

сеяния заряж. частицы на нейтральной с испусканием фотона малой частоты  $\omega$ , согласно теореме Лоу, амплитуда радиац. процесса  $M_\gamma$  (в членах  $\sim \omega^{-1}$  и  $\omega^0$ ) полностью определяется амплитудой нерадиац. процесса  $M_{\text{упр}}$  (к-рая считается известной) и равна

$$M_\gamma = e\sqrt{4\pi} \left\{ \left[ \frac{(p'_1 \epsilon)}{(p'_1 k)} - \frac{(p_1 \epsilon)}{(p_1 k)} \right] M_{\text{упр}} + \left[ (\epsilon p_1) \frac{(p_2 k)}{(p_1 k)} - (p_2 \epsilon) + (p'_1 \epsilon) \frac{(p_2 k)}{(p_1 k)} - (p'_2 \epsilon) \right] \frac{\partial M_{\text{упр}}}{\partial s} \right\}, \quad (2)$$

где  $p_1, p'_1$  и  $p_2, p'_2$  — соответственно 4-импульсы заряж. и нейтральных частиц до и после столкновения,  $k_\mu, \epsilon_\mu$  — 4-импульс и поляризация фотона, круглые скобки означают скалярное произведение, напр.,  $(p'_1 \epsilon) \equiv (p'_1)_\mu (\epsilon)_\mu$  (по повторяющемуся индексу  $\mu$  предполагается суммирование),  $s$  — инвариантная переменная:

$$s = (p_1 + p_2)^2 = (p'_1 + p'_2)^2.$$

Поправки к соотношению (2), к-рые уже зависят от механизма радиац. процесса, составляют величину первого порядка по  $k_\mu$ .

Для  $\pi$ -мезонов наиб. известной Н. т. является теорема Адлера (S. Adler, 1965) о том, что амплитуда испускания  $\pi$ -мезона зануляется в пределе нулевого 4-импульса пиона. Точнее, это утверждение относится к неполюсной части амплитуды. Полюсная же часть, связанная с испусканием  $\pi$ -мезонов из внешних линий, должна быть учтена явно [аналог полюсных членов, т. е. первого слагаемого, в ф-ле (2)].

Позже было получено большое число Н. т. как для фотонов, пионов, так и для К-мезонов, гравитонов.

Лит.: В а й ш т е й н А. И., За х а р о в В. И., Частичное сохранение аксиального тока и процессы с «мягкими»  $\pi$ -мезонами, «УФН», 1970, т. 100, с. 225; Л и ф ш и ц Е. М., П и т а е в с к и й Л. П., Релятивистская квантовая теория поля, ч. 2, М., 1971, гл. 15; О к у н ь Л. Б., Лептоны и кварки, 2 изд., М., 1990. В. И. Захаров.

**НИКЕЛЬ** (Niccolum), Ni, — хим. элемент VIII группы периодич. системы элементов, ат. номер 28, ат. масса 58,69. В природе представлен 5 стабильными изотопами:  $^{58}\text{Ni}$ ,  $^{60}\text{Ni}$ ,  $^{61}\text{Ni}$ ,  $^{62}\text{Ni}$ ,  $^{64}\text{Ni}$ . Наиб. распространены  $^{58}\text{Ni}$  (68,27%) и  $^{60}\text{Ni}$  (26,10%). Электронная конфигурация внеш. оболочек  $3s^2 3p^6 3d^8 4s^2$ . Энергии последовательной ионизации атома Н. равны соответственно 7,633, 18,15 и 36,16 эВ. Металлич. радиус атома Ni 0,124 нм, радиус иона  $\text{Ni}^{2+}$  0,074 нм. Значение электроотрицательности 1,8.

В свободном виде — серебристо-белый пластичный металл. Известны 3 модификации Н.:  $\alpha$ -Ni (кубич. гранецентр. решётка) и существующие при особых условиях  $\beta$ -Ni (кубич. решётка) и  $\gamma$ -Ni (гексагональная решётка). Параметр решётки  $\alpha$ -Ni 0,35238 нм. Плотность очень чистого Н. 8,91 кг/дм<sup>3</sup>, технического Н. 8,7—8,84 кг/дм<sup>3</sup>,  $t_{\text{пл}} = 1455^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{кип}} = 2730\text{—}2915^\circ\text{C}$  (по разным источникам). Теплота плавления 17,5 кДж/моль, теплота испарения 370 кДж/моль. Уд. теплоёмкость 450 Дж/кг·К (293К), теплопроводность 88,5 Вт/м·К (при 273—373 К), термич. коэф. линейного расширения  $13,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  (273 К), темп-ра Дебая 441—476 К, уд. электрич. сопротивление 0,0684 мкОм·м, работа выхода электронов 4,50 эВ. Ферромагнетик, точка Кюри 631 К. Коэрцитивная сила 1,6 Э. Мн. сплавы Н. и к-рые его соединения также ферромагнитны.

Твёрдость Н. по Бринеллю (20 °С): отожжённого 981 МПа, литого 600—800 МПа, ковального 1200—1500 МПа. Модуль нормальной упругости 196—210 ГПа, модуль сдвига 73 ГПа.

В соединениях проявляет степени окисления от +1 до +4 (наиб. характерная +2). Химически мало активен, на воздухе покрывается устойчивой оксидной плёнкой; устойчив к окислению при нагревании и к

воздействию щелочных растворов. Способен поглощать большие кол-ва  $\text{H}_2$  и CO.

Н. — компонент легиров. сталей и разл. (жаростойких, сверхтвёрдых, антикоррозионных, магнитных и др.) сплавов, конструкц. материал для хим. аппаратуры, катализатор хим. процессов, материал электродов аккумуляторов. Нанесение тонких слоёв Н. (никелирование) на поверхность стальных и др. изделий предохраняет их от коррозии. Магнитострикц. свойства Н. используются при создании источников ультразвука. Сплав Н. с железом (пермаллой) обладает высокой магн. проницаемостью и используется в запоминающих устройствах ЭВМ, в радиотехнике, устройствах связи и т. д.

С. С. Бердососов.

**НИЛЬСБОРИЙ** (Nilsbohrium), Ns, — искусственно полученный радиоактивный хим. элемент V группы периодич. системы элементов, ат. номер 105, относится к трансактиноидам. (Официальное назв. — элемент № 105, назв. «Н.» не утверждено ИЮПАК.) Получены (1987) шесть изотопов:  $^{265}\text{Ns}$ ,  $^{267}\text{Ns}$ ,  $^{268}\text{Ns}$ ,  $^{269}\text{Ns}$ ,  $^{261}\text{Ns}$ ,  $^{262}\text{Ns}$ . Предполагаемая электронная конфигурация внеш. оболочек  $6s^2 2p^6 6d^3 7s^2$ . По хим. свойствам близок к Ta, степень окисления +5.

Первый нуклид  $^{261}\text{Ns}$  ( $\alpha$ -распад, спонтанное деление,  $T_{1/2} = 1,8$  с) синтезирован в 1970 Г. Н. Флёровым с сотрудниками при бомбардировке мишени  $^{243}\text{Am}$  ядрами  $^{22}\text{Ne}$ ; предложенное ими назв. элемента Н. (в честь Нильса Бора, N. Bohr) принято в СССР. Почти одновременно (неск. позднее) группа амер. учёных под руководством А. Гиорсо (A. Ghiorso) получила нуклид  $^{260}\text{Ns}$  ( $\alpha$ -радиоактивный,  $T_{1/2} = 1,52$  с) и предложила назвать 105-й элемент ганием в честь О. Гана (O. Hahn); предложено также назв. «унниллиентум» (т. е. 105-й).

С. С. Бердососов.

**НИОБИЙ** (Niobium), Nb, — хим. элемент побочной подгруппы V группы периодич. системы элементов, ат. номер 41, ат. масса 92,9064. В природе представлен одним стабильным нуклидом  $^{93}\text{Nb}$ . Электронная конфигурация внеш. оболочек  $4s^2 4p^6 4d^4 5s^1$ . Энергии последовательных ионизаций равны 6,88, 13,90 и 28,1 эВ. Металлич. радиус 0,147 нм, радиус ионов  $\text{Nb}^{4+}$  и  $\text{Nb}^{5+}$ , соответственно, 0,077 и 0,069 нм. Значение электроотрицательности 1,6.

В свободном виде — серебристо-серый металл, решётки кубич. объёмноцентрированной, постоянная решётки  $a = 0,330021$  нм. Плотность 8,570 кг/дм<sup>3</sup>,  $t_{\text{пл}} = -2469^\circ\text{C}$  (по др. данным,  $2500^\circ\text{C}$ ),  $t_{\text{кип}}$ , по разл. данным, от 4760 до  $4927^\circ\text{C}$ . Теплота плавления 27,6 кДж/моль, теплота испарения 661 кДж/моль, темп-ра Дебая 223—276,2 К. Работа выхода электрона 3,99 эВ. Уд. электрич. сопротивление Н. чистой 99,9% составляет 0,15 мкОм·м (при 300 К), температурный коэф. сопротивления  $3,95 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  (273—373 К). Темп-ра перехода в сверхпроводящее состояние 9,25 К. Парамагнетик, магн. восприимчивость  $2,20 \cdot 10^{-9}$  (при 293 К). Коэф. теплового линейного расширения  $7,08 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  (300 К), теплопроводность 53,2 Вт/м·К (при 373 К).

Модуль нормальной упругости при растяжении 110 ГПа (293 К), модуль сдвига 37,5 ГПа, твёрдость по Бринеллю (293 К) — отожжённого листа 735 МПа, литого 750 МПа.

В хим. соединениях проявляет степени окисления от +1 до +5 (наиб. характерная +5). При комнатной темп-ре металлич. Н. устойчив к воздействию воздуха и кислот (кроме плавиковой). Способен поглощать (особенно в порошкообразном состоянии)  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$  и  $\text{O}_2$ .

Н. входит в состав сплавов, являющихся жаропрочными и конструкц. материалами для реакторостроения, хим. промышленности и др. областей. Используется для легирования сталей (феррониобий) и сплавов цветных металлов. Входит в состав сверхпроводящих сплавов (с оловом  $\text{Nb}_3\text{Sn}$ , германием  $\text{Nb}_3\text{Ge}$  и др.). Как химически стойкий материал служит для изготовления теплообменников, конденсаторов и др. В качестве ра-