

## ESERCIZI SU EQUILIBRIO CHIMICO, COSTANTE DI EQUILIBRIO, PRINCIPIO DI LE CHATELIER E CALCOLO DELLA POSIZIONE DI EQUILIBRIO.

Le soluzioni sono presenti nell'ultima pagina.

### Esercizi

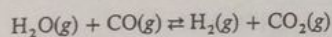
#### Caratteristiche dell'equilibrio chimico

Caratterizzare un sistema all'equilibrio chimico rispetto a:

- le velocità delle reazioni diretta ed inversa
- la composizione totale della miscela di reazione.

La seguente asserzione è vera o falsa? «Reazioni con costanti di equilibrio elevate sono molto veloci.» Giustificate la risposta.

Considerate la seguente reazione:



Quantità di  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$  e  $\text{CO}_2$  vengono poste in un pallone in modo che la composizione corrisponda ad una posizione di

equilibrio. Se  $\text{CO}$  posto nel pallone è marcato con  $^{14}\text{C}$  radioattivo, pensate che  $^{14}\text{C}$  sarà presente soltanto nella molecola di  $\text{CO}$  per un periodo di tempo indefinito? Motivare la risposta.

Considerate la stessa reazione dell'esercizio 3. In un esperimento, 1,0 mole di  $\text{H}_2\text{O}(g)$  e 1,0 mole di  $\text{CO}(g)$  vengono poste in un pallone e riscaldate a  $350^\circ\text{C}$ . In un secondo esperimento 1,0 mole di  $\text{H}_2(g)$  e 1,0 mole di  $\text{CO}_2(g)$  vengono poste in un altro pallone con lo stesso volume del primo. Anche questa miscela viene riscaldata a  $350^\circ\text{C}$ . Dopo che si è raggiunto l'equilibrio, vi sarà qualche differenza nella composizione delle miscele nei due palloni?

#### Costante di equilibrio

Distinguate tra i termini costante di equilibrio e posizione di equilibrio.

Distinguate tra i termini costante di equilibrio e quoziente di reazione.

Scrivere l'espressione di equilibrio (per  $K$ ) per ciascuna delle

seguenti reazioni in fase gassosa che avvengono nell'atmosfera.

- $\text{NO}(g) + \text{O}_3(g) \rightleftharpoons \text{NO}_2(g) + \text{O}_2(g)$
- $\text{O}_3(g) \rightleftharpoons \text{O}_2(g) + \text{O}(g)$
- $\text{Cl}(g) + \text{O}_3(g) \rightleftharpoons \text{ClO}(g) + \text{O}_2(g)$
- $2\text{O}_3 \rightleftharpoons 3\text{O}_2(g)$

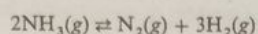
8. Scrivere l'espressione di equilibrio (per  $K_p$ ) per ciascuna delle reazioni dell'esercizio 7.

9. Per quali delle reazioni dell'esercizio 7  $K_p$  è uguale a  $K$ ?

10. Nella chimica dell'atmosfera, le concentrazioni di sostanze in tracce sono di solito espresse in unità molecole/cm<sup>3</sup>. Qui di seguito sono riportati i dati per alcune reazioni in fase gassosa a 300 K (dalla pubblicazione NASA, *Chemical Kinetics and Photochemical Data for Use in Atmospheric Modeling*, Evaluation Number 5).  $K^*$  indica l'uso di concentrazioni espresse in molecole/cm<sup>3</sup>. Calcolare  $K$  e  $K_p$  per ciascuna reazione.

- $\text{HO}_2(g) + \text{NO}_2(g) \rightleftharpoons \text{HO}_2\text{NO}_2(g)$   $K^* = 1,26 \times 10^{-11}$
- $\text{CH}_3\text{O}_2(g) + \text{NO}_2(g) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{O}_2\text{NO}_2(g)$   $K^* = 2,09 \times 10^{-12}$

11. A 127 °C,  $K = 2,6 \times 10^{-5}$  mol<sup>2</sup>/l<sup>2</sup>, per la reazione



Calcolate  $K_p$  a questa temperatura.

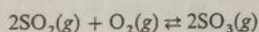
12. Scrivere le espressioni di  $K$  per le seguenti reazioni:

- $\text{P}_4(s) + 5\text{O}_2(g) \rightleftharpoons \text{P}_4\text{O}_{10}(s)$
- $\text{NH}_4\text{NO}_3(s) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}(g) + 2\text{H}_2\text{O}(g)$
- $\text{CO}_2(g) + \text{NaOH}(s) \rightleftharpoons \text{NaHCO}_3(s)$
- $\text{S}_8(s) + 8\text{O}_2(g) \rightleftharpoons 8\text{SO}_2(g)$

13. Scrivere le espressioni di  $K_p$  per le seguenti reazioni:

- $2\text{Fe}(s) + \frac{3}{2}\text{O}_2(g) \rightleftharpoons \text{Fe}_2\text{O}_3(s)$
- $\text{CO}_2(g) + \text{MgO}(s) \rightleftharpoons \text{MgCO}_3(s)$
- $\text{C}(s) + \text{H}_2\text{O}(g) \rightleftharpoons \text{CO}(g) + \text{H}_2(g)$
- $4\text{KOC}_2\text{O}_2(s) + 2\text{H}_2\text{O}(g) \rightleftharpoons 4\text{KOH}(s) + 3\text{O}_2(g)$

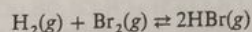
14. Ad una data temperatura, per la reazione



$K = 278$ . Calcolate valori di  $K$ , alla stessa temperatura, per ciascuna delle seguenti reazioni:

- $\text{SO}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g) \rightleftharpoons \text{SO}_3(g)$
- $\text{SO}_3(g) \rightleftharpoons \text{SO}_2(g) + \frac{1}{2}\text{O}_2(g)$
- $2\text{SO}_3(g) \rightleftharpoons 2\text{SO}_2(g) + \text{O}_2(g)$
- $4\text{SO}_2(g) + 2\text{O}_2(g) \rightleftharpoons 4\text{SO}_3(g)$

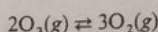
15. Per la reazione



$K_p = 3,5 \times 10^4$  a 1495 K. Qual'è il valore di  $K_p$  a 1495 K per le seguenti reazioni?

- $\text{HBr}(g) \rightleftharpoons \frac{1}{2}\text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{Br}_2(g)$
- $2\text{HBr}(g) \rightleftharpoons \text{H}_2(g) + \text{Br}_2(g)$
- $\frac{1}{2}\text{H}_2(g) + \frac{1}{2}\text{Br}_2(g) \rightleftharpoons \text{HBr}(g)$

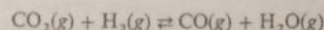
16. Scrivere l'espressione di  $K_p$  per la reazione



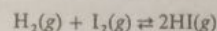
Quale è la relazione tra  $K_p$  di ciascuna delle seguenti reazioni e  $K_p$  della reazione precedente?

- $\text{O}_3(g) \rightleftharpoons \frac{3}{2}\text{O}_2(g)$
- $3\text{O}_2(g) \rightleftharpoons 2\text{O}_3(g)$

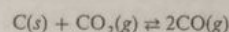
17. A 427 °C un pallone di 1,0 l contiene 20,0 moli di H<sub>2</sub>, 18,0 moli di CO<sub>2</sub>, 12,0 moli di H<sub>2</sub>O e 5,9 moli di CO in equilibrio. Calcolare  $K$  per la reazione



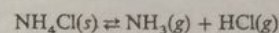
18. Ad una particolare temperatura, un pallone di 3,0 l contiene 3,5 moli di HI, 4,1 moli di H<sub>2</sub> e 0,3 moli di I<sub>2</sub> in equilibrio. Calcolate  $K$  a questa temperatura per la reazione



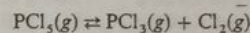
19. Una miscela di equilibrio contiene 0,60 g di carbonio solido e i gas biossido di carbonio e monossido di carbonio, alle pressioni parziali di 2,9 atm e 2,6 atm, rispettivamente. Calcolate  $K_p$  per la reazione



20. Un campione di cloruro di ammonio solido è stato posto in un contenitore in cui è stato fatto il vuoto ed è stato riscaldato con decomposizione ed ammoniacca e acido cloridrico gassosi. Si è riscontrato che, dopo riscaldamento, la pressione totale nel contenitore era 4,4 atm. Calcolare  $K_p$  a questa temperatura per la reazione di decomposizione

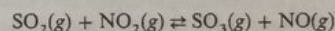


21. Un campione di PCl<sub>5</sub> gassoso è stato introdotto in un pallone in cui è stato fatto il vuoto, in modo che la pressione di PCl<sub>5</sub> puro doveva essere 0,5 atm a 523 K. Tuttavia, PCl<sub>5</sub> si decompone a PCl<sub>3</sub> e Cl<sub>2</sub> gassosi e si è riscontrato che la pressione reale nel pallone era 0,84 atm. Calcolare  $K_p$  per la reazione di decomposizione



a 523 K. Calcolare  $K$  a questa temperatura.

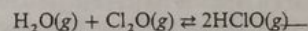
22. Un pallone è stato riempito con 2,0 moli di SO<sub>2</sub> gassoso e 2,0 moli di NO<sub>2</sub> gassoso, e poi riscaldato. Dopo che l'equilibrio è stato raggiunto, si è riscontrato che erano presenti 1,3 moli di NO gassoso. Assumete che in queste condizioni avvenga la reazione



Calcolate il valore della costante di equilibrio per questa reazione.

### Calcoli di equilibrio

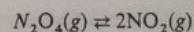
23. A 25 °C, la costante di equilibrio per la reazione



è 0,0900. Per quale dei seguenti insiemi di condizioni il sistema è all'equilibrio? Per quelli che non sono in equilibrio, in quale direzione si sposterà il sistema?

- $P_{\text{H}_2\text{O}} = 200$  torr,  $P_{\text{Cl}_2\text{O}} = 49,8$  torr,  $P_{\text{HClO}} = 21,0$  torr
- $P_{\text{H}_2\text{O}} = 296$  torr,  $P_{\text{Cl}_2\text{O}} = 15,0$  torr,  $P_{\text{HClO}} = 20,0$  torr
- Un pallone di 2,0 l contiene 0,084 moli di HClO, 0,080 moli di Cl<sub>2</sub>O, e 0,98 moli di H<sub>2</sub>O.
- Un pallone di 3,0 l contiene 0,25 moli di HClO, 0,0010 moli di Cl<sub>2</sub>O, e 0,56 moli di H<sub>2</sub>O.

24. Ad una particolare temperatura, per la reazione

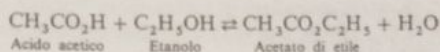


$K_p = 0,133$  atm. Quali delle seguenti condizioni corrisponde a posizioni di equilibrio?

- $P_{\text{NO}_2} = 0,144$  atm,  $P_{\text{N}_2\text{O}_4} = 0,156$  atm
- $P_{\text{NO}_2} = 0,175$  atm,  $P_{\text{N}_2\text{O}_4} = 0,102$  atm

- c.  $P_{\text{NO}_2} = 0,056 \text{ atm}$ ,  $P_{\text{N}_2\text{O}_4} = 0,048 \text{ atm}$   
 d.  $P_{\text{NO}_2} = 0,064 \text{ atm}$ ,  $P_{\text{N}_2\text{O}_4} = 0,0308 \text{ atm}$

25. L'acetato di etile viene sintetizzato, in un solvente inerte (non acqua), secondo la seguente reazione:



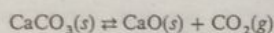
$$K = 2,2$$

Quali delle seguenti miscele sono in equilibrio?

- a.  $[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{C}_2\text{H}_5] = 0,22 \text{ M}$ ,  $[\text{H}_2\text{O}] = 0,10 \text{ M}$   
 $[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}] = 0,010 \text{ M}$ ,  $[\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}] = 0,010 \text{ M}$   
 b.  $[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{C}_2\text{H}_5] = 0,22 \text{ M}$ ,  $[\text{H}_2\text{O}] = 0,0020 \text{ M}$   
 $[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}] = 0,0020 \text{ M}$ ,  $[\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}] = 0,10 \text{ M}$   
 c.  $[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{C}_2\text{H}_5] = 0,88 \text{ M}$ ,  $[\text{H}_2\text{O}] = 0,12 \text{ M}$   
 $[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}] = 0,044 \text{ M}$ ,  $[\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}] = 6,0 \text{ M}$   
 d.  $[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{C}_2\text{H}_5] = 4,4 \text{ M}$ ,  $[\text{H}_2\text{O}] = 4,4 \text{ M}$   
 $[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}] = 0,88 \text{ M}$ ,  $[\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}] = 10,0 \text{ M}$

26. Per la reazione dell'esercizio 25, quale deve essere la concentrazione dell'acqua in una miscela con  $[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{C}_2\text{H}_5] = 2,0 \text{ M}$ ,  $[\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}] = 0,10 \text{ M}$ ,  $[\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}] = 5,0 \text{ M}$  perché sia all'equilibrio? Perché l'acqua viene inclusa nella espressione di equilibrio della reazione?

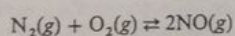
27. A  $900^\circ\text{C}$ ,  $K_p$  per la reazione:



è  $1,04 \text{ atm}$ . A bassa temperatura, il ghiaccio secco ( $\text{CO}_2$  solida), ossido di calcio e carbonato di calcio sono introdotti in una camera di reazione di  $50,0 \text{ l}$ . La temperatura viene innalzata a  $900^\circ\text{C}$ . Per le seguenti miscele, la quantità iniziale di ossido di calcio aumenterà, diminuirà o rimarrà costante quando il sistema si sposta verso l'equilibrio?

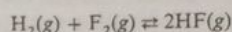
- a.  $655 \text{ g}$  di  $\text{CaCO}_3$ ,  $95,0 \text{ g}$  di  $\text{CaO}$ ,  $58,4 \text{ g}$  di  $\text{CO}_2$   
 b.  $780 \text{ g}$  di  $\text{CaCO}_3$ ,  $1,00 \text{ g}$  di  $\text{CaO}$ ,  $23,76 \text{ g}$  di  $\text{CO}_2$   
 c.  $0,14 \text{ g}$  di  $\text{CaCO}_3$ ,  $5000 \text{ g}$  di  $\text{CaO}$ ,  $23,76 \text{ g}$  di  $\text{CO}_2$   
 d.  $715 \text{ g}$  di  $\text{CaCO}_3$ ,  $813 \text{ g}$  di  $\text{CaO}$ ,  $4,82 \text{ g}$  di  $\text{CO}_2$

30. A  $2200^\circ\text{C}$ , per la reazione



$K = 0,050$ . Qual'è la pressione parziale di  $\text{NO}$  in equilibrio con  $\text{N}_2$  ed  $\text{O}_2$  con pressioni parziali, rispettivamente,  $0,80 \text{ atm}$  e  $0,20 \text{ atm}$ ?

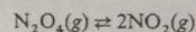
33. Ad una particolare temperatura, per la reazione



$$K = 1,0 \times 10^2.$$

- a. In un esperimento,  $2,0$  moli di  $\text{H}_2$  e  $2,0$  moli di  $\text{F}_2$  vengono introdotti in un pallone da  $1,00 \text{ l}$ . Calcolare la concentrazione di tutte le specie quando si raggiunge l'equilibrio.  
 b. Alla miscela in equilibrio della parte a, vengono aggiunte altre  $0,5$  moli di  $\text{H}_2$ . Calcolare le nuove concentrazioni di equilibrio di  $\text{H}_2$ ,  $\text{F}_2$ , ed  $\text{HF}$ .

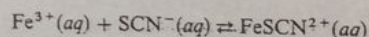
34. Per la reazione



$K_p = 0,25 \text{ atm}$  ad una certa temperatura. Quali sono le pressioni parziali di equilibrio di  $\text{NO}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}_4$  per ciascuna delle seguenti condizioni iniziali?

- a.  $\text{NO}_2$  puro ad una pressione di  $0,050 \text{ atm}$   
 b.  $\text{N}_2\text{O}_4$  puro ad una pressione di  $0,040 \text{ atm}$   
 c. una miscela con  $P_{\text{N}_2\text{O}_4} = P_{\text{NO}_2} = 1,0 \text{ atm}$ .

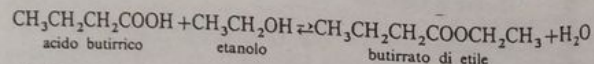
35. Ad una certa temperatura, per la reazione



$K = 1,1 \times 10^3 \text{ l/mol}$ . Calcolare le concentrazioni di  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{SCN}^-$  e  $\text{FeSCN}^{2+}$  se  $0,1$  moli di  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  vengono aggiunte a  $1,0 \text{ l}$  di  $\text{KSCN}$   $2,0 \text{ M}$ .

### Principio di Le Chatelier

36. La fragranza di molte sostanze naturali è dovuta alla presenza di composti organici chiamati esteri. Per esempio, l'estere butirrato di etile ha il profumo di ananas. Il butirrato di etile può essere preparato con la seguente reazione:

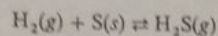


L'acido butirrico ha un odore sgradevole. Se voi doveste scegliere un solvente per preparare il butirrato di etile, quale dei seguenti solventi costituirebbe la scelta migliore: acqua, etanolo al 95% (5% di acqua), etanolo al 100%, o acetonitrile ( $\text{CH}_3\text{CN}$ , solvente inerte)?

37. Variando la pressione in un recipiente di reazione mediante cambiamento del suo volume, la posizione di un equilibrio in fase gassosa può spostarsi, mentre variando la pressione con aggiunta di un gas inerte ciò non avviene. Perché?

38. Come sarà influenzata la posizione di equilibrio di una reazione in

52. A 90 °C la costante di equilibrio per la reazione



è  $6,8 \times 10^{-2}$ . Se 0,15 moli di idrogeno ed 1,0 mole di zolfo vengono riscaldate in un recipiente di 1,0 l, quale sarà la pressione parziale di  $\text{H}_2\text{S}$  all'equilibrio?

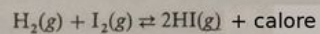
53. Ad una certa temperatura, la costante di equilibrio per la reazione, in fase gassosa, tra il monossido di carbonio e l'ossigeno per produrre biossido di carbonio è  $5,0 \times 10^3 \text{ l/mol}$ . Calcolate le concentrazioni di tutte le specie all'equilibrio se 2,0 moli ciascuna di  $\text{CO}$  e  $\text{O}_2$  vengono poste in un recipiente di 5,0 l e lasciate raggiungere l'equilibrio.

d. La temperatura viene diminuita.

e.

f. Viene rimosso biossido di zolfo gassoso.

42. In quale direzione si sposterà la posizione dell'equilibrio



per ciascuna delle seguenti variazioni?

a. Viene aggiunto  $\text{H}_2(\text{g})$ .

b. Viene rimosso  $\text{I}_2(\text{g})$ .

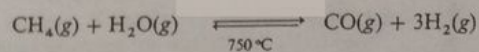
c. Viene rimosso  $\text{HI}(\text{g})$ .

d. Viene aggiunto un poco di  $\text{Ar}(\text{g})$ .

e. Viene raddoppiato il volume del contenitore.

f. Viene aumentata la temperatura.

56. L'idrogeno, per uso nella produzione di ammoniaca, è prodotto con la reazione



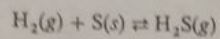
Cosa accadrà alla miscela all'equilibrio se:

a.  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  viene rimosso,

c. viene aggiunto un gas inerte,

d.  $\text{CO}(\text{g})$  viene rimosso,

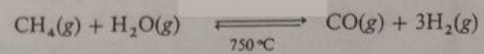
52. A 90°C la costante di equilibrio per la reazione



è  $6,8 \times 10^{-2}$ . Se 0,15 moli di idrogeno ed 1,0 mole di zolfo vengono riscaldate in un recipiente di 1,0 l, quale sarà la pressione parziale di  $\text{H}_2\text{S}$  all'equilibrio?

53. Ad una certa temperatura, la costante di equilibrio per la reazione, in fase gassosa, tra il monossido di carbonio e l'ossigeno per produrre biossido di carbonio è  $5,0 \times 10^3 \text{ l/mol}$ . Calcolate le concentrazioni di tutte le specie all'equilibrio se 2,0 moli ciascuna di  $\text{CO}$  e  $\text{O}_2$  vengono poste in un recipiente di 5,0 l e lasciate raggiungere l'equilibrio.

56. L'idrogeno, per uso nella produzione di ammoniaca, è prodotto con la reazione



Cosa accadrà alla miscela all'equilibrio se:

a.  $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$  viene rimossa,

c. viene aggiunto un gas inerte,

d.  $\text{CO}(\text{g})$  viene rimosso,

## SOLUZIONI

### Capitolo 13

1. (a) Le velocità delle reazioni diretta ed inversa sono uguali. (b) Non vi è variazione netta di composizione. 2. Falso. 3. No, l'equilibrio è un processo dinamico. Avvengono entrambe le reazioni  $\text{H}_2\text{O} + \text{CO} \rightarrow \text{H}_2 + \text{CO}_2$  e  $\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}$ . Quindi l'atomo di  $^{14}\text{C}$  sarà distribuito tra  $\text{CO}$  e  $\text{CO}_2$ . 4. Entrambe le miscele daranno la stessa posizione di equilibrio. 5. La costante di equilibrio è un numero che mostra le concentrazioni (pressioni) relative dei reagenti e dei prodotti all'equilibrio. Una posizione di equilibrio è un insieme di concentrazioni che soddisfano l'espressione della costante di equilibrio; sono possibili più posizioni di equilibrio. 6. L'espressione della costante di equilibrio ed il quoziente di reazione hanno la stessa forma. Per  $K_{\text{eq}}$  usiamo le concentrazioni di equilibrio, mentre nell'espressione del quoziente di reazione può essere posto qualunque insieme di concentrazioni. 7. (a)  $K = \frac{[\text{NO}_2][\text{O}_2]}{[\text{NO}][\text{O}_3]}$ ; (b)

$$K = \frac{[\text{O}_2][\text{O}]}{[\text{O}_3]}; \text{ (c) } K = \frac{[\text{ClO}][\text{O}_2]}{[\text{Cl}][\text{O}_3]}; \text{ (d) } K = \frac{[\text{O}_2]^3}{[\text{O}_3]^2}$$

$$8. \text{ (a) } K_p = \frac{P_{\text{NO}_2} P_{\text{O}_2}}{P_{\text{NO}} P_{\text{O}_3}}; \text{ (b) } K = \frac{P_{\text{O}_2} P_{\text{O}}}{P_{\text{O}_3}}; \text{ (c) } \frac{P_{\text{ClO}} P_{\text{O}_2}}{P_{\text{Cl}} P_{\text{O}_3}}; \text{ (d) } K = \frac{P_{\text{O}_2}^3}{P_{\text{O}_3}^2} \quad 9. \text{ a e c.}$$

10. (a)  $K_p = 7,59 \times 10^9 \text{ l/mol}$ ;  $K_p = 3,08 \times 10^8 \text{ atm}^{-1}$ . (b)  $K = 1,26 \times 10^9 \text{ l/mol}$ ;  $K_p = 5,11 \times 10^7 \text{ atm}^{-1}$ . 14. (a) 16,7. (b)  $3,60 \times 10^{-3}$ . (c)  $6,00 \times 10^{-2}$ . (d)  $7,73 \times 10^4$ . 16.  $2\text{O}_3(\text{g}) \rightleftharpoons 3\text{O}_2(\text{g})$ ;

$$K_p = \frac{P_{\text{O}_2}^3}{P_{\text{O}_3}^2}; \text{ (a) } K_p = (K_p)^{1/2}; \text{ (b) } K_p = 1/K_p. \quad 17. K = 0,20.$$

19.  $K_p = 2,3 \text{ atm}$ . 20.  $K_p = 4,8 \text{ atm}^2$ . 22.  $K = 3,4$ . 23. (a) A destra. (b) All'equilibrio. (c) All'equilibrio. (d) A sinistra. 24. (a) All'equilibrio. (b)  $Q = 0,300$ . (c)  $Q = 0,065$ . (d) All'equilibrio. 27. A questa temperatura tutta la  $\text{CO}_2$  sarà in fase gassosa. (a) La reazione deve spostarsi verso sinistra; la massa di  $\text{CaO}$  diminuirà. (b) All'equilibrio; la massa di  $\text{CaO}$  non cambierà. (c) All'equilibrio; la massa di  $\text{CaO}$  non cambierà. (d) La reazione si sposterà verso destra; la massa di  $\text{CaO}$  aumenterà. 28. (a)  $[\text{HClO}] = 9,2 \times 10^{-3} \text{ M}$ ;  $[\text{H}_2\text{O}] = 5,1 \times 10^{-2} \text{ M}$ ;  $[\text{Cl}_2\text{O}] = 1,8 \times 10^{-2} \text{ M}$ ; (b)  $[\text{H}_2\text{O}] = [\text{Cl}_2\text{O}] = 0,22 \text{ M}$ ;  $[\text{HClO}] = 0,065 \text{ M}$ . 29. (a)  $[\text{I}_3^-]/[\text{I}_2] = 71$ . (b)  $[\text{I}_3^-]/[\text{I}_2] = 1,0 \times 10^3$ . (c)  $[\text{I}_3^-]/[\text{I}_2] = 3,5 \times 10^3$ . 31. (a)  $[\text{NO}] = 0,032 \text{ M}$ ;  $[\text{Cl}_2] = 0,016 \text{ M}$ ;  $[\text{NOCl}] = 0,97 \text{ M}$ . (b)  $[\text{NO}] = 0,050 \text{ M}$ ;  $[\text{Cl}_2] = 0,025 \text{ M}$ ;  $[\text{NOCl}] = 2,0 \text{ M}$ . (c)  $[\text{Cl}_2] = 1,6 \times 10^{-5} \text{ M}$ ;  $[\text{NOCl}] = [\text{NO}] = 1,0 \text{ M}$ . 32.  $P_{\text{SO}_3} = 0,12 \text{ atm}$ ;  $P_{\text{SO}_2} = 0,38 \text{ atm}$ ;  $P_{\text{O}_2} = 0,44 \text{ atm}$ . 34. (a)  $P_{\text{N}_2\text{O}_4} = 5,9 \times 10^{-3} \text{ atm}$ ;  $P_{\text{NO}_2} = 3,8 \times 10^{-2} \text{ atm}$ . (b)  $P_{\text{N}_2\text{O}_4} = 0,012 \text{ atm}$ ;  $P_{\text{NO}_2} = 0,56 \text{ atm}$ . (c)  $P_{\text{N}_2\text{O}_4} = 1,2 \text{ atm}$ ;  $P_{\text{NO}_2} = 0,56 \text{ atm}$ . 35.  $[\text{Fe}^{3+}] = 4,8 \times 10^{-5} \text{ M}$ ;  $[\text{FeSCN}^{2+}] = 0,10 \text{ M}$ ;  $[\text{SCN}^-] = 1,9 \text{ M}$ . 36. Nella scelta del solvente, possiamo fare due cose: innanzitutto dobbiamo evitare acqua; se aggiungiamo nel solvente altra acqua, l'equilibrio tende a spostarsi verso sinistra e questo elimina l'acqua e l'etanolo al 95%. Dei due solventi restanti, l'acetone non prenderà parte alla reazione, mentre l'etanolo è un reagente. Se usiamo etanolo come solvente, esso sposterà l'equilibrio verso destra, riducendo perciò la concentrazione dell'acido butirrico al minimo. Quindi il miglior solvente è l'etanolo al 100%. 37.

Quando variamo la pressione con aggiunta di un gas inerte, non cambiamo la pressione parziale di nessuna delle sostanze in equilibrio; in questo caso l'equilibrio non si sposterà. Se variamo la pressione variando il volume, cambieremo la pressione parziale di tutte le sostanze in equilibrio di uno stesso fattore. Se vi sono numeri diversi di particelle gassose nei due membri della reazione, l'equilibrio si sposterà. 39. (a) Destra. (b) Destra. (c) Nessun effetto. (d) Sinistra. 41. (a) Aumenta. (b) Aumenta. (c) Non varia. (d) Aumenta. (e) Non varia. (f) Diminuisce. 43. Bassa. 44. La velocità della reazione non catalizzata è troppo bassa per essere utile. 46. Il catalizzatore riduce le energie di attivazione sia per la reazione diretta che per quella inversa. 49. (a)  $3 \times 10^3 \text{ molecole/cm}^3$ . (b) Vi è, nell'atmosfera, più NO di quanto ci aspetteremo dal valore di  $K$ . La risposta è nelle velocità delle reazioni: a  $25^\circ\text{C}$  le velocità di entrambe le reazioni  $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}$  e  $2\text{NO} \rightarrow \text{N}_2 + \text{O}_2$ , sono essenzialmente zero. Devono rompersi legami molto forti; l'energia di attivazione è molto alta. L'ossido di azoto si produce in ambienti ad alta energia o alta temperatura. In natura un po' di NO si produce con i fulmini; la fonte primaria prodotta dall'uomo deriva dalle automobili. La produzione di NO è endotermica ( $\Delta H_f^\circ = +90 \text{ kJ/mol}$ ). Alle elevate temperature dei motori delle macchine,  $K$  aumenterà: la velocità di reazione aumenta, sicché si produce NO. Una volta che NO entra nell'atmosfera, non si decompone a  $\text{N}_2$  e  $\text{O}_2$  a causa della bassa velocità. 50. (a)  $K = 4 \times 10^3$ ; (b)  $K = 8 \times 10^{-2}$ . 52.  $P_{\text{H}_2\text{S}} = 0,28 \text{ atm}$ . 55. (a)  $K_p = 134 \text{ atm}^{-1}$ . (b)  $P_{\text{NO}} = 0,052 \text{ atm}$ ;  $P_{\text{Br}_2} = 0,18 \text{ atm}$ ;  $P_{\text{NOBr}} = 0,25 \text{ atm}$ .