

## Семинарно упражнение №4

1-ви час: довършваме темата „Кинематика и динамика на ИТТ“

**Зад. 37:** Тяло с инерчен момент  $100 \text{ kg.cm}^2$  има момент на импулса  $10 \text{ kg.m}^2/\text{s}$ . Каква е ъгловата скорост на тялото?

$$I = 100 \text{ kg.cm}^2 = 100 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^2; L = 10 \text{ kg.m}^2/\text{s}; \omega = ?$$

---

$$L = I\omega; \omega = L/I = 10/10^{-2} = 10^3 \text{ rad/s}$$

**Зад. 38:** В началото на пируета на фигуристка на лед големината на инерчния момент е  $4 \text{ kg.m}^2$ , а големината на ъгловата скорост е  $5 \text{ rad/s}$ . Каква ще бъде нейната ъглова скорост, ако инерчният момент намалява 2 пъти?

$$I_1 = 4 \text{ kg.m}^2; \omega_1 = 5 \text{ rad/s}; I_2 = I_1/2; \omega_2 = ?$$

---

$$\text{От 33МИ } L_1 = L_2; L_1 = I_1\omega_1; L_2 = I_2\omega_2 = (I_1/2)\omega_2; I_1\omega_1 = I_1\omega_2/2;$$

$$\omega_1 = \omega_2/2; \omega_2 = 2\omega_1 = 2 \cdot 5 = 10 \text{ rad/s}$$

**Зад. 39:** Колело започва да се върти с постоянно ъглово ускорение  $1 \text{ rad/s}^2$  и след време  $10 \text{ s}$  моментът на импулса му е  $100 \text{ kg.m}^2/\text{s}$ . Определете кинетичната енергия на колелото в този момент от време.

$$\omega_0 = 0; \alpha = 1 \text{ rad/s}^2; t = 10 \text{ s}; L = 100 \text{ kg.m}^2/\text{s}; E_k = ?$$

---

$$E_k = I\omega^2/2; L = I\omega; E_k = L\omega/2; \omega = \alpha t; E_k = Lat/2 = 10^2 \cdot 1 \cdot 10/2 = 5 \cdot 10^2 \text{ J}$$

**Въпроси с избираем отговор:** стр. 51 – 1; 4; 6; стр. 52 – 8; 9; 10; 11; 15

1. Какви линии описват частиците на ИТТ при въртенето му спрямо неподвижна ос?

а) прави линии; б) елипси; в) окръжности с всевъзможни равнини и центрове; г) окръжности, разположени в равнини, които са перпендикулярни на оста на въртене и с центрове, лежащи на оста; **Верен отговор: г)**

4. Коя от следните формули **НЕ** се отнася за равномерно движение на тяло по окръжност?

а)  $\omega = 2\pi/T$ ; б)  $\omega = 2\pi f$ ; в)  $\omega = \alpha t$ ; г)  $v = 2\pi R/T$ ; **Верен отговор: в)**

6. Посочете вярното твърдение, отнасящо се за равномерно движение на материална точка по окръжност

а)  $a_n = a_t = 0$ ; б)  $a_n \neq 0$ ;  $a_t \neq 0$ ; в)  $a_n \neq 0$ ;  $a_t = 0$ ; г)  $a_n = 0$ ;  $a_t \neq 0$ ; **Верен отговор: в)**

8. Коя от посочените формули изразява връзката между линейна и ъглова скорост при равномерно движение по окръжност?

а)  $v = \Delta x / \Delta t$ ; б)  $d\varphi/dt = v/R$ ; в)  $d\varphi/dt = (x - x_0)/R$ ; г)  $\omega = 2\pi/T$ ;

**Верен отговор: б)**

9. Коя от посочените формули изразява връзката между ъгловата скорост и честотата на въртене?

а)  $\omega = d\varphi/dt$ ; б)  $f = 1/T$ ; в)  $\omega = 2\pi f$ ; г)  $v = 2\pi R/T$ ; **Верен отговор: в)**

10. Материална точка се движи по окръжност с радиус  $R$ . Коя от следните формули определя връзката между тангенциалното и ъгловото ускорение?

а)  $a_t = R\alpha$ ; б)  $a_t = R\alpha^2$ ; в)  $a_t = R^2\alpha$ ; г)  $a_t = \alpha\omega^2$ ; **Верен отговор: а)**

11. Коя от посочените формули изразява връзката между нормалното ускорение и честотата на въртене?

а)  $a_n = 4\pi^2 R f^2$ ; б)  $a_n = 2\pi R f^2$ ; в)  $a_n = 2\pi^2 R f^2$ ; г)  $a_n = 4\pi^2 R / T^2$ ;

**Верен отговор: а)**

15. Кинетичната енергия при въртене на ИТТ около неподвижна ос се определя от:

а) силите, действащи върху тялото; б) ъгловата скорост и инерционния момент на тялото; ; в) потенциалната енергия на тялото;

г) пълния въртящ момент на външните сили, действащи върху тялото; **Верен отговор: б)**

**Въпроси с избир. отговор:** стр. 53 – 18; 20; 23; 24; стр. 54 – 27; 29.

18. Инерционният момент на плътен цилиндър с маса  $m$ , радиус  $R$  и височина  $h$  спрямо ос, намираща се на разстояние  $b$  от центъра му на тежестта и успоредна на нея, е:

a)  $mR^2/2$ ; b)  $m(R^2/2 + h^2)$ ; c)  $m(R^2/2 + b^2)$ ; d)  $m(R^2/2 + h^2 - b^2)$ ;

**Верен отговор: c)**

20. Кинетичната енергия на тяло при въртене е:

a)  $E_k = mv^2/2$ ; b)  $E_k = Iv^2/2$ ; c)  $E_k = I\omega^2$ ; d)  $E_k = I\omega^2/2$ ;

**Верен отговор: d)**

23. Кое от следните условия трябва да бъде изпълнено, за да имат 2 сили с големина  $F_1$  и  $F_2$  и рамена  $l_1$  и  $l_2$  равни въртящи моменти:

a)  $F_1 > F_2$ ;  $l_1 = l_2$ ; b)  $F_1 < F_2$ ;  $l_1 = l_2$ ; c)  $F_1 = F_2$ ;  $l_1 = l_2$ ; d)  $F_1 > F_2$ ;  $l_1 > l_2$ ;

**Верен отговор: c)**

24. Големината на въртящия момент на сила с големина  $F$ , чиято приложна точка се намира на разстояние  $r$  от оста на въртене на тялото и направлението ѝ сключва ъгъл  $\alpha$  с оста на въртене, се определя от формулата:

a)  $M = Fr \sin \alpha$ ; b)  $M = Fr$ ; c)  $M = Fr \tan \alpha$ ; d)  $M = rF \cos \alpha$ ;

**Верен отговор: a)**

27. Основното уравнение при въртеливи движения се изразява с формулата:

a)  $M = I\alpha$ ; b)  $F = ma$ ; c)  $F = mg$ ; d)  $M = \sum M_i$ ; **Верен отговор: a)**

29. Кой от следните изрази е вярната формула за величината момент на импулс на тяло?

a)  $L = I\alpha$ ; b)  $L = I\omega$ ; c)  $L = Iv$ ; d)  $L = m\alpha$ ; **Верен отговор: b)**

2-ри час: започваме нова тема

### **„Молекулна физика и термодинамика“ (МФТ) - 3 уч. часа**

В мол. физика и термодинамика се изучават обекти, които са изградени от огромен брой еднотипни частици и се наричат макроскопични системи (макросистеми). Поради това, че макросистемите съдържат еднакви частици, ние не се интересуваме от поведението на отделните частици, а от тяхното общо поведение като едно цяло. За характеризиране на общото поведение на

частиците се въвеждат три основни параметъра, наречени макроскопични параметри: налягане  $P(N/m^2 = Pa)$ , обем  $V(m^3)$  и температура  $T(K)$ . В ежедневието обикновено измерваме температурата в градуси Целзий ( $t^{\circ}C$ ), но в МФТ ще използваме температурната скала на Келвин ( $K$ ). Всяка температура в градуси Целзий се превръща в градуси Келвин чрез следното равенство:

$TK = t^{\circ}C + 273$ . По големина градусите в скалата на Целзий и Келвин са еднакви, поради което  $\Delta t^{\circ}C = \Delta TK$ .

Най-простата макросистема е **идеалният газ** – собственият обем на молекулите и потенциалната енергия на взаимодействието между тях се пренебрегват, т.е. в идеалния газ се отчитат само кинетичните енергии на газовите молекули ( $E_k \neq 0$ , а  $E_p = 0$ ).

### **I. Експериментални газови закони. Основно уравнение на молекулно-кинетичната теория (МКТ) за идеален газ**

Експериментално установените газови закони определят зависимостта между основните макроскопични параметри при различни процеси.

1. Закон на Бойл Мариот – отнася се за изотермен процес ( $T = \text{const}$ ), който протича в дадена система газ с маса  $m$ , съдържаща определен брой частици  $N$  ( $N = \text{const}$ ):  
 $PV = \text{const}$ ; за две състояния на системата:  $P_1V_1 = P_2V_2$ .
2. Закон на Шарл – отнася се за изохорен процес ( $V = \text{const}$ ), който протича в дадена система газ с маса  $m$ , съдържаща определен брой частици  $N$  ( $N = \text{const}$ ):  $P/T = \text{const}$ , или за две състояния на газа:  $P_1/T_1 = P_2/T_2$ .
3. Закон на Гей-Люсак – отнася се за изобарен процес ( $P = \text{const}$ ), който протича в система газ с маса  $m$ , съдържаща определен брой частици  $N$  ( $N = \text{const}$ ):  $V/T = \text{const}$ ; за две състояния на системата:  $V_1/T_1 = V_2/T_2$ .
4. Закон на Клапейрон – Менделеев (уравнение за състоянието на идеален газ):  $PV = mRT/\mu$ , където  $m$  е масата на газа,  $\mu$  – моларната му маса, величината  $m/\mu$  определя броя молове,

съдържащи се в масата  $m$ , а  $R = 8,31 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$  е универсалната газова константа. За система, в която се съдържа  $1 \text{ mol}$  газ, уравнението на Клапейрон – Менделеев ще бъде  $PV = RT$ . Последният израз е известен като уравнение за състоянието на  $1 \text{ mol}$  газ.

## II. Основно уравнение на молекулно-кинетичната теория за идеален газ

Основното уравнение на МКТ се отнася за идеален едноатомен газ, съдържащ  $N$  на брой прости молекули, които са изградени от еднакви атоми. (Газът, който разглеждаме, се поставя в съд с определена форма и заема обема  $V$  на съда.) То определя връзката между обема на газа, неговото налягане и кинетичната енергия на постъпателното движение на молекулите му:

$$PV = 2N\langle E_{ki} \rangle / 3 = 2E_k / 3, \quad (1)$$

където  $\langle E_{ki} \rangle$  е средната кинетична енергия на една газова молекула, а  $E_k$  е пълната кинетична енергия на газа. Изразът (1) е известен като основно уравнение на МКТ за идеален едноатомен газ.

$E_k$  (за  $1 \text{ mol}$  газ)  $= 3RT/2$ , където  $R$  е универсалната газова константа, а  $T$  - термодинамичната температура на газа.

$\langle E_{ki} \rangle = 3kT/2$ , където  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$  е константата на Болцман. Ако заместим формулата за  $\langle E_{ki} \rangle$  в основното уравнение ще получим нов израз, определящ връзката между основните параметри  $P$ ,  $V$  и  $T$ :

$$PV = (2/3)N(3/2)kT = NkT; \quad PV = NkT. \quad (2)$$

Преобразуваме горния израз като прехвърляме обема на газа в дясно:

$$P = (N/V)kT = nkT; \quad P = nkT, \quad (3)$$

където  $n$  е концентрацията на газовите молекули (броят на молекулите в единица обем).

**Задачи:** стр. 63 – 4; 6; 11; 12; 13; **Въпроси с изб. отговор:** стр. 61 – 5;

стр. 64 – 17.

стр. 62 – 6; 7; 8; 10; 11; 12; 13.

**Зад. 4:** Колко молекули се съдържат в  $1\text{ m}^3$  въздух при налягане  $150\text{ kPa}$  и температура  $27^\circ\text{C}$ ?

$$V = 1\text{ m}^3; P = 150\text{ kPa} = 150 \cdot 10^3\text{ Pa}; T = 27 + 273 = 300\text{ K}; N = ?$$

---

$$PV = NkT; N = PV/kT = 15 \cdot 10^4 \cdot 1 / (1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 3 \cdot 10^2) = (15/4,14) \cdot 10^{25} = 3,6 \cdot 10^{25}.$$

**Зад. 6:** Определете пълната кинетична енергия на постъпателното движение на молекулите, които се съдържат в  $1\text{ mol}$  и  $1\text{ kg}$  хелий при температура  $727^\circ\text{C}$  (моларната маса на хелия е  $0,004\text{ kg/mol}$ ).

$$T = 727 + 273 = 10^3\text{ K}; \mu = 4 \cdot 10^{-3}\text{ kg/mol}; m = 1\text{ kg}; E_k = ?$$

---

$$E_k = 3RT/2 \text{ (за } 1\text{ mol газ } m/\mu = 1) = 1,5 \cdot 8,31 \cdot 10^3 = 12,5 \cdot 10^3\text{ J};$$

$$E_k = (m/\mu)RT(3/2) = 0,25 \cdot 10^3 \cdot 12,5 \cdot 10^3 = 3,125 \cdot 10^6\text{ J (за } m = 1\text{ kg)}.$$

**Зад. 11:** В балон с обем  $100\text{ литра}$  при нормални условия ( $P_0 = 101\text{ kPa}$ , масата на газа в балона.

$$V = 100 \cdot 10^{-3} = 0,1\text{ m}^3; P_0 = 101 \cdot 10^3\text{ Pa}; T_0 = 273\text{ K}; \mu = 2 \cdot 10^{-3}\text{ kg/mol}; m = ?$$

---

$$PV = (m/\mu)RT; m = PV\mu/RT = 10,1 \cdot 10^4 \cdot 10^{-1} \cdot 2 \cdot 10^{-3} / (8,31 \cdot 273) = 0,0089\text{ kg}.$$

**Зад. 12:** При изохорен процес температурата на идеален газ се понижава с  $200^\circ\text{C}$ , а налягането на газа намалява 2 пъти. Каква е началната температура на газа?

$$T_1 \text{ (начална температура)} = ?; T_2 = T_1 - 200; P_1 - \text{начално налягане};$$

$$P_2 = P_1/2; \text{изохорен процес: } V = \text{const}; \Delta t^\circ\text{C} = \Delta\text{TK};$$

---

$$P_1/T_1 = P_2/T_2; P_1/T_1 = P_1/2(T_1 - 200); T_1 = 2(T_1 - 200); T_1 = 400\text{ K}.$$

**Зад. 13:** Налягането на въздуха в автомобилна гума с вътрешен обем  $20\text{ dm}^3$  е 3 пъти по-голямо от атмосферното налягане. Какъв обем ще има този въздух при същата температура, ако налягането му стане равно на атмосферното?

$$T = \text{const (изотермен процес)}; P_1 = 3P_0; P_2 = P_0; V_1 = 20 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3; V_2 = ?$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2; 3P_0 V_1 = P_0 V_2; V_2 = 3V_1; V_2 = 60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3.$$

**Зад. 17:** При нагряване на газ с 1 К при постоянно налягане, обемът му нараства с 1/350 част от началния. Определете началната температура на газа.

$P = \text{const}; T_1$  – начална температура;  $T_2 = T_1 + 1$ ;  $V_1$  – начален обем;

$$V_2 = V_1 + V_1/350 = V_1(1 + 1/350); T_1 = ?$$


---

$$V_1/T_1 = V_2/T_2; V_1/T_1 = V_1(1 + 1/350)/(T_1 + 1); T_1(1 + 1/350) = T_1 + 1; T_1 = 350 \text{ K}.$$

**Въпроси с избираем отговор:** стр. 61 – 5; стр. 62 – 6; 7; 8; 10; 11; 12; 13.

5. Кой от посочените изрази е основното уравнение на МКТ за идеален газ?

- a)  $\langle E_{ki} \rangle = 3NT/2V$ ; b)  $E_k = 2N\langle E_{ki} \rangle/3V$ ; c)  $PV = 2RT/3$ ;  
d)  $P = 2N\langle E_{ki} \rangle/3V$ ; **Верен отговор: d)**

6. Посочете верния израз за средната кинетична енергия на една молекула от едноатомен идеален газ:

- a)  $\langle E_{ki} \rangle = 3RT/2$ ; b)  $\langle E_{ki} \rangle = kT/2$ ; c)  $\langle E_{ki} \rangle = 3kT/2$ ;  
d)  $\langle E_{ki} \rangle = RT/2$ ; **Верен отговор: c)**

7. Кой от следните изрази е уравнение за състоянието на идеален газ?

- a)  $mPV/\mu = R$ ; b)  $PV = mRT/\mu$ ; c)  $PV = \mu RT/m$ ; d)  $RV = mPT/\mu$ ;  
**Верен отговор: b)**

8. Кой от следните изрази е уравнението за състояние на 1 mol идеален газ?

- a)  $PV = \text{const}$ ; b)  $P/T = \text{const}$ ; c)  $PV = RT$ ; d)  $PV = 2N\langle E_{ki} \rangle/3$ ;

**Верен отговор: c)**

10. Ако увеличим 2 пъти температурата на идеален газ при изобарен процес:

- a) обемът му намалява 2 пъти; b) обемът му се увеличава 2 пъти;  
c) налягането се увеличава 2 пъти; d) обемът му се увеличава 4 пъти;  
**Верен отговор: b)**

11. Коя от следните формули описва изотермен процес в

идеален газ?

- a)  $V/T = \text{const}$ ; b)  $P/T = \text{const}$ ; c)  $PV = \text{const}$ ; d)  $PV^\gamma = \text{const}$ ;

**Верен отговор: c)**

12. Ако при изотермен процес обемът на идеалния газ се увеличи 2 пъти, налягането:

- a) намалява  $2^\gamma$  пъти; b) намалява 2 пъти; c) се увеличава 2 пъти;  
d) не се променя; **Верен отговор: b)**

13. Кой от следните изрази се отнася за изохорен процес в идеален газ?

- a)  $PV = \text{const}$ ; b)  $V/T = \text{const}$ ; c)  $P/T = \text{const}$ ; d)  $PT = \text{const}$ ;

**Верен отговор: c)**