

# РАМҮЕКА

**Зін – ПРЫКЛАД КОПІЛЭФТ-ПРАЕКТУ.  
Дзяліцца зінам можна і трэба!**

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



Падтрымка зін  
РАМҮЕКА

**Мы ведаем, что любое научное  
открытие – это работа ученого;  
и наш зин – это только начало  
развития белорусской науки!**



Гэтае выданне зіну падрыхтаванае пры падтрыманні  
беларусаў Эстоніі, фонду FRIIDA BELL і ESTDEV -  
Estonian Development Cooperation Center



**МАТЭМАТЫКА**  
748 станаў машины  
Т'юрынга

**ФІЗІКА**  
Вынаходніцтва  
маятнікаў гадзінніка

**ФІЗІКА**  
Светлае мінулае,  
сучаснасць і будучыня

**ФІЗІКА**  
Лазернае кіраванне  
маланкамі

**БІЯЛОГІЯ**  
А ўсё-такі яны  
аднаўляюцца!

**БІЯЛОГІЯ**  
Мідыхларыяны як ёсць.  
Эпізод I «Квашаная капуста  
і цэльназерневы хлеб»

**АСТРАНОМІЯ**  
Чалавецтва збіраеца  
вярнуцца на Месяц

**АРХЕАЛОГІЯ**  
Чым ёсць археалогія і  
чым не ёсць

**ПАЛЕАНТАЛОГІЯ**  
Дыназаўры. З чаго ўсё  
пачалося

**МАСТАЦТВА**  
Што такое чырвонае і  
сініе зрушэнні?

# РАМЫЛКА

Вітаем цябе, чытачу!

Гэта другі нумар РАМЫЛКА ZIN!

Мы вельмі цешымся, што да каманды стваральнікаў далучаюцца новыя навукоўцы, мастакі і фатографы! І мы будзем радыя кожнаму новаму ўдзельніку!

Гэты нумар мы прысвячаем Юру Адамаву, які цяпер за кратамі ў Беларусі. Ён палітычны вязень. І як вы ведаце, такіх як ён вельмі шмат. Мы падтрымліваем Юру, бо ён наш сябар і сустваральнік зіну. І сваім прыкладам заахвочваем кожнага з вас падтрымліваць палітычных вязняў, людзей за кратамі, якія змагаюцца і пакутуюць за сваю ды нашую волю і аўтаномію.

Юра – класны чалавек і выбітны адмысловец. І каб вы ацанілі ягоны ўзровень ведаў, распавядаем. Вучыўся тэарэтычнай фізіцы ў БДУ, пасля атрымаў PhD ва ўніверсітэце Ўорыку (Англія) у кірунку «фізіка кандэнсаваных станаў». Рабіў Postdoctoral-даследаванне ў Брукгэйвенскай нацыянальнай лабараторыі (штат Нью-Ёрк, ЗША) аб удасканаленні лікавага мадэлявання для молцна карэляваных сістэм. І яшчэ адно Postdoctoral-даследаванне – у тэорыі фізікі кандэнсаваных станаў у Тэхаскім універсітэце A&M (ЗША). І пры гэтым Юра пастановіў жыць у Менску і падтрымліваў шмат грамадскіх ініцыятываў: ад роварных організацый да гакерспэйсаў!

Свабоду Юру Адамаву і ўсім палітняволеным!

Над зінам працавалі:

МЕНЕДЖАРКА СУПОЛЬНАСЦІ  
*Света Волчак*

ПЕРАКЛАДНІЦА, РЭДАКТАРКА  
*Настасься Кахан*

ДЫЗАЙН, ВЁРСТКА  
*Паліна Лістапад*

РАМЫЛКА • НАДРУКАВАНА Ў ПОЛЬШЧЫ • 2023

Ідэя і аўтарства ілюстрацыі на вокладцы:  
**Аляксандра Давыдзенка**

Наконт усіх пытанняў пісаць на  
[pamylka.zin@gmail.com](mailto:pamylka.zin@gmail.com)

## ШУКАЕМ РЭЦЭНЗЕНТАЎ!

Нам удалося выпусціць другі нумар навукова-папулярнага часопісу. Да нас звярнуліся новыя аўтары, частка з якіх гатовая публікацыя на сталай аснове. І мы спадзяёмся, што яшчэ больш людзей, якія цікавяцца навукаю, захочуць напісаць для нас цікавыя артыкулы. У любым разе нашае выданне непазбежна імкненца зрабіцца перыядычным (:

Мы прэтэндуем на навуковую праўду, і таму маем патрэбу ў асбах, якія б дапамагалі спраўджваць артыкулы пра фізіку, хімію, біялогію, матэматыку ды іншыя навуки. Запрашаем адмыслоўцаў у гэтых тэмах вычытваць і рэцензаваць артыкулы зіну.

Сапраўдныя навуковыя выданні заўжды маюць рэцэнзентаў. Аднак сітуацыя ў Беларусі абсалютна ўнікальная тым, што мы не маем навуковае супольнасці. І таму пакуль такіх асобаў няма, яны не сабраліся. І хутка сабрацца таксама не здолеюць.

**Зін «Памылка» будзе пунктам збору навукоўцаў!**

Для супрацы пішице нам на мэйл [pamylka.zin@gmail.com](mailto:pamylka.zin@gmail.com)

Таксама падпісвайцеся на наш Instagram і сачыце за актуальнымі наўінамі:



**pamylka.zin**

# ГРАВІТАЦЫЙНЫ ЛІХТАР. ЗРОБІМ?

Падчас напісання артыкулу пра гравітацыйныя батарэй ў першы нумар «Памылкі» я сустрэўся з цікавым і, на мой погляд, вельмі актуальным проектам *Gravity light* – і для нас, і для Украіны.

**Gravity light** – ліхтар, які працуе за кошт падвешанага грузу, які раёнамерна спускаецца з вышыні ліхтара да зямлі. За кошт канвертациі электрагенераторам патэнцыйнай энергіі грузу ў электрычную энергию ліхтар дае светло цягам 25 хвілінай, паکуль груз не дасягне зямлі. Гэты проект вынайшла і нейкі час ім займалася каманда стартапу *Deciwatt*.

Я, вядома, захацеў набыць сабе такую прыладу. Але ў 2019 годзе інжынеры *Deciwatt* пастанавілі спыніць проект і вынайшлі іншае рашэнне.

Новае рашэнне больш эфектунае (свеціць дзве гадзіны), але выкарыстоўвае іншыя, больш брудныя тэхналогі: не гравітацыйную энергию, а хуткаладавальныя літый-іонныя акумулятары. Вядома, я хацеў набыць і новыя ліхтары, але паکуль іх няма на складзе і невядома, калі з'явяцца (з ліставання).

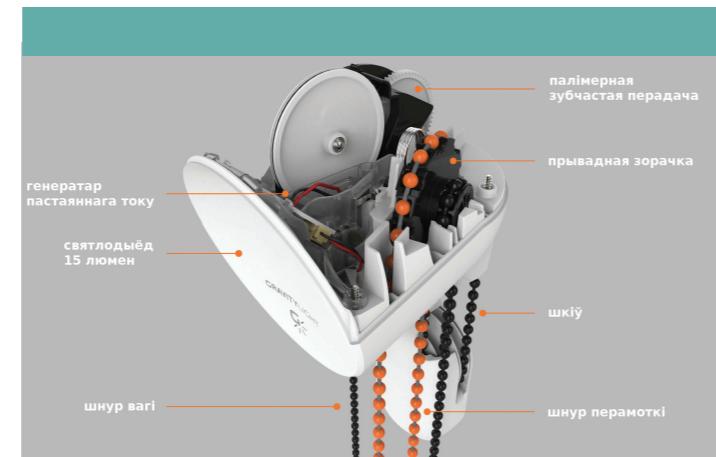
Пасля ў мене ўзнікла ідэя: а чаму не вярнуцца да гравітацыйнага ліхтара і не зрабіць падобныя ліхтары самым?

Я надумаў пашукаць оўпэнсорсныя альтэрнатывы. Не знайшоў нешта зручнае і гатовае да выкарыстання, але знайшоў пратэрмінаваны патэнт на *Gravity light* і дэталёвае апісанне прынцыпу працы гэтай прылады.

Што цікава, патэнт, які файліўся (заяўляўся) ў пачатку 2010-х, цяпер не падтрымліваецца.

Я пачаў ліставанне з *Deciwatt*. I... яны вельмі прыязна паставіліся да

рэвэрс-інжынірингу свайго рашэння і нават скінулі спасылкі на файлы для друкавання дэталяў *Gravity light* на 3D-принтеры. Таксама яны напісалі, што гэтага патэнту больш не будуць падтрымліваць. Карацей, далі зялёнае светло.



Вам цікава зрэалізаваць гравітацыйны ліхтар? Пішице! Магчыма, мы зробім рымейк *Gravity light*, а магчыма, нешта сваё. Нам спатрэбяцца:

- мэйкерспэйс,
- трохі гардзёр-скілоў ды
- інвестыцыяў (*IndieGogo*?).

Я ўпэўнены: задача пад сілу, пагатоў стваральнікі вельмі лаяльныя, і я думаю, што гравітацыйная энергія можа саслужыць добрую службу людзям.

Міхась Волчак,  
мае контакты:



Instagram

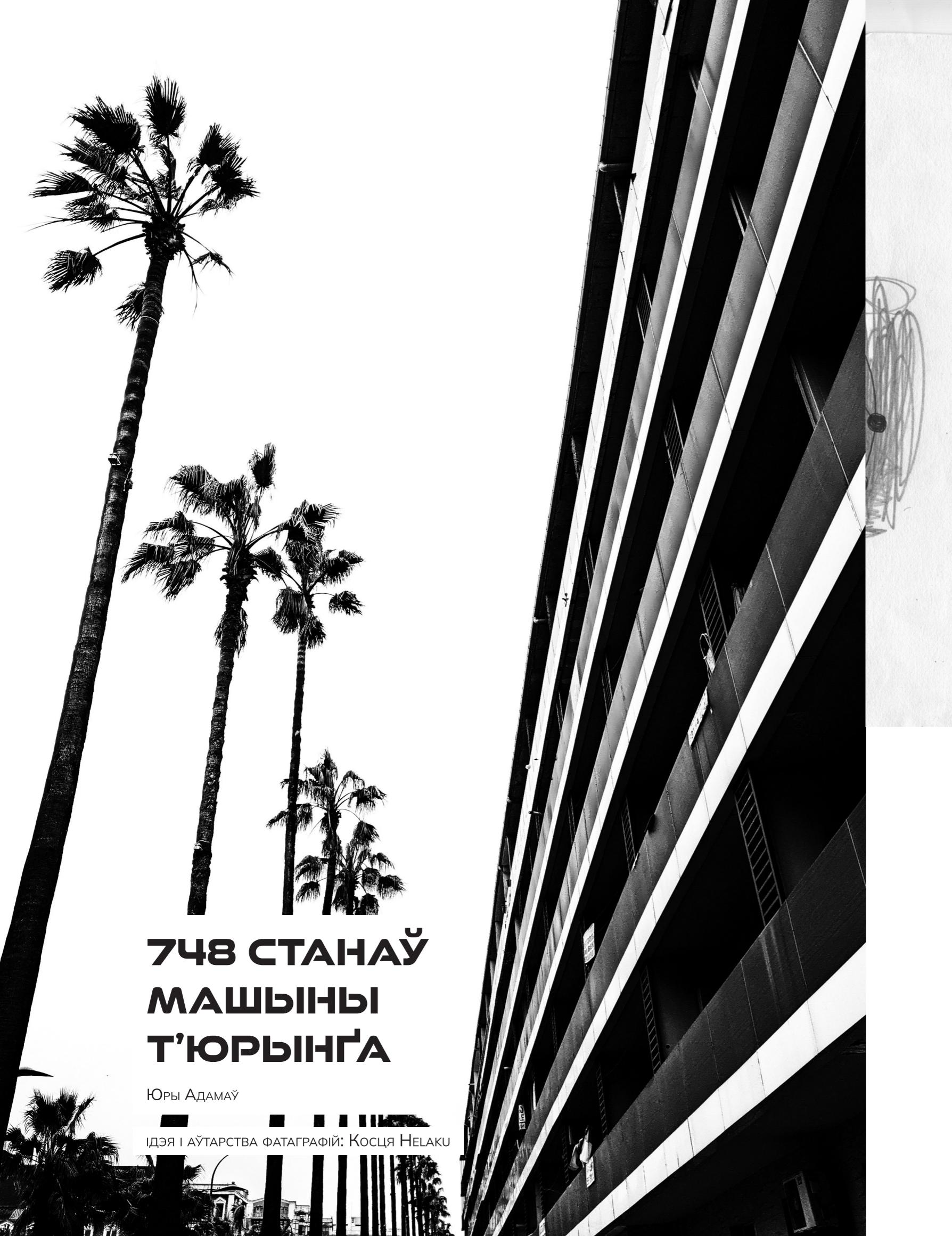


Facebook

## ЗМЕСТ

• <b>МАТЭМАТЫКА</b>	748 станаў машины Т'юрынга	4
• <b>ФІЗІКА</b>	Вынаходніцтва маятнікавага гадзінніка	11
• <b>ФІЗІКА</b>	Светлае мінулае, сучаснесь і будучыня	20
• <b>ФІЗІКА</b>	Лазернае кіраванне маланкамі	23
• <b>БІЯЛОГІЯ</b>	А ўсё-такі яны аднаўляюцца!	27
• <b>БІЯЛОГІЯ</b>	Мідыхларыяны як ёсць. Эпізод I «Квашаная капуста і цэльназерневы хлеб»	33
• <b>АСТРАНОМІЯ</b>	Чалавецтва збіраеца вярнуцца на Месяц	37
• <b>АРХЕАЛОГІЯ</b>	Чым ёсць археалогія і чым не ёсць	42
• <b>ПАЛЕАНТАЛОГІЯ</b>	Дыназаўры. З чаго ўсё пачалося	45
• <b>МАСТАЦТВА</b>	Што такое чырвонае і сініе зрушэньні?	51

Таксама вы можаце напісаць нам у пошту [pamylka.zin@gmail.com](mailto:pamylka.zin@gmail.com)

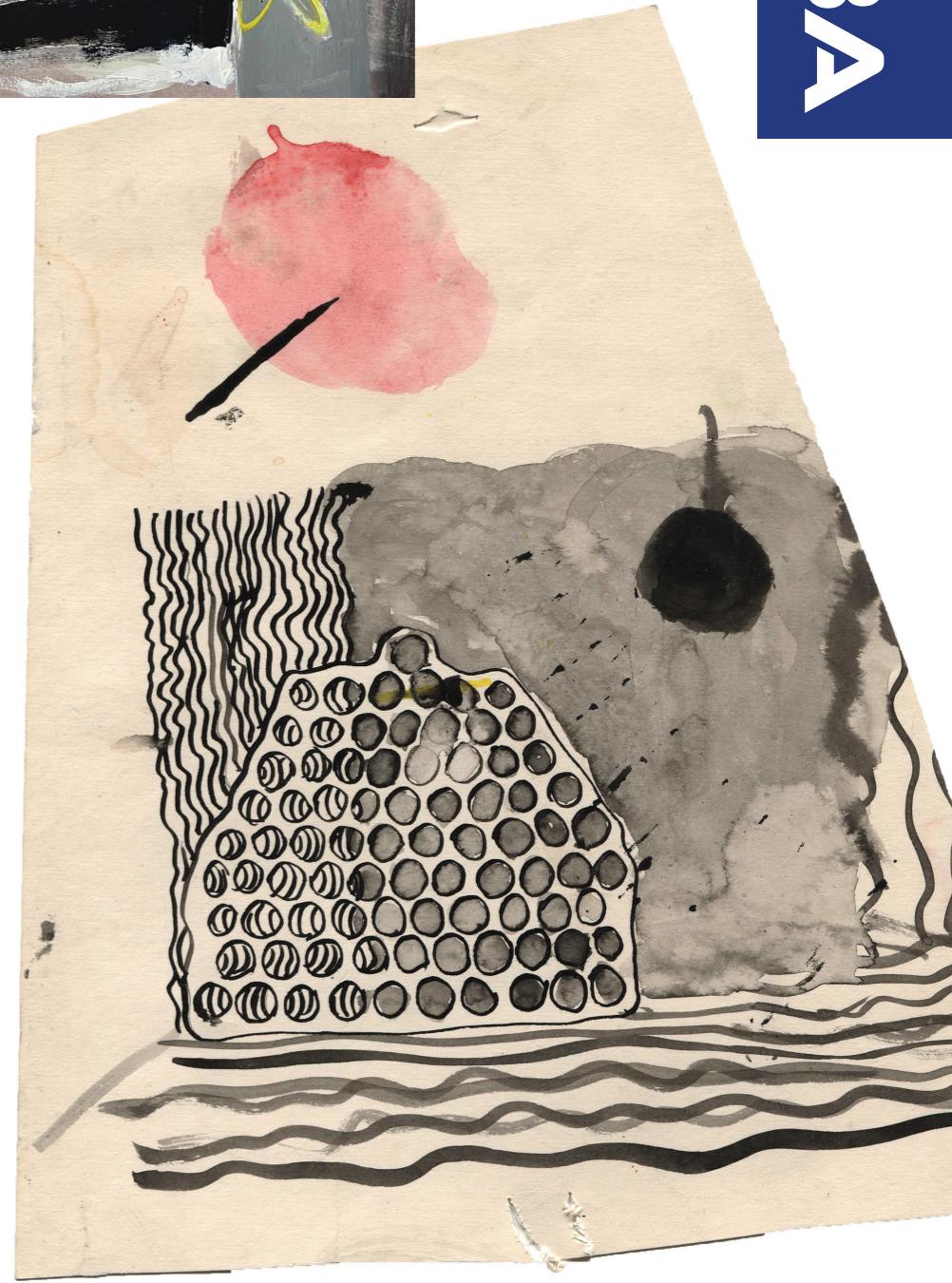


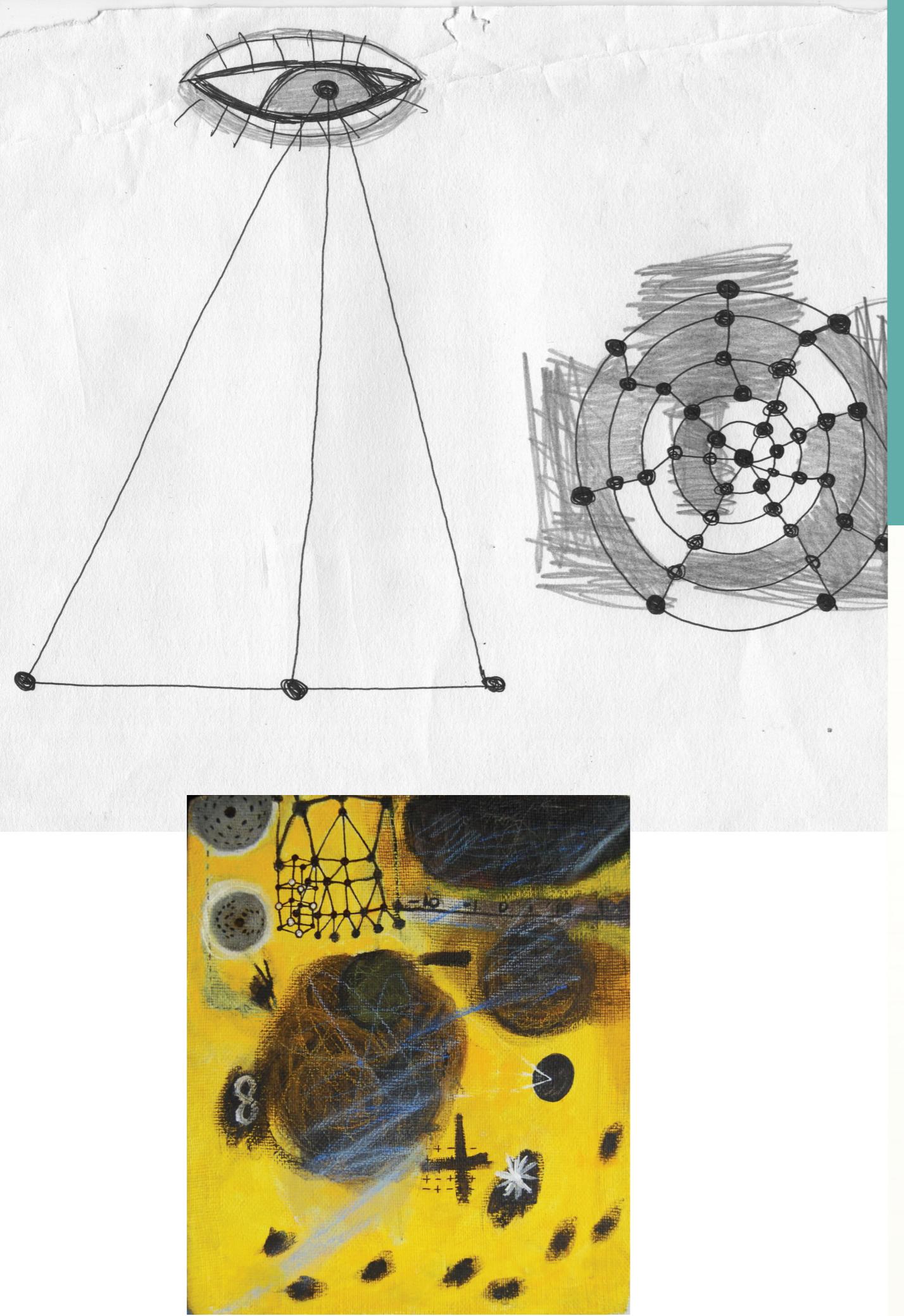
## 748 СТАНАЎ МАШЫНЫ Т'ЮРЫНГА

Юры Адамаў



ІДЭЯ І АЎТАРСТВА ФАТАГРАФІЙ: Косця НЕЛАКУ





АЎТАРА ГЭТАГА АРТЫКУЛУ, СЯБРА И СУСТВАРЛЬНІКА RAMYŁKA ZIN ЮРУ АДАМАВА ЗАТРЫМАЛІ 10.03.2023. НА МОМАНТ ВЫДАННЯ ДРУГОГА НУМАРУ ЗІNU ЮРА ЗАСТАЕЦЦА Ў ЗНЯВОЛЕННІ. АЛЕ, КАЛІ БЫЎ НА ВОЛІ, ЁН САМ ПІСАЎ ВЯЗНЯМ ПРА ФІЗІЧНЫЯ И МАТЭМАТЫЧНЫЯ ЦІКАВІНКІ! Нашая РЭДАКЦЫЯ АЛІЧБАВАЛА АДЗІНЫ АРТЫКУЛ, ЯКІ МЫ МЕЛІ, ДЗЯКУЮЧЫ ТАМУ, ШТО ЮРА КАЛІСЦІ ДАСЛАЎ НАМ ФОТА СВАЙГО ЛІСТА.

АТРЫМАЙЦЕ АСАЛОДУ АД ЧЫТАННЯ И ЦЯПЕР У СВАЮ ЧАРГУ НАПІШЫЦЕ ЮРУ:  
СІЗА-1, ВАЛАДАРСКАГА 2, 220030,  
МЕНСК  
ЮРЮ Уладзіміравічу Адамаву

Ліс N3

Таня, прывітанне!

Нешта я вельмі шмат пракрыстанаваў перад тым, каб напісаць Вам ліст. Усё хацелася зрабіць цікавы тэкст пра вялікія лікі. Напэўна, трэба ўсё ж пісаць так, як атрымліваецца, а то я так ніколі не напішу. Выбачайце, працягваю пісаць па-беларуску, часткова таму, што я тут выкладаю ідэі з англоўных тэкстаў, у якіх яшчэ няма дастаткова вядомай расейскамоўнай тэрміналогіі (хутчэй за ўсё, няма вядомай мне, я ўсё ж не прафесійны матэматык). А галоўным чынам таму, што мне больш падабаецца пераклад *busy beaver* як «працавіты бабёр» і не вельмі падабаецца «работающий бобр» альбо «усердны бобр». Не ведаю яшчэ, ці атрымаецца гэта ўсё выкладзіці ў адным лісце.

Пачну з гісторыі. Якія ідэі былі ў чалавецтва для запісу вялікіх лікаў? Ці наагул лікаў? Напэўна, першая ідэя, якую прыдумалі, – гэта пазначаць колькасць прадметаў колькасцю палачак: колькі прадметаў – столькі і палачак. Матэматык, напэўна, скажаў бы – выкарыстанне натуральна-*го ізамарфізму*\* паміж мнóstвамі з аднолькаў каардынальнасцю :). Вядома, калі лік дасягае нават адной сотні, запісаць, а тым больш прачытаць яго, калі ён запісаны палачкамі, вельмі складана. Далей можна было пайсці па шляху рымлянаў, выдумляючы ўсё новыя сімвалы для большых і большых лікаў (V – 5, X – 10, L – 50, C – 100, M – 1000...). Але сістэма была нязручнай і складанай, і

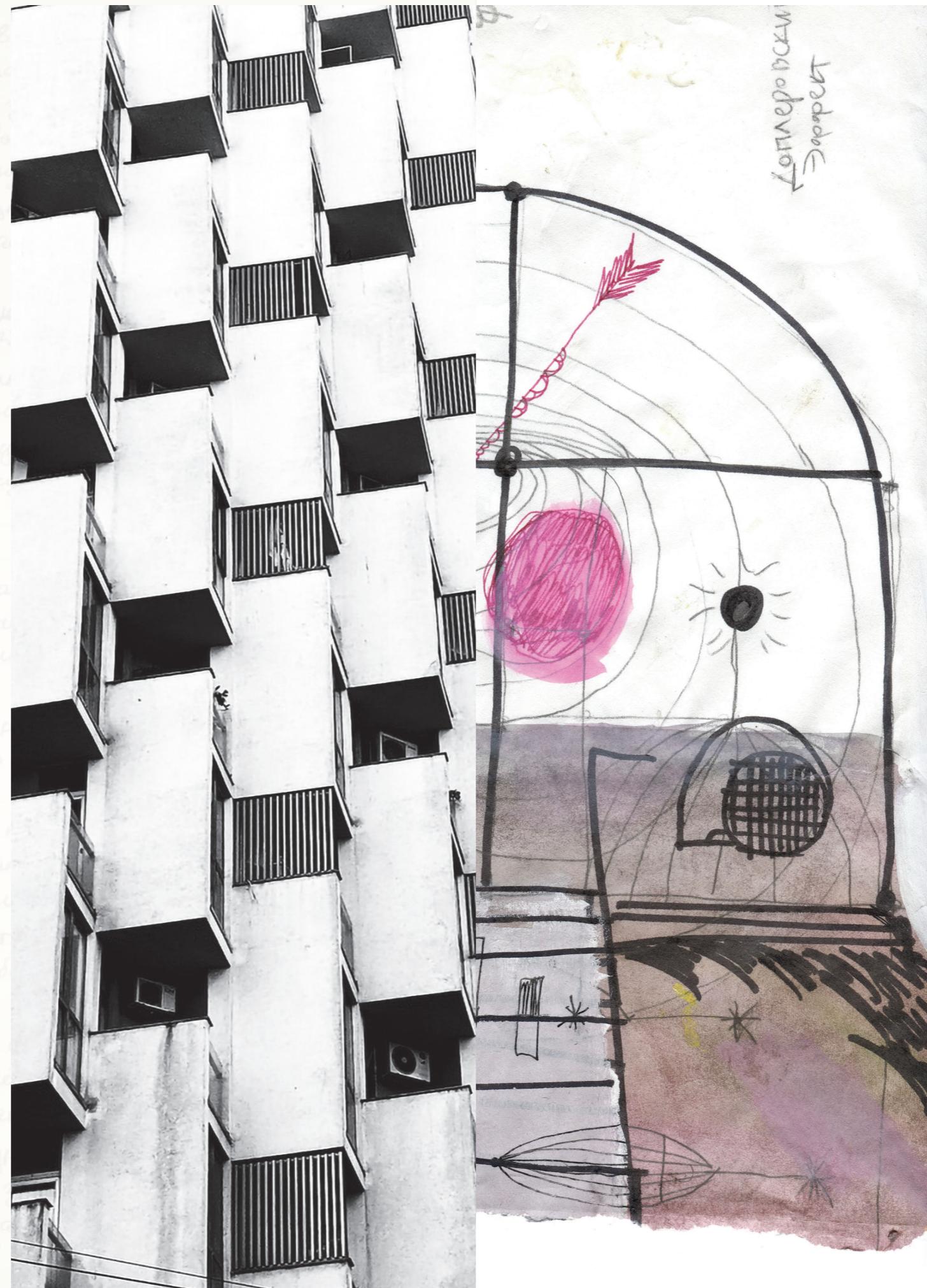


\**Ізамарфізм*: ад грэцкага ἴσος «роўны, аднолькавы, подобны» + морфі «форма». Аб'екты, паміж якімі існуе ізамарфізм, аднолькава упрадкаваны ў гэтай структуры.

Некаторыя фізічныя альбо інжынерныя падлікі патрабуюць даволі вялікіх лікаў, такіх, што ўжо нават з дапамогаю пазіцыйнае сістэмы злічення іх запісваць цяжка. Напрыклад, калі б мы маглі падлічыць дакладную колькасць атамаў у чалавечым арганізме, атрымаўся б запіс з прыкладна  $27\text{-}28$  сімваламі. Вядома ж, нам не вельмі патрэбна ведаць колькасць атамаў з дакладнасцю да апошняй лічбы. Значна зручней запісваць гэты лік з дапамогай інжынернае натацыі:  $\sim 10^{27}$ . Гэта значна карацей. Дарэчы, тут я прыкінуў колькасць атамаў у чалавеку вельмі недакладна: як кажуць фізікі, з дакладнасцю да парадку велічыні. Напэўна, гэта  $\sim 10^{27}$ , вылічаецца прыкладна з такіх назіранняў: чалавек у асноўным складаецца з вады і падобных лёгкіх атамаў, важыць каля 80 кг, сярэдняя вага атаму —  $\sim 10\text{-}20$  грамаў на моль, то бок  $10\text{-}20$  грамаў на  $6 \cdot 10^{23}$  атамаў.  $80 \sim 10^2$ ,  $10^2 / 0,01 \sim 10^4$  атрымліваецца  $\sim 10^{27}$  атамаў. Вельмі недакладна, але, згадзіцеся, без гэтага разважання мы не ведалі, гэта будзе  $10^{10}$ ,  $10^{27}$  альбо  $10^{100}$ . У фізіцы існуе вялікая культура такіх задачаў на прыблізную ацэнку, напэўна, пра іх трэба будзе напісаць асобны тэкст.

З дапамогай інжынернае натацыі няцяжка прыблізна запісаць нават колькасць атамаў на планете Зямля ( $\sim 10^{50}$ ), колькасць атамаў у Сонечнай сістэме ( $\sim 10^{56}$ ) і нават у бачным Сусвеце (тут не вельмі дакладна, але нешта накшталт  $10^{80}$ ).

Са з'яўленнем камп'ютараў у нашым жыцці пачалі даволі натуральным чынам з'яўляцца лікі, значна большыя за колькасць атамаў у Сусвеце. Гэтыя лікі з'яўляюцца, калі мы паспрабуем падлічыць агульную колькасць розных даных (розных варыянтаў даных, якія адрозніваюцца паміж сабою прынамсі на адзін біт). Якую можна запісаць на



далейших галактык. Значыць, чым далей галактыка, tym хутчэй яна аддаляецца ад Зямлі.

Галактыкі аддаляюцца ад Зямлі, бо простора пашыраецца. У той час як самыя галактыкі застаюцца ў руху. Напрыклад, галактыка Андрэмэды і Птушыная дарога месцяцца на шляху сутыкнення: існуе агульная зьява чырвонага зрушэння, што адбываецца ў парадку таго, як Сусвет робіцца большым.

Тэрміны «чырвонае зрушэнне» і «сінєе зрушэнне» могуць быць ужытыя да любое часткі электрамагнітнага спектру, у тым ліку радыёхвалі, інфрачырвоныя, ультрафіялетавыя, рэнтгенавскія і гама-прамяні.

Гэтак, калі радыёхвалі зрушаныя ў ультрафіялетавую частку спектру, яны маюць сінєе зрушэнне, ці зрушаныя ў бок больш высокіх частотаў. Гама-прамяні, зрушаныя ў радыёхвалі, азначалі б пераход на больш нізкую частату, ці чырвонае зрушэнне.

Крыніца: <https://www.hawking.org.uk/>

## ГУК І СЪЯТЛО

Эты гукавы эфект быў упершыню апісаны Крыст'янам Андрэасам Доплерам (Christian Andreas Doppler) у 1800-х гадах і называецца эфектам Доплера. Паколькі съятло вы-праменьваецца ў даўжынях хвяляў, гэта значыць, што даўжыні хвяляў могуць расцягвацца ці сціскацца ў залежнасці ад адноснага разъмяшчэння аб'ектаў. Тым ня меней мы не зауважаем яго ў маштабе штодзённага жыцьця, бо съятло рухаецца нашмат хутчэй за хуткасць гуку – у мільён разоў хутчэй.

Амэрыканскі астроном Эдюін Габл (Edwin Hubble), у гонар якога назвалі касмічны тэлескоп, першы апісаў зьяву чырвонага зрушэння і звязаў яго з Сусветам, што пашыраеца. Ягоныя назіранні, адкрытыя ў 1929 годзе, паказалі: амаль усе галактыкі, назіраныя ім, аддаляюцца.

Этую зьяву назіралі як чырвонае зрушэнне спектру галактыкі. Чырвонае зрушэнне аказалася большым для слабых,



флэшку 10 Гб, гэта будзе  $2^{10^{10}} \approx 10^{3 \times 10^9}$  розных варыянтаў. Эта істотна болей, чымся атамаў у Сусвеце. Цікава, дарэчы адзначыць, што ўсякая праграма для лічбавай машины, а таксама любы тып алічбаваных даных: тэкст, выява, алічбаваная вынікі вымірэння – гэта ўсё проста вельмі вялікі натуральны лік. Таму праграмісты альбо нават фатографы на лічбавую камеру гандлююць проста вялікімі натуральнымі лікамі. Праўда, грошы яны атрымліваюць за тое, што з усяго мноства вялікіх натуральных лікаў выбіраюць дастаткова цікавыя. Калі мы возьмем лік  $10^{10^{80}}$ , гэта больш-менш максімальны лік, які можа спатрэбіцца нам практычна – колькасць запісаў на камп'ютары памерам з Сусвет.

Але ж, вядома, матэматычна не толькі пра тое, што можа спатрэбіцца практычна. Таму прыдумалі спосаб запісваць і значна большыя лікі. Я ўжо першы крок на гэтым шляху паказаў, калі напісаў  $2^{10^{10}}$ . Нецяжка бачыць, што калі дабавіць паверхай у гэтую натацыю, можна запісаць ужо значна, значна большыя лікі: напрыклад,  $10^{10^{10^{10}}}$ . Можна абагульніць гэты падыход: гэта, напрыклад, зрабіў Доналд Кнут (Donald Knuth), жывая легенда камп'ютарнай науки (ён, аднак, матэматык з адукцыі).

**Кажуць, што жыве на свеце Доналд Кнут.  
Доктар Кнут, паверце, дзеци, – проста цуд.  
Не пра гэта піша ён, ды ўсё адно  
Пяты том яго чакаем мы даўно.**

Пераклад Яніны Голуб  
вершу Віктора Вагнера

Ён пасярод не менш цікавых заняткаў прыдумаў стрэлку Кнута (Knuth's up-arrow notation). Яна вызначаеца наступным чынам:

$$a \uparrow b = a^b = \underbrace{a \times a \times \cdots \times a}_b \quad a \uparrow^n b = a \underbrace{\uparrow \uparrow \dots \uparrow}_n b = a \uparrow^{n-1} (a \uparrow^n (b-1))$$

$$a \uparrow^0 b = a \times b$$

$$a \uparrow^n 0 = 1$$

Напрыклад:

$$2 \uparrow\uparrow 2 = 2^2 = 4$$

$$2 \uparrow\uparrow 3 = {}^32 = \underbrace{2^2}_{3} = \underbrace{2 \uparrow (2 \uparrow 2)}_3 = 2^4 = 16$$

$$2 \uparrow\uparrow 4 = 2 \uparrow\uparrow 2 \uparrow\uparrow 2 \uparrow\uparrow 2 = \underbrace{2^2}_{2^2} = \underbrace{2^2}_{2^{16}} = \underbrace{2^2}_{65536} \left. \right\} 4$$

Вядома ж, нават  $3 \uparrow\uparrow\uparrow\uparrow 3$  – лік настолькі вялікі, што для яго запісу не хопіць Сусвету, нават для запісу яго парадку велічыні не хопіць Сусвету.

Можам мы вызначыць яшчэ большыя лікі, чымся з дапамогаю стрэлкі Кнута? Вядома, можам: тут у нас лімітаваная аперацыя – запіс колькасці стрэлак. На дапамогу нам прыходзіць, вядома ж, рэкурсія. Напрыклад, адзін з самых вялікіх лікаў, якія сустракаюцца ў матэматычных тэорыях (не звязаных менавіта з вывучэннем вельмі вялікіх лікаў), – лік Грэяма (Graham number). Ён сустракаецца ў адной з задачаў тэорыі графаў. Лік Грэяма вызначаеца праз стрэлку Кнута і 64 ступенямі рэкурсіі:

$$g_0 = 4$$

$$g_1 = 3 \uparrow\uparrow\uparrow 3$$

$$g_n = 3 \uparrow^{g_{n-1}} 3$$

$$G = g_{64}$$

$$G = \left. \begin{array}{c} 3 \uparrow\uparrow \dots \dots \dots \uparrow 3 \\ 3 \uparrow\uparrow \dots \dots \dots \uparrow 3 \\ \vdots \\ 3 \uparrow\uparrow \dots \dots \uparrow 3 \\ 3 \uparrow\uparrow\uparrow 3 \end{array} \right\} 64$$

Далейшае абагульненне тэорыі запісу вялікіх лікаў – функцыя «працавітага бабра» (*busy beaver function*). Тут ідэя такая: мы вось началі запісваць лікі з дапамогаю невялікай колькасці сімвалоў. Любы такі запіс можна разглядаць як праграму для некаторага камп'ютара, які на ўваходзе возьме запіс ліку гэтымі сімваламі, а на выхадзе выдастъ колькасць палачак (адзінак), роўную гэтаму ліку. Напрыклад, лікі накшталт  $2n$  будуць апрацоўвацца рэкурсіўна функцыяй:



Бачнае съятло – гэта спектар колераў, зразумелы кожнаму, хто глядзеў на вяслёлку. Калі аб'ект аддаляеца ад нас, съятло зрушваецца да чырвонага канца спектру, бо яго даўжыні хвяляў робяцца даўжэйшыя. Калі аб'ект прыбліжаецца, съятло зрушваецца да сіняга канца спектру, бо яго даўжыні хвяляў робяцца карацейшыя.

Для большай яснасці ўявіце гук паліцэйскае сырэны, калі аўтамабіль імчыцца паўз вас па дарозе.

Усе чулі павышаны гук паліцэйскай сырэны, што набліжаецца, і рэзкае зыніжэнне тону, калі сырэна праходзіць паўз і аддаляеца. Эфект узынікае, бо гукавыя хвалі сягаюць вуха слухача бліжэй адно аднаго, калі крыніца прыбліжаецца, і далей адно ад аднаго, калі тая аддаляеца.