

به نام خداوند جان و خرد

جزوه فصل ۴ فیزیک ۳ (آشنایی با فیزیک اتمی و هسته ای)

گذار الکترون و ترازهای انرژی (مدل بور)

مفاهیم کلیدی گذار:

۱. **حالت مانا:** وقتی الکترون در یکی از مدارهای مجاز است، هیچ تابشی ندارد (تابش نمی کند).
۲. **شرط گسیل فوتون:** الکترون با سقوط از یک تراز انرژی بالاتر (E_U) به تراز انرژی پایین تر (E_L), یک فوتون گسیل می کند که انرژی آن دقیقاً برابر با اختلاف انرژی دو تراز است:

$$\Delta E = E_U - E_L = hf$$

لیزر، گسیل القایی و وارونی جمعیت

سازوکار گسیل فوتون در لیزر:

۱. گسیل خودبه خودی:

- اتم در حالت برانگیخته (E_U) ناپایدار است و پس از مدت زمان اندکی (حدود 10^{-8} s) به طور خودبه خودی به تراز پایین تر (E_L) سقوط کرده و یک فوتون گسیل می کند. (این فرآیند کاتوره ای و غیرمنسجم است).

۲. گسیل القایی (اصول لیزر):

- وقتی یک فوتون با انرژی دقیقاً برابر با اختلاف ترازها ($\Delta E = E_U - E_L$) به الکترون در تراز برانگیخته برخورد می کند، آن را **مجبور** می کند به تراز پایین تر سقوط کند.
- **خروجی:** دو فوتون کاملاً یکسان (از نظر انرژی، فاز، جهت و قطبش). این همان «تقویت نور» است.

۳. وارونی جمعیت (Population Inversion):

- در وضعیت عادی، بیشتر الکترون‌ها در تراز پایه (E_L) هستند. برای تولید لیزر، باید با «پمپاژ انرژی»، تعداد الکترون‌ها در تراز بالاتر (E_U) را بیشتر از تراز پایین‌تر (E_L) کنیم. به این وضعیت ناپایدار «وارونی جمعیت» می‌گوییم.

ساختار هسته، نیروی هسته‌ای و انرژی بستگی

مفاهیم پایه:

- **نوکلئون:** نام مشترک پروتون‌ها و نوترون‌های درون هسته.
- **نماد هسته:** ${}_Z^AX$ (که A عدد جرمی، Z عدد اتمی و N تعداد نوترون‌هاست).
- **رابطه بنیادی:** $A = Z + N$

ویژگی‌های نیروی هسته‌ای (فوق‌العاده مهم برای سؤالات مفهومی):

۱. **بسیار قوی:** از نیروی رانش الکترواستاتیک (کولنی) بین پروتون‌ها بسیار قوی‌تر است.
۲. **کوتاه‌برد:** فقط بین نوکلئون‌های مجاور اثر می‌کند (در ابعاد اتمی دیگر اثری ندارد).
۳. **مستقل از بار:** نیروی بین (پروتون-پروتون)، (نوترون-نوترون) و (پروتون-نوترون) در شرایط یکسان، یکسان است.

انرژی بستگی هسته (E_b):

- **کاستی جرم (Δm):** همیشه مجموع جرم نوکلئون‌های تشکیل‌دهنده، اندکی بیشتر از جرم واقعی هسته است. این اختلاف جرم به انرژی بستگی تبدیل می‌شود.

• **فرمول:** $E_b = \Delta m \cdot c^2$

(هرچه E_b بیشتر باشد، هسته پایدارتر است).

پرتوزایی طبیعی و واپاشی‌ها

پرتوزایی طبیعی (Radioactivity):

هسته‌های ناپایدار (پرتوزا) به طور خودبه‌خودی وا می‌پاشند و ذرات یا فوتون‌های پرنرژی آزاد می‌کنند.

نوع واپاشی	نماد	ذره گسیل شده	تغییرات هسته	معادله عمومی
آلفا (α)	${}^4_2\text{He}$	هسته هلیوم	A (عدد جرمی) ۴ واحد، Z (عدد اتمی) ۲ واحد کاهش	${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4}Y + {}^4_2\text{He}$
بتای منفی (β^-)	${}_{-1}^0e$	الکترون	A بدون تغییر، Z یک واحد افزایش (تبدیل نوترون به پروتون)	${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + {}_{-1}^0e$
بتای مثبت (β^+)	${}_{+1}^0e$	پوزیترون	A بدون تغییر، Z یک واحد کاهش (تبدیل پروتون به نوترون)	${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AY + {}_{+1}^0e$
گاما (γ)	γ	فوتون پرنرژی	بدون تغییر در A و Z (تنها انرژی آزاد می‌شود)	${}_Z^AX^* \rightarrow {}_Z^AX + \gamma$

قوانین بقا در واپاشی‌ها:

در تمام فرآیندهای واپاشی (واکنش‌های هسته‌ای)، دو اصل پایستگی برقرار است:

۱. **پایستگی بار الکتریکی (عدد اتمی Z):** مجموع اعداد اتمی در دو طرف واکنش (ماده مادر و دختر + ذرات گسیلی) با هم برابرند.

۲. **پایستگی جرم (عدد جرمی A):** مجموع اعداد جرمی در دو طرف واکنش با هم برابرند.

قدرت نفوذ پرتوها:

پرتوهای α کمترین قدرت نفوذ را دارند (توسط پوست یا یک ورق کاغذ متوقف می‌شوند). پرتوهای β نفوذ بیشتری دارند (توسط ورقه آلومینیومی متوقف می‌شوند). و در نهایت، پرتوهای γ بیشترین نفوذ را دارند و برای متوقف کردن آن‌ها به ضخامت زیادی از سرب یا بتن نیاز است.

$$\gamma > \beta > \alpha \text{ : قدرت نفوذ}$$

مفهوم نیمه عمر و محاسبات واپاشی

تعریف نیمه عمر ($T_{1/2}$):

نیمه عمر، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا تعداد هسته‌های مادر یک نمونه‌ی رادیواکتیو، دقیقاً به نصف مقدار اولیه‌ی خود برسد. این یک ویژگی ذاتی برای هر هسته‌ی ناپایدار است (برخی نیمه عمرشان میکروثانیه است و برخی میلیاردها سال!).

فرمول‌های کاربردی (مدل ریاضی):

برای محاسبه‌ی تعداد هسته‌های باقی‌مانده (N) پس از گذشت زمان t :

۱. تعداد نیمه عمرهای سپری شده (n):

$$n = \frac{t}{T_{1/2}}$$

۲. تعداد هسته‌های باقی‌مانده (N):

$$N = \frac{N_0}{2^n}$$

(که در آن N_0 تعداد اولیه‌ی هسته‌هاست).