

УДК 537.622

**ТЕРМОДИНАМИКА, ИНФОРМАЦИЯ, ПОЛЯ-АНАЛОГИ  
И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ**

**<sup>1</sup>Портнов В.С., <sup>2</sup>Юров В.М., <sup>1</sup>Исагулов А.З., <sup>1</sup>Турсунбаева А.К.,  
<sup>1</sup>Когай Г.Д., <sup>1</sup>Камаров Р.К.**

*<sup>1</sup>Карагандинский государственный технический университет, Караганда;*

*<sup>2</sup>Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова,  
Караганда, e-mail: atursunbaeva75@mail.ru*

Рассмотрены вопросы использования термодинамики, теории информации и метода аналогий к анализу свойств минералов, которые представляют собой гетерогенные системы. На основе неравновесной статистической термодинамики получена формула для электрической проводимости гетерогенных сред. На основе метода аналогий получено соотношение для коэффициента теплопроводности минералов. Используя теорию информации, получена формула для магнитной восприимчивости магнитных минералов. Полученные формулы хорошо согласуются с экспериментальными данными. Результаты работы могут быть использованы при анализе геофизических данных.

**Ключевые слова:** термодинамика, информация, метод аналогий, свойства минералов

**THERMODYNAMICS, THE INFORMATION, FIELDS-ANALOGUES  
AND PHYSICAL PROPERTIES OF MINERALS**

**<sup>1</sup>Portnov V.S., <sup>2</sup>Yurov V.M., <sup>1</sup>Isagulov A.Z., <sup>1</sup>Tursunbaeva A.K., <sup>1</sup>Kogay G.D., <sup>1</sup>Kamarov R.K.**

*<sup>1</sup>Karaganda state technical university, Karaganda;*

*<sup>2</sup>Karaganda state university of E.A. Buketov, Karaganda, e-mail: atursunbaeva75@mail.ru*

Questions of use of thermodynamics, the theory of the information and method of analogies to the analysis of properties of minerals which represent heterogeneous systems are considered. On the basis of nonequilibrium statistical thermodynamics the formula for electric conductivity of heterogeneous environments is received. On the basis of a method of analogies the parity for factor of heat conductivity of minerals is received. Using the information theory, the formula for a magnetic susceptibility of magnetic minerals is received. The received formulas will well be co-ordinated with experimental data. Results of work can be used at the analysis of geophysical data.

**Keywords:** thermodynamics, the information, method of analogies, properties of minerals

Особое значение в последние годы уделяется вниманию термодинамике различных процессов, как в естественных, так и гуманитарных науках, включая социологию, психологию, мышление, учебный процесс и многое другое. При этом, определяющую роль играет понятие энтропии, тесно связанное с понятием информации.

Помимо разнообразия формулировок понятия энтропии разнообразны и примеры ее применения. Идеология всех таких приложений связана с экстремальными принципами естествознания – возрастающее значение энтропии параметризует изменение состояния систем самой различной природы в процессе их «естественной» эволюции. Соответствующий принцип развития получил название «принцип максимума энтропии». Для закрытых термодинамических систем их энтропия возрастает («второе начало» термодинамики).

На начальном этапе развития теории информации существовало мнение, что малая энергоёмкость информационных процессов существенно отличает их от энергетических. С развитием и усложнением информационных систем встал вопрос и об определении энергетической сложности различных информационных процессов,

выяснения предельных соотношений при получении, хранении и обработке информации. Это послужило основой для известного высказывания фон Неймана: «... термодинамика является той частью теоретической физики, которая в некоторых из своих аспектов наиболее близка теории обработки и измерения информации...». Таким образом, потребности техники и развитие науки привели к возникновению термодинамики информационных процессов, основы которой были заложены в 1956 г. Бриллюэном. Однако существенного внимания со стороны исследователей вопросы термодинамики информационных процессов не получили.

Исключение составляют основополагающие работы Р.П. Поплавского [1]. Им было подчеркнуто, что термодинамика информационных процессов, в отличие от равновесной термодинамики и термодинамики открытых систем, является термодинамикой переходных процессов. Им было также установлены предельные соотношения между информационными характеристиками (точность, количество информации) и термодинамическими (энергия, энтропия).

80–90-е годы XX века стали временем бурного развития (и в настоящее время)

синергетики, основу которой составляет термодинамика открытых систем, в связи с выявлением глубокой связи между информацией и самоорганизацией материи [2].

### Энтропия и информация

Энтропия термодинамической системы  $S = \int \frac{dQ}{T}$  (где  $Q$  – полученная системой от среды теплота, а  $T$  – температура процесса) была введена в 1865 г. Рудольфом Клаузиусом. В 1872 г. Людвиг Больцман вводит статистическую энтропию  $S = k \ln W$  (здесь  $W$  – вероятность макросостояния, отождествляемая с числом микросостояний системы при условии их равновероятности, а  $k$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от принятой размерности энтропии.). Дж.В. Гиббс [3] для статистического обоснования термодинамики вводит в 1902 г. вероятностные представления:

$$S = k \int \rho(p, q) \ln \rho(p, q) dpdq, \quad (1)$$

здесь  $\rho(p, q)$  – плотность вероятности распределения обобщенных координат  $q$  и импульсов  $p$  в фазовом пространстве системы;  $k$  – размерный множитель. В 1948 г. Клод Шеннон [4] предложил формулу для оценки неопределенности кодовой информации в каналах связи, называемую энтропией Шеннона:

$$S = -k \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i,$$

где  $p_i$  – вероятность встречаемости символа  $i$  в коде, содержащем  $N$  символов;  $k$  – размерный множитель. В 1953 г. появляется работа А.Я. Хинчина [5], где формула Шеннона аксиоматически применяется для описания неопределенности схем в теории вероятности. В работах Роберта Мак Артура в 1955 г. аналог формулы Шеннона появился как мера биологического разнообразия экологических сообществ:

$$S = \sum_{i=1}^W \frac{n_i}{n} \ln \frac{n_i}{n},$$

где  $n_i$  – численность  $i$ -й популяции в сообществе из  $W$  видов [6].

А.Н. Колмогоров с коллегами в 1956 г. [7] развили вероятностное определение энтропии  $S = \int f(x) \ln f(x) dx$  для приложения к теории информации ( $f(x)$  здесь функция распределения случайной величины  $x$ ). В 1958 г. А.Н. Колмогоров [8] ввел для динамических систем метрическую энтропию, или К-энтропию, которая пропорциональна скорости изменения статистической энтропии Больцмана. До настоящего момента продолжают появляться обобщения энтропийных

формул. Так, в 2000 г. А.В. Коганов обобщил статистическое определение комбинаторной энтропии – логарифм числа состояний системы – на понятие математической модели.

В основе всей теории информации лежит открытие, заключающееся в том, что информация допускает количественную оценку. Наиболее четко, вплоть до введения количественной меры информации, эта мысль, по-видимому, впервые была высказана Хартли в 1928 г. [9], а затем, уже на более высоком уровне, развита и обобщена Шэнноном, Винером, фон Нейманом, Фишером, Колмогоровым и другими.

Для развития теории информации в ее современном виде вообще не требуется определения понятия информации как таковой; необходимым и достаточным для построения теории является понятие количества информации. Поэтому употребление терминов «информация» и «количество информации» как синонимов не вызывает недоразумений в рамках самой теории.

### Метод аналогий и поля-аналоги

Тенденция возникновения интегрирующих научных направлений на стыке уже устоявшихся наук, возникла достаточно давно. Междисциплинарный подход в современном естествознании всегда имеет место для решения научных проблем.

Существуют чрезвычайно простые и универсальные законы функционирования и развития физического мира. Выявление таких законов позволит создать метод для осуществления интеграции науки. В настоящее время таким методом является метод аналогий. Примером его успешного использования являются работы Дж. Максвелла при создании классической теории электромагнетизма. В знаменитых лекциях по физике Р. Фейнмана 7-й том посвящен электростатическим аналогиям. В табл. 1 показана аналогия, существующая между величинами в различных скалярных потенциальных полях [10].

### Электрические свойства минералов

Рассмотрим сначала гомогенную изотропную среду, которая содержит  $N$  электронов проводимости и характеризуется термодинамическим потенциалом Гиббса  $G^0$ . Возникновение тока плотностью  $j$  в среде является откликом системы невзаимодействующих электронов на внешнее поле и имеет вид [11]:

$$\Phi = \frac{1}{1 + C_1 \exp \left\{ -\frac{E_m - G^0/\bar{N}}{kT} \right\}}, \quad (2)$$

где  $C_1 = 2\Delta S k \tau_p / \tau = \text{const}$  (смысл входящих в это выражение величин такой же, как и в [11]);  $E_m = eE$ ,  $e$  – заряд электрона.

Таблица 1

Аналогия между величинами в потенциальных полях [10]

Параметр	Электростатическое поле	Электрическое поле тока	Магнитостатическое поле	Тепловое поле
Потенциал	Потенциал $U$	Потенциал $U$	Потенциал $\Omega$	Температура $T$
Градиент	Напряженность электрического поля $E$	Напряженность электрического поля $E$	Напряженность магнитного поля $H$	Градиент температуры $gradT$
Постоянная, характеризующая свойства среды	Диэлектрическая проницаемость $\epsilon$	Электрическая проводимость $\sigma$	Магнитная проницаемость $\mu$	Температуропроводность $a$
Плотность потока	Электрическое смещение $D$	Плотность тока $j$	Магнитная индукция $B$	Плотность теплового потока $q$
Интенсивность источника	Плотность заряда $\rho_e$	Плотность тока $j$	Плотность магнитной массы $\rho_m$	Плотность источника тепла $Q$
Проводимость поля	Емкость $C$	Электрическая проводимость $G$	Магнитная проводимость $\Lambda$	Тепловая проводимость

После линеаризации (2) при  $\Phi = j$ , получаем:

$$j = \frac{kT}{C_1} \frac{eE}{G^\circ} \cdot \bar{N}. \quad (3)$$

Когда  $\bar{N} = const$ , мы из (3) имеем закон Ома в дифференциальной форме:

$$j = \sigma E, \quad (4)$$

где 
$$\sigma = \frac{kT}{C_1} \frac{e\bar{N}}{G^\circ}. \quad (5)$$

Проводимость  $\sigma$  связана с удельным сопротивлением  $\rho$  соотношением

$$\rho = 1/\sigma = C \cdot G^\circ / e; \quad (6)$$

$$\bar{N}C = \frac{C_1}{kT}.$$

Константа  $C$  характеризует процесс перехода системы электронов из возбужденного состояния в основное и примерно одинакова для многих веществ. Исключе-

ние могут составлять только те вещества, где реализуются специфические механизмы рассеяния. Таким образом, гетерогенность среды будет сказываться на ее электропроводности через энергию Гиббса  $G^\circ$ , которая известна для большинства минералов.

**Теплофизические свойства минералов**

Используя метод аналогий (табл. 1) для коэффициента теплопроводности минералов нами получено уравнение:

$$\lambda = \frac{625\rho}{3C_2 G^\circ} \cdot T. \quad (7)$$

Уравнение (7) входят только два параметра минерала – плотность и энергия Гиббса, которые экспериментально определены для большого количества минералов и представлены в справочниках. Для коэффициента мы получили значение  $C_2 = 2,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{кг}\cdot\text{с}$ . В табл. 2 приводятся экспериментальные значения коэффициента теплопроводности и вычисленные по формуле (7).

Таблица 2

Сравнение экспериментальных и теоретических значений коэффициента теплопроводности некоторых минералов

Минерал	$\lambda_{\text{эксп}}$ , Вт/(м·К)	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$G^\circ$ , Дж/моль	$\lambda_{\text{теор}}$ , Вт/(м·К)
Гипс	1,30	2,3	1795000	1,50
Магнетит	5,3	5,17	1014490	5,98
Лабрадор	1,5	2,70	3845180	1,57
Анортит	1,7	2,76	3994830	1,54
Олигоклаз	1,96	2,64	3750710	1,60
Шпинель	3,48	3,6	2188060	3,67
Альбит	2,31	2,61	3695040	2,00

Из табл. 2 видно, что экспериментальные и теоретические значения хорошо согласуются друг с другом. Это, на наш взгляд, неплохой результат и подтверждает основные положения нашей модели.

**Энтропия и магнитные свойства минералов**

Наложение внешнего магнитного поля на систему магнитных диполей, погружен-

ную в термостат, приводит к изменению ее энтропии:

$$\Delta S = \frac{N\mu_B(\Delta H)^2}{2kT^2}, \quad (8)$$

где  $\mu_B = 9,27 \cdot 10^{-27}$  Дж·Тл<sup>-1</sup> – магнетон Бора;  $H$  – напряженность внешнего магнитного поля;  $N$  – число магнитных диполей.

После несложных преобразований мы получим:

$$\Delta H = \frac{2}{\mu_B} \sqrt{kTG^\circ}. \quad (9)$$

Если считать, что искомым полезным компонент связан только с одним магнитным диполем, то его концентрацию  $c$  можно найти из соотношения  $N = N_A \cdot c_n / 100\%$ , где  $N_A$  – число Авогадро.

Используя выше приведенные формулы, получим:

$$\frac{2\Delta S}{k} = \alpha \frac{G^\circ}{NkT} \quad (10)$$

или

$$\Delta S = \alpha \frac{G^\circ}{2NT},$$

где  $\alpha = \text{const}$ .

Изменение энтропии объекта обратно пропорционально количеству  $\Delta I$  информации о нем, т.е.:

$$\Delta S = \frac{k \ln 2}{\Delta I}, \quad (11)$$

где  $k \ln 2$  – энергетический эквивалент информации.

С другой стороны, информацию о магнитных свойствах объекта несет его магнитная восприимчивость  $\chi$ , т.е.:

$$\Delta I = \chi. \quad (12)$$

С учетом (10) и (11) для магнитной восприимчивости имеем:

$$\chi = \beta \frac{kT}{G^\circ} c_n, \quad (13)$$

где  $\beta$  – некоторая постоянная.

Уравнение (13) совпадает с уравнением, полученного нами в работе [11], с использованием подхода, основанного на функции отклика системы магнитных диполей. Из уравнения (13) следует линейная зависимость магнитной восприимчивости от концентрации магнитной компоненты минерала (рисунок).

