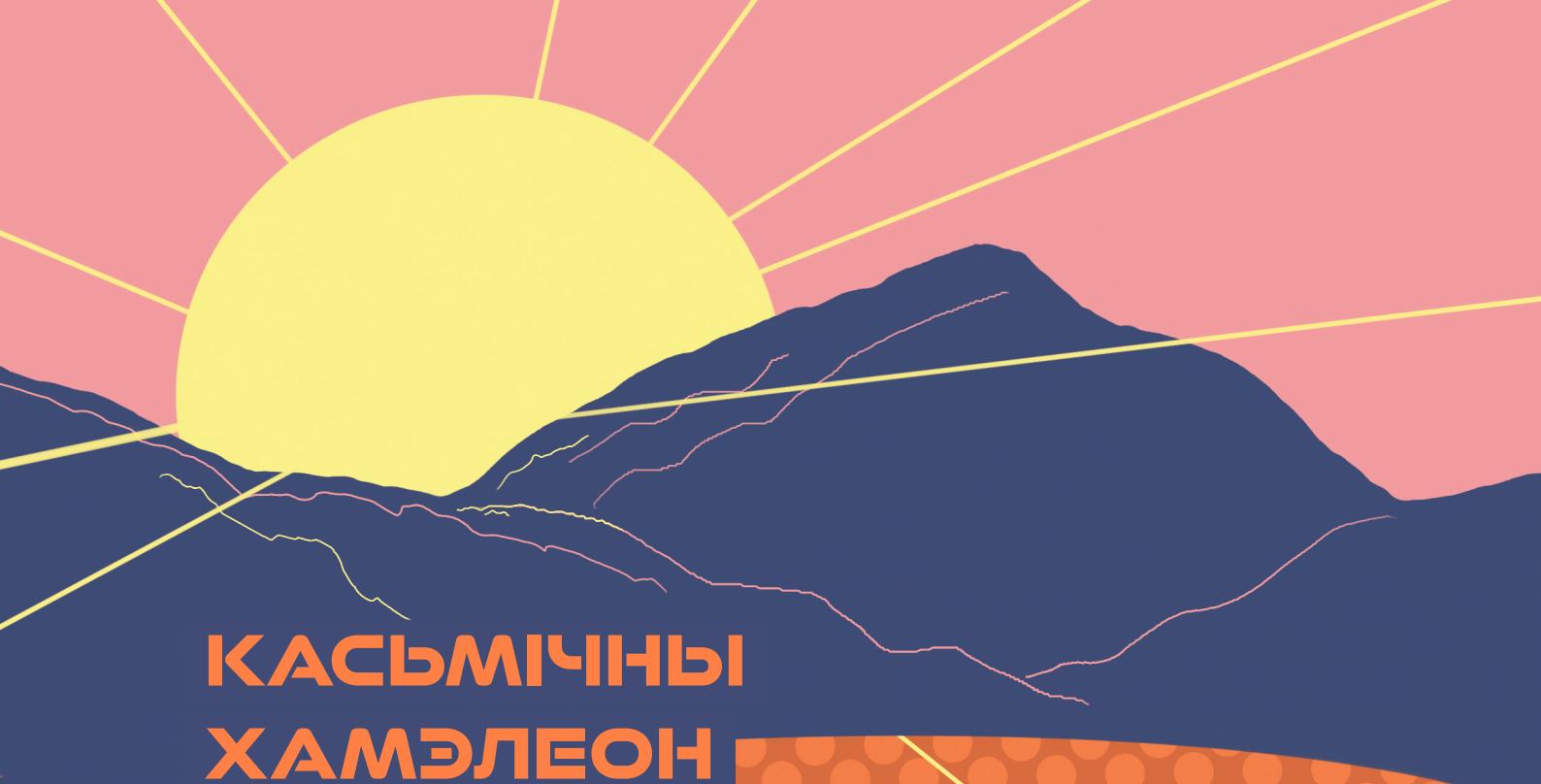
Varta dadać: kab pabudavač turystyčnyja maršruty i zabiaśpiečyč štodzionnuju praci ludziam, bylo nieabchodna palepšyč ventylacyju. Bo, zhodna z vymiareńniami ū 2011-m, uždziejańnie dla čałavieka pieravyšała 20 mSv za hod u 100 razou užo tolki za paňhodu pracy. (Izatop radonu Rn-222 maje peryjad paúraspadu ūsiaho 3,8 dnia. Tamu pry dobrąj ventylacyi jahō možna i treba vyvietryvač!)

Padsumoūvajučy, adznaču, što ja ū zachapleńni ad kolkaści ūražańniau i novaj infarmacyi dla mianie, ja navat nie mahta maryč, kab trapič u takoe cikavaje padarožža!

Rabicie htyboki ūdych, ale i trymajcie ličylnik Geigera pad rukoju ;)

KRYNICY:

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Radioactive_decay (05.04.2024)
2. [https://en.wikipedia.org/wiki/Roentgen_\(unit\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Roentgen_(unit)) (05.04.2024)
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Radiation_exposure (05.05.2024)
4. https://en.wikipedia.org/wiki/Absorbed_dose (05.05.2024)
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Equivalent_dose (05.05.2024)
6. [https://en.wikipedia.org/wiki/Effective_dose_\(radiation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Effective_dose_(radiation)) (05.05.2024)
7. <https://en.wikipedia.org/wiki/Becquerel> (05.05.2024)
8. https://en.wikipedia.org/wiki/Radioactive_decay (05.05.2024)
9. [https://be.wikipedia.org/wiki/Кюры_\(адзінка_вымярэння\)](https://be.wikipedia.org/wiki/Кюры_(адзінка_вымярэння)) (05.05.2024)
10. <https://www.radonorm.eu/activities/radonorm-citizen-science/>
11. https://en.wikipedia.org/wiki/Nazi_gold_train (05.05.2024)
12. <https://www.igf.edu.pl/leopold-stempowski.php>
13. <https://www.igf.edu.pl/ksiaz-ksp.php>
14. <https://www.kopalniapodgorze.pl/>
15. Baskaran M. (2016). Radon: A tracer for Geological, Geophysical and geochemical Studies. Springer Geochemistry, 8, 205.
16. Fijałkowska-Lichwa L., A. Przylibski T. (2016). First radon measurements and occupational exposure assessments in underground geodynamic laboratory the Polish Academy of Sciences Space Research Centre in Książ Castle (SW Poland) <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0265931X16304921>
17. Fijałkowska-Lichwa L., A. Przylibski T. (2021). Assessment of occupational exposure from radon in the newly formed underground tourist route under Książ castle, Poland <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8116260/>
18. Fijałkowska-Lichwa L. (2016). Extremely high radon activity concentration in two adits of the abandoned uranium mine 'Podgórze' in Kowary (Sudety Mts., Poland) <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0265931X16303393>
19. <https://www.akademcia.edu.pl/>



КАСЬМІЧНЫ ХАМЭЛЕОН

АНДРЭЙ НОВІКАУ



Ідэя і аўтарства ілюстрацыі
Аляксандра Падорнікава



Папулярнае тлумачэнъне Нобэлеўскае прэміі ў галіне фізыкі – 2015, якую ўручылі за адкрыцьцё нэўтрынных асцыляцыяў, што спраўдзілі наяўнасць масы ў нэўтрына.

«У 1998 годзе Такаакі Кадзіта (*Takaaki Kajita*), удзельнік у той час калябарацыі *Super-Kamiokande*, презентаваў новыя звесткі, якія дэманстравалі зынікненне атмасферных мюонных нэўтрына (v_μ), то бок тых нэўтрына, якія ўтварыліся пры праходжанні касымічных прамянёў праз атмасферу, на шляху іх руху да дэтэктара. У 2001 годзе Артур МакДоналд (*Arthur B. McDonald*), кіраўнік *Sudbury Neutrino Observatory (SNO)*, надрукаваў доказы пераутварэння сонечных электронных нэўтрына ў мюонныя нэўтрына і таў-нэўтрына (v_τ). Гэтыя адкрыцьці мелі вялікі ўплыў і распачалі прарыв у фізыцы элемэнтарных часцінак. Нэўтрынныя асцыляцыі і ўзаемазвязаныя пытаныні прыроды нэўтрына, масы нэўтрына і магчымасці парушэння сымэтрыі зарадавага сущасцінства лептонаў – найважнейшыя на сённяня пытаныні касмалёгіі і фізыкі элемэнтарных часцінак».

Вы прачыталі афіцыйнае тлумачэнъне, за якія адкрыцьці далі Нобэлеўскую прэмію ў галіне фізыкі ў 2015 годзе. І, відавочна, цяжка зразумець, што ж гэта такое – пераутварэнне мюоннага нэўтрына ў таў-нэўтрына і нэўтрынныя асцыляцыі. Але ж усе ведаюць, што Нобэлеўскія прэміі даюцца за істотныя адкрыцьці. Сапраўды, можна заўважыць, што амаль усе рэчы ў нашым жыцці звязаныя з істотнымі адкрыцьцямі ў фізыцы, адзначанымі некалі Нобэлеўскімі прэміямі. Паспрабуйма з дапамогаю матэрыялаў з сайту Нобэлеўскага камітэту патлумачыць, чаму вывучэнъне нэўтрынных асаблівасцяў можа быць і будзе важным для чалавечства.

МЫ ІСНУЕМ У СЬВЕЦЕ НЭЎТРЫНА

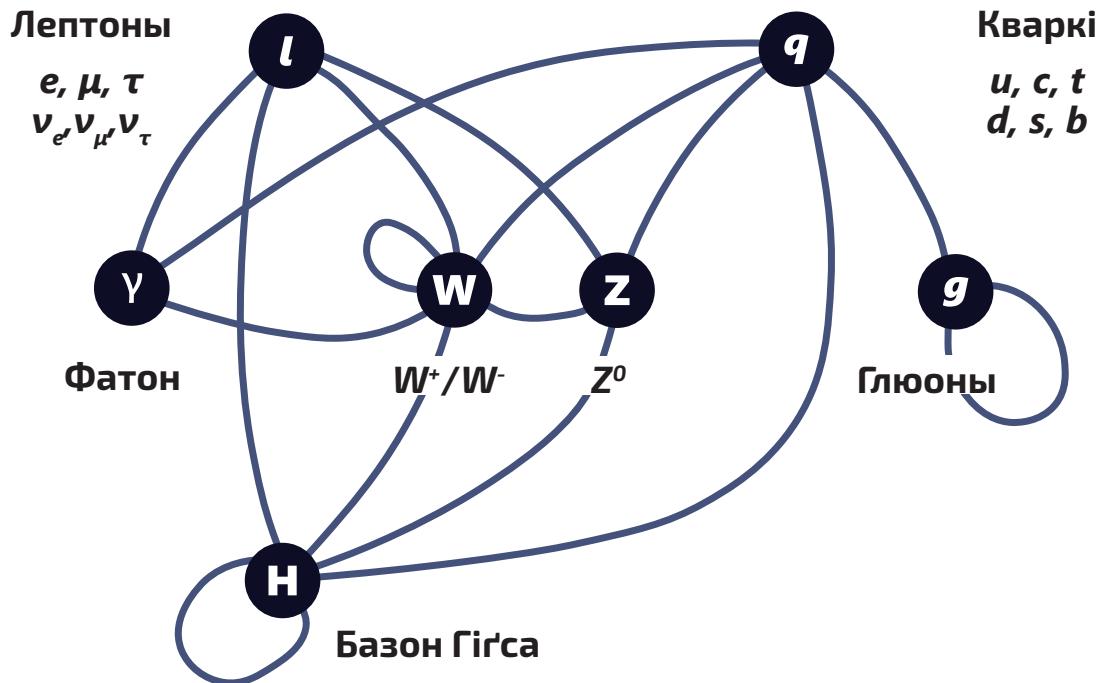
Тысячи мільярдаў нэўтрына працякаюць скрэзь нашае цела кожнае імгненьне. Іх нельга ўбачыць і нельга адчуць. Нэўтрына праносяцца скрэзь простору амаль з хуткасцю съятла і амаль не ўзаемадзяюць з рэчывамі. Існуе вялікая колькасць крыніцаў нэўтрына – як у космесе, гэта і на Зямлі. Частка нарадзілася ў выніку Вялікага выбуху. А цяпер крыніцы нэўтрына – гэта і выбухі звышновых зорак, і распад зоркавых гігантаў, а таксама радыяактыўныя рэакцыі на атамных электрастанцыях ды працэсы натуральнага распаду ў прыродзе.

Гэта, нэўтрына – гэта другія паводле колькасці элемэнтарныя часцінкі пасля фатонаў, часцінак съятла. Але, не зважаючы на гэта, доўгі час існаваньне нэўтрына было нявызначанае.

Імавернасць існаваньня нэўтрына дапусціў аўстрыйскі фізык Вольфганг Паўлі (*Wolfgang Ernst Pauli*). Гэта была на той час спроба патлумачыць пераутварэнне энэргіі пры бэта-распадзе (від радыяактыўнага распаду атама з выпраменьваннем электрону). У сінегі 1930 годзе Паўлі выказаў здагадку, што частка энэргіі пры распадзе забірае з сабой электрычна нэўтральная часцінка амаль бяз масы, і таму яна амаль не ўзаемадзяюць з асяродзем. Паўлі быў упэўнены ў існаваньні такога часцінкі, але ж разам з тым разумеў, як складана будзе выявіць часцінку з такім ўласцівасцямі мэтадамі эксперыментальнай фізыкі. Ён напісаў пра гэта: «Я зрабіў жудасную рэч. Я сцьвярджую існаваньне часцінкі, якую ніколі нельга будзе выявіць». У 1932 годзе адкрылі нэўtron: цяжкая моцнаўзаемадзейная частка атама, вельмі падобная да пратона, толькі электрычна нэўтральная. У хуткім часе пасля адкрыцьця нэўтрона італьянскі фізык Энрыка Фермі (*Enrico Fermi*) прапанаваў маленькую няўлоўную часцінку Паўлі называць, як маленькі нэўtron – нэўтрына.

Магчымасць выявіць нэўтрына зьявілася толькі ў канцы 1950-х, калі пабудавалі шмат атамных электрастанцыяў і колькасць (плыні) нэўтрына значна павялічылася. У 1956 годзе фізык беларускага паходжання Фрэдэрык Райнэс (*Frederick Reines*, у 1995-м – ляўрэат Нобэлеўской прэміі) правёў эксперымент, у якім зреалізаваў ідэі Бруна Пантэкорва (*Bruno Pontecorvo*): выявіў нэўтрына і антынэўтрына на ядральным рэактары ў Паўднёвай Караліне. У выніку ён паспелі адправіць тэлеграму Вольфгангу Паўлі незадоўгана съмерці, у якой апавёў, што нэўтрына пакінулі съяды ў дэтэктарах. А ўжо ў 1957 годзе Пантэкорва апублікаваў яшчэ адну наватарскую працу пра нэўтрына, у якой першы выказаў магчымасць нэўтрынных асцыляцыяў.

З 1960-х актыўна началі разъвіваць нэўтринную астраномію. Адно з заданняў датычыла падліку колькасці нэўтрына, якія нарадзіліся ў выніку ядрowych рэакцыяў на Сонцы. Але спробы зарэгістраваць разылічаную колькасць нэўтрына на Зямлі паказалі, што недзе згубіліся амаль дзіве траціны нэўтрына. Натуральная, маглі быць памылкі ў



Малюнак 1. Стандартавая мадэль (*standard model*) – тэарэтычная канструкцыя ў фізыцы элементарных часыцінак, якая апісвае электрамагнітнае, слабое і моцнае ўзаемадзеянне ўсіх элементарных часыцінак. Звычайная мадэль ня ёсьць тэорыйяд усяго, бо не апавядает пра цёмную матэрыю, цёмную энэргію і не залучае гравітацыі. Існуюць 6 лептонаў (электрон, мюон, таў-лептон, электроннае нэўтрына, мюоннае нэўтрына і таў-нэўтрына), 6 кваркаў (u, d, s, c, b, t) і 12 адпаведных ім часыцінак (<http://elementy.ru/LHC/HEP/SM>)

разьліках. Але адзін з магчымых адказаў быў у тым, што частка нэўтрына зьмяняла свой тып. Згодна зь існаў сёньня ў фізыцы элементарных часыцінак стандартаваю мадэльлю (Малюнак 1), бываюць троны тыпы нэўтрына: электроннае, мюоннае і таў-нэўтрына. Кожнаму тыпу можна паставіць у адпаведнасць яго зараджанага партнера. Электрон да электроннага нэўтрына. А двум астатнім адпавядваюць цяжкія часыціцы, якія маюць меншы час жыцця – гэта мюон і таў-лептон. У выніку ядравых рэакцыяў на Сонцы нараджаюцца толькі электронныя нэўтрына, і згубленыя нэўтрына маглі б адшукацца, калі б падчас руху да Зямлі электронныя нэўтрына маглі ператварацца ў мюонныя і таў-нэўтрына.

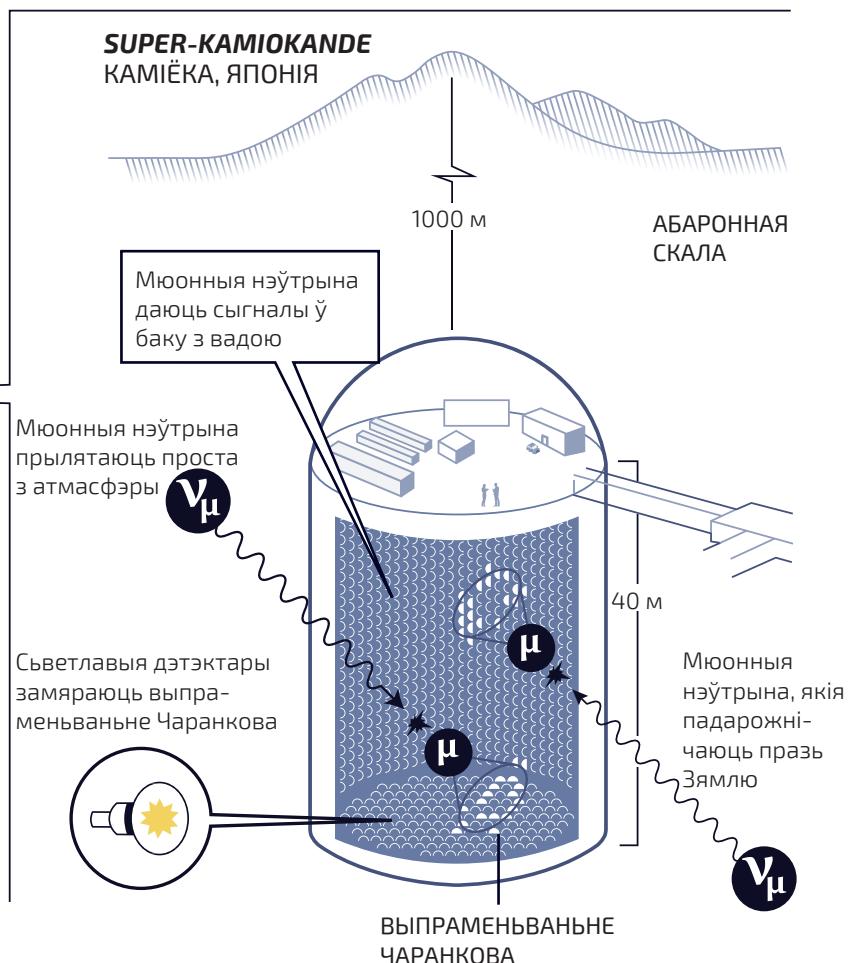
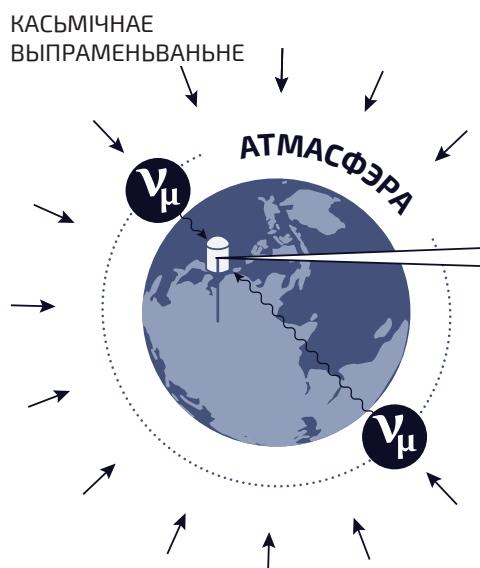
ПОШУКІ НЭЎТРЫНА ГЛЫБОКА ПАД ЗЯМЛЁЮ

Шукаюць нэўтрына бесъерапынна: удзень і ўнаучы, на систэмах калясальнага памеру, пабудаваных глыбока пад зямлёю для экранаваньня старонінх шумаў, што ствараюцца касымічным выпраменьваньнем і спонтаннымі радыектыўнымі рэакцыямі ў асяродзьдзі. Вельмі цяжка адрозніць сыгналы некалькіх сапраўдных сонечных нэўтрына ад мільярда ілжывых.

Нэўтрынную абсерваторию *Super-Kamiokande* пабудавалі ў 1996 годзе пад гарою Каміёка (*Kamioka*) за 250 км на паўночны захад ад Токія. Другую абсерваторию, *Sudbury Neutrino Observatory* (*SNO*), – у 1999-м у нікелевым рудніку блізу Антар'ё.

Super-Kamiokande – гіганцкі дэтэктар, пабудаваны на глыбіні 1000 м. Складаецца з бака 40 на 40 м, запоўненага 50 000 т вады. Вада ў баку такое чысьціні, што съятло можа прайсці адлегласць 70 м, перад тым як яго інтэнсіўнасць зьменшыцца ўдвая. У звычайнім басейне гэтая адлегласць складае усяго колькі метраў. На верхні і ніжній частках бака – 11 000 дэтэктараў съятла, якія дазваляюць зарэгістраваць найменшы выбліск съятла ў вадзе. Вялікая колькасць нэўтрына праходзіц скроў бак з вадой, але толькі некаторыя зь іх узаемадзеюць з атамамі і/ці электронамі з утварэннем электрычна зараджаных часыцінак. Мюон утвораецца з мюоннага нэўтрына, электроны – з электронных нэўтрына. Вакол утвораных зараджаных часыцінак утвораюцца выбліскі блакітнага съятла – гэта званае выпраменьванье Чаранкова – Вавілава, якое ўзьнікае пры руху зараджаных часыцінак з хуткасцю, што перавышае хуткасць съятла ў даным асяродзьдзі. І гэта не супярэчыць тэо-

НЭЎТРЫНА КАСЬМІЧНАГА ВЫПРАМЕНЬВАНЬНЯ



Малюнак 2. Super-Kamiokande – дэтэктар атмасферных нэўтрына. Калі нэўтрына ўзаемадзеіць з вадой, утвараюцца электрычна зараджаныя часцынкі. Гэта прыводзіць да ўзынікнення выпраменіваньня Чаранкова – Вавілава, якое ре-гіструеца дэтэктарамі сыватла. Форма і інтэнсіўнасць спектру выпраменіваньня Чаранкова – Вавілава дазваляе вы-значыць тып часцынкі і месца, адкуль прыляяца

рыі Айнштайні, паводле якой нічога ня можа рухацца з хуткасцю, вышэйшаю за хуткасць сыватла ў вакууме. У вадзе хуткасць сыватла складае толькі 70 % ад хуткасці сыватла ў вакууме і таму можа быць перакрытая хуткасцю руху зараджанае часцынкі.

Пры праходжаньні касьмічнага выпраменіваньня праз пласты атмасфэры ўтвараецца вялікая колькасць мюонных нэўтрына, якім трэба прысьці да дэтэктара шлях на некалькі дзясяткаў кіляметраў. *Super-Kamiokande* можа дэтэктуваць мюонныя нэўтрына, што прылятаюць з атмасфэры, а таксама нэўтрына, што трапляюць праз тоўшчу зямнога шару. Чакалася, што колькасць мюонных нэўтрына, дэтэктуваных у двух кірунках, будзе адноўковая, бо тоўшча зямлі ня ёсьць для нэўтрына якою-колькве перашкодаю. Аднак колькасць нэўтрына, што падаюць на *Super-Kamiokande* проста з атмасфэры, была значна большая. А лік нэўтрына ў абодвух кірунках не адрозніваўся. Атрымліваецца, што частка мюонных

нэўтрына, што праходзіла большы шлях праз тоўшчу зямлі, хутчэй за ўсё, пераўтваралася нейкім чынам у таў-нэўтрына. Але ж доўгі час зарэгістраваць такія пераўтварэнні было немагчыма.

Каб атрымаць канчатковы адказ на пытаньне пра магчымасці нэўтрынных пераўтварэнняў, або, як кажуць, нэўтрынных асцыляцыяў, распачалі яшчэ адзін эксперымент у другой нэўтрыннай абсерваторыі – *Sudbury Neutrino Observatory* (Малюнак 3). Яе пабудавалі на глыбіні 2000 м пад зямлём і абсталявалі 9500 дэтэктарамі сыватла. Абсерваторыя прызначаная для дэтэктування менавіта сонечных нэўтрына, энэргія якіх значна меншшая за энэргію нэўтрына, народжаных у пластах атмасфэры. Бак запаўняўся ня проста ачышчанай вадой, а цяжкай вадой, у якой кожны атам вадароду ў малекуле мае дадатковы нэўтрон. Гэтак, верагоднасць узаемадзеяньня нэўтрына зь цяжкімі атамамі вадароду значна вышэйшая. Акрамя таго, наяўнасць цяжкіх ядраў дазваляе нэўтрына ўзае-

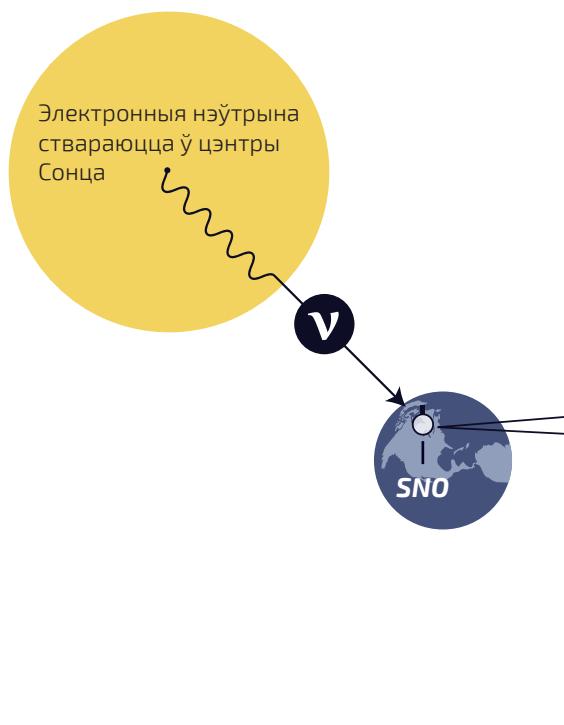
мадзеяць з працэсамі іншых ядравых рэакцыяў, а такім чынам будуць назірацца съветлавыя выбліскі іншай інтэнсіўнасьці. Некаторыя тыпы рэакцыяў дазваляюць дэтэктаўцаў усе тыпы нэўтрына, але ж, на жаль, не дазваляюць дасканала іх адрозніваць.

Пасъля пачатку эксперыменту абсэрваторыя дэтэктуавала З нэўтрына за дзень з 60 млрд нэўтрына праз 1 см², што прылятаюць на Зямлю з Сонца. І ўсё роўна гэта было ўтрайа менш за разыліковую колькасць электронных сонечных нэўтрына. Сумарны ж лік усіх тыпаў нэўтрына, якія дэтэктуюцца ў абсэрваторыі, з высокаяю дакладнасцю адпавядала разылічай колькасці нэўтрына, што выпра-меньвае Сонца. Абагульненъне эксперы-мэнтальных вынікаў дзязвюх нэўтринных абсэрваторый і тэорыі, якую прапанаваў Пантэкорва, аб прынцыповай маг-чымасці нэўтринных асцыляцыяў, да-зволіла давесці існаваньне нэўтринных ператварэнняў на шляху ад Сонца да

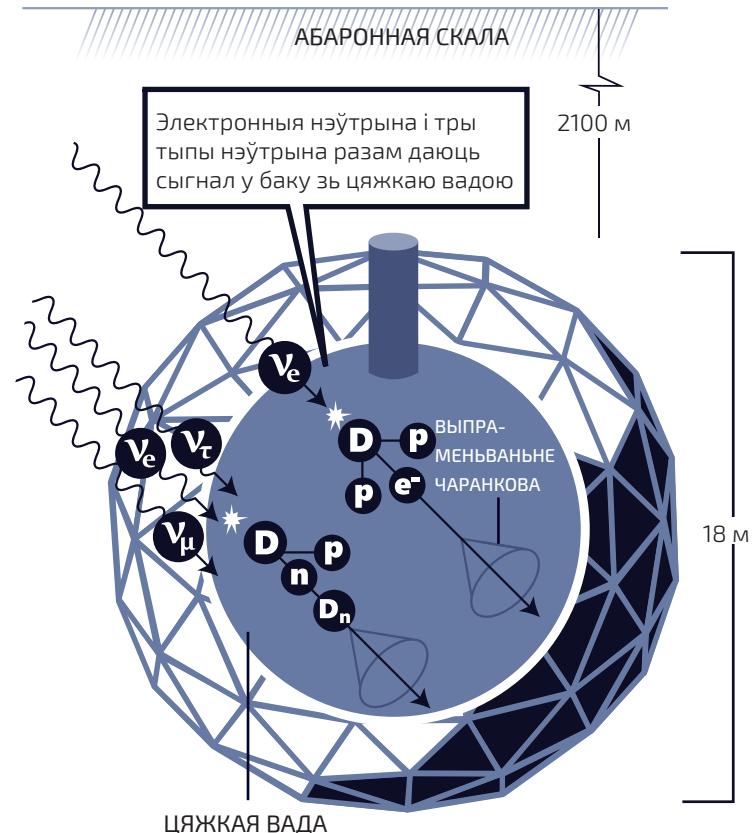
Зямлі. У гэтых дзъюях абсэрваторыях – *Super-Kamiokande* і *Sudbury Neutrino Observatory* – упершыню былі атрыманыя і апісаныя вынікі, і ў 2001 годзе пралана-ваная іх інтэрпрэтацыя. Каб канчаткова пераканацца ў сапраўднасці праведзе-ных эксперыментаў, праз год, у 2002-м, пачаўся эксперымент *KamLAND* (*Kamioka Liquid scintillator AntiNeutrino Detector*), у якім у якасці крыніцы нэўтраонаў выкары-стуювалі рэактар. Праз некалькі гадоў – пасля дастатковага назапашвання статыстыкі – вынікі пераўтварэння нэў-трына пацьвердзіліся з высокая даклад-насцю.

Каб патлумачыць мэханізм нэўтрынных пераўтварэнняў ці нэўтрынных асцы-ляцыяў, навукоўцы звязрнуліся да кля-сычнае тэорыі квантавае мэханікі. Эфект пераўтварэння электронных нэўтрына зь мюонных і тай-нэўтрына дапускае з пункту гледжання квантавае мэханікі наяўнасьць у нэўтрына масы, інакш гэты працэс немагчымы нават тэарэтычна.

СОНЕЧНЫЯ НЭҮТРЫНА



SUDBURY NEUTRINO OBSERVATORY (SNO)



Малюнок 3. Sudbury Neutrino Observatory – дэтэктар сонечных нэўтрына. Рэакцыі паміж цяжкімі ядрамі вадароду і нэўтрына даюць магчымасць рэгістраваць як электронныя нэўтрына, гэтак і ўсе тыпы нэўтрына адначасова. (Малюнкі 2 і 3 узятыя з сайту Нобэлёўскага камітэту nobelprize.org і Швэдзкай акадэміі науک kva.se.)

У квантавай мэханіцы часам адмысловай масе адпавядоць хвалі адмысловое частаты. Нэўтрына ўяўляюць сабою суперпазыцыю хваляў, якія ўяўляюць нэўтрына рознага тыпу з рознаю масаю. Калі хвалі – у адной фазе, немажліва адрозніць адзін тып нэўтрына ад іншага. Але за час руху нэўтрына ад Сонца да Зямлі можа адбывацца дэфазаванье хваляў і пасля магчымая іх суперпазыцыя ўжо іншым чынам. Тады і можна адрозніць тыпы нэўтрына. Такія своеасаблівия змены адбываюцца праз тое, што розныя тыпы нэўтрына маюць розныя масы, але гэта адрозненіне вельмі малое. Маса нэўтрына ў мільёны разоў меншая за масу электрона, гэта надзвычайна малая величыня. Аднак за кошт таго, што нэўтрына – вельмі распаўсюджаная часцінка, сума масай усіх нэўтрына ацэньваецца роўнай масе ўсіх бачных зорак.

Не зважаючы на такія поспехі фізыкаў, шмат якія пытаныні дасюль застаюцца неразвязаныя. Чаму нэўтрына такія лёгкія? Ці існуюць іншыя тыпы нэўтрына? Чаму нэўтрына гэтак моцна адрозніваюцца ад іншых элемэнтарных часцінак? Эксперыменты трываюць, і ёсьць надзея, што яны дазволяюць даведацца пра новыя ўласцівасці нэўтрына і гэтак наблізіць нас да разумення гісторыі, структуры і будучыні Сусьвету.

Паводле матэрыялаў з сайту nobelprize.org.

ПАПУЛЯРНАЯ ЛІТАРАТУРА НА ТЭМУ:

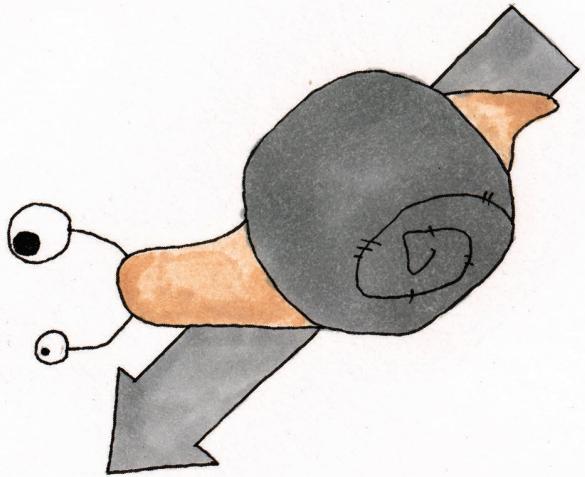
1. Hulth, P.O. (2005) High Energy Neutrinos from the Cosmos, http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/themes/physics/hulth/

2. Bahcall, J.N. (2004) Solving the Mystery of the Missing Neutrinos, http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/themes/physics/bahcall/

3. McDonald, A. B., Klein, J. R. och Wark, D. L. (2003) Solving the Solar Neutrino Problem, Scientific American, Vol. 288, Nr 4, April

4. Kearns, E., Kajita, T. och Totsuka, Y. (1999) Detecting Massive Neutrinos, Scientific American, Vol. 281, Nr 2, August

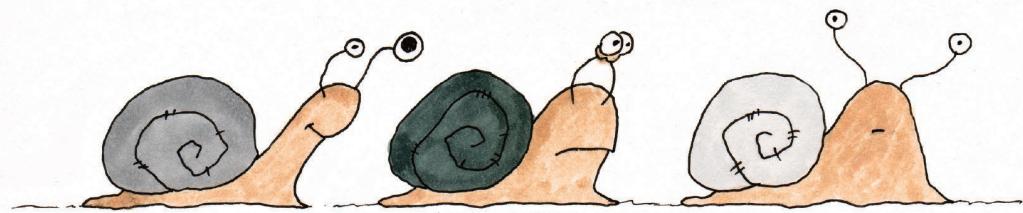
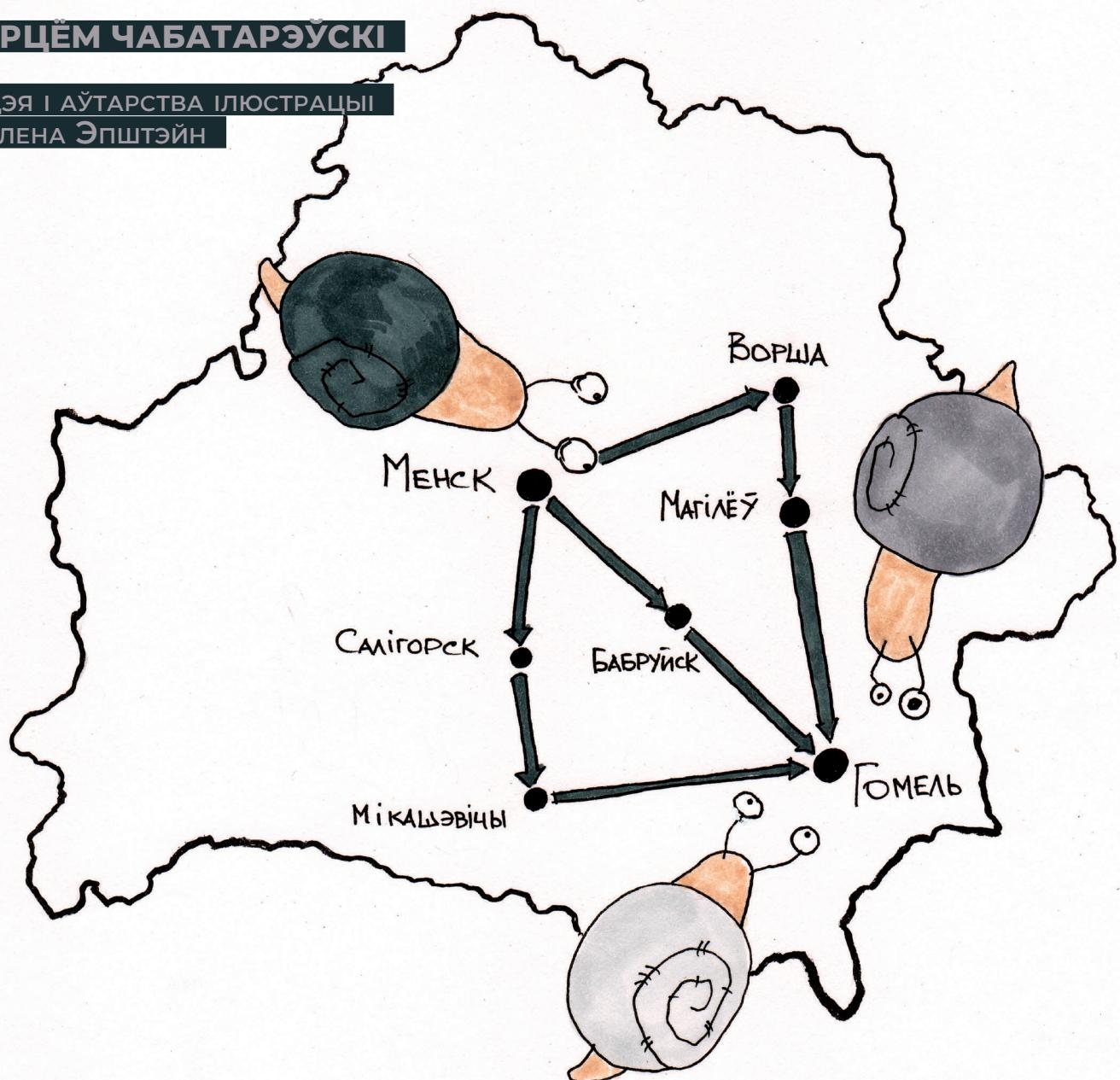
5. nobelprize.org



НАЙКАРАЦЕЙШЫ МАРШРУТ З ГОМЛЯ Ў МЕНСК

АРЦЁМ ЧАБАТАРЭУСКІ

Ідэя і аўтарства ілюстрацыі
Алена Эпштэйн



Усё звязана з усім – уласна гэтак гучыць першы экалягічны закон Команэра (Barry Commoner). Хоць Команэр і ўжываў гэты афарызм для апісаньня экалягічнага прынцыпу халізму, ён адлюстроўвае ўніверсальнасьць сувязяў у Сусьвеце.

Мільярды гадоў таму адбыўся Вялікі выbuch. Празь яго мноства разнастайных часцінак у руху з надзвычайнаю хуткасцю пачалі сутыкацца й фармаваць розныя сувязі, якія пазней прывялі да зьяўленья туманнасьцяў, сузор'яў, плянэтаў ды іншых касымічных целаў. Гэтыя сувязі стварылі парадак з хаосу й запачтавалі знаны нам Сусьвет.

У першасным булёне на Зямлі таксама фармаваліся сувязі паміж малекуламі, што прывяло да зараджэння першасных формаў жыцьця і далейшай эвалюцыі ды пачатку разнастайнага жыцьця на плянэце.

Чалавек у сваю чаргу – як адна з мноства формаў жыцьця – таксама імкненца ствараць сувязі, парадкуючы хаос міжабобовых, культурніцкіх і тэхналягічных стасункаў. Гэтыя сувязі ляжаць у аснове грамадства, культуры й тэхналёгіяў.

Сетка нэўронаў у нашым мозгу, сацыяльныя сеткі, складаная транспартавая сыстэма мэгаполісу – усёды ёсьць сувязі.



Леангард Ойлер | Аўтар партрэту – Якаб Эмануэль Гандман.

Крыніца:www.wikipedia.org

Яны вызначаюць сутнасць сыстэмы, структуру, функцыянаваныне й дынаміку. Яны ня проста злучаюць элемэнты сыстэмы, яны дазваляюць сыстэмам выконваць заданыні, недаступныя асобным яе элемэнтам.

Складанасцьцы сыстэмы часта вызначае складанасцьцы заданыня, якое яна можа выконваць. Складаная сацыяльная сыстэма мурашніка дазваляе мурашам выконваць нашмат больш складаныя заданыні, чымся здолела б асобная мурашка.

ЗАДАЧА СЯМІ КЁНІГСБЭРГСКІХ МАСТОЎ, АБО ПАЧАТАК ГРАФАУ

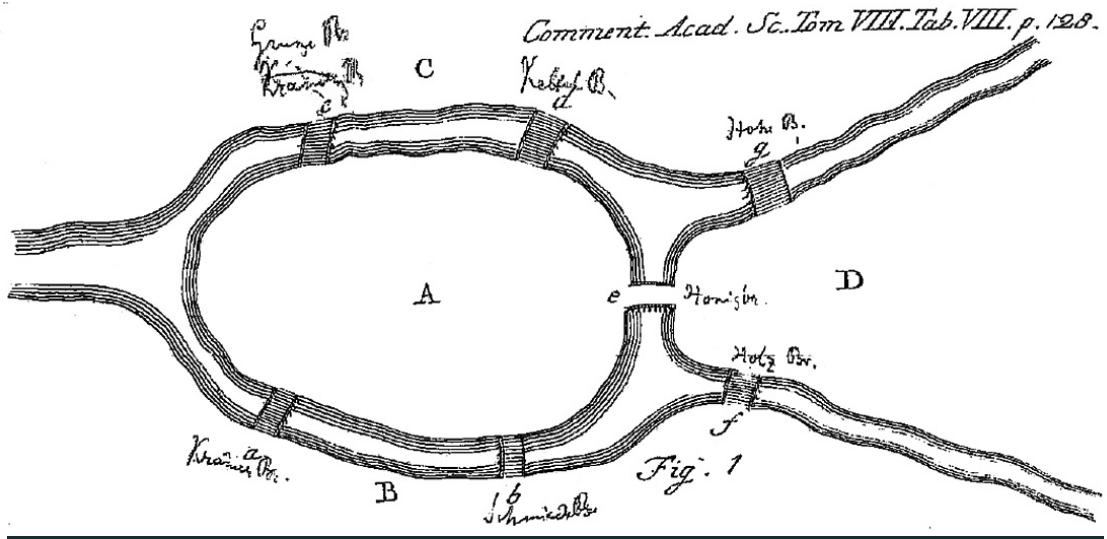
Усё звязана з усім – першы экалягічны закон Команэра. Мапа стасункаў (сувязяў), або матэматычная сыстэма, абстракцыя рэальнае сыстэмы любое прыроды, аб'екты якое валодаюць парнымі сувязямі – гэтак гучыць вызначэнне **графа**. Менавіта графы дазваляюць нам разумець, аналізаваць, паляпшаць, знаходзіць маршруты ў любых сыстэмах, у якіх аб'екты звязаныя міжсобку.

Бацька графаў і тэорыі пра графы як науку – швайцарскі матэматык **Леангард Ойлер** (Leonhard Euler). Аднойчы, магчыма, праз тое, што было сумна, а можа, ён шукаў нешта новае для сябе, навуковец пастанавіў рашыць папулярную ў той час задачу сямі кёнігсбэргскіх мастоў.

У задачы пыталі, як можна прайсці па ўсіх сямі мастах Кёнігсбэргу, не праходзячы па адным масце двойчы. З пытаньня выходзіла, што гэта магчыма, заставалася знайсці рашэнне. Але Леангард Ойлер у артыкуле 1736 году давёў, што гэта немагчыма, і разам з гэтым увёў паняткі **ойлераў цыкл і ойлераў шлях (або ланцуг)**, якія ў сваю чаргу паклалі пачатак тэорый графаў.

Калі спрасіцьці развагі Ойлера, ён адзначае: для адпаведнасці ўмове задачы саме галоўнае, на што варта зьвярнуць увагу, – цотнасць мастоў, што злучаюць адну дзялянку зь іншымі. Калі мы дапускаем, што нейкая дзялянка мае цотную колькасць мастоў, гэта значыць, мы можам зайнсці й выйсці з гэтае дзялянкі, не праходзячы па адным і тым жа масце двойчы, бо на тое, каб наведаць і пакінуць дзялянку, трэба два розныя масты. А вось што датычыць дзялянак зь няцотным лікам мастоў, то гэтыя дзялянкі могуць быць толькі пачатковымі ці канца-

¹Беларускі гістарычны назоў Кёнігсбэргу (Königsberg) – Карабявец, або Карапевец.



Візуалізація задачи, яку ўзяўся рашаць Леангард Ойлер, даказаўшы, што яна ня мае рашэння.
Крыніца: www.wikipedia.org

вым пунктам маршруту. Гэта тлумачыцца тым, што ў выпадку, калі дзялянка пачатковая, нам ня трэба ўлічваць маста для траплянья ў яе, бо мы ўжо там, а калі дзялянка канцавая – ня трэба ўлічваць маста для выхаду зь яе.

На гэтай мы маем практычна ўсё неабходнае, каб апісаць ойлераў шлях і ойлераў цыкл, ды не стае аднае дэталі.

Калі на мапу Кёнігсбэргу дадамо яшчэ дзьве высipy, звязаныя мастамі між сабою, але ніяк не звязаныя зь іншымі дзялянкамі, назавём гэта высипамі Пасхі, на якія жыхары могуць трапіць толькі ўплынъ, і намалюем новую мапу гораду, то ўбачым, што на ёй звязаліся дзьве новыя дзялянкі, звязаныя між сабою мастамі, але зусім не даступныя для пешага наведаньня з асноўнае часткі гораду, як і горад не даступны для наведаньня з дапамогаю мастою з высипаў Пасхі.

Можна было б сказаць, што ў нас прости атрымаліся два розныя графы, і мы іх маем разглядаць асобна. Аднак, калі ўявім, што гарадзкая рада пастановіла зрабіць высipy Пасхі часткай гораду, куды будзе хадзіць паром, то гэта стварае цікавы момант аналізу графаў. Узынікае сітуацыя, калі ў межах аднаго вялікага графа ў нас ёсьць тэрыторыі, не звязаныя адна з адною фізyczна (з дапамогаю мастоў).

Для ўліку такіх сітуацыяў уводзяць панятак **кампанэнта злучнасці (або звязнасці)**. Фактычна кампанэнта – граф, у якім кожная дзялянка мае сувязь у выглядзе маста зь любою дзялянкай, або з кожнай дзялянкі можна пеша прайсці ў кожную дзялянку без дапамогі паро-

ма. То бок горад разам з высipамі будзе мець дзьве кампанэнты злучнасці, а вось асобна разгляданы горад будзе мець толькі адну кампанэнту звязнасці, або іначай – будзе называцца **злучным (або звязным) графам**.

Таксама ў рашэнныі задачы Ойлер выкарыстаў дзялянкі і масты, што ў тэорыі прынята называць **вяршынямі і рэбрамі**. Кожная дзялянка робіцца вяршыняю, а кожны мост – рабром. Сам граф – уласна набор вяршыняў і рэбраў.

Цяпер мы маем усё, каб сформуляваць вызначэнныі ойлеравага шляху і цыклю. Ойлераў шлях існуе на графе, толькі калі гэты граф злучны (кампанэнта злучнасці = 1) і толькі калі ў гэтым графе існуюць няцотныя вершынныя болей за дзьве вяршыні з няцотным лікам рэбраў, а калі лік вяршыняў з няцотным лікам рэбраў роўны нулю, то гэты шлях пачынаецца й канчаецца ў адной і той самай вяршыні, а значыць, гэта ойлераў цыклъ.

Калі паглядзеце на мапу мастоў Кёнігсбэргу, то мы ўбачым, што кожная дзялянка мае няцотны лік мастоў, а паколькі дзялянак больш за дзьве, значыць, у гэтым графе не існуе ойлеравага цыклю, то бок немагчыма прайсці па ўсіх мастах, праходзячы па кожным толькі адзін раз.

Толькі што мы з вамі вынайшлі разьдзел **дискрэтнае матэматыкі**, развязваючы звыклую гарадзкую загадку.

Вельмі цікавы факт: ні Ойлер, ні тагачасная грамадзкасць не ўсьведамлялі, што Ойлер запачаткаваў новы разьдзел матэматыкі. У той пэрыяд графы, падобна да

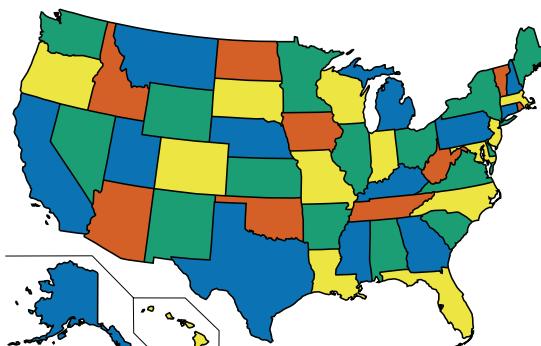
тэорыі імавернасцяў, разглядаліся хутчай як кемікі ды інтэлектуальныя забавы, а не сур'ёзная навуковая дысцыпліна.

ТЭАРЭМА ЧАТЫРОХ ФАРБАЙ: РАЗВІЦЬЦЁ ТЭОРЫІ ГРАФАЙ

Наступны значны ўнёсак у раззвіцьці графаў быў зроблены толькі ў 1852 годзе, калі **Фрэнсіс Гатры** (*Francis Guthrie*), укладаючы мапу паветаў Ангельшчыны, выявіў, што для афарбаванья паветаў дастаткова чатырох колераў, каб разьмежаваць прылеглыя тэрыторыі.

Назіраньне Гатры дапускала, што любую мапу можна расфарбаваць гэтак, каб любая дзіве сумежная тэрыторыі (з адною агульнаю мяжою) былі рознага колеру, выкарыстоўваючы пры гэтым ня болей за чатыры колеры. Гатры абмеркаваў гэтае назіраньне з братам Фрэдэрыкам, студэнтам знакамітага матэматыка Агастаса Дэ Моргана (*Augustus De Morgan*). Той у сваю чаргу распавяліў гэтае назіраньне, што неўзабаве прыцягнула ўвагу Артура Кейлі (*Arthur Cayley*), аднаго з асноўных матэматыкаў таго часу, які сформуляваў з назіраньня гіпотэзу.

Цікава, што дапушчэнье пра чатыры фарбы разглядалася як максімальная колькасць колераў, што можна спатрэбіцца, каб расфарбаваць мапу. Безумоўна, існуюць мапы, якія могуць быць расфарбаваныя і трыма, і нават двумя ці адным колерам, але чацверты робіцца неабходным, калі на мапе ёсьць дзялянкі, акружаныя няцотным лікам іншых дзялянак, што фармуюць замкнёны цыкл. Матэматыкі даказалі тэарэму пра пяць фарбаў адносна хутка й без асаблівых складанасцяў, аднак доказ тэарэмы пра чатыры фарбы заставаўся неразвязаным пытаннем ажно да 1976 году, калі яно нарэшце



Мапа Злучаных Штатаў з наглядным прыкладам расфарбаванья чатырма колерамі згодна з адпаведнаю тэарэмай.

Крыніца: www.wikipedia.org

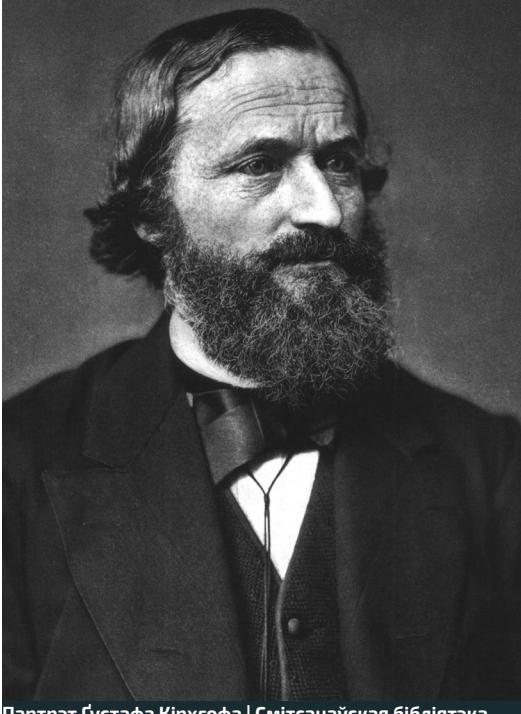
было пацверджанае з выкарыстаннем **камп'ютарнага мадэлявання**. Кенэт Эпэл (*Kenneth Appel*) і Вольфганг Гакен (*Wolfgang Haken*) падышлі да доказу гэтае тэарэмы наступным чынам. Яны склалі сьпіс «праблемных канфігурацыяў», што ўяўлялі сабою такія камбінацыі дзялянок і межаў (варшыняў і рэбраў), пры якіх гіпатэтычна магло бы патрабавацца выкарыстаньне пятае фарбы, і пасля гэтага з дапамогаю разнастайных альгарытмаў даказалі, што кожная з «праблемных канфігурацыяў» можа быць развязаная з выкарыстаннем толькі чатырох фарбаў. Гэтак было даведзена: чатырох колераў сапраўды дастаткова, каб расфарбаваць любую мапу. Што зрабілася важным вынікам у тэорыі графаў. У далейшым гэты доказ спрасыцілі, ён зрабіўся больш элегантны.

МАТРЫЧНАЯ ТЭАРЭМА КІРХГОФА: ГРАФЫ ЯК ІНСТРУМЕНТ ВЫВУЧЭНЬНЯ СЕТАК

Можна сказаць, што з гэтага моманту матэматыкі той эпохі сталі крыху болей сур'ёзна ставіцца да графаў, бо выявілася, што яны могуць быць ужытыя ня толькі для развязанья гарадзкіх загадак. Але ўласна пераходам зь вясёлае забавы да сур'ёзнае матэматычнае дысцыпліны варту ўважаць працы **Густафа Кірхгофа** (*Gustav Kirchhoff*), які сформуляваў ня толькі законы для электрычных ланцугоў, што дазволілі ўжываць графы для аналізу й выяўлення складаных электрычных ланцугоў, але й пашырыў уласна навуку пра графы, сформуляваўшы і даказаўшы **матрычную тэарэму**.

Сутнасць матрычнае тэарэмы Кірхгофа – у магчымасці прэзэнтаваць граф у форме дзівлюхмернае матрыцы (табліца). У ёй адбіваецца структура графа: інфармацыя, як варшыні злучаныя рэбрамі. Кожны радок матрыцы адпавядае адной варшыні, а кожны слупок – аднаму рабру. Элементы матрыцы паказваюць, ці звязаная варшыня з рабром: 0 азначае адсутнасць сувязі, а 1 (або -1) – наяўнасць сувязі. Гэта дазваляе аналізаваць гэткія ўласцівасці графа, як пlynі ў сетках і цыркуляцыі ды нават вызначаць аптымальныя шляхі.

Дзякуючы Кірхгофу і ягонай тэарэме матэматыкі займелі магутны інструмент для вывучэння розных сетак – ня толькі электрычных, але й транспартавых, сачыяльных, біялягічных і шмат якіх яшчэ. Гэтае адкрыцьцё паспрыяла далейшаму



Партрэт Густафа Кірхгофа | Смітсанайская бібліятэка.
Крыніца: www.wikipedia.org

разьвіцьцю тэорыі графаў і яе дастасаваньня ў разнастайных галінах науки й тэхнікі.

Згаданая тэарэма Кірхгофа насамрэч звязаная ня толькі з стварэннем матрыцы для выяўлення графа, але й з глыбокім аналізам яго ўласцівасцяў праз гэтыя матрыцы. Адзін з галоўных аспектаў тэарэмы – аналіз **каркасных дрэваў** графа.

Спачатку варта даць вызначэнне **дрэву**. Дрэва – гэта злучны падграф бяз цыклю. Значыць, паміж дзвюма вяршынямі існуе роўна адзін шлях, што злучае іх, і нікія дэльце вяршыні ня злучаныя больш як адным шляхам.

Каркаснае дрэва графа – гэта падграф, што месціць усе вяршыні зыходнага графа, але толькі мінімальна неабходную колькасць рэбраў, каб граф заставаўся злучным і пры гэтым ня месціў цыкл. Іншымі словамі, каркаснае дрэва – гэта шкілет графа, што захоўвае яго структуру, але спрошчаны да дрэва.

Гэтае адкрыцьцё было важнае ня толькі для тэорыі графаў, але й для практичнага дастасаваньня – як аналіз стабільнасці і надзеінасці сетак, у тым ліку электрычных, дзе важна ведаць, колькім альтэрнатыўнымі шляхамі магчыма перадаць электраэнэргію. Гэтак, праца Кірхгофа дала магутны інструмент для аналізу і разумення складаных сеткавых систэм у разнастайных сферах.

Калі вы выраслі ў канцы 1990-х ці на мяжы тысячагодзіньня, то, магчыма, памятаеце эпоху павольнага інтэрнэту, калі

для абмену інфармацыяй, съязваныня фільмаў ці супольных онлайн-гульняў суседзі, а то й уласна вы спалучалі дамы кабэлямі, ствараючы вялікія лякальныя сеткі. Менавіта ў такіх сітуацыях можна было ўжываць матрычную тэарэму Кірхгофа для павышэння стабільнасці і эфектыўнасці сеткі, выкарыстоўваючы аналіз каркасных дрэваў графа. Каркасная дрэвы дазвалялі выявіць вузкія месцы ў сетцы: напрыклад, калі значная колькасць дамоў спалучана адным кабэлем. Даставаныне матрычнае тэарэмы Кірхгофа дапамагала вызначыць аптымальная шляхі для дадавання новых кабэляў, што ў сваю чаргу спрыяла паляпшэнню працаздольнасці ўсяе сеткі й забяспечвала раўнамерны і надзеіны распаўсюд нагрузкі.

У 1930-х гадах тэрмін «граф» у сучасным яго разуменіні шырока распаўсюдзіўся дзякуючы працам вугорскага матэматыка **Дэнэша Кёніга** (*König Dénes*). Ён падмоцным уплывам лекцыяў аб праблеме чатырох фарбаў усё больш заглыбляўся ў тэорыю графаў. Ягоны ўнёсак, у тым ліку публікацыя кнігі «Тэорыя канечных і бесканечных графаў», стаўся асноўным момантам у фармаванні гэтае дысцыпліны.

ЦІ ПРАКЛАДЗЕ НАЙКАРАЦЕЙШЫ МАРШРУТ З ГОМЛЯ Ў МЕНСК АЛЬГАРЫТМ ДЭЙКСТРЫ?

Наступным вызначальным этапам у разьвіцьці науки пра графы, ужо прызнанага разьдзелу дыскрэтнае матэматыкі, стала зьяўленыне **альгарыту Дэйкстры**. Гэты мэтад, прапанаваны нідерляндзкім навукоўцам Эдсхэрам Дэйкстратам (*Edsger Dijkstra*) у 1959 годзе, пропанаваў пошук найкарацейшых шляхоў ува ўзважаных, арыентаваных графах, дзе ўсе рэбрэы маюць станоўчую вагу.

Возьмем, напрыклад, задачу пра пошук найкарацейшага шляху з Гомля ў Менск. У гэтым выпадку кожнае скрыжаваньне – вяршыня графа, а дарожныя участкі між імі – рэбрэ. Асноўны момент тут – параметар вагі рабра, што адлюстроўвае адлегласць ці час праезду паміж двума пунктамі. Гэтак, вага рабра пераўтварае граф у дарожную сетку, дазваляючы ўлічыць реальныя затраты часу на перасоўванье.

Наступны важны параметар і ўмова – зaryentаваць граф. Уявім сабе, што на адным з участкаў паміж Гомлем і Менскам ёсьць аднабаковая дарога. У кантэксьце

графа гэта азначае, што перасоўваньне магчымае толькі ў адным кірунку, і гэты кірунак мусіць быць дакладна ўказаны. Ува ўяўленыні графа гэтае рабро будзе скіраванае з аднае вяршыні ў другую, не дазваляючы руху ў адваротны бок. Арыентаванасць графа крытыхна важная для дакладнага мадэльяння рэальных умоваў перасоўваньня, у тым ліку аднабаковыя вуліцы, плыні рэк ці лягістичныя транспартавыя абмежаваньні.

Застаецца апошняя ўмова. Усе рэбры мусіць мець станоўчу вагу. Гэта сапрауды важны пункт, бо калі ўявіць, што мы выкарыстоўваем у якасці вагі рэбраў расход бэнзіну і што на адным участку дарогі паставілі дармовую бэнзастанцыю, то з гледзішча альгарыту найбольш аптымальна будзе зацыкліцца й бясконца атрымліваць дармовы бэнзін, бо гэта бясконца зъмяншае кошт маршруту. Аднак гэта ломіць агульную мэту альгарыту, бо нам усё-такі трэба дабрацца з Гомля ў Менск, і дармовае паліва можа быць прыемным бонусам, але дакладна ня можа быць самамэтаю падарожжа, іначай ніякага падарожжа й ня будзе. Для графаў з адмоўнаю вагою рэбраў існуюць іншыя альгарытмы – як **альгарытм Бэлмэна – Форда** (*Richard Bellman, Lester Ford*), – адмыслова распрацаваныя для працы з такімі выпадкамі.

Вернемся да нашай асноўнай задачы. Калі нам трэба знайсці найкарацейшы маршрут паміж Гомлем і Менскам, выкарыстоўваючы ў якасці вагі для рэбраў, напрыклад, час праезду па дарозе, альгарытм Дэйкстры будзе працаўца наступным чынам.

Для пачатку ініцыялізуем альгарытм. Ініцыялізацыя пачынаецца з вызначэння пачатковага пункту – напрыклад, скрыжаваньня вуліцаў Каліноўскага й Касцюшкі ў Гомлі, дзе метка адлегласці да сябе роўная нулю. Меткі ўсіх іншых вяршыняў устанаўліваюцца як бясконцасць, што сымбалізуе адсутнасць інфармацыі пра даступныя маршруты на пачатковым этапе.

У працэсе працы альгарыту адбываецца пасълядоўны абыход вяршыняў, пачынаючы з тae, што мае мінімальну метку сярод ненаведаных. Тут гэта меркаваная адлегласць ад пачатковага вяршыні да выбранае вяршыні. Для кожнае такое вяршыні альгарытм аналізуе суседнія вяршыні, то бок скрыжаваньні, беспасярэдне злучаныя з актуальнай вуліцаю. Напрыклад, вуліца Быкова, што злучаец-

ца з вуліцю Каліноўскага. Калі сума меткі актуальнае вяршыні (часу ад пачатковага пункту да вуліцы Каліноўскага) і вагі рабра (часу праезду па вуліцы Быкова) меншая ад меткі суседняе вяршыні (актуальнага найкарацейшага часу да вуліцы Быкова), то метка суседняе вяршыні абнаўляецца.

Этак, альгарытм дасыледуе граф, паступова абнаўляючы інфармацыю пра найкарацейшыя шляхі ад пачатковага пункту да ўсіх астатніх вяршыняў. Пасля таго як усе вяршыні будуть наведаныя, працэс завяршаецца, і на аснове абноўленых метак можна вызначыць аптымальны шлях да Менску.

Выходзіць, што альгарытм Дэйкстры – ня проста абстрактны матэматычны інструмент, але й практычны мэтад, што дазваляе рашаць рэальныя задачы маршрутызацыі, улічваючы абмежаваньні, накладзеныя як вагою рэбраў, гэтак і іх арыентаванасцю.

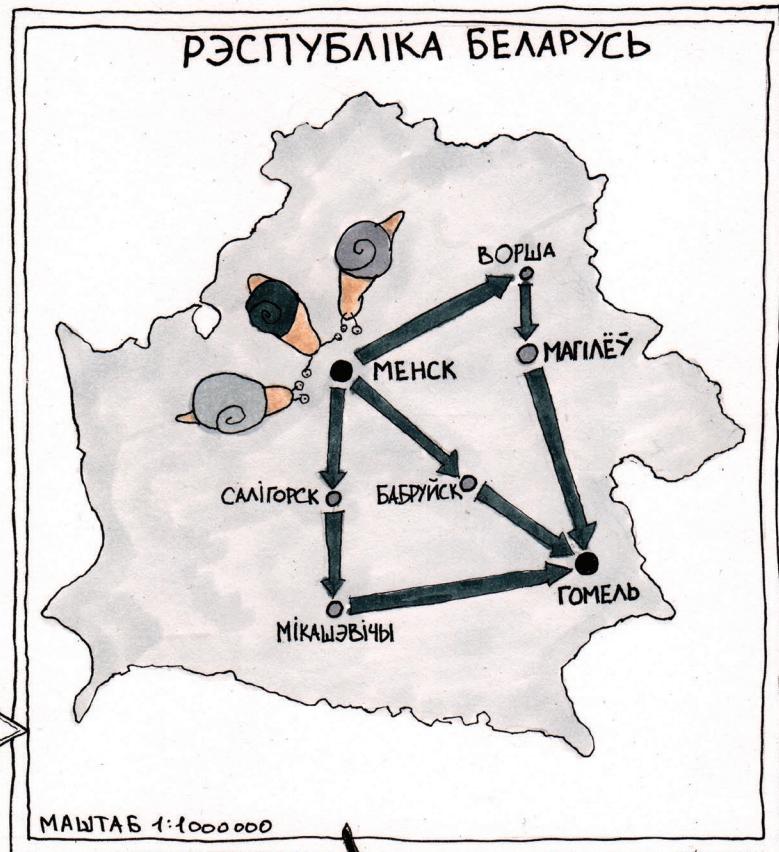
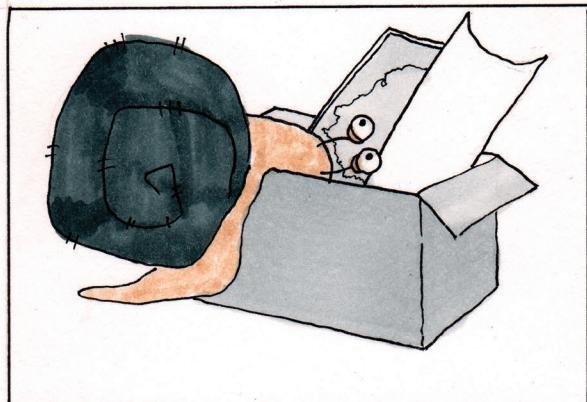
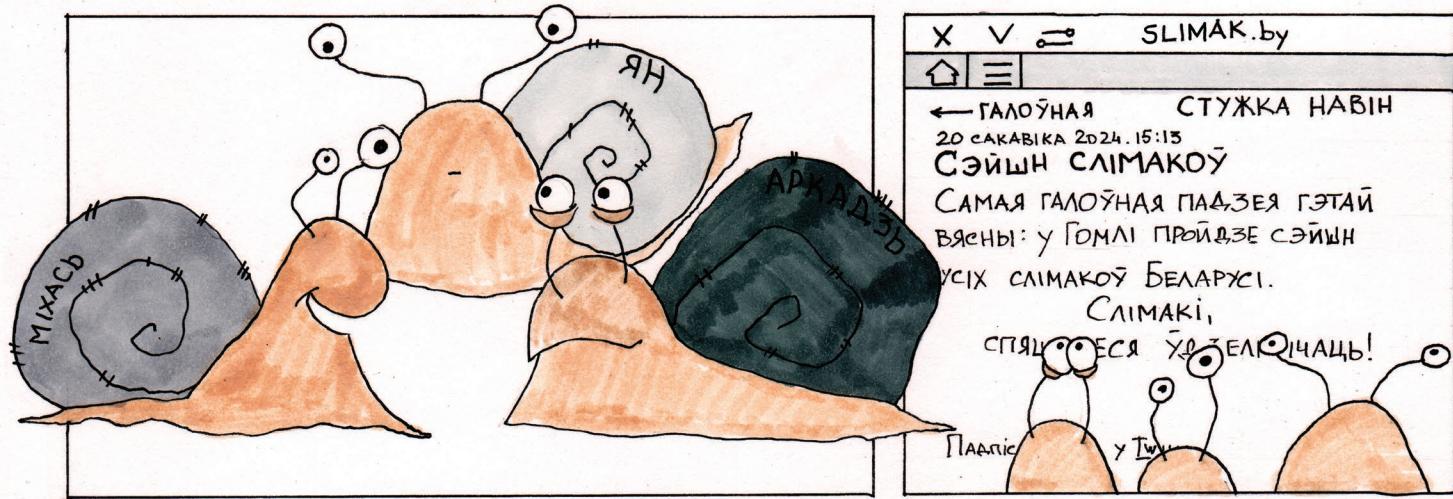
Усё звязана з усім. Шлях разьвіцьця науکі пра графы можна таксама апісаць у выглядзе графа з пачатковым пунктам у моманце, калі Ойлер рашыў задачу пра сем мастоў, і зь вялікім множствам новых вяршыняў, якія штодня абрастаюць новымі вяршынямі, адкрываючы новыя грані й мэтады выкарыстаньня графаў у сучасным сьвеце.

Калі я й бачыў далей за астатніх, то толькі стоячы на плячах гігантаў.²

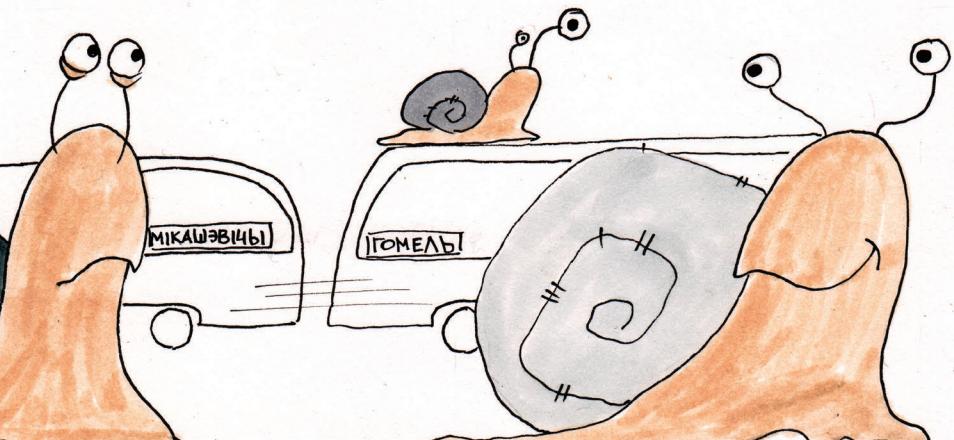
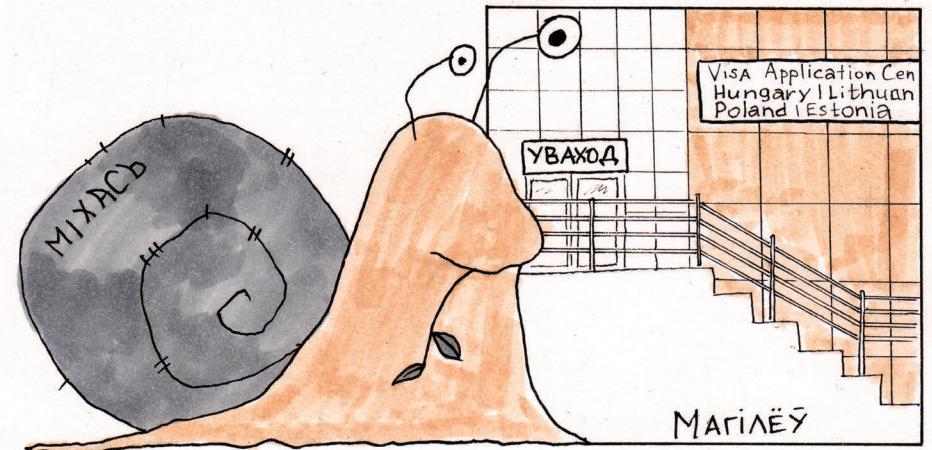
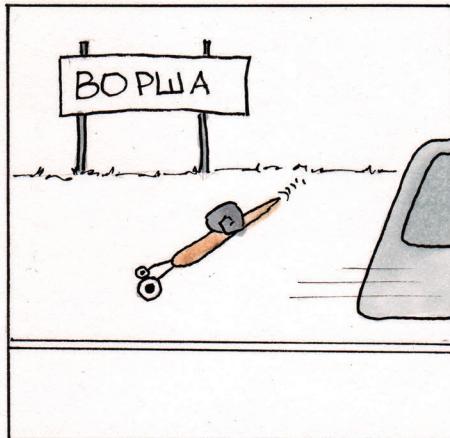
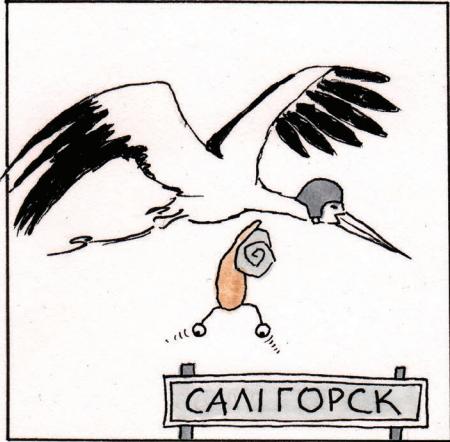
КРЫНІЦЫ:

1. https://en.wikipedia.org/wiki/Seven_Bridges_of_Konigsberg
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Four_color_theorem
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Kirchhoff%27s_theorem
4. https://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra%27s_algorithm
5. https://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstras_algorithm

²If I have seen further than others, it is by standing upon the shoulders of giants. Аўтарства выразу прыпісвають Ісааку Ньютану.



ПРЫНЦЫПОВЫ ПЕШЫ ПАХОД АРКАДЗЯ: МЕНСК-БАБРУЙСК ГОМЕЛЬ



Комікс намалявала
Алена Эпштэйн

На сэйшн сябры спазніліся, затое падарожжа па тэорыі граfu удалося.
Назад у Менск слімакі пастанавілі вяртацца праз... Берасце)))



КВАНТАВЫЯ ВЫЛІЧЭНЬНІ – 10¹, АЛЬБО КВАНТАВЫЯ ГЕЙТЫ ДЛЯ НУЛІКАЎ

ВОЛЬГА ОКРУТ



Ідэя і аўтарства ілюстрацыі
JANE Motn

Працягваючы аповед пра квантавыя кампутары, гэты артыкул я пастанавіла прысьвяціць пытаныню, як інфармацыю падаюць у квантавых кампутарах і як ёю можна маніпуляваць, каб рабіць вылічэнны. У канцы я прапаную чытачу ляканічны агляд праграмнага забесьпячэння, якое выкарыстоўваеца для квантавых вылічэнняў і напісаныя квантавых альгарытмай.

КЛЯСЫЧНЫ БІТ ІНФАРМАЦІІ І КВАНТАВЫ БІТ

У звычайных кампутарах інфармацыя падаецца ў выглядзе бітаў – пасъядоўнасці нулёу і адзінак. Напрыклад, каб выявіць лічбу 6 у двайковым выглядзе, мы пішам 110. У квантавых кампутарах інфармацыя падаецца кубітамі (квантавымі бітамі), якія пазначаюцца гэтак званымі кет-вэктарамі і бра-вэктарамі (ад анг. *bracket*) згодна з абазначэннем квантавае мэханікі. Напрыклад, тая ж лічба 6, прэзэнтаваная вэктарам кет, можа быць запісаная як $|110\rangle$, або $|1\rangle|1\rangle|0\rangle$ у двайковым выглядзе (выбар залежыць ад зручнасці далейшых вылічэнняў). Гэтае выяўленне азначае, што першы і другі кубіты – у стане $|1\rangle$, а трэці кубіт – у стане $|0\rangle$. Таксама сапраўдным будзе скарочанае абазначэнне $|6\rangle$ для сукупнасці некалькіх кубітаў. Пад кубітам трэба разумець матэматычную абстракцыю квантавага аб'екту – атама, палярызацыі съятла, электрона альбо нечага іншага.

кубіт = q

звычайны кампутар:

$6_{10} = 110_2$

квантавы кампутар:

$|6\rangle = |110\rangle = |1\rangle|1\rangle|0\rangle$

першы кубіт \downarrow q_1 q_2 q_3 трэці кубіт \uparrow

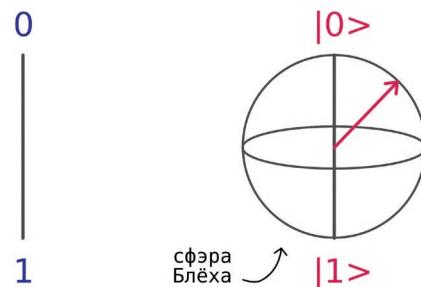
Малюнак 1. Адрозненне паміж звычайнімі бітамі і кубітам. Звычайна літара q з падпіскам вызначае кубіт і яго нумар

Клясычны біт інфармацыі можа быць выяўлены геамэтрычна як адзінак даўжынёю 1. Кубіт уяўляе сабой усю трохмерную простору паміж клясычнай адзінкай і нулём ды вызначаеца як сфера радыусам 1. Яна атрымала назыву **сфера Блёха** ў гонар фізыка Фэлікса Блёха (*Felix Bloch*).

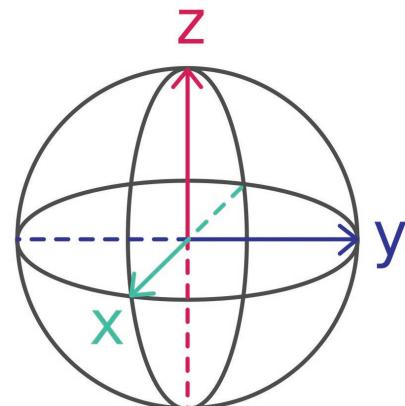
¹У большыні амэрыканскіх каледжаў – нумар уводнага курсу якой-кольвеk дысцыпліны: BIOL 101, CHEM 101 і г. д. У ЗША нумар «101» значыць «Уводзіны».

Гэтыя геамэтрычныя ўяўлены дапамагаюць зразумець розніцу паміж клясычным бітам і кубітам. Клясычны біт можа быць толькі адзінкай альбо нулём, а кубіт можа прымаць стан ня толькі адзінкі і нуля, а таксама можа быць любою кропкаю на сферах Блёха. У сэнсе вылічэнняў гэта азначае, што кубіт уяўляе сабою бясконцае мноства розных станаў у адрозненіе ад біта, які можа прымаць толькі два значэнні! Навукоўцы дасюль адназначна не пастанавілі, дапамагае гэтае зьява квантавым кампутарам рабіць вылічэнье хутчэй ці ніяк не ўпłyвае.

КЛЯСЫЧНЫ БІТ vs КУБІТ



Малюнак 2. Геамэтрычны сэнс звычайнага біта і кубіта. Злева – звычайны біт, выяўлены як адзінак даўжынёю 1. Справа – кубіт у выглядзе сферы з радыусам 1, які можа прымаць любое значэнне на гэтай сферы.



Малюнак 3. Сфера Блёха з каардынатнымі восямі

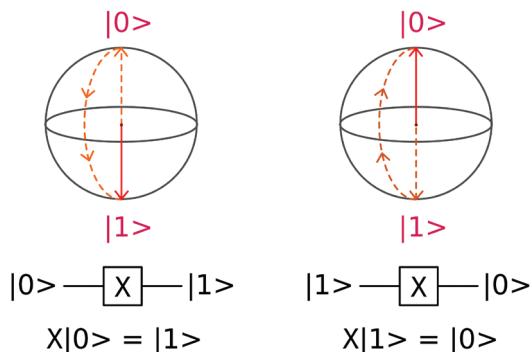
КВАНТАВЫЕ ГЕЙТЫ

Наяўнасці кубіта зь бясконцым мноствам станаў недастаткова, каб рабіць вылічэнны квантавымі кампутарамі. Каб маніпуляваць такімі кубітамі і ствараць альгарытмы, неабходна вызначыць квантавыя апэрацыі з кубітамі, якія носяць назыву **квантавых гейтаў** (*quantum gate*, даслоўна 'квантавая брамка')², а таксама вызначыць уплыў квантавых гейтаў на кубіты. Гэтае жа, як кубіты – матэматычная абстракцыя квантавых аб'ектаў,

квантавыя гейты – гэта матэматычнаа абстракцыя пасълядоўнасця ў электрамагнітных імпульсай, якія могуць зъмяніць стан кубітаў.

Найбольш важныя квантавыя гейты – X , Z , H , CX , CZ , CCX , $SWAP$. Запрашаю чытача да-ведаца пра іх падрабязней. Перш як пачаць, я хацела б адзначыць: спосаб, якім я зъбіраюся апісаць квантавыя гейты, не адзіны. Іх можна апісаць з дапамогаю матрыцаў, а станы кубітаў – з дапамогаю вэктараў дзякуючы лінейнай альгебры. Аднак я буду выкарыстоўваць мадэль з галіны інфарматыкі, яна больш спадручная, бо не патрабуе працяглых вылічэн-няў.

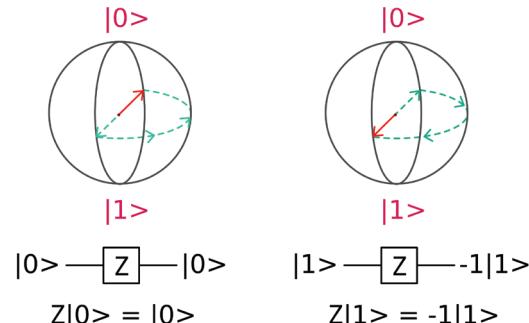
Першы квантавы гейт – **X -гейт**. Гэта адзін-ная квантавая аперацыя, якая дакладна адпавядзе клясычнай паразраднай аперацыі NOT : гейт X пераварочвае $|1\rangle$ да $|0\rangle$ і $|0\rangle$ да $|1\rangle$, як звычайны NOT зъмяніе адзінку на нуль, а нуль – на адзінку. На сферы Блёха, X -гейты пераварочваюць стан кубіта зь верхняга ўніз або зынізу ўверх. Акрамя таго, што мы можам выявіць кубіт і яго стан на сферы Блёха, навукоўцы таксама распрацавалі гэтак званыя квантавыя схемы. На іх кубіт пазначаецца як кет-вектар $|>$, а квантавыя гейты – як квадрат зь літарай, якая ўжываецца для абазначэння назову гейта.



Малюнак 4. Зылева – вынік дзеяння X -гейта на стан $|0\rangle$, выяўлены як сфера Блёха, квантавая схема, а таксама матэматычны запіс. Справа – вынік дзеяння X -гейта на стан $|1\rangle$

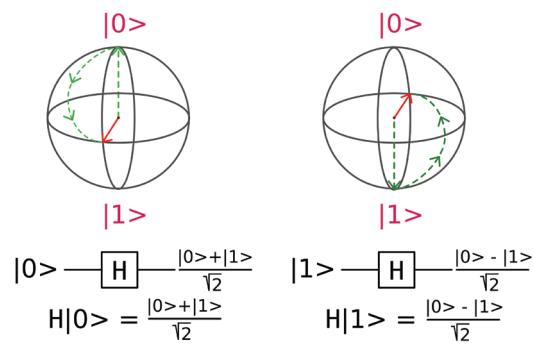
Наступны квантавы гейт – **Z -гейт**. Калі Z -гейт дзеіць на стан $|0\rangle$, ён ніяк не зъмяніе яго. Пры дзеянні на $|1\rangle$ стан ён увадзіць лічбу -1 перад станам. Яна называецца фазавым коефіцыентам і можа выкарыстоўвацца для адрозненія іншых станаў. Напрыклад, мы можам пазначыць некаторую карысную для нас інфармацыю ў працэсе выкананьня альгартму фазавым коефіцыентам -1 , а пазней можам маніпуляваць пазнача-

най інфармацыяй, як нам захочацца. Гэтак замест аднаго мы атрымліваем 4 біты інфармацыі, маючы толькі адзін кубіт!



Малюнак 5. Зылева – вынік дзеяння Z -гейта на стан $|0\rangle$, выяўлены як сфера Блёха, квантавая схема, а таксама матэматычны запіс. Справа – вынік дзеяння Z -гейта на стан $|1\rangle$

Наступны – **H -гейт**, яго называюць таксама гейтам Адамара ў гонар францускага матэматыка (Jacques Hadamard). Гэты гейт адыгрывае асаблівую ролю ў квантавых альгартмах, бо стварае роўную супэрпазыцыю станаў $|0\rangle$ і $|1\rangle$. Каб зразумець, што робіць H -гейт, прапаную чытачу ўявіць на імгненьне: вы кідаеце манэту – і яна застаецца круціцца ў паветры некаторы час. Пакуль манэта круціцца ў паветры, вы ня можаце прадбачыць, упадзе яна галавою ці лікам. Хутчэй, вы прымаліце, што гэта адначасова (і галава, і лік) на гэты момант. У квантавых вылічэннях, калі кубіт застаецца ў супэрпазыцыі, мы можам выкарыстоўваць яго для адначасовага правярання квантавых альгартмаў для розных квантавых станаў. Гэтак, замест аднаго прагнозу мы атрымлім два (або больш) розныя прагнозы з разьмеркаваньнем імавернасці.



Малюнак 6. Зылева – вынік дзеяння H -гейта на стан $|0\rangle$, выяўлены як сфера Блёха, квантавая схема, а таксама матэматычны запіс. Справа – вынік дзеяння H -гейта на стан $|1\rangle$. Трэба заўважыць, што H -гейт выкарыстоўвае толькі верхнюю або ніжнюю палову прасторы на сферы Блёха

Тры гейты, якія мы абмеркавалі (X , Z , H) называюцца таксама аднакубітавымі гейтамі, бо ўжываюцца толькі да аднаго

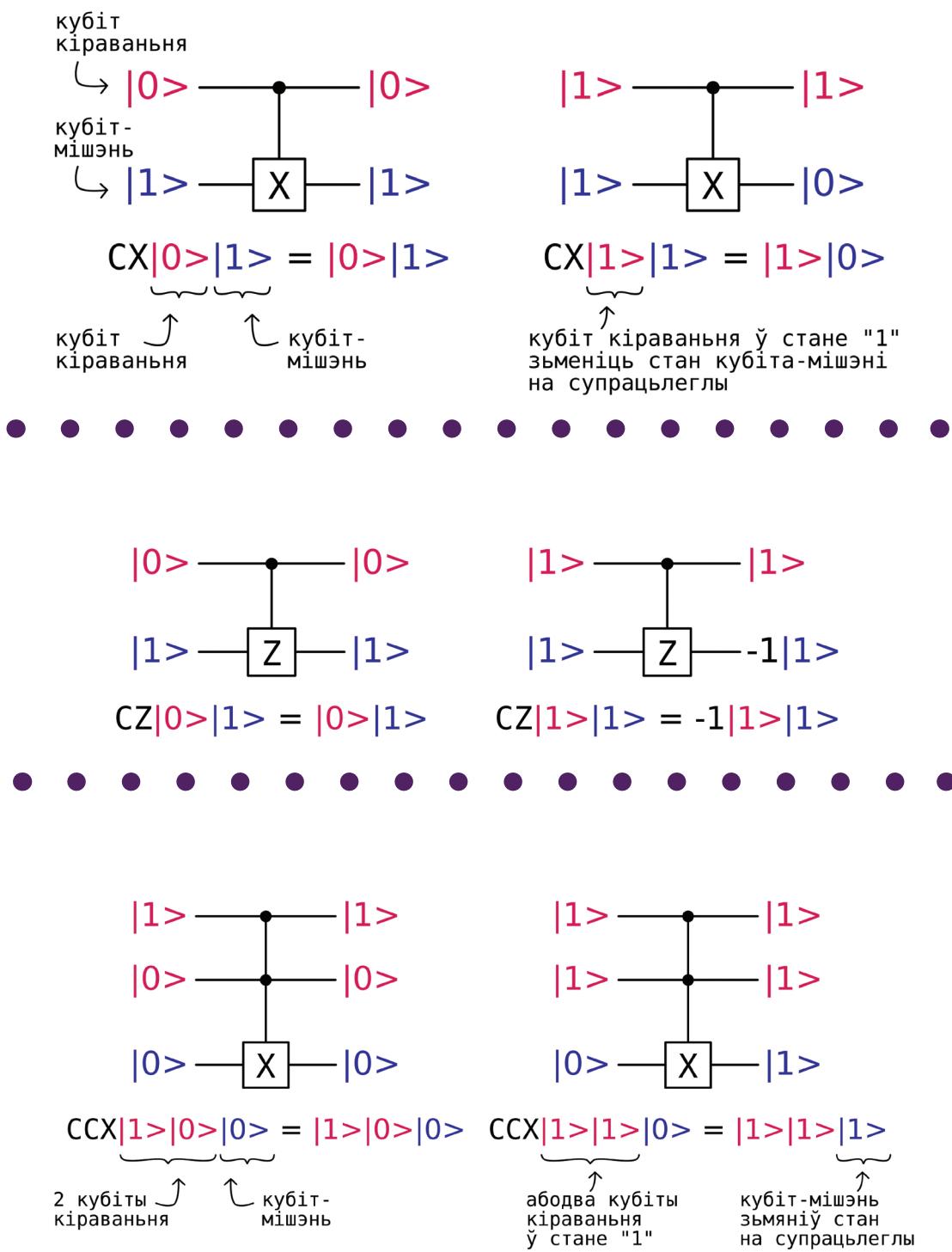
²У Тлумачальным слоўніку па інфарматыцы М. Савіцкага (2009), Асновах квантавых вылічэнняў (№ УД-7657/вуч.) – квантавы вэнтыль. Просім усіх зацікаўленых – адмыслоўчай, практикай, лінгвістай – далаучыцца да абмеркавання адаптациі тэрміну *quantum gate* на беларускую мову: звязтаючыся ў рэдакцыю зіну *Pamyatka*, ці далаучыўшыся да абмеркавання на адпаведную тэму ў суполцы «Толькі пра мову» ў Facebook. На гэты ж момант рэдакцыя і аўтарка палічылі мэтазгодным выкарыстасць адаптациі з ангельскай мовы. QR-код вядзе да абмеркавання.



кубіта. Наступныя чатыры ғейты – CX, CZ, SWAP, CCX – носяць назыву шматкубітавых і ўжываюца да двух альбо болей кубітаў.

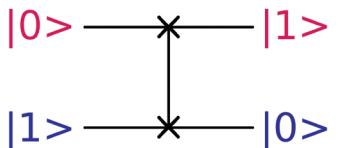
Літара **C** тут азначае «кіраваньне» (з англ. **Control**). Напрыклад, **CX** азначае ғейт *Control-X* (кіраваньне-X). Гэта таксама азначае, што ғейтам **CX**, **CZ** спатрэбіцца адзін кубіт кіраваньня і адзін кубіт-мішэнь. Калі кубіт кіраваньня – у стане

$|1\rangle$, кубіт-мішэнь зъмяняе свой стан паводле правілаў ғейта X у выпадку ғейта CX або паводле правіла ғейта Z у выпадку ғейта CZ. Як можна было здагадацца, ғейты **CCX** патрабуюць двух кубітаў кіраванья і аднаго кубіта-мішэні. Калі абодва кубіты кіраваньня – у станах $|1\rangle$, то трэці кубіт зъмяняе свой стан паводле правіла X-ғейта.

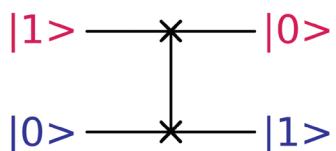


Малюнак 7. Вынік дзеяння CX-, CZ- і CCX-ғейтаў, выяўлены як квантавая схема і матэматычны запіс. Для шматкубітавых ғейтаў сфера Блёха ўжо ня можа адлюстраваць усіх станаў двух альбо болей кубітаў

Нарэшце گейт **SWAP** патрабуе для працы двух кубітаў і абменьвае станы абодвух кубітаў. Напрыклад, калі першы кубіт – у стане $|0\rangle$, а другі – у стане $|1\rangle$, пасля گейта **SWAP** першы кубіт будзе ў стане $|1\rangle$, а другі – у $|0\rangle$.



$$\text{SWAP}|0\rangle|1\rangle = |1\rangle|0\rangle$$



$$\text{SWAP}|1\rangle|0\rangle = |0\rangle|1\rangle$$

Малюнак 8. Вынік дзеяння **SWAP**-гейта

Прапаную чытачу самастойна вызначыць выніковы стан для квантавае систэмы

$$X_1 Z_2 C X_{1,2} H_3 |0\rangle|0\rangle|0\rangle.$$

Падказка: Запіс X_1 азначае, што X -гейт будзе ўпльываць толькі на першы кубіт. Запіс $CX_{1,2}$ азначае, што кубітам кіравання будзе першы кубіт, а кубітам-мішэнню – другі кубіт. Квантавыя گейты дзеюць зълева направа, першы дзеіць X_1 , а апошні – H_3 .

Адказ ніжэй³.

ПРАГРАМНЫЯ БІБЛІЯТЭКІ ДЛЯ КВАНТАВЫХ АЛЬГАРЫТМАЎ

Завяршаючы артыкул, прапаную агляд некалькіх праграмных інструмэнтаў для квантавых вылічэньяў і адгукацыйных рэсурсаў, папулярных у квантавай інжынэріі і навуковых суполках. Усе праграмныя інструмэнты адкрытыя і могуць выкарыстоўвацца аўдыторыяй з розным узроўнем навыкаў, пачынаючы з пачаткоўцаў у квантавых вылічэньях і заканчваючы экспертамі й навукоўцамі. Акрамя таго, кожная супольнасць, якая распрацоўвае і падтрымлівае гэтая бібліятэкі, таксама прапануе шырокі спектар навучальных дапаможнікаў, каб пачаць працу з квантавымі кампютарамі альбо пазнаёміцца з тэорыяй квантавых кампютараў больш падрабязна. Я да гэтага

моманту не знайшла свайго фаварыта, бо розныя праграмныя інструмэнты маюць перавагі і хібы. Прыналежнасць да кампаніі або навуковае лябараторыі не неабходная, каб пачаць выкарыстоўваць квантавае праграмнае забесьпячэнне. Кожны зь дзеіным адресам электроннае пошты можа зарэгістравацца і пачаць праграмаваць квантавыя кампютары задарма альбо за невялікія грошы (аднак хвіліны выкарыстання квантавага кампутара будуць абмежаваныя). Таксама ўсё праграмнае забесьпячэнне можна знайсьці на GitHub-старонках кампаніяў, якія яго распрацоўваюць і падтрымліваюць.

1. **Qiskit.** Адна з самых папулярных і шырока карыстанных праграмных бібліятэк для квантавых вылічэньяў, распрацаваная IBM Quantum і напісаная на мове праграмаванья Python. Дзякуючы шматлікім энтузіястам бальшыня тэхнічнае дакумэнтацыі і навучальных матэрыялаў перакладзеная з ангельскай мовы на іншыя (у тым ліку нямецкая, польская, расейская). Аднак рэсурсы па-ангельску найбольш поўныя. Акрамя Qiskit, IBM Quantum забяспечвае доступ да сваіх квантавых кампутараў праз воблачныя сэрвісы. Напрыклад, можна зарэгістравацца на афіцыйным сайце IBM Quantum і пачаць больш дасканала знаёміцца з квантавымі вылічэньямі і кампютарамі.

2. **Pennylane.** Распрацаваная і падтрымліваецца канадзкім стартапам у галіне квантавых вылічэньяў Xanadu. Як і Qiskit, Pennylane напісаны на мове Python. Першапачаткова Pennylane разглядаўся як інструмент для навукоўцаў ды інжынэраў машыннага навучання, якія даследуюць і распрацоўваюць альгарытмы квантавага машыннага навучання (то бок з дапамогаю квантавых кампутараў). Але на сённяня Pennylane ператварыўся ў вялізную суполку, якая вывучае разнастайны спектар квантавых альгарытмаў. Падобна да IBM Quantum, каманда Xanadu стварае шырокі спектар навучальных дапаможнікаў у квантавых вылічэньях, а таксама стварае свае фатонныя квантавыя кампютары, якія працуюць на сывяtle, лазэрах і розных аптычных элементах.

³ $|1\rangle|1\rangle\frac{|0\rangle+|1\rangle}{\sqrt{2}}$

3. **Cirq.** Google далучыўся да гонкі стварэння квантавых камптараў і праграмнай інфраструктуры яшчэ ў 2014 годзе, пачаўшы з каманды для распрацоўвання квантавых камптараў. З таго часу каманда Google Quantum стварыла сваю Python-бібліятэку для маніпулявання квантавых камптараў, пабудавала квантавы камптар і заявіла, што сталася адною зь першых кампаніяў у доказе перавагі квантавых камптараў над звычайнімі. Вядзецца пра эксперымент, які меўся паказаць, што квантавыя камптары нашмат хутчэйшыя за звычайнія.

4. **Q#.** Зусім іншы, але варты ўвагі інструмэнт для квантавых вылічэнняў, распрацаваны Microsoft. Квантавая каманда Microsoft ставіць перад сабою амбітную мэту – пабудаваць тапалягічны квантавы камптар, у якім інфармацыя будзе адлюстроўвацца спэцыяльным тыпам фэрміёнаў – Маярана. Тэорыя квантавай інфармацыі паказвае, што тапалягічныя квантавыя камптары здольныя працаваць беспамылкова і больш надзейна. Тым ня менш навукоўцы яшчэ далёкія ад пабудовы практычнага тапалягічнага квантавага камптара. Акрамя стварэння ўласнага квантавага камптара, Microsoft распрацоўвае і падтрымлівае сваё праграмнае забесьпячэнне для маніпулявання квантавымі камптарамі. Усе праграмныя сродкі для кіравання квантавымі камптарамі напісаныя на мове праграмаванья Q# (паводле аналёгіі з клясычнаю моваю праграмаванья C#), спэцыяльна распрацаванай супольнасцю Microsoft як мова маніпуляцыяў з квантавымі камптарамі.

Усе думкі і погляды мае ўласныя ды не адлюстроўваюць думкі маіх цяперашніх, мінульых або будучых працадаўцаў.

КРЫНІЦЫ:

1. Nielsen, Michael A., and Isaac L. Chuang. Quantum computation and quantum information. Cambridge university press, 2010
2. IBM Quantum Documentation on Qiskit: <https://docs.quantum.ibm.com/>
3. Xanadu Documentations on PennyLane: <https://docs.pennylane.ai/en/stable/>
4. Berenice Baker. Google Quantum Processor Demonstrates QUantum Supremacy. IOT World Today. July 4, 2023
5. Google Documentation on Cirq: <https://quantumai.google/cirq>
6. Introduction to Q# and Quantum Development Kit. Microsoft. <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/quantum/overview-what-is-qsharp-and-qdk>
7. Jennifer Langston. In a historic milestone, Azure Quantum demonstrates formerly elusive physics needed to build scalable topological qubits. Microsoft Source. March 14, 2022

ЭКСТРЭМАЛЬНАЕ ТАНГА: ЯК ВЫЖЫЦЬ, КАЛІ ТЫ БАКТЭРЫЯ?

SN



Ідэя і аўтарства ілюстрацыі
Нааста Ткачова

Калі вам знаёмы тэрмін «экстремафіл», то, хутчэй за ўсё, вы ведаеце і пра ціхаходак – маленькіх вадзяных мядзведзяў, здольных існаваць у любых умовах. Экстремафілы – гэта бактэрый, археі і некаторыя больш складаныя арганізмы з вялікім адаптацыйным патэнцыялам. Здольныя жыць у невыносных для шмат якіх істотаў умовах, яны падарылі нам ПЛР, цвіль на станцыі «Мір» і новыя падыходы ў пошуку жыцця па-за Зямлёю. Дарэчы, вы ведалі, што ціхаходкі не гэтак магутныя ў сваім выжыванні? А пры чым тут экстрематалеранты? Дзякуючы чаму арганізм здольны жыць у небяспечным асяроддзі? Якіх прастаўнікоў гэтае касты вы можаце знайсці ў сябе ў холадні і чаго ад іх чакаючы астрабіёлагі? Разбярэмся!

КРЫХУ ГІСТОРЫІ

Як мяркуюць, простае мікробнае жыццё ўзнікла на Зямлі прыблізна 3,5 мільярда гадоў таму, гэты час называюць археем. На той момант, згодна з парадоксам слабога маладога Сонца, тэмпература на Зямлі была нізкай, а да ўзнікнення атмасферы заставалася паўтара мільярда гадоў. Здаецца, выжывуць у такіх умовах немагчыма. Аднак гэта не так. У парыўнанні з раслінамі і жывёлінамі прасцейшыя арганізмы валодаюць вялікімі межамі лімітавальныхных фактараў за рахунак адсутнасці складанае клеткаве спецыялізацыі, прыстасаванасці да абмежаваных крыніцаў ежы, здольнасці хутка дзяліцца і назапашваць прыстасавальныя мутацыі, а таксама спораўтварэння.

На працягу амаль паўтара мільярда гадоў на планете кіравалі мікрабы і археі. Яны валодалі працэсамі ўтварэння атмасферы і ландшафту, а таксама змянілі баланс хімічных працэсаў і стварылі першую экасістэму, з якой выраслі ўсе астатнія. Гэты перыяд вызначыў развіццё ўсяго жыцця на планете і, магчыма, вызначае яго па-за нашаю планетаю.

Трохі базы. Простая пракарыётная клетка валодае сціплым наборам арганоідаў у парыўнанні з больш прасунутай эўкарыятычнаю клеткаю. У клетках эўкарыётаў, то бок у нас з вамі, кожная клетка валодае канкрэтным наборам арганелаў для выканання спецыфічных функцыяў разам з іншымі клеткамі для жыццядзейнасці арганізму. У той жа час клеткі бактэрый ў цалкам аўтаномныя, у кожнай з іх ёсць

усё неабходнае для размнажэння, харчавання, дыхання і абароны: нітка ДНК, рыбасомы, клеткавая сценка і мембрany. Аднак не бактэрый адзінныя ствараюць мікрасвет! Пазнаёмцеся з фаварытамі экстремальнай эвалюцыі.

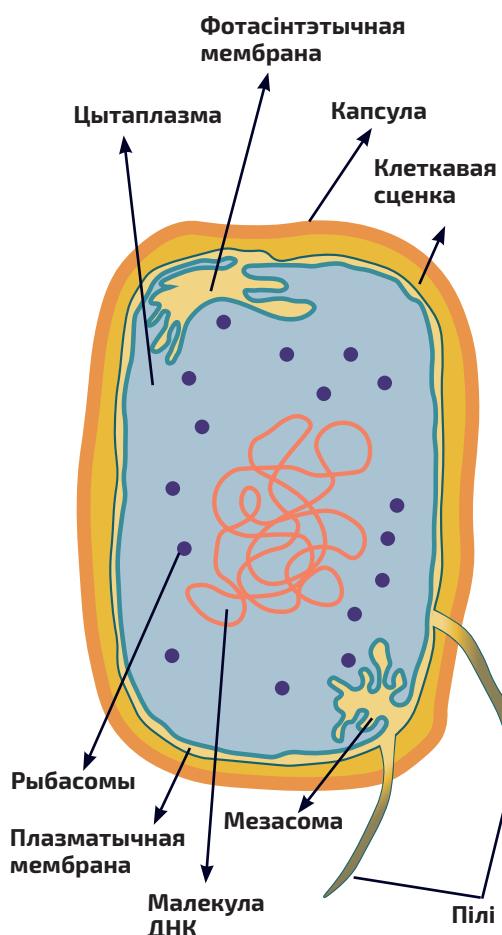
ВІКІНГІ МІКРАСВЕТУ

Сярод мікраарганізмаў самая цікавая група істотаў – **археі**. Ад іншых насельнікаў планеты іх адрознівае будова клеткаве сценкі і мембранаў. Базавы фосфаліпідны біслой, як у бактэрый і эўкарыётаў, археі размянялі на манапластавы палімерны кампазіт. Замест астатку тлустае кіслаты ў гідрафобным хвосціку ў археяў – своеасаблівы швэдар з ізапрэнoidных ланцугоў. Дзякуючы манапласту археі атрымалі высокую шчыльнасць пакавання мембранаў, выдатную ўстойлівасць да ўздзеяння тэмператураў і нізкую пранікальнасць для вады і іонаў звонку. Пры гэтым такая форма абалонкі застаецца гнуткай і дынамічна рухома, нібыта жэле.

Першапачаткова археі былі прызнаныя выключна экстремафільнаю формама жыцця. Іх выявілі ў гарачых крыніцах і працяглы час знаходзілі ў месцах павышанае салёнасці, пры крытычных тэмпературрах і ў нішах, пазбаўленых традыцыйных крыніцаў ежы. Археі-літатрофы (харчуюцца неарганічнымі субстанцыямі) – гэта метанагены, або нітратфікальныя агенты, выкарыстоўваюць для атрымання энергіі рэакцыі акіслення вадароду, аміяку або серы. А галафілы (солеўстойлівия археоны) здольныя выкарыстоўваць сонечнае светло як крыніцу паліва. Шырокі дыяпазон харчовых крыніцаў адкрыў археям новыя гарызонты незвычайных і небяспечных экасістэм, а ўнікальная ахойная абалонка дазволіла прыжыцца ў іх і заняць дамінантавыя пазіцыі ў гонцы адаптацыяў.

ПРАКАРЫЁТЫ VS ЭЎКАРЫЁТЫ

Калі простыя мікрабы могуць выжывуць пры высокай тэмпературы ці іанізавальнім выпраменьванні, то чаму больш складаныя арганізмы – не? Магчыма, адказ крыеца ў будове **эўкарыётаў**: такі тып клетак уяўляе сабою своеасаблівага мегазорду з бактэрый. Эндасімбітычная тэорыя сцвярджае, што мітхондрый – энергетичныя станцыі клетак – пайсталі ў выніку выгаднае супраць папярэдніка эўкарыётаў і мітхандрыйнае бактэрый. У выніку такое сувязі ўзнікае клетка з



Табліца 1. Структура пракарыятычнае клеткі

больш складанаю структурай і новым арганоідам. Прыблізна тое ж адбылося і з пластыдамі – хларапластамі, храмапластамі і лейкапластамі. Лічыцца, што пластыды паходзяць ад старажытных цыянабактэрый. Выканальныя функцыі і наяўнасць у пластыдаў уласнага геному – пластому, які нагадвае генакод цыянабактэрый, можа служыць доказам тэорыі эндасімбіёзу. Мітахондрыі таксама маюць сваю ДНК, якая перадалася ад продка.

Акрамя таго, эўкарыятычныя клеткі нясуць у сабе складана ўладкаваны цыташкілет. Клеткі эўкарыётаў большыя за ўсе астатнія праз ядро і арганелы. Таму маюць патрэбу ў трывалай і гнуткай структуры, здольнай дапамагаць транспартаўца сігнальныя малекулы, бялкі, ліпіды і іншыя рэчывы. Клеткі ж эўкарыётаў у момант фармавання складанага арганізму часта спецыялізуюцца. Яшчэ як стваловыя (або камбіяльныя) клеткі яны атрымліваюць адмысловы хімічны кектэйль з інструкцыяй, якія арганоіды і прыкметы развіваць, а якіх пазбавіцца. Менавіта гэтак у арганізме чалавека атрымліваюцца эритрациты, гепатациты, нейроны ды

Малекула ДНК. Яе часам называюць бактэрыйнай храмасомай. Яна месціць генетычную інфармацыю, праграмаваную клеткаю.

Капсула – першая лінія абароны клеткі. Лічыцца дадатковым пластом абароны ад навакольнага асяроддзя.

Клеткавая сценка – аснова вонкавага клеткавага пласта. Абмяжоўвае змесціва цытаплазмы. Складаецца з пептыдаглікану.

Плазматычна мембрана – нутраны пласт вонкавай абалонкі клеткі, найбліжэйшая да ДНК і нутраных арганоідаў.

Цытаплазма – вадкасць у клетцы, у ёй месціцца ДНК, рыбасомы і арганоіды. Падтрымлівае нутраны баланс клеткі.

Рыбасомы служаць для біясінтэзу белку, дзеляцца на некалькі тыпаў. Складаюцца з вялікіх і малых субадзінак. Рыбасомы археяў складаюцца як эўкарыятычныя рыбасомы.

Мезасома – шматскладкаватая структура, яе дакладнае ролі да канца яшчэ не вызначылі. Магчыма, упłyвае на ўнутрымембранныя функцыйную актыўнасць клеткі.

Фотасінтетична мембрана месціцца ў вялікай колькасці па ўсёй клетцы. Характэрная для цыянабактэрый і выкарыстоўваецца для фотасінтэзу.

Пілі – адмысловыя вырасты, неабходныя ў процесе кан'югациі.

шмат якія іншыя клеткі, з якіх пасля фармуюцца тканкі і органы. Незалежнасць існавання такая фармацыя арганізму мяняе ўзамен на больш прасунутую форму жыцця ў аптимальных умовах асяроддзя.

Прынцып «прасцей – лепш» дзеіць і ў біялогіі. Падтрыманне гамеастазу¹ ў складаным арганізме патрабуе актывацыі вялікае колькасці рэурсаў і механізмаў выжывання. Часта іх увядзенне недастаткова хуткае, і гэта прыводзіць да смерці. Бактэрый ж выпрацавалі іншыя стратэгіі: як зазначалася вышэй, такім ёсьць спораўтарэнне і прыстасавальныя мутацыі. Экстрэмалісты пастанавілі ператварыць цяжкія ўмовы асяроддзя ў спрыяльныя для свайго вегетатыўнага існавання. Трапляючы ў агрэсіўнае асяроддзе, мезафільная бактэрія высушвае сябе і ўтварае палімерны комплекс пад вонкавую мембрану. Такая форма добрая, калі бактэрія часова застаецца ў неспрыяльных для сябе ўмовах і пазбаўленая ў іх здольнасці размнажацца. Для пайнавартаснага існавання наяўнасць споры – хутчэй перашкода, чымся практычная прылада. І тут на сцэну выходзіць генетычна адаптация.

¹Гамеастаз – уласцівасць арганізму падтрымліваць стацісць нутранога асяроддзя.

Мезафіламі абазначаюць групы істотаў, чые аптымальныя ўмовы жыцця роўныя чалавечым: тэмпература ў дыяпазоне 15–25 °C, pH = 7, наяўнасць кіслароду, нізкі ўзоровень іанізавальнага выпраменівания і г. д.

СЕКС НЕ ПАТРЭБЕН

Бактэрыі і археі – бясполыя істоты, для атрымання новых генетычных ансамблёў ім не трэба чакаць з'яўлення новага пакалення. Яны выбіраюць браць усё тут і цяпер. Кан'югация ўяўляе сабою прсты працэс пераносу плазміды (частцінкі генетычнага матэрыялу) ад аднае бактэрыі да другое з дапамогай адмысловых участкаў на мембранах клеткавай абалонкі і трубачкі, якая злучае іх. Перадача такім чынам генетычнага матэрыялу праходзіць хутчэй, чымся паланое размнажэнне, але не прыводзіць да з'яўлення нашчадкаў.

Тым не менш гэта не адзіны спосаб набыць новыя прыкметы. Эта, бактэрыі могуць засвойваць ДНК праста з навакольнага асяроддзя шляхам трансфармацыі. З дапамогай адмысловых фактараў кампетэнтнасці клеткі рыхтуюць вонкавае покрыва і звязваюць рэцептарамі чужую ДНК з навакольнага асяроддзя. Пазней нуклеаза – адмысловы гідралізавальны фермент – падзяляе фосфадыэфірную сувязь генетычнага матэрыялу. Адзін з невялікіх фрагментаў рэакцыі трапляе ў клетку, а потым убудоўваецца ў ДНК клеткі-гаспадара. Працэс доўжыцца каля падцягніны, але адбываецца з малою частатою.

Трэці спосаб – **трансдукцыя**. Хітры спосаб набыць новы геном складаецца ў перадачы ДНК паміж мікраарганізмамі праз віруснага пасярэдніка – фага (або бактэрыяфага, калі ён спецыялізуецца на бактэрыях). Здольныя да трансдукцыі фагі выклікаюць фрагментацыю геному да патрэбнага памеру. Адпаведная частцінка спадчыннага матэрыялу трапляе ў капсід галоўкі фага падчас трапляння віруса ў клетку і пачатку свайго размнажэння. Трансдукцыя – анамальны для віруса працэс, бо звычайна ў галоўку фага мае трапляць уласная ДНК віруса. Аднак часам разбурэнне храмасомы клеткі-носьбіткі прыводзіць да трапляння і яе ДНК у вірус. Далей клетка-носьбітка гіне, вызываючы вонкі вірусныя частцінкі, іх яшчэ называюць трансдукцыйнымі. Трапляючы ў новую клетку, трансдукцыйны фаг перадае ёй частку ДНК свайго па-

пярэдніка, і калі гэты фрагмент паспяхова інтэгруеца, то ў далейшым набывае здольнасць да рэплікацыі ды экспрэсіі сваіх уласцівасцяў. Часам новая часцінка не засвойваеца новаю клеткай і вольна перадаеца адной з даччыных клетак без якіх-кольків уплываў. Такую няўдалую трансдукцыю называюць абартыўнаю.

ГОНКА ЎЗБРАЕННЯЎ

Некалькі шляху набыця ДНК, трывалыя ахойныя абалонкі, прыстасавальнія ферменты – прасунуты арсенал для простых істотаў. Як жа так выйшла, што ў мікраарганізмаў столькі адаптацыі? Адказ крыеца ў Зямлі. Яна 3,5 мільярда гадоў таму, мякка кажучы, была не самым прыемным месцам: жорсткае іанізавальнае выпраменіванне Сонца і бескіслародны вакуум космасу знішчалі арганічныя малекулы ў першасным булёне – прадвесніку жыцця. Ацалець маглі толькі тыя, хто набыў мантую з тлустых кропляў, прататып мембранаў. Але гэта ж пэўна не ўсё. Паводле адной з версіяў, стварэнне копіяў генетычнага матэрыялу дазваляе перанесці выпраменіванне і яго разбуральны ўплыў на ДНК. А з акісяльным стрэсам, які суправаджае іанізавальнае выпраменіванне, дапамогуць справіца спецыфічныя ферменты, накшталт супераксіддисмутазы. Абодва метады – улюблёная тактыка выжывання радыеустойлівых арганізмаў. Радыерэзістэнтныя арганізмы здольныя вынесці жахлівія значэнні на лічыльніку Гайгера (*Johannes Wilhelm "Hans" Geiger*). Эта, для чалавека смяротная доза – прыблізна ў дыяпазоне 7–8 грэйў, у той час як для *Deinococcus radiodurans* такія значэнні праста нікчэмныя. *D. radiodurans* здольныя ацалець пры дозах да 10 000 грэйў.

Адной толькі ахойнай абалонкі недастатковая: паверхня Зямлі была даўней захалодная. Шмат якія біяхімічныя працэсы не могуць працякаць пры такіх умовах. Ацалелыя былі і каля тэрмічных крыніцаў. Козыр у такіх умовах – тэрмостабільныя ферменты!

У 1975 годзе на тэрыторыі Елаўстоўнскага запаведніку выявілі грамадмоўную бактэрыю (*Thermus aquaticus*). Магчыма, выяўленне чарговае бактэрыі засталося б без увагі. Тым не менш гэтае адкрыццё пераверне медыцыну і біялогію з ног на галаву. Бактэрыю выявілі ў гарачай крыніцы пры тэмпературы інактывациі арганічных малекулаў і генетычнага

Філагенія жывых арганізмаў

БАКТЭРЫ

Спірахеты
Грам-стаканоўчыя
Протэабактэрыі
Цыянабактэрыі
Planctomyces
Bacteroides
Cytophaga
Thermotoga
Aquifex

АРХЕІ

Chloroflexales
Methanobacterium
Methanococcus
Thermococcus celer
Thermoproteus
Pyrodictium

ЭЎКАРЫЁТЫ

Энтамёбы
Methanosarcina
Галабактэрыі
Слізевікі
Жывёліны
Грыбы
Расліны
Інфузоры
Жгуцікавыя
Трыхаманады
Мікраспарыдыі
Дыпламанады

Малюнак 1. Дрэва жыцця Карла Ўоўза

матэрыялу. Наяўныя ў *T. aquaticus* альдалаза і *Taq*-палімераза дазваляюць захоўваць працэздольнасць бактэрыі ў гарачых умовах.

Сапраўдным тытанам сярод тэрмафілаў уважаюць **археон-метанаген** *Methanopryrus kandleri* – яго аптымальны рост на зіраеца пры 98 °C. Яго таксама знайшлі ў Елаўстоўскім запаведніку.

Цікавая асаблівасць *T. aquaticus* і *D. radiodurans* – падабенства геномаў гэтых пракарыётаў. Што можа сведчыць пра разыходжанне шляху эвалюцыі адаптацыі і, уласна, пра наяўнасць адзінага продка, які адаптаваўся да ідэнтычных умоваў. У 1970-х гадах Карл Ўоўз (Carl Woese) – бацька сучаснай філагенетыкі – створыць новы падыход у класіфікацыі ўсяго існага на планете, дрэва жыцця. Гэты падыход дазваляе заўважыць, што тэрмафільная бактэрыя і археоны – у аснове дрэва жыцця. Відавочна, гідратэрмальнаяе асяроддзе было харектэрнае і для іхнага продка.

Распрацаваная Ўоўзам канцепцыя дрэва жыцця адкінула назад сістэму пяці святай (або царстваў), пакінуўшы дзве імперыі (клеткае і пазаклеткае (вірусы) жыццё) і трох дамені (бактэрыі, археі і эўкарыёты). Візуалізацыя дрэва дастаткова выразна паказвае, што паміж двумя першымі даменамі прыйшло не так шмат часу з аддзялення да апошняга агульнага продка. Не меней цікавае размяшчэнне экстрэмрафільных галінак у бактэрыяў і археяў. Тэрмафілы першых і гіпертэрмрафілы другіх блізкія да даменных адгалінаванняў: устойлівасць да высокіх тэмператураў – звычайная рэч сярод

ранніх арганізмаў. Калі сканцэнтраваць сваю ўвагу на галіны археонаў, то побач з тэрмафіламі – і вышэй згаданыя галафілы і метанаген, харчовыя адаптанты. Гэта можа казаць як пра асаблівасці засваенні новых для археяў экасістэмай раннєе Зямлі, гэтак і пра змены ўласна ўмоваў на Зямлі. Прыкладна такія ж змены ў краявідным складзе адбываліся і ў бактэрыях: цыянабактэрыі, як і галафілы асвоілі з некаторым адрозненнем фотасінтэз, у той час як анаэробы (бактэрыі, якія абыходзяцца без кіслароду), наблізіліся да метанагенных археонаў.

З часам на Зямлі з'явілася атмасфера, тэмпература планеты выраўнялася, частка хімічных працэсаў спынілася. Пачаўся новы раўнд бітвы за выжыванне.

ХАЛОДНЫ, САЛЁНЫ, СУХІ І ПРЫЧЫМ ТУТ ЦІХАХОДКІ

Наагул магчымасць сустрэць жыццё пры крытычна высокіх тэмпературах – напрыклад, у гейзерах – не такая ўжо рэдкая. То же можна сказаць і пра іанізацыйнае выпраменьванне: мікраарганізмы прыстасаваліся жыць у ядравых рэактарах. Абодва гэтыя сцэнары – толькі пара з вяліким варыяцыі ўмоваў і іх камбінацыяй. Са з'яўленнем атмасфери на планете адбываўся падзел экалагічных нішаў: утварыліся ландшафты, жыццё на якіх лёгкім не здасца. Леднікі Грэнландыі, падземныя азёры Антарктыды, Мёртвае мора, гейзеры Ісландыі і ўжо згаданыя геатэрмальныя крываіцы Елаўстоўскага запаведніку, донныя пласты акіянаў, тундравыя пустэльні Камчаткі – усё гэта натуральныя арэны для галодных гульняў эвалюцыі.

Тып экстремафілаў	Абазначэнне адаптациі
Тэрмафілы	Здольныя выжываць пры высокіх тэмпературах, ад + 40 °C.
Псіхрафілы (крыяфілы)	Выжываюць пры тэмпературах ніжэй за нуль.
Ацыдафілы	Оптымум росту гэтых мікраарганізмаў назіраецца ва ўмовах высокое кіслотнасці. Некаторыя здольныя жыць пры pH ніжэй за 3,0.
Алкаліфілы	Гэтая група арганізмаў насяляе пры лужным (шчолачным) pH у дыяпазоне ад 9 да 11.
Галафілы	Жывуць пры высокіх канцэнтрацыях соляў у навакольным асяроддзі. Здольныя да росту пры 32 % канцэнтрацыі NaCl (шмат якія мезафілы гінуць пры 1–2 %).
П'езафілы (барафілы)	Могуць насяляць асяроддзе пры ціску больш за 1000 атм.
Радыерэзістэнты	Насяляюць асяроддзе з вельмі высокім уздоўненем крытычнага выпарменьвання.
Ксерафілы (сухалубы)	Адаптаваліся да жыцця пры нізкай вільготнасці. Здольныя жыць пры актыўнасці вады ніжэй за 0,85 (у норме актыўнасць вады роўная 0,9–1).
Эндаліты	Здольныя жыць у камяніах і высакацвёрдых субстратах.

Табліца 2. Экалагічныя групы экстремафілаў

Жыццё можа прыстасавацца да вялікага ціску, які размазаў бы чалавека аб тоўшчу вады. А можа вытрыміваць нізкія тэмпературы, пры якіх усе працэсы жыццяздзейнасці спыняюцца. Існуюць археі і бактэрыі, здольныя перажыць звышкіслыя і вельмі лужныя (або шчолачныя) асяроддзі. Здольныя перажываць засуху і засоленую ландшафты мікробы гэтак жа існуюць. Усіх гэтых экстремалаў аўтадойвае з тэрмрафіламі і радыерэзістэнтамі адно «але»: наяўнасці адаптациі толькі да аднаго тыпу ўмоваў часта недастаткова. Таму яны наўчыліся іх спалучаць і выжываць пры камбінацыі ўмоваў, застаючыся адначасова ўстойлівымі, напрыклад, да высокага ціску і крытычных тэмператураў. Разбяром, хто ёсць хто і чаму яны могуць спалучаць некалькі стратэгіяў выжывання.

П'езафілаў, галоўных насельнікаў акіянічнага дна, не здзівіць адным толькі ціскам. Дно сусветных водой спрэс пазбаўлене сонечнага святла, а таму там часта холадна. Шмат якія з іх абазначаюцца як п'езапіхрафілы – яны спакойна перанясуць усе нягоды доннага жыцця. Холад і пару сотняў метраў вады для іх не перашкода. Акрамя таго, навукоўцы вылучылі яшчэ і п'езатэрмафілы: яны ўтвараюць касцяк экасістэмы глыбакаводных гідратэрмальных крыніцай. Тэмпература каля іх складае прыкладна 120 °C, а ў самых крыніцах – каля 300 °C. Пекла ў чыстым выглядзе!

Устойлівасць да нізкае вільготнасці часта сустракаецца ў арганізмаў, гэтак жа прыстасаваных да высокое засolenасці.

Абодва віды мікраарганізмаў здольныя назапашваць раствораныя рэчывы, што дазваляе падтрыміваць высокі асматычны ціск і існаваць у збедненым вільгацію асяроддзі. Клеткі такіх мікраарганізмаў супраціўляюцца высыханню за кошт зніжэння спажывання энергіі і сінтэзу осмопратэктараў². Гэта перадухіле страту вады і павялічвае яе ўтрыманне звязаннем з хімічнымі злучэннямі цытаплазмы, абараняе ДНК і бялкі. Яшчэ адзін способ выжыць – выключыць жгуцікі і перайсці на альтэрнатыўныя крыніцы АТФ. Такія арганізмы, здольныя выжываць пры камбінацыях некалькіх небяспечных фактараў, называюцца **поліэкстремафіламі**. Яны складаюць вялікую частку экстремафілаў.

Дарэчы, акрамя пракарыётаў і археяў да ксерафілаў адносяцца простыя эўкарыёты – цвільныя грыбы родаў *Aspergillus* і *Xeromycetes*, досыць блізкія сваякі мікрабіёты любое холадні. Калі вы хоць раз пакідалі на колькі месяцаў адкрыты слоік з засоленымі агуркамі або квашанаю капустаю, то маглі назіраць наступнае. На мяжы расолу і паветра ўтворыцца каламутная плёнка шэра-зялёнаага колеру, якая паступова пакрывае саленні. Такія з'явы – вынік дзейнасці бактэрыяў роду *Bacillus* і *Clostridium*. Іх нельга строга класіфікаваць як экстремафілаў, затое можна аднесці да экстрематалерантаў. Такія арганізмы жывуць пераважна ў нармальных умовах, але могуць часткова адаптавацца і да небяспечнага асяроддзя. Ад экстремафілаў іх адрозніваюць нізкія

²Оsmопратэктары – арганічныя малекулы з нейтральным зарадам, ураўніваючы асматычны ціск паміж навакольным асяроддзем і цытаплазмай.

парогі пераноснасці неспрыяльнага асяроддзя і фізіялогія, больш харктэрная для мезафільных арганізмаў. Найчасцей экстрэмatalеранты гінуць праз некаторы час праз зніжэнне патэнцыялу да прыстасавання. Невідавочны прыклад такой экалагічнай групы – ціхаходка.

Ціхаходкі (*Tardigrada*) – мікраскапічныя бесхрывацівныя эўкарыёты. Увагу да сябе прыцягнулі не толькі чароўным выглядам, але і вельмі экстравагантным спосабам выжывання – крэпітабіёзам. Гэты фізіялагічны працэс высушвае цела ціхаходкі праз запуск анабіёзу. У такой форме яны здольныя пражыць працяглы час пры іанізавальнym выпраменяванні, у вадкім азоце ды іншых умовах.

І хоць маленькія вадзяныя мядзведзі ўжо наведалі космас, былі выяўленыя пры нізкай вільготнасці і высокай тэмпературы, званне экстрэмалаў яны страцілі. Шэраг эксперыментуў паказаў, што ў небяспечным асяроддзі ціхаходкі паступова страчваюць жыццяздольнасць. Акрамя таго, галоўны крытэр для экстрэмалаў – перабыванне ў актыўнай форме, а не ў стане ахоўнага сну.

НА ІНШАЙ ПЛАНЕЦЕ

Апошняе пытанне: чаго ж хочуць астрабіёлагі ад экстрэмалаў? Адно з цэнтральных заданняў астрабіялогіі – даследаванне умовы, у якіх можа ўзнікнуць або існаваць жыццё. Паколькі мы ведаем, што большую частку часу на Зямлі ў экстремальных умовах займае простае мікробнае жыццё, то відавочна, што большы дыяпазон заселеных планетаў будзе належаць мікраарганізмам.

У 1997 годзе цвіль знайшлі на касмічнай станцыі «Мір», дзе яна пашкодзіла блок сувязі з Зямлём. А ў 2001-м на Міжнароднай касмічнай станцыі цвіль спрычынілася да ілжывых сігналуў пра пажар на станцыі. Вынік абодвух інцыдэнтаў – хуткі рост і адаптавальнасць, атрыманыя на станцыях узоры адмаяўляліся расці ў лабараторных умовах. Відаць, прызычайліся да бязважкасці.

А ў 2014-м на МКС ужо знайшлі планктон – на паверхні ілюмінатара. Магчыма, ён з'явіўся пры ўзлёце грузавых караблён, калі корпус сутыкаецца з узыходнымі паветранымі масамі. Тым не менш дакладнага тлумачэння не знайшлі. Астрабіёлагі працягваюць назіраць за Венерай і Марсам, бо іх умовы блізкія да тых, у якіх

выжываюць экстрэмалаў у некаторых экасістэмах Зямлі. У спісе прыярытэтных мэтаў назірання – і спадарожнікі газавых гігантаў: Еўропа, Ганімэд, Каліста, Энцэляд, Тытан.

На халодных планетах і спадарожніках, у водах, пад тоўшчамі лёду могуць знайсці псіхрафілаў. У метанавых азёрах некаторых спадарожнікаў таксама могуць знайсціся бактэрыі са спецыфічнымі крэніцамі энергіі. Магчыма, жыццё можа адшукацца і на планетах-цяпліцах, дзе вельмі горача і суха. Аднак гэтыя ўмовы падобныя да гейзерных крэніцаў, так што верагоднасць не роўная нулю.

Экстрэмалаў ў далёкай будучыні могуць знайсці ўжыванне пры засваенні новых планетаў і іх тэраформінгу – глабальны змене іншапланетнае экасістэмы пад зямныя стандарты. Але гэтыя разважанні мы пакінем футуролагам...

Цяпер экстрэмалаў – важная частка мікрабіёты планеты, іх вывучэнне ўжо дало плён у біятэхналогіі і медыцыне. Аднаўленне заражаных радыяцыяй гле-баў і водаў, ачышчэнне сцёкавых водаў заводаў, ПЛР і крэяпратэктары, мыіныя сродкі, антыфрызныя бялкі, біядызельнае паліва – толькі частка цудаў, што зрабіліся даступныя дзякуючы маленькам выживальнікам. Без іх глабальная экасістэма зазнала б крах, а жыццё на планете не з'яўлялася бы больш складаным і прасунутым формам.

КРЫНІЦЫ:

1. G. Horneck, P. Rettberg. Complete Course in Astrobiology, 2007 г. ISBN: 978-3-527-40660-9.
2. J. Seckbach, H. Stan-Lotter. Extremophiles as Astrobiological Models, 2021 г. ISBN: 978-1-119-59168-9.
3. David C. Catling. Astrobiology: A Very Short Introduction, 2013. ISBN: 978-0-19-958645-5.

ПАЭТЫЧНАЯ ХВАРОБА, ПРЫ ЯКОЙ ДОТЬІК ПЕРАЎТВАРАЕЦЦА Ў БОЛЬ

МАРГАРЫТА ТРАФІМОВІЧ



Ідэя і аўтарства ілюстрацыяў
Аляксандра Давыдзенка

Ці трымалі вы калі-небудзь матыля ў руках? Ягоныя крылы такія тонкія, што могуць пашкодзіцца нават ад лёгкага дотыку. Такая ж уразлівая скура ў пацыентаў з булёзным эпідэрмолізам. Чаму так здарается і як жывуць людзі-матылі?



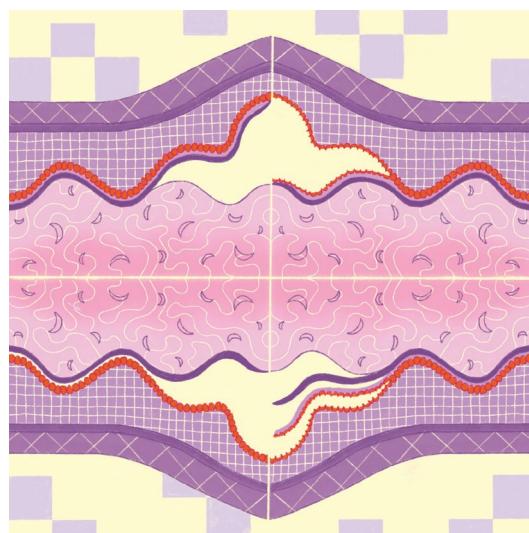
У медыцыне ўсё даволі добра звязана з лінгвістыкай, якая тлумачыць этическія слова. **Булёзны эпідэрмоліз** (*epidermolysis bullosa*, далей **БЭ**) гучыць даволі незразумела, пакуль не разбярэш яго на складнікі. *Bulla* з латыні перакладаецца як пухір, *epidermis* вам вядомы, а *lysis* – страта, растворэнне. Вось і атрымліваецца адсленне эпідэрмісу з утварэннем пухіроў. Таксама ў нас, медыкаў, існуе асаблівы план аповеду пра хваробу: яе эпідэміялогія, этиялогія і патагенез, клініка, дыягностика, лекаванне, прагноз... Паглядзім жа на людзей-матыліў з медычнага боку.

Булёзны эпідэрмоліз (БЭ) – рэдкая гетэрагенная спадчынная хвароба з аўтасомна-дамінантным, аўтасомна-рэцесіўным *de novo*¹ тыпамі наследавання.

На БЭ хварююць адноўлькаў жанчыны і мужчыны, прадстаўнікі ўсіх расаў і этнасаў. Пашыранасць – 500 000 чалавек увесь свет. На жаль, у Беларусі няма дадзеных статыстыкі, але паводле справаведлівасці на сайце БДМУ, у 2020 годзе ў краіне былі зарэгістраваныя 111 пацыентаў. Трэба разумець, што не ўсе сем'і становіцца на ўлік, таму сапраўдная колькасць большая. У нашай краіне БЭ не лічыцца арфаннаю хваробаю (*orphan disease*), то бок дзяржава не кантрлюе і не фінансуе цалкам лекавання ад яе.

¹*De novo* (даслоўна з латыні 'нанава') – тэрмін, ужываны праправажна ў навуковай літаратуры як ідыёма з значэннем «з самога пачатку».

Існуюць 4 асноўныя тыпы БЭ: просты, памежны, дыстрафічны і Кіндлер-сіндром. Класіфікацыя заснаваная на tym, дзе адбываецца аддзяленне скуры. З патагенезам БЭ асцыяваныя больш за 20 генаў і бялкоў, якія забяспечваюць цэласнасць скуры, а гэта кератыны, калагены, ламініны, інтэгрывіны ды інш.



ЯК ГЭТА – БЫЦЬ ЧАЛАВЕКАМ-МАТЫЛЁМ?

Уявіце сабе. Расплюшчыўшы вочы ранкам, вы абдымаете маці, але нават такая простая для кожнага з нас з'ява пакідае боль: калі нехта да вас дакранаеца – застаюцца раны. Сёння прымаеце болепатольныя сродкі і зноўку з бацькамі робіце перавязку амаль гадзіну, бо асептычныя пластыры і бінты – вашая другая скура. Вы бачыце, як пухіры пакідаюць эрозіі, струпы, шнары, гіпер- і гіпапігментацыю. Вы не чакаеце, калі сонца загляне ў ваконца, бо цяпло, вільготнасць і павышанае потавывядзенне пагаршаюць стан вашае скуры, а таксама павышаюць рызыкую з'яўлення пласкаклетковай карцыномы – больш агрэсіўнае, чымся ў людзей без БЭ. Вы садзіцеся пісаць папулярны спіс жаданняў, мараў і мэтай. На дварэ лета, вам хочацца пайскі з сябрамі ў турыстычны паход, але ў вас няма адпаведнага абутку, бо яго трэба замаўляць з асаблівой увагай, каб жорсткасць не пакінула новых шнараў. Вы думаеце набыцца адзенне на выпускны, але ў крамах няма нічога, што пасавала б вашаму стану, бо і дробнае шво шкодзіць. Вы марыце хадзіць з сябрамі на ёгу, але праз паражэнне скуры і кантрактуру вы не можаце зрабіць асаны. Гэта датычыць любога спорту. Вы марыце стацца мадэллю, але раны на твары перашкаджаюць руху пэндзля з пудраю, а манікюр немагчымы праз знікненне



пазногцяў. Вы марыце граць на арфе, але пальцы рук ужо зрасліся. Без дарагой аперацыі вы не можаце адчыняць самастойна дзвярэй, трymаць алоўка, зашпільваць гузікаў, завязваць шнуркоў, даставаць коркаў. Вы любіце хатніх жывёлінаў, але баіцесь прытуліца да ката, бо драпне – і новы шнар. Вы спрабуеце вылекаваць карыес, але інструменты стаматолага не дасягаюць зубоў праз вузкую адтуліну рота, а потым механічнае пашкоджанне выклікае гінгівіты і наўпрост выпадзенне зубоў. Вы хочаце пайсці ў кавярню і пакаштаваць цвёрдую страву, але слізница стрававода – у стрыктурах. Вы страчваеце вагу, у вас бялковая нястача, часам не гледзіце ў лютстэрка, бо цяжка псіхалагічна. Вы заўважаеце, як паступова страчваеце валасы, а трыхолаг ставіць дыягназ – алапецыя. Вы як агню баіцесь інфекцыяў. Вы часта наведваеце афтальмолага, бо празарока (або рагавіца) пашкоджаная, а ўначы вочы не да канца заплюшчаюцца і высыхаюць праз лагафталмом. Вы не любіце грамадскага транспарту, асабліва ў гадзіны пік, бо выпадкова нехта наступіць на нагу ці пхне – і вось чарговая рана. З цягам часу могуць спатрэбіцца аперацыі для лекавання псеўдасіндактыліі ці стрыктураў стрававода. Калі рост ці набор вагі адстаюць ад нормы, паказаная гастрастамія. Вы таленавітая і разумная асона, але праз невуцтва іншых можаце быць у дэпрэсіі праз непрыемныя словаў крытыкі. Вам складана камунікаваць з іншымі пацыентамі, бо ў кожнага розная ступень і праява хваробы, што часам выклікае турботнасць.

Мой досвед камунікацыі з некаторымі беларускімі пацыентамі ды іхнымі бацькамі быў вельмі кранальны і натхняльны. Светлыя, таленавітыя і моцныя людзі-матылі –

уразлівая частка нашага грамадства, таму дапамога ім – нашая з вамі адукаванасць і адсутнасць стыгматызацыі ў іхны бок.

А каб прыбраць асноўны жах неадукаванасці (быццам хвароба заразная ці небяспечная), дазнаемся, як дыягнастуюць БЭ.

ДЫЯГНАСТАВАННЕ ХВАРОБЫ

Калі клінічныя прыкметы і анамнез указваюць на БЭ, надыходзіць час лабараторнае дыягностикі. У якасці першага кроку неабходна правесці стандартную руцінную ацэнку для выключэння іншых хваробаў скуры. Далей маем два асноўныя метады. **Генетычнае тэставанне** мае на мэце выяўленне канкрэтнага варыянту паслядоўнасцяў ДНК, якія выклікаюць хваробу, атрымліваецца з пробы крываі. Аналіз пробы скуры, калі выкарыстоўваюцца тэхнікі, якія знаходзяць змены ў экспрэсіі, лакалізацыі бялкоў і ультраструктурная мадыфікацыя. Можна правесці з дапамогай імунафлюарэсцэнтнага адбіцца (immunofluorescence mapping, IFM) і/ ці трансмісійнай электроннай мікраскопіі (transmission electron microscopy, TEM).

IFM даследуе бялкі ў скуры. Бялкі, звязанные з БЭ, можна вызначыць паводле канкрэтных антыцелай. Пры парайнанні са звычайнаю скураю гэтая тэхніка можа паказаць адсутнасць або зменшаную колькасць бялку. *TEM* выкарыстоўваецца для беспасярэдняга даследавання скуры, яе структурных кампанентаў, якія не могуць быць убачаныя з дапамогай звычайнага мікраскопа.

TEM дазваляе павялічваць у 10 мільёнаў разоў. Гэта рэдка выкарыстоўваецца ў стандартнай дыягностицы БЭ, але можа быць карысным у складаных выпадках.

ДОКТАР ЛЕКУЕ. АЛЕ ЯК ГЭТА РАБІЦЬ ПРЫ АДСУТНАСЦІ ЛЕКАЎ?

Так, БЭ не вылечваецца. Дастанная тэрапія сімптаматычная. У нашым арсенале толькі дагляд скуры з дапамогай адмысловых пластыраў, павязак і бінтоў, змяншэнне болю, гігіена звычак, асабліва харчаванне, дыспансерызацыя і агляд камандаю дактароў.

Уявіце сябе на месцы бацькоў немаўляці з БЭ: вам трэба асцярожна і пяшчотна купаць дзіця, сачыць за тэмператураю вады, якасцю ручнікоў, звыкнуцца насіць

і падымаць дзіця, не кранаючы ягоных ранаў. Для транспартавання вам не пасуе звычайная пераноска – патрэбная з пенаматэрыйялам. Адзенне трэба набыць свабоднае, мяккае, насыць швамі вонкі. Вам не пасуе звычайная соска, пры грудным выкормліванні таксама ўжываюцца прылады супраць трэння. Вы баіцесь мяняць пялюшку, стрыгчы пазногці дзіцяці, перавязваць ягоныя раны, бо ўсё гэта выклікае боль, часам крык. Вам заўжды трэба мець з сабой адмысловыя павязкі, бо разам з няякаснымі можа адрывацца скура. Гэта штодзённая праца і вымушаная самадысцыпліна, каб вашае дзіця проста жыло.

АЛЕ ЁСЦЬ ПРАМЕНЬЧЫК!

19 траўня 2023 году Кіраўніцтва харчавання і медыкаментаў ЗША (*Food and Drug Administration, FDA*) зацвердзіла *Vyjuvek* (*beremagene deperparvec*), генатэрапію на аснове вектару віруса простага герпесу тыпу 1 (*HSV-1*) для лекавання ранаў у пацыентаў і пацыентак з дыстрафічнаю формаю БЭ (ДБЭ), старэйших за 6 месяцаў. У іх адбываецца мутацыя ў гене *COL7A1*, які кадуе калаген VII (неабходны бялок, які дапамагае ўзмацняць і стабілізаваць пласты скуры).

Vyjuvek – генетычна зменены (сфармаваны ў лабараторыі) вектар віруса простага герпесу, выкарыстоўваецца для ўвядзення нармальных копіяў гену *COL7A1* у раны. Малекулы калагену складаюцца ў доўгія тонкія пучкі, якія фармуюць фібралы, трymаюць эпідэрміс і дэрму разам, што вельмі важна для падтрымання цэласнасці скуры. *Vyjuvek* таксама быў зменены для ліквідацыі магчымасці рэплікацыі ў нармальных клетках. *Vyjuvek* уяўляе сабою гель для вонкавага карыстання, яго наносяць раз на тыдзень.



Булёзны эпідэрмоліз
Крыніца: www.wikipedia.org

Бяспечнасць і эфектыўнасць *Vyjuvek*'у ўстанавілі ў рандамізаваным, падвойным сляпым, плацэбакантраліянным даследаванні з удзелам 31 асобы з ДЭБ. Эфектыўнасць выявілася ў палепшаным гаенні ранаў, што вызначаецца як розніца ў долі пацверджанага поўнага (100 %) закрыцця ранаў паміж ранамі, апрацаванымі *Vyjuvek*'ам, і ранамі, апрацаванымі плацэбам, праз 24 тыдні. 65 % ранаў, апрацаваных *Vyjuvek*'ам, цалкам зацягнуліся, у той час як у апрацаваных плацэбам – толькі 26 % ранаў.

А ШТО Ў БЕЛАРУСІ?

Фонд «Шанц» падпісаў 11 ліпеня 2017 году з Міністэрствам аховы здароўя Беларусі праграму дапамогі, згодна з якой у Менску адкрылі кабінет генетычнае паталогіі скуры, беларускія дактары атрымалі веды і досвед працы з хваробай у чэшскім цэнтры БЭ ад Міжнароднай арганізацыі DEBRA.

Да 2023 году беларускія пацыенты атрымлівалі павязкі шведскае кампаніі *Mölnlycke* (агульнавядома, што аналагай ім няма), 90 % кошту якіх апложвалася дзяржава. У 2023-м кампанія на ўласную пастанову прыпыніла экспарт у Беларусь у звязку з палітычнымі дзеяннямі ва Украіне. З кастрыйніка 2023-га ў Беларусі не засталося запасаў павязак, у аптэках няма бінтоў і сподняе бялізны ад Hartmann. Нашыя засталіся даслоўна без другое скуры.

Кошт павязак для гадавога лекавання можа дасягаць нават 14 000 беларускіх рублёў. У віленскіх аптэках кошты дэмакратычныя, але і так 1 каробка з 5 павязкамі (для некаторых гэта штодзённая патрэбнасць) *Mepilex Lite* 15*15 каштуе 25 еўраў, *Mepilex Ag* 17,5*17,5 – 50 еўраў. Для бальшыні сем'яў гэта непадымныя кошты.

КРЫІНІЦЫ:

1. <https://www.debra-international.org/>
2. <https://www.chance.by/>
3. <https://www.upToDate.com/>
4. <https://www.fda.gov/>



ГАРАЧЫЯ ЗОНЫ КЛІМАТАЛОГІ: ЧАТЫРЫ ПАЛЕМІКІ ПРА КЛІМАТ МІНУЛАГА І СУЧАСНАСЦІ

НАДЗЕЯ ШЫМБАЛЁВА



Ідэя і аўтарства ілюстрацыі
YULI BABIYEVA

**Цяжка знайсці навуку, у якой кан-
цэнтравалася б большы дыскусійных
тэмаў, як у сучаснай кліматалогіі.
На працягу апошніх дзесяцігоддзяў
навукоўцам-кліматолагам даво-
дзілася фармуляваць значна больш
пытаццаў, чымся адказаў. Некаторыя
тэмы стваралі вакол сябе па-
леміку міжнароднага ўзроўню, якая
не сціхае дзесяцігоддзямі. Сутнасць
чатырох такіх вострых дыскусіяў
я паспрабавала апісаць у гэтым ар-
тыкуле.**

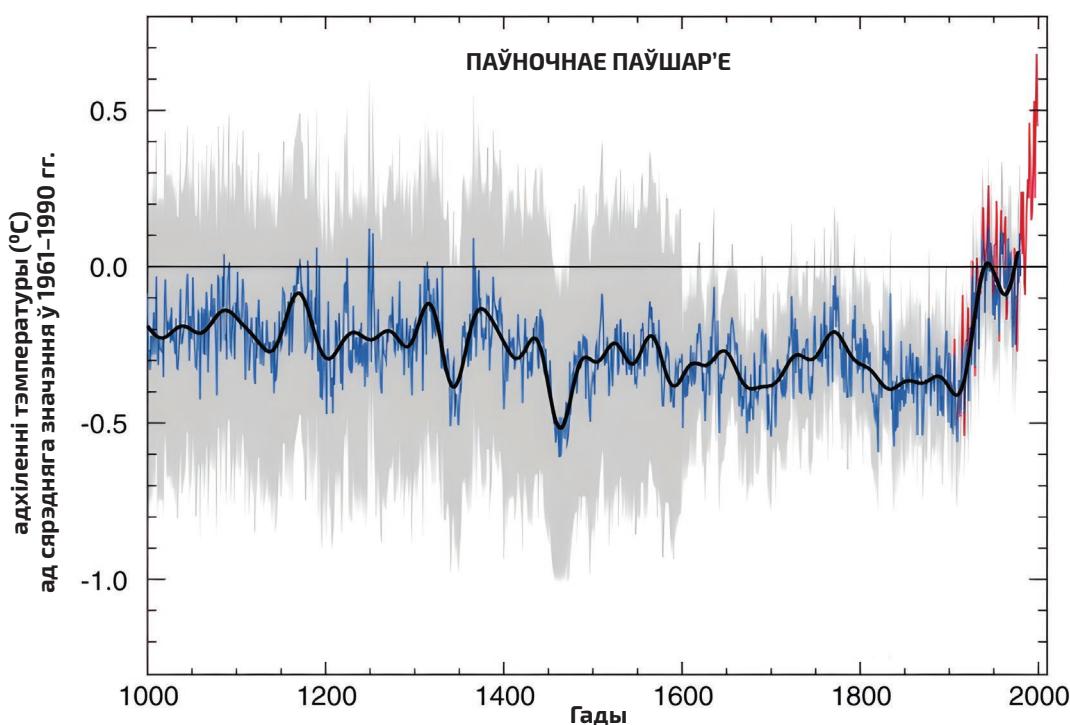
Калі вы захочаце дасканальна разабрацца ў тэмах, апісаных ніжэй, каб сфарма-
ваць нейкае адно цэласнае меркаванне, я
мушу вас папярэдзіць: гэта менавіта той
выпадак, калі ўпэўненасць у тэме зніжа-
еца адваротна працарцыйна набытым
ведам. Урэшце нішто гэтак не тармоziць
пошук праўды, як упэўненасць ва ўласнай
рацыі.

КЛІМАТ АПОШНЯГА ТЫСЯЧАГОДДЗЯ, АБО КРЫВАЯ ХАКЕЙНАЕ КЛЮШКІ

У 1998 годзе амерыканскі кліматолаг і
геафізік Майкл Мэн (*Michael Mann*) з су-
аўтарамі апублікаваў у часопісе *Geophysical Research Letters* Амерыканскага
геафізічнага звязу (*American Geophysical Union, AGU*) рэканструкцыю сярэднегадо-
вае тэмпературы паверхні Зямлі ў Паў-
ночным паўшар'і за апошнія 1000 гадоў [1]

(Малюнак 1A). Іхнаму графіку адразу далі жартоўную мянушку – графік хакейнае клюшкі (*hockey stick graph*). Праз пасту-
повае астуджэнне плоскае лініі (падобнае да ручкі), за якім ідзе рэзкі пад'ём тэмпе-
ратураў прыблізна з 1900 году (падобны да загнутага канца). На графіку відаць, што першыя 300 гадоў на крывой (1000–
1300 гг. н. э.) трохі цяплейшыя за наступ-
ныя 600 (1300–1900 гг. н. э.). Гэты адносна
цяплейшы перыяд назвалі сярэдневяко-
вым кліматычным оптымумам. А адносна
зімнейшыя стагоддзі назвалі малым
ледавіковым перыядам. Апошнія ж 100
гадоў (сучаснасць) характарызуюцца
хуткім узростам сярэдніх тэмператураў, і
гэта выклікае непакой.

Гэтая публікацыя сталася адпраўным
пунктам для абмеркавання праблемы
глабальнага пацяглення на міжнарод-
ным узроўні, што пасля прывяло да яе пе-
райтварэння ў адну з асноўных тэмаў на
сутыку кліматалогіі і сусветнае палітыкі.
Але, не зважаючы на гэта, шмат гадоў па-
слія публікацыі Мэн трапіў пад шырокую
крытыку з боку шмат якіх навукоўцаў,
палітыкаў і проста зацікаўленых грамад-
зінаў ува ўсім свеце. Асноўныя аргу-
менты датычылі якасці запісу проксі, ме-
тадалагічных хібаў, утойвання некоторых
звестак з боку Мэнна і палітычных аспектаў
пытаццаў глабальнага пацяглення (*hockey stick controversy*). Каб разабрацца
ува ўсіх аспектах навуковай і палітычнай
палемікі вакол неадназначнага графіку,



Малюнак 1A | Крыніца: www.newscientist.com

можа спатрэбіцца не адзін дзень, але я паспрабую справіцу за некалькі хвілінаў вашага чытання.

Для пачатку варта згадаць, што для пабудовы кривой Мэн з калегамі скарыстаў камбінацыю кліматычных паказнікаў (проксі) і беспасярэдніх запісаў метэаралагічных прыладаў. Чырвоным колерам на графіку паказаныя звесткі беспасярэдніх вымярэнняў тэмпературы за 1902–1998 гады. Для рэканструкцыі ж сініе часткі Мэн скарыстаў проксі-запісы гадавых кольцаў, слайстых адкладаў, ледзянных кернаў і каралаў у спалучэнні з гістарычнымі звесткамі за перыяд 1000–1980.

Нататка: Проксі ў палеакліматалогіі – гэта захаваныя фізічныя паказнікі клімату мінулага, якія замяняюць беспасярэднюю метэаралагічную вымярэнні і дазваляюць навукоўцам рэканструяваць кліматычныя ўмовы на больш працяглай частцы гісторыі Зямлі, бо верагодныя метэаралагічныя вымярэнні самі па сабе началіся толькі пасля 1880-х. Прыклады проксі: вымярэнні стабільных ізотопаў з ледзянных кернаў, вымярэнні гадавых кольцаў дрэваў, вызначэнне відавога складу пылку ў азёрных адкладах ці форамініфераў у акіянскіх адкладах, мінералагічны склад каралаў і г. д.

Асноўная крытыка проксі-падыходу Мэна была ў тым, што, па-першае, спачатку яны ўжылі ўсяго 112 проксі-запісаў, а гэта відавочна мала для тэмпературнае рэканструкцыі працягласцю каля 600 гадоў. Па-другое, пераважную балышыню проксі-запісаў уяўлялі сабою запісы гадавых кольцаў дрэваў, але аналіз запісаў вельмі складаны, бо гадавыя кольцы геаграфічна раскіданыя і маюць шмат навызначанасцяў, якія цяжка змераць. Апроч таго, шырыня гадавых кольцаў заўлежыць не толькі ад тэмпературы, але і ад колькасці ападкаў, асабліва ў нізкашыротных рэгіёнах. Дзякуючы гэтай крытыцы ў 2003 годзе Мэн з суцінамі правёў аналіз яшчэ раз, прымаючы да ўвагі толькі проксі, адчувальныя да зменлівасці тэмпературы.

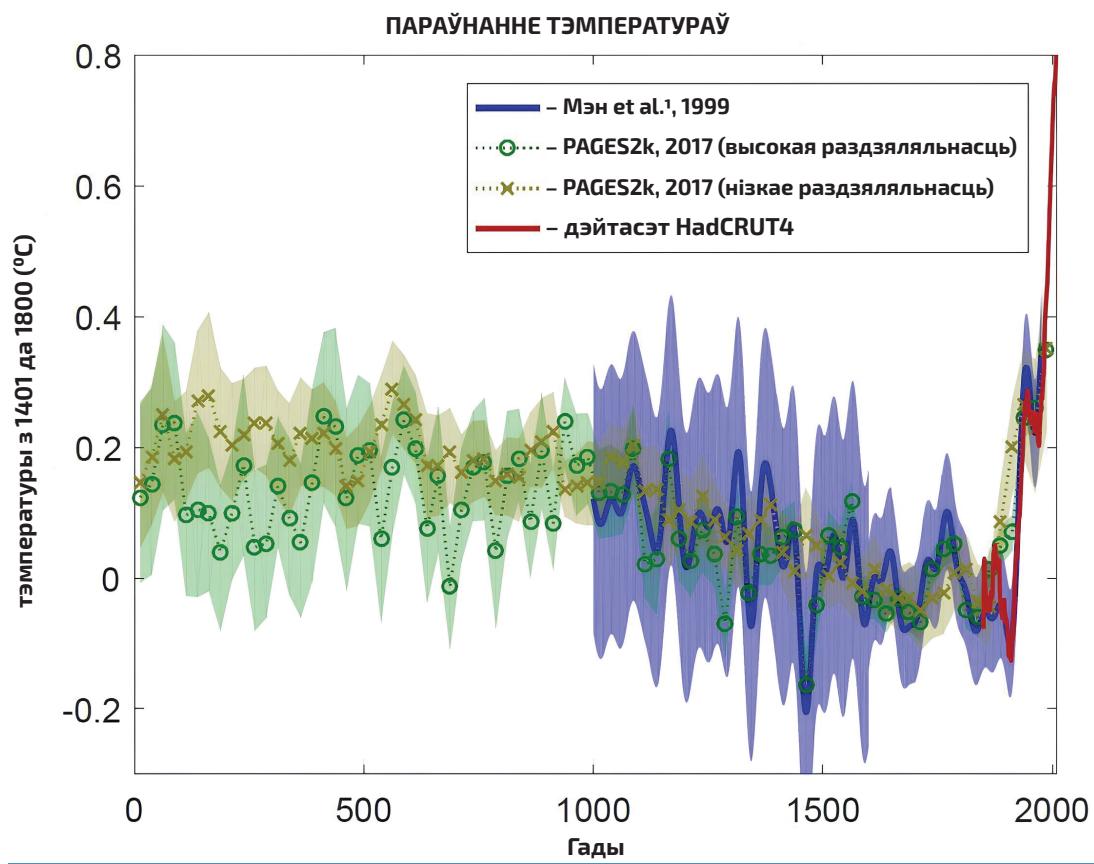
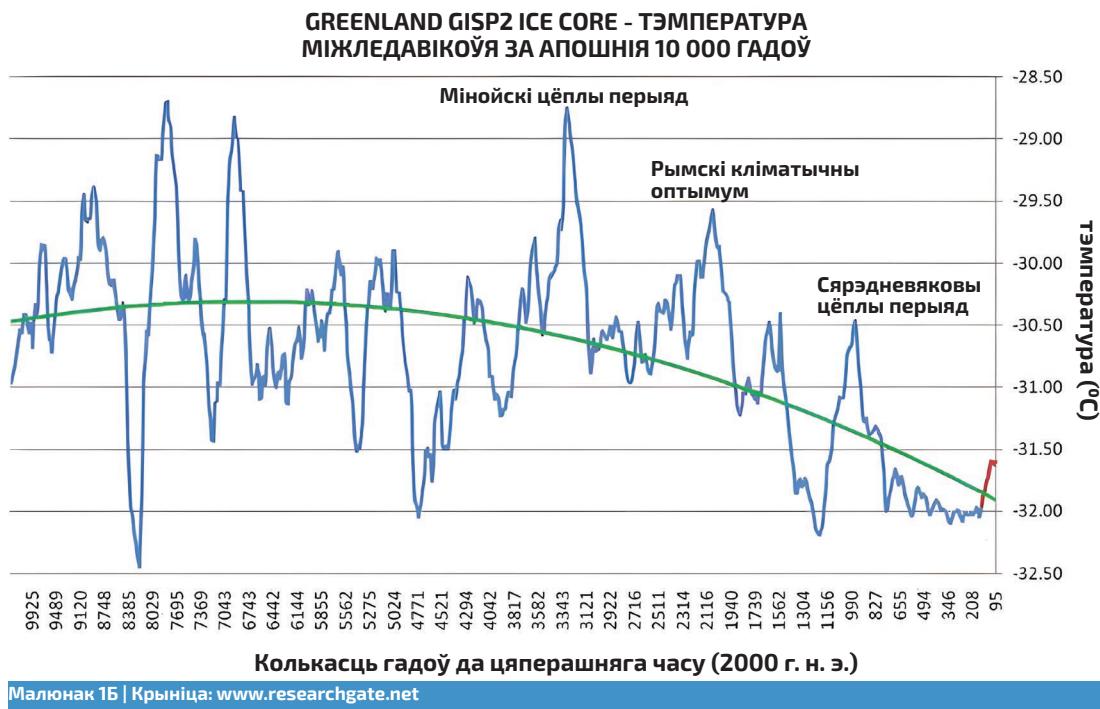
Наступная афіцыйная прэтэнзія да Мэна заключалася ў тым, што ён перашкаджаў публікацыі поўнага набору скарыстаных ім звестак, адмаўляючыся падаць свой вылічальны код, альбо аддаваў толькі абмежаваныя запісы. Праз гэта да сёння балышыня навукоўцаў не здолела цалкам ацаніць метадалогіі Мэна. Навукоўцы, якія спрабавалі ацаніць змену клімату ў міну-

лым тысячагоддзі ў ЗША, скарыстаўшы іншыя незалежныя паказнікі, гэтак і не здолелі прайграць тыповую кривую хакейнае клюшкі. Іншыя навукоўцы спрабавалі паўтарыць падобнае даследаванне для іншых рэгіёнаў планеты і выявілі, што з выкарыстаннем проксі-запісаў з іншых лакацыяў форма хакейнае клюшкі знікае, што даводзіла: графік – лакальная мадэль для Злучаных Штатаў, а не глабальная. Крытыцы таксама паддаваліся метады апрацоўвання звестак і недакладныя статыстычныя разлікі ў аналізе галоўных кампанентаў. Мэн прызнаваў, што не абавіруйся ў сваёй працы на значэнні каэфіцыенту дэтэрмінацыі (R^2 value), да якога было найбольш пытанняў [2].

У якасці альтэрнатывы наступае тэорыі (супраць антрапагеннае) шмат якія апаненты Мэна спасылаліся на 1500-гадовыя цыклы вагання клімату, вядомыя як падзеі (ци цыклы) Бонда (*Bond events*), сцвярджаючы, што сучаснае пацяпленне – частка гэтага натуральнага працэсу. У якасці прыкладу прыводзілі сярэдневяковыя кліматычны оптымум X–XIII стагоддзяў, калі, паводле аналізу ледзянных кернаў Грэнландыі, сярэднегадовыя тэмпературы на Паўночным паўшар'і нават перавышалі цяперашнія (Малюнак 1Б). Аналагічныя перыяды пацяплення адзначаліся і раней: рымскі кліматычны оптымум (250 г. да н. э. – 400 г. н. э.) і мінойскі кліматычны оптымум (XVI–XIV стст. да н. э.).

І ўсё ж на карысць даследаванню Мэна варта сказаць, што за 25 гадоў, мінулых з моманту публікацыі графіку, Мэн ды іншыя навукоўцы з усяго свету ладзілі новыя даследаванні, некаторыя з якіх змаглі пацвердзіць асноўныя высновы першапачатковая працы, не зважаючы на значныя змены ў метадалогіі і дакладнасці аналізу. Некалькі гадоў таму Майл Мэн апублікаваў аноўлены графік, пашырыўшы яго на 1000 гадоў у мінулае, скарыстаўшы звесткі міжнароднага кансорцыума *PAGES2k* (Малюнак 1В). Для гэтага графіку інфармацыя ўжо збіралася па ўсім свеце, што дазволіла атрымаць больш поўную карціну змены клімату і пацвердзіць агульнную тэндэнцыю, пададзеную ў выглядзе клюшкі з падоўжанаю ручкаю, гэтую працу таксама афіцыйна прызнала Нацыянальная акадэмія навук ЗША.

Безумоўна, ні крытыка вакол графіку, працягненага Мэнам, ні наяўнасць іншых тэорый, якія тлумачаць сучасную тэндэнцыю да імклівага пацяплення клімату, не адміняе таго факту, што ўплыў антрапагеннае дзеяньні на павышэнне сярэд-



няе тэмпературы Зямлі сапраўды значны. Безумоўна, дзеянасць чалавека ўплывае на клімат, хоць і варта мець на ўвазе, што часткова пацяпленне можа быць вынікам аднаўлення пасля малога ледавіковага перыяду і ўвогуле мець шматфактарны

характар. Так ці інакш хакейная клюшка за 25 апошніх гадоў ператварылася са звычайнага прадмета наўкувае дыскусіі ў знак прыхільнікаў глабальнага пацяплення, а значыць, прынесла няманае каратысці ў глобальнай экалагічнай барацьбе.

¹Скарот ад лац. *et alia* 'і іншыя'

ЦІ САПРАЎДЫ НАС ГРЭЕ ҐАЛФСТРЫМ?

Наўрад ці знайдзеца чалавек, які ніколі не чуў пра тэорыю, што заходняя Еўропа абавязаная сваім мяккім кліматам і цёплымі зімамі ўпльву Ґалфстрыму (*gulf stream*), акіянічнае плыні, што рухаецца ад Мексіканскага затокі на поўнач уздоўж усходняга ўзбярэжжа ЗША да мысу Гатэррас (*Hatteras*), а потым на паўночны ўсход у бок Еўропы. Шчыра кажучы, я і сама не раз усклікала «Дзякую, Ґалфстрыме!», гуляючы ў лёгкім трэнчы па бельгійскіх вуліцах у сярэдзіне лютага. Пакуль не капнула трохі глыбей.

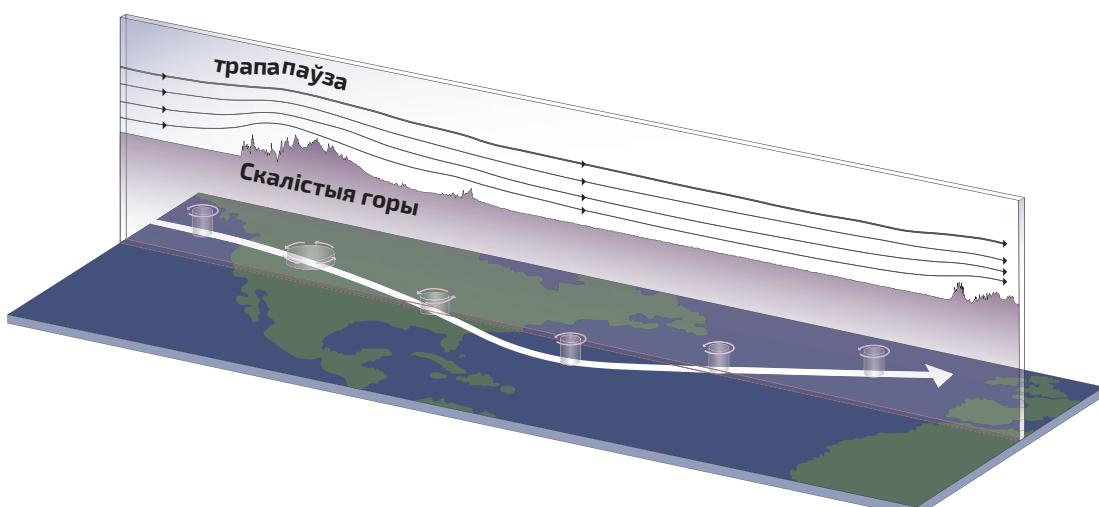
Мэт'ю Фантэйн Моры (*Matthew Fontaine Maury*) першы звязаў Ґалфстрым з мяккім еўрапейскім кліматам у сваёй кнізе «Фізічная геаграфія мора», апублікаванай у 1855 годзе. Ён выказаў здагадку, што цяпло, якое пераносіцца Ґалфстрымам, сагравае Заходнюю Еўропу. Бо калі парыўнаць Заходнюю Еўропу з усходняю часткай Паўночнай Амерыкі (якія абмываюцца адным ітым жа Атлантычным акіянам), то ў Еўропе зімовыя тэмпературы значна мякчэйшыя: на эквівалентных шыротах розніца з сярэднім занальнім значэннем прыкладна на 10°C вышэйшая ў Заходняй Еўропе. Ідею падтрымалі шмат якія навукоўцы, сцвярджаючы, што Ґалфстрым пераносіць цёплую воду з тропікаў на Паўночны полюс і на сваім шляху цёплая паверхневыя воды аддаюць цяпло вышэйлеглым заходнім вятрам. Тыя пераносіць цяпло праз Атлантычны акіян у паўночна-заходнюю Еўропу, ствараючы мяккі клімат.

Але ўсё ж такі не ўсе ў навуковым свеце пагадзіліся з гэтай ідэяй. Напрыклад, у пачатку XXI стагоддзя Рычард Сігер (*Richard Seager*) і ягоныя калегі [3] зладзілі экспе-

перымент з лічбавымі мадэлямі клімату, падчас якога даследавалі ўнёсак пераносу цяпла акіянам у пацяпленне Еўропы. Яны параўналі вынікі дзвюх версіяў гэтае кліматычнае мадэлі. Першая разлічвала тэмпературу паверхні мора з улікам пераносу цяпла акіянам, паглыненні сонечных праменяў і абмену цяпла паміж акіянам і атмасферай. У другой версіі эфект акіянічнага пераносу цяпла быў адключаны. Эксперимент не паказаў вялікае розніцы ў студзенскай тэмпературе – незалежна ад таго, прымаўся да ўвагі перанос цяпла ў акіяне ці не.

У якасці альтэрнатывай ідэі Сігер выказаў здагадку, што розніца тэмператураў абумоўленая контрастам паміж марскім кліматам Еўропы і кантынентальным кліматам Паўночнай Амерыкі, а таксама ўплывам Скалістых гораў (*Rocky Mountains*) у Паўночнай Амерыцы на кірунак ветру. Улетку ў Заходняй Еўропе вечер дзьме з акіяну на сушу, пераносячы адтуль цяпло. Улетку акіяны награваюцца павольней за сушу, пры гэтым узімку яны таксама павольней астываюць. Гэта азначае, што ваганне тэмпературы паверхні мора меншае, чымся тэмпературы на сушы. Ва ўсходняй жа частцы Паўночнай Амерыкі клімат больш кантынентальны, з халаднейшымі зімамі, бо над сушаю вечер дзьме з заходу на ўсход (Малюнак 2).

Потым на абарону тэорыі пра цёплы ўплыў Ґалфстрыму выступілі ідэі навукоўцаў Райнза (*Peter Rhines*) і Хякінэн (*Sirpa Häkkinen*) [4], якія ўважалі, што лакальная назапашанага акіянічнага цяпла ўлетку дастаткова для падтрымання сярэдняе тэмпературы паветра толькі да снежня, а дадатковое цяпло для падтрымання цёплае зімы якраз і забяспечвае Ґалф-



Малюнак 2

стрымам праз імпарт яго з іншых месцаў, пасля чаго пераважныя вятры пераносяць гэтае цяпло ў бок Захадняй Еўропы. Апроч таго, паводле Райнза і Хякінэн, у мадэльных эксперыментах Сігера не ўлічваліся працэсы пераносу прэснае вады, якія адыхрываюць важную ролю ў тэрмакалінай цыркуляцыі і, такім чынам, у цыркуляцыі паміж акіянам і атмасфераю ды пераносе цяпла ў акіяне. Пры адсутнасці пераносу цяпла акіянам лёд пашырыўся бы на значна большыя тэрыторыі на поўнач ад 40° пн. ш.

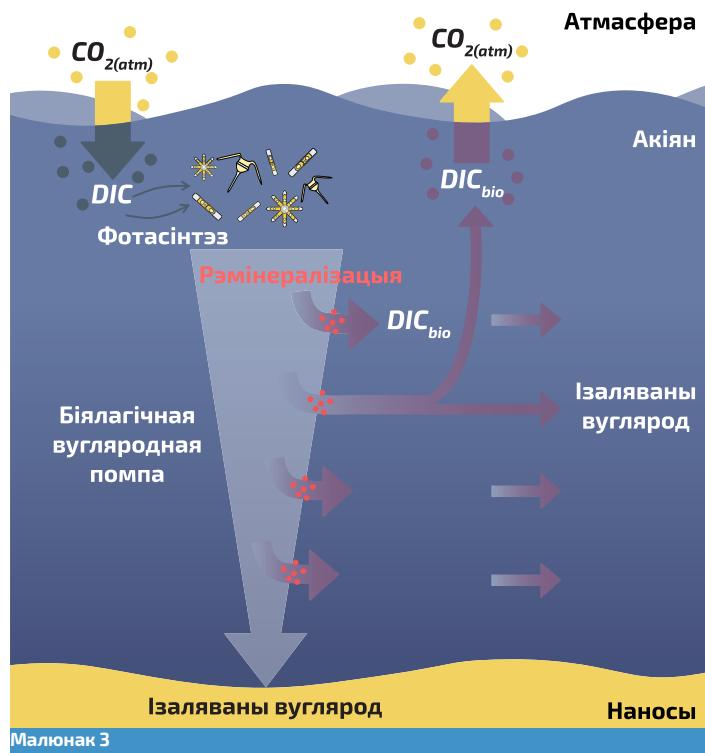
Апроч апісаных даследаванняў, шмат якія навукоўцы становіліся на бок тае ці іншае тэорыі, аднак дакладнага адказу пакуль знайсці не ўдалося з прычыны складанасці і шматфактарнасці мадэляванае сістэмы. Не менш важным пытаннем робіцца паслабленне Галфстрому, якое ўжо сёння можна змераць: паверхня акіяну ў высокіх шыротах робіцца больш прэснай і цёплай праз раставанне паўночных ледзяных шапак і праз глабальнае пацяпленне. Калі еўрапейскі клімат сапрауды кантралюецца пераносам цяпла Галфстрымам, паслабленне Галфстрому можа мець сур'ёзныя наступствы для Еўропы. У геалагічным маштабе ўжо мелі месца папярэдня перыяды анамальнага пахаладання ў Еўропе, напрыклад, у познім дрыясе, ці падзея, што адбылася 8,2 тыс. гадоў таму. Абедзве з'явы звязваюцца сучаснымі навукоўцамі з паслабленнем Галфстрому.

А КАЛІ ПРОСТА ДАДАЦЬ ЖАЛЕЗА?

Яшчэ адна з найцікавейшых дыскусійных тэмаў у кліматалогіі – тэорыя пра магчы- масць узмацнення працэса паглынання акіянамі атмасфернага CO_2 праз угнаенне іх пажыўнымі рэчывамі. І найперш (што спачатку можа здавацца нелагічным) жа- лезам. Механізм, што стаіць за гэтаю тэо- рыяй, досыць прости. Дадаванне пажыў- ных рэчываў будзе стымуляваць імклівы рост фітапланктону, фотасінтэз якога, як вядома, абмежаваны наяўнасцю азо- ту, фосфару, жалеза ды іншых пажыўных рэчываў. Гэтак, узмоцненае квітненне фітапланктону ўзмоцніць працэс фота- сінтэзу, у выніку якога і адбываецца па- глынанне парніковага CO_2 з атмасфери. Гэта асабліва можа датычыць экватары- яльнай і паўночнай частак Ціхага акіяну, а таксама ўсяго Паўднёвага акіяну праз ба- гацце нескарыстаных пажыўных рэчываў для раслінаў у гэтых рэгіёнах.

Навукоўцы, якія актыўна прасоўвалі гэту тэорыю, падкрэслівалі: такія працэсы ўжо адбываліся на нашай планеце натуральным шляхам: 60 мільярдаў тонаў CO_2 былі выдалены з атмасфери ў часе апошніх ледавіковых перыядоў дзякуючы ўзбагачэнню часцінкамі жалеза, якія натуральным спосабам трапілі ў моры і акіяны. Паводле разлікаў навукоўцаў, кожная тона часцінкі жалеза, дададзеная ў акіяны, мелася вывесці з атмасфери 30–110 тысяч тонаў CO_2 . Кліматычныя мадэлі таксама паказваюць, што наў-

мыснае занясенне жалеза па ўсім Паўднёвым акіяне можа штогод паглынаць з атмасферы 1-2 мільярды тонаў CO_2 . Гэтая колькасць адпавядае 10-25 % агульнасусветнага гадавога аб'ёму выкідаў CO_2 .



Доказы таго, што дадаткі жалеза сапраўды паглынаюць CO_2 з акіянаў, былі прыведзеныя падчас 13 невядлікіх акіянскіх эксперыментатаў пасля 1993 году (Малюнак 3). Аднак ужо першыя эксперыменты паказалі маленькую неадпаведнасць разлікаў з рэальнасцю: з дававаннем аднае тоны жалеза фітапланктонам з атмасферы была выдаленая ўсяго 1000 тонаў CO_2 (у адрозненні ад чаканых 30–110 тысяч тонаў). Акрамя таго, працягласць эксперыментатаў была закароткая, каб вызначыць доўгатэрміновыя змены.

Яшчэ адна крэтычна заўвага, зробленая Г'югай Паўэлам (*Hugo Powell*) [5] пасля правядзення эксперыменту, заключаўся ў тым, што дадаткі жалеза парушаюць ніжнюю ступень марскага харчовага ланцу́га, і гэта цягне за сабою вялікія рызыкі, бо няўхильна прывядзе да павялічвання біямасы, а раскладанне большае колькасці біямасы прывядзе да зніжэння ўздоўж кіслароду ў сярэдзіннай частцы акіяну. Гэта ў сваю чаргу можа выклікаць больш частую ды інтэнсіўную ўзбярэжную гіпаксію і, як вынік, павелічэнне смяротнасці марскіх арганізмаў. Апроч таго, шэраг навукоўцаў прапанаваў тэорыю пра тое, што занясенне ўгнаення жалеза можа прывесці да негатыўных зменаў у рыбных запасах і папуляцыях кітоў, бо фітапланктон паглынае не толькі часцінкі жалеза, але і іншыя пажыўныя рэчывы: нітраты, фасфаты і дыаксід крэмнію. А гэта можа прывесці да расходавання будаўнічых блокаў, патрэбных для росту фітапланктону ў тых водах, дзе не ўжывалі ўгнаення жалезам, і ў выніку да пераразмеркавання ці агульнага зніжэння папуляцыі рыбаў, што харчуецца зоа- і фітапланктонам.

Важна таксама разумець, што пры занясенні жалеза толькі невялікі адсотак вугляроду асядае на марское дно, дзе застаецца там тысячагоддзямі ў выглядзе мёртвых клетак і фекальных гранулаў. Значная ж частка сабранага CO_2 (20–50 %) дасягае толькі сярэднеглыбінных водаў акіяну, дзе вуглярод можа заставацца ў падводных плынях толькі адно – тры дзесяцігоддзі. З гэтае прычыны навукоўцы пастановілі папрацаўваць над пошукам больш доўгатэрміновых рашэнняў супраць павелічэння выкідаў парніковых газаў.

Атрымліваецца, не зважаючы на тое, што ідэю штучнага ўгнаення акіянаў жале-

зам можна разглядаць як, здавалася б, просты варыянт зніжэння канцэнтрацыі CO_2 у атмасферы, гэты метад усё яшчэ застаецца даволі спрэчным праз магчымую негатыўную наступствы для марскіх экасістэм.

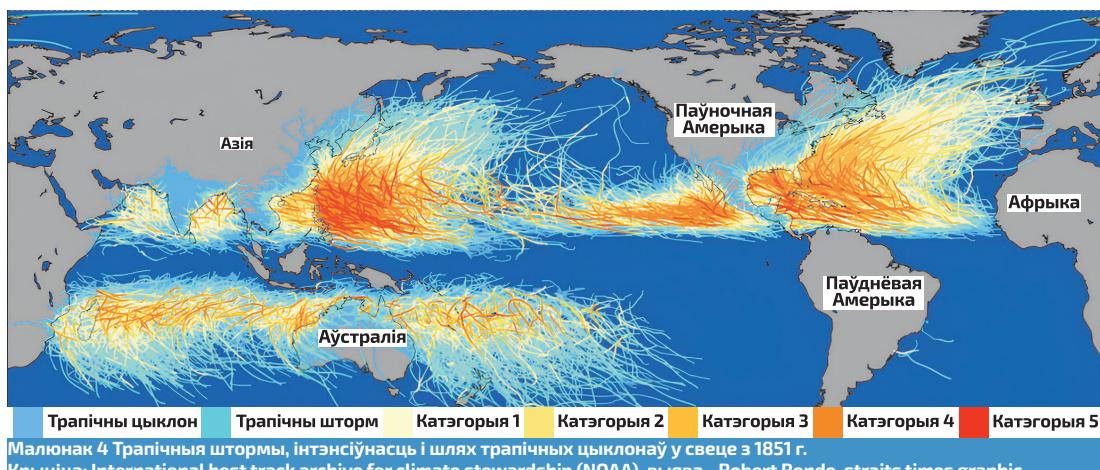
ВЕЦЕР ПЕРАМЕНАЎ МАЦНЕ?

Безумоўна, калі гаворка пра глабальнае пацяпленне, немагчыма абысці бокам пытанне, як яно адаб'еца на прыродных стыхіях планетарнага (читай: катастрофічнага) маштабу. Адно з найболей разбуральных, але найменш даследаваных наступстваў, што глабальнае пацяпленне можа прынесці на нашу планету, – паводзіны трапічных штурмаў (таксама званых ураганамі, тайфунамі ці цыклонамі ў залежнасці ад рэгіёну і нацыянальнасці аўтара). У гэтай тэме сканцэнтраваныя два асноўныя пытанні.

Ці ўплывае глабальнае пацяпленне на павелічэнне **КОЛЬКАСЦІ** ураганаў?

Ці павялічваецца **ІНТЭНСІЎНАСЦЬ**, або сіла ураганаў з пацяпленнем клімату?

Найбольш важны фактар фармавання і ўмоваў жыццёвага цыклу ўрагана – *тэмпература паверхні мора (sea surface temperature, SST)*, менавіта гэтае схаванае цяпло нашых акіянаў уважаюць рухавіком ураганаў, і яна расце – прынамсі апошнія 30 гадоў – ува ўсіх акіянах. Уплыў змены клімату на ўраганы праз павышэнне тэмпературы паверхні мора (паводле прагнозаў, да канца стагоддзя яна павялічыцца на 2 °C), яшчэ да канца невядомы, і пытанне, ці пачалі гэтыя змены ўжо выяўляцца ў нашым клімаце, усё яшчэ абміяркоўваецца (Малюнак 4). Шмат якія матэматычныя



мадэлі прадказваюць павелічэнне інтэнсіўнасці штормаў найбліжэйшымі гадамі, а гістарычныя базы звестак ужо паказваюць узрастальную сілу гэтых прыродных з'яваў. Але ці так гэта будзе насамрэч?

Важны аспект у аргументацыі пра антрапагенавы ўплыў на трапічныя цыклоны – тэорыя, што вызначае **максімальну патэнцыйную інтэнсіўнасць урагану** (*maximum potential intensity, MPI*). У залежнасці ад пачатковай інтэнсіўнасці шторму, цеплаабмену з верхнім пластом акіяну і з тэрмадынамічным асяроддзем у басейне ўрагану, існуе верхняя мяжа інтэнсіўнасці (г. зн. хуткасці ветру), якой ураган можа дасягнуць. Аднак было выяўлена, што толькі невялікі адсотак ураганаў дасягае свайго MPI да таго, як дасягне сушки, і што павелічэнне інтэнсіўнасці ўраганаў, напэўна, складзе 3–5 % на кожны 1°C павелічэння тэмпературы паверхні мора, а гэта азначае, што кожны ўплыў антрапагенавых працэсаў на змену клімату, калі яны дасюль упłyвалі на трапічныя цыклоны, напэўна, не бачны ў гістарычных архівах.

У 2005 годзе Ўэбстэр (*Peter J. Webster*) з саўтарамі [6] зрабілі першы гістарычны аналіз фармавання цыклонаў у шасці асноўных акіянічных басейнах з пункту гледжання частаты і **інтэнсіўнасці** трапічных штормаў за папярэдня 35 гадоў. Ува ўсіх прааналізаваных вобласцях утварэння цыклонаў назіралася павелічэнне інтэнсіўнасці трапічных цыклонаў (катэгорыі 4 і 5, г. зн. наймацнейшае магутнасці). Паводле іхных звестак, глабальная доля інтэнсіўных цыклонаў павялічылася з 16 % да 37 % з 1970 да 2004 году. Пры

гэтым толькі ў паўночнай частцы Атлантычнага акіяну назіралася павелічэнне **частаты** ўраганаў (г. зн. колькасці ўраганаў за год) за вызначаны перыяд. Можа, Паўночная Атлантыка ўжо рэагуе на паслабленне Галфстриму?

Праз 10 гадоў пасля атрымання вынікаў даследавання Ўэбстэра пра тое, што ні ў адным з акіянічных басейнаў, апроч Атлантычнага, не назіраецца заўважнага павелічэння частаты трапічных штормаў, група амерыканскіх навукоўцаў прааналізавала 10 дадатковых сезонаў ураганаў з 2004 да 2014 году і аўяднала свае звесткі з Ўэбстэрэвымі. Дадатковая вымярэнні выявілі тэндэнцыю да зніжэння частаты ўраганаў з 2005 да 2014 году. Гэта дазваляе выказаць здагадку, што на змену частаты ўраганаў з цягам часу могуць упłyваць не толькі тэмпература паверхні мора, але і іншыя лакальныя ваганні, як **Паўночнаатлантычная асцяляцця** (*North Atlantic Oscillation, NAO*) ці Эль Нінё – **Паўднёвая асцяляцця** (*El Niño–Southern Oscillation, ENSO*).

Навукоўцы адзначылі, што ў перыяд 1990–2014 гадоў больш высокая колькасць ураганаў катэгорыі 4–5 у Паўночным паўшар'і была звязаная з цёплымі з'явамі Эль Нінё і, наадварот, ураганы ніжэйшае катэгорыі былі звязаныя з халоднымі з'явамі Ля Нінё, а значыць, не толькі глабальная змена клімату вызначае паводзіны ўраганаў [7].

Нататка: **Паўночнаатлантычная асцяляцця** (*North Atlantic Oscillation, NAO*) – буйнамаштабная сістэма цыркуляцыі атмасфэры, што пераразмяркоўвае



Хвалі Паўночнага Атлантычнага акіяну на ўзбярэжжы Партугаліі (Пэдраган)

паветраныя масы паміж Арктыкай і субтропічнай Атлантыкай. Паўднёвая асцыляцыя – Эль Ніннё (*El Niño–Southern Oscillation, ENSO*) – гэта ваганне тэмпературы паверхневага пласта вады ва ўсходняй і цэнтральнай частках Ціхага акіяну. Яно цыклічна чаргуе халодныя (Ля Ніннё), нейтральныя і цёплыя перыяды (Эль Ніннё). Цёплыя фазы звычайна адбываюцца раз на 3–8 гадоў.

Пры гэтым важная рэмарка: павялічванне/зніжэнне назіранае колькасці трапічных цыклонаў магло быць выклікане значным удасканаленнем метадаў назірання з даспадарожнікамі эпохі да цяперашняга часу, а не рэальнымі зменамі частаты трапічных цыклонаў. Рэгулярныя спадарожнікамі назіранні пачаліся толькі прыблізна ў 1965–1970 гадах, дасюль існуе высокая імавернасць таго, што шматлікія трапічныя цыклоны без выходу на сушу не былі выяўленыя. Гэта пацвярджаюць некаторыя рэгіянальныя даследаванні, што дакументавалі ўскосныя сведчанні мінулых ураганаў на сушы (паводле характеристу адкладаў). Акрамя таго, варыяцыйнасць паміж рознымі базамі звестак таксама можа адыгрываць вялікую ролю. Два розныя даследаванні, праведзеныя Ўэбстэрам у 2005 годзе і японскімі навукоўцамі ў 2006-м, якія выкарысталі дзве розныя базы звестак – базы амерыканскага Аб'яднанага вайскова-марскага цэнтра папярэджання тайфунаў (*JTWC*) і Японскага метэаралагічнага агенцтва (*JMA*) адпаведна – прывялі да супяречлівых вынікаў: японскія навукоўцы паказалі, што ў 1977–1990 і 1991–2004 гадах назіралася істотнае зніжэнне колькасці ўраганаў катэгорыі 4–5, у адрозненне ад даследавання Уэбстэра, які прадэманстраваў іх узрост. Магчымым тлумачэннем такога разыходжання звестак паміж *JMA* і *JTWC* ёсць спыненне авіяцыйнае выведкі ў 1987-м.

Ясным застаецца толькі адно: пры вывучэнні паводзінаў ураганаў трэба ўлічваць не толькі змену тэмпературы паверхні мора, але і іншыя фактары, якія сіла Кар'ёліса (*Gaspard Gustave de Coriolis*), тып і колькасць ападкаў, змены атмасфернага ціску, напружанне зруху ветру (на паверхню вады) і рэгіянальныя атмасферныя ваганні. Трапічныя цыклоны ўяўляюць сабою складаныя сістэмы са значным узроўнем няпэўнасці як у мадэляванні, гэтак і ў вымярэннях. І толькі час пакажа, як на іх паўплывае змена клімату.

КРЫНІЦЫ:

1. Mann, M.E., Bradley, R.S., Hughes, M.K., 1998. Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature* 392; pp. 779–787.
2. McKittrick, R., 2005. What is the 'Hockey Stick' Debate About?. APEC Study Group, Australia, April 4, 2003.
3. Seager, R., 2006. The Source of Europe's Mild Climate: The notion that the Gulf Stream is responsible for keeping Europe anomalously warm turns out to be a myth. *American Scientist*, 94 (4), 334–341.
4. Rhines, P. B., & Häkkinen, S., 2003. Is the oceanic heat transport in the North Atlantic irrelevant to the climate in Europe. *ASOF Newsletter*, 2, 13–17.
5. Powell, H., 2008. "Fertilizing the Ocean with Iron - Should we add iron to the sea to help reduce greenhouse gases in the air?" *Oceanus Magazine* 46 (1).
6. Webster, P. J., G. J. Holland, J. A. Curry, and H.-R. Chang, 2005. Changes in tropical cyclone number, Duration, and intensity in a warming environment, *Science*, 309, 1844–1846.
7. Klotzbach P. J., Landsea C. W., 2015. Extremely intense hurricanes: Revisiting Webster et al. (2005) after 10 years. *Journal of Climate*, 28, 7621–7629.

АСТРАНАМІЧНЯ ПАДЗЕІ ЛЕТА І ВОСЕНІ: ЧАКАЕЦЦА ЗЬЯЎЛЕНЬНЕ ЯРКАЕ КАМЭТЫ І ПОШУГ НОВАЕ ЗОРКІ



**АЎТАР ТЭКСТУ І АСТРАЗДЫМКАЎ -
ЗЫМІЦЕР КАНАНОВІЧ**

*Менавіта гэтая дзьве яскравыя па-
дзеі вартыя асаблівай увагі, бо зда-
раюцца бадай што раз у жыцьці.*

Камэту C/2023 A3 (Цзыціньшань-ATLAS, *Tsuchinshan-ATLAS*) адкрылі ў пачатку мінулага году ў Абсэрваторыі Пурпуроае гары (ці Цзыціньшань, *Zijinshan / Tsuchinshan*) у Кітai. Незалежна ад яе камэту заўважыла і работызаваная систэма агляду неба ATLAS (*Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System*), створаная з дапамогаю NASA для пошуку небясьпечных астэроідаў, якія маюць рызыку су-тыкнуща эль Зямлёю. Нябесная госьця, як і шмат якія іншыя камэты, завітала да нас з воблака Оўрта на далёкай ускраіне Сонечнае систэмы. Апошнім часам аўтаматызаваныя агляды неба, падобныя да ATLAS, адкрываюць даволі шмат камэтаў, якія наведваюць нутраную Сонечную систэму першы (і, верагодна, апошні) раз. Бальшыня гэтых камэтаў цікавая хіба што астрономам, бо назіраць іх можна выключна праз тэлескоп. Але Цзыціньшань-ATLAS выбіваецца з гэтага шэрагу: чакаецца, што пасля яе пралёту блізка да Сонца ў канцы верасьня яркасць камэты надзвычайна павялічыцца. Гэта, верагодна, зробіць яе бачнаю няўзброеным вокам з каstryчніка да лістапада. Чаму толькі верагодна, калі астрономія ўсё ж такі дакладная навука? Што датычыць камэтаў, тут ёсьць свае асаблівасці і пасткі: такія камэты-першаходкі, як Цзыціньшань-ATLAS, ня надта прадказальныя ў сваіх паводзінах. Як трапна заўважыў аматар астрономіі і знакаміты лавец камэтаў Дэйвід Леві (*David Levy*), камэты падобныя да катоў: у іх таксама ёсьць хвасты, і яны робяць менавіта тое, што хочуць. Пры набліжэнні да Сонца ядро камэты мае моцна нагрэцца. Ядро складаецца з пылу і пакрытае лятучымі ма-

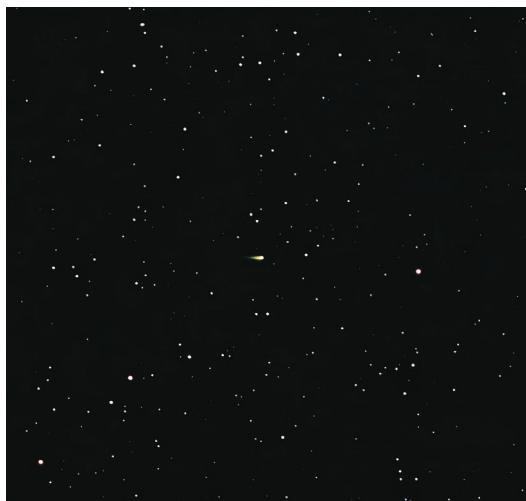
тэрыяламі (напрыклад, лёдам). Менавіта яны і ствараюць яркі і прыгожы хвост камэты, калі выпараюцца і выштурхоўваюцца ў космас. Але камэты, што ніколі раней не праляталі побач з Сонцам, могуць згубіць лятучыя матэрыялы на паверхні ўжо далёка ад Сонца, ствараючы кароткачасовыя ўсплескі яркасці. Далей павелічэньне яркасці можа запаволіцца ці нават цалкам спыніцца. Таксама камэта можа ўвогуле распасціцся на кавалкі пад уздзеяннем сонечнага цяпла і расьсеяцца ў касымічнай просторы ўздоўж сваёй арбіты, стварыўшы новую мэтэорную плынню. Ці падорыць нам гэтая камэта захапляльнае відовішча ўвесень? Паглядзім. Чакаць засталося ўжо нядоўга.

Фота 1. Апошні раз камэту, бачную няўзброеным вокам, назіралі ўлетку 2020 году. Аўтару гэтага артыкулу пашанцавала лабачыць камэту NEOWISE (C/2020 F3) і зрабіць яе здымак раніцаю 10 ліпеня 2020-га. Калі вельмі пашанцуе, Цзыціньшань-ATLAS можа выглądaць у прыцемках каstryчніка падобным чынам



ПАРАДЫ ДЛЯ НАЗІРАНЬНЯ С/2023 АЗ (ЦЫЦІНЬШАНЬ-ATLAS)

Калі камэта ўсё ж дасягне яркасъці, каб быць бачнаю няўзброеным вокам, найлепшыя ўмовы для назіраньня маюць скласціся зь сярэдзіны каstryчніка да лістапада. У найбольшым сваім бліску камэта будзе бачная ў сярэдзіне каstryчніка амаль што адразу паслья заходу Сонца, нізка над заходнім гарызонтам (гл. на мапе). Далей камэта будзе паступова рухацца цягам некалькіх тыдняў праз сузор'і Зьмяі ды Зымяеносца (ці Зымянадзержа) у паўднёва-заходнім кірунку, адначасова загасаючы. Назіраньні будуть больш цікавыя і захапляльныя, калі скарыстаецца любым (нават ня вельмі магутным) аптычным прыборам: напрыклад, біноклем ці падзорнаю трубою.



Фота 2. Цяпер жа камэта Цыциньюшань-ATLAS павольна рухаеца па сузор'і Панны (ці Дзевы), незаўважная для няўзброенага вока. На здымку з дугою вытрымкаю відаць, што ў камэты ўжо зьявіўся невялічкі хвосьцік. Фота аўтара, 25 траўня 2024 году

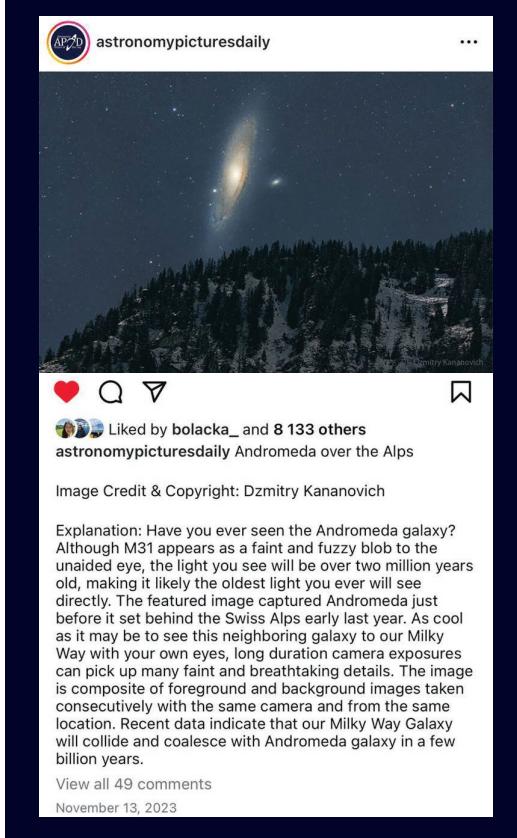
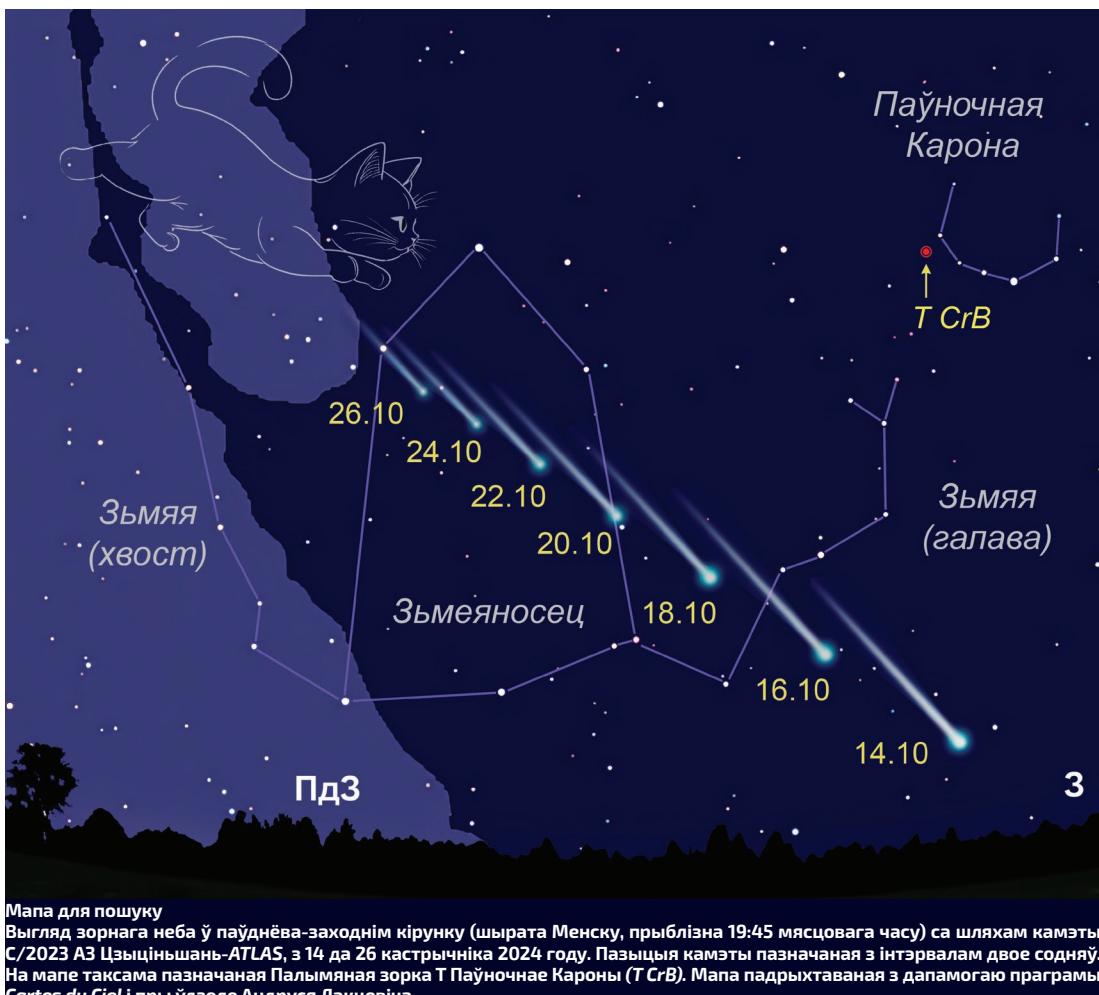
Другая нябесная цікавінка мае адбыцца ў любы момант на працягу лета ці восені: **пошуг новае зоркі ў сузор'і Паўночнае Кароны.** Адкуль астрономы гэта ведаюць? Бо зорка, што мае выбухнуць, Т Паўночнае Кароны (*T CrB*, ці Палымянная зорка), рабіла гэта і раней. Такія зоркі называюць паўторнымі новымі. Зорка Т Паўночнае Кароны выбухае раз на 80 гадоў, і новы пошуг мае вось-вось адбыцца. (Можа здарыцца, што падзея ўжо адбудзеца, на момант калі вы будзеце чытаць гэтыя радкі.) Назіраньні паказваюць, што зорка ўжо крыху пацямнела, што съведчыць пра яе перадвыбуховы стан. Гэтым жа чынам яна паводзіла сябе і напярэдадні мінулага пошугу – 80 гадоў таму. Зорка гэтая ня бачная няўзброеным вокам, але падчас выбуху дасягне бліску, параўнальнага з бліскам найбольш ярке зоркі гэтага



Фота 3. Сузор'е Паўночнае Кароны і сапраўды падобнае на каралеўскі вянец, упрыгожаны каштоўнымі камнямі. Калі адбудзеца пошуг новае зоркі, на ім зьявіца яшчэ адзін дыямант, параўнальны паводле яркасъці з найбольш яркаю зоркаю гэтага сузор'я – Гемаю. Цяпер жа Т Паўночнае Кароны (*T CrB*) ня бачная няўзброеным вокам і нават ледзь заўважная на гэтым здымку, зробленым з дугою вытрымкаю. Фота аўтара, 25 траўня 2024 году

сузор'я – Гемы (ці Альфэка, α Паўночнае Кароны), тым самым пошуг мае моцна сказіць звыклы выгляд сузор'я (Фота 3). Астрономы высьветлілі, што Т Паўночнае Кароны – падвойная зорка, яна складаецца з адносна халоднага чырвонага гіганта з разрэджанай зорнай атмасфэрой пераважна з вадароду ды гарачага і шчыльнага белага карліка. Чырвоны гігант паступова губляе вадарод, што назапашваецца на паверхні белага карліка, пакуль не адбываецца тэрмядравы выбух, што і робіць зорку ярчэйшай у тысячы разоў, чымся звычайна, на працягу прыблізна пяці дзён. Далей працэс пачынаецца зноўку. Адшукайце гэтае прыгожае сузор'е на небе. Калі ня вельмі добра арыентуецеся ў сузор'ях, усталюйце праграму з мапаю зорнага неба (напрыклад, *Stellarium*) на смартфон. Пасправуйце спачатку знайсці знакаміты кошт Вялікае Мядзьведзіхі (ці Вялікая Мядзьведзіца, ці Вялікі Воз, ці Ільлёу Воз), зірнуўшы ў паўночным кірунку. У думках злучыце дзівве крайнія зоркі ручкі каўша і працягніце лінію далей: спачатку вы наткнёцца на сузор'е Валапаса і ўрэшце леваруч убачыце вянец зь няяркіх зорак Паўночнае Кароны. Назірайце за гэтым сузор'ем на працягу лета і восені: мо вам пашанцуе першаму на Зямлі пачынць пачатак гэтага выбуху касьмічнае моцы!

На небасхіле адбываеца даволі шмат цікавага. Пасправляем і надалей апавядадзь чытачам «Памылкі» пра адметныя астронамічныя зявы.



Паводле матэрыялаў з адкрытых крыніцай, Wikipedia і часопісу *Sky & Telescope*

Мы на раз ужо бралі астраздымкі Зымітрай наш зін і хочам адзначыць, што 13 лістапада 2023-га ягоны здымак абраў [apod.nasa.gov](#) – *Astronomy Picture of the Day*, NASA's APOD (Астранамічнае выявінне дня). Эта ўбэй-старонка, якую падтрымлівае NASA і Мічыганская тэхналягічны ўніверсітэт, а таксама Нацыянальны навуковы фонд ЗША.

Там штодня публікуюць выяву ці здымак з Сусьвету з кароткім тлумачэннем адмыслоўца. Публікацыя ў першы дзень працы парталу (1995 год) сабрала ўсяго 14 праглядаў. У 2012-м усіх праглядаў было ўжо больш за мільярд! Матэрыялы, што публікуюцца на APOD, штодня перакладаюцца на 21 мову!

Беларусы – сярод найлепшых! Беларускія навукоўцы вартыя нашага гонару!

КРОПКА КРЫШТАЛІЗАЦЫІ. ЗЛЁТ СЯБРОЎ «ПАМЫЛКІ», АБО ЯК МЫ СЛУХАЛІ АДНО АДНАГО І МЫІСЛІЛІ СВАБОДНУЮ БЕЛАРУСКУЮ НАВУКУ

МИХАСЬ ВОЛЧАК

(рэпартаж злёту, што адбыўся 5-7 ліпеня 2024 у Эстоніі)



АЎТАРКА ФАТАЗДЫМКАЎ

МАРГАРЫТА ЛАКЦЕВІЧ-ІСКРЫК

Тэкст падаецца ў арыгінальной рэдакцыі
з мінімальнымі выпраўленнямі

4 ліпеня. Чацвер. Быў плённы дзень. Да-
кладней другі дзень падарожжа па Зямлі
Эстонскай. Запісаў 11 відэа лекцый праца-
гу па практичнай сацыялтэхніцы. Наогул
тут з некалькіх прычын. Асноўная – су-
стрэча супольнасці «Памылка» на бера-
гах Балтыйскага мора). Хацеў сказаць
Мінскага. Мо калі-небудзь будзем і на
Мінскім.

Эстонскія беларусы могуць самааргані-
завацца і таму дапамагаюць іншым бела-
русым арганізавацца таксама =) Пазна-
ёмімся і памыслім разам цяперашніе
і будуче навуковай супольнасці. Буду
прэзентаваць тэму Вялікага Палескага
Калайдара і прэміі Бізон Хігса.

ПАЧАТАК СПЛАҮКІ

У пятніцу з раніцы я ўзяў білет з Таліна
да Пярну. У Пярну сустрэў некалькі ін-
шых удзельнікаў. Пасля мясцовы аўтобус
давёз нас да Хаадэместа. Трохі патрэсла ў
шляху і растрэсла на камунікацыі. Пачалі
адчувацца культурныя коды з першых
хвілін.

Пасля абеду пачаўся дзень першы сустрэ-
чы «Памылкі». Мы сядзелі на ўзбярэжжы
мора пілі чай і каву. Знаёмліся, неўзаба-
ве пад'ехалі іншыя удзельнікі. Знаёмства
працягнулася. Назіралі ў тэлескоп за Сон-
цам. Кожны распавёў трохі пра сябе. У
коле вучылі імёны. Добра запаміналіся.

Што прыцягнула мяне ў Хяэдэмээст.
Магчымасць быць супольнасцю. Рэдак-
цыя зіна «Памылкі» ўжо існуе больш за



Фота а-ля Сальвэўскі кангрэс¹

год і завяршае рыхтаваць пяты нумар. Па маіх падліках, больш 30 аўтараў і 10 мастакоў прынялі ўдзел, некаторыя пісалі ў некалькі нумароў. Мала хто бачыўся асабістам, у рэале.

Першасная мэта гэтай сустрэчы – знаёмства. Каб тыя, хто напісаў ці намаляваў нейкія артыкулы, сталі не проста прыхільнікамі пачынання, а і ўдзельнікамі. Знаёмствы ў рэале могуць нарадзіць нешта новае. Вось гэта новае – пашырэнне навуковай супольнасці. І гэта тое, што мяне цікавіла, – новая супольнасць.

У прыехаўшых навукоўцаў розныя досведы і чаканні. Гэта мне вельмі падабалася, таму што сплаўка – гэта аб'яднанне досведу розных людзей і розных лёсаў у адзін сумесны, калектыўны. Мне важна было не толькі быць сведкам гэтай з'явы, але і закласці свае цаглінкі ў будаванне свабоднай энергічнай супольнасці.

Пасля вячэры. Хтосьці сябе падбій пайсці купацца на моры. Хтосьці групаваўся неўлікімі купкамі па 2-3 чалавекі і гаманіў пра ўсё. З настроем камунікацаць і даведвацца адно аднаго. Так завяршаўся першы дзень спаткання. Ён, дарэчы, перарос у ноч камунікацыі. Адчуваўся дэфіцыт жывых стасункаў. Хтосьці дзяліўся часткай сябе, а хтосьці, нягледзячы на вецер і моцныя хвалі на вадзе, пайшоў судакра-

нацца да летняй Балтыкі. А камусьці было дастаткова знаходзіцца побач: проста сядзець і слухаць іншых, быць з іншымі, тым, каго магчыма ўжо адчуваць сваім сярод спадарожнікаў, раскіданых па Зямлі. Я, стомлены дарогай і інтэнсіўнай працай, пасля 00:12 пайшоў адпачываць.

БЫЦЬ ПАЧУТЫМ

Другі дзень пачаўся са сняданку і сонных ўдзельнікаў. З мора дзыму ѿ моцны вецер, а з неба падала. А 10:00, пасля сняданку, усе прачнуліся, сядзелі ў пакойчыку Саўнамая (Дом саўны па-эстонску). Слухалі-глядзелі презентацыі адзін аднаго. Нехта падрыхтаваў презентацыі і распавядаў пра дзяленне клетак, машрумства, уласцівасці алмазаў, стварэнне сухіх батарэй, а нехта проста падзяліўся сабой, сваёй дарогай да навукі праз мастацтва, даследаванне траўмай, альбо ўсведамленне сваёй місіі папулярызатаркі(а) науки. Часам гэты блок нагадваў некую навуковую канферэнцыю, часам рэфлексіі і ўласны шлях да навукі.

У мяне было 15 хвілін, каб падзяліцца сваімі думкамі. Як практику і даследчыку супольнасцяў. Я пачаў са свайго досведу стварэння лакальных сетак у пачатку 2000-х. Калі беларусы сабе будавалі асяродак камунікацыі – лакальная сетка, каб

¹Ад Conseils Solvay – серыя міжнародных канферэнцыяў для абмеркавання фундаментальных проблем фізікі і хіміі.



Знаёмыя праз презентацыі працягвалася да абеду. Кожнаму было важна быць пачутым.

Пасля абеду фасілітатарка працягнула нас знаёміць праз іншыя тэхнікі. Мы вызначалі, хто ёсць навукоўца, чаму нам важна быць звязаным з беларускім кантэкстам. Пасля мы апісвалі, што было, ёсць і будзе прычынай асабістага і калектуўнага ў сумеснай супрацы.

Але найбольш мне спадабаўся блок, калі ўдзельнікі распавядалі свае гісторыі, да-кладней – дарогу да «Памылкі». Гэта быў той момант, калі персанальная гісторыі як ручай пачалі сцякацца ў адну раку. Хтосьці праз персанальныя знаёмыя казаў, як пазнаёміўся з іншымі ўдзельнікамі. Нехта сумняваўся ці ўдзельнічыць, бо меў бэдтрэп у нейкіх сустрэчах папярэдне. Аўтарам было цікава ўбачыць іншых аўтараў. Нехта хадзіў з думкамі беларусізацыі беларускай (!%) навукі і праз зін убачыў кропку матэрыялізацыі гэтай ідэі ў реальнае жыццё, вырашыў не стаяць убаку. Хтосьці пачаў укладацца ў

не толькі таннай выходзіць у інтэрнэт, але і абменьвацца здабытымі фільмамі, музыкай – культурай. Іншымі словамі, жыхары горада стваралі нешта матэрыяльнае і нематэрыяльнае адначасова, але жывое: са сваім пачаткам, часам і завяршэннем. Пасля прывёў трохі дакладных навук, якія дапамагаюць мне даследаваць і будаваць супольнасці. Гэта і фізіка са сваёй энергіяй і энтропіяй, гэта і біялогія са сваім дзяленнем ядраў. Але чаму я ўсё гэта казаў... Бо я хацеў, каб людзі побач паспрабавалі падумаць пра тое, чаму яны ўрэшце тут сабраліся і сядзяць у адным пакоі. Што нябачнае прывяяло іх у адну кропку, у адно месца. Так, гэта нябачнае пад назвай супольнасць, але дакладней, ідэі, якіх кіруюцца стваральнікі «Памылкі»: стварыць супольнасць навукоўцаў беларусаў для Беларусі.



суполку, але яшчэ не спрабаваў свайго пяра. Іншымі словамі, гэтыя гісторыі паказвалі кожны асобны лёс, які перасекся – спачатку на старонках зіна, а пасля на беразе Балтыйскага мора ў, магчыма, нешта новае сумеснае. Як сказаў адзін удзельнік, «Памылка – гэта база», а другая ўдзельніца – «Памылка – гэта кропка крышталізацыі».

ЭНЕРГІЯ ФАНТАНАВАЛА

Адною з задачаў падчас структураванай часткі было ўяўленне будучыні. Насамрэч не вельмі далёкай. Усяго 10+ гадоў. Што будзе праз гэты час з гэтым калектывам і хто будзе ім. Пасля ўдзельнікі пачалі дзяліцца ідэямі, як можна дасягнуць некоторых з выказаных ідэй.

Тут фантанавала энергія і адчувалася, што хочацца ствараць. Былі ідэі пра пачатак беларускага ўніверсітэту STEM у дыяспары. Хтосьці хацеў сістэматызаваць навуковую лексіку і пашыраць яе ў розных крыніцах, як Вікіпедыя. Іншыя

прапаноўвалі Навуковы слэм ці нейкі фестываль, які зробіць навуку для Беларусі мэйнстрымам.

Я вырашыў трохі развіць разуменне прэміі Бізона Хігса. Арыгінальную канцепцыю прэміі рэдакцыя «Памылкі» выклала яшчэ ў трэцім нумары. Асноўная ідэя – гэта зрабіць навуковую прэмію (узнагароду), дзе любы беларус можа намінаваць іншага беларускага навукоўца (прафесіянала ці проста ўдзельніка), а кожны беларус можа паўдзельнічаць у прэміі, прагаласаваўшы за кагосьці з намінаванага спісу і/ці пакласці суму ў прызывы фонд прэміі. Я падымаў пытанне, як актывізаваць беларусаў намінаваць на прэмію іншых беларусаў. Можаце напісаць у каментах, калі маеце ідэі. Сярод фота ніжэй можаце глядзець, як выглядае сам Бізон Хігса.

Вечар. Вячера. Афіцыйная праграма скончылася. Працягнулася камунікацыя. На моры і на сушы. Вечар змястоўных размоваў і спеваў перарос у ноч. Я пайшоў адпачываць. А з раніцы даведаўся, што а 2:00 глядзелі Сатурн у тэлескоп.

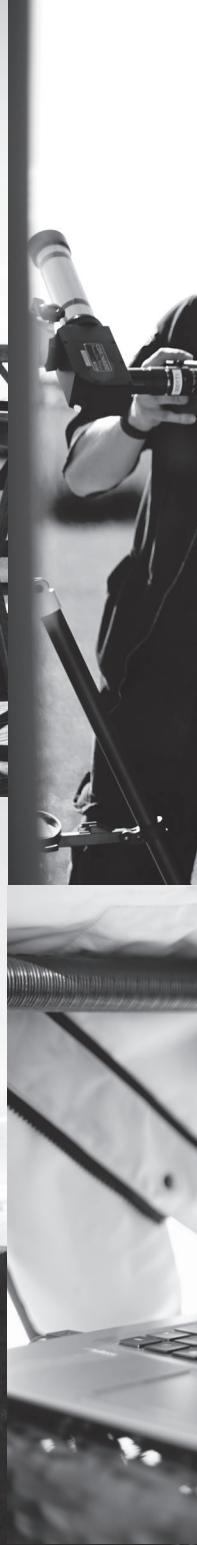
Фота Міхася Волчака



ПЕРАД ДАРОГАЙ ДАДОМУ

Дзень трэці. Раніца. Я прачнуўся трохі раней за іншых і пішу гэтыя радкі. Я адчуваю стому, але таксама адчуваю, што сказанае і прагаворанае ўчора было патрэбна. Гэта не было выпускненне пары ці гульня. Гэта была магчымасць кожнага сказаць адно аднаму ў очы найбольш важнае. Я адчуў, што некаторыя гэта зрабілі. Я таксама зрабіў.

Пакуль на беразе Балтыкі мы мыслілі Беларусь, але я не сумняваўся, што большасць хоча рабіць свае ідэі ў Беларусі, "на сваёй дзялянцы", будаваць на родным грунце. Наступу ѿ сняданак і мы хапалі апошнія хвіліны знаходжання разам. Пераад дарогай дадому.



SUPOLNAŚĆ



Сустрэча была арганізавана
беларусамі Эстоніі пры
падтрыманні фонду ESTDEV.



ZIN – PRYKŁAD COPYLEFT-PRAJEKTU. DZIALICCA ZINAM MOŽNA I TREBA!

Usie ūłasnyja materyjały raspaūsiudžvajucca pad licenzijaj **Creative Commons Attribution – Share Alike**. **Atrybucja (Attribution)** značyć, što kali vy bieracie materyjały ž zinu, vam treba paznačyć aŭtara materyjału, takim čynam addać jamu honar. **Dzialicca na tych ža ūmovach (Share Alike)** značyć, što kali vy zachočacie ūziać niejki materyjał i pierarabić jaho, to vy musicie zrabić vaš vytvorný tvor taksama volnym pad hetaj ža licenzijaj. Takim čynam zachoўvajecca svaboda i pašyrajucca viedy.

**My viedajem, što luboje navukovaje
adkryčcio pačynajecca z pamyłki ;)
I naš zin – heta tolki pačatak ražvičcia
adkrytaje biełaruskaje navuki!**



**PADTRYMAĆ ZIN
PAMYŁKA**

Hety numar zinu byť stvorany dziakujući padtrymańiu supolnaści čytačoū.

Kožny ūniosak dazvalaje nam rabić cikavy i jakasny časopis.

Padpišyeciesia na zin Pamyłka.
Dapamahajcie nam na platformie:
<https://buymeacoffee.com/pamylka>