

УДК 001.12

Л.Б. Петришин<sup>1</sup>, М.Л. Петришин<sup>2</sup><sup>1</sup>AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland,<sup>2</sup>Національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ

## ДО ВИЗНАЧЕННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЇ КОНСТАНТИ КІЛЬКОСТІ ІНФОРМАЦІЇ (ЕНТРОПІЇ)

Інформація є основним фактором, що визначає зміст і форму оточення. Визначено мінімальний квант об'єму простору, який в стані змінювати свій інформаційний стан протягом мінімального проміжку кванту часу. Мінімумально можлива кількість інформації є визначена мінімумально можливим значенням кванту енергетичного стану, визначеного константою Планка  $\hbar$ . Встановлено залежності кількісної оцінки максимумально можливого значення кількості інформації (ентропії) унітарного точкового і одиничного об'ємного джерела інформації за одиницю часу згідно визначених фундаментальних величин Планка.

**Ключові слова:** інформація, ентропія, квант, константа Планка.

### Вступ

Навоколишній світ у всьому своєму різноманітті є практично безмежним джерелом інформації для кожного із його спостерігачів. Довільний, будь то живий чи не живий об'єкт оточення, кожний елемент простору є матеріальним відображенням інформації, яка є структурованим джерелом чи носієм матеріального образу і визначає його зміст та форму існування [1]. В більшості випадків спостерігач може відчувати тільки поверхневі явища, які характеризують інформаційні властивості об'єкта, при цьому глибинна природа явища не завжди підлягає пізнанню. Для спостереження доступні тільки так названі поверхневі явища, наслідки інформаційної суті об'єкту спостереження як видимі причини структури носія інформації. Кожен із таких образів інформації має властивість динамічної зміни своїх характеристик в шкалі часу. А сам образ формується як організована носієм інформації система збуджених станів елементарних часток простору. Як в живому світі істоти, що наділені органами відчуттів, на основі спостереження подій оточення приймають цілеспрямовані рішення і дії [2], так і в технічних інформаційних системах здійснюється первинне перетворення спостережуваних характеристичних ознак носія інформації із формуванням вихідного потоку повідомлень про інформаційний стан джерела інформації. Кожна зміна інформаційного стану в своїй природі спричиняє зміну енергетичного стану збуджених елементарних квантів простору, які, в сою чергу, спостерігаються як зміна зовнішніх характеристик і підлягають первинному перетворенню. Сьогодні для кількісної оцінки як міри невизначеності стану джерела інформації широко застосовується імовірнісна модель, опрацьована в 1948 році Клодом Шенноном. Вона дозволяє за ентропією джерела інформації визначити кількість одиниць даних та характер формованого повідомлення. Відомо, що докладність первинного перетворення

інформації визначається потенційною роздільною здатністю відповідних засобів первинного перетворення. В сучасних умовах розробки складних адекватних математичних моделей об'єктів та процесів довіклля виникає необхідність збільшення докладності первинного перетворення інформації. Чи є межа роздільної здатності при дискретизації навоколишнього простору і чи можна визначити елементарну одиницю чи фізичний квант інформації, який буде базовою мірою кількісної оцінки інформації простору оточення? Оскільки відомості про інформаційний стан довіклля є основним чинником, що дозволяє здійснювати усвідомлені цілеспрямовані вчинки, виникає питання, яку кількість інформації в стані сформувані довільний об'єкт оточення [3-5]? Метою роботи є визначення елементарного джерела інформації, його розмірності, а також відповідь на питання скільки інформації за одиницю часу в стані сформувані таке джерело чи в стані отримати спостерігач з простору одиничного об'єму? По іншому, якою є питома ентропія простору оточення?

### Квантова природа інформації

Сучасною фізикою, до засад якої достосовано подальші викладки, визначено існування довіклля на квантовому, як найнижчому потенційно можливому рівні. На квантовому рівні в минулому столітті визначено розмірність потенційно мінімального об'єму простору, який в стані змінити свій інформаційний стан за мінімальний проміжок часу. У квантовій фізиці через швидкість світла [6 – 8] Макс Планком визначено значення елементарного кванту віддалі  $l_p$  [8, 9], а також квант часу  $t_p$  [8, 9], протягом якого може відбутись елементарна зміна стану кванту простору на елементарне значення кількості енергії, визначеної постійною Макс Планка  $\hbar$ . На основі таких континуальних перетворень енергетичних станів квантів існує природа.

Із визначення самого поняття інформація відомо, що її кількість визначається як міра різниці енергетич-

них станів  $E_1$  джерела інформації  $I$  в реальному часі та відомих спостерігачу  $J$  потенціальних енергетичних станів  $E_2$  з попереднього моменту інфообміну, час формування якого не може бути меншим за визначений Макс Планком квант часу  $t_p$ . Тому інформаційний обмін чи передача інформації полягає у вирівнюванні по стороні спостерігача  $J$  у відношенні до стану джерела інформації  $I$  відомостей про міру різниці між енергетичним станом реального часу  $E_1$  та попереднім отриманим спостерігачем значенням  $E_2$ . Різниця енергетичних станів  $\Delta E = (E_1 - E_2)$  на проміжку часу  $\Delta t$  характеризується значенням роботи  $\Delta E / \Delta t = (E_1 - E_2) / \Delta t$ . Відповідно, за один квант часу Макс Планка  $t_p$  зміна значення енергії  $\Delta E$  визначається як  $\Delta E / t_p = (E_1 - E_2) / t_p$ . З квантової фізики відомо, що за один квант часу  $t_p$  енергетичний стан  $\Delta E$  може змінитись не менше, ніж на один квант енергетичного стану, що рівний константі Планка  $\hbar$ .

### Визначення кванту інформації та унітарного джерела повідомлень

На квантовому рівні мінімально можлива кількість інформації в елементарних одиницях  $it$  визначається різницею інформаційних оцінок  $\Delta I = (I - J)$  реального стану джерела інформації  $I$  та поінформованістю спостерігача  $J$ , при зміні стану джерела інформації на мінімально можливе значення кванту енергетичного стану, визначеного через константу Макс Планка  $\hbar = 1,05e-34$  Дж с  $[L^2 M T^{-1}]$ :

$$\Delta I = \Delta E / t_p \hbar, [I]. \quad (1)$$

Із невизначеності Гайзенберга [5, 12-14] формування одного  $it$  інформації здійснюється за умови:

$$\Delta I = 1, \text{ якщо } \Delta E t_p \geq \hbar;$$

$$\Delta I = 0, \text{ якщо } \Delta E t_p < \hbar.$$

Із (1) виникає, що ентропія  $H^1$  (потенційна межа сформованої кількості інформації  $\Delta I(t)$ ) точкового джерела інформації за одиницю часу визначається потенційно можливою Планковою частотою зміни енергетичного стану джерела  $f_p$ , обернено пропорційною значенню Планкового кванту часу [8-10]  $t_p = (\hbar G / c^5)^{1/2} = 5,39e-44$  с  $[T]$ .

$$H^1 \equiv f_p = 1/t_p = (\hbar G / c^5)^{-1/2} (it/s), [IT^{-1}], \quad (2)$$

де  $G = 6,67e-11$  Н м<sup>2</sup>/кг<sup>2</sup>  $[L^3 M^{-1} T^{-2}]$  – гравітаційна константа [15, 16],  $c = 299\,792\,458$  м/с  $[L T^{-1}]$  – швидкість світла у вакуумі [6, 7].

Розглянемо випадок, коли енергетичний стан елементарного планкового кванту простору може приймати два дискретні стабільні стани: енергетично пасивний із нульовою енергією, або із одиничним, енергетично активним станом, не меншим значення константи Планка  $\hbar$ . Відповідно сформований інформаційний потік має характер унітарного потоку, що може бути представлений послідовністю бітів, в якому нулі означають пасивний стан, а одиниці – активний стан кванту простору як джерела інформації. Максимальна можлива частота їх слідування становить  $f_p$ .

В довільний момент часу можливі наступні чотири перехідні стани джерела інформації, із яких два статичні: нульовий – енергетично пасивний, який в наступному дискреті часу залишається нульовим без зміни, одиничний – енергетично активний, який в наступному дискреті часу залишається одиничним, та два динамічні, чи перехідні стани, за яких наступний відрізняється від попереднього, а саме відбувається зміна нульового стану в одиничний, чи одиничного в нульовий. Для вказаних можливих чотирьох випадків перехідних енергетичних станів джерела інформації параметр  $\Delta I = (I - J)$  в функції часу приймає такі три значення:  $+1$  (для  $I > J$ ),  $0$  (для  $I = J$ ),  $-1$  (для  $I < J$ ). Тому елементарна одиниця інформації для визначення станів джерела інформації може бути визначена бітом  $bit$  для неперервних в функції часу потоків типу унітарних, або трітом  $trit$ , для визначення перехідних станів. Можна підсумувати, що в реальних тривимірних системах з двома дискретними енергетичними станами елементарного джерела інформації інформаційний потік формується як послідовність унітарних енергетично активних та пасивних станів, які можуть бути подані унітарним неперервним бінарним потоком одиниць та нулів, або ж за допомогою трьох стабільних біполярних значень в базі трійкового числення в моменти зміни енергетичних станів.

Якщо ж енергетичний стан елементарного джерела інформації із кожним квантом часу змінюється в інкрементному режимі в сторону збільшення чи в декрементному режимі в сторону можливого зменшення не нижче нуля, тоді для ідентифікації такого багаторівневого джерела інформації може бути застосована тільки трійкова система числення із можливістю відповідного інкрементування чи декрементування поточного значення енергетичного стану джерела інформації за допомогою двох стабільних значень, відповідно  $+1$ ,  $-1$ , та третього  $0$ , якщо енергетичний стан не змінюється. Оскільки, як було вказано вище, частота зміни енергетичних станів не може перевищити  $f_p$ , то значення ентропії буде таким самим, як і для унітарного формування інформаційного потоку.

Із визначення (1) значення ентропії  $H^1$  точкового джерела інформації становить

$$H^1 = 1/t_p = (\hbar G / c^5)^{-1/2} = 1,85e+43 \text{ it/s}, [IT^{-1}]$$

### Визначення кількості інформації багатовимірних джерел повідомлень

В практиці перетворення інформації рідко зустрічаються джерела інформації типу точкових. Якщо ж джерело трактується точковим, то, внаслідок обмеження роздільної здатності первинних перетворювачів на їх поверхні інформаційного контакту здійснюється усереднене перетворення, значення вихідного параметру якого є питомим значенням кількісної оцінки, приведеної до площі контакту. Тому необхідно визначити інформаційні характери-

стики двовимірного джерела інформації. Значення питомої ентропія, приведене до метра квадратного за секунду становить:

$$H^2 = H^1 / l_p^2 = (\hbar^3 G^3 / c^{11})^{-1/2} = 7,16e+112 \text{ it}/(\text{sm}^2), [I T^{-1} L^{-2}]$$

де  $l_p = (\hbar G / c^3)^{1/2} = 1,6e-35 \text{ m}$ , [L] – квант розмірності Планкової довжини.

За аналогією, у реальному тривимірному просторі питома ентропія об'ємного джерела інформації, приведена до метра кубічного за секунду, визначається як

$$H^3 = H^1 / l_p^3 = (\hbar G / c^7)^{-2} = 4,44e+147 \text{ it} / (\text{s m}^3), [I T^{-1} L^{-3}]$$

Значення миттєвої ентропії за один квант часу одиничного об'єму простору становить:

$$H_v = H^3 \times \hbar = 1 / l_p^3 = (\hbar G / c^3)^{-3/2} = 2,39e+104 \text{ it} / \text{m}^3, [I L^{-3}]$$

Параметр  $H^3$  характеризує ентропію, чи потенційну кількість елементарної інформації, яку в стані сформувати джерело інформації у реальному тривимірному просторі Мінковського за одиницю часу за Макс Планковим визначенням фундаментальних величин.

Величина фундаментальної константи ентропії визначається Планковими значеннями фундаментальної константи часу  $t_p$ , а також фундаментальної константи довжини  $l_p$ , тому, як допускає сучасна фізика, якщо в майбутньому значення параметрів дискретів часу та довжини, в межах яких формується один it інформації, набудуть інших значень, фундаментальну константу ентропії можна буде визначити згідно виразу

$$H^3 = 1/(t_p l_p^3) \text{ it} / (\text{s m}^3), [I T^{-1} L^{-3}].$$

## Висновки

Таким чином, в матеріалі статті наведено викладки теоретичного обґрунтування і визначення кванту інформації та його розмірності, що дозволило оцінити питому ентропію (чи кількість потенційно формованої інформації) точкового, дво- та тривимірного джерел інформації через фундаментальні величини Макс Планка.

## К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ КОНСТАНТЫ КОЛИЧЕСТВА ИНФОРМАЦИИ (ЭНТРОПИИ)

Л.Б. Петришин, М.Л. Петришин

Информация есть основным фактором, который определяет содержание и форму всего существа. Определен минимальный квант объема Планк пространства, который в состоянии изменить свое информационное состояние на протяжении минимального промежутка Планк кванта времени. Минимально возможное количество информации есть определено минимально возможным значением кванта энергетического состояния, определенного как константа Планка  $\hbar$ . Установлены зависимости количественной оценки максимально возможного значения энтропии (количества информации) унитарного точечного и единичного объемного источника информации за единицу времени согласно фундаментальных величин Планка.

**Ключевые слова:** информация, энтропия, квант, константа Планка.

## FOR DETERMINATION OF FUNDAMENTAL QUANTITY INFORMATION CONSTANT (ENTROPY)

L.B. Petryshyn, M.L. Petryshyn

An information is a basic factor that determines the contents and the form of all universe. The minimum volume quantum of Planck space is defined, which is able to change its information state during a minimum interval of Planck time quantum. The minimum possible information quantity is defined by the minimum possible value of energy state quantum, which referred as Planck constant  $\hbar$ . Dependences of a quantitative estimation of the maximum possible value of entropy (information quantity) elementary unitary and elementary volume information source per unit time determined by the fundamental Planks value.

**Keywords:** entropy, information, quantum, Planck constants.

## Список літератури

1. Borysenko A.A. *Information Nature. The University of Sumy Press.* 212 p. (Sumy, 2006)
2. Gray R.M. *Entropy and Information Theory. Stanford University,* 284 p. (Springer-Verlag, New York, 2009)
3. Lindblad G. *Entropy, Information and Quantum Measurements. Commun. math. Phys.* 33, 305--322 (by Springer-Verlag 1973)
4. Chatzisavvas K. Ch., Moustakidis Ch. C., Panos C. P. *Information entropy, information distances, and complexity in atoms. J.Chem.Phys.* 123, 174111, 2005.
5. Montgomery H.E. *Information Entropy and Uncertainty Relations. Chem. Educator* 2002, 7, 334.338 (2002 Springer-Verlag New York, Inc.)
6. *Speed of light in vacuum.* [http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?c|search\\_for=speed](http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?c|search_for=speed)
7. *Speed of light.* <http://scienceworld.wolfram.com/physics/SpeedofLight.html>
8. Mohr P.J.; Taylor B.N.; Newell D.B. *CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2006. Rev. Mod. Phys.* 80: 633–730. (2008).
9. *Planck length.* [http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?plk|search\\_for=length](http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?plk|search_for=length)
10. *Planck time.* [http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?plk%7Csearch\\_for=planck+time](http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?plk%7Csearch_for=planck+time)
11. *Planck constant over 2 pi.* [http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?hbar|search\\_for=Planck](http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?hbar|search_for=Planck)
12. Heisenberg, W. *The Physical Principles of the Quantum Theory; Chicago, Ill., The University of Chicago Press.,* 1930; 13-46.
13. Biatynicki-Birula I., Mycielski J. *Uncertainty Relations for Information Entropy in Wave Mechanics. Commun. math. Phys.* 44, 129--132 (by Springer-Verlag 1975)
14. *Uncertainty of Measurement results from NIST.* <http://physics.nist.gov/cuu/Uncertainty/index.html>
15. *Gravitational Constant.* <http://scienceworld.wolfram.com/physics/GravitationalConstant.html>
16. *Newtonian constant of gravitation* [http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?bg|search\\_for=Gravitational+Constant](http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?bg|search_for=Gravitational+Constant).
17. Baez J.C. *Quantum gravity: The quantum of area? Nature* 421, 702–703 (13 February 2003).

Надійшла до редколегії 1.04.2012

**Рецензенти:** д-р техн. наук, проф. О.А. Борисенко, Сумський державний університет, Суми; д-р фіз.мат. наук, с.н.с. А.В. Загороднюк, Прикарпатський національний університет ім. В.Стефаника, Івано-Франківськ; д-р фіз.мат. наук, проф. О.Д. Артемович, Технічний університет «Краківська Політехніка», Краків, Польща.