

1. ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРВОГО НАЧАЛА ТЕРМОДИНАМИКИ К ПРОЦЕССАМ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Задание I. Решить задачи.

1. Какое количество теплоты потребуется для нагревания 1 м^3 воздуха от 0 до $10 \text{ }^\circ\text{C}$ при постоянном давлении $P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$? Плотность воздуха при нормальных условиях $1,29 \text{ кг/м}^3$, удельная теплоемкость при постоянном давлении $C_p = 1,01 \text{ Дж/(г} \cdot \text{К)}$.

2. Определить количество теплоты, необходимое для нагревания 5 г азота от 15 до $25 \text{ }^\circ\text{C}$ при постоянном объеме.

3. Газ, расширяясь от $0,01$ до $0,016 \text{ м}^3$ при постоянном давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$, поглощает 126 Дж теплоты. Определить изменение внутренней энергии.

4. Смешано $4,03 \text{ г}$ водорода и 32 г кислорода. Их удельные теплоемкости C_p соответственно равны $14,3$ и $0,912 \text{ Дж/(г} \cdot \text{К)}$. Определить потерю теплоты при охлаждении этой смеси на $20 \text{ }^\circ\text{C}$ при постоянном объеме.

5. Определить количество теплоты, которое необходимо для нагревания при $V = \text{const}$ 25 г кислорода, находящегося при $350 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении 1013 гПа при возрастании давления до 5065 гПа .

6. $0,005 \text{ м}^3$ криптона, находящегося при нормальных условиях нагревают до $600 \text{ }^\circ\text{C}$ при постоянном объеме. Каковы конечное давление газа и количество теплоты, затраченной на нагревание?

7. В резервуаре вместимостью $0,05 \text{ м}^3$ при $10 \text{ }^\circ\text{C}$ и избыточном давлении 5065 гПа содержится азот. Определить максимальное количество теплоты, которое можно сообщить газу, если стенки резервуара выдерживают давление, не превышающее 20260 гПа .

8. Вычислить работу, совершаемую при расширении газовой системы на $0,005 \text{ м}^3$ при постоянном давлении 1013 гПа .

9. Какое количество работы будет совершено 1 кг CO_2 при повышении его температуры на $200 \text{ }^\circ\text{C}$ при постоянном давлении?

10. При постоянном давлении $9,56 \cdot 10^4$ Па нагревают 5 м^3 азота. Определить совершенную работу, если газ расширился до 8 м^3 .

11. Какое количество теплоты потребуется, чтобы нагреть 10 г паров ртути на $10 \text{ }^\circ\text{C}$ при постоянном давлении? (Пары ртути одноатомны.)

12. В цилиндрическом сосуде, закрытом невесомым поршнем, 1 м^3 водорода находится при $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Внешнее давление $9,72 \cdot 10^4$ Па. Какое количество теплоты потребуется на нагревание водорода до $300 \text{ }^\circ\text{C}$.

13. При начальных давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па, объеме $0,05 \text{ м}^3$ и постоянной температуре $15 \text{ }^\circ\text{C}$ воздух расширился до $0,1 \text{ м}^3$. Определить работу, совершенную газом, и его конечное давление.

14. Найти изменение внутренней энергии при испарении $0,2 \text{ кг}$ этанола при температуре его кипения под давлением $1,013 \cdot 10^5$ Па. Теплота парообразования спирта при температуре кипения равна $857,7 \text{ Дж/г}$, а удельный объем пара равен $0,607 \text{ м}^3/\text{кг}$. Объемом жидкости пренебречь.

15. Найти изменение внутренней энергии гелия, изобарно расширяющегося от $0,005$ до $0,01 \text{ м}^3$ под давлением $1,96 \cdot 10^5$ Па.

16. Вычислить работу расширения при нагревании 2 г воздуха от 0 до $1 \text{ }^\circ\text{C}$ при давлении 1013 гПа . Плотность воздуха при нормальных условиях $1,29 \text{ кг/м}^3$.

17. Определить количество теплоты и работы при расширении азота от $0,5$ до 4 м^3 при $26,8 \text{ }^\circ\text{C}$ и 932 гПа .

18. При $25 \text{ }^\circ\text{C}$ и 1013 гПа в сосуде находится 1 кг азота. Вычислить Q , ΔU и W при изохорном увеличении давления до 2026 гПа и при изобарном расширении до трехкратного объема.

19. Вычислить работу расширения, если 100 г водорода при $50 \text{ }^\circ\text{C}$ расширяются от объема $0,04$ до $0,2 \text{ м}^3$.

20. При $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 6 г кислорода занимают объем $0,004 \text{ м}^3$. Вычислить работу при изотермном расширении до объема $0,0045 \text{ м}^3$.

21. Определить работу, необходимую для изотермного сжатия 1 кмоль диоксида углерода от $1,02 \cdot 10^5$ до $35,70 \cdot 10^5$ Па при $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

22. Какое количество теплоты выделится при изотермном сжатии $0,015 \text{ м}^3$ идеального газа при $36,8 \text{ }^\circ\text{C}$ и начальном давлении 1013 гПа , если его объем уменьшится в 5 раз?

23. При $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и начальном давлении 5065 гПа $0,002\text{ м}^3$ азота расширяются изотермно до давления 1013 гПа . Вычислить работу и количество поглощенной теплоты.

24. Определить изменение внутренней энергии при испарении 20 г этанола при температуре кипения, если удельная теплота испарения равна $857,7\text{ Дж/г}$, а удельный объем пара при температуре кипения $607\text{ см}^3/\text{г}$. Объемом жидкости пренебречь.

25. Определить работу адиабатного сжатия 1 моль двухатомного идеального газа при повышении температуры от 15 до $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

26. При начальных условиях $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $10,13 \cdot 10^5\text{ Па}$ 8 г кислорода расширяются адиабатно до давления $1,013 \cdot 10^5\text{ Па}$. Вычислить конечную температуру и работу, совершенную кислородом.

27. Определить температуру и работу при адиабатном сжатии $0,01\text{ м}^3$ азота до $1/10$ его первоначального объема, если начальная температура $26,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давление 1013 гПа .

28. Вычислить работу адиабатного расширения 1 моль одноатомного идеального газа при понижении температуры от 100 до $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Начальное давление $10,13 \cdot 10^5\text{ Па}$, конечное $2,026 \cdot 10^5\text{ Па}$.

29. В цилиндре при $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 1013 гПа находится гремучая смесь. При изменении объема от $3,77 \cdot 10^{-4}$ до $0,302 \cdot 10^{-4}\text{ м}^3$ произошел взрыв. Определить температуру и давление в момент взрыва, если сжатие происходит без обмена теплоты с окружающей средой.

30. При $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ 10 г кислорода сжимаются адиабатно от $0,008$ до $0,005\text{ м}^3$. Определить конечную температуру, затраченную на работу, изменение внутренней энергии и энтальпии.

2. ТЕПЛОЕМКОСТЬ

Задание II. Рассчитать тепловые характеристики веществ.

31. Зависимость молярной энтальпии диоксида олова от температуры в интервале температур от 298 до 1500 К выражают уравнением

$$H_T - H_{298} = 73,89T + 5,021 \cdot 10^{-3} T^2 + \frac{21,59 \cdot 10^5}{T} \text{ Дж/моль} .$$

Получить уравнение зависимости истинной молярной теплоемкости при $P = \text{const}$ от температуры. Вычислить C_p при 773 К и результат сравнить со значением $C_p = 71,077$ Дж/(моль·К).

32. Зависимость истинной молярной теплоемкости от температуры для сульфида серебра в интервале температур от 298 до 452 К можно выразить уравнением

$$C_p = 42,38 + 110,46 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$$

Рассчитать среднюю теплоемкость в указанном интервале температур.

33. Средняя молярная теплоемкость твердого гидроксида натрия в интервале температур от 298 до 595 К составляет 80,32 Дж/(моль·К) и жидкого гидроксида натрия в интервале температур от 595 до 900 К соответственно 85,35 Дж/(моль·К).

Определить количество теплоты, поглощенное при изобарном нагревании 1 кг гидроксида натрия от 298 до 700 К, если теплота плавления равна 8383 Дж/моль и температура плавления 595 К.

34. Зависимость молярной теплоемкости фосфата кальция $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ от температуры выражается уравнением

$$C_p = 203,3 + 170,1 \cdot 10^{-3} T - 26,11 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$$

в интервале температур от 273 до 1373 К. Найти изменение энтальпии при нагревании этого вещества от 600 до 900 К.

35. Рассчитать молярную теплоемкость C_p хлорида никеля при температуре 25 °С пользуясь правилом Дюлонга и Пти в сочетании с правилом аддитивности (правило Нейманна и Коппа). Зависимость экспериментальной молярной теплоемкости хлорида никеля от температуры приближенно выражается уравнением

$$C_p = 54,81 + 54,81 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$$

Вычислить расхождение между расчетной и опытной теплоемкостями хлорида никеля.

36. Зависимость молярной теплоемкости газообразной двухатомной серы от температуры можно выразить уравнением

$$C_p = 36,108 + 1,506 \cdot 10^{-3} T - 3,515 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$$

в интервале температур 273-2000 К. Получить выражение для зависимости энтальпии от температуры для 1 моль газа в этом интервале температур (принять $T = 273$ К). Рассчитать изменение энтальпии при нагревании 1 моль газообразной серы от 273 до 1000 К.

37. Рассчитать изменение энтальпии азота при охлаждении 1 м^3 дымовых газов от 230 до 15 °С. Содержание азота в дымовых газах 80 % (по объему). Зависимость истинной молярной теплоемкости азота от температуры

$$C_p = 27,2 + 0,00418T \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

38. Истинная молярная теплоемкость меди выражается уравнением

$$C_p = 22,64 + 6,28 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

Удельная теплота плавления меди равна 179,9 Дж/г. Какое количество теплоты выделится при затвердевании 1 кг расплавленной меди и охлаждении ее от температуры плавления 1065 до 15 °С?

39. Истинная удельная теплоемкость твердой меди может быть рассчитана по уравнению

$$C_p = 0,3563 + 9,88 \cdot 10^{-5} T \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{К}).$$

Медь плавится при 1065 °С, теплота плавления равна 179,9 Дж/г. К 1 кг меди, взятому при 15 °С, подведено 541 кДж теплоты. Какое количество меди расплавилось?

40. Истинная удельная теплоемкость свинца может быть рассчитана по уравнению

$$C_p = 0,3563 + 9,88 \cdot 10^{-5} T \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{К}).$$

Температура плавления свинца 326 °С. Какое количество теплоты необходимо подвести, чтобы расплавить 1 кг металла, взятого при 17 °С?

41. Истинная молярная теплоемкость водяного пара может быть выражена уравнением

$$C_p = 28,83 + 13,74 \cdot 10^{-3} T - 1,435 \cdot 10^{-6} T^2 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

Какое количество теплоты выделится при охлаждении 90 г пара от 307 до 100 °С при постоянном давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па?

42. Проверить правило Дюлонга и Пти для меди, цинка и кадмия при 17 °С. Даны истинные удельные теплоемкости при постоянном давлении:

$$\text{для Cu } C_p = 0,3849 + 8,891 \cdot 10^{-5} T \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{К}),$$

$$\text{для Zn } C_p = 0,3795 + 18,58 \cdot 10^{-6} T \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{К}),$$

$$\text{для Cd } C_p = 0,2285 + 9,904 \cdot 10^{-5} T \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{К}).$$

43. Истинная удельная теплоемкость жидкого цинка выражается уравнением

$$C_{(\text{ж})} = 0,362 + 26,78 \cdot 10^{-5} T \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{К}),$$

а твердого цинка

$$C_{(\text{т})} = 0,379 + 18,58 \cdot 10^{-6} T \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{К}).$$

Какое количество теплоты выделится при охлаждении 300 г этого металла от 500 до 0 °С, если температура плавления цинка 419 °С и удельная теплота плавления 117,2 Дж/г.

44. Вычислить отношение работы расширения к количеству теплоты, затраченной на нагревание 1 кг меди от 0 до 250 °С. Коэффициент объемного расширения меди равен $5,01 \cdot 10^{-5}$ град.⁻¹, плотность 8,93 г/см³; удельная теплоемкость в указанном интервале температур 0,392 Дж/(г·К).

45. Вычислить отношение работы расширения к поглощенной теплоте при нагревании 0,02 м³ воздуха от 27 до 227 °С при постоянном давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па. Для кислорода и азота истинная молярная теплоемкость рассчитывается по уравнению

$$C_p = 27,2 + 0,00418 T \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

46. Средняя удельная теплоемкость для CO₂ в интервале температур от 0 до 200 °С выражается уравнением

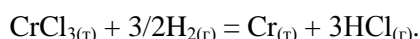
$$\bar{C}_p = 0,8485 + 28,95 \cdot 10^{-5} T - 6,82 \cdot 10^{-8} T^2 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{К}).$$

Найти зависимость истинной молярной теплоемкости от абсолютной температуры и количество теплоты, которое пойдет на нагревание 220 г CO_2 от 0 до 100 °С при постоянном давлении. Какая часть этой теплоты идет на повышение внутренней энергии газа?

47. Комната имеет площадь 20 м² и высоту 4 м. Какое количество теплоты нужно, чтобы нагреть воздух в этой комнате от 10 до 20 °С при полной термоизоляции, если для азота и кислорода истинная молярная теплоемкость

$$C_p = 27,19 + 4,18 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

48. Металлический хром может быть получен восстановлением хлорида хрома (III) водородом по реакции



Эффективность использования водорода 50 %. Истинные молярные теплоемкости

$$C_p^{\text{H}_2} = 27,19 + 3,766 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{CrCl}_3} = 8,340 + 29,41 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

Определить минимальное количество теплоты, необходимое для нагревания от 25 до 900 °С исходных веществ для получения 1 кг хрома.

49. Средняя молярная теплоемкость диоксида углерода (в интервале температур 273-1200 К) выражается уравнением

$$C_p = 43,26 + 5,732 \cdot 10^{-3} T + 8,18 \cdot 10^{-5} T^2 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

Определить истинную молярную теплоемкость CO_2 при постоянном давлении и 0 °С.

50. Истинная молярная теплоемкость ромбической серы выражается уравнением

$$C_p = 14,98 + 26,11 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

Определить значение средней молярной теплоемкости серы в пределах от 0 до 95,6 °С.

51. Зависимость истинной молярной теплоемкости металлического ниобия от температуры (273-1573 К) выражается уравнением

$$C_p = 23,81 + 3,816 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$$

Получить уравнение зависимости энтальпии ниобия от температуры. Вычислить изменение энтальпии $H_{1273} - H_{273}$ для 1 моль ниобия.

52. Какое количество теплоты поглощается при нагревании 2 кг меди от 25 до 1000 °С, если молярная теплоемкость меди выражается уравнением

$$C_p = 22,64 + 6,28 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$$

53. Количество теплоты, выделяющееся при остывании 1 г платины от T до T_0 , рассчитывается по уравнению

$$Q = 0,1322(T - T_0) + 12,33(T^2 - T_0^2) \cdot 10^{-6} \text{ Дж/г}.$$

Вывести уравнение зависимости средней и истинной молярной теплоемкости платины от температуры в интервале $T_0 - T$. Рассчитать истинную атомную теплоемкость платины при 30 °С.

54. Истинная удельная теплоемкость ртути выражается уравнением

$$C_p = 0,14779 - 2,89 \cdot 10^{-5} T \text{ Дж/(г} \cdot \text{К)}.$$

Определить количество теплоты, необходимое для нагревания 50 г ртути от 0 до 357 °С.

55. Истинные удельные теплоемкости ряда металлов могут быть выражены уравнениями:

$$\text{для Cu } C_p = 0,385 + 8,891 \cdot 10^{-5} T \text{ Дж/(г} \cdot \text{К)};$$

$$\text{для Pb } C_p = 0,124 + 5,682 \cdot 10^{-5} T \text{ Дж/(г} \cdot \text{К)};$$

$$\text{для Zn } C_p = 0,379 + 1,858 \cdot 10^{-4} T \text{ Дж/(г} \cdot \text{К)};$$

$$\text{для Cd } C_p = 0,228 + 1,858 \cdot 10^{-4} T \text{ Дж/(г} \cdot \text{К)}.$$

Рассчитать среднюю теплоемкость в интервале температур 0-100 °С.

56. Количество теплоты, расходуемое на нагревание 1 кг оксида железа (III) от 0 до T °С, выражается уравнением

$$Q = 770,7t + 0,226T^2 \text{ Дж/кг} .$$

Получить уравнение зависимости истинной молярной теплоемкости оксида железа от температуры.

57. Истинная молярная теплоемкость оксида кальция выражается уравнением

$$C_p = 48,83 + 4,519 \cdot 10^{-3} T - 6,527 \cdot 10^{-5} T^2 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$$

Определить количество теплоты, необходимое для нагревания 10 кг СаО от 0 до 900 °С.

58. Средняя удельная теплоемкость CO_2 при постоянном давлении в интервале температур от 0 до 1000 °С выражается уравнением

$$\bar{C}_p = 1,003 + 10,27 \cdot 10^{-5} T + 19,41 \cdot 10^{-3} T^{-2} \text{ Дж/(г} \cdot \text{К)}.$$

Найти истинную молярную теплоемкость CO_2 при 500 °С.

59. Молярная теплоемкость кварца SiO_2 выражается уравнением

$$C_p = 46,95 + 34,36 \cdot 10^{-3} T + 11,3 \cdot 10^{-5} T^{-2} \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$$

Получить уравнение для вычисления теплоты, расходуемой на нагревание 1 кг кварца от T_1 до T_2 .

60. В калориметре смешаны 50 г льда и 150 г воды, взятых при 0 и 50 °С соответственно. Определить конечную температуру, если удельная теплота плавления льда 334,7 Дж/г и удельная теплоемкость воды 4,184 Дж/(г·К).

3. ЗАКОН ГЕССА

Задание III. Рассчитать тепловые характеристики реальных процессов*.

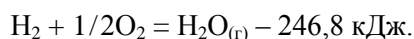
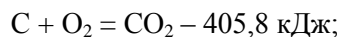
61. Теплоты образования жидкой воды и газообразного диоксида углерода соответственно равны $-285,8$ и $-393,5$ кДж/моль,

* В ряде задач тепловые эффекты реакций, теплоты образования и сгорания даны при стандартных условиях, т.е. при 25 °С и 1 атм, которые в условиях не указываются.

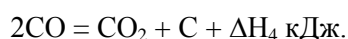
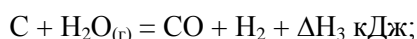
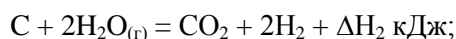
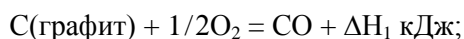
теплота сгорания метана при тех же условиях $-890,3$ кДж/моль. Рассчитать теплоту образования метана из элементов при условиях: 1) $P = \text{const}$; 2) $V = \text{const}$, $T = 298$ К.

62. Теплота сгорания жидкого бензола $-3267,7$ кДж/моль. Теплота сгорания газообразного ацетилена при тех же условиях $-1299,6$ кДж/моль. Вычислить теплоты образования жидкого бензола и газообразного ацетилена, а также теплоту образования бензола из ацетилена при $P = \text{const}$; $V = \text{const}$, если теплоты образования $\text{CO}_{2(\text{г})}$ и $\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ соответственно равны $-393,5$ и $-285,8$ кДж/моль.

63. Тепловые эффекты реакций при 0°C и постоянном давлении 1013 гПа:

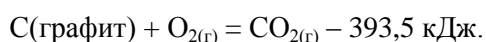
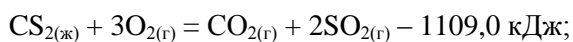
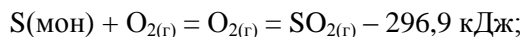


Рассчитать при тех же условиях тепловые эффекты следующих реакций:



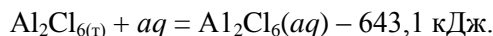
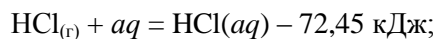
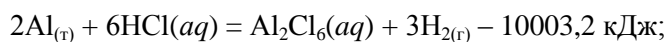
64. Теплота образования этилена $\text{C}_2\text{H}_{4(\text{г})}$ равна $52,3$ кДж/моль. Какова теплота сгорания этилена при $P = \text{const}$; $V = \text{const}$, если теплоты образования $\text{CO}_{2(\text{г})}$ и $\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ соответственно равны $-393,5$ и $-285,8$ кДж/моль?

65. Рассчитать теплоту образования жидкого сероуглерода по следующим данным:

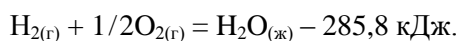
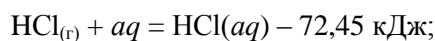
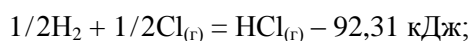
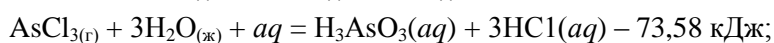
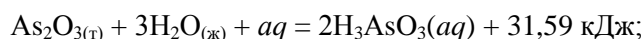


66. Теплота образования $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{т})$ $-821,3$ кДж/моль, а теплота образования Al_2O_3 $-1675,0$ кДж/моль. Рассчитать тепловой эффект реакции восстановления 1 моль Fe_2O_3 металлическим алюминием.

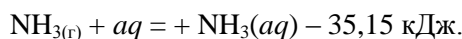
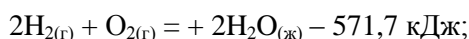
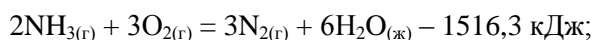
67. На основании следующих данных рассчитать теплоту образования безводного $\text{Al}_2\text{Cl}_6(\text{т})$:



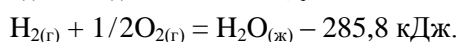
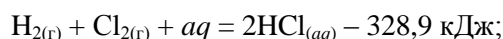
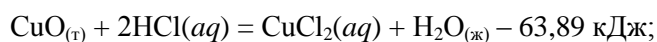
68. На основании следующих данных рассчитать теплоту образования твердого As_2O_3 :



69. На основании следующих данных рассчитать теплоту образования: 1) газообразного аммиака; 2) водного раствора аммиака:



70. Рассчитать теплоту образования безводной соли CuCl_2 , пользуясь следующими данными:



71. Теплота нейтрализации соляной кислоты раствором едкого натра $-55,9$ кДж, а монохлоруксусной кислоты CH_2ClCOOH тем же раствором едкого натра $-59,75$ кДж. При прибавлении к раствору, содержащему 1 моль монохлоруксуснокислого натрия, 1 моль HCl поглощается $1,904$ кДж теплоты. Какая часть взятой соли при этом разлагается?

72. Теплота нейтрализации азотной кислоты раствором гидроксида натрия $-55,9$ кДж, а двухлоруксусной кислоты CHCl_2COOH тем же раствором гидроксида натрия $-62,05$ кДж. Если прибавить 1 моль NaOH к раствору, содержащему по 1 моль HNO_3 и CHCl_2COOH , то выделяется $-58,41$ кДж теплоты. Рассчитать количество моль HNO_3 , прореагировавших с NaOH .

73. Теплоты нейтрализации NaOH и NH_4OH соляной кислотой соответственно равны $-55,9$ и $-51,34$ кДж/моль. Какова теплота диссоциации NH_4OH , если он в растворе практически не диссоциирует?

74. Теплоты нейтрализации соляной, уксусной и масляной кислот гидроксидами натрия соответственно равны $-55,9$; $-56,07$ и $-57,74$ кДж/моль. Какова теплота диссоциации уксусной и масляной кислот, если они в водном растворе практически не диссоциируют?

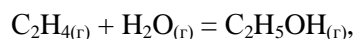
75. Теплоты растворения MgSO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ соответственно равны $-84,85$; $-55,64$ и $15,9$ кДж/моль. Какова теплота гидратации при переходе:

- 1) MgSO_4 в $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$;
- 2) MgSO_4 в $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$;
- 3) $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ в $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

76. Теплота растворения BaCl_2 $-8,66$ кДж/моль, а теплота гидратации этой соли при переходе в $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $-29,16$ кДж/моль. Какова теплота растворения $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

77. Теплоты образования воды и водяного пара равны соответственно $-285,8$ и $-241,8$ кДж/моль. Рассчитать теплоту испарения воды при 25°C .

78. Вычислить тепловой эффект реакции



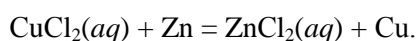
если теплоты образования этилена, водяного пара и газообразного этанола соответственно равны $-52,28$, $-241,8$ и $-235,3$ кДж/моль.

79. Теплота сгорания паров пропанола $-2064,0$ кДж/моль. Вычислить теплоту сгорания жидкого пропанола, если теплота его испарения составляет от $41,84$ до $48,42$ кДж/моль. Рассчитать расхождение между вычисленным и справочным значением: $-2016,7$ кДж/моль.

80. Рассчитать теплоту перехода ромбической серы в моноклинную, если теплота сгорания ромбической серы $-297,5$ кДж/моль, а теплота сгорания моноклинной серы $-300,1$ кДж/моль.

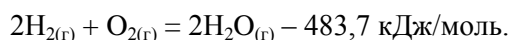
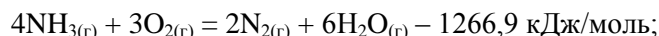
81. Теплоты сгорания аморфного углерода, графита и алмаза соответственно равны $-409,2$; $-394,6$ и $-395,3$ кДж/моль. Рассчитать теплоту аллотропного превращения: 1) аморфного углерода в графит; 2) аморфного углерода в алмаз; 3) графита в алмаз.

82. Теплота образования раствора хлорида цинка $-478,2$ кДж/моль, а теплота образования раствора хлорида меди (II) $-262,3$ кДж/моль. Вычислить теплоту реакции

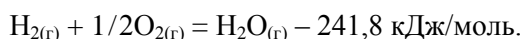
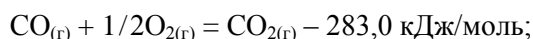


83. Теплота сгорания бензойной кислоты $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}_{(г)}$ $-3227,5$ кДж/моль. Теплоты образования воды и диоксида углерода из элементов при тех же условиях соответственно равны $-285,8$ и $-393,5$ кДж/моль. Вычислить теплоту образования $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}_{(г)}$.

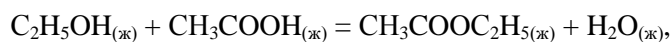
84. Рассчитать теплоту образования газообразного аммиака на основании следующих данных:



85. Вычислить тепловой эффект реакции восстановления оксида железа (II) водородом, пользуясь следующими данными:



86. Определить тепловой эффект реакции.



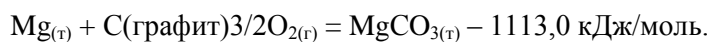
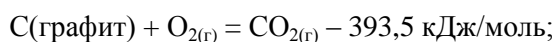
если теплоты сгорания

$$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{ж})}\Delta H_1 = -1366,7 \text{ кДж/моль};$$

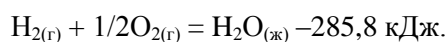
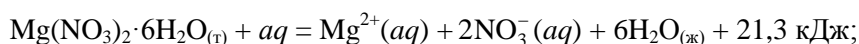
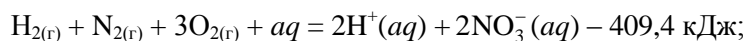
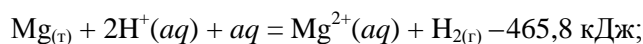
$$\text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{ж})}\Delta H_2 = -871,5 \text{ кДж/моль};$$

$$\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5_{(\text{ж})}\Delta H_3 = -2254,2 \text{ кДж/моль}.$$

87. Вычислить теплоту образования $\text{MgCO}_3_{(\text{т})}$ из $\text{MgO}_{(\text{т})}$ и CO_2 пользуясь следующими данными:



88. Определить теплоту образования гексагидрата нитрата магния $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{т})}$, если известны следующие данные:



89. В топке сгорает каменный уголь, содержащий 65 % углерода. В топочных газах содержится 13 % (по объему) CO_2 и 1 % (по объему) CO ; остальное азот и кислород. Определить теплоту сгорания 1 кг угля, если теплота образования $\text{CO}_{2(\text{г})}$ $-393,5 \text{ кДж/моль}$, а теплота образования $\text{CO}_{(\text{г})}$ $-110,5 \text{ кДж/моль}$.

90. Теплота растворения $\text{Na}_2\text{SO}_3_{(\text{т})}$ при 18°C $-11,30 \text{ кДж/моль}$, а теплота гидратации этой соли при переходе в $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}_{(\text{т})}$ $-58,16 \text{ кДж/моль}$. Определить теплоту растворения $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}_{(\text{т})}$.

4. ТЕПЛОВЫЕ ЭФФЕКТЫ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

Задание IV. Вычислить тепловые эффекты химических реакций в растворах при 25 °С по стандартным теплотам образования химических соединений.

91. $4\text{NH}_{3(\text{r})} + 5\text{O}_{2(\text{r})} = 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} + 4\text{NO}_{(\text{r})}$.
92. $2\text{Mg}(\text{NO}_3)_{2(\text{r})} = 2\text{MgO}_{(\text{r})} + 4\text{NO}_{2(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})}$.
93. $4\text{HCl}_{(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} = 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} + 2\text{Cl}_{2(\text{r})}$.
94. $2\text{NaHCO}_{3(\text{r})} = \text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} + \text{CO}_{2(\text{r})}$.
95. $\text{CaCO}_{3(\text{r})} = \text{CaO}_{(\text{r})} + \text{CO}_{2(\text{r})}$.
96. $\text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{r})}$ (магнетит) + $\text{H}_{2(\text{r})} = 3\text{FeO}_{(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$.
97. $\text{Ca}(\text{OH})_{2(\text{r})} + \text{CO}_{2(\text{r})} = \text{CaCO}_{3(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$.
98. $2\text{CO}_{(\text{r})} + \text{SO}_{2(\text{r})} = \text{S}_{2(\text{r})} + 2\text{CO}_{2(\text{r})}$.
99. $\text{Ca}(\text{PO}_4)_{2(\text{r})} + 3\text{SiO}_{2(\text{r})} + 5\text{C}_{(\text{r})} = 3\text{CaSiO}_{3(\text{r})} + 2\text{P}_{(\text{r})}$ (белый) + $5\text{CO}_{(\text{r})}$.
100. $2\text{NO}_{2(\text{r})} + \text{O}_{3(\text{r})} = \text{O}_{2(\text{r})} + \text{N}_2\text{O}_{5(\text{r})}$.
101. $\text{CH}_{4(\text{r})} + 2\text{O}_{2(\text{r})} = \text{CO}_{2(\text{r})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$.
102. $2\text{AgNO}_{3(\text{r})} = 2\text{Ag}_{(\text{r})} + 2\text{NO}_{2(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})}$.
103. $\text{H}_{2(\text{r})} + \text{CO}_{2(\text{r})} = \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} + \text{CO}_{(\text{r})}$.
104. $\text{SnO}_{2(\text{r})} + 2\text{CO}_{(\text{r})} = \text{Sn}_{(\text{r})} + 2\text{CO}_{2(\text{r})}$.
105. $\text{CO}_{(\text{r})} + 3\text{H}_{2(\text{r})} = \text{CH}_{4(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$.
106. $4\text{CO}_{(\text{r})} + 2\text{SO}_{2(\text{r})} = \text{S}_{2(\text{r})} + 4\text{CO}_{2(\text{r})}$.
107. $\text{H}_{2(\text{r})} + \text{HCOH}_{(\text{r})} = \text{CH}_3\text{OH}_{(\text{r})}$.
108. $\text{H}_2\text{S}_{(\text{r})} + \text{CO}_{2(\text{r})} = \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} + \text{COS}_{(\text{r})}$.
109. $\text{H}_2\text{S}_{(\text{r})} + \text{COS}_{(\text{r})} = \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} + \text{CS}_{2(\text{r})}$.
110. $2\text{H}_2\text{S}_{(\text{r})} + \text{CO}_{2(\text{r})} = 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} + \text{CS}_{2(\text{r})}$.
111. $4\text{H}_2\text{S}_{(\text{r})} + 2\text{SO}_{2(\text{r})} = 3\text{S}_{2(\text{r})} + 4\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$.

112. $\text{CH}_{4(\text{r})} + 2\text{H}_2\text{S}_{(\text{r})} = \text{CS}_{2(\text{r})} + 4\text{H}_{2(\text{r})}$.
113. $\text{CH}_3\text{OH}_{(\text{r})} + \text{CO}_{(\text{r})} = \text{CH}_3\text{COOH}_{(\text{r})}$.
114. $\text{FeO}_{(\text{r})} + \text{CO}_{(\text{r})} = \text{Fe}_{(\text{r})} + \text{CO}_{2(\text{r})}$.
115. $2\text{C}_{10}\text{H}_{8(\text{r})} = \text{C}_{14}\text{H}_{10(\text{r})}$ (фенатрен) + $\text{C}_6\text{H}_{6(\text{r})}$.
116. $2\text{NaNO}_{3(\text{r})} = 2\text{NaNO}_{2(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})}$.
117. $\text{Mn}_3\text{O}_{4(\text{r})} + 4\text{H}_{2(\text{r})} = 3\text{Mn}_{(\text{r})} + 4\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$.
118. $\text{PbSO}_{4(\text{r})} + 4\text{CO}_{(\text{r})} = 4\text{PbS}_{(\text{r})} + 4\text{CO}_{2(\text{r})}$.
119. $\text{CH}_{4(\text{r})} + \text{CO}_{2(\text{r})} = 2\text{CO}_{(\text{r})} + 2\text{H}_{2(\text{r})}$.
120. $\text{PCl}_{5(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} = \text{POCl}_{3(\text{ж})} + 2\text{HCl}_{(\text{r})}$.

5. ТЕПЛОВЫЕ ЭФФЕКТЫ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ В РАСТВОРАХ ПО СТАНДАРТНЫМ ТЕПЛОТАМ ОБРАЗОВАНИЯ ИОНОВ

Задание V. Вычислить тепловые эффекты химических реакций в растворах при 25 °С по стандартным теплотам образования химических соединений и ионов.

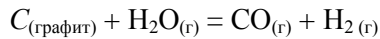
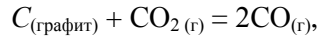
121. $3\text{Cu}(s) + 8\text{HNO}_3(aq) = 3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2(aq) + 2\text{NO}(g) + 4\text{H}_2\text{O}(l)$.
122. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(s) = \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(aq)$.
123. $2\text{As}(s) + 5\text{Cl}_2(g) + 8\text{H}_2\text{O}(g) = 2\text{H}_3\text{AsO}_4(aq) + 10\text{HCl}(aq)$.
124. $\text{NO}(g) + \text{NO}_2(g) + 2\text{NaOH}(aq) = 2\text{NaNO}_2(aq) + \text{H}_2\text{O}(l)$.
125. $2\text{HNO}_2(aq) + 2\text{HI}(aq) = \text{I}_{2(\text{r})} + 2\text{NO}(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$.
126. $\text{Ag}(s) + \text{FeCl}_3(aq) = \text{AgCl}(s) + \text{FeCl}_2(aq)$.
127. $\text{SO}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(l) + \text{NO}_2(g) = \text{H}_2\text{SO}_4(aq) + \text{NO}(g)$.
128. $3\text{P}(s) + 5\text{HNO}_3(aq) + 2\text{H}_2\text{O}(l) = 3\text{H}_3\text{PO}_4(aq) + 5\text{NO}(g)$.
129. $\text{HNO}_3(aq) + 3\text{HCl}(aq) = 2\text{H}_2\text{O}(l) + \text{NOCl}(g) + \text{Cl}_2(g)$.

130. $2\text{NO}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(l) = \text{HNO}_3(aq) + \text{HNO}_2(aq)$.
131. $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(s) + 6\text{NaCl}(aq) = 2\text{AlCl}_3(aq) + 3\text{Na}_2\text{SO}_4(aq)$.
132. $\text{Na}_2\text{CO}_3(aq) + \text{Ca}(\text{OH})_2(s) = \text{CaCO}_3(s) + 2\text{NaOH}(aq)$.
133. $3\text{Hg}(l) + 8\text{HNO}_3(aq) = 3\text{Hg}(\text{NO}_3)_2(aq) + 2\text{NO}(g) + 4\text{H}_2\text{O}(l)$.
134. $2\text{NaOH}(aq) + \text{Hg}(\text{NO}_3)_2(aq) = 2\text{NaNO}_3(aq) + \text{HgO}(s) + \text{H}_2\text{O}(l)$.
135. $\text{CaSO}_4(s) + \text{Na}_2\text{CO}_3(aq) = \text{CaCO}_3(s) + \text{Na}_2\text{SO}_4(aq)$.
136. $2\text{KMnO}_4(aq) + 16\text{HCl}(aq) =$
 $= 2\text{KCl}(aq) + 2\text{MnCl}_2(aq) + 8\text{H}_2\text{O}(l) + 5\text{Cl}_2(g)$.
137. $10\text{FeSO}_4(aq) + 2\text{KMnO}_4(aq) + 8\text{H}_2\text{SO}_4(aq) =$
 $= 5\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3(aq) + 2\text{MnSO}_4(aq) + \text{K}_2\text{SO}_4(aq) + 8\text{H}_2\text{O}(l)$.
138. $\text{Cd}(s) + \text{CuSO}_4(aq) = \text{CdSO}_4(aq) + \text{Cu}(s)$.
139. $\text{Cu}(s) + 2\text{H}_2\text{SO}_4(aq) = \text{CuSO}_4(aq) + \text{SO}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$.
140. $\text{H}_2\text{O}(l) + \text{SO}_3(g) = \text{H}_2\text{SO}_4(aq)$.
141. $\text{I}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(l) + \text{Na}_2\text{SO}_3(aq) = 2\text{HI}(aq) + \text{Na}_2\text{SO}_4(aq)$.
142. $2\text{HMnO}_4(aq) + 5\text{HNO}_2(aq) =$
 $= 2\text{Mn}(\text{NO}_3)_2(aq) + \text{HNO}_3(aq) + 3\text{H}_2\text{O}(l)$.
143. $2\text{NO}_2(g) + 2\text{NaOH}(aq) = \text{NaNO}_3(aq) + \text{NaNO}_2(aq) + \text{H}_2\text{O}(l)$.
144. $\text{SO}_2(g) + \text{H}_2\text{O}(l) + \text{NO}_2(g) = \text{H}_2\text{SO}_4(aq) + \text{NO}(g)$.
145. $\text{NaOH}(aq) + \text{HCl}(aq) = \text{NaCl}(aq) + \text{H}_2\text{O}(l)$.
146. $2\text{NaOH}(aq) + \text{H}_2\text{SO}_4(aq) = \text{Na}_2\text{SO}_4(aq) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$.
147. $\text{Cu}(s) + 2\text{AgNO}_3(aq) = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2(aq) + 2\text{Ag}(s)$.
148. $2\text{Li}(s) + \text{CuSO}_4(aq) = \text{Li}_2\text{SO}_4(aq) + \text{Cu}(s)$.
149. $3\text{Fe}(\text{NO}_3)_2(aq) + 4\text{HNO}_3(aq) = 3\text{Fe}(\text{NO}_3)_3(aq) + \text{NO}(g) + \text{H}_2\text{O}(l)$.
150. $\text{MnO}_2(s) + 4\text{HCl}(aq) = \text{MnCl}_2(aq) + \text{Cl}_2(g) + 2\text{H}_2\text{O}(l)$.

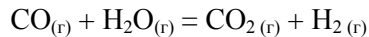
6. ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНА КИРХГОФА К РАСЧЕТАМ ТЕПЛОВЫХ ЭФФЕКТОВ РЕАКЦИЙ

Задание VI. Определить зависимость теплового эффекта химических реакций от температуры.

151. Для реакций



тепловые эффекты при постоянном давлении и 500 К соответственно равны 173,6 и 133,9 Дж. Рассчитать тепловой эффект реакции



при 1000 К, если молярные теплоемкости в диапазоне 298-1500 К равны:

$$C_p^{\text{CO}} = 28,41 + 4,10 \cdot 10^{-3}T - 0,46 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{H}_2\text{O}(\text{r})} = 30,00 + 10,71 \cdot 10^{-3}T - 0,33 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{CO}_2} = 44,14 + 9,04 \cdot 10^{-3}T - 8,53 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{H}_2} = 27,28 + 3,26 \cdot 10^{-3}T + 0,502 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

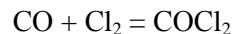
152. Молярные теплоемкости оксида углерода, хлора и фосгена в диапазоне 298-1500 К равны:

$$C_p^{\text{CO}} = 28,41 + 4,10 \cdot 10^{-3}T - 0,46 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{Cl}_2} = 36,69 + 1,05 \cdot 10^{-3}T - 2,52 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

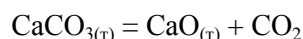
$$C_p^{\text{COCl}_2} = 67,16 + 12,11 \cdot 10^{-3}T - 9,03 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

Стандартные теплоты образования оксида углерода и фосгена при 298 К соответственно равны $-110,5$ и $-223,0$ кДж/моль. Вычислить тепловой эффект при постоянном объеме для реакции



при температуре 600 К.

153. Теплота диссоциации карбоната кальция по реакции



при 900 °С равна 178,0 кДж/моль. Молярные теплоемкости веществ:

$$C_p^{\text{CaCO}_{3(\text{т})}} = 104,5 + 21,92 \cdot 10^{-3} T - 25,94 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{CaO}_{(\text{т})}} = 49,63 + 4,52 \cdot 10^{-3} T - 6,95 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{CO}_{2(\text{г})}} = 44,14 + 9,04 \cdot 10^{-3} T - 8,53 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

Вывести уравнение зависимости теплового эффекта этой реакции от температуры. Определить количество теплоты, поглощенное при разложении 1 кг карбоната кальция при 1000 °С.

154. Теплота испарения воды при 30 °С равна 2427 кДж/кг, а при 20 °С – 2452 кДж/кг. Оценить среднее значение молярной теплоемкости водяного пара в интервале температур от 20 до 30 °С, если молярная теплоемкость жидкой воды 75,31 Дж/(моль·К). Вычислить расхождение между полученным и табличным значением 33,56 Дж/(моль·К) при постоянном давлении водяного пара в этом интервале температур.

155. Стандартные теплоты образования $\text{FeO}_{(\text{т})}$, $\text{CO}_{(\text{г})}$ и $\text{CO}_{2(\text{г})}$ соответственно равны –263,7; –110,5; –393,5 кДж/моль. Определить количество теплоты, которое выделится при восстановлении 100 кг оксида железа (II) оксидом углерода при 1200 К и постоянном давлении, если молярные теплоемкости реагентов равны:

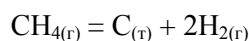
$$C_p^{\text{Fe}} = 19,25 + 21,0 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{CO}_2} = 44,14 + 9,04 \cdot 10^{-3} T - 8,53 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{CO}} = 28,41 + 4,10 \cdot 10^{-3} T - 0,46 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{FeO}} = 52,80 + 6,24 \cdot 10^{-3} T - 3,19 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

156. Вывести уравнение зависимости теплового эффекта реакции



от температуры, а также вычислить тепловой эффект этой реакции при 1000 К, если его значение при стандартных условиях равно 74,85 кДж, а молярные теплоемкости реагентов составляют:

$$C_p^{\text{C}} = 11,19 + 10,95 \cdot 10^{-3} T - 4,89 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{H}_2} = 27,28 + 3,26 \cdot 10^{-3} T + 0,502 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{CH}_4} = 17,45 + 60,46 \cdot 10^{-3} T + 1,12 \cdot 10^{-6} T^2 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

157. Вычислить теплоту образования хлорида алюминия при 500 К, если стандартная теплота образования равна $-697,4$ кДж/моль, молярные теплоемкости $\text{AlCl}_{3(\text{r})}$, $\text{Al}_{(\text{r})}$ и $\text{Cl}_{2(\text{r})}$ соответственно равны:

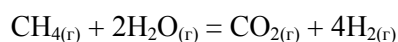
$$C_p^{\text{AlCl}_3} = 55,44 + 117,2 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{Al}} = 20,67 + 12,39 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{Cl}_2} = 36,69 + 1,05 \cdot 10^{-3} T - 2,52 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

Температура плавления AlCl_3 465,6 К и теплота плавления 35,48 кДж/моль, молярная теплоемкость жидкого AlCl_3 130,5 кДж/(моль·К).

158. Вычислить тепловой эффект реакции



при 500 °С, если он при стандартных условиях равен 165,0 кДж, а значения молярных теплоемкостей следующие:

$$C_p^{\text{CH}_4} = 17,45 + 60,46 \cdot 10^{-3} T + 1,12 \cdot 10^{-6} T^2 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{H}_2\text{O}} = 30,00 + 10,71 \cdot 10^{-3} T + 0,33 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{CO}_2} = 44,14 + 9,04 \cdot 10^{-3} T - 8,53 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}),$$

$$C_p^{\text{H}_2} = 27,28 + 3,26 \cdot 10^{-3} T + 0,502 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

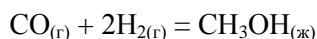
159. Рассчитать теплоту образования $\text{AgCl}_{(т)}$ при $150\text{ }^\circ\text{C}$, если $\Delta_f H^{\text{AgCl}(т)} = -126,8\text{ кДж}$. Значения молярных теплоемкостей следующие:

$$C_p^{\text{Ag}(т)} = 23,97 + 5,28 \cdot 10^{-3} T - 0,25 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{Cl}_2(г)} = 36,69 + 1,05 \cdot 10^{-3} T - 2,52 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{AgCl}(т)} = 62,26 + 4,18 \cdot 10^{-3} T - 11,30 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

160. Вычислить тепловой эффект реакции



при 500 и 1000 К , если при 300 К тепловой эффект этой реакции равен $90,72\text{ кДж}$. Значения молярных теплоемкостей следующие:

$$C_p^{\text{CO}} = 28,41 + 4,10 \cdot 10^{-3} T - 0,46 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{H}_2} = 27,28 + 3,26 \cdot 10^{-3} T + 0,502 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{CH}_3\text{OH}(ж)} = 81,6 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

161. Для этана, этилена и водорода зависимости теплоемкостей от температуры описываются следующими уравнениями:

$$C_p^{\text{C}_2\text{H}_6} = 4,49 - 182,3 \cdot 10^{-3} T - 74,86 \cdot 10^{-6} T^2 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{C}_2\text{H}_4} = 4,20 + 154,6 \cdot 10^{-3} T - 81,10 \cdot 10^{-6} T^2 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{H}_2} = 27,28 + 3,26 \cdot 10^{-3} T + 0,502 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

Вычислить температурный коэффициент теплового эффекта реакции гидрирования этилена при 300 и 1000 К и определить, увеличивается или уменьшается тепловой эффект с ростом температуры при указанных условиях.

162. Молярные теплоемкости при постоянном объеме для водорода, кислорода и водяного пара имеют следующие значения:

$$C_V^{H_2} = 18,97 + 3,26 \cdot 10^{-3} T + 0,502 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)};$$

$$C_V^{O_2} = 23,15 + 3,39 \cdot 10^{-3} T - 3,77 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)};$$

$$C_V^{H_2O} = 21,7 + 10,71 \cdot 10^{-3} T + 0,33 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$$

Удельная теплота сгорания водорода с образованием жидкой воды при 0 °С равна –142,2 кДж/г. Удельная теплота испарения воды при 0 °С равна 2551 Дж/г. Рассчитать молярную теплоту образования водяного пара при 100 °С.

163. Тепловой эффект реакции



при 0 °С и постоянном давлении составляет –284,5 кДж/моль, а молярные теплоемкости участвующих в реакции веществ имеют следующие значения:

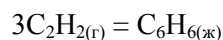
$$C_V^{CO_2} = 35,83 + 9,04 \cdot 10^{-3} T - 8,53 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)};$$

$$C_V^{CO} = 20,1 + 4,10 \cdot 10^{-3} T - 0,46 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)};$$

$$C_V^{O_2} = 23,15 + 3,39 \cdot 10^{-3} T - 3,77 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$$

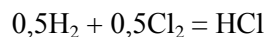
Рассчитать тепловой эффект реакции при постоянном давлении и температурах 25 и 727 °С.

164. Средняя удельная теплоемкость бензола в интервале температур от 0 до 80 °С составляет 1,745 Дж/(г·К). Молярная теплоемкость ацетилена в том же температурном интервале 43,93 Дж/(моль·К). Тепловой эффект реакции



при стандартных условиях –630,8 кДж. Рассчитать тепловой эффект этой реакции при 75 °С.

165. Определить температурную зависимость теплового эффекта реакции



при постоянном давлении, если при 25 °С он равен –92,3 кДж/моль. Рассчитать тепловой эффект данной реакции при 1000 °С.

Молярные теплоемкости $\text{Cl}_{2(\text{r})}$, $\text{H}_{2(\text{r})}$ и $\text{HCl}_{(\text{r})}$ при постоянном объеме имеют следующие значения:

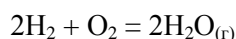
$$C_V^{\text{Cl}_2} = 28,38 + 1,05 \cdot 10^{-3} T - 2,52 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_V^{\text{H}_2} = 18,97 + 3,26 \cdot 10^{-3} T + 0,502 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_V^{\text{HCl}} = 18,22 + 4,6 \cdot 10^{-3} T + 1,09 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

166. Вычислить молярную теплоту испарения воды при 120°C . Удельная теплота испарения воды при 100°C $2255 \text{ Дж}/\text{г}$. Удельные теплоемкости жидкой воды и пара соответственно равны $4,184$ и $1,864 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{К})$ (считать их приближенно постоянными в этом интервале температур).

167. Рассчитать тепловой эффект реакции



при 1000 К , если $\Delta_f H_{\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}} = -241,84 \text{ кДж}/\text{моль}$, а значения молярных теплоемкостей следующие:

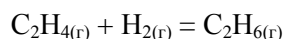
$$C_p^{\text{H}_2} = 27,28 + 3,26 \cdot 10^{-3} T + 0,502 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{O}_2} = 31,46 + 3,39 \cdot 10^{-3} T - 3,77 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}} = 30,00 + 10,71 \cdot 10^{-3} T + 0,33 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

168. Теплота конденсации этилового спирта при 15°C равна $-27,62 \text{ кДж}/\text{моль}$. Средние удельные теплоемкости жидкого спирта и его пара в пределах от 0 до 78°C соответственно равны $2,418$ и $1,597 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{К})$. Определить количество теплоты, необходимой для испарения 500 г спирта при 60°C .

169. Вычислить тепловой эффект реакции гидрирования



при 1000 К , если при стандартных условиях он равен 128 кДж , а значения молярных теплоемкостей следующие:

$$C_p^{C_2H_6} = 4,50 + 182 \cdot 10^{-3} T - 74,86 \cdot 10^{-6} T^2 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)};$$

$$C_p^{H_2} = 27,28 + 3,26 \cdot 10^{-3} T + 0,502 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)};$$

$$C_p^{C_2H_4} = 4,20 + 154,59 \cdot 10^{-3} T - 81,09 \cdot 10^{-6} T^2 \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}.$$

170. Вычислить теплоту образования аммиака при 700 °С, если при 25 °С она равна 46,19 кДж/моль, а молярные теплоемкости следующие:

$$C_p^{NH_3} = 29,80 + 25,48 \cdot 10^{-3} T + 1,67 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)};$$

$$C_p^{H_2} = 18,97 + 3,26 \cdot 10^{-3} T + 0,502 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)};$$

$$C_p^{N_2} = 19,57 + 4,27 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}.$$

171. Молярная теплота сгорания графита при 290 К равна –394,5 кДж/моль, а теплота сгорания алмаза при той же температуре –395,4 кДж/моль. Удельные теплоемкости этих веществ соответственно равны 0,710 и 0,505 Дж/(г·К). Рассчитать тепловой эффект аллотропного перехода графита в алмаз при 0 °С.

172. Вычислить теплоту образования оксида цинка при 327 °С, если его $\Delta_f H^{ZnO(r)} = -349,0$ кДж/моль. Молярные теплоемкости $ZnO_{(r)}$, $Zn_{(r)}$ и $O_{2(r)}$ выражаются следующими уравнениями:

$$C_p^{ZnO} = 48,99 + 5,10 \cdot 10^{-3} T - 9,12 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)};$$

$$C_p^{Zn} = 22,38 + 10,04 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)};$$

$$C_p^{O_2} = 31,46 + 3,39 \cdot 10^{-3} T - 3,77 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль}\cdot\text{К)}.$$

173. Теплота затвердевания кристаллогидрата $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ при 29 °С равна –170,3 Дж/г, а при –160 °С равна нулю. Какова удельная теплоемкость этого соединения в жидком состоянии, если удельная теплоемкость в твердом состоянии 1,443 Дж/(г·К)?

174. Разница в удельной теплоте растворения 1 г моноклинной и ромбической серы при 0 °С равна –10,04 Дж/г, а при 95,4 °С –13,05 Дж/г; удельная теплоемкость ромбической серы в этом интервале температур 0,706 Дж/(г·К). Определить удельную теплоемкость моноклинной серы.

175. Теплота образования CO₂ при стандартных условиях –393,51 кДж/моль. Молярные теплоемкости C_(г), O_{2(г)} и CO_{2(г)}:

$$C_p^C = 11,19 + 10,95 \cdot 10^{-3}T - 4,89 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль·К)};$$

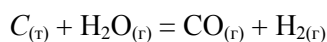
$$C_p^{O_2} = 31,46 + 3,39 \cdot 10^{-3}T - 3,77 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль·К)};$$

$$C_p^{CO_2} = 44,14 + 9,04 \cdot 10^{-3}T - 8,53 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль·К)}.$$

Составить уравнение зависимости теплоты образования CO_{2(г)} от температуры и определить Δ_fH^{CO_{2(г)}} при 1000 °С.

176. Удельная теплота конденсации бензола при 50 и 80 °С соответственно равна –414,7 и –397,1 Дж/г. Удельная теплоемкость жидкого бензола в этом интервале температур 1,745 Дж/(г·К). Вычислить удельную теплоемкость паров бензола в этом интервале температур и рассчитать расхождение между полученным и справочным значением 1,047 Дж/(г·К).

177. Стандартные теплоты образования газообразных СО и H₂O соответственно равны –110,5 и –241,8 кДж/моль. Вычислить тепловой эффект реакции



при 1000 К, если молярные теплоемкости участвующих в реакции веществ выражаются уравнениями

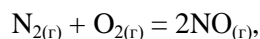
$$C_p^C = 11,19 + 10,95 \cdot 10^{-3}T - 4,89 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль·К)};$$

$$C_p^{CO} = 28,41 + 4,10 \cdot 10^{-3}T - 0,46 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль·К)};$$

$$C_p^{H_2O} = 30,00 + 10,71 \cdot 10^{-3}T + 0,33 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль·К)};$$

$$C_p^{H_2} = 27,28 + 3,26 \cdot 10^{-3}T + 0,502 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж/(моль·К)}.$$

178. Вывести температурную зависимость теплового эффекта реакции



если при стандартных условиях он равен 180,74 кДж, а зависимость молярных теплоемкостей от температуры выражается уравнениями:

$$C_p^{\text{NO}} = 29,58 + 3,85 \cdot 10^{-3}T - 0,59 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{N}_2} = 27,87 + 4,27 \cdot 10^{-3}T \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{O}_2} = 31,46 + 3,39 \cdot 10^{-3}T - 3,77 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

179. Стандартная теплота образования $\text{Al}_2\text{O}_{3(\text{r})}$ –1675 кДж/моль. Рассчитать теплоту образования $\text{Al}_2\text{O}_{3(\text{r})}$ при 600 К, пользуясь следующими выражениями для молярных теплоемкостей:

$$C_p^{\text{Al}} = 20,67 + 12,39 \cdot 10^{-3}T \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{O}_2} = 31,46 + 3,39 \cdot 10^{-3}T - 3,77 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{Al}_2\text{O}_3} = 114,56 + 12,89 \cdot 10^{-3}T - 34,31 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

180. Рассчитать тепловой эффект реакции



при 500 К, если при 298 К он равен 84,92 кДж/моль. Молярные теплоемкости газообразных веществ следующие:

$$C_p^{\text{CH}_4} = 17,45 + 60,46 \cdot 10^{-3}T + 1,117 \cdot 10^{-6}T^2 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{CO}_2} = 44,14 + 9,04 \cdot 10^{-3}T - 8,53 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{CH}_3\text{COCH}_3(\text{r})} = 20,47 + 201,8 \cdot 10^{-3}T - 63,5 \cdot 10^{-6}T^2 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{H}_2\text{O}(\text{r})} = 30,00 + 10,71 \cdot 10^{-3}T + 0,33 \cdot 10^5 T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

7. ЭНТРОПИЯ РЕАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Задание VII. Вычислить изменение энтропии в различных процессах.

181. Рассчитать молярную энтропию оксида углерода (II) при 200 °С и $50,67 \cdot 10^5$ Па, если энтропия при 25 °С и $1,013 \cdot 10^5$ Па равна 197,9 Дж/(моль·К), а зависимость молярной теплоемкости от температуры выражается уравнением

$$C_p = 28,41 + 4,10 \cdot 10^{-3} T - 0,46 \cdot 10^{-5} T^{-2} \text{ Дж/(моль·К)}.$$

182. Вычислить изменение энтропии при нагревании 1 кмоль сульфида кадмия от -100 до 0 °С, если зависимость молярной теплоемкости от температуры в интервале от 140 до 300 К выражается уравнением

$$C_p = 54,0 + 3,8 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж/(моль·К)}.$$

183. Найти изменение энтропии при нагревании 1 моль кадмия от 25 до 727 °С, если температура плавления 321 °С и теплота плавления равна 6109 Дж/моль:

$$C_p^{Cd(T)} = 22,22 + 12,30 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж/(моль·К)};$$

$$C_p^{Cd(ж)} = 29,83 \text{ Дж/(моль·К)}.$$

184. Какому конечному объему отвечает изменение энтропии, равное 38,28 Дж/(моль·К), если 1 моль идеального газа, занимающий в данных условиях $0,02 \text{ м}^3$, изотермически расширяется?

185. Насколько изменится энтропия в процессе изотермического расширения 10 г криптона от объема $0,05 \text{ м}^3$ и давления $1,013 \cdot 10^3$ Па до объема $0,2 \text{ м}^3$ и давления $0,2133 \cdot 10^5$ Па?

186. Определить изменение энтропии, если $0,0112 \text{ м}^3$ азота нагревается от 0 до 50 °С. Одновременно давление уменьшается от $1,013 \cdot 10^5$ до $1,013 \cdot 10^3$ Па. Теплоемкость равна 29,29 Дж/(моль·К).

187. Найти изменение энтропии при изотермическом сжатии 1 моль паров бензола при температуре 80 °С и давлении от $0,4053 \cdot 10^5$ до $1,013 \cdot 10^5$ Па с последующей конденсацией и охлажде-

нием жидкого бензола до 60 °С; нормальная температура кипения бензола 80 °С; молярная теплота испарения бензола 30,88 кДж/моль; удельная теплоемкость жидкого бензола 1,799 Дж/(г·К).

188. Вычислить изменение энтропии при смешении 0,001 м³ водорода с 0,0005 м³ метана, если исходные газы и образующаяся смесь газов находятся при 25 °С и 0,912·10⁵ Па.

189. В сосуд, содержащий 0,001 м³ воды при 20 °С, погружена железная пластинка массой 10 г, нагретая до 200 °С. Чему равно изменение энтропии, если

$$C_p^{\text{Fe(т)}} = 25,52 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К});$$

$$C_p^{\text{H}_2\text{O(ж)}} = 77,82 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

190. Рассчитать изменение энтропии в процессе смешения 5 кг воды при 80 °С с 10 кг воды при 20 °С. Удельную теплоемкость воды считать постоянной и равной 4,184 Дж/(г·К).

191. Определить изменение энтропии при процессе сжижения 1 моль метана при постоянном давлении ($P = 1$ атм), если начальная температура 25 °С, а конечная –111,8 К (температура испарения метана при $P = 1$ атм). Молярная теплота испарения метана при 111,8 К равна 8234 Дж/моль и молярная теплоемкость $C_p = 35,79$ Дж/(моль·К). Вычислить также работу, полученную в процессе изобарного сжатия и сжижения метана при условиях задачи.

192. Как изменится энтропия при нагревании 1 моль хлорида натрия от 25 °С до 1073 К, если температура его плавления 800 °С, удельная теплота плавления 516,7 Дж/г. Молярная теплоемкость $C_{p(\text{т})} = 45,96 + 16,32 \cdot 10^{-3} T$ Дж/(моль·К).

193. Рассчитать изменение энтропии 1 моль бензола при переходе из жидкого состояния в пар при нагревании от 25 до 100 °С, если теплота испарения бензола 393,3 Дж/г, температура кипения бензола 80,2 °С, молярная теплоемкость жидкого бензола $C_{p(\text{ж})} = 136,1$ Дж/(моль·К), а молярная теплоемкость паров бензола

$$C_{p(\text{г})} = -33,90 + 471,87 \cdot 10^{-3} T - 298,34 \cdot 10^{-6} T^2 + \\ + 70,4 \cdot 10^{-9} T^3 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

194. Найти изменение энтропии при нагревании 1 моль ацетона от 25 до 100 °С, если удельная теплота испарения ацетона 514,6 Дж/г; температура кипения 56 °С, молярные теплоемкости: жидкого ацетона

$$C_{p(\text{ж})} = 125 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}),$$

паров ацетона

$$C_{p(\text{г})} = 22,47 + 201,8 \cdot 10^{-3} T - 63,5 \cdot 10^{-6} T^2 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

195. Рассчитать изменение энтропии при нагревании 2 моль метанола от 25 до 100 °С, если удельная теплота испарения CH_3OH 1100,4 Дж/г, температура кипения 64,7 °С, молярные теплоемкости: жидкого метанола

$$C_{p(\text{ж})} = 81,56 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}),$$

паров метанола

$$C_{p(\text{г})} = 15,28 + 105,2 \cdot 10^{-3} T - 31,04 \cdot 10^{-6} T^2 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

196. Вычислить изменение энтропии при нагревании 1 моль твердого брома от температуры плавления $-7,32$ до 100 °С, если удельная теплота плавления 67,78 Дж/г, удельная теплота испарения 188,5 Дж/г, температура кипения 59 °С, $C_{p(\text{ж})} = 75,71 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$;

$$C_{p(\text{г})} = 37,20 + 0,71 \cdot 10^{-3} T - 1,19 \cdot 10^{-5} T^{-2} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

197. Вычислить изменение энтропии при нагревании 1 моль этанола от 25 до 100 °С, если удельная теплота испарения $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 863,6 Дж/г, температура кипения 78,3 °С, молярные теплоемкости: жидкого этанола

$$C_{p(\text{ж})} = 111,4 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}),$$

паров этанола

$$C_{p(\text{г})} = 19,07 + 212,7 \cdot 10^{-3} T - 108,6 \cdot 10^{-6} T^2 + 21,9 \cdot 10^{-9} T^3 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

198. Вычислить изменение энтропии при нагревании 1 моль толуола от 5 до 150 °С, если удельная теплота испарения толуола 347,3 Дж/г, температура кипения 110,6 °С, молярные теплоемкости: жидкого толуола

$$C_{p(\text{ж})} = 166 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}),$$

паров толуола

$$C_{p(\text{г})} = -33,88 + 557,0 \cdot 10^{-3} T - 3424 \cdot 10^{-6} T^2 + 79,87 \cdot 10^{-9} T^3 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

199. Как изменится энтропия при нагревании 1 моль моноклинной серы от 25 до 200 °С, если удельная теплота испарения моноклинной серы 45,19 Дж/г, температура плавления 119,3 °С, молярные теплоемкости: твердой серы

$$C_{p(\text{т})} = 23,64 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}),$$

жидкой серы

$$C_{p(\text{ж})} = 35,73 + 1,17 \cdot 10^{-3} T - 3,305 \cdot 10^{-5} T^2 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К}).$$

200. Вычислить возрастание энтропии 1 моль Br_2 , взятого при температуре плавления $-7,32$ °С, и переходе из твердого состояния в пар при температуре кипения 61,55 °С; удельная теплоемкость жидкого брома $C_{p(\text{ж})} = 0,4477 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{К})$, теплота плавления 67,72 Дж/г; теплота испарения 182,8 Дж/г.

201. Найти изменение энтропии этанола при переходе из жидкого состояния при температуре 25 °С и давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ в пар при температуре кипения 78 °С и давлении $0,0507 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Молярная теплота испарения этанола 40,79 кДж/моль, удельная теплоемкость

$$C_{p(\text{ж})} = 2,257 + 7,104 \cdot 10^{-3} T + 1,799 \text{ Дж}/(\text{г} \cdot \text{К}).$$

В каком процессе изменение энтропии максимально?

202. Вычислить изменение энтропии при смешении $0,1 \text{ м}^3$ кислорода с $0,4 \text{ м}^3$ азота при постоянной температуре 17 °С и давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

203. Каково изменение энтропии в системе, если $0,002 \text{ м}^3$ аргона при $100 \text{ }^\circ\text{C}$ и 1962 гПа нагреваются, причем объем увеличивается до $0,008 \text{ м}^3$, а давление – до $12,16 \cdot 10^5 \text{ Па}$?

204. Смешаны $0,002 \text{ м}^3$ гелия и $0,002 \text{ м}^3$ аргона при $27 \text{ }^\circ\text{C}$ и $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ каждый. После изотермического смешения полученная газовая смесь нагрета до $327 \text{ }^\circ\text{C}$ при постоянном объеме. Вычислить общее возрастание энтропии, учитывая, что молярная теплоемкость обоих газов одинакова:

$$C_{p(\text{г})} = 12,55 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} .$$

205. Вычислить изменение энтропии при нагревании 1 моль хлорида натрия от 20 до $850 \text{ }^\circ\text{C}$, если молярная теплота плавления $31,0 \text{ кДж/моль}$, температура плавления $800 \text{ }^\circ\text{C}$, молярная теплоемкость жидкого соединения

$$C_{p(\text{ж})} = 66,53 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)},$$

твердого хлорида натрия

$$C_{p(\text{т})} = 45,94 + 16,32 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} .$$

206. Вычислить изменение энтропии при разделении 1 моль воздуха, содержащего по объему 21% кислорода и 79% азота, при давлении $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ на чистый кислород и азот.

207. Энтропия жидкого этанола при $25 \text{ }^\circ\text{C}$ равна $160,7 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$. Давление пара при этой температуре $78,7 \text{ гПа}$, а теплота испарения $42,635 \text{ кДж/моль}$. Вычислить энтропию паров этанола при 1013 гПа и $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

208. Теплоемкость при давлении 1013 гПа для твердого магния в интервале температур от 0 до $560 \text{ }^\circ\text{C}$ выражается уравнением

$$C_{p(\text{т})} = 22,3 + 10,64 \cdot 10^{-3} T - 0,42 \cdot 10^{-5} T^2 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} .$$

Определить изменение энтропии при увеличении температуры от 300 до 800 К при постоянном давлении 1013 гПа .

209. В термически изолированный сосуд, содержащий 10 кг воды при температуре 30 °С, вносят 1 кг снега, температура которого –10 °С. Как возрастает энтропия в происходящем процессе, если теплота плавления снега 333,3 Дж/г, удельная теплоемкость снега –2,008 Дж/(г·К), а удельная теплоемкость воды 4,184 Дж/(г·К) ?

210. Рассчитать изменение энтропии при превращении 0,1 кг воды, взятой при 0 °С, в пар при 120 °С. Удельная теплота испарения воды при 100 °С 2,255 кДж/г, удельная теплоемкость жидкой воды 4,184 Дж/(г·К), удельная теплоемкость пара при постоянном давлении 19,958 Дж/(г·К).

8. ВЫЧИСЛЕНИЕ СВОБОДНОЙ ЭНЕРГИИ ПРОЦЕССОВ

Задание VIII. Рассчитать изменение энергии Гиббса и энергии Гельмгольца.

211. Вычислить изменение энергии Гиббса для процесса перехода 1 моль жидкого бензола при температуре кипения 80,1 °С и давлении P_1 в газообразный при P_2 и обратно для трех случаев: 1) $P_1 = 1,013 \cdot 10^5$ Па и $P_2 = 9,11 \cdot 10^4$ Па; 2) $P_1 = 1,013 \cdot 10^5$ Па и $P_2 = 1,013 \cdot 10^5$ Па; 3) $P_1 = 101,3 \cdot 10^5$ Па и $P_2 = 1,114 \cdot 10^5$ Па.

212-217. Найти изменение энергии Гиббса при сжатии 1 моль указанной жидкости от P_1 до P_2 при 0 °С. Сжимаемостью жидкости в указанном интервале давлений пренебречь (табл.8.1).

Таблица 8.1

Номер задачи	Жидкость	Плотность, г/см ³	Давление, Па·10 ⁵	
			P_1	P_2
212	Тетрахлорметан	1,633	1,013	10,13
213	Анилин	1,039	0,506	4,05
214	Нитробензол	1,223	1,013	6,078
215	Хлорбензол	1,128	1,216	9,72
216	Хлороформ	1,526	1,013	8,10
217	Бензол	0,879	1,013	5,065

218. При 25 °С энтропии ромбической и моноклинной серы соответственно равны 31,88 и 32,55 Дж/(моль·К), а теплоты образования равны 0,00 и 0,30 кДж/моль. Рассчитать ΔG и ΔA для процесса $S_{\text{ромб}} \rightarrow S_{\text{мон}}$ при 25 °С. Приблизительно различием плотностей обеих модификаций серы пренебречь.

Какая из двух модификаций серы является более устойчивой при 25 °С? Дайте приближенную оценку температуры перехода, при которой обе модификации серы находятся в равновесии, принимая для ΔS и ΔH значения при 25 °С.

219-227. Найти ΔG и ΔA химических реакций из электрохимических данных. Изменением объемов твердых и жидких веществ при реакции пренебречь (табл.8.2).

Таблица 8.2

Номер задачи	Реакция	Температура, °С	E , В
219	$\text{Ag} + \frac{1}{2}\text{Cl}_{2(\text{r})} = \text{AgCl}_{(\text{r})}$	17	1,132
220	$2\text{Hg} + \text{Cl}_{2(\text{r})} = \text{Hg}_2\text{Cl}_{2(\text{r})}$	25	1,085
221	$\text{AgCl}_{(\text{r})} + \frac{1}{2}\text{H}_{2(\text{r})} = \text{Ag} + \text{HCl}(\text{aq})$	25	0,224
222	$\text{Zn} + \text{Cl}_{2(\text{r})} = \text{ZnCl}_2(\text{aq})$	25	2,123
223	$\text{Cu} + \text{Cl}_{2(\text{r})} = \text{CuCl}_2(\text{aq})$	25	1,023
224	$\text{Cd} + \text{Cl}_{2(\text{r})} = \text{CdCl}_2(\text{aq})$	25	1,763
225	$\text{Cu} + \frac{1}{2}\text{Cl}_{2(\text{r})} = \text{CuCl}_{2(\text{r})}$	25	0,839
226	$\text{Co}_{(\text{r})} + \text{Cl}_{2(\text{r})} = \text{CoCl}_2(\text{aq})$	25	1,637
227	$\text{Sn} + \text{Cl}_{2(\text{r})} = \text{SnCl}_2(\text{aq})$	25	2,496

228-235. Вычислить изменения энергии Гиббса при изотермном сжатии газа от P_1 до P_2 ; газы считать идеальными (табл.8.3).

Таблица 8.3

Номер задачи	Газ	Количество газа	Температура, °С	Давление, Па · 10 ⁵	
				P_1	P_2
228	Кислород	0,005 м ³	0	0,1013	1,013
229	Азот	7 г	27	0,506	3,04
230	Хлор	0,002 м ³	25	1,013	10,13

Номер задачи	Газ	Количество газа	Температура, °С	Давление, Па · 10 ⁵	
				P_1	P_2
231	Водород	0,01 м ³	100	0,506	5,065
232	Кислород	20 г	25	1,013	15,20
233	Фосген	0,01 м ³	20	1,013	10,13
234	Оксид углерода	0,003 м ³	25	0,1013	2,026
235	Сероводород	0,001 м ³	25	1,013	2,026

236. Энтропия 1 моль графита равна 5,74, алмаза 2,38 Дж/град. при 25 °С. Теплота сгорания алмаза превышает теплоту сгорания графита на 752 Дж. Вычислить изменение энергии Гиббса при изотермном переходе графита в алмаз. Какой вывод можно сделать из найденного результата?

237. Вычислить W , Q , ΔH , ΔU , ΔG , ΔA , ΔS для изотермного сжатия 1 моль идеального газа от $P_1 = 5,065 \cdot 10^5$ до $P_2 = 10,13 \cdot 10^5$ Па при 500 °С.

238. Определить изменение энергии Гельмгольца и внутренней энергии при обратимом испарении 1 моль брома при давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па и температуре кипения $-7,3$ °С. Теплота испарения брома 31,0 кДж/моль.

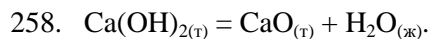
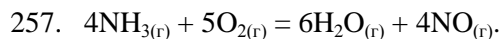
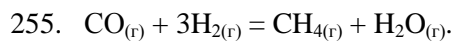
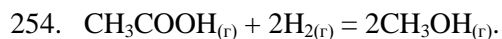
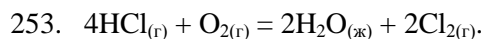
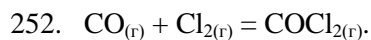
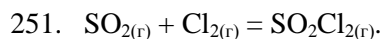
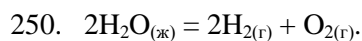
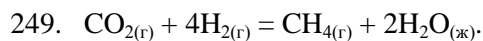
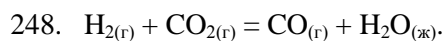
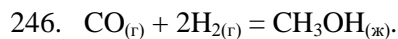
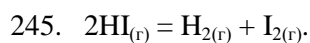
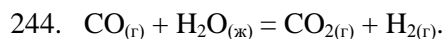
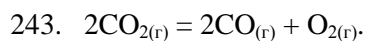
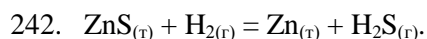
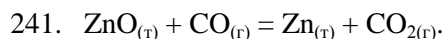
239. Определить ΔG , ΔA и ΔS при испарении 1 моль воды при 100 °С и $1,013 \cdot 10^5$ Па, если удельный объем жидкой воды $1,044 \cdot 10^4$ м³/кг, удельный объем газа 1,673 м³/кг, изменение энтальпии в процессе парообразования воды 2271,5 кДж/кг.

240. Теплота плавления льда при 0 °С равна 335 Дж/г. Удельная теплоемкость воды 4,184 Дж/(г·К). Удельная теплоемкость льда 2,01 Дж/(г·К). Найти ΔG , ΔH и ΔS для процесса превращения 1 моль переохлажденной воды в лед при -5 °С.

9. ВЫЧИСЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭНЕРГИИ ГИББСА ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ПО ЗНАЧЕНИЯМ СТАНДАРТНЫХ ЭНТАЛЬПИЙ И ЭНТРОПИЙ

Задание IX. Решить задачи.

241-270. Вычислить стандартные изменения энергии Гиббса химической реакции при 25 °С по стандартным значениям энтальпий образования и абсолютных энтропий, воспользовавшись таблицами стандартных величин. Все реакции проводятся между чистыми твердыми, жидкими и газообразными веществами (не в растворе).

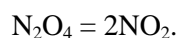


259. $\text{PCl}_{5(\text{r})} = \text{PCl}_{3(\text{r})} + \text{Cl}_{2(\text{r})}$.
260. $\text{C}_2\text{H}_{4(\text{r})} + 3\text{O}_{2(\text{r})} = 2\text{CO}_{2(\text{r})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$.
261. $\text{CaCO}_{3(\text{r})} = \text{CaO}_{(\text{r})} + \text{CO}_{2(\text{r})}$.
262. $\text{H}_2\text{S}_{(\text{r})} + \text{COS}_{(\text{r})} = \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} + \text{CS}_{2(\text{r})}$.
263. $\text{H}_2\text{S}_{(\text{r})} + \text{CO}_{2(\text{r})} = \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} + \text{COS}_{(\text{r})}$.
264. $\text{C}_6\text{H}_{6(\text{r})} + 3\text{H}_{2(\text{r})} = \text{C}_6\text{H}_{12(\text{ж})}$.
265. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(\text{ж})} = \text{C}_2\text{H}_{4(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$.
266. $\text{CH}_{4(\text{r})} + 2\text{H}_2\text{S}_{(\text{r})} = \text{CS}_{2(\text{ж})} + 4\text{H}_{2(\text{r})}$.
267. $2\text{AgNO}_{3(\text{r})} = 2\text{Ag}_{(\text{r})} + 2\text{NO}_{2(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})}$.
268. $4\text{CO}_{(\text{r})} + 2\text{SO}_{2(\text{r})} = \text{S}_{2(\text{r})} + 4\text{CO}_{2(\text{r})}$.
269. $2\text{NaHCO}_{3(\text{r})} = \text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} + \text{CO}_{2(\text{r})}$.
270. $\text{MgCO}_{3(\text{r})} = \text{MgO}_{(\text{r})} + \text{CO}_{2(\text{r})}$.

10. ВЫЧИСЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ДИССОЦИАЦИИ И КОНСТАНТЫ РАВНОВЕСИЯ

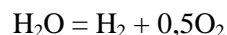
Задание X. Решить задачи.

271. Взято 42,0 г N_2O_4 в объеме 0,01835 м³ при 50 °С и давлении 946 гПа, N_2O_4 диссоциирует по уравнению



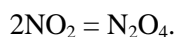
Вычислить степень диссоциации и константу равновесия.

272. При 2400 К для реакции



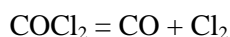
$\lg K_p = -2,41$. На сколько надо повысить давление, чтобы степень диссоциации водяного пара уменьшилась вдвое, если вначале давление равнялось 507 гПа?

273. При температуре 49,7 °С и давлении 348 гПа N₂O₄ диссоциирует на 63 % согласно уравнению



Определить, под каким давлением степень диссоциации при указанной температуре будет равна 50 %.

274. В объеме 0,001 м³ находится 0,99 г фосгена при 600 °С. Общее давление 1377 гПа. Определить степень диссоциации, константу равновесия K_x реакции

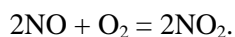


и подсчитать, сколько граммов СО надо ввести в данный объем, чтобы степень диссоциации фосгена понизилась до 10 %.

275. Если нагреть 1,518·10⁻³ моль йода, то пары его при 800 К под давлением 518 гПа займут объем 2,493·10⁻⁴ м³. Определить константы равновесия (K_x и K_p) при диссоциации I₂ по уравнению

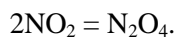


276. При температуре 494 °С и давлении 990 гПа диоксид азота диссоциирован на 56,5 % по уравнению



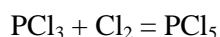
Определить давление, при котором степень диссоциации равна 80 %, и значения K_x и K_p .

277. При температуре 49,7 °С и давлении 348 гПа N₂O₄ диссоциирует на 63 % согласно уравнению



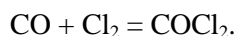
Рассчитать значения K_x и K_p для этой реакции. Определить константу равновесия K_p .

278. Константа равновесия реакции



при 500 К равна $K_p = 3,00$. Определить степень диссоциации при этой температуре, если общее давление $8,104 \cdot 10^5$ Па.

279. Навеска 0,99 г фосгена нагревается до 600 °С в сосуде вместимостью 0,001 м³. Общее давление 1377 гПа. В результате термической диссоциации установилось равновесие.



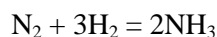
Вычислить степень диссоциации, константу равновесия K_p и давление, при котором степень диссоциации понизится до 10 %.

280. Вычислить степень диссоциации аммиака при следующих условиях: а) 600 °С и $10,13 \cdot 10^3$ гПа; б) 600 °С и $101,3 \cdot 10^3$ гПа, а также процентное содержание (по объему) аммиака в равновесной смеси, если константа равновесия реакции



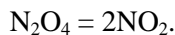
при 600 °С $K_p = 6,527 \cdot 10^{-3}$.

281. Вычислить степень диссоциации аммиака при следующих условиях: а) 400 °С и $10,13 \cdot 10^3$ гПа; б) 400 °С и $101,3 \cdot 10^3$ гПа, а также процентное содержание (в объемных процентах) аммиака в равновесной смеси, если константа равновесия реакции



при 400 °С $K_p = 8,06 \cdot 10^{11}$.

282. N₂O₄ массой 9,2 г частично диссоциирует при 27 °С и 1013 гПа и занимает объем 0,00295 м³. Рассчитать степень термической диссоциации и константу равновесия K_x при этой температуре для системы



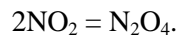
Как надо изменить объем при той же температуре и том же исходном количестве N₂O₄, чтобы степень диссоциации стала равной 40 %?

283. Константа равновесия для реакции



при 212 °C $K_p = 0,252$. Вычислить K_x , а также рассчитать степень диссоциации и общее давление смеси, если 9,65 г PCl_5 в объеме 0,00264 м³ нагреты до 212 °C.

284. При температуре 49,7 °C N_2O_4 диссоциирует, причем устанавливается равновесие

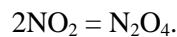


Рассчитать среднее значение константы K_p по следующим данным:

P , гПа	0,663	0,348	0,243
α	0,485	0,620	0,680

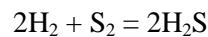
По среднему значению K_p найти степень диссоциации при общем давлении 125 гПа, а также давление, при котором степень диссоциации равна 0,92.

285. При температуре 49,7 °C и давлении 348 гПа N_2O_4 диссоциирует на 63 % по уравнению



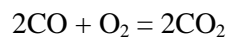
Какова будет степень диссоциации при этой же температуре под давлением 125 гПа?

286. При температуре 830 °C и давлении 1013 гПа степень диссоциации сероводорода согласно уравнению



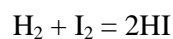
равна 8,7 %. Определить константу равновесия K_p этой реакции.

287. При температуре 1500 К и давлении 1013 гПа степень диссоциации CO_2 по уравнению



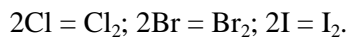
равна $1,04 \cdot 10^{-3}$. Определить константу равновесия K_p . Рассчитать степень диссоциации CO_2 под давлением $202,6 \cdot 10^3$ гПа, пренебрегая малыми значениями α по сравнению с единицей в $1 - \alpha$ и $1 + \alpha/2$.

288. Для реакции



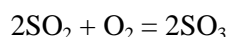
константа равновесия $K_p = 50$. Рассчитать, сколько молей водорода необходимо взять на каждый моль йода, чтобы I_2 при $444\text{ }^\circ\text{C}$ превратился на 90% в йодид водорода.

289. Для галогенов при температуре 1000 K и давлении $1,013 \cdot 10^5\text{ Па}$ получены следующие значения степени термической диссоциации на свободные атомы: для Cl_2 $\alpha_1 = 3,5 \cdot 10^{-4}$, для Br_2 $\alpha_2 = 2,3 \cdot 10^{-3}$ и для I_2 $\alpha_3 = 2,8 \cdot 10^{-2}$. Рассчитать константы равновесия для систем:



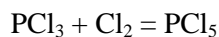
Какие выводы можно сделать о прочности связей в молекулах хлора, брома и йода?

290. При $727\text{ }^\circ\text{C}$ константа равновесия реакции



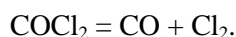
$K_p = 3,461$. Определить, под каким давлением степень диссоциации SO_3 составит 20% ? Какое потребуется давление для снижения степени диссоциации до 5% ?

291. Константа равновесия реакции

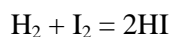


при 500 K $K_p = 3,0$. Определить, под каким давлением степень диссоциации при этой температуре будет равна 10% .

292. Закрытый сосуд заполняют при $17\text{ }^\circ\text{C}$ и $0,946 \cdot 10^5\text{ Па}$ фосгеном ($COCl_2$). При этих условиях фосген практически не диссоциирован. При нагревании до $500\text{ }^\circ\text{C}$ давление повышается до $2,674 \cdot 10^5\text{ Па}$. Рассчитать степень диссоциации фосгена и константы равновесия K_p и K_x при $500\text{ }^\circ\text{C}$ для реакции

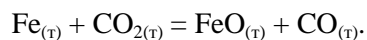


293. При $444\text{ }^\circ\text{C}$ константа равновесия реакции

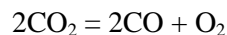


$K_p = 50$. Сколько молей H_2 нужно добавить к 1 моль HI , чтобы степень диссоциации стала равна 10% ?

294. Железо и CO_2 реагируют по уравнению

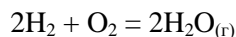


При 1000 К и давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па парциальное давление CO_2 равно $0,66 \cdot 10^5$ Па. Определить степень диссоциации CO_2

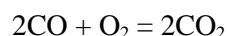


при данной температуре и под давлением: а) $0,1013 \cdot 10^5$ Па; б) $1,013 \cdot 10^5$ Па; в) $10,13 \cdot 10^5$ Па. Парциальное давление кислорода над FeO при 1000 К равно $4,134 \cdot 10^{-16}$ Па.

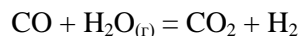
295. При 1000 К и давлении $0,1013 \cdot 10^5$ Па водяной пар диссоциирует



и степень диссоциации $\alpha_1 = 5,56 \cdot 10^{-7}$. В тех же условиях CO_2 диссоциирует

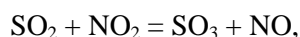


и $\alpha_2 = 5,31 \cdot 10^{-7}$. Рассчитать по этим данным константу равновесия реакции

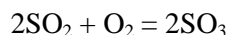


и состав равновесной смеси при смешении равных объемов CO и $\text{H}_2\text{O}_{(г)}$.

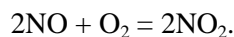
296. Рассчитать K_p при 727 К для реакции



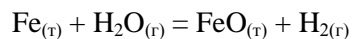
если при данной температуре $K_p = 3,46$, для реакции



и $K_p = 0,02$ для реакции



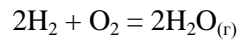
297. При температуре 1000 К и давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па для реакции



парциальное давление водорода $0,652 \cdot 10^5$ Па. При этой же температуре $P_{O_2} = 4,21 \cdot 10^{-16}$ Па для реакции

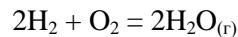


Определить константу равновесия реакции

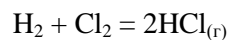


и рассчитать степень термической диссоциации водяного пара при общем давлении: а) $0,1013 \cdot 10^5$ Па; б) $1,013 \cdot 10^5$ Па; в) $10,13 \cdot 10^5$ Па.

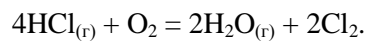
298. При температуре 900 К и давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па для реакции



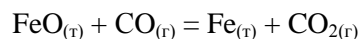
$\alpha = 3,24 \cdot 10^{-8}$. При той же температуре для реакции



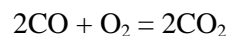
$K_p = 2,52 \cdot 10^{11}$. Определить константу равновесия реакции



299. При температуре 1000 К и давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па для реакции



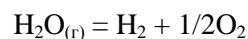
парциальное давление CO равно $0,353 \cdot 10^5$ Па. Константа равновесия K_p реакции



при той же температуре равна $8,553 \cdot 10^{21}$. Рассчитать K_p для реакции



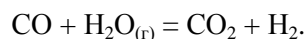
300. Степень диссоциации водяного пара



и диоксида углерода



при 1500 К соответственно $2,21 \cdot 10^{-4}$ и $4,8 \cdot 10^{-4}$. Рассчитать при этой температуре константу равновесия реакции

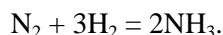


11. ВЫЧИСЛЕНИЕ СОСТАВА РАВНОВЕСНОЙ СМЕСИ ГАЗОВ

Состав равновесной смеси газов вычисляют по константе равновесия и начальному нестехиометрическому составу смеси газов, или, наоборот, рассчитывается константа равновесия по начальной нестехиометрической смеси газов и степени превращения.

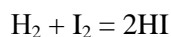
Задание XI. Рассчитать равновесный состав системы.

301. Из смеси, содержащей 1 моль азота и 3 моль водорода, в состоянии равновесия при давлении $10,13 \cdot 10^5$ Па образуется 0,5 моль аммиака. Вычислить K_p для реакции



Определить процентный выход аммиака (по объему).

302. При изучении реакции



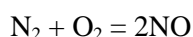
при 440 °С нагревалось различное число молей водорода и йода и определялось число молей йодоводорода в состоянии равновесия.

Таблица 11.1

Исходное число, моль		Получено йодоводорода, моль
Водород	Йод	
2,94	8,10	5,56
5,20	7,94	9,40
14,44	8,12	14,93

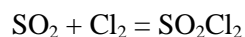
По приведенным данным (табл.11.1) рассчитать константы равновесия, а по среднему значению константы найти, сколько молей йодоводорода должно образоваться при нагревании 27,58 моль водорода и 8,02 моль йода.

303. Константа равновесия для реакции



при 2673 К равна 0,0035. Какой выход NO получится при этой температуре : а) из воздуха; б) из смеси 40 % (по объему) O₂ и 60 % (по объему) N₂; в) из смеси 80 % (по объему) O₂ и 20 % (по объему) N₂?

304. Константа равновесия реакции



при 102 °С $K_x = 13,35 \text{ (кмоль/м}^3\text{)}^{-1}$. Какова будет концентрация SO₂Cl₂ при равновесии, если исходные концентрации SO₂ и Cl₂ имеют следующие значения:

а) $C_{\text{SO}_2} = C_{\text{Cl}_2} = 1 \text{ кмоль/м}^3$;

б) $C_{\text{SO}_2} = C_{\text{Cl}_2} = 2 \text{ кмоль/м}^3$;

в) $C_{\text{SO}_2} = 1 \text{ кмоль/м}^3$, а $C_{\text{Cl}_2} = 2 \text{ кмоль/м}^3$.

305. Вычислить константу равновесия K_p при различном давлении для реакции



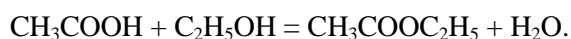
если содержание в равновесной смеси CO₂ и CO следующее:

$P_{100\text{ }^\circ\text{C}} \cdot 10^5 \text{ Па}$	10,84	20,26	30,39
CO ₂ , % (по объему)	7,5	12,5	17,0
CO, % (по объему)	92,5	87,5	83,0

Рассчитать содержание, % (по объему): CO₂ и CO в равновесной смеси при $47,21 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и 1000 °С.

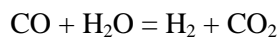
306. Давление насыщенных паров твердого NH₄CN при 11 °С равно $0,303 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Пар NH₄CN при 11 °С практически полностью диссоциирован на аммиак и цианид водорода. Чему будет равно парциальное давление HCN, если твердый NH₄CN будет возгоняться при 11 °С в закрытом сосуде с аммиаком, начальное давление которого $0,430 \cdot 10^5 \text{ Па}$? Какое будет общее давление в сосуде? Сколько граммов NH₄CN возгонится, если объем сосуда $0,001 \text{ м}^3$?

307. При смешении 1 моль уксусной кислоты и 1 моль этанола протекает реакция (в растворе)



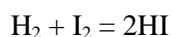
При достижении равновесия в реакционной смеси находятся по 1/3 моль кислоты и спирта и по 2/3 моль эфира и воды. Какое количество эфира будет в реакционной смеси при равновесии, если смешать: а) 1 моль кислоты и 2 моль спирта; б) 1 моль кислоты, 1 моль спирта и 1 моль воды; в) 1 моль эфира и 3 моль воды; г) 1 моль кислоты, 1 моль спирта, 1 моль воды и 1 моль эфира?

308. Для реакции



$K_p = 1$ при 930 К. Рассчитать процентный состав исходной смеси CO и H₂O, чтобы при той же температуре равновесная смесь содержала по 20 % (по объему) CO₂ и H₂.

309. Для реакции



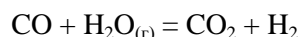
при 444 °С $K_p = 50$; 1 моль HI нагревается до 444 °С. Сколько молей HI при этом разложится? Чему будет равна степень диссоциации?

310. Для реакции



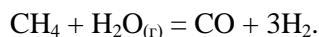
при 1000 К $K_p = 0,595$. Некоторое количество диоксида углерода, занимающее объем 1 м³ при 27 °С и 1013 гПа, пропускается при 1000 К над углем. Какой объем будет занимать равновесная смесь газов, если давление остается неизменным, и какой будет ее процентный состав?

311. Для реакции

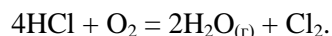


при 930 К $K_p = 1,0$. Смесь, состоящая из 20 % (по объему) CO и 80 % (по объему) H₂O, нагревается до 930 К. Определить равновесный состав смеси.

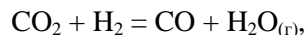
312. При нагревании стехиометрической смеси метана и водяного пара до 1100 К и при давлении 1013 гПа в равновесной смеси содержится 72,43 % H₂. Определить константу равновесия реакции



313. Смесь, начальный состав которой 4,9 моль HCl и 5,1 моль O₂, реагирует при 480 °С. Равновесное давление равно 964 гПа, а степень превращения HCl составляет 76 %. Определить константу равновесия K_p для реакции

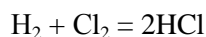


314. Газовая смесь состава следующая, % (по объему): CO – 45; H₂ – 35; H₂O – 20 нагревается до 1400 °С. Рассчитать равновесный состав смеси газов



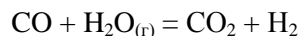
если константа равновесия при этой температуре равна 2,21.

315. Для реакции



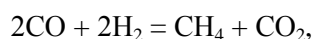
при некоторой температуре $K_p = 1$. Определить состав (в объемных процентах) равновесной реакционной смеси, полученной из 2 л H₂ и 3 л Cl₂.

316. При получении водорода взаимодействием оксида углерода с водяным паром



при 1000 К $K_p = 1,37$. Вычислить равновесное количество водорода, если исходная смесь содержит 0,4 моль оксида углерода и 0,6 моль паров воды.

317. Вычислить при температуре 1000 К и давлении $20,2 \cdot 10^5$ Па K_p и K_x реакции образования метана



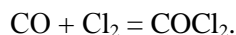
если равновесная смесь газов содержит, % (по объему): CH₄ – 22,2; CO₂ – 31,8; H₂ – 25,8; CO – 20,2.

318. Вычислить равновесный выход CO для реакции

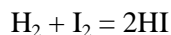


при 800 °С и $1,013 \cdot 10^5$ Па, если $K_p = 6,597$ Па.

319. При $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $1,013 \cdot 10^5\text{ Па}$ из 1 моль CO и 1 моль Cl_2 к моменту достижения равновесия образуется 0,2 моль фосгена. Определить K_p и K_x реакции

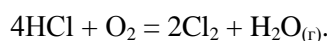


320. Для реакции

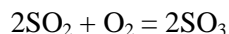


при $440\text{ }^{\circ}\text{C}$ $K_p = 50$. Сколько молей получится, если нагреть до этой температуры 1,27 г йода и 0,02 г водорода? Чему будут равны парциальные давления всех газов, если объем равновесной смеси равен $0,001\text{ м}^3$?

321. Газовая смесь, состоящая из равных объемов HCl и O_2 , реагирует при 800 К. После наступления равновесия в равновесной смеси содержится 18,66 % (по объему) Cl_2 и давление равно $1,013 \cdot 10^5\text{ Па}$. Определить константу равновесия реакции

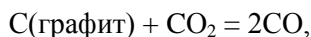


322. В реакционную трубку с катализатором со скоростью 5 л/ч поступает смесь SP_2 и O_2 при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении $1,013 \cdot 10^5\text{ Па}$. Смесь содержит 10 % (по объему) SO_2 . В трубке образуется SO_3 по уравнению



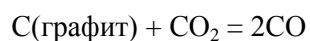
и устанавливается равновесие. Равновесная смесь газов, выходящая из трубки, пропускается через раствор BaCl_2 , где за 2 ч осаждается 5,58 г BaSO_4 . Определить константу равновесия K_p этой реакции при данной температуре.

323. Углерод взаимодействует с CO_2 по уравнению



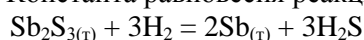
в состоянии равновесия при 900 К и давлении $1,013 \cdot 10^5\text{ Па}$, газовая фаза содержит 35,28 % (по объему) CO . Определить K_p и содержание (в объемных процентах) CO в равновесной смеси под общим давлением $10,13 \cdot 10^5\text{ Па}$.

324. Под давлением $1,013 \cdot 10^5\text{ Па}$ и при 1000 К константа равновесия реакции



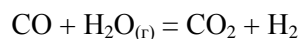
$K_p = 1,862$. Определить состав газовой фазы в состоянии равновесия.

325. В реакционный сосуд введены 1 моль H_2 и 1 моль Sb_2S_3 и нагреты до 713 К. Константа равновесия реакции



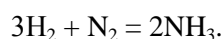
$K_p = 0,429$. Определить, сколько молей сурьмы образуется и сколько молей водорода израсходуется по этой реакции в состоянии равновесия.

326. Для реакции

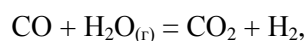


при 800 К $K_p = 4,12$. Смесь, состоящую из 20 % (по массе) CO и 80 % (по массе) H_2O нагревают до 800 К. Определить равновесный состав смеси и выход водорода, если был взят 1 кг водяного пара.

327. Из смеси стехиометрических количеств водорода и азота, заключенной в сосуд вместимостью $0,001 \text{ м}^3$ при $400 \text{ }^\circ\text{C}$, образуется $0,0385$ моль NH_3 . Вычислить константу равновесия K_x и K_p реакции

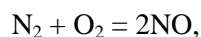


328. Определить равновесный состав смеси для реакции



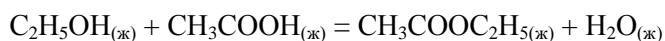
если известно, что при $930,5 \text{ К}$ $K_p = 1$, а до начала реакции были смешаны 3 моль CO и 4 моль H_2O .

329. Рассчитать количество кислорода (в объемных процентах), которое содержится в реакционной равновесной смеси для реакции



если при $2400 \text{ }^\circ\text{C}$ $K_p = 1,0035$, а азот и кислород были взяты в эквимолекулярном отношении.

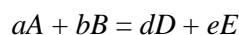
330. Для реакции



при 25 °С $K_x = 4$. Определить выход эфира, если взять 100 г спирта и 20 г уксусной кислоты. Раствор считать идеальным.

12. РАСЧЕТ КОНСТАНТЫ РАВНОВЕСИЯ В СМЕСИ РЕАЛЬНЫХ ГАЗОВ

Для реакции, протекающей в смеси реальных газов,



константа равновесия выражается через парциальные летучести компонентов в равновесной системе

$$K_f = \frac{f_D^d f_E^e}{f_A^a f_B^b}.$$

Летучесть можно выразить через парциальное давление по уравнению

$$f_i = \gamma_i p_i,$$

где p_i – равновесное парциальное давление i -го компонента; γ_i – коэффициент летучести (активности). Отсюда получаем соотношение

$$K_f = K_\gamma K_p,$$

где

$$K_\gamma = \frac{\gamma_D^d \gamma_E^e}{\gamma_A^a \gamma_B^b}.$$

Для вычисления коэффициентов летучести можно воспользоваться приближенным методом расчета, основанном на принципе соответственных состояний. Согласно этому принципу ряд одинаковых свойств, в том числе и коэффициент летучести различных реальных газов, оказывается равным при одинаковых значениях приведенной температуры τ и приведенного давления π .

Приведенной температурой и приведенным давлением называют соответственно отношения абсолютной температуры и давления к их критическим значениям:

$$\tau = \frac{T}{T_{\text{кр}}} \quad \text{и} \quad \pi = \frac{P}{P_{\text{кр}}} .$$

Константа равновесия для смеси реальных газов, выраженная через летучесть K_f , не зависит от давления. При малом давлении $K_\gamma = 1$ и $K_f = K_p$. В неидеальном растворе константа равновесия описывается уравнением

$$K_a = K_\gamma K_c = \frac{a_D^d a_E^e}{a_A^a b_B^b} ,$$

где

$$K_\gamma = \frac{\gamma_D^d \gamma_E^e}{\gamma_A^a \gamma_B^b} ,$$

a_i – активность i -го компонента, $a_i = \gamma_i C_i$; γ_i – коэффициент активности i -го компонента.

Константы равновесия K_f и K_a могут быть определены также по стандартным изменениям энергии Гиббса. Стандартное изменение Гиббса в реальном газе или неидеальном растворе определяется по уравнению

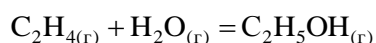
$$\Delta G^0 = -RT \ln K_f$$

или

$$\Delta G^0 = -RT \ln K_a .$$

При расчете K_f по значениям $\Delta_r G_T^0$, полученным по стандартным значениям $\Delta_f H_{298}^0$ и S_{298}^0 , константа безразмерна.

Пример. Вычислить выход этанола по реакции



из смеси этилена и воды стехиометрического состава при температуре 300 °С и давлении 10133,0 Па, если $\Delta_r G_{573}^0 = 27660 \text{ Дж}$.

Решение. Согласно уравнению

$$K_f = \frac{\gamma_{C_2H_5OH}}{\gamma_{C_2H_4} \gamma_{H_2O}}.$$

Коэффициенты летучести определяем, используя принцип соответственных состояний. Находим приведенные параметры для всех реагирующих веществ на основании табличных данных для критических температур и давлений. При отсутствии в таблицах точных значений некоторых параметров применяем интерполяцию:

$$\tau_{C_2H_4} = \frac{T}{T_{кр}} = \frac{573}{283,1} = 2,02; \quad \pi_{C_2H_4} = \frac{P}{P_{кр}} = \frac{10133}{5117} = 1,98;$$

$$\tau_{H_2O} = \frac{573}{647,4} = 0,890; \quad \pi_{H_2O} = \frac{10133}{22120} = 0,46;$$

$$\tau_{C_2H_5OH} = \frac{573}{516,2} = 1,11; \quad \pi_{C_2H_5OH} = 1,59.$$

По таблицам определяем коэффициенты летучести:

$$\gamma_{C_2H_4} = 0,958; \quad \gamma_{H_2O} = 0,78; \quad \gamma_{C_2H_5OH} = 0,642;$$

$$K_f = \frac{0,642}{0,958 \cdot 0,78} = 0,859.$$

В тех случаях, когда значения приведенной температуры τ меньше единицы, значения коэффициентов летучести находят из диаграммы, которая приводится в справочной литературе.

Из условия задачи

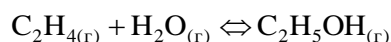
$$\ln K_f = -\frac{\Delta_r G_{573}^0}{RT} = -\frac{27660}{8,31 \cdot 573} = -5,81 \Rightarrow K_f = 3 \cdot 10^{-3}.$$

Отсюда

$$K_p = \frac{K_f}{K_\gamma} = \frac{3 \cdot 10^{-5}}{0,859} = 3,49 \cdot 10^{-3}.$$

Парциальные давления реагентов в равновесной газовой смеси определяем по уравнению Дальтона: $p_i = \frac{n_i}{\sum n_i} P$.

Необходимые числа молей равновесной газовой смеси находим из стехиометрической смеси 1 моль этилена и 1 моль водяного пара:



В исходной смеси, моль	1	1	0
Вступивших в реакцию, моль	x	x	0
В равновесной смеси, моль	$1-x$	$1-x$	x
Общее число молей равновесной смеси	$\sum n_i = 1-x+1-x+x = 2-x$		

В таком случае парциальные давления выразим следующим образом:

$$p_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} = \frac{x}{2-x} P; \quad p_{\text{C}_2\text{H}_4} = p_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1-x}{2-x} P$$

и подставим в выражение константы равновесия:

$$K_p = \frac{p_{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}}}{p_{\text{C}_2\text{H}_4} p_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{xP(2-x)^2}{(2-x)(1-x)^2 P^2} = \frac{x(2-x)}{(1-x)^2 P},$$

$$\frac{x(2-x)}{(1-x)^2} = PK_p = 0,35.$$

После ряда преобразований получаем уравнение

$$1,35x^2 - 2,7x + 0,35 = 0.$$

Отсюда имеем следующие значения:

$$x_1 = 0,14 \text{ моль}; \quad x_2 = 1,86 \text{ моль}.$$

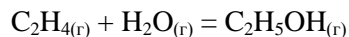
Значение $x = 1,86$ ($x > 1$) не имеет физического смысла.

Выход* этанола составляет

$$\frac{x}{2-x}100 = \frac{0,14}{2-0,14}100 = 7,5 \%$$

Задание XII. Решить задачи.

331-335. Вычислить выход этанола по уравнению реакции

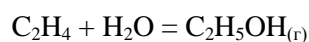


из смеси этилена и воды стехиометрического состава при температуре T и давлении P (табл. 12.1).

Таблица 12.1

Номер задачи	$T, ^\circ\text{C}$	$\Delta_r G_T^0, \text{кДж/моль}$	$P, \text{кПа}$
331	375	37,11	22060
332	375	37,11	44120
333	440	45,19	22060
334	440	45,19	44120
335	500	52,54	22060

336-340. Вычислить выход этанола (в молярных процентах) по уравнению реакции



при температуре $375 ^\circ\text{C}$, давлении P и различных соотношениях водяного пара и этилена в исходной смеси, если $\Delta_r G_T^0 = 37,11 \text{ Дж/моль}$ (табл. 12.2).

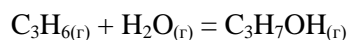
Таблица 12.2

Номер задачи	$n_{\text{H}_2\text{O}} : n_{\text{C}_2\text{H}_4}$	$P, \text{кПа}$
336	0,2 : 1	44120
337	0,4 : 1	44120
338	0,4 : 1	22060

* Выходом продукта называется отношение числа молей продукта реакции к общему числу молей в равновесной смеси, выраженное в процентах (по объему).

339	0,6:1	22060
340	0,8:1	22060

341-342. Вычислить выход пропанола, полученного при гидратации пропилена C_3H_6



под давлением 22060 кПа и температуре T из смеси стехиометрического состава (табл.12.3).

Таблица 12.3

Номер задачи	$T, ^\circ C$	$\Delta_r G_T^0, \text{кДж/моль}$
341	375	36,17
342	440	43,48

343-346. Вычислить выход бутанола, полученного при гидратации бутилена C_4H_8 из смеси стехиометрического состава при температуре T и давлении P (табл.12.4) по уравнению реакции

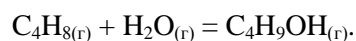
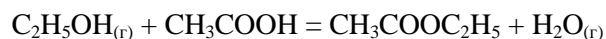


Таблица 12.4

Номер задачи	$T, ^\circ C$	$P, \text{кПа}$	$\Delta_r G_T^0, \text{кДж/моль}$
343	375	22060	43,00
344	375	22060	43,00
345	440	44120	51,94
346	400	44120	51,94

347-349. Вычислить выход уксусноэтилового эфира из стехиометрической смеси этанола и уксусной кислоты по уравнению реакции

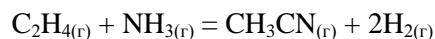


при температуре T и давлении P , если для данной реакции $\Delta_r G_T^0 = -35082,84 - 23,4304 \ln T + 195,393T$ кДж/моль (табл.12.5).

Таблица 12.5

Номер задачи	T , °C	P , кПа
347	375	22060
348	375	44120
349	440	22060

350-353. Вычислить выход ацетонитрила CH_3CN из стехиометрической смеси этилена и аммиака по уравнению реакции



при давлении 20266 кПа и температуре T (табл.12.6).

Таблица 12.6

Номер задачи	T , °C	$\Delta_r G_T^0$, Дж/моль
350	700	-20,26
351	800	-37,18
352	900	-50,90
353	1000	-66,80

354-360. Вычислить выход аммиака из стехиометрической смеси азота и водорода реакции (табл.12.7)

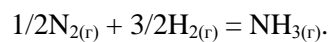


Таблица 12.7

Номер задачи	T , °C	P , кПа	$\Delta_r G_T^0$, Дж/моль
354	600	40532	26681
355	700	40532	26681
356	700	31064	38043
357	700	101330	38043
358	800	40532	38043
359	800	31064	49536
360	800	101330	49536

13. ПРИМЕНЕНИЕ ИЗОТЕРМЫ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССА

Задание XIII. Определить направление процесса.

361. Для реакции $\text{H}_2 + \text{I}_2 = 2\text{HI}$ $K_x = 50$ при 444°C определить направление процесса, если исходная смесь имеет следующий состав: $C_{\text{H}_2} = 2$ моль/л; $C_{\text{I}_2} = 5$ моль/л; $C_{\text{HI}} = 10$ моль/л.

362. Константа диссоциации N_2O_4 по уравнению $\text{N}_2\text{O}_4 = 2\text{NO}_2$ при 50°C равна 0,787. Определить направление процесса при следующих исходных значениях парциальных давлений компонентов:

Вариант	$P_{\text{N}_2\text{O}_4}$, Па	P_{NO_2} , Па
1	$1,013 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^5$
2	$4,052 \cdot 10^5$	$1,792 \cdot 10^5$
3	$1,681 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^5$

363. Для реакции $\text{H}_2\text{O}_{(г)} = \text{H}_2 + 1/2\text{O}_2$ при 1500°C и $1,013 \cdot 10^5$ Па $\alpha = 2,21 \cdot 10^{-4}$. Определить, в каком направлении пойдет процесс при следующих значениях исходных парциальных давлений компонентов:

Вариант	$P_{\text{H}_2\text{O}}$, Па	P_{H_2} , Па	P_{O_2} , Па
1	$1,013 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^5$
2	$1,013 \cdot 10^4$	$2,026 \cdot 10^2$	$1,28 \cdot 10^{-3}$
3	$1,013 \cdot 10^4$	$1,013 \cdot 10^1$	$1,28 \cdot 10^{-3}$

364. Для реакции $\text{CO}_2 = \text{CO} + 1/2\text{O}_2$ при 1500 K и $1,013 \cdot 10^5$ Па $\alpha = 4,8 \cdot 10^{-4}$. Определить, в каком направлении пойдет процесс при следующих значениях исходных парциальных давлений компонентов:

Вариант	P_{CO_2} , Па	P_{CO} , Па	P_{O_2} , Па
1	$1,013 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^5$
2	$1,013 \cdot 10^3$	$2,026 \cdot 10^2$	$12,75 \cdot 10^{-5}$
3	$1,013 \cdot 10^3$	$1,013 \cdot 10^1$	$12,75 \cdot 10^{-5}$

365. При $600\text{ }^\circ\text{C}$ константа равновесия реакции $\text{CO} + \text{Cl}_2 = \text{COCl}_2$ $K_p = 0,17$. Вычислить максимальную работу образования 1 моль COCl_2 при этой температуре и парциальном давлении $0,575 \cdot 10^5$ Па, если CO и Cl_2 взяты при парциальных давлениях соответственно $2,026 \cdot 10^5$ и $3,039 \cdot 10^5$ Па.

366. Для реакции $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$ при 1500 K $K_p = 0,31$. Определить направление процесса при следующих значениях исходных парциальных давлений компонентов:

Вариант	P_{CO} , Па	$P_{\text{H}_2\text{O}}$, Па	P_{CO_2} , Па	P_{H_2} , Па
1	$2,026 \cdot 10^5$	$6,078 \cdot 10^5$	$4,052 \cdot 10^5$	$3,039 \cdot 10^5$
2	$19,25 \cdot 10^5$	$2,431 \cdot 10^5$	$4,052 \cdot 10^5$	$3,039 \cdot 10^5$
3	$20,26 \cdot 10^5$	$5,065 \cdot 10^5$	$6,078 \cdot 10^5$	$2,026 \cdot 10^5$

367. Для реакции $\text{SO}_2\text{Cl}_2 = \text{SO}_2 + \text{Cl}_2$ при $30\text{ }^\circ\text{C}$ $K_p = 2,84 \cdot 10^{-2}$. Определить направление процесса при следующих значениях исходных парциальных давлений компонентов:

Вариант	$P_{\text{SO}_2\text{Cl}_2}$, Па	P_{SO_2} , Па	P_{Cl_2} , Па
1	$4,052 \cdot 10^5$	$2,026 \cdot 10^5$	$2,026 \cdot 10^5$
2	$3,565 \cdot 10^3$	$1,013 \cdot 10^3$	$1,013 \cdot 10^4$
3	$2,026 \cdot 10^3$	$1,013 \cdot 10^3$	$1,013 \cdot 10^4$

368. Для реакции $2\text{H}_2 + \text{S}_{2(\text{r})} = 2\text{H}_2\text{S}_{(\text{r})}$ при $830\text{ }^\circ\text{C}$ $K_p = 2,63 \cdot 10^3$. Определить направление процесса при следующих значениях исходных парциальных давлений компонентов:

Вариант	P_{H_2} , Па	P_{S_2} , Па	$P_{\text{H}_2\text{S}}$, Па
1	$2,026 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^5$	$2,026 \cdot 10^5$
2	$2,026 \cdot 10^5$	$1,39 \cdot 10^3$	$12,15 \cdot 10^5$
3	$2,026 \cdot 10^3$	$1,39 \cdot 10^3$	$16,20 \cdot 10^5$

369. При 1000 K и $1,013 \cdot 10^5$ Па для термической диссоциации уравнению $\text{Cl}_2 = 2\text{Cl}$ $\alpha = 3,5 \cdot 10^{-4}$. Определить направление процесса при следующих значениях исходных парциальных давлений компонентов:

Вариант	P_{Cl_2} , Па	P_{Cl} , Па
1	$4,052 \cdot 10^5$	$2,026 \cdot 10^5$
2	$7,091 \cdot 10^5$	$2,775 \cdot 10^5$
3	$7,091 \cdot 10^5$	$2,127 \cdot 10^5$

370. При 727°C для реакции $2\text{SO}_2 + \text{NO}_2 = \text{SO}_3 + \text{NO}$ $K_p = 7,6$. Определить, в каком направлении будет протекать реакция при следующих значениях исходных парциальных давлений компонентов:

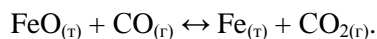
Вариант	P_{SO_2} , Па	P_{NO_2} , Па	P_{SO_3} , Па	P_{NO} , Па
1	$1,013 \cdot 10^5$	$6,078 \cdot 10^5$	$2,026 \cdot 10^5$	$3,039 \cdot 10^5$
2	$0,399 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^5$	$1,52 \cdot 10^5$	$2,026 \cdot 10^5$
3	$2,026 \cdot 10^5$	$3,039 \cdot 10^5$	$10,13 \cdot 10^5$	$6,078 \cdot 10^5$

371. Для реакции $\text{H}_2 + \text{I}_2 = 2\text{HI}$ при 300°C $K_p = 80$. Вычислить при этой температуре стандартное изменение изобарного потенциала, если парциальное давление каждого из газов равно $1,03 \cdot 10^5$ Па.

372. Для реакции $2\text{HCl}_{(г)} + \text{O}_2 = \text{H}_2\text{O}_{(г)} + 2\text{Cl}_2$ при 900 K $K_p = 0,935$. Определить, в каком направлении будет протекать реакция при следующих значениях исходных парциальных давлений компонентов:

Вариант	P_{HCl} , Па	P_{O_2} , Па	$P_{\text{H}_2\text{O}}$, Па	P_{Cl_2} , Па
1	$1,013 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^5$
2	$1,013 \cdot 10^5$	$9,731 \cdot 10^5$	$2,026 \cdot 10^5$	$1,52 \cdot 10^5$
3	$1,013 \cdot 10^5$	$10,13 \cdot 10^5$	$1,052 \cdot 10^5$	$1,52 \cdot 10^5$

373. При 1000 K и общем давлении 1013 гПа взаимодействие оксида углерода и оксида железа (II) приводит к равновесию



Парциальное давление оксида углерода 353 гПа . Определить, в каком направлении будет протекать реакция при следующих значениях исходных парциальных давлений компонентов:

Вариант	P_{CO} , Па	P_{CO_2} , Па
1	$2,026 \cdot 10^5$	$4,052 \cdot 10^5$
2	$1,62 \cdot 10^5$	$3,039 \cdot 10^5$
3	$2,026 \cdot 10^5$	$2,026 \cdot 10^5$

374. Для реакции $2\text{Sb}_2\text{S}_3(\text{т}) + 3\text{H}_2 = \text{Sb}(\text{т}) + \text{NO} + 3\text{H}_2\text{S}$ при 713 К $K_p = 0,429$. Определить, в каком направлении будет протекать реакция при следующих исходных парциальных давлениях компонентов:

Вариант	P_{H_2} , Па	$P_{\text{H}_2\text{S}}$, Па
1	$0,709 \cdot 10^5$	$0,507 \cdot 10^5$
2	$0,674 \cdot 10^5$	$0,507 \cdot 10^5$
3	$0,304 \cdot 10^5$	$0,507 \cdot 10^5$

375. Для реакции $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 3\text{H}_2$ при 1100 К $K_p = 308,39$. Определить, в каком направлении будет протекать реакция при следующих значениях исходных парциальных давлений компонентов:

Вариант	P_{CH_4} , Па	$P_{\text{H}_2\text{O}}$, Па	P_{CO} , Па	P_{H_2} , Па
1	$0,203 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^5$	$10,013 \cdot 10^5$	$2,026 \cdot 10^5$
2	$1,013 \cdot 10^5$	$2,026 \cdot 10^5$	$10,013 \cdot 10^5$	$2,026 \cdot 10^5$
3	$1,013 \cdot 10^5$	$1,053 \cdot 10^5$	$12,52 \cdot 10^5$	$3,039 \cdot 10^5$

376. Для реакции $\text{SO}_2 + \text{Cl}_2 = \text{SO}_2\text{Cl}_2$ при 102 °С $K_x = 13,35$. В каком направлении будет протекать реакция при следующих значениях концентраций реагирующих веществ в газовой смеси:

Вариант	C_{SO_2} , моль/л	C_{Cl_2} , моль/л	$C_{\text{SO}_2\text{Cl}_2}$, моль/л
1	1,00	0,30	5,00
2	1,00	0,45	6,00
3	2,00	3,00	5,00

377. Для реакции $2\text{FeO}(\text{т}) = 2\text{Fe}(\text{т}) + \text{O}_2(\text{г})$ при 1000 К $K_p = 3,1 \cdot 10^{-8}$. Определить, в каком направлении пойдет процесс при следующих значениях парциального давления кислорода над смесью оксида железа (II) и железа:

Вариант	P_{O_2} , Па
1	$4,052 \cdot 10^{-3}$
2	$3,14 \cdot 10^{-3}$
3	$2,026 \cdot 10^{-3}$

378. Для реакции $2CO_2 + 2H_2 = CH_4 + CO_2$ при 1000 К $K_p = 263,7$. Определить, в каком направлении пойдет реакция при следующих исходных парциальных давлениях компонентов:

Вариант	P_{CO_2} , Па	P_{H_2} , Па	P_{CH_4} , Па	P_{CO_2} , Па
1	$1,013 \cdot 10^4$	$2,026 \cdot 10^4$	$2,026 \cdot 10^4$	$6,078 \cdot 10^4$
2	$2,013 \cdot 10^4$	$1,601 \cdot 10^4$	$1,32 \cdot 10^4$	$2,026 \cdot 10^5$
3	$1,013 \cdot 10^4$	$1,013 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^5$	$5,065 \cdot 10^5$

379. Для реакции $PCl_3 + Cl_2 = PCl_5$ при 500 К $K_p = 3,0$. Будет ли происходить образование PCl_5 в газовой смеси, содержащей PCl_3 , Cl_2 и PCl_5 , если парциальные давления реагирующих веществ имеют следующие значения:

$$P_{PCl_3} = 1,013 \cdot 10^4 \text{ Па}; P_{PCl_5} = 5,07 \cdot 10^4 \text{ Па}; P_{Cl_2} = 2,026 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

380. При 111 °С и $1,013 \cdot 10^5$ Па 9,2 г N_2O_4 занимают объем $0,00607 \text{ м}^3$, причем устанавливается равновесие $N_2O_4 = 2NO_2$. Определить степень диссоциации N_2O_4 , константу равновесия K_x и направление процесса в смеси, содержащей в $0,001 \text{ м}^3$ 0,01 моль N_2O_4 и 0,5 моль NO_2 .

381. Для реакции $C_2H_{4(r)} + H_2 = C_2H_{6(r)}$ при 600 °С $K_p = 29,01$. Определить направление процесса при следующих значениях парциальных давлений реагентов:

Вариант	$P_{C_2H_4}$, Па	P_{H_2} , Па	$P_{C_2H_6}$, Па
1	$4,56 \cdot 10^4$	$5,07 \cdot 10^4$	$5,07 \cdot 10^3$
2	$5,06 \cdot 10^3$	$1,52 \cdot 10^4$	$8,11 \cdot 10^4$

382. Для реакции $2SO_2 + O_2 = 2SO_3$ при 727 °С $K_p = 3,46$. Определить направление процесса при следующих значениях исходных парциальных давлений компонентов:

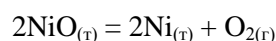
Вариант	P_{SO_2} , Па	P_{O_2} , Па	P_{SO_3} , Па
1	$7,32 \cdot 10^4$	$2,03 \cdot 10^4$	$7,8 \cdot 10^3$
2	$5,71 \cdot 10^4$	$1,03 \cdot 10^4$	$3,38 \cdot 10^4$
3	$2,53 \cdot 10^4$	$1,27 \cdot 10^4$	$6,33 \cdot 10^4$

383. Для реакции $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3$ при 350°C $K_p = 7,42 \cdot 10^{-2}$. Определить направление процесса при следующих значениях исходных парциальных давлений компонентов:

Вариант	P_{N_2} , Па	P_{H_2} , Па	P_{NH_3} , Па
1	$1,013 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^5$
2	$50,65 \cdot 10^5$	$151,95 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^5$
3	$4,36 \cdot 10^5$	$20,26 \cdot 10^5$	$6,065 \cdot 10^5$

384. Для реакции $\text{CO} + \text{H}_2\text{O}_{(г)} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$ при 930 K $K_p = 1$. Определить, в каком направлении пойдет реакция, если смесь газов имеет при этой температуре следующий состав, % (по объему): $\text{CO} - 50$, $\text{CO}_2 - 20$, $\text{H}_2 - 25$, $\text{H}_2\text{O} - 5$?

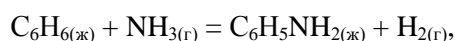
385. При 450°C давление диссоциации NiO по уравнению



равно $K_p = P_{\text{O}_2} = 6,817 \cdot 10^{-33}$. Пойдет ли разложение NiO на воздухе при парциальном давлении кислорода $0,203 \cdot 10^5$ Па? Чему будет равно ΔG для обратного процесса в тех же условиях?

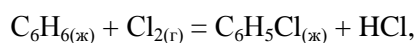
386. При 25°C для реакции $\text{N}_2\text{O}_4 = 2\text{NO}_2$; $\Delta_r G^0 = 5395$ Дж. Чему равна степень диссоциации N_2O_4 при следующих условиях: а) 25°C и $1,013 \cdot 10^5$ Па; б) 25°C и $10,13 \cdot 10^5$ Па?

387. Возможен ли термодинамический процесс получения анилина при 25°C по уравнению



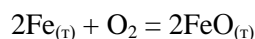
если при этой температуре: $\Delta_f G^0_{\text{C}_6\text{H}_6(ж)} = 124,6$ кДж/моль; $\Delta_f G^0_{\text{NH}_3} = 16,63$ кДж/моль; $\Delta_f G^0_{\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2(ж)} = 153,1$ кДж/моль?

388. Возможен ли при 25°C термодинамический процесс



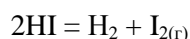
если при этой температуре $\Delta_f G^0_{C_6H_5Cl(ж)} = 198,4$ кДж/моль, $\Delta_f G^0_{HCl(ж)} = -95,28$ кДж/моль; $\Delta_f G^0_{C_6H_6(ж)} = 124,6$ кДж/моль?

389. При 100 К для реакции



$K_p = 4,19 \cdot 10^{25}$. Определить направление процесса, если $P_{O_2} = 2,026 \cdot 10^4$ Па.

390. При 360 °С и $1,013 \cdot 10^5$ Па для реакции



$\alpha = 20$ %. Определить, в каком направлении будет протекать процесс при следующих значениях парциальных давлений реагирующих веществ:

Вариант	P_{HI} , Па	P_{H_2} , Па	P_{I_2} , Па
1	$3,039 \cdot 10^4$	$3,039 \cdot 10^4$	$5,07 \cdot 10^4$
2	$3,039 \cdot 10^4$	$3,039 \cdot 10^4$	$1,56 \cdot 10^2$
3	$3,039 \cdot 10^4$	$3,039 \cdot 10^4$	$1,013 \cdot 10^3$

14. РАСЧЕТЫ ПО УРАВНЕНИЯМ ИЗОБАРЫ И ИЗОХОРЫ РЕАКЦИИ

Влияние температуры на константу равновесия выражается уравнениями изобары и изохоры:

$$\frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{\Delta_r H^0}{RT^2} \text{ или } \frac{d \ln K_p}{dT} = \frac{Q_p}{RT^2}; \quad (14.1)$$

$$\frac{d \ln K_x}{dT} = \frac{\Delta_r U^0}{RT^2} \text{ или } \frac{d \ln K_x}{dT} = \frac{Q_v}{RT^2}. \quad (14.2)$$

Если допустить в первом приближении, что $\Delta_r H^0 = \text{const}$ (это можно принять, если рассматривать изменение константы равновесия в небольшом температурном интервале), то тогда в интегральной форме уравнение (14.1) имеет вид

$$\lg K_p = -\frac{\Delta_r H^0}{2,303RT} + \text{const.} \quad (14.3)$$

При интегрировании в пределах от T_1 до T_2 получим

$$\lg \frac{K_{p,2}}{K_{p,1}} = \frac{\Delta_r H^0}{2,303R} \frac{(T_2 - T_1)}{T_1 T_2}. \quad (14.4)$$

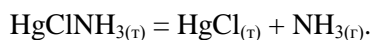
Полученные уравнения позволяют определить достаточно точно $K_{p,2}$ при T_2 в небольшом интервале температур $T_1 - T_2$, если известны $K_{p,1}$ при T_1 и тепловой эффект реакции; или вычислить тепловой эффект, если известны значения констант равновесия при двух температурах.

При более точном интегрировании следует учитывать, что $\Delta_r H^0 = f(T)$. Эту зависимость определяют по уравнению Кирхгофа.

Задание XIV. Решить задачи.

391. Для реакции $2\text{CO}_2 = 2\text{CO} + \text{O}_2$ $K_p = 3,98 \cdot 10^{-21}$ при 1000 К. Вычислить константу равновесия этой реакции при 2000 К, если среднее значение теплового эффекта $Q_p = 561,3$ кДж/моль.

392. Давление диссоциации HgClNH_3 равно 4693,2 Па при 167 °С и 8826,4 Па при 185 °С. Определить среднее значение теплового эффекта реакции



393. Тепловой эффект реакции

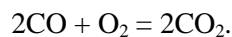


в температурном интервале от 475 до 575 К равен 91546,0 Дж. Степень диссоциации PCl_5 при 475 К и $1,013 \cdot 10^5$ Па равна 0,428. Определить степень диссоциации PCl_5 при 575 К и $2,026 \cdot 10^5$ Па.

394. Давление диссоциации PbO при 600 К равно $9,525 \cdot 10^{-26}$ Па, а при 800 К – $2,33 \cdot 10^{-16}$ Па. Определить температуру, при которой PbO будет разлагаться на воздухе.

395. Давление диссоциации CaCO₃ при температуре 1150 К равно $0,669 \cdot 10^5$ Па. Теплота диссоциации 167360 Дж/моль. Определить температуру, при которой давление диссоциации CaCO₃ равно $1,013 \cdot 10^5$ Па.

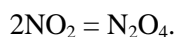
396. При нагревании CO₂ под давлением $1,013 \cdot 10^5$ Па до 1400 К обнаруживается термическая диссоциация на $1,5 \cdot 10^{-2}$ %, а при температуре 1498 К и том же давлении – на $4,7 \cdot 10^{-2}$ %. При этом устанавливается равновесие



Определить тепловой эффект реакции в этом температурном интервале и степень диссоциации CO₂ при 1478 К и $1,013 \cdot 10^5$ Па.

397. Йодид водорода диссоциирует при температуре 280 °С на 17,8 %, а при 520 °С – на 24,48 %. Определить степень диссоциации при 300 °С.

398. При диссоциации N₂O₄ устанавливается равновесие



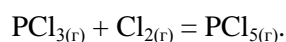
При нагревании 9,2 г N₂O₄ до 27 °С под давлением $1,013 \cdot 10^5$ Па газ занимает объем 0,00295 м³, дальнейшее нагревание до 110 °С приводит к расширению объема до 0,00607 м³. Рассчитать степень термической диссоциации при 27 и 110 °С, константы равновесия $K_{x,1}$ и $K_{x,2}$ при этих температурах и среднее значение теплового эффекта в указанном температурном интервале.

399. Определить тепловой эффект реакции диссоциации магнетита



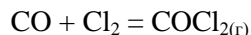
если давление диссоциации при 490 °С составляет 79 гПа, а при температуре 540 °С – 996 гПа.

400. При нагревании хлорида фосфора (V) устанавливается равновесие



При 200 °С и 1013 гПа все компоненты находятся в газовой фазе и степень термической диссоциации PCl_5 равна 48,5 %. Под этим же давлением при 250 °С PCl_5 диссоциирует на 80 %. Вычислить средний тепловой эффект реакции в данном интервале температур и степень термической диссоциации при 225 °С и 5065 гПа.

401. Для реакции



при 1013 гПа и 300 °С $\alpha = 3,9\%$, а при 500 °С и этом же давлении $\alpha = 55\%$. Рассчитать средний тепловой эффект реакции в указанном температурном интервале и степень термической диссоциации при 400 °С и 1013 гПа.

402. При умеренном нагревании кристаллогидрата $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ устанавливается равновесие



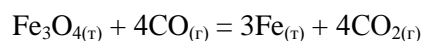
При 45,43 и 25 °С давление водяного пара над кристаллогидратом равно соответственно 102,4 и 19,4 гПа. Чему равно равновесное давление пара над кристаллогидратом при 10 °С?

403. При нагревании кристаллогидрата $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ устанавливается равновесие



При 283 К давление водяного пара над кристаллогидратом равно 6,50 гПа, а при 348 К – 293 гПа. Определить средний тепловой эффект реакции в данном интервале температур и константу равновесия данной системы при 300 К.

404. Для равновесия



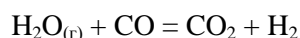
при 1091 К $K_p = 2,49$, а при 1312 К $K_p = 4,5$. Чему равен тепловой эффект процесса восстановления Fe_3O_4 ? При какой температуре $K_p = 5,4$?

405. Вычислить константу равновесия реакции



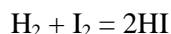
при 1000 К, если при 900 К $K_p = 2,33 \cdot 10^{-2}$.

406. Теплоты сгорания водорода и оксида углерода соответственно равны 241,8 и 283,0 кДж. Определить состав водяного газа, образовавшегося из равных объемов водяного пара и оксида углерода по уравнению реакции



при 600 °С, если при 1000 °С $K_p = 1,39$.

407. Для реакции



при 360 °С $K_p = 61,6$, а при 445 °С $K_p = 41,7$. Сравнить среднее значение теплового эффекта с нормальным сродством при 445 °С. Найти изменение энтропии.

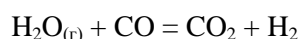
408. Для реакции



при 893 К $K_p = 7,29 \cdot 10^{-6}$, а при 973 К $K_p = 2,16 \cdot 10^{-6}$. Определить тепловой эффект реакции в данном температурном интервале и вычислить константу равновесия при 933 К.

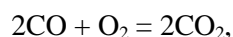
409. Определить температуру разложения известняка при давлении 1013 гПа, если давление диссоциации при 900 °С равно 1322 гПа, а тепловой эффект реакции при постоянном давлении 165,0 кДж/моль.

410. В реакционном сосуде находится 1 моль СО и 1 моль H_2O . Определить состав смеси в момент равновесия реакции при 800 К, если при 1278 К $K_p = 1,62$. Средний тепловой эффект реакции



в этом температурном интервале 41,84 кДж/моль.

411. Определить тепловой эффект реакции

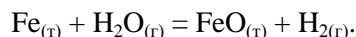


считая его постоянным в пределах температур 2000-2500 К, если известны константы равновесия этой реакции $K_{p,1} = 0,396$ при 2000 К и $K_{p,2} = 2,29 \cdot 10^{-5}$ при 2100 К.

412. Теплота образования $\text{Mn}_3\text{O}_4_{(т)}$ из элементов равна -1407,9 кДж. Определить температуру, при которой оксид разло-

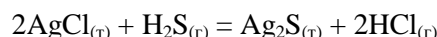
жится на элементы при нагревании на воздухе. Давление диссоциации Mn_3O_4 при $450\text{ }^\circ\text{C}$ равно $8,87 \cdot 10^{-36}$ гПа.

413. Железо и водяной пар реагируют по уравнению



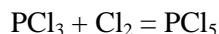
Температура реакции $1025\text{ }^\circ\text{C}$, давление 1013 гПа. При установлении равновесия парциальное давление водорода 569 гПа, а парциальное давление паров воды 444 гПа. При температуре реакции $900\text{ }^\circ\text{C}$ $P_{H_2} = 600$ гПа, $P_{H_2O} = 413$ гПа. Рассчитать средний тепловой эффект реакции в этом интервале температур.

414. Для реакции сульфирования



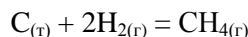
при $230\text{ }^\circ\text{C}$ $K_p = 1,64$, а при $419\text{ }^\circ\text{C}$ $K_p = 116,29$. Определить тепловой эффект в данном интервале температур и константу равновесия при $280\text{ }^\circ\text{C}$.

415. Степень диссоциации PCl_5 при $200\text{ }^\circ\text{C}$ и 1013 гПа равна $0,485$, а при $250\text{ }^\circ\text{C}$ и том же давлении – $0,8$. Рассчитать среднее значение теплового эффекта реакции



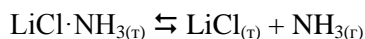
при $P = \text{const}$ и $V = \text{const}$ и при $200\text{-}250\text{ }^\circ\text{C}$.

416. Для реакции



при $700\text{ }^\circ\text{C}$ $K_p = 0,195$ и $750\text{ }^\circ\text{C}$ $K_p = 0,117$. Вычислить средний тепловой эффект реакции в этом интервале температур.

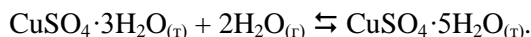
417. При $96\text{ }^\circ\text{C}$ давление диссоциации $LiCl \cdot NH_{3(r)}$ равно 489 гПа, а при $100,2\text{ }^\circ\text{C}$ – 861 гПа. Рассчитать средний тепловой эффект реакции



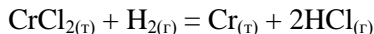
в этом температурном интервале и при постоянном давлении.

418. В бензольном растворе *o*-толуидиновая кислота ассоциирует в димер. Определить тепловой эффект реакции образования димера, если при $32,6\text{ }^\circ\text{C}$ $K_p = 9,27 \cdot 10^{-3}$, а при $56,5\text{ }^\circ\text{C}$ $K_p = 9,27 \cdot 10^{-3}$. Определить константу равновесия реакции образования димера при $43,4\text{ }^\circ\text{C}$.

419. Давление пара над системой $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ при $30,2^\circ\text{C}$ равно $14,5$ гПа, а при $26,3^\circ\text{C}$ – $10,8$ гПа. Рассчитать тепловой эффект реакции



420. Для реакции

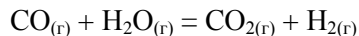


при 677°C $K_p = 6,702 \cdot 10^{-5}$ и при 772°C $K_p = 5,54 \cdot 10^{-4}$. Определить константу равновесия при 806°C .

15. ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СОСТОЯНИЕ РАВНОВЕСИЯ

Задание XV. Вычислить изменение энтальпии химической реакции или равновесного состава смеси по зависимости константы равновесия от температуры.

421. Зависимость константы равновесия от температуры для реакции

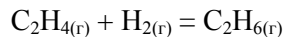


выражается уравнением

$$\lg K_x = \frac{2116}{T} - 0,783 \lg T + 4,3 \cdot 10^{-4} T.$$

Рассчитать состав равновесной газовой смеси при смешении равных объемов CO и H_2O при 1000 K , а также изменение энтальпии при этой температуре.

422. Зависимость константы равновесия от температуры для реакции

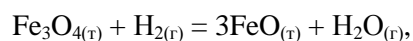


выражается уравнением

$$\lg K_p = \frac{6366}{T} - 2,961 \lg T + 7,67 \cdot 10^{-4} T + 5,2.$$

Определить K_p и изменение энтальпии при 1000 K .

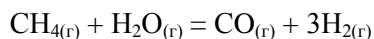
423. Вычислить тепловой эффект при 1200 K для реакции



если

$$\lg K_p = -\frac{3378}{T} + 3,648.$$

424. Для реакции

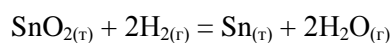


зависимость константы равновесия от температуры выражается уравнением

$$\lg K_p = -\frac{9876}{T} + 8,18 \lg T - 1,96 \cdot 10^{-3} T - 11,4.$$

Определить тепловой эффект данной реакции при 1000 К.

425. Равновесие в системе, возникающей при восстановлении диоксида олова водородом,

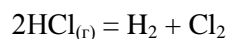


характеризуется уравнением

$$\lg K_p = -\frac{2968}{T} - 1,655 \lg T - 9,08 \cdot 10^{-5} T + 8,416.$$

Рассчитать значение K_p и $\Delta_r H$ для данной реакции при 1073 К.

426. Константа равновесия реакции

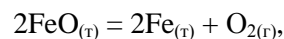


может быть выражена уравнением

$$\lg K_p = -\frac{9586}{T} + 0,441 \lg T - 2,16.$$

Определить тепловой эффект этой реакции при 1000 К.

427. Определить температуру, при которой FeO начнет разлагаться на воздухе:



если давление диссоциации определяется уравнением

$$\lg P_{\text{O}_2} = -\frac{26730}{T} + 6,43.$$

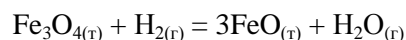
Давление кислорода в воздухе считать приблизительно равным 0,21 атм.

428. Давление диссоциации CaCO_3 изменяется с температурой по уравнению

$$\lg P_{\text{CO}_2} = -\frac{9160}{T} + 1,661 \lg T - 1,09 \cdot 10^{-3} T + 5,69.$$

Определить теплоту диссоциации CaCO_3 при 1300 К.

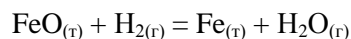
429. Зависимость константы равновесия от температуры для реакции



выражается уравнением

$$\lg K_p = -\frac{3378}{T} + 3,648,$$

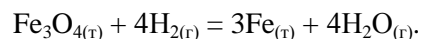
а для реакции



уравнением

$$\lg K_p = -\frac{748}{T} + 0,573.$$

Определить равновесный состав газовой фазы (в объемных процентах) при 800 °С для реакции



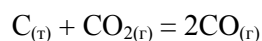
Вычислить тепловой эффект реакции при этой температуре.

430. Константа равновесия системы $2\text{H} = \text{H}_2$ выражается уравнением

$$\lg K_p = -\frac{22570}{T} - 1,504 \lg T - 0,767.$$

Вывести уравнение зависимости $\Delta_r H = f(T)$ и вычислить тепловой эффект реакции при 800 К.

431. Для реакции

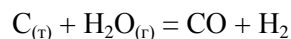


зависимость константы равновесия от температуры выражена уравнением

$$\lg K_p = -\frac{8750}{T} + 2,475 \lg T - 1,082 \cdot 10^{-3} T + 2,67.$$

Определить тепловой эффект данной реакции при 1000 К.

432. Для реакции

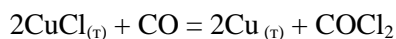


зависимость константы равновесия от температуры выражается уравнением

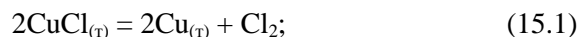
$$\lg K_p = -\frac{6630}{T} + 1,571 \lg T - 0,11 \cdot 10^{-3} T + 6,565.$$

Определить тепловой эффект данной реакции при 1000 К и равновесный состав газовой фазы при 1000 К под общим давлением $1,013 \cdot 10^5$ Па.

433. Вычислить константу равновесия и тепловой эффект реакции восстановления CuCl оксидом углерода



при 1000 К, используя следующие реакции:

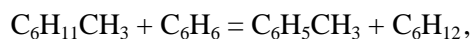


у которых зависимость константы равновесия от температуры выражена следующими уравнениями:

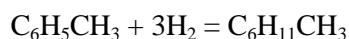
$$\lg K_{p,1} = \frac{13638}{T} + 0,4534 \lg T - 0,109 \cdot 10^{-4} T + 3,426;$$

$$\lg K_{p,2} = \frac{5,272}{T} - 2,011 \lg T - 0,766.$$

434. Определить константу равновесия и тепловой эффект при 400 К реакции



если для реакций



известны значения констант равновесия как функции температуры:

$$\lg K_{p,1} = \frac{9590}{T} - 9,9194 \lg T + 0,002285T + 8,566,$$

$$\lg K_{p,2} = \frac{10970}{T} - 20,387.$$

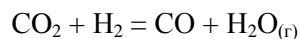
435. Зависимость константы равновесия от температуры для реакции



выражается уравнением

$$\lg K_p = -\frac{8750}{T} + 2,4751 \lg T - 1,083 \cdot 10^{-3}T + 2,67,$$

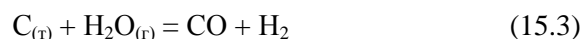
а для реакции



уравнением

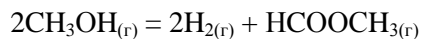
$$\lg K_p = -\frac{2117}{T} + 0,9171 \lg T - 9,72 \cdot 10^{-4}T + 0,113.$$

Вывести уравнение зависимости $\lg K_p$ от T для реакции



и определить тепловой эффект реакции (15.3) при 900 К.

436. Константа равновесия реакции



рассчитывается по уравнению

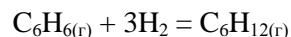
$$\lg K_p = \frac{3149}{T} - 5,43.$$

Определить $\Delta_r H$ реакции при 900 К.

437. Рассчитать теплоту диссоциации $\text{As}_2\text{S}_3_{(г)}$ при 1000 К, если для реакции диссоциации

$$\lg K_p = -\frac{312900}{T} + 53,8.$$

438. Для реакции

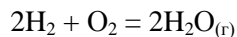


константа равновесия выражается уравнением

$$\lg K_p = \frac{9590}{T} - 9,9194 \lg T + 0,002285T + 8,565.$$

Вывести уравнение $\Delta_r H = f(T)$ и рассчитать $\Delta_r H_{298}$.

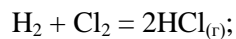
439. Константа равновесия реакции



может быть выражена уравнением

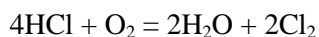
$$\lg K_x = \frac{24900}{T} - 1,335 \lg T + 9,65 \cdot 10^{-5} T + 1,08,$$

а для реакции



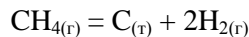
$$\lg K_x = \frac{9585}{T} - 0,44 \lg T + 2,16.$$

Из этих данных вычислить константу равновесия реакции



при 800 К, а также тепловой эффект при постоянных объеме и давлении и той же температуре.

440. Для реакции

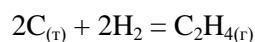


зависимость константы равновесия от температуры выражается уравнением

$$\lg K_p = -\frac{3853}{T} + 3,562 \lg T - 1,5 \cdot 10^{-3} T - 1,207 \cdot 10^{-7} T^2 - 4,216.$$

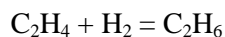
Вычислить тепловой эффект реакции при 500 К.

441. Для реакции



$$\lg K_p = -\frac{2413}{T} - 5,5891\lg T + 1,025 \cdot 10^{-3}T + 13,04,$$

а для реакции



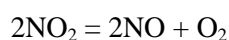
$$\lg K_p = \frac{6366}{T} - 2,9611\lg T + 0,9668 \cdot 10^{-3}T + 2,344.$$

Вывести уравнение $\lg K_p = f(T)$ для реакции



Вычислить константу равновесия K_p и тепловой эффект для реакции (15.4) при 1000 К.

442. Для реакции

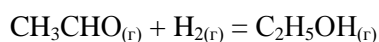


зависимость константы равновесия от температуры выражается уравнением

$$\lg K_p = -\frac{5749}{T} + 1,751\lg T - 5,0 \cdot 10^{-4}T + 0,407.$$

Определить тепловой эффект данной реакции при 1000 К. Вычислить константу равновесия реакции при этой температуре и степень диссоциации NO_2 при $1,013 \cdot 10^5$ Па.

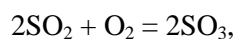
443. Определить тепловой эффект реакции



при 500 К, если

$$\lg K_p = \frac{1522}{T} + 5,421\lg T - 2,29 \cdot 10^{-3}T + 2,186.$$

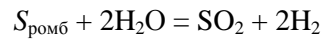
444. Определить степень диссоциации SO_3 при 700 К и 1013,3 кПа для реакции



если $\lg K_p = \frac{10373}{T} + 1,221 \lg T - 13,8.$

Вычислить тепловой эффект данной реакции при 700 К.

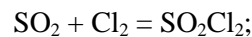
445. Вычислить тепловой эффект реакции



при 1000 К, если

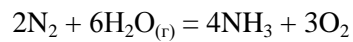
$$\lg K_p = -\frac{13810}{T} - 0,8771 \lg T + 0,00267T + 3,88.$$

446. Вычислить тепловой эффект реакции и степень диссоциации SO_2Cl_2 при 400 К и $1,013 \cdot 10^5$ Па для реакции



если $\lg K_p = \frac{2250}{T} - 1,751 \lg T - 2,2.$

447. Зависимость константы равновесия от температуры для реакции

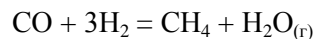


выражается уравнением

$$\lg K_p = -\frac{66250}{T} - 1,751 \lg T - 5,2.$$

Определить тепловой эффект и стандартное изменение энергии Гиббса при 2000 К.

448. Для реакции

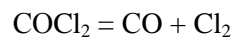


зависимость константы равновесия от температуры выражается уравнением

$$\lg K_p = \frac{9874}{T} - 7,141 \lg T + 1,88 \cdot 10^{-3}T + 8,64.$$

Определить константу равновесия и тепловой эффект реакции при 1000 К.

449. Для реакции

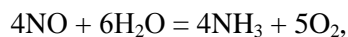


зависимость константы равновесия от температуры выражается уравнением

$$\lg K_p = \frac{5020}{T} + 1,75 \lg T - 11,58.$$

Вычислить тепловой эффект реакции при 400 К.

450. Вычислить константу равновесия K_p и тепловой эффект при 1000 К для реакции



если

$$\lg K_p = -\frac{47500}{T} - 1,75 \lg T - 8,7.$$

**16. ВЫЧИСЛЕНИЕ КОНСТАНТЫ РАВНОВЕСИЯ
ДЛЯ ДАННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СТАНДАРТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЭНТАЛЬПИЙ И ЭНТРОПИЙ
(МЕТОД ТЕМКИНА – ШВАРЦМАНА)**

Задание XVI. Решить задачи.

451-480. Воспользовавшись таблицами стандартных величин, вычислить по методу Темкина – Шварцмана константы равновесия приведенных реакций при указанных температурах. Полученные данные сравнить с экспериментальными и найти расхождения между ними в процентах (табл. 16.1).

Таблица 16.1

Номер задачи	Реакции	T, K	$\lg K_p^{\text{эксп}}$
451	$\text{HBr} = 1/2\text{H}_2 + 1/2\text{Br}_2$	1100	-2,856
452	$\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 = \text{CH}_{4(\text{r})} + 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$	675	3,037
453	$\text{HCl} = 1/2\text{Cl}_2 + 1/2\text{H}_2$	1000	-5,258
454	$\text{N}_2 + 1/2\text{O}_2 = \text{N}_2\text{O}$	1500	-6,703
455	$1/2\text{N}_2 + 1/2\text{O}_2 = \text{NO}$	1400	-2,821
456	$4\text{HCl} + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})} + 2\text{Cl}_{2(\text{r})}$	703	1,611
457	$\text{CO} + 3\text{H}_2 = \text{CH}_{4(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$	700	3,576
458	$\text{H}_2\text{S} = \text{H}_2 + 1/2\text{S}_{2(\text{r})}$	1000	-2,133

459	$\text{H}_2 + \text{CO}_2 = \text{CO} + \text{H}_2\text{O}_{(r)}$	800	-0,607
460	$\text{H}_2\text{O}_{(r)} = \text{H}_2 + 1/2\text{O}_2$	1600	-5,185
461	$2\text{CO}_2 = 2\text{CO} + \text{O}_2$	2000	-5,764
462	$\text{SO}_2 = \text{O}_2 + 1/2\text{S}_{2(r)}$	800	-19,80
463	$4\text{HCl} + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}_{(r)} + 2\text{Cl}_2$	923	-0,365
464	$\text{C}_2\text{H}_{6(r)} = \text{C}_2\text{H}_{4(r)} + \text{H}_2$	900	-1,292
465	$3/2\text{H}_2 + 1/2\text{N}_2 = \text{NH}_3$	800	-2,536
466	$\text{CH}_{4(r)} + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$	763	-2,67
467	$\text{CO}_2 = \text{CO} + 1/2\text{O}_2$	1400	-5,994

Окончание табл.16.1

Номер задачи	Реакции	T, К	lg $K_p^{\text{эксп}}$
468	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O}_{(r)} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$	1200	-0,149
469	$2\text{HI} = \text{H}_2 + \text{I}_2$	1000	-1,454
470	$2\text{NO}_2 = 2\text{NO} + \text{O}_2$	1000	1,690
471	$\text{H}_2 + \text{CO} = \text{HCOH}_{(r)}$	1000	-5,683
472	$3\text{CO} + 2\text{H}_2\text{O}_{(r)} = \text{CH}_3\text{OH}_{(r)} + 2\text{CO}_2$	400	6,451
473	$\text{CO}_2 + 3\text{H}_2 = \text{CH}_3\text{OH}_{(r)} + \text{H}_2\text{O}_{(r)}$	900	-7,251
474	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O}_{(r)} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$	1000	0,143
475	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(r)} = \text{CH}_3\text{CHO}_{(r)} + \text{H}_2$	523	-0,634
476	$\text{SO}_3 = \text{SO}_2 + 1/2\text{O}_2$	1500	1,395
477	$\text{NO}_2 = 1/2\text{N}_2 + \text{O}_2$	900	5,164
478	$\text{HBr} = 1/2 \text{H}_2 + 1/2\text{Br}_2$	1000	-3,182
479	$2\text{HI} = \text{H}_2 + \text{I}_2$	1200	-1,338
480	$\text{C}_2\text{H}_{6(r)} = \text{C}_2\text{H}_{4(r)} + \text{H}_2$	1000	0,469

**17. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ РАВНОВЕСИЯ
ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ
ПО ПРИВЕДЕННЫМ ЭНЕРГИЯМ ГИББСА**

Задание XVII. Решить задачи.

481-510. Вычислить константу равновесия для приведенных реакций при указанных температурах и сравнить ее с экспериментальными значениями и выразить расхождение в процентах (табл.17.1).

Таблица 17.1

Номер задачи	Реакции	T, К	lg K _p ^{эксп}
481	$\text{HBr} = 1/2\text{H}_2 + 1/2\text{Br}_2$	1100	-2,856
482	$\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 = \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}_{(r)}$	675	3,037
483	$\text{HCl} = 1/2\text{Cl}_2 + 1/2\text{H}_2$	1000	-5,258

Окончание табл.17.1

Номер задачи	Реакции	T, К	lg K _p ^{эксп}
484	$1/2\text{N}_2 + \text{O}_2 = \text{NO}_2$	1500	-4,418
485	$1/2\text{N}_2 + 1/2\text{O}_2 = \text{NO}$	1400	-2,821
486	$4\text{HCl} + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}_{(r)} + 2\text{Cl}_2$	700	1,611
487	$\text{CO} + 3\text{H}_2 = \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$	700	3,576
488	$\text{H}_2\text{S} = \text{H}_2 + 1/2\text{S}_2$	1000	-2,133
489	$\text{H}_2 + \text{CO}_2 = \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$	800	-0,607
490	$\text{H}_2\text{O}_{(r)} = \text{H}_2 + 1/2\text{O}_2$	1600	-5,185
491	$2\text{CO}_2 = 2\text{CO} + \text{O}_2$	2000	-5,764
492	$\text{SO}_2 = \text{O}_2 + 1/2\text{S}_{2(r)}$	800	-19,80
493	$4\text{HCl} + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}_{(r)} + 2\text{Cl}_2$	923	-0,365
494	$\text{C}_2\text{H}_6 = \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2$	900	-1,295
495	$3/2\text{H}_2 + 1/2\text{N}_2 = \text{NH}_3$	800	-2,536
496	$\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$	763	-2,67
497	$\text{CO}_2 = \text{CO} + 1/2\text{O}_2$	1400	-1,994
498	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O}_{(r)} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$	1200	-0,149
499	$2\text{HI} = \text{H}_2 + \text{I}_2$	1000	-1,454
500	$2\text{NO}_2 = 2\text{NO} + \text{O}_2$	1000	1,690
501	$\text{H}_2 + \text{CO} = \text{HCOH}$	1000	-5,683

502	$3\text{CO} + 2\text{H}_2\text{O}_{(г)} = \text{CH}_3\text{OH}_{(г)} + 2\text{CO}_2$	800	-4,972
503	$\text{CO}_2 + 3\text{H}_2 = \text{CH}_3\text{OH}_{(г)} + \text{H}_2\text{O}$	900	-7,251
504	$\text{CO} + \text{H}_2\text{O}_{(г)} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$	1000	0,143
505	$2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$	1000	20,4608
506	$\text{SO}_3 = \text{SO}_2 + 1/2\text{O}_2$	1500	-2,66
507	$\text{NO}_2 = 1/2\text{N}_2 + \text{O}_2$	900	5,164
508	$\text{HBr} = 1/2\text{H}_2 + 1/2\text{Br}_2$	1000	-3,182
509	$2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}_{(г)} = 4\text{HCl} + \text{O}_2$	1000	0,883
510	$\text{C}_2\text{H}_6 = \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2$	1000	-0,463

18. УРАВНЕНИЯ КЛАУЗИУСА – КЛАПЕЙРОНА ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ПЛАВЛЕНИЯ И ПОЛИМОРФНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ

Задание XVIII. Вычислить характеристики процессов с использованием дифференциального уравнения к процессам Клаузиуса – Клапейрона.

511. При нагревании ромбическая сера переходит в моноклинную, при этом изменение объема составляет $0,0000138 \text{ м}^3/\text{кг}$. Температура перехода при давлении $1,0133 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $96,7 \text{ }^\circ\text{C}$, а ее изменение с давлением определяется коэффициентом

$$dT/dP = 3,2567 \cdot 10^{-7} \text{ кПа.}$$

Определить теплоту превращения. Результат расчета сопоставить с величиной, найденной по теплотам сгорания ромбической и моноклинной серы, которые соответственно равны $-296,813$ и $-297,148 \text{ кДж/моль}$.

512. Зависимость температуры плавления нафталина от давления (в паскалях) выражается уравнением

$$t_{пл} = 80,1 + 0,0371 \cdot 10^{-5}P - 186,99 \cdot 10^{-18}P^2.$$

Рассчитать изменение энтальпии при плавлении, если изменение объема $145,8 \text{ см}^3/\text{кг}$ при давлении $1,0133 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Результат сопоставить с экспериментальным значением

$$\Delta H = 149,8 \text{ Дж/г.}$$

513. Определить теплоту плавления метана при 90,67 К, если зависимость температуры плавления метана от давления в интервале 101,33-20266 кПа выражается уравнением

$$T_{\text{пл}} = 90,667 + 2,6 \cdot 10^{-7} P - 6,147 \cdot 10^{-16} P^2.$$

Изменение объема при плавлении составляет 2,69 см³/моль.

514. Определить приращение объема при расплавлении 10 кг олова, если теплота плавления равна 59,41 Дж/г, температура плавления 232 °С, плотность твердого олова 7,18 г/см³, $dT/dP = 3,256 \cdot 10^{-8}$ кПа⁻¹·К.

515. Температура плавления анетола C₁₀H₁₂O 21,5 °С, а изменение энтальпии при плавлении 108 Дж/г. Изменение объема при плавлении составляет 79,3 см³/кг (при 75·10³ гПа). Рассчитать примерное давление, при котором температура плавления будет равна 100 °С, принять dP/dT и ΔH постоянными. Опытная величина давления составляет 410·10³ кПа.

516. Плотность кипящего этана и его насыщенного пара при нормальной температуре кипения –88,6 °С соответственно равна 0,546 и 0,00206 г/см³. Вычислить теплоту парообразования при –88,6 °С, если зависимость давления (в гектопаскалях) насыщенного пара этана от температуры выражается уравнением

$$\lg P = 6,933 - 661,088 / (256,504 + t).$$

Результаты расчета сравнить со справочной величиной $\Delta_r H = 1470,3 \pm 16,7$ кДж/моль.

517. Определить удельный объем жидкого олова при температуре плавления 232 °С ($P = 1$ атм), если удельная теплота плавления равна 59,413 Дж/г, плотность твердого олова 7,18 г/см³, $dT/dP = 3,2567 \cdot 10^{-8}$ кПа⁻¹·К.

518. Определить расход теплоты в процессе изобарного нагревания 1 кг гексана от 20 до 100 °С. Принять, что теплоемкость гексана не зависит от давления. Для расчета воспользоваться следующими данными:

$$C_p^{\text{ж}} = 2,073 + 3,917 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж/г};$$

$$C_p^r = 1,226 + 4,569 \cdot 10^{-3} T \text{ Дж/г};$$

$$\lg P = 7,281 - 1322,6/(240,4 + T) \text{ гПа.}$$

519. Зависимость $\Delta_{\text{пар}}H$ метанола от температуры

$$\Delta_{\text{пар}}H = 1116 - 173,6 \ln T \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}.$$

Насколько повысится температура кипения при увеличении давления на 1,333 гПа при нормальной температуре кипения 64,7 °С?

520. Удельная теплота плавления нафталина при нормальной температуре плавления 79,9 °С равна 149,0 Дж/г, разность удельных объемов в жидком и твердом состоянии $-0,146 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$. Вычислить изменение температуры плавления при изменении давления на 1 Па и сравнить с экспериментально найденной величиной $0,0352 \cdot 10^{-5} \text{ кПа}^{-1} \cdot \text{К}$.

521. Плотности жидкого и твердого висмута при температуре плавления 271 °С соответственно равны 10005 и 9637 кг/м³. Молярная теплота плавления 10878 кДж/кмоль. При какой температуре висмут плавится под давлением $50,665 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

522. Удельная теплота плавления воска при температуре 52,7 °С и давлении $1,0133 \cdot 10^5 \text{ Па}$ равна 147,9 кДж/кг, прирост удельного объема при плавлении составляет $0,125 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$. Определить температуру плавления при давлении $10,133 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

523. Плотности жидкого и твердого висмута при температуре плавления 271 °С соответственно равны 10005 и 9637 кг/м³. Молярная теплота плавления 10878 кДж/кмоль. При какой температуре висмут плавится под давлением $101,33 \cdot 10^5 \text{ Па}$?

524. Удельная теплота плавления воска при температуре 52,7 °С и давлении $1,0133 \cdot 10^5 \text{ Па}$ равна 147,9 кДж/кг. Прирост удельного объема при плавлении составляет $0,125 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$. Определить температуру плавления при давлении $20,26 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

525. Плотности жидкого и твердого висмута при температуре плавления 271 °С соответственно равны 10005 и 9637 кг/м³. Молярная теплота плавления 10878 кДж/кмоль. При какой температуре висмут плавится под давлением $203,67 \cdot 10^5 \text{ Па}$?

526. При температуре $95,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении $1,0133 \cdot 10^5\text{ Па}$ ромбическая сера превращается в моноклинную. Теплота превращения $13,054\text{ кДж/кг}$, $dT/dP = 0,0394 \cdot 10^{-5}\text{ кПа}^{-1}$. Вычислить разность удельных объемов ромбической и моноклинной серы.

527. Превращение при температуре $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ NH_4NO_3 ромбической формы в ромбоэдрическую сопровождается поглощением $21,0\text{ кДж/кг}$, плотность при этом уменьшается с $1,72 \cdot 10^3$ до $1,66 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$. Рассчитать $dT/dP\text{ кПа}^{-1}$ и температуру превращения при давлении 10^5 кг/м^2 .

528. Давление паров воды при $99,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ равно 995 гПа , при $100,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ – 1031 гПа . Удельный объем насыщенного пара при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет $1,658\text{ м}^3/\text{кг}$. Какова теплота испарения при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Плотность жидкой воды при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ принять равной $958,4\text{ кг/м}^3$.

529. Температура плавления бензола $5,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, разность удельных объемов в жидком и твердом состоянии соответствует $1,301 \cdot 10^{-5}\text{ м}^3/\text{кг}$. Найти изменение температуры плавления при увеличении давления до 1013 гПа . Удельная теплота плавления $128,0\text{ кДж/кг}$.

530. Температура плавления нафталина в зависимости от давления (в паскалях) выражается уравнением

$$t = 79,8 + 0,0276 \cdot 10^{-5}P + 1,04 \cdot 10^{-16}P^2.$$

Разность удельных объемов в жидком и твердом состоянии равна $0,146 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3/\text{кг}$. Рассчитать удельную теплоту плавления при $50,66 \cdot 10^5\text{ Па}$.

531. Плотности жидкого и твердого висмута при температуре плавления $271\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно равны 10005 и 9637 кг/м^3 , молярная теплота плавления 10878 кДж/кмоль . При какой температуре висмут плавится под давлением $506,65 \cdot 10^5\text{ Па}$?

532. Удельная теплота плавления воска при температуре $52,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ и давлении $1,0133 \cdot 10^5\text{ Па}$ равна $147,9\text{ кДж/кг}$, прирост удельного объема при плавлении составляет $0,125 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3/\text{кг}$. Определить температуру плавления при давлении $50,66 \cdot 10^3\text{ гПа}$.

533. Зависимость температуры плавления олова от давления (в паскалях)

$$t_{\text{пл}} = 231,8 + 0,244 \cdot 10^{-7}P.$$

Теплота плавления олова 58,78 кДж/кг, плотность жидкого олова при температуре плавления под давлением 1013 гПа составляет $6,988 \cdot 10^3$ кг/м³. Определить плотность твердого олова при этих условиях.

534. Плотность C_6H_5Cl при температуре кипения 132 °С для жидкости $0,9814 \cdot 10^3$ кг/м³, для насыщенного пара $0,00359 \cdot 10^3$ кг/м³, $dP/dT = 27,3$ гПа/К. Вычислить теплоту испарения при данной температуре кипения.

535. Теплота испарения воды при температуре кипения под давлением 1013 гПа равна 2255,1 кДж/кг. Найти изменение давления пара при увеличении температуры на 1 °С вблизи температуры кипения под атмосферным давлением.

536. Плотность твердого и жидкого железа при температуре плавления соответственно равна $7,868 \cdot 10^3$ и $6,88 \cdot 10^3$ кг/м³. Изменение температуры плавления при повышении давления на 1 Па равно $1,214 \cdot 10^{-7}$ К/Па. Температура плавления железа 1535 °С. Определить теплоту плавления 1 кг железа.

537. Удельный объем 1 кг жидкого C_6H_5Cl при температуре кипения 132 °С равен $1,019 \cdot 10^{-3}$ м³, $dP/dT = 2,736 \cdot 10^3$ Па/К. Теплота испарения при этой температуре кипения 307,3 кДж/кг. Определить плотность насыщенного пара.

538. Изменение давления пара воды при увеличении температуры на 1 °С вблизи температуры кипения под атмосферным давлением равно $0,0347 \cdot 10^5$ Па/К. Вычислить теплоту испарения воды при 100 °С и $1,0133 \cdot 10^5$ Па.

539. Разность удельных объемов ромбической и моноклинной серы равна $0,1395 \cdot 10^{-3}$ м³/кг. Температура превращения ромбической серы в моноклинную под давлением $1,0133 \cdot 10^5$ Па равна 95,6 °С, $dT/dP = 0,0394 \cdot 10^{-5}$ К/Па. Определить молярную теплоту превращения.

540. Молярная теплота плавления нафталина при температуре плавления 352,9 К составляет 19079 кДж/кмоль. Изменение температуры плавления при увеличении давления на 1 Па $dT/dP = 0,0346 \cdot 10^{-5}$ К/Па. Определить разность удельных объемов в жидком и твердом состоянии.

19. УРАВНЕНИЯ КЛАУЗИУСА – КЛАПЕЙРОНА ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ИСПАРЕНИЯ И ВОЗГОНКИ

Задание XIX. Вычислить характеристики процессов с использованием интегрального уравнения к процессам Клаузиуса – Клапейрона.

541. Удельная теплота испарения амилового спирта $C_5H_{11}OH$ при температуре кипения $138\text{ }^\circ\text{C}$ и давлении 1013 гПа равна 592 кДж/кг . Определить давление пара при $140\text{ }^\circ\text{C}$.

542. Под каким давлением будет кипеть диэтиламин при $20\text{ }^\circ\text{C}$, если нормальная температура кипения $58\text{ }^\circ\text{C}$, а теплота парообразования 27844 Дж/моль ?

543. Температура кипения жидкого метанола при 267 гПа равна $34,7\text{ }^\circ\text{C}$, а при давлении 533 гПа – $49,9\text{ }^\circ\text{C}$. Вычислить температуру кипения при нормальном давлении.

544. Давление паров кристаллического ацетилена при 132 К равно $2,3\text{ гПа}$, а при 153 К – $36,8\text{ гПа}$. Рассчитать молярную теплоту плавления ацетилена, если удельная теплота парообразования составляет $828,0\text{ Дж/г}$.

545. Какой объем воздуха необходимо пропустить через сероуглерод при 960 гПа и $40\text{ }^\circ\text{C}$ для извлечения 30 г , если теплота парообразования при нормальной температуре кипения $46,5\text{ }^\circ\text{C}$ равна $355,8\text{ Дж/г}$?

546. Давление пара теллура при 671 и $578\text{ }^\circ\text{C}$ соответственно равно $18,85$ и $4,46\text{ гПа}$. Определить среднее значение молярной теплоты испарения в этом температурном интервале.

547. Давление пара BCl_3 при 10 и $20\text{ }^\circ\text{C}$ соответственно равно 750 и 1076 гПа . Какова молярная теплота испарения BCl_3 ?

548. Давление пара этанола при 70 и $80\text{ }^\circ\text{C}$ соответственно равно 721 и 1082 гПа . Рассчитать удельную теплоту испарения.

549. Давление пара бензола при 20 и $30\text{ }^\circ\text{C}$ соответственно равно 100 и 157 гПа . Рассчитать молярную теплоту испарения.

550. Давление пара BCl_3 при $10\text{ }^\circ\text{C}$ равно $750,3\text{ гПа}$. Молярная теплота испарения BCl_3 24886 кДж/кмоль . При какой температуре BCl_3 закипит под атмосферным давлением?

551. Температура кипения бутанола под давлением 1013 гПа 117,8 °С и теплота испарения 591,2 кДж/кг. Определить температуру кипения бутанола при давлении 1000 гПа?

552. Теплота испарения диэтилового эфира 360,2 кДж/кг при температуре кипения 34,66 °С под давлением 1013 гПа. Вычислить температуру кипения при 986 гПа.

553. Удельная теплота испарения диэтилового эфира 360,2 кДж/кг при температуре кипения 34,66 °С под давлением 1013 гПа. Определить давление пара при 36,50 °С.

554. Давление пара CCl_4 828 гПа при температуре 70 °С и давлении 1122 гПа при 80 °С. Рассчитать теплоту испарения для 1 моль CCl_4 .

555. Давление этиламина при температуре –22,9 и –13,9 °С соответственно равно 148 и 244 гПа. Определить теплоту испарения в этом температурном интервале.

556. Давление пара четыреххлористого углерода 828 гПа при 70 °С, теплота испарения 1 кмоль CCl_4 составляет 30781 кДж/кмоль. Рассчитать нормальную температуру кипения.

557. Давление пара этиламина при –13,9 и –5,6 °С соответственно равно 244 и 376 гПа. Определить теплоту испарения в этом температурном интервале.

558. Давление пара этиламина при –5,6 и –5,8 °С соответственно равно 376 и 641 гПа. Определить теплоту испарения этиламина.

559. Давление пара этиламина при 5,8 и 16,2 °С соответственно равно 642 и 1000 гПа. Рассчитать теплоту испарения этиламина в этом температурном интервале.

560. Определить давление насыщенного пара CCl_4 при 60 °С, если CCl_4 кипит при температуре 75 °С и давлении 1013 гПа и теплота парообразования 30833,03 Дж/моль.

561. Давление пара этилового эфира при –10 °С 153 гПа, а при 0 °С 246 гПа. Рассчитать молярную теплоту испарения эфира.

562. Давление пара этилового эфира при 0 °С 246 гПа, а при 10 °С 383 гПа. Определить молярную теплоту испарения эфира.

563. Давление пара этилового эфира при 20 °С 577 гПа, а при 30 °С 846 гПа. Определить молярную теплоту испарения эфира.

564. Давление пара этилового эфира при 10 °С 382 гПа, а при 20 °С 577 гПа. Определить молярную теплоту испарения эфира.

565. Воздух насыщен парами воды при 25 °С. При какой температуре при неизменном содержании водяных паров относительная влажность воздуха равна 80 %, если при 25 °С давление водяного пара равно 31,7 гПа, удельная теплота испарения воды –2421,28 кДж/кг?

566. Определить нормальную температуру кипения этилового эфира, если давление его паров при 30 °С равно 846 гПа, молярная теплота испарения –28367,52 кДж/кмоль.

567. Давление пара хлороформа при 20 °С равно 215 гПа, а при 30 °С – 331 гПа. Определить теплоту испарения хлороформа.

568. Давление пара хлороформа при 50 °С 713 гПа, теплота испарения хлороформа 30836 кДж/кмоль. Определить нормальную теплоту кипения хлороформа.

569. Давление пара хлороформа при 30 °С 331 гПа, при 40 °С 492 гПа. Рассчитать теплоту испарения хлороформа.

570. Давление пара хлороформа при 40 °С равно 492 гПа, а при 50 °С – 713 гПа. Вычислить теплоту испарения хлороформа.

20. КОМБИНИРОВАННЫЕ ЗАДАЧИ

571. При давлении 1 атм и температуре 630 °С плотность газа, полученного при диссоциации SO_3 , равна $9,28 \cdot 10^{-4}$ г/см³. Найти степень диссоциации SO_3 по уравнению $2\text{SO}_3 = 2\text{SO}_2 + \text{O}_2$ и константы равновесия этой реакции K_p и K_x .

572. В случае нагревания 20,60 моль H_2 и 14,45 моль J_2 в закрытом сосуде при 445 °С равновесная смесь содержит 25,54 моль HJ . Сколько молей H_2 нужно взять на 5,22 моль J_2 , чтобы при этой температуре образовалось 10,19 моль HJ .

573. Константа равновесия реакции $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2 + \text{CO}_2$ при 930 К приблизительно равна единице. Каким процентным составом должна обладать исходная смесь (CO и H_2O), чтобы равновесная смесь при этой температуре содержала 20 % H_2 и 20 % CO_2 ?

574. Для реакции $\text{CO}_2 + \text{H}_2 = \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ константа равновесия при 690 К равна

$$K_p = \frac{P_{\text{CO}}P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{CO}_2}P_{\text{H}_2}} = 0,1.$$

Вычислить равновесные парциальные давления всех газов, если в сосуде емкостью 5 л при 690 К смешаны 0,2 моль H_2O и 0,1 моль CO .

575. В сосуде объемом 1 л при 900 К и общем давлении 137 кПа находится 0,99 г фосгена. Вычислить степень диссоциации фосгена K_p , K_x и K_n реакции и подсчитать, сколько граммов CO нужно ввести в сосуд, чтобы снизить степень диссоциации фосгена до 10 %. Как изменить давление в системе, чтобы достичь такого же снижения степени диссоциации?

576. Если смешать 1 моль CH_3COOH и 1 моль $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, то равновесная смесь будет содержать по 1/3 моль $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ и CH_3COOH и по 2/3 моль H_2O и $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$. Сколько эфира будет находиться в равновесной смеси при той же температуре, если смешать 1 моль эфира и 3 моля H_2O ?

577. При 50 °С и 35 кПа N_2O_4 диссоциирует, согласно уравнению $\text{N}_2\text{O}_4 = 2\text{NO}_2$ на 63 %. Определить степень диссоциации при той же температуре и понижении давления до 123,5 Па.

578. При 830 °С и $1,013 \cdot 10^5$ Па степень диссоциации сероводорода согласно уравнению $2\text{H}_2\text{S} = 2\text{H}_2 + \text{S}_{2(\text{г})}$ составляет 8,7 %. Найти K_p и K_x для этой реакции.

579. При 250 °С PCl_5 частично диссоциирует по уравнению $\text{PCl}_5 = \text{PCl}_3 + \text{Cl}_2$, причем 1 л равновесной смеси весит 2,695 г и имеет общее давление $1,013 \cdot 10^5$ Па. Определить концентрацию хлора, если 0,1 моль PCl_5 испаряется в сосуде объемом 2 л при 250 °С.

580. При 550 °С и давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па из 1 моль CO и 1 моль Cl_2 к моменту достижения равновесия образуется 0,2 моль фосгена (COCl_2). Определить K_p , K_x и K_n для реакции $\text{CO} + \text{Cl}_2 = \text{COCl}_2$.

581. В органическом синтезе при хлорировании получают огромное количество хлороводорода. Хлор из него регенерируют по реакции $4\text{HCl} + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{Cl}_2$. При смешивании 1 моль HCl с 0,48 моль O_2 найдено, что при 101,3 кПа и 386 °С образуется 0,402 моль хлора. Определить K_p , K_x , K_n для этой реакции.

582. При 25 °С и 101,3 кПа N_2O_4 диссоциирует на 18,5 % по уравнению $N_2O_4 = 2NO_2$. Вычислить значения K_p , K_x для этой реакции.

583. Определить процентный состав равновесной газовой фазы, получающейся при синтезе аммиака по реакции $3H_2 + N_2 = 2NH_3$, если исходная смесь состоит из трех объемов H_2 и одного N_2 . Синтез производится при 447 °С и 101,3 МПа. Константа диссоциации

$$K_p = \frac{P_{H_2}^3 P_{N_2}}{P_{NH_3}^2} = 69,4.$$

584. Газ, идущий на конверсию (превращение CO в CO_2 с выделением H_2), имеет состав, % по объему: $CO - 36,0$; $H_2 - 35,5$; $CO_2 - 5,5$ и $N_2 - 23,3$. Сколько объемов водяного пара нужно взять на один объем этого газа, чтобы в сухом конвертированном газе содержание CO не превышало 2 %, если реакция протекает при 550 °С, а константа равновесия

$$K_p = \frac{P_{CO} P_{H_2O}}{P_{CO_2} P_{H_2}} = 0,281.$$

585. Упругость диссоциации $CaCO_3$ при 810 и 865 °С соответственно равна 678 и 1333 мм рт.ст. Найти среднее значение теплового эффекта реакции диссоциации в указанном температурном интервале и определить, при какой температуре давление диссоциации будет равно 1 атм.

586. Какое количество I_2 нужно взять, чтобы из 8,07 моль H_2 получить 13,47 моль HI при 445 °С? Константа равновесия реакции $H_2 + I_{2(g)} = 2HI$

$$K_p = \frac{P_{HI}^2}{P_{H_2} P_{I_2}} = 50.$$

587. CO_2 диссоциирует по уравнению $2CO_2 = 2CO + O_2$. При 2000 °С и 1 атм степень диссоциации 20 %. Определить K_p и K_x для данных условий и парциальное равновесное давление кислорода.

588. Для реакции $C_5H_5OH + CH_3COOH = CH_3COOC_2H_5 + H_2O$ константа равновесия при 25 °С равна 4. Определить, какое количе-

ство CH_3COOH нужно взять на 1 моль $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, чтобы равновесный раствор содержал 0,655 моль эфира.

589. При 2400°C и $0,5$ атм константа равновесия реакции $2\text{H}_2\text{O}_{(г)} = 2\text{H}_2 + \text{O}_2$

$$K_p = \frac{P_{\text{H}_2}^2 P_{\text{O}_2}}{P_{\text{H}_2\text{O}}^2} = 1,05 \cdot 10^{-5}.$$

Сколько H_2 нужно прибавить к 1 моль H_2O , чтобы степень диссоциации последней равнялась $1,5\%$.

590. При 1500°C степень диссоциации H_2O равна $2,21 \cdot 10^{-4}$, а степень диссоциации CO_2 на CO и O_2 равна $4,8 \cdot 10^{-4}$. Найти константу равновесия $\text{CO} + \text{H}_2\text{O}_{(г)} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$ при той же температуре.

591. Твердый NH_4CN при 11°C имеет давление пара 227 мм рт.ст., причем пар полностью диссоциирует на NH_3 и HCN . Определить парциальное давление HCN при возгонке NH_4CN в сосуде, содержащем аммиак под давлением $322,8$ мм рт.ст.

592. Тепловой эффект реакции $\text{Fe} + 0,5 \text{O}_2 = \text{FeO}$ при 1000 K $\Delta_r H_{1000}^0 = -270$ кДж/моль. Давление диссоциации монооксида железа при этой температуре равно $3,1 \cdot 10^{-18}$ мм рт.ст. Определить, до какой температуры нужно нагреть этот оксид на воздухе, чтобы он полностью разложился на металлическое железо и кислород (считать в воздухе 21% кислорода).

593. Константа равновесия для реакции $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$

$$K_p = \frac{P_{\text{CO}}^2}{P_{\text{CO}_2}} = 1,684$$

при 1000 K . При этой же температуре 5 м^3 CO_2 (объем измерен при 27°C и 1 атм) пропускается над углем. Определить состав равновесного газа, если общее давление 1 атм.

594. Константа равновесия реакции $\text{CH}_4 = \text{C}_{(г)} + 2\text{H}_2$

$$K_p = \frac{P_{\text{H}_2}^2}{P_{\text{CH}_4}} = 3,8$$

при 1000 °С. Вычислить общее равновесное давление, если 0,1 моль CH_4 помещается при той же температуре в сосуд емкостью 1 л.

595. При 1273 К и общем давлении 30 атм равновесная смесь, получающаяся в результате реакции $\text{C}_{(r)} + \text{CO}_2 = 2\text{CO}$, содержит 17 % CO_2 . При каком давлении содержание CO_2 в равновесной смеси будет 25 %?

596. Общее давление диссоциации HgO по уравнению $2\text{HgO} = 2\text{Hg} + \text{O}_2$ при 420 и 450 °С соответственно 387 и 810 мм рт.ст. Вычислить константы равновесия этой реакции и ее тепловой эффект в указанном интервале температур.

597. Давление диссоциации карбоната магния при 540 и 570 °С равно соответственно 747 и 1340 мм рт.ст. Найти средний в данном температурном интервале тепловой эффект реакции диссоциации этого карбоната и сравнить с вычисленным по уравнению Кирхгофа.

598. Для реакции $2\text{CO}_2 = 2\text{CO} + \text{O}_2$

$$K_p = \frac{P_{\text{Ni}}^2 P_{\text{O}_2}}{P_{\text{CO}_2}} = 3,66 \cdot 10^{-14}$$

при 1300 К. При той же температуре равновесная смесь CO и CO_2 над углем при общем давлении 1 атм имеет состав, %: $\text{CO} - 99,25$, $\text{CO}_2 - 0,75$. Найти константу равновесия реакции $\text{CO}_2 = \text{C} + \text{O}_2$.

599. Найти общее давление при равновесии, если твердый гидросульфид аммония возгоняется при 25 °С в сосуде, содержащем H_2S под давлением 320 мм рт.ст. При этой температуре константа равновесия реакции $\text{NH}_4\text{HS}_{(r)} = \text{NH}_3_{(r)} + \text{H}_2\text{S}_{(r)}$

$$K_p = P_{\text{NH}_3} P_{\text{H}_2\text{S}} = 0,108.$$

600. Константа равновесия для реакции $3\text{H}_2 + \text{N}_2 = 2\text{NH}_3$ при 350 °С

$$K_p = \frac{P_{\text{NH}_3}^2}{P_{\text{H}_2}^3 P_{\text{N}_2}} = 1,365.$$

Определить процентный состав смеси, если при этой температуре и давлении 100 атм смешать один объем азота с тремя объемами водорода.

601. Как будет протекать процесс образования воздушного газа при 1000 °С, если одновременно могут происходить следующие реакции:



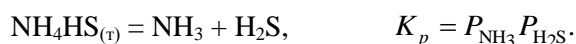
Указать направление протекания реакции.

602. При какой температуре начнется разложение гидрида лития в среде, где парциальное давление водорода 0,01 атм, если стандартное изменение изобарно-изотермического потенциала реакции $2LiH_{(т)} = 2Li_{(т)} + H_{2(т)}$ при 300 К равно 9,15 ккал (считать, что его величина не меняется с температурой)?

603. Газ, содержащий 40 % CO и 60 % N₂, пропускают при 1000 °С и 1 атм над FeO, при этом реакция идет в соответствии с уравнением $FeO_{(т)} + CO = Fe_{(т)} + CO_2$. Рассчитать состав равновесной газовой смеси, если

$$K_p = \frac{P_{CO_2}}{P_{CO}} = 0,403.$$

604. При диссоциации твердого NH₄HS равновесное давление 501 мм рт.ст (25 °С). Определить K_p реакции



605. Газовую смесь, содержащую 20 % CO и 80 % N₂, пропускают при 1000 °С и 1 атм над FeO. Восстановление идет по реакции $FeO + CO = Fe + CO_2$,

$$K_p = \frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}}} = 0,403.$$

Определить состав равновесной газовой фазы и количество железа восстановленного 1000 м^3 газа, считая, что объем измерен при нормальных условиях.

606. При начальном давлении водяного пара 100 мм рт.ст и $200 \text{ }^\circ\text{C}$ в результате реакции $3\text{Fe} + 4\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{H}_2$ устанавливается равновесное парциальное давление H_2 95,4 мм рт.ст. Определить, сколько граммов Fe_3O_4 образуется при этой температуре, если в сосуд емкостью 2 л, содержащий железо, ввести водяной пар под давлением 3 атм.

607. Для реакции $4\text{Ag}_{(г)} + \text{O}_{2(г)} = 2\text{Ag}_2\text{O}_{(т)}$ при 300 К и 1 атм $\Delta_r H_{300}^0 = -61,1 \text{ кДж}$, а $\Delta_r S_{300}^0 = -125,5 \text{ Дж/К}$. Будет ли в этих условиях окисляться серебро, где парциальное давление кислорода 1 и 10^{-5} атм?

608. При 1000 К константа равновесия реакции $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$ $K_p = 3,26$. Вычислить процентный состав газовой фазы при равновесии, если в реакции участвуют стехиометрические количества метана и диоксида углерода. Общее давление в реакционном сосуде 1 атм.

609. Будет ли разлагаться нитрид кремния по реакции $\text{Si}_3\text{N}_{4(г)} = 3\text{Si}_{(г)} + 2\text{N}_{2(г)}$ при $1727 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении азота 1,9 мм рт.ст, если при указанной температуре для этой реакции $\Delta_r G_{2000}^0 = 49,6 \text{ кДж}$?

610. При $450 \text{ }^\circ\text{C}$ для реакции $1/4\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} = 3/4\text{Fe} + \text{CO}_2$

$$K_p = \frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}}} = 1,5$$

на восстановление поступает 1 м^3 газа ($t = 450 \text{ }^\circ\text{C}$, $P = 1 \text{ атм}$), содержащего, % (по объему): $\text{CO} - 40$; $\text{CO}_2 - 25$ и $\text{N}_2 - 35$. Определить равновесный состав газовой фазы и количество получаемого железа.

611. При $500 \text{ }^\circ\text{C}$ для реакции хлорирования оксида магния $2\text{MgO}_{(г)} + 2\text{Cl}_2 = 2\text{MgCl}_{2(г)} + \text{O}_2$

$$K_p = \frac{P_{\text{O}_2}}{P_{\text{Cl}_2}^2} = 8,56.$$

Какое количество MgO прореагирует со 120 л хлора (объем измерен при 27 °С и 1 атм) при этой температуре? Каков будет состав газовой фазы в объемных процентах?

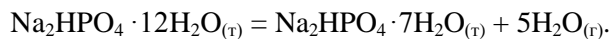
612. При 1000 К константа равновесия реакции $\text{CO}_2 + \text{C}_{(\text{т})} = 2\text{CO}$ равна 1,684. Некоторое количество CO_2 , занимающее объем 1 м³ (объем измерен при 27 °С и 1 атм), пропускается при 1000 °С через уголь. Какой объем будет занимать получившаяся при достижении равновесия газовая фаза, состоящая из CO и CO_2 , и каков ее процентный состав при постоянном давлении?

613. Для реакции $\text{Sn}^{2+} + 2\text{Cu}^{2+} = \text{Sn}^{4+} + 2\text{Cu}^+$, протекающей при 25 °С в водном растворе

$$K_{\delta} = \frac{[\text{Sn}^{4+}][\text{Cu}^+]^2}{[\text{Sn}^{2+}][\text{Cu}^{2+}]^2} = 0,05.$$

Вычислить равновесные концентрации всех ионов в растворе, полученном смешением 2 л 1 М раствора SnCl_2 с 1 л 0,5 М раствора CuCl_2 ($\alpha = 1$; $\gamma_{\pm} = 1$).

614. Вычислить константу равновесия реакции



При 25 °С давление диссоциации 19,2 мм рт.ст.

615. Температурная зависимость константы равновесия реакции $\text{Fe}_3\text{O}_4_{(\text{т})} + 4\text{CO} = 3\text{Fe}_{(\text{т})} + 4\text{CO}_2$ выражена уравнением

$$\lg K_p = -\frac{1675}{T} + 1,928.$$

Определить величину теплового эффекта этого процесса в интервале температур 1000-1100 К.

616. При 1000 К для реакции $2\text{CO}_2 = 2\text{CO} + \text{O}_2$

$$K_p = \frac{P_{\text{CO}}^2 P_{\text{O}_2}}{P_{\text{CO}_2}^2} = 3,98 \cdot 10^{-21},$$

а среднее значение теплового эффекта 560,7 кДж. Найти константу равновесия этого процесса при 2000 К.

617. Определить нормальное сродство водорода к кислороду при 1000 К, если степень диссоциации водяного пара при этой температуре под давлением 1 атм равна $7 \cdot 10^{-7}$.

618. Вычислить нормальное и полное сродство и константу равновесия реакции конверсии метана с водяным паром при 1100 К и 1 атм. Определить направление протекания реакции $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}_{(\text{г})} = \text{CO} + 3\text{H}_2$ при 1 атм и условии, что в исходной газовой фазе содержится, % (по объему): $\text{CH}_4 - 1$, $\text{H}_2\text{O} - 1$, $\text{CO} - 13$, $\text{H}_2 - 85$.

619. Через уголь пропускают газ, содержащий (в объемных процентах) $\text{CO}_2 - 20$, $\text{CO} - 30$ и $\text{N}_2 - 50$. В этом случае при 727 °С и 1 атм протекает реакция $\text{CO}_2 + \text{C}_{(\text{т})} = 2\text{CO}$. Определить нормальное и полное сродство и константу равновесия в этой реакции пользуясь приближенным расчетом $\Delta_r G_T^0$.

620. На хлорирование оксида марганца, протекающее при 500 °С по реакции $\text{MnO}_{(\text{т})} + \text{Cl}_2 = \text{MnCl}_{2(\text{т})} + 0,5\text{O}_2$ поступает газ, содержащий 20 % O_2 и 80 % Cl_2 . Определить нормальное и полное сродство и константу равновесия в этих условиях. Общее давление 1 атм.

621. Определить нормальное сродство и значение условной константы равновесия реакции $\text{FeS} + 2\text{Cu} = \text{Fe} + \text{Cu}_2\text{S}$, протекающей при температуре 1000 °С.

622. Восстановление магнетита угарным газом при 450 °С протекает по реакции $\text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{т})} + 4\text{CO} = 3\text{Fe}_{(\text{т})} + 4\text{CO}_2$. Определить нормальное и полное сродство и K_p этой реакции, если газ, поступающий на восстановление $P_{\text{CO}} / P_{\text{CO}_2} = 3/1$.

623. Получить кальций при 1227 °С можно по реакции $3\text{CaO} + \text{Si} = 2\text{Ca} + \text{CaSiO}_3$. Определить нормальное сродство и значение условной K_p этой реакции.

624. Если при 1150 °С над сульфидом железа пропускать углекислый газ, то протекает реакция $\text{FeS}_{(\text{т})} + 3\text{CO}_2 = \text{FeO}_{(\text{т})} +$

+ 3CO + SO₂. Определить K_p , нормальное и полное сродство этой реакции, если в исходной газовой смеси содержится, % (по объему): CO₂ – 98, CO – 1,9 и SO₂ – 0,1.

625. Восстановление марганца из пиролюзита происходит по реакции $\text{MnO}_2 + \text{C} = \text{Mn} + 2\text{CO}_{(г)}$. Определить K_p и нормальное сродство этой реакции при 400 °С.

626. Тетрахлорид титана при 600 °С взаимодействует с металлическим магнием: $\text{TiCl}_{4(г)} + 2\text{Mg} = 2\text{MgCl}_2 + \text{Ti}$. Определить K_p и нормальное сродство для этой реакции.

627. Газообразная сера взаимодействует с водяным паром при 723 °С $4\text{H}_2\text{O}_{(г)} + 3\text{S}_{2(г)} = 4\text{H}_2\text{S} + 2\text{SO}_2$. Определить направление протекания этой реакции и значение константы равновесия.

628. Определить K_p , нормальное и полное сродство реакции $\text{FeS}_{(г)} + 3\text{H}_2\text{O}_{(г)} = \text{FeO}_{(г)} + 3\text{H}_2 + \text{SO}_2$, протекающей при 1350 °С, если в исходной газовой смеси содержится $1 \cdot 10^{-5}$ % SO₂, 0,1 % H₂ и остальное H₂O. Общее давление 1 атм.

629. Тетрахлорид титана получают по реакции $\text{TiO}_{2(г)} + 2\text{Cl}_2 = \text{TiCl}_4 + \text{O}_2$ при 1000 °С. Найти направление этой реакции в указанных условиях и величину K_p .

630. Хлорирование рутила в присутствии восстановителя при 1000 °С протекает по реакции $\text{TiO}_{2(г)} + 2\text{Cl}_2 + 2\text{C}_{(г)} = \text{TiCl}_4 + 2\text{CO}$. Определить K_p и направление протекания этой реакции.

631. Определить методом Темкина – Шварцмана направление реакции $2\text{Ni}_3\text{S}_{2(г)} + 7\text{O}_2 = 6\text{NiO}_{(г)} + 4\text{SO}_2$, протекающей при 1000 °С.

632. Установить, возможно ли при 250 °С образование сульфида никеля по реакции $\text{NiO}_{(г)} + \text{SO}_2 + 0,5\text{O}_2 = \text{NiSO}_{4(г)}$.

633. Определить нормальное сродство и направление протекания реакции в процессе окислительного обжига пирита $4\text{FeS}_{2(г)} + 11\text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_{3(г)} + 8\text{SO}_2$. В печах кипящего слоя эта реакция проходит при 650 °С.

634. На платинородиевом катализаторе при температуре около 450 °С аммиак окисляется: $4\text{NH}_{3(г)} + 5\text{O}_2 = 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}_{(г)}$. Определить нормальное сродство и величину K_p этой реакции.

635. Магнетит восстанавливается водородом при 600 °С:
 $\text{Fe}_3\text{O}_{4(\text{т})} + \text{H}_2 = 3\text{FeO}_{(\text{т})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{т})}$. Определить, возможна ли эта реакция при температуре 1000 °С.

636. Определить, возможна ли при 927 °С реакция $\text{ZnSO}_4 = \text{ZnS} + 2\text{O}_2$. Рассчитать сродство методом Темкина – Шварцмана.

637. Методом Темкина – Шварцмана определить возможность реакции при 827 °С: $8\text{FeS} + 17\text{O}_2 = 2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{FeSO}_4 + 2\text{FeO}$.

638. При 727 °С метан взаимодействует с углекислым газом: $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$. В неравновесной газовой смеси содержится, % (по объему): $\text{CO} - 45$, $\text{H}_2 - 45$, $\text{CH}_4 - 5$ и $\text{CO}_2 - 5$. Общее давление 1 атм. Определить полное сродство для этой реакции.

639. Методом Темкина – Шварцмана определить возможность реакции при 1000 К: $2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 = 4\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SO}_2 + 2\text{SO}_3$.

640. Методом Темкина – Шварцмана определить возможность при 1027 °С реакции $\text{NiS} + 2\text{NiO} = 3\text{Ni} + \text{SO}_2$.

641. Определить направление протекания при 627 °С реакции $\text{FeS} + 10\text{Fe}_2\text{O}_3 = 7\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{SO}_2$.

642. Найти температуру, при которой возможна реакция $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{H}_2 = 3\text{FeO} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{т})}$, если в неравновесной газовой смеси при 1 атм содержится 85 % (по объему) водяного пара.

643. Для реакции $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ найти состав равновесной газовой фазы при 1000 °С, если через уголь пропускается 100 кг CO_2 .

644. При какой температуре возможна реакция $\text{NiO} + \text{Cl}_2 = \text{NiCl}_2 + 0,5\text{O}_2$, если в неравновесной газовой смеси при этой температуре содержится 97,5 % (по объему) кислорода? Общее давление 1,5 атм.

645. Определить, при какой температуре будет протекать прямая реакция $2\text{PbO} + \text{PbS} = 3\text{Pb}_{(\text{ж})} + \text{SO}_2$. Каким должен быть неравновесный состав газовой фазы, чтобы реакция началась при температуре на 100 °С ниже вычисленной?

646. Определить температуру, при которой возможна реакция $\text{FeS} + \text{FeSO}_4 = 2\text{Fe} + 2\text{SO}_2$. Каким должно быть неравновесное давление SO_2 , чтобы реакция была возможной при температуре на 200 °С ниже вычисленной?

647. При какой температуре будет протекать прямая реакция $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3$. Каким должен быть неравновесный состав газовой смеси, чтобы реакция началась при температуре на 300°C ниже вычисленной, если общее давление 3 атм, а давление SO_3 равно 2 атм?

648. Каким должен быть состав неравновесной газовой смеси, чтобы реакция $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2$ при 600°C протекала слева направо, если общее давление 8 атм, а давление метана, как и CO_2 , равно 0,5 атм?

649. Определить температуру, при которой реакция $4\text{V} + 5\text{O}_2 = 2\text{V}_2\text{O}_5$ будет протекать слева направо при условии, что неравновесное давление кислорода 0,2 атм.

650. Вычислить давление диссоциации карбоната железа при 100°C , если процесс протекает по реакции $\text{FeCO}_{3(\text{т})} = \text{CO}_2 + \text{FeO}_{(\text{т})}$. Найти также температуру, при которой начинается прямая реакция при атмосферном давлении (содержание кислорода 21 %).

651. Определить температуру, при которой начинается прямая реакция $2\text{V}_2\text{O}_{5(\text{т})} + 10\text{C}_{(\text{т})} = 4\text{V}_{(\text{т})} + 10\text{CO}$, а также неравновесное давление газовой фазы, которое обеспечит начало реакции на 100°C ниже вычисленной температуры.

652. При какой температуре реакция $\text{SnO}_2 + 2\text{CO} = \text{Sn} + 2\text{CO}_2$ начнет протекать в прямом направлении. Каким должен быть состав неравновесной газовой фазы, чтобы реакция началась при температуре на 100°C ниже найденной? Общее давление 3 атм.

653. При какой температуре реакция $2\text{CuFeS}_2 = \text{Cu}_2\text{S} + 2\text{FeS} + 0,5\text{S}_{2(\text{г})}$ начнет протекать в прямом направлении, если неравновесное давление паров серы 0,1 атм.

654. Определить, какой должна быть температура, чтобы реакция $\text{C} + 2\text{Cl}_{2(\text{г})} = \text{CCl}_{4(\text{г})}$ начала протекать в прямом направлении. Каким должен быть состав неравновесной газовой смеси, чтобы реакция началась при температуре на 100°C ниже вычисленной. Общее давление 1 атм.

655. Определить температуру, при которой возможна прямая реакция $2\text{FeS} + 2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{SO}_2$. Точно рассчитать нормальное сродство при этой температуре методом Темкина – Шварцмана.

656. Определить температуру начала реакции $N_2 + O_2 = 2NO$ и текущий состав газовой смеси, который обеспечит начало реакции при температуре на $100\text{ }^\circ\text{C}$ ниже вычисленной, если общее давление 2 атм , а давление NO составляет $0,4\text{ атм}$.

657. Определить температуру, при которой начинается реакция $NiS + 3NiSO_4 = 4NiO + 4SO_2$. Вычислить нормальное сродство при этой температуре методом Темкина – Шварцмана.

658. Вычислить константу равновесия для реакции $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$, протекающей при температуре $700\text{ }^\circ\text{C}$. Куда сместится равновесие этой реакции, если температуру поднять до 1000 К и создать давление, атм: аммиака – 60 ; азота – 200 ; водорода – 300 .

659. Найти K_p для реакции $2CO + O_2 = 2CO_2$ при 1500 К . Найти K_p для этой реакции при 1200 К , считая ее тепловой эффект в этом температурном интервале постоянным.

660. Найти температуру, при которой реакция $CaCO_3 = CaO + CO_2$ начнет протекать в прямом направлении. Найти также давление диссоциации карбоната кальция при $500\text{ }^\circ\text{C}$.

661. При какой температуре начнется прямая реакция $Fe_3O_4 + 4H_2 = 3Fe + 4H_2O_{(г)}$. Определить точное значение нормального сродства этой реакции при найденной температуре по методу Темкина – Шварцмана.

662. Найти K_p для реакции $2H_2S_{(г)} = 2H_2 + S_{2(г)}$ при 1000 К . Найти K_p для этой реакции при 1100 К , считая ее тепловой эффект в указанном температурном интервале постоянным.

663. Методом Темкина – Шварцмана найти нормальное сродство реакции $H_2 + CO_2 = CO + H_2O_{(г)}$. Определить состав неравновесной газовой смеси, при котором станет возможной прямая реакция, если в исходной смеси содержится по объему 10% CO и 5% водяного пара.

664. Определить температуру, при которой возможна прямая реакция $CaCO_3 + SiO_2 = CaSiO_3 + CO_2$. Найти точное значение стандартного сродства при этой температуре.

665. Найти температуру, при которой начинается реакция $Fe_2O_3 + H_2 = 2Fe + 3H_2O_{(г)}$. Вычислить точное значение стандартного сродства при этой температуре.

666. При какой температуре реакция $\text{NiSO}_4 = \text{NiO} + \text{SO}_3$ начнет протекать в прямом направлении. Вычислить K_p для этой температуры. Куда сместится равновесие этой реакции, если температуру повысить на 100°C по сравнению с найденной и создать в системе давление SO_3 10^{-3} атм.

