

Івашина І.Ю., Гончаренко Т.Л. Щодо визначення роботи в термодинаміці Збірник матеріалів науково-практичної конференції «Реалії і перспективи природничоматематичної підготовки у закладах освіти», (Херсон 12-13 вересня 2019р.) / Ред. колегія Таточенко В.І., Котова О.В., Гончаренко Т.Л., Куриленко Н.В. – Херсон: Видавництво ПП В.С. Вишемирський – 2019. – 119 с., С. 14-16.

І.Ю.Івашина, Т.Л.Гончаренко

Херсонський державний університет

м. Херсон, Україна

goncharenkokspu@gmail.com

ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ РОБОТИ В ТЕРМОДИНАМІЦІ

Поняття «робота» є одним з основних понять фізики. Тому під час підготовки майбутніх вчителів фізики цьому питанню приділяється значна увага як під час вивчення предметів методичного циклу, так і під час вивчення загальної та теоретичної фізики. В підручниках із курсу загальної фізики [1, 2, 3] роботу в термодинаміці розглядають як механічну роботу сил тиску при зміні об'єму термодинамічної системи:

$$A = \int p \Delta V \quad (1)$$

В курсі теоретичної фізики відмічається, що роботою називається будь-який спосіб передачі енергії, який пов'язаний зі зміною зовнішніх параметрів системи [4,5].

Метою статті є визначення найбільш поширених видів роботи, обумовлених зміною деяких зовнішніх параметрів термодинамічної системи.

Для рівноважних процесів робота, що здійснюється при нескінченно малій зміні зовнішнього параметра λ , дорівнює:

$$\delta A = \Lambda d\lambda \quad (2)$$

де Λ – узагальнена сила, яка відповідає параметру λ .

Під час рівноважного адіабатного переходу внутрішня енергія змінюється на:

$$dU = \frac{\partial U}{\partial \lambda} d\lambda \quad (3)$$

Зменшення енергії за рахунок параметра λ_i рівне роботі відповідної

узагальненої сили Λ_i , яка визначається за формулою:

$$\Lambda_i = - \left(\frac{\partial U}{\partial \lambda_i} \right)_{\lambda_k}, \quad k \neq i \quad (4)$$

Розглянемо застосування (2) і (4) до різних фізичних процесів, враховуючи знання курсу загальної фізики [1, 2, 3, 6].

Елементарна робота розширення газу:

$$\delta A = p dV \quad (5)$$

Робота сил поверхневого натягу направлена на зменшення площі поверхні S :

$$\delta A = -F_{\text{пов}} dr = -\sigma l dr = -\sigma dS \quad (6)$$

Узагальненою силою є коефіцієнт поверхневого натягу σ . Визначимо її на основі (4), враховуючи, що поверхнева енергія рівна σS

$$\Lambda_i = - \frac{d(\sigma S)}{dS_i} = -\sigma \quad (7)$$

Поляризація діелектрика пов'язана зі зміною його внутрішньої енергії за рахунок роботи сил електричного поля. Визначимо питому роботу, розраховану на одиницю об'єму.

Розрахуємо елементарну роботу поляризації, пов'язану з рухом зарядів, які створюють поле. Розглянемо плоский конденсатор, заповнений діелектриком. З'єднаємо обкладинки провідником. Нехай заряд dq перейде із однієї пластини на іншу. При цьому виконується робота $\delta A = -\Delta\phi dq = -E l dq$, де l - відстань між пластинами. Індукція електричного поля залежить від заряду пластин $D = \sigma = \frac{q}{S}$, де S - площа пластин.

Робота віднесена до одиниці об'єму діелектрика

$$\delta \tilde{A} = -E dD \quad (8)$$

Визначимо цю роботу на основі (3). Густина енергії електричного поля діелектрика

$$w = \frac{1}{2} ED = \frac{1}{2} E(\epsilon_0 E + \alpha \epsilon_0 E) = \frac{1}{2} (\epsilon_0 E^2 + \alpha \epsilon_0 E^2) \quad (9)$$

Робота поляризації без роботи збудження поля у вакуумі $w_{\text{п}} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$:

$$w_{\text{пол}} = w - w_{\text{п}} = \frac{1}{2} \alpha \epsilon_0 E^2 \quad (10)$$

Зміна цієї енергії при зміні поля

$$dw = \alpha \varepsilon_0 E dE \quad (11)$$

$$\delta \tilde{A} = -\alpha \varepsilon_0 E dE = -P dE = -E dD \quad (12)$$

α – коефіцієнт поляризації, P - вектор поляризації. (12) показує, що за рахунок зміни індукції поля виконується робота, і узагальненою силою є напруженість поля в діелектрику.

Аналогічно можна отримати роботу намагнічення одиниці об'єму магнетика:

$$\delta \tilde{A} = -H dM = -B dH \quad , \quad (13)$$

де M – вектор намагнічення.

Розрахуємо елементарну роботу однорідної деформації одиниці об'єму твердого тіла. Розглянемо найпростіший випадок – лінійний розтяг стрижня довжиною l і площею перерізу S . Робота зовнішньої сили F при розтягу на dl $dA^{\text{зов}} = F dl$ іде на збільшення внутрішньої енергії. Для одиниці об'єму тіла

$$\delta \tilde{A}^{\text{зов}} = dU = \frac{F dl}{sl} = \sigma d\varepsilon \quad , \quad (14)$$

де σ - напруження, ε - відносна деформація.

Робота сил пружності

$$\delta \tilde{A} = -\sigma d\varepsilon. \quad (15)$$

Узагальненою силою при пружній деформації є напруження.

В загальному випадку напруженого стану елементарна робота однорідної деформації одиниці об'єму твердого тіла рівна

$$\delta \tilde{A} = - \sum_{i,j}^3 \sigma_{ij} d\varepsilon_{ij} \quad , \quad (16)$$

де σ_{ij} – нормальні і зсувні компоненти напруження, ε_{ij} – компоненти деформації (розтягу і зсуву).

Узагальнення наведеного дає можливість визначити роботу в системі, в якій одночасно змінюється декілька зовнішніх параметрів

$$\delta A = \sum_i \Lambda_i d\lambda_i. \quad (17)$$

Література

1. Бушок Г.Ф., Венгер Е. Курс фізики: Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. - К.: Вища школа, 2002. - 375 с.

2. Кучерук І. М. Загальний курс фізики: Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. - К.: Техніка, 2006. - 532 с.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Термодинамика и молекулярная физика. - М.: 1979, 552 с.
4. Волчанський О.В., Гур'євська О.М., Подопрігора Н.В. Термодинаміка і статистична фізика: навчальний посібник: [для студ. ф.-м. фак. вищ. пед. навч. закл.] – Кіровоград: ТОВ «Сабоніт», 2012. – 431 с.
5. Базаров И.П. Термодинамика: [учебник]. – М.: Высш. шк., 1983. – 344 с..
6. Кучерук І. М. Загальний курс фізики. Т2. Електрика і магнетизм. – К.: Техніка, 2001. – 452 с.

Анотація. Івашина І.Ю., Гончаренко Т.Л. Щодо визначення роботи в термодинаміці. У статті розглянуто визначення найбільш поширених видів роботи, обумовлених зміною деяких зовнішніх параметрів термодинамічної системи.

Ключові слова: фізика, термодинаміка, підготовка майбутніх учителів фізики, електризація, поляризація, намагнічення, деформація.

Summary. Ivashina Yu.K, Goncharenko T.L. On the definition of work in thermodynamics. The article deals with the definition of the most common types of work caused by the change of some external parameters of the thermodynamic system.

Keywords: physics, thermodynamics, training of future teachers of physics, electrification, polarization, magnetization, deformation, strain.

Аннотация. Ивашина И.Ю., Гончаренко Т.Л. Касается определения работы в термодинамике. В статье рассмотрено определение наиболее распространенных видов работы, обусловленных изменением некоторых внешних параметров термодинамической системы.

Ключевые слова: физика, термодинамика, подготовка будущих учителей физики, электризация, поляризация, намагничивание, деформация.