

# فهرست مطالب

۸	فصل اول	مشخصات اتم
۱۴	فصل دوم	جرم اتمی و جرم اتمی میانگین
۲۰	فصل سوم	عدد آووگادرو و مول
۲۷	فصل چهارم	موازنه معادله و استوکیومتری
۵۳	فصل پنجم	قوانین گازها
۷۳	فصل ششم	غلظت محلولها
۹۶	فصل هفتم	انحلال پذیری
۱۰۷	فصل هشتم	ظرفیت گرمایی
۱۱۵	فصل نهم	مسائل آنتالپی، آنتالپی پیوند، گرماسنج
۱۳۰	فصل دهم	قانون هس
۱۴۰	فصل یازدهم	سینتیک
۱۵۳	فصل دوازدهم	صابونی شدن
۱۶۶	فصل سیزدهم	درجه یونش و ثابت اسیدها و بازها
۱۷۳	فصل چهاردهم	مسائل pH
۱۸۶	فصل پانزدهم	سلولهای گالوانی
۱۹۶	فصل شانزدهم	سلولهای الکتروشیمی و پیل سوختی
۲۰۶	فصل هفدهم	خوردگی و آبکاری
۲۱۰	فصل هجدهم	تغییر عدد اکسایش
۲۱۸	فصل نوزدهم	انواع جامدها
۲۲۵	فصل بیستم	آنتالپی فروپاشی
۲۲۹	فصل بیست و یکم	مسائل ثابت تعادل
۲۳۸	فصل بیست و دوم	مسائل لوشتالیه
۲۴۶	پرسش‌های چهارگزینه‌ای	
۲۷۹	پاسخ‌نامه تشریحی	



درسنامه

# مشخصات اتم

## فصل ۱

اتم‌ها کوچک‌ترین ذره‌های سازندهٔ هر ماده هستند که خواص شیمیایی و فیزیکی هر ماده به ویژگی‌های آن‌ها بستگی دارد. هر اتم از ذره‌های کوچک‌تری به نام ذره‌های زیراتمی تشکیل شده است. مهم‌ترین ذره‌های زیراتمی، الکترون‌ها، پروتون‌ها و نوترون‌ها هستند.

**عدد اتمی (Z):** به تعداد پروتون‌های موجود در هستهٔ اتم گفته می‌شود که در یک اتم خنثی با تعداد الکترون‌ها برابر است.

**عدد جرمی (A):** به مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های موجود در هستهٔ اتم گفته می‌شود که در اتم خنثی با مجموع تعداد الکترون‌ها و نوترون‌های اتم نیز برابر است.

برای نشان‌دادن نماد یک عنصر، همراه با **E** نماد شیمیایی یک عنصر  $A$  عدد جرمی  $Z$  عدد اتمی مشخصات آن، از الگوی روبه‌رو پیروی می‌کنیم:

عدد جرمی به اندازهٔ شمار نوترون‌ها، از عدد اتمی بیشتر است.

پس تعداد نوترون را از رابطهٔ زیر محاسبه می‌کنیم:

$$n = A - Z \Rightarrow \text{عدد اتمی} = \text{عدد جرمی} - \text{تعداد نوترون}$$

در اتم خنثی،  $A + Z$  نشان‌دهندهٔ تعداد کل ذره‌های زیراتمی است.

مجموع تعداد الکترون، پروتون و نوترون  $A + Z =$  در اتم خنثی

۱ در اتم خنثی، تعداد بارهای مثبت و منفی (پروتون و الکترون) با هم برابر است؛ بنابراین مجموع ذره‌های زیراتمی باردار، برای هر اتم از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\begin{cases} e = p \\ e + p = p + p = 2p = 2 \times Z = 2 \times \text{عددی} \end{cases}$$

تعداد ذره‌های زیراتمی باردار در اتم خنثی

یعنی تعداد ذره‌های زیراتمی باردار در اتم خنثی، ۲ برابر عدد اتمی است.  
۲ با تبدیل شدن اتم خنثی به یون و برعکس، تعداد پروتون‌ها و نوترون‌ها تغییر نکرده و ثابت باقی می‌ماند. پس تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های موجود در اتم خنثی با شمار این ذره‌ها در یون همان اتم، برابر است.

ولی برای محاسبه تعداد الکترون، تعداد ذره‌های زیراتمی باردار و تعداد کل ذره‌های زیراتمی در یون‌ها، کافی است تعداد به دست آمده برای هر یک از آن‌ها در اتم خنثی را منهای بار یون (با در نظر گرفتن علامت آن) کنیم.

مشخصات اتم	در اتم خنثی ( ${}^A_Z E$ )	در یون ( ${}^A_Z E^{n\pm}$ )
تعداد پروتون	Z	Z
تعداد نوترون	A - Z	A - Z
تعداد الکترون	Z	Z - بار یون
تعداد ذره‌های زیراتمی باردار	$2 \times Z$	بار یون - ( $2 \times Z$ )
تعداد کل ذره‌های زیراتمی	A + Z	A + Z - بار یون

بسیار برخی از مشخصات یک گونه، در سؤال داده شده و در مورد سایر مشخصات آن گونه، پرسش مطرح می‌شود.

### تست

با توجه به عنصر  ${}_{b-10}^{2b}X$ ، اگر در یون  $X^{2+}$ ،  $50 - 2b$  الکترون وجود داشته باشد، تعداد نوترون‌های این یون برابر با کدام عدد است؟

۴۸ (۱)      ۵۰ (۲)      ۵۲ (۳)      ۵۴ (۴)

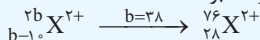
**پاسخ** گزینه «۱» همان‌طور که می‌دانیم تعداد الکترون‌های یون  $X^{2+}$  از رابطه (بار - Z) به دست می‌آید:

$${}_{b-10}^{2b}X^{2+} : e \text{ تعداد} = Z - \text{بار} = (b - 10) - (+2) = b - 10 - 2 \\ = b - 12$$

طبق گفته سؤال این تعداد برابر با  $50 - 2b$  الکترون است. پس خواهیم داشت:

$$b - 12 = 50 - 2b \Rightarrow b = 38$$

پس یون  ${}_{b-10}^{2b}X^{2+}$  برابر با ذره زیر خواهد بود:



حال برای محاسبه تعداد نوترون‌های این گونه کافی است از رابطه

$${}_{28}^{76}X^{2+} : n \text{ تعداد} = A - Z = 76 - 28 = 48 \text{ استفاده کنیم.}$$

**نکته ۲** -- مشخصات اتم یا یون در بین چند ذره، مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

### تست

کدام دو ذره زیر از نظر مجموع ذره‌های زیراتمی باردار با هم برابر هستند؟

${}_{26}^{56}\text{Fe}$  (D)       ${}_{29}^{64}\text{Cu}^{2+}$  (C)       ${}_{27}^{59}\text{Co}^{3+}$  (B)       ${}_{28}^{58}\text{Ni}$  (A)  
A و C (۴)      B و C (۳)      A و D (۲)      B و D (۱)

**پاسخ** گزینه «۴»

$${}_{28}^{58}\text{Ni} \text{ در باردار با هم برابر هستند. مجموع ذره‌های زیراتمی باردار در } 2 \times Z = 2 \times 28 = 56$$



$$51 = (2 \times 27) - 3 = (2 \times Z) - \text{بار} \quad \text{مجموع ذره‌های زیراتمی باردار در } {}_{27}^{59}\text{Co}^{3+}$$

$$56 = (2 \times 29) - 2 = (2 \times Z) - \text{بار} \quad \text{مجموع ذره‌های زیراتمی باردار در } {}_{29}^{64}\text{Cu}^{2+}$$

$$52 = 2 \times Z = 2 \times 26 = 52 \quad \text{مجموع ذره‌های زیراتمی باردار در } {}_{26}^{56}\text{Fe}$$

### تست

در اتم M در مجموع،  $280$  ذرهٔ زیراتمی وجود دارد. اگر تعداد نوترون‌ها  $1/5$  برابر تعداد پروتون‌های آن باشد، نماد این اتم کدامیک از گزینه‌های زیر است؟

$${}_{112}^{200}\text{M} \quad (4) \quad {}_{80}^{200}\text{M} \quad (3) \quad {}_{112}^{280}\text{M} \quad (2) \quad {}_{80}^{120}\text{M} \quad (1)$$

پاسخ | گزینهٔ «۳» روش اول

$$\left\{ \begin{array}{l} e + p + n = 280 \\ n = 1/5p \end{array} \right. \Rightarrow p + p + 1/5p = 280$$

$$\Rightarrow 3/5p = 280 \Rightarrow p = 80, n = 1/5p = 1/5 \times 80 = 120$$

$$e = p \quad \text{اتم خنثی}$$

$$\Rightarrow 3/5p = 280 \Rightarrow p = 80, n = 1/5p = 1/5 \times 80 = 120$$

$$\left. \begin{array}{l} (Z) \text{ عدد اتمی} = p = 80 \\ (A) \text{ عدد جرمی} = p + n = 80 + 120 = 200 \end{array} \right\} \Rightarrow {}_{80}^{200}\text{M}$$

روش دوم | در اتم خنثی، حاصل  $A + Z$  برابر تعداد ذرات زیراتمی است. بنابراین در این سؤال  $A + Z$  باید برابر  $280$  باشد که تنها در گزینهٔ «۳» صدق می‌کند.

تکلیف ۳ -- در این دسته از سؤالات معمولاً از تفاوت نوترون با پروتون و یا از تفاوت نوترون با الکترون صحبت به میان می‌آید.

### توجه

در تمامی اتم‌ها و یون‌ها به جز  ${}^1_1\text{H}$ ، تعداد نوترون‌ها بزرگ‌تر یا مساوی تعداد پروتون‌ها است. بنابراین برای محاسبهٔ اختلاف تعداد پروتون‌ها و نوترون‌ها، همواره تعداد نوترون‌ها را منهای تعداد پروتون‌ها می‌کنیم.



در اتم‌های خنثی (به جز  $^1\text{H}$ ) و یا کاتیون‌ها، تعداد نوترون‌ها از الکترون‌ها بیشتر است؛ ولی در آنیون‌ها ممکن است تعداد الکترون‌ها از نوترون بیشتر شود.

### تست

در گونه  $^{118}\text{M}^{4+}$ ، تفاوت تعداد نوترون‌ها و الکترون‌ها برابر ۲۲ می‌باشد. عدد اتمی آن کدام است؟

۶۸ (۱)      ۴۶ (۲)      ۷۲ (۳)      ۵۰ (۴)

پاسخ: گزینه «۴» در کاتیون‌ها از جمله  $\text{M}^{4+}$ ، تعداد نوترون از الکترون بیشتر است. پس:

هم‌چنین در یون  $\text{M}^{4+}$ ، تعداد  $p$ ، ۴ واحد بیشتر از تعداد الکترون است:

$$e = p - 4$$

بنابراین خواهیم داشت:

$$n - e = 22 \xrightarrow{e=p-4} n - (p - 4) = 22$$

$$n - p + 4 = 22 \Rightarrow n - p = 18$$

از طرفی چون عدد جرمی در گونه  $^{118}\text{M}^{4+}$ ، برابر با ۱۱۸ است، پس حاصل جمع نوترون و پروتون برابر ۱۱۸ می‌شود.

$$\left. \begin{array}{l} n + p = 118 \\ n - p = 18 \end{array} \right\} \Rightarrow 2n = 136 \Rightarrow n = 68, p = Z = 50$$

پس عدد اتمی ( $Z$ ) گونه موردنظر برابر ۵۰ است.



برای محاسبه تعداد ذره‌های زیراتمی در یک گونه چنداتمی، ابتدا تعداد موردنظر را برای هر یک از اتم‌ها (در حالت خنثی) به دست می‌آوریم و نهایتاً حاصل جمع آن‌ها را در مولکول حساب می‌کنیم.

در گونه‌های چنداتمی باردار، برای محاسبه تعداد الکترون، تعداد ذره‌های زیراتمی باردار و تعداد کل ذره‌های زیراتمی، عدد حاصل از نکته قبل را در انتها منهای بار کل گونه می‌کنیم.

### تست

تعداد کل ذره‌های زیراتمی در مولکول  $H_2O$ ، چند برابر الکترون‌های موجود در  $CO_3^{2-}$  است؟ ( ${}^1_1H$ ,  ${}^{12}_6C$ ,  ${}^{16}_8O$ )

$$\frac{14}{15} (1) \quad \frac{7}{8} (2) \quad \frac{15}{14} (3) \quad \frac{8}{7} (4)$$

**پاسخ:** گزینه «۲» ابتدا تعداد کل ذره‌های زیراتمی را برای اتم‌های  ${}^1_1H$  و  ${}^{16}_8O$  به دست می‌آوریم. برای محاسبه شمار کل ذره‌های زیراتمی در یک اتم خنثی، عدد اتمی و عدد جرمی را با هم جمع می‌کنیم:

$${}^1_1H \quad \text{تعداد کل ذره‌های زیراتمی در } H = A + Z = 1 + 1 = 2$$

$${}^{16}_8O \quad \text{تعداد کل ذره‌های زیراتمی در } O = A + Z = 16 + 8 = 24$$

در یک مولکول  $H_2O$ ، دو اتم  $H$  و یک اتم  $O$  وجود دارد. برای محاسبه تعداد کل ذره‌های زیراتمی در مولکول  $H_2O$ ، به صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$(2 \times H) + (1 \times O) = (2 \times 2) + (1 \times 24) = 28$$

اکنون تعداد الکترون اتم‌های  ${}^{12}_6C$  و  ${}^{16}_8O$  را که برابر با عدد اتمی آن‌ها است، به دست می‌آوریم:

$${}^{12}_6C \quad \text{تعداد الکترون: } Z = 6$$

$${}^{16}_8O \quad \text{تعداد الکترون: } Z = 8$$

حالا تعداد الکترون‌ها را در گونه  $CO_3^{2-}$ ، حساب می‌کنیم:

$$(1 \times C) + (3 \times O) - \text{بار} = (1 \times 6) + (3 \times 8) - (-2) = 32$$

پس نسبت خواسته‌شده در سؤال، برابر است با:

$$\frac{28}{32} = \frac{7}{8}$$

سایر تست‌های این فصل را در صفحه ۲۴۷ ببینید.



# سلول‌های الکتروشیمی و پیل سوختی

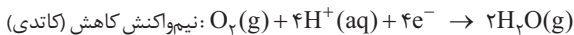
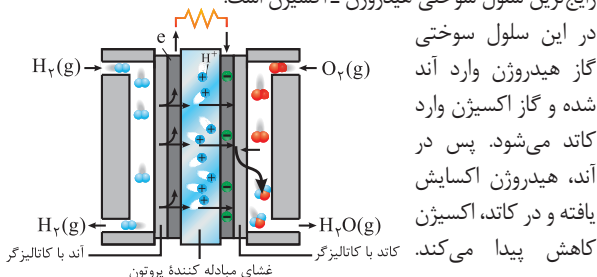
فصل ۱۶

## سلول سوختی

سلول‌های سوختی، نوعی سلول گالوانی‌اند که در آن‌ها بر اثر اکسایش سوخت‌هایی مانند هیدروژن یا متان، جریان برق تولید می‌شود.

### رایج‌ترین سلول سوختی

رایج‌ترین سلول سوختی هیدروژن - اکسیژن است.



مانند تمامی سلول‌های گالوانی در سلول‌های سوختی نیز، الکترون‌ها در مدار بیرونی (رسانای الکترونی) از آند به کاتد جریان پیدا می‌کنند.



- ۲) کاتیون‌های تولیدشده در آند (یون‌های  $H^+$ ) نیز از طریق غشای مبادله‌کننده پروتون، به سمت کاتد حرکت می‌کنند (مانند همه سلول‌های گالوانی، کاتیون به سمت کاتد حرکت می‌کند).
- ۳) واکنش سلول سوختی با تولید گرما همراه است، به همین دلیل آب خارج شده از سلول سوختی حالت فیزیکی بخار دارد. ( $H_2O(g)$ )
- ۴) در این سلول، هم آند و هم کاتد دارای کاتالیزگر هستند.
- ۵) گاز  $H_2$  مصرف‌نشده در آند، دوباره بازگردانی می‌شود و خروجی نیم‌سلول آند نیز گاز  $H_2(g)$  خواهد بود.

**تذکره** -- برای حل این سؤالات باید مقدار مصرف و یا تولید شده را برای یکی از مواد شرکت‌کننده در واکنش‌های سلول سوختی، محاسبه کنیم.

### تست

یون  $H^+$  تولیدشده به ازای مصرف  $4/48$  لیتر گاز هیدروژن در آند یک سلول سوختی هیدروژن در شرایط STP، با چند میلی‌لیتر محلول پتاسیم هیدروکسید  $4$  مولار به طور کامل واکنش می‌دهد؟

۱) ۱۰۰      ۲) ۲۰۰      ۳) ۳۰۰      ۴) ۴۰۰

**پاسخ** «۱» نیم‌واکنش اکسایش در آند سلول سوختی هیدروژن به صورت مقابل است:

حالا محاسبه می‌کنیم به ازای مصرف  $4/48$  لیتر گاز  $H_2$ ، چند مول یون  $H^+(aq)$  در واکنش بالا تولید می‌شود:

$$\frac{4/48 \text{ L } H_2}{22/4 \text{ L } H_2} \times \frac{1 \text{ mol } H_2}{2 \text{ mol } H_2} \times \frac{4 \text{ mol } H^+}{2 \text{ mol } H_2} = 0/4 \text{ mol } H^+$$

می‌دانیم هر مول  $H^+$  با  $1$  مول  $OH^-$  به طور کامل واکنش می‌دهد، پس خواهیم داشت:

$$0.4 \text{ mol H}^+ \times \frac{1 \text{ mol OH}^-}{1 \text{ mol H}^+} \times \frac{1 \text{ mol KOH}}{1 \text{ mol OH}^-} \times \frac{1 \text{ L محلول}}{4 \text{ mol KOH}}$$

$$\times \frac{10^3 \text{ mL محلول}}{1 \text{ L محلول}} = 100 \text{ mL محلول}$$

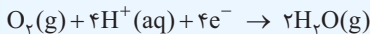
**تستی** - در این سوالات رابطه بین مقدار مصرف یا تولید مواد با تعداد الکترون‌های مبادله‌شده در واکنش‌های سلول سوختی، مورد پرسش قرار می‌گیرد.

### تست

در کاتد یک سلول سوختی هیدروژن، ۹/۶ گرم گاز اکسیژن مصرف شده است. تعداد الکترون‌های مبادله‌شده در این فرایند با شمار الکترون‌های مبادله‌شده در اثر اکسایش چند گرم فلز آلومینیم ۳۰ درصد خلوص در واکنش با محلول مس (II) سولفات برابر است؟

(۱) ۱۰/۸ (۲) ۳۶ (۳) ۴۸ (۴) ۱۱۲

**پاسخ** گزینه «۲» نیم‌واکنش کاتدی سلول سوختی به صورت زیر می‌باشد:

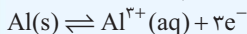


با توجه به واکنش بالا، به ازای مصرف هر ۱ مول  $\text{O}_2(\text{g})$ ، ۴ مول الکترون مبادله می‌شود. حالا به دست می‌آوریم با مصرف شدن ۹/۶ گرم  $\text{O}_2$ ،

چند مول الکترون مبادله می‌شود:

$$9/6 \text{ g O}_2 \times \frac{1 \text{ mol O}_2}{32 \text{ g O}_2} \times \frac{4 \text{ mole}^-}{1 \text{ mol O}_2} = 1/2 \text{ mole}^-$$

اکنون به معادله نیم‌واکنش اکسایش فلز آلومینیم دقت کنید:



با توجه به نیم‌واکنش گفته‌شده به ازای مصرف هر ۱ مول Al، ۳ مول الکترون مبادله می‌شود، پس داریم:



$$1/2 \text{ mole}^- \times \frac{1 \text{ mol Al}}{3 \text{ mole}^-} \times \frac{27 \text{ g Al}}{1 \text{ mol Al}} = 10/8 \text{ g Al خالص}$$

$$\text{درصد خلوص} = \frac{\text{مقدار ماده خالص}}{\text{مقدار ماده ناخالص}} \times 100 \Rightarrow 30 = \frac{10/8 \text{ g Al}}{?} \times 100$$

$$\text{مقدار ماده ناخالص (Al)} = \frac{10/8}{30} \times 100 = 36 \text{ g Al خالص}$$

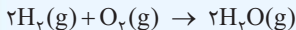
**نکته ۳** مقدار واکنش دهنده هم در آند و هم در کاتد داده می‌شود. با توجه به مقدار خروجی یکی از گازها باید مقدار مصرف‌شده گاز دیگر را محاسبه کنیم.



در یک سلول سوختی هیدروژن، ۱۰ گرم هیدروژن به آند و ۶۴ گرم اکسیژن به کاتد داده شده است. اگر ۴۰ درصد هیدروژن ورودی از آند خارج شود، چند درصد گاز اکسیژن ورودی می‌تواند بدون انجام واکنش، از کاتد خارج شود؟

(۱) ۱۲/۵٪ (۲) ۲۵٪ (۳) ۵۰٪ (۴) ۷۵٪

**پاسخ** گزینه «۲» واکنش کلی سلول سوختی به صورت زیر است:



از ۱۰ گرم هیدروژنی که وارد آند شده است، ۴۰ درصد آن خارج شده (وارد واکنش نشده) و ۶۰ درصد آن واکنش داده است.

$$\text{H}_2 \text{ مصرف شده} = 6 \text{ g} = 10 \times \frac{60}{100}$$

$$6 \text{ g H}_2 \times \frac{1 \text{ mol H}_2}{2 \text{ g H}_2} \times \frac{1 \text{ mol O}_2}{2 \text{ mol H}_2} \times \frac{32 \text{ g O}_2}{1 \text{ mol O}_2} = 48 \text{ g O}_2$$

از ابتدا ۶۴ گرم اکسیژن داخل ظرف داشته‌ایم که ۴۸ گرم از آن جرم  $\text{O}_2$  اضافی  $64 - 48 = 16 \text{ g}$  مصرف شده است:

$$\%25 = \frac{\text{جرم اکسیژن اضافی}}{\text{جرم اکسیژن ورودی}} \times 100 = \frac{16}{64} \times 100 = 25\%$$

### سلول‌های الکترولیتی

سلول الکترولیتی شامل دو الکتروود بی‌اثر و اغلب گرافیتی است که در واکنش شرکت نمی‌کنند. این دو الکتروود به قطب‌های یک منبع جریان مستقیم (مثلاً یک باتری) متصل شده‌اند و در یک الکترولیت فرو رفته‌اند.

الکترولیت موجود در این سلول می‌تواند یک ترکیب یونی مذاب و یا محلول یک ترکیب یونی باشد.

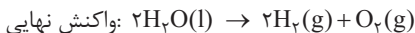
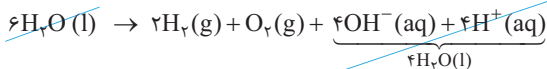
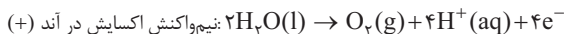
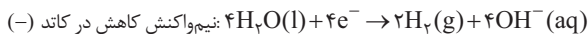
الکتروودی که به قطب مثبت باتری وصل شده آند و الکتروودی که به قطب منفی باتری وصل شده کاتد می‌باشد. پس در سلول الکترولیتی برخلاف گالوانی، آند مثبت و کاتد، منفی است، اما در سلول الکترولیتی نیز مانند گالوانی، الکترون‌ها در مدار بیرونی از آند به سمت کاتد حرکت می‌کنند.

در سلول‌های الکترولیتی نیز مانند گالوانی کاتیون‌های محلول به سمت کاتد حرکت می‌کنند تا در آن‌جا نیم‌واکنش کاهش را انجام دهند. آنیون‌های محلول نیز به سمت آند حرکت می‌کنند تا در آن‌جا بتوانند نیم‌واکنش اکسایش را انجام دهند.

در سلول الکترولیتی برخلاف گالوانی، انرژی الکتریکی به شیمیایی تبدیل می‌شود و فرایند آن غیرخودبه‌خودی است.

#### تجربه ۱۳ - برقکافت آب

به فرایندی که طی آن به وسیلهٔ جریان الکتریکی، آب به عنصرهای سازنده‌اش ( $H_2$  و  $O_2$ ) تجزیه شود، برقکافت آب گفته می‌شود.



۱ در برقکافت آب، در آند،  $\text{H}^+$  و در کاتد،  $\text{OH}^-$  تولید می‌شود. پس در

محیط اطراف آند، محیط اسیدی بوده و کاغذ pH به رنگ قرمز درمی‌آید.

در صورتی که محیط کنار کاتد، بازی است و کاغذ pH را آبی می‌کند.

۲ در برقکافت آب، گاز آزاد شده در کاتد،  $\text{H}_2$  و گاز آزاد شده در آند،

$\text{O}_2$  می‌باشد.

۳ از آن جایی که در واکنش نهایی برقکافت، ضریب استوکیومتری

$\text{H}_2$  دو برابر  $\text{O}_2$  است، پس حجم گاز  $\text{H}_2$  تولید شده در کاتد نیز دو

برابر حجم گاز اکسیژن تولید شده در آند می‌باشد.

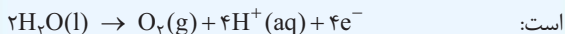


اگر در سلول الکترولیتی برقکافت آب،  $0.5$  مول الکترون مبادله شود،

مجموعاً چند گرم گاز در سلول آزاد می‌شود؟

۴ (۱)      ۸ (۲)      ۴/۵ (۳)      ۹ (۴)

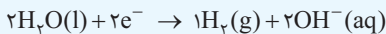
پاسخ: گزینه «۳» نیم‌واکنش آندی در برقکافت آب به صورت زیر



پس در آند به ازای تولید ۴ مول الکترون، ۱ مول  $\text{O}_2$  تولید می‌شود.

$$0.5 \text{ mole}^- \times \frac{1 \text{ mol O}_2}{4 \text{ mole}^-} \times \frac{32 \text{ g O}_2}{1 \text{ mol O}_2} = 4 \text{ g O}_2$$

نیم‌واکنش کاتدی برقکافت آب نیز به صورت زیر است:



در کاتد به ازای مصرف ۲ مول الکترون، ۱ مول  $\text{H}_2$  تولید شده است.

$$0.5 \text{ mole}^- \times \frac{1 \text{ mol H}_2}{2 \text{ mole}^-} \times \frac{2 \text{ g H}_2}{1 \text{ mol H}_2} = 0.5 \text{ g H}_2$$

جرم کل گاز  $\text{H}_2$  تولیدشده در کاتد + جرم  $\text{O}_2$  تولیدشده در آند = جرم کل گاز تولیدشده در سلول

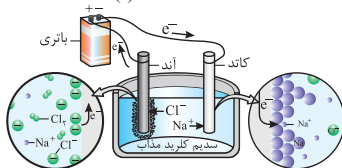
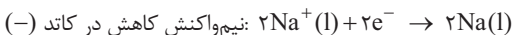
$$= 4 \text{ g O}_2 + 0.5 \text{ g H}_2 = 4.5 \text{ g گاز}$$

### تجربه ۵ سلول دانز (برقکافت سدیم کلرید مذاب)

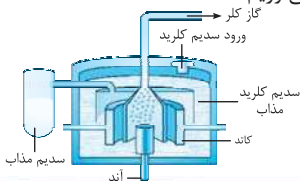
در برقکافت ترکیب‌های یونی مذاب، آنیون‌های ترکیب به سمت آند حرکت کرده تا در آن جا اکسایش پیدا کنند. کاتیون‌های ترکیب نیز به سمت کاتد حرکت می‌کنند تا در آن جا نیم‌واکنش کاهش را انجام دهند.



۱ در این فرایند نیز الکترودها را از جنس گرافیت انتخاب می‌کنند تا در واکنش شرکت نکرده (بی‌اثر باشند) و فقط نقش رسانایی داشته باشند.

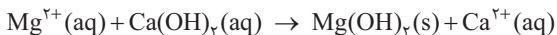


۲ در برقکافت سدیم کلرید مذاب در کاتد، سدیم مایع و در آند، گاز زردرنگ کلر آزاد می‌شود.  
در صنعت، فلز سدیم را از طریق برقکافت سدیم کلرید مذاب در سلول دانه به دست می‌آوریم.

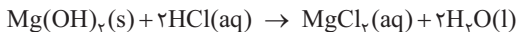


### کیمیای ۶ -- تهیه فلز منیزیم از برقکافت منیزیم کلرید مذاب

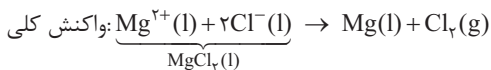
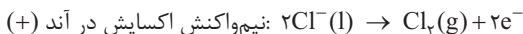
برای تهیه فلز منیزیم از آب دریا، ابتدا فلز منیزیم را به صورت جامد و نامحلول طبق واکنش زیر رسوب می‌دهند:



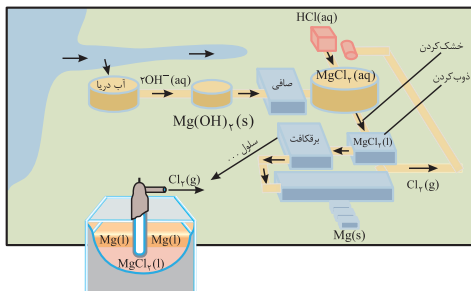
منیزیم هیدروکسید ایجادشده، توسط صافی جدا شده و طبق واکنش زیر با محلول HCl واکنش می‌دهد:



پس از تبخیر آب، منیزیم کلرید جامد به دست آمده را ذوب کرده تا  $\text{MgCl}_2(\text{l})$  به دست آید، سپس با برقکافت  $\text{MgCl}_2(\text{l})$  در یک سلول الکترولیتی، فلز منیزیم به دست می‌آید.







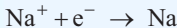
اگر به جای منیزیم کلرید مذاب، محلول منیزیم کلرید را برقکافت کنیم، فلز منیزیم به دست نمی‌آید.

### تست

اگر با عبور مقدار مشخصی الکترون از سدیم کلرید مذاب،  $4/6$  گرم سدیم مایع به دست آید، در اثر عبور همان مقدار الکترون از منیزیم کلرید مذاب، چند گرم منیزیم مایع به دست می‌آید؟ ( $Mg = 24, Na = 23 : g \cdot mol^{-1}$ )

۱)  $1/2$       ۲)  $2/4$       ۳)  $3/6$       ۴)  $4/8$

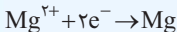
پاسخ: گزینه «۲» روش اول: نیم‌واکنش کاهش  $Na^+$  به  $Na$  به صورت مقابل است:



پس به ازای مصرف ۱ مول الکترون، ۱ مول سدیم تولید می‌شود.

$$4/6 \text{ g Na} \times \frac{1 \text{ mol Na}}{23 \text{ g Na}} \times \frac{1 \text{ mole}^-}{1 \text{ mol Na}} = 0/2 \text{ mole}^-$$

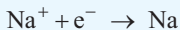
نیم‌واکنش کاهش  $Mg^{2+}$  به  $Mg$  به صورت زیر است:



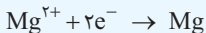


به ازای مصرف ۲ مول الکترون، ۱ مول Mg تولید می‌شود.

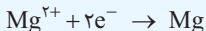
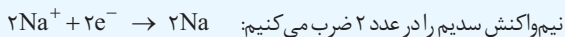
$$0.5 \text{ mole}^{-} \times \frac{1 \text{ mol Mg}}{2 \text{ mole}^{-}} \times \frac{24 \text{ g Mg}}{1 \text{ mol Mg}} = 2/4 \text{ g Mg}$$



روشن دوم!



از آن جایی که تعداد الکترون‌های مبادله‌شده در هر دو واکنش، یکسان نیست،



پس با عبور ۲ مول الکترون از داخل سدیم کلرید مذاب، ۲ مول Na و با عبور همین مقدار الکترون از داخل منیزیم کلرید، ۱ مول Mg به دست می‌آید.

می‌توان گفت به ازای تولید هر ۲ مول Na، ۱ مول Mg به دست می‌آید.

$$4/6 \text{ g Na} \times \frac{1 \text{ mol Na}}{23 \text{ g Na}} \times \frac{1 \text{ mol Mg}}{2 \text{ mol Na}} \times \frac{24 \text{ g Mg}}{1 \text{ mol Mg}} = 2/4 \text{ g Mg}$$

سایر تست‌های این فصل را در صفحه ۲۷۱ ببینید.



## فصل ۱: مشخصات اتم

۱- کدام گونه با سایر گونه‌ها هم‌الکترون نیست؟ ( $^{14}_7\text{N}$ ,  $^{16}_8\text{O}$ ,  $^{12}_6\text{C}$ ,  $^{19}_9\text{F}$ )



۲- اگر تعداد نوترون‌های یون  $^{127}_{53}\text{I}^-$  دو برابر تعداد الکترون‌های یون  $\text{X}^{3+}$  باشد و

تعداد نوترون‌های عنصر X برابر با ۴۸ باشد، عدد جرمی عنصر X کدام است؟

(۱) ۸۵ (۲) ۸۶ (۳) ۸۷ (۴) ۸۸

۳- در گونه‌ای مجهول با عدد جرمی ۵۴، مجموع تعداد الکترون‌ها و

پروتون‌ها برابر ۴۷ و مجموع تعداد الکترون‌ها و نوترون‌ها برابر ۵۱ است.

کدام گزینه نماد این گونه فرضی را به درستی نمایش می‌دهد؟



۴- فرض کنید در یون  $\text{M}^{2+}$  با عدد جرمی ۴۷، تعداد نوترون‌ها ۲۰ درصد

بیشتر از تعداد الکترون‌ها باشد. عدد اتمی عنصر M چه قدر است؟

(۱) ۲۰ (۲) ۲۳

(۳) ۲۱ (۴) ۲۲

۵- در گونه تک‌اتمی A، تفاوت تعداد الکترون‌ها و نوترون‌ها برابر ۲ واحد

و تفاوت تعداد نوترون‌ها و پروتون‌ها صفر است. اگر در این گونه نسبت

تعداد الکترون‌ها به مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌ها، برابر ۰/۴۵ باشد،

عدد اتمی این عنصر کدام است؟

(۱) ۱۲ (۲) ۱۶

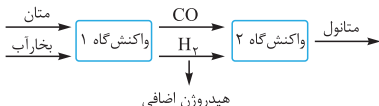
(۳) ۲۰ (۴) ۳۴



## فصل ۱۶: سلول‌های الکتروشیمی و پیل سوختی

۱۰۲- یک کارخانه تولید متانول، از واکنش متان با بخار آب برای تولید مواد اولیه لازم استفاده می‌کند (واکنش گاه (۱)). در واکنش گاه (۲)، از  $\text{CO(g)}$  و  $\text{H}_2\text{(g)}$  تولیدشده، متانول تهیه می‌شود. به ازای تولید هر کیلوگرم گاز هیدروژن اضافی مورد استفاده در سلول‌های سوختی، چند کیلوگرم متانول به دست می‌آید؟ (همه واکنش‌ها کامل فرض شود و  $\text{O} = ۱۶, \text{C} = ۱۲, \text{H} = ۱; \text{g.mol}^{-1}$ )

(ریاضی خارج)



$$25 \quad (4) \quad 16 \quad (3) \quad 12 \quad (2) \quad 8 \quad (1)$$

۱۰۳- در یک کارگاه از گاز کلر حاصل از یک سلول دانه برای تهیه مایع سفیدکننده خانگی (محلول ۵٪ جرمی از  $\text{NaClO(aq)}$ )، طبق واکنش (موازنه نشده):



استفاده می‌شود. در این کارگاه به ازای تولید  $1/150 \text{ kg}$  فلز سدیم، به ترتیب چند لیتر محلول سفیدکننده ( $d = 1 \text{ g.mL}^{-1}$ ) تولید می‌شود؟ (تجربی داخل)



$$74/5 \quad (4) \quad 51/56 \quad (3) \quad 37/25 \quad (2) \quad 35/78 \quad (1)$$

۱۰۴- در تولید صنعتی هر تن آلومینیم، به تقریب به چند کیلوگرم گرافیت نیاز است و چند متر مکعب گاز در شرایطی که حجم مولی گازها برابر  $25 \text{ L}$  است، تولید می‌شود؟ (گزینه‌ها را از راست به چپ بخوانید و  $\text{Al} = 27, \text{C} = 12; \text{g.mol}^{-1}$ )

$$694/4 \quad \text{و} \quad 444 \quad (2) \quad 694/4 \quad \text{و} \quad 333 \quad (1)$$

$$6994/4 \quad \text{و} \quad 444 \quad (4) \quad 6994/4 \quad \text{و} \quad 333 \quad (3)$$

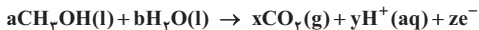
۱۰۵- از برقکافت ۲۵۰ mL محلول قلع (II) کلرید با غلظت ۰/۱ مولار (طبق واکنش زیر)، گرم فلز قلع جمع آوری شده است. چند گرم یون کلرید در این محلول باقی مانده است؟ ( $\text{Sn} = 118/7$ ,  $\text{Cl} = 35/5$ ;  $\text{g.mol}^{-1}$ )

$$\text{SnCl}_2(\text{aq}) \xrightarrow{\text{برقکافت}} \text{Sn}(\text{s}) + \text{Cl}_2(\text{g})$$

(ریاضی خارج) ۰/۴۷۴ (۱)

۰/۷۱ (۴) ۰/۹۵ (۳)

۱۰۶- اگر در یک سلول سوختی، از متانول به عنوان سوخت استفاده شود، مجموع مقادیر x، y و z در نیم سلول واکنش:



(ریاضی داخل) پس از موازنه، کدام است؟

۱۳ (۴) ۱۲ (۳) ۷ (۲) ۶ (۱)

۱- گزینه ۳ تعداد الکترون گونه‌ها را به دست می‌آوریم:

$$\text{NO}_2^+ \text{ تعداد الکترون} \Rightarrow 7 + 2(8) - \overbrace{(+1)}^{\text{بار گونه}} = 22$$

$$\text{CNO}^- \text{ تعداد الکترون} \Rightarrow 6 + 7 + 8 - (-1) = 22$$

$$\text{OF}_2 \text{ تعداد الکترون} \Rightarrow 8 + 2(9) = 26$$

$$\text{CO}_2 \text{ تعداد الکترون} \Rightarrow 6 + 2(8) = 22$$

همان‌طور که دیدید تعداد الکترون گونه  $\text{OF}_2$  با بقیه متفاوت است.

۲- گزینه ۴ با استفاده از رابطه زیر، تعداد نوترون‌های یون  $^{127}_{53}\text{I}^-$  را حساب

می‌کنیم: عدد اتمی - عدد جرمی = تعداد نوترون

$$^{127}_{53}\text{I}^- \text{ تعداد نوترون} = 127 - 53 = 74$$

از آن جایی که گفته شده تعداد نوترون‌های یون  $^{127}_{53}\text{I}^-$ ، دو برابر الکترون‌های

یون  $\text{X}^{3+}$  است، پس یون  $\text{X}^{3+}$  دارای  $(\frac{74}{2})$  یا ۳۷ الکترون است و چون

۳ الکترون از دست داده، تعداد الکترون‌های اتم  $\text{X}$  (در حالت خنثی)، برابر  $40$

می‌باشد؛ بنابراین عدد اتمی (تعداد پروتون) آن نیز برابر  $40$  است.

عدد جرمی یک اتم برابر جمع تعداد نوترون‌ها و پروتون‌های آن است، پس

$$\text{عدد جرمی } \text{X}^{3+} \text{ برابر } 88 \text{ (} 40 + 48 = 88 \text{) است.}$$

۳- گزینه ۴ نوترون + پروتون = عدد جرمی

$$54 = p + n \Rightarrow n = 54 - p \quad (*)$$

$$\begin{cases} e + p = 47 \\ e + n = 51 \end{cases} \xrightarrow[\text{جای‌گذاری نوترون بر حسب پروتون}]{(*)} e + 54 - p = 51$$

$$\Rightarrow e - p = -3$$



$$\begin{cases} p + e = 47 \\ e - p = -3 \end{cases}$$

$$2e = 44 \Rightarrow e = 22$$

$$e - p = -3 \Rightarrow 22 - p = -3 \Rightarrow p = 25$$

دیدیم که عدد اتمی این عنصر ۲۵ است، پس فقط در صورتی می‌تواند ۲۲ الکترون

داشته باشد که ۳ الکترون از دست داده باشد. پس گونهٔ مورد نظر،  $X^{3+}$  است.

**روش تستی** از آن جایی که جمع نوترون‌ها و پروتون‌ها، ۵۴ و جمع الکترون‌ها

و نوترون‌ها، ۵۱ است، نتیجه می‌گیریم تعداد پروتون‌ها از تعداد الکترون‌ها،

۳ عدد بیشتر است؛ یعنی گونهٔ مجهول ۳ الکترون از دست داده و یون  $X^{3+}$

تشکیل داده است.

۴- **گزینه ۲** با توجه به اطلاعات داده شده در سؤال، معادله‌های زیر را می‌نویسیم:

$$47 = Z + n \quad (1) \Rightarrow \text{تعداد پروتون‌ها} + \text{تعداد نوترون‌ها} = \text{عدد جرمی}$$

$$Z = e + 3 \quad (2)$$

$$n = e + \frac{20}{100}e \quad (3)$$

$$47 = \underbrace{(e+3)}_Z + \underbrace{(e + \frac{20}{100}e)}_n \Rightarrow 47 = \frac{2}{2}e + 3 \Rightarrow 44 = \frac{2}{2}e \Rightarrow e = 22$$

از آن جایی که یون سه بار مثبت ( $M^{3+}$ ) ۳ الکترون از دست داده است، ۲۰

الکترون دارد، پس اتم خنثی ( $M$ )،  $23 = (20 + 3)$  الکترون دارد؛ بنابراین عدد

اتمی آن ۲۳ می‌شود.  $Z = e + 3 = 20 + 3 = 23$  با توجه به معادله (۲)

۵- **گزینه ۲** تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های عنصر  $A$  برابر و تعداد نوترون‌ها ۲

عدد بیشتر از الکترون‌ها است (اگر تعداد الکترون‌ها بیشتر از نوترون‌ها بود باید



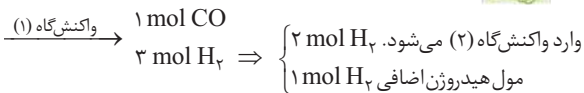
نسبت تعداد الکترون به مجموع پروتون‌ها و نوترون‌ها از  $5/0$  بیشتر می‌شود، در صورتی که برابر  $45/0$  است؛ بنابراین  $A$  یک کاتیون با بار  $+2$  است:

$$\frac{e}{n+Z} = \frac{45}{100} \Rightarrow \frac{Z-2}{2Z} = \frac{45}{100} \Rightarrow 100Z - 200 = 90Z \Rightarrow Z = 20$$





۱۰۲ - **گزینه ۳**



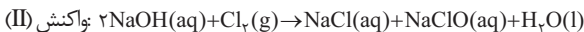
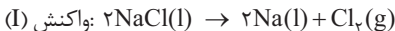
از واکنش ۱ مول CO و ۲ مول H<sub>۲</sub>، ۱ مول متانول تولید می شود.

$$\Rightarrow 1 \text{ mol CH}_3\text{OH} = 32 \text{ g متانول}$$

به ازای هر ۲ گرم هیدروژن اضافی ۳۲ گرم متانول تولید می‌شود.

$$1 \text{ kg H}_2 \text{ اضافی} \times \frac{1000 \text{ g H}_2}{1 \text{ kg H}_2} \times \frac{32 \text{ g متانول}}{2 \text{ g H}_2} \times \frac{1 \text{ kg متانول}}{1000 \text{ g متانول}} = 16 \text{ kg متانول}$$

۱۰۳- **گزینه ۲** معادله واکنش‌های انجام‌شده به صورت زیر است:



می‌بینیم که ضریب استوکیومتری  $\text{Cl}_2$  در هر دو واکنش با هم برابر است؛

بنابراین می‌توان هم‌ارزی مقابل را برقرار کرد:  $2\text{Na} \equiv \text{Cl}_2 \equiv \text{NaClO}$

$$\frac{\text{گرم سدیم}}{\text{جرم مولی} \times \text{ضریب}} = \frac{\text{گرم NaClO}}{\text{جرم مولی} \times \text{ضریب}} \Rightarrow \frac{1150 \text{ g Na}}{2 \times 23} = \frac{x \text{ g NaClO}}{1 \times 74.5}$$

$$\Rightarrow x = 1/8625 \times 10^3 \text{ g NaClO} \text{ یا } 1/8625 \text{ kg NaClO}$$

مطابق اطلاعات داده‌شده در سؤال، مایع سفیدکننده، شامل ۵ درصد جرمی

از  $\text{NaClO}$  است؛ بنابراین می‌توان نوشت:

$$\text{درصد جرمی NaClO در سفیدکننده} = \frac{\text{جرم NaClO}}{\text{جرم سفیدکننده}} \times 100$$

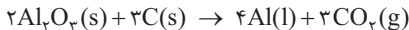
$$\Rightarrow 5 = \frac{1/8625 \text{ kg}}{x \text{ kg}} \Rightarrow x = 37/25 \text{ kg (سفیدکننده)}$$

چگالی مایع سفیدکننده برابر  $1 \text{ g.mL}^{-1}$  یا همان  $1 \text{ kg.L}^{-1}$  است و در نتیجه

$37/25$  کیلوگرم از آن حجمی معادل  $37/25$  لیتر دارد.

۱۰۴- **گزینه ۱** منظور از تولید صنعتی آلومینیم، همان فرایند هال است که

واکنش کلی آن به صورت زیر است:





$$\frac{\text{گرم آلومینیم}}{\text{جرم مولی} \times \text{ضریب}} = \frac{\text{گرم گرافیت}}{\text{جرم مولی} \times \text{ضریب}}$$

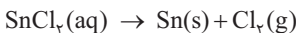
$$\Rightarrow \frac{10^6 \text{ g Al}}{4 \times 27} = \frac{x \text{ g C}}{3 \times 12} \Rightarrow x = \frac{10^6}{3} \text{ g} = 333 \text{ kg}$$

$$\frac{\text{گرم آلومینیم}}{\text{جرم مولی} \times \text{ضریب}} = \frac{\text{لیتر گاز (غیر STP)}}{\text{حجم مولی} \times \text{ضریب}}$$

$$\Rightarrow \frac{10^6 \text{ g Al}}{4 \times 27} = \frac{x \text{ L CO}_2}{3 \times 25} \Rightarrow x = 694 / 4 \times 10^3 \text{ L}$$

$$x = 694 / 4 \times 10^3 \times 10^{-3} = 694 / 4 \text{ m}^3 \text{ CO}_2$$

۱۰۵- **گزینه ۲** معادله برکافت قلع طبق صورت سؤال به صورت زیر است:



براساس جرم قلع تولیدشده، تعداد مول مصرفی محلول قلع (II) کلرید و سپس تعداد مول باقی مانده آن را محاسبه می‌کنیم:

$$\frac{\text{مول}}{\text{ضریب}} = \frac{\text{گرم}}{\text{جرم مولی} \times \text{ضریب}} \Rightarrow \frac{x \text{ mol SnCl}_4}{1} = \frac{2 / 374 \text{ g Sn}}{1 \times 118 / 7}$$

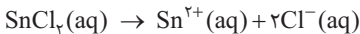
$$\Rightarrow x = 0 / 02 \text{ mol مصرف شده SnCl}_4 \text{ مول}$$

$$\text{مول اولیه قلع (II) کلرید} = M.V = 0 / 1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 0 / 25 \text{ L} = 0 / 025 \text{ mol}$$

مول مصرف شده - مول اولیه = تعداد مول باقی مانده قلع (II) کلرید

$$= 0 / 025 - 0 / 02 = 0 / 005 \text{ mol}$$

از طرفی قلع (II) کلرید به صورت زیر در آب، یونش می‌یابد:



$$\frac{\text{مول}}{\text{ضریب}} = \frac{\text{گرم}}{\text{جرم مولی} \times \text{ضریب}}$$

$$\Rightarrow \frac{0.005 \text{ mol Sn}}{1} = \frac{x \text{ g Cl}^-}{2 \times 35.5} \Rightarrow x = 0.355 \text{ g Cl}^-$$

۱۰۶- موازنه را از کربن شروع می‌کنیم، زیرا در کل معادله واکنش فقط

در ساختار دو ماده وجود دارد و به صورت ماده تک‌عنصر هم دیده نمی‌شود.

ضریب  $\text{CH}_3\text{OH}$  و  $\text{CO}_2$  را ۱ قرار می‌دهیم، سپس ضریب  $\text{H}_2\text{O}$  را هم ۱

قرار می‌دهیم تا مقدار اکسیژن (O) در دو طرف برابر شود. تعداد H در سمت

واکنش‌دهنده‌ها ۶ است، پس ضریب  $\text{H}^+$  را عدد ۶ می‌گذاریم. طبق قانون

پایستگی بار، چون در طرف چپ واکنش مقدار بار صفر است، با قراردادن

ضریب ۶ برای  $e^-$  موازنه صورت می‌گیرد.



$$x + y + z = 1 + 6 + 6 = 13$$