

The presented results of researches of the use are in pin details on the basis of silver, low-toxic addition of oxide of tin instead of toxic oxide of cadmium, that behaves to the first group of toxicness.

Pin –details, commutation apparatus, plasma, voltaic arc, energy, electrical erosion.

УДК 536(075.8)

АНАЛІЗ ОКРЕМИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕНТРОПІЇ

Б.Х. Драганов, доктор технічних наук

Н.В. Чепурна, кандидат технічних наук

Наведено узагальнений аналіз окремих закономірностей ентропії, пов'язаних із статистичною та нерівноважною термодинамікою.

Статистична фізика, теорія інформації, рівноважний (нерівноважний) стан, ізоморфізм.

Розглянемо закономірності в фазовому просторі. Стан системи прийнято позначати точкою в фазовому просторі, характеристики якої позначаються через q і p . Еволюція стану системи в функції часу прийнято визначати за допомогою функції Гамільтона $H = p(q, p)$. Зазначимо, що гамільтонова функція використовується в класичному варіаційному обчисленні для подання ейлерівського рівняння руху механічних систем у канонічній формі.

Величини q і p задовольняють рівняння руху:

$$\dot{q} = \frac{\partial H}{\partial p}, \dot{p} = -\frac{\partial H}{\partial q}. \quad (1)$$

Введемо узагальнений вектор струму в фазовому просторі $\dot{J} = (\dot{q}, \dot{p})$. З рівняння (1) випливає, що

$$\text{div} \dot{J} = \frac{\partial \dot{q}}{\partial q} + \frac{\partial \dot{p}}{\partial p} \equiv 0, \quad (2)$$

тобто фазова рідина не стискається [1].

Мета досліджень – визначення закономірності ентропії в рівноважних і нерівноважних системах.

Результати досліджень. Диференціальною формою закону збереження числа часток є рівняння безперервності в фазовому просторі:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \text{div}(Jf) = 0,$$

або, з урахуванням умов,

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \dot{q} \frac{\partial f}{\partial q} + \dot{p} \frac{\partial f}{\partial p} = 0, \quad (3)$$

Рівняння (3) називається рівнянням Ліувілля [2,7]. У ньому компоненти струму $J(\dot{q}, \dot{p})$ виражені як функції q, p (і, можливо, t). Наступне зауваження істотне: рівняння (3) не містить ніякої іншої інформації, крім тієї, яка впливає з рівнянь руху (1). Це впливає відразу з властивостей рівнянь у частинних похідних першого порядку. Рішення (3) може бути записано у вигляді:

$$f(q, p, t) = q_0(q, p, t), \quad p_0 = p_0(q, p, t),$$

де зв'язок між (q_0, p_0) і (q, p) визначається з (1), а $f_0 = f_0(q_0, p_0) = f(t=0)$ – початкова умова.

Нехай $f(p, q, t)$ задовольняє рівнянню Ліувілля. Це означає, що інформація, вкладена в f , не містить тих властивостей, які притаманні кінетичному опису. Дійсно, рішення рівняння Ліувілля еквівалентно рішенням гамільтонових рівнянь руху. Іншою характеристикою цього факту є рівність

$$\frac{dS[f]}{dt} = 0, \quad (4)$$

$$\text{де} \quad S[f] = - \int f \ln f dpdq. \quad (5)$$

Вираз (4) знаходиться з (5) диференціюванням:

$$\frac{dS[f]}{dt} = \int (1 - \ln f) \frac{df}{dt} dpdq.$$

Звідси впливає (4), оскільки відповідно до рівняння Ліувілля $\frac{df}{dt} = 0$.

Отже, ентропія, визначена за функцією розподілу f , не змінюється з часом.

Больцману [5,6] належить твердження:

$$S = k \ln W, \quad (6)$$

де W – статична маса стану, описувана функцією розподілу F ; k – стала Больцмана. Детальне обговорення і доведення формули (8) були дані Еренфестом [8]. Подальший розвиток різних галузей науки (статистичної фізики, теорії інформації та ін.) підтвердили ту глибину пізнання природи, яка закладена у формулі Больцмана. З одним із таких її проявів ми познайомимося нижче.

Це завдання було вирішено А.М. Колмогоровим [3,4], який, використовуючи деякі ідеї теорії інформації, ввів поняття динамічної ентропії, названу також K -ентропія, що позначається через h . Формальне визначення типової для різних фізичних ситуацій K -системи полягає в такому: це гамільтонова система, в якій

$$h > 0. \quad (7)$$

Найістотніший елемент – це той, коли $h \neq 0$.

Робота А.М. Колмогорова про ентропії поклала початок строгому аналізу динамічних систем у граничному випадку. Зв'язок K -ентропії з різними фізичними поняттями і, в тому числі, зі звичайною ентропією, розглядається Чириковим [9].

Наведемо основні властивості K -ентропії.

1. Ентропія h визначає швидкість зміни ентропії S у результаті чисто динамічного процесу переміщування траєкторії у фазовому просторі.

2. Ентропія h , інкремент локальної нестійкості h_0 і зворотний час розчеплення тимчасових кореляцій h_c є величинами одного порядку:

$$h \sim h_0 \sim h_c. \quad (8)$$

Тим самим розкривається фізичний зміст K -ентропії.

3. Ентропія h є метричним інваріантом системи [8], тобто її величина не залежить від способу розбиття фазового простору та огрублення.

4. Системи, що мають однакові значення ентропії h , в певному сенсі ізоморфні одна одній, тобто статистичні закони руху у таких систем мають бути однаковими.

Поняття ентропії можна застосувати і до термодинамічних нерівноважних станів, якщо відхилення від термодинаміки рівноваги невеликі і можна ввести уявлення про локальну термодинамічну рівновагу в малих, але ще макроскопічних об'ємах. В цілому ентропія нерівноважної системи дорівнює сумі ентропій її частин, що знаходяться в локальній рівновазі.

Термодинаміка нерівноважних процесів дозволяє детальніше дослідити процес зростання ентропії та обчислити кількість ентропій, що утворюється в одиниці об'єму часу внаслідок відхилення від термодинамічної рівноваги.

Статистична фізика зв'язує ентропію з імовірністю здійснення цього макроскопічного стану системи. Ентропія визначається через логарифм статистичної ваги Ω наведеного рівноважного стану:

$$S = k \ln \Omega(E, N), \quad (9)$$

де $\Omega(E, N)$ – число квантомеханічних рівнянь у вузькому інтервалі енергії ΔE поблизу значення енергії E системи з N частинок, у класичній статистичній фізиці Ω – величина обсягів у фазовому просторі системи при заданих E і N .

Вперше зв'язок ентропії з імовірністю стану системи було встановлено Больцманом. Еволюція замкненої системи здійснюється у напрямі найбільш ймовірного розподілу енергії по окремих підсистемах. Статистична фізика розглядає особливий клас процесів – флуктуації, при яких система переходить в менш вірогідне становище, і її ентропія зменшується. Наявність флуктуації показує, що закон зростання ентропії виконується тільки в середньому для великого проміжку часу.

Ентропія в статистичній фізиці тісно пов'язана з інформаційною ентропією, яка є мірою невизначеності повідомлень (повідомлення описуються безліччю величин x_1, x_2, \dots, x_n та ймовірностей P_1, P_2, \dots, P_n появи цих величин у повідомленні). Для певного (дискретного) статистичного розподілу ймовірностей P_k інформаційною ентропією називають величину

$$H_u = - \sum_{k=1}^n P_k \ln P_k \text{ при } \sum_{k=1}^n P_k = 1. \quad (10)$$

$H_i=0$, якщо кількість з P_k дорівнює одиниці, а решта – нулю, тобто інформація достовірна, невизначеність відсутня. Ентропія приймає найбільше значення, коли всі P_k однакові (невизначеність в інформації максимальна). Інформаційна ентропія, як і термодинамічна, має властивість

адитивності. З ймовірнісного трактування інформаційної ентропії можуть бути виведені основи розподілу статистичної фізики: канонічний розподіл Гіббса, який відповідає максимальному значенню інформаційної ентропії.

Висновки

Ентропія є суттєвою характеристикою незворотності в усіх областях оточуючого нас світу. Вона також є критерієм ступеня інформативності явищ.

Список літератури

1. Арнольд Н.И. Математические методы классической механики / Арнольд Н.И. – М.: Наука, 1974. – 431 с.
2. Боголюбов Н.Н. Избранные труды в трех томах. Т.2 / Боголюбов Н.Н. – К.: Наук. думка, 1969. – 647 с.
3. Колмогоров А.Н. ДАН СССР/ Колмогоров А.Н. – М., 1959, –т.124. –754 с.
4. Колмогоров А.Н. ДАН СССР/ Колмогоров А.Н. – М., 1958, – т.119. – 861с.
5. Новиков И.И. Термодинамика / Новиков И.И. – М.: Машиностроение, 1984. – 592 с.
6. Фаулер Р. Статистическая термодинамика / Р. Фаулер, Э. Гуггенгейм; пер. с англ. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1949. – 614 с.
7. Форд Дж. Лекции по статистической механике / Форд Дж.; пер. с англ. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1965. – 307 с.
8. Эренфест П. Сборник статей / Эренфест П. – М.: Наука, 1972. – 960 с.
9. Чирников Б.В. Исследования по теории нелинейного резонанса к стохастичности / Чирников Б.В. – Новосибирск: Преп. ИЯФ, №267, 1969.

Приведен обобщенный анализ отдельных закономерностей энтропии, относящиеся к статической и неравновесной термодинамике.

Статистическая физика, теория информации, равновесное (неравновесное) состояние, изоморфизм.

An analysis of individual patterns of generalized entropy, related to static and non-equilibrium thermodynamics.

The statistical physics, information theory, the equilibrium (nonequilibrium) state, isomorphism.

УДК 621.327.539

ВТРАТИ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ З УДАРНИМ НАВАНТАЖЕННЯМ ПРИ ВІДХИЛЕННІ НАПРУГИ І ЧАСТОТИ СТРУМУ

О.Ю. Синявський, В.В. Савченко, кандидати технічних наук

Проведено дослідження енергетичних показників роботи електропривода з ударним навантаженням при відхиленні напруги і частоти струму. Встановлено залежності втрат енергії від напруги і частоти струму.

© О.Ю. Синявський, В.В. Савченко, 2012