

BÖLÜM 1

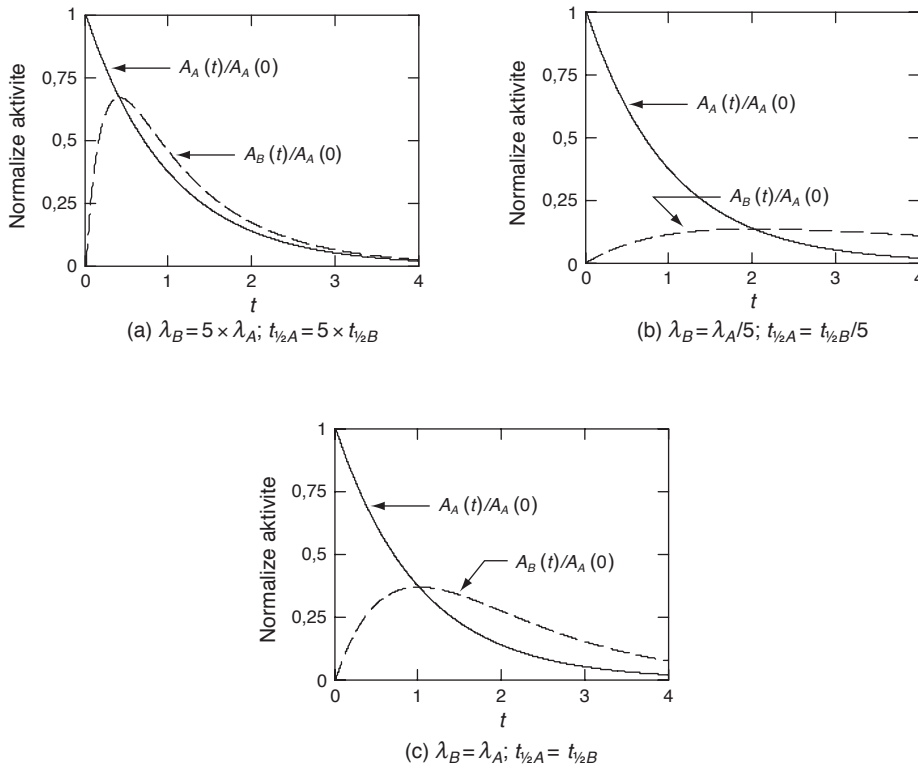
Nükleer Reaksiyonlar

1.1 Giriş

Albert Einstein'ın kütle ve ışık hızını enerjiye bağlayan $E = mc^2$ eşitliği tartışmasız modern dünyadaki en meşhur denklemdir. Bu kitabın konusu olan nükleer güç reaktörleri formülün en yaygın kullanıldığı ekonomi kolunu oluşturur. Elektrik enerjisi üretmek, gemileri hareket ettirmek veya enerji kullanımının diğer formları için inşa edilen güç reaktörlerinin temelini oluşturan nükleer fisyon reaksiyonları ölçülebilir miktardaki kütleyi enerjiye dönüştürür. Bu nedenle nükleer güç fiziğine çalışmaya başlamak için uygun yer temel nükleer reaksiyonlardır. Tüketilen yakıt kütesine bağlı olarak bu reaksiyonlar ile üretilen enerjinin büyüklüğünü anlamak için kömür, petrol veya doğal gaz gibi fosil yakıtlarla üretilen enerjiyi nükleer reaktörlerde üretilen enerjiyle kıyaslamak öğretici olacaktır. Kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan bu enerji kaynaklarının aksine tüketilen yakıt kütesine göre üretilen enerjiler arasında çok farklı oranların olması ve üretilen yan ürün miktarındaki derin farklılıklar, nükleer enerjinin anlaşılmasına yardımcı olur.

Kömür, elektrik üretiminde kullanılan en yaygın fosil yakıttır. Kömürün yanması ağırlıklı olarak $C + O_2 \rightarrow CO_2$ kimyasal reaksiyonundan kaynaklanır. Buna karşılık, nükleer güç reaktörlerinde enerji üretimi esas olarak Nötron + $^{235}U \rightarrow$ Fisyon nükleer reaksiyonuna dayanır. Kimyasal ve nükleer reaksiyonlarda açığa çıkan enerji elektronvolt ya da (eV) cinsinden ölçülür ve reaksiyonlar arasındaki büyük farkın belirgin hâle geldiği yer burasıdır. Her bir karbon atomunun yanmasına karşılık 4 eV'luk enerji açığa çıkarken her uranyum atomunun fisyon yapması sonucu yaklaşık olarak 200 MeV büyüklüğünde enerji açığa çıkar. Bu nedenle uranyum çekirdeğinin nükleer fisyonu sonucu açığa çıkan enerji karbon atomunun yanması sonucu açığa çıkan enerjinin kabaca 50 milyon katıdır.

Karşılaştırmak için her biri 1000 megawatt (1000 MW(e)) elektrik üreten ve yakıt olarak kömürü ve uranyum fisyonunu kullanan iki büyük elektrik üretim sant-



ŞEKİL 1.9. İki radyonüklidin ardışık bozunumu.

Diğer taraftan, $\lambda_A \gg \lambda_B$ olması durumunda yani A izotopunun yarı ömrü B 'nin yarı ömründen çok kısa ise $\exp(-\lambda_A t)$ ifadesi $\exp(-\lambda_B t)$ ifadesine göre çok daha hızlı azalır. A izotopunun birkaç yarı ömürlük zamanından sonra A izotopunun tükeneceğini kabul edebiliriz. Bu durum dikkate alındığında Eşitlik (1.48), $N_B(t) \approx N_A(0) \exp(-\lambda_B t)$ eşitliğine indirgenir. $\lambda_A \cong \lambda_B$ olması durumunda bu yaklaşımlardan hiçbiri geçerli değildir.

Kaynaklar

- Bodansky, David, *Nuclear Energy: Principles, Procedures, and Prospects*, Springer, 2004.
- Cember, H., *Introduction to Health Physics*, 3rd ed., McGraw-Hill, NY, 1996.
- Duderstadt, James J., and Louis J. Hamilton, *Nuclear Reactor Analysis*, Wiley, NY, 1976.
- Glasstone, Samuel, and Alexander Sesonske, *Nuclear Reactor Engineering*, 3rd ed., Van Nostrand-Reinhold, NY, 1981.
- Knief, Ronald A., *Nuclear Energy Technology: Theory and Practice of Commercial Nuclear Power*, McGraw-Hill, NY, 1981.
- Lamarsh, John R., *Introduction to Nuclear Reactor Theory*, Addison-Wesley, Reading, MA, 1972.
- Lamarsh, John, and Anthony J. Baratta, *Introduction to Nuclear Engineering*, 3rd ed., Prentice-Hall, Englewood, NJ, 2001.

24 Nükleer Reaktör Fiziğinin Temelleri

Stacey, Weston M., *Nuclear Reactor Physics*, Wiley, NY, 2001.

Williams, W. S. C., *Nuclear and Particle Physics*, Oxford University Press, USA, NY, 1991.

Wong, Samuel M., *Introductory Nuclear Physics*, 2nd ed., Wiley, NY, 1999. <http://www.webelements.com/webelements/scholar/>

Problemler

- 1.1 Nükleer reaktörlerin kalbinde sıklıkla görülen aşağıdaki izotopların kimyasal sembolü ve adı nedir?

a. $^{90}_{38}?$ b. $^{91}_{40}?$ c. $^{137}_{55}?$ d. $^{157}_{64}?$ e. $^{178}_{72}?$ f. $^{137}_{93}?$ g. $^{241}_{95}?$

- 1.2 Kararsız $^{27}_{13}\text{Al}$ çekirdeğinin pek çok olası bozunma şekli mevcuttur. Aşağıda verilen reaksiyonları tamamlayın?

$$^{27}_{13}\text{Al} \rightarrow ? + {}^1_0\text{n}, \quad ^{27}_{13}\text{Al} \rightarrow ? + {}^1_1\text{p}, \quad ^{27}_{13}\text{Al} \rightarrow ? + {}^2_1\text{H}, \quad ^{27}_{13}\text{Al} \rightarrow ? + {}^4_2\text{He}$$

- 1.3 Aşağıda verilen reaksiyonları tamamlayın?

$${}^9_? \text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow ? + {}^1_1\text{H} \quad , \quad {}^{60}_{?} \text{Co} \rightarrow ? + {}^0_{-1}\text{e} \quad ,$$

$${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow ? + {}^4_2\text{He} \quad , \quad {}^{10}_5\text{B} + {}^4_2\text{He} \rightarrow ? + {}^1_1\text{H}$$

- 1.4 Bir nükleer reaksiyonda gelen radyasyon,

- a. Alfa parçacığı,
- b. proton,
- c. nötron

ise $^{60}_{28}\text{Ni}$ bileşik çekirdeğini oluşturmak için hedef izotop olarak ne kullanılmalıdır?

- 1.5 Bir fisyon nötronunun ortalama kinetik enerjisi 2 MeV'dir. Kinetik enerji $E_{top.} - m_0c^2$ ile tanımlandığına göre, Eşitlik (1.9) yerine Eşitlik (1.12)'yi kullanırsak kinetik enerjide ortaya çıkan hatanın yüzdesi ne olur?

- 1.6 Aşağıda verilen nükleer ve kimyasal reaksiyonları düşünün:

- a. ^{235}U çekirdeği yavaş nötronla bombardıman edilmesi sonucu fisyonu uğrar. Fisyon enerjisi 200 MeV ise enerjiye dönüştürülen reaktant kütlelerinin oranı yaklaşık olarak nedir?
- b. Karbon-12 atomunun Oksijen-16 molekülü ile çarpışarak yanması sonucunda karbondioksit molekülü oluşur. Bu reaksiyon sonucunda açığa çıkan enerji 4 eV olduğuna göre enerjiye dönüştürülen reaktant kütlelerinin oranı yaklaşık olarak nedir?