

## Okruhy ke zkoušce z předmětu

### Termodynamika a statistická fyzika NOFY031

Akademický rok 2022/2023

Student u zkoušky diskutuje jeden okruh z části A a jeden z části B. Okruhy se volí hodem dvou symetrických, identických, rozlišitelných, šestistěnných kostek.

#### **A. Termodynamika**

A.1. Mikroskopický a makroskopický stav termodynamického systému. Stav termodynamické rovnováhy. Počet makroskopických stupňů volnosti, stavové rovnice. Termodynamické procesy (vratný, nevratný, rovnovážný, nerovnovážný, cyklický). Grafická reprezentace rovnovážných dějů (děj adiabatický, izotermický, polytropický, apod.), změny stavových veličin v jejich průběhu. Výpočet změn stavových veličin v průběhu nerovnovážných procesů metodou reprezentujících rovnovážných procesů. Závislost stavových veličin na množství substance.

A.2. Teplo a práce jako dva kvalitativně odlišné způsoby změny vnitřní energie (zahradní bazén). Energetická bilance v průběhu vratné a nevratné adiabatické expanze (komprese). Energetická bilance v průběhu vratné a nevratné izotermické expanze (komprese). První hlavní věta termodynamiky. Tepelná kapacita. Energetická bilance v průběhu cyklických dějů. Teplota a tepelná kapacita v průběhu rovnovážného děje, jehož znázorněním v P-V diagramu je část přímkou se záporným sklonem.

A.3. Clausiova definice entropie, Clausiova nerovnost, mikroskopická a makroskopická interpretace nevratnosti přírodních dějů, růst entropie a šipka času. Přírodní děje jako děje směřovací (sdílení dané energie, daného objemu, daného počtu částic). Druhá hlavní věta termodynamiky, formulace, důsledky. Carnotův teorém, Carnotův cyklus v P-V diagramu a v T-S diagramu. Účinnost. Termodynamický výpočet změny entropie v průběhu termodynamických procesů, kvalitativní rysy změny entropie při změně teploty T, objemu V, tlaku P, počtu částic N. Princip adiabatické nedosažitelnosti.

A.4. Úplná termodynamická informace, mistrovská funkce v U-formulaci, přirozené proměnné. Termodynamické koeficienty a jejich vyjádření v U-formulaci. Modifikované termodynamické koeficienty (například izobarický teplotní součinitel objemové roztažnosti), jejich vzájemná závislost. Relace „90% termodynamiky“, tj. vztah kalorické a termické stavové rovnice. Termodynamické identity.

A.5. Termodynamické potenciály (vnitřní energie U, Helmholtzova volná energie F, entalpie H, Gibbsův potenciál G), jejich fyzikální význam a praktické použití. Rozpínání plynu do vakua, Joulův-Thomsonův jev. Legendreova transformace a přechod od U-formulace k F-formulaci. Kvalitativní odlišnost potenciálů U, H na jedné straně a potenciálů F, G na straně druhé. Extremální vlastnosti termodynamických potenciálů. Extremalizace potenciálů při výpočtu parametrů rovnovážného stavu (vázaný stav, proměnná vazby, triviálně vázaný stav).

A.6. Fázové přechody. Fázový diagram vody, trojný bod, kritický bod. Detailní popis přechodu plyn-kapalina pro van der Waalsův systém. Znázornění izoterm v proměnných P-V a izobar v T-S. Průběh termodynamických potenciálů při fázovém přechodu. Mechanické analogie, závislost Gibbsova potenciálu na parametru vazby (molární objem). Fázové přechody druhého druhu. Kritický stav, kritické exponenty.

## **B. Statistická fyzika**

B.1. Boltzmannův vztah pro entropii. Metoda mikrokanonického souboru. Multiplicita a příklady jejího výpočtu pro kvantový a pro klasický systém. Kvalitativní rysy závislosti multiplicity na energii, objemu a na počtu částic. Kvalitativní průběh entropie jako funkce střední energie, definice absolutní teploty. Konvoluce multiplicit v případě sdílení dané energie dvěma systémy.

B.2. Informační entropie, její vlastnosti. Princip maxima informační entropie při neúplné informaci. Lagrangeova metoda neurčitých multiplikátorů. Úloha o nesymetrické kostce (je zadán střední počet ok, určete pravděpodobnosti jednotlivých výsledků). Fyzikální význam multiplikátorů. Odvození rovnovážných rozdělení metodou MAXENT.

B.3. Boltzmannovo rozdělení. Hra „Naval prachy“ (odvození a smysl Boltzmannova rozdělení). Boltzmannův faktor. Změny Boltzmannova rozdělení při změně teploty, objemu, počtu částic. Teplo a práce z hlediska Boltzmannova rozdělení. Obsazovací číslo základního stavu, nejvyšší obsazená hladina.

B.4. Gibbsův kanonický soubor (uzavřená láhev na dně moře). Odvození z mikrokanonického souboru. Formulace věty o ekvivalenci mikrokanonického a kanonického souboru. Výpočet stavové sumy. Faktorizace stavové sumy. Výpočet termodynamických potenciálů ze stavové sumy. Příklady: N dvouhladinových systémů, vliv degenerace, model polymeru, Einsteinův model kmitů mříže.

B.5. Gibbsův grandkanonický soubor (otevřená láhev na dně moře). Formulace věty o ekvivalenci rovnovážných souborů. Chemický potenciál. Grandkanonická stavová suma a grandkanonický potenciál. Úloha o adsorpci. Výpočet střední energie a středního počtu částic. Faktorizace stavové sumy.

B.6. Důsledky principu nerozlišitelnosti identických kvantových částic při výpočtu multiplicity. Ideální kvantové plyny. Fermiony a bosony. Obsazovací čísla. Odvození středního počtu částic v jednočásticových orbitálních stavech (tj. Fermi-Diracovo Bose-Einsteinovo rozdělení). Planckův vyzařovací zákon (záření absolutně černého tělesa).