Perhitungan Waktu Paruh Berbagai Isotop Inti pada Peluruhan Alfa dengan Metoda Matriks Transfer

Fiki Taufik Akbar1,a), Triati Dewi2,b), Dwi Irwanto3,c) dan Syeilendra Pramuditya3,d)

1Laboratorium Fisika Teoretik,

Kelompok Keilmuan Fisika Teoretik Energi Tinggi dan Instrumentasi,

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,

Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

2Laboratorium Fisika Bumi,

Kelompok Keilmuan Fisika Bumi dan Sistem Kompleks,

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,

Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

3Laboratorium Fisika Nuklir,

Kelompok Keilmuan Fisika Nuklir dan Biofisika,

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,

Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

a) ftakbar@fi.itb.ac.id (corresponding author)b) hmahardi@fi.itb.ac.id

c) dirwanto@fi.itb.ac.id

d) syeilendra@fi.itb.ac.id

**Abstrak**

Suatu inti atom yang tidak stabil akan segera meluruh untuk mencapai kestabilan. Proses peluruhan ini dikarakterisasi oleh laju peluruhan yang berkaitan dengan waktu paruh dari suatu inti. Terdapat tiga buah peluruhan radioaktif yang dikenal, yaitu peluruhan alfa, peluruhan beta dan peluruhan gamma. Peuluruhan alfa terjadi ketika partikel alpha (4He2) dilepaskan dari suatu inti dengan “menembus” potensial Coulomb berdasarkan efek terobosan. Pada makalah ini, kami akan menganalisa karakteristik dari inti yang melakukan peluruhan alfa dengan menggunakan metoda transfer matriks.

Kata-kata kunci: Peluruhan alfa, metoda transfer matriks, waktu paruh

# Pendahuluan

Model potensial untuk peluruhan alfa terlihat seperti gambar dibawah. Untuk daerah , dimana  merupakan radius inti, partikel alfa dipengaruhi oleh potensial inti yang didekati dengan potensial bernilai konstan. Setelah melalui radius inti (), partikel alfa dipengaruhi oleh potensial Coulomb yang muncul akibat tolakan dari inti anak. Karena partikel alfa terikat pada inti, maka energi total partikel alfa itu lebih kecil daripada tinggi potensial Coulomb-nya. Meskipun secara klasik, partikel alfa tidak akan bisa menembus penghalang tersebut, namun teori kuantum membolehkan partikel alfa menembus penghalang tersebut. Peristiwa ini dikenal sebagai efek terobosan, [1,2].



Gambar 1. Model potensial peluruhan alfa

Pada makalah ini, kami melakukan perhitungan waktu paruh bagi beberapa inti yang melakukan peluruhan alfa dengan metoda matriks transfer. Metoda ini menyederhanakan model potensial pada peluruhan alfa dengan mendekati potensialnya menjadi kumpulan potensial-potensial yang nilainya konstan yang kita bisa cari solusi eksaknya. Model penyederhanaannya dapat dilihat pada gambar di bawah ini,



Gambar 2. Pendekatan model potensial peluruhan alfa dengan kumpulan potensial konstan

Koefisien gelombang transmisi untuk potensial konstan dapat ditentukan secara eksak. Matriks yang menkaitkan koefisien gelombang datang dengan koefisien gelombang transmisi disebut sebagai matriks transfer. Dengan menghitung matriks transfer totalnya, kami dapat menentukan probabilitas transmitasi dan akhirnya dapat menentukan waktu paruh untuk suatu inti.

# Peluruhan alfa dengan Matriks Transfer

## Matriks Transfer untuk Barrier Satu Dimensi

Misalkan suatu partikel dengan energi  bergerak dari kiri ke kanan dengan melewati suatu potensial step dari *a = x1* sampai *b = xn* dengan potensial konstan *V1,...,Vn+1*, dimana *V1* berada di sebelah kiri *x1* dan *Vn+1* berada di sebelah kanan *xn*.



Gambar 3. Potensial barrier satu dimensi

Fungsi gelombang ke-*j* diberikan oleh

 (1)

dan fungsi gelombang ke *j +1* diberikan oleh

 (2)

Fungsi gelombang harus memenuhi syarat kontinuitas di bidang batas. Pada bidang batas di *x = xj*, syarat kontinuitas adalah

 (3)

dan

 (4)

sehingga didapatkan hubungan

 (5)

dan

 (6)

Persamaan (5) dan (6) dapat dinyatakan ke dalam bentuk matriks yang mengkaitkan koefisien fungsi gelombang ke *j* dan fungsi gelombang ke *j+1*,

 (7)

Berdasarkan persamaan (7), kita dapat menentukan matriks transfernya,

 (8)

Dengan hubungan rekursif pada persamaan (8), kita dapat menentukan matriks transfer totalnya,

 (9)

di mana

 (10)

dan

 (11)

Misalkan matriks TT memilki bentuk

 (12)

maka persamaan (9) dapat dituliskan ke dalam bentuk,

 (13)

Karena tidak ada gelombang yang datang dari arah kanan, maka *Bj+1* = 0. Maka kita bisa dapatkan ekspresi untuk reflektansi dan transmitasi,

 (14)

## Waktu Paruh untuk Inti yang Meluruh dengan Peluruhan Alfa

Partikel alfa yang terjebak dalam inti akan terus “menumbuk” barrier dengan frekuensi rata-rata *v/2a*, dengan *v* adalah laju rata-rata partikel alfa dan *a* adalah radius inti. Laju rata-rata partikel alfa dapat didekati dengan hubungan non-relativistik, . Karena peluang partikel alfa keluar dari inti adalah *T* (transmitasi), maka waktu hidup rata-rata dari inti adalah

 (15)

dan waktu paruhnya adalah

 (16)

# Hasil perhitungan dan perbandingan dengan data referensi

Perhitungan waktu paruh untuk berbagai macam inti dilakukan secara numerik dengan menggunakan software Mathematica 9.0. Data hasil perhitungan waktu paruh untuk berbagai isotop diberikan pada tabel berikut.

Tabel 1. Hasil perhitungan numerik dengan metoda matriks transfer

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Inti** | **Z** | **A** | **E (MeV)** | **Transmitasi** | **Waktu Paruh (tahun)** |
| 1 | U-238 | 92 | 238 | 4.196 | 6.56558E-39 | 4751199655 |
| 2 | U-236 | 92 | 236 | 4.494 | 1.87732E-36 | 16010950.48 |
| 3 | U-234 | 92 | 234 | 4.776 | 2.33198E-34 | 124676.0012 |
| 4 | U-232 | 92 | 232 | 5.32 | 8.758E-31 | 31.36440595 |
| 5 | U-230 | 92 | 230 | 5.8887 | 1.2771E-27 | 0.020385039 |
| 6 | U-228 | 92 | 228 | 6.681 | 6.20717E-24 | 3.92614E-06 |
| 7 | U-226 | 92 | 226 | 7.56 | 1.3671E-20 | 1.67088E-09 |
| 8 | Th-232 | 90 | 232 | 4.01 | 1.75226E-39 | 18056220390 |
| 9 | Th-230 | 90 | 230 | 4.6876 | 5.91636E-34 | 49319.09166 |
| 10 | Th-228 | 90 | 228 | 5.4233 | 3.20613E-29 | 0.843660035 |
| 11 | Th-226 | 90 | 226 | 6.3375 | 1.38347E-24 | 1.80333E-05 |
| 12 | Ra-226 | 88 | 226 | 4.784 | 3.15078E-32 | 911.3634922 |
| 13 | Ra-224 | 88 | 224 | 5.685 | 7.40402E-27 | 0.003547195 |
| 14 | Ra-222 | 88 | 222 | 6.556 | 7.99623E-23 | 3.04941E-07 |
| 15 | Ra-220 | 88 | 220 | 7.45 | 1.68385E-19 | 1.35434E-10 |
| 16 | Pu-240 | 94 | 240 | 5.1681 | 1.28662E-32 | 2190.73978 |
| 17 | Pu-238 | 94 | 238 | 5.4992 | 1.34119E-30 | 20.31669785 |
| 18 | Pu-236 | 94 | 236 | 5.7677 | 4.12922E-29 | 0.642544248 |
| 19 | Pu-234 | 94 | 234 | 6.2 | 6.58337E-27 | 0.003876114 |



Gambar 4. Hasil perhitungan dengan menggunakan metoda matriks transfer

Data referensi hasil eksperimen untuk waktu paruh berbagai isotop diatas dan tingkat kesalahan relatif perhitungan dengan metoda matriks transfer diberikan pada tabel berikut ini [3],

Tabel 2. Data referensi hasil eksperimen dan tingkat kesalahan relatif dari perhitungan

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Isotop** | **Z** | **Waktu paruh**  **(Tahun)** | **Energi**  **(MeV)** | **Kesalahan** |
|  |  | **relatif (%)** |
| U-238 | 92 | 4.47E+09 | 4.196 | 0.63 |
| U-236 | 92 | 2.34E+07 | 4.494 | 3.16 |
| U-234 | 92 | 2.46E+05 | 4.776 | 4.92 |
| U-232 | 92 | 7.00E+01 | 5.32 | 5.52 |
| U-230 | 92 | 0.056986301 | 5.8887 | 6.42 |
| U-228 | 92 | 1.73135E-05 | 6.681 | 7.73 |
| U-226 | 92 | 8.24455E-09 | 7.56 | 7.97 |
|  |  |  |  | |
| Ra-226 | 88 | 1599 | 4.784 | 2.90 |
| Ra-224 | 88 | 0.010027397 | 5.685 | 3.46 |
| Ra-222 | 88 | 1.14789E-06 | 6.556 | 5.59 |
| Ra-220 | 88 | 5.70776E-10 | 7.45 | 6.93 |
|  |  |  |  | |
| Pu-240 | 94 | 6.56E+03 | 5.1681 | 4.30 |
| Pu-238 | 94 | 87.7 | 5.4992 | 6.51 |
| Pu-236 | 94 | 2.87 | 5.7677 | 7.34 |
| Pu-234 | 94 | 0.024109589 | 6.2 | 7.63 |

Hasil perhitungan dengan metoda matriks transfer memberikan gambaran data yang cukup baik. Tingkat kesalahan relatif terhadap data eksperimen di bawah 10%. Peningkatan akurasi dari hasil perhitungan dapat dilakukan dengan melakukan pendekatan yang lebih baik pada nilai laju rata-rata partikel alfa pada inti, misalnya memasukan efek relativistik.

# Kesimpulan

Metoda matriks transfer memberikan alternatif metoda yang sederhana namun cukup akurat dalam melakukan proses perhitungan yang melibatkan efek terobosan, misalnya peluruhan alfa. Hasil perhitungan waktu paruh dengan metoda matriks transfer untuk berbagai isotop inti yang meluruh dengan peluruhan alfa memberikan hasil yang cukup baik. Tingkat kesalahan relatif dibandingkan dengan hasil eksperimen bernilai dibawah 10 %.

# Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini. Makalah ini didanai oleh Riset Inovasi Institut Teknologi Bandung 2015.

# Referensi

1. A. Arya, *Fundamentals of Nuclear Physics*. Allen & Bacon (1966)
2. D. Griffith, *Introduction to Quantum Mechanics*. Prentice Hall, New Jersey (1995)
3. D. R. Lide (ed.), *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, CRC Press, Florida (2005)