卒業論文発表会

1 月 27 日, 2010, 福井大学工学部物理工学科

原子核の半減期の経験式

物理工学科　川崎遼

はじめに

研究の目的

原子核の半減期を中性子と陽子の個数(N と Z) の関数として与えるような近似式を作ることを試みる。

動機

原子核の質量(結合エネルギー)を N と Z の数式として、液滴模型に基づく Bethe-Weizsacker の経験式がある。
同様のことが、半減期についてもできれば、議論の出発点となる最も粗い近似として多くの用途で役に立つであろう。

解析に用いるデータ

NUCLEAR WALLET CARDS-National Nuclear Date Center(USA)

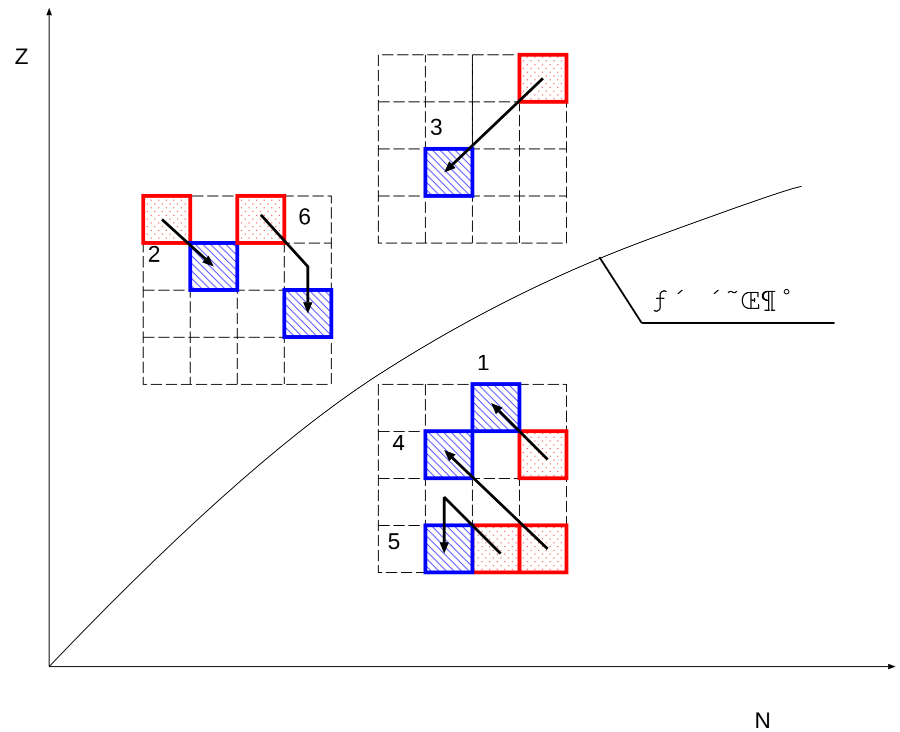
- 実験的に知られているすべての原子核の重要なデータ(スピンパリティ、半減期、質量など)をコンパクトにまとめたもの
- もととなる最新データファイルを本研究では解析する

データの内容

1	0	n	Q	1/2+	B-	100.00	0.0000	0.782	10.24 M 2		8.0713	0.0000		work05	6.14E+02
1	1	H	Q	1/2+			0.0000	0.000	STABLE	99.985% 1	7.2890	0.0000		941006	0.00E+00
2	1	H	Q	1+			0.0000	0.000	STABLE	0.015% 1	13.1357	0.0000		200309	0.00E+00
3	1	H	Q	1/2+	B-	100.00	0.0000	0.019	12.32 Y 2		14.9498	0.0000		200007	3.89E+08
4	1	H	Q	2-	N	100.00	0.0000	2.910	4.6 MEV 9		25.9015	0.1033		NUBASE	1.03E-22
5	1	H	W		N	100.00	0.0000	2.800	5.7 MEV 21		32.8924	0.1000		NUBASE	8.33E-23
6	1	H	Q	(2-)	N	100.00	0.0000	-3.000	1.6 MEV 4		41.8638	0.2649		200212	2.97E-22
7	1	H	W		2N?				29E-23 Y 7		49.1350	1.0050	S	03KO11	9.15E-15
3	2	HE	Q	1/2+			0.0000	0.000	STABLE	0.000137% 3	14.9312	0.0000		870312	0.00E+00
4	2	HE	Q	0+			0.0000	0.000	STABLE	99.999863% 3	2.4249	0.0000		199807	0.00E+00
5	2	HE	Q	3/2-	A	100.00	0.0000	0.890	0.60 MEV 2		11.3862	0.0500		840808	7.91E-22
5	2	HE	Q	3/2-	N	100.00	0.0000	0.890	0.60 MEV 2		11.3862	0.0500		840808	7.91E-22
6	2	HE	Q	0+	B-	100.00	0.0000	3.508	806.7 MS 15		17.5951	0.0008		200212	8.07E-01
7	2	HE	Q	(3/2)-	N		0.0000	0.440	150 KEV 20		26.1010	0.0167		200302	3.16E-21
8	2	HE	Q	0+	B-	100.00	0.0000	10.652	119.0 MS 15		31.5980	0.0069		199902	1.19E-01
8	2	HE	Q	0+	BN	16.00	0.0000	8.619	119.0 MS 15		31.5980	0.0069		199902	1.19E-01
9	2	HE	Q	(1/2-)	N	100.00	0.0000	1.150	65 KEV 37		40.9394	0.0294		199902	7.30E-21
10	2	HE	Q	0+	2N ?		0.0000	1.070	0.17 MEV 11		48.8092	0.0700		971209	2.79E-21
3	3	LI	W		P ?				unstable		28.6670	2.0000	S		0.00E+00
4	3	LI	Q	2-	P	100.00	0.0000	3.100	6.03 MEV		25.3232	0.2121		980707	7.87E-23
5	3	LI	Q	3/2-	A	100.00	0.0000	1.970	1.5 MEV AP		11.6789	0.0500		840808	3.16E-22
5	3	LI	Q	3/2-	P	100.00	0.0000	1.970	1.5 MEV AP		11.6789	0.0500		840808	3.16E-22
6	3	LI	Q	1+			0.0000	0.000	STABLE	7.59% 4	14.0868	0.0000		200212	0.00E+00
7	3	LI	Q	3/2-			0.0000	0.000	STABLE	92.41% 4	14.9081	0.0001		200302	0.00E+00

原子核の崩壊モード

1. β^- 崩壊
2. ϵ(electron capture),ϵ+β^+ または β^+ 崩壊
3. 中性子放出,陽子放出,α 崩壊
4. 2 重 β^- 崩壊,3 重 α 崩壊,
5. β-n, β-p, β-α：β^- 崩壊の後
   中性子放出,陽子放出,α 崩壊
6. ϵp, $\epsilon\alpha$, ϵSF：ϵ または β^+ 崩壊後
   陽子放出,α 崩壊,SF
7. IT： isomeric transition(異性体転移),
   γ 崩壊
8. SF：spontaneous fission(自発核分裂)



• 図：原子核崩壊のパターン

β安定曲線

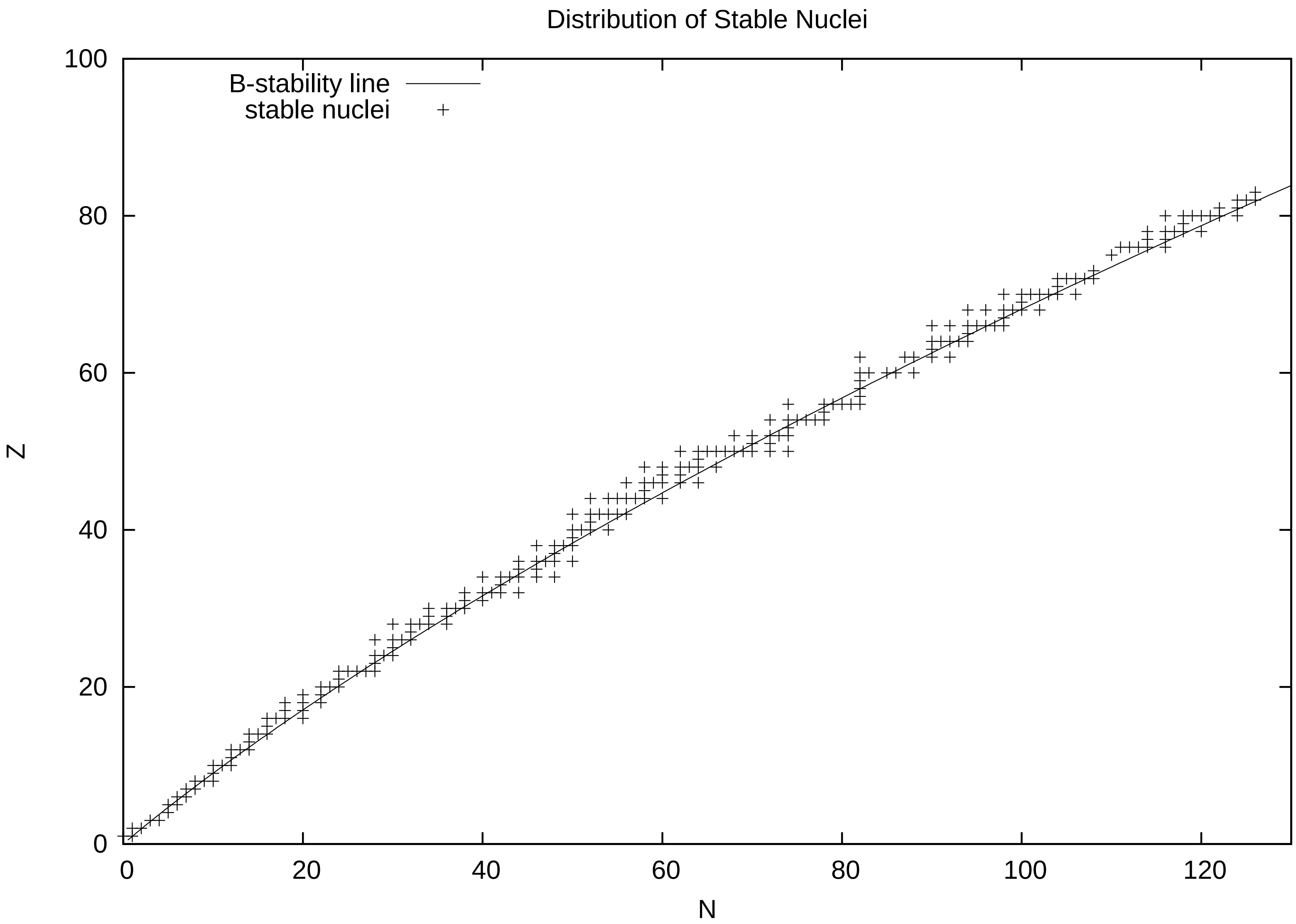
β崩壊をしない核種の中性子数N_βと陽子数Z_βの組み合わせは以下の式で求めることができる

$$D = \frac{A^{\frac{5}{3}}}{A^{\frac{2}{3}} + \frac{4a_{sym}}{ac}}$$

$$A = N + Z, \quad D = N_\beta + Z_\beta$$

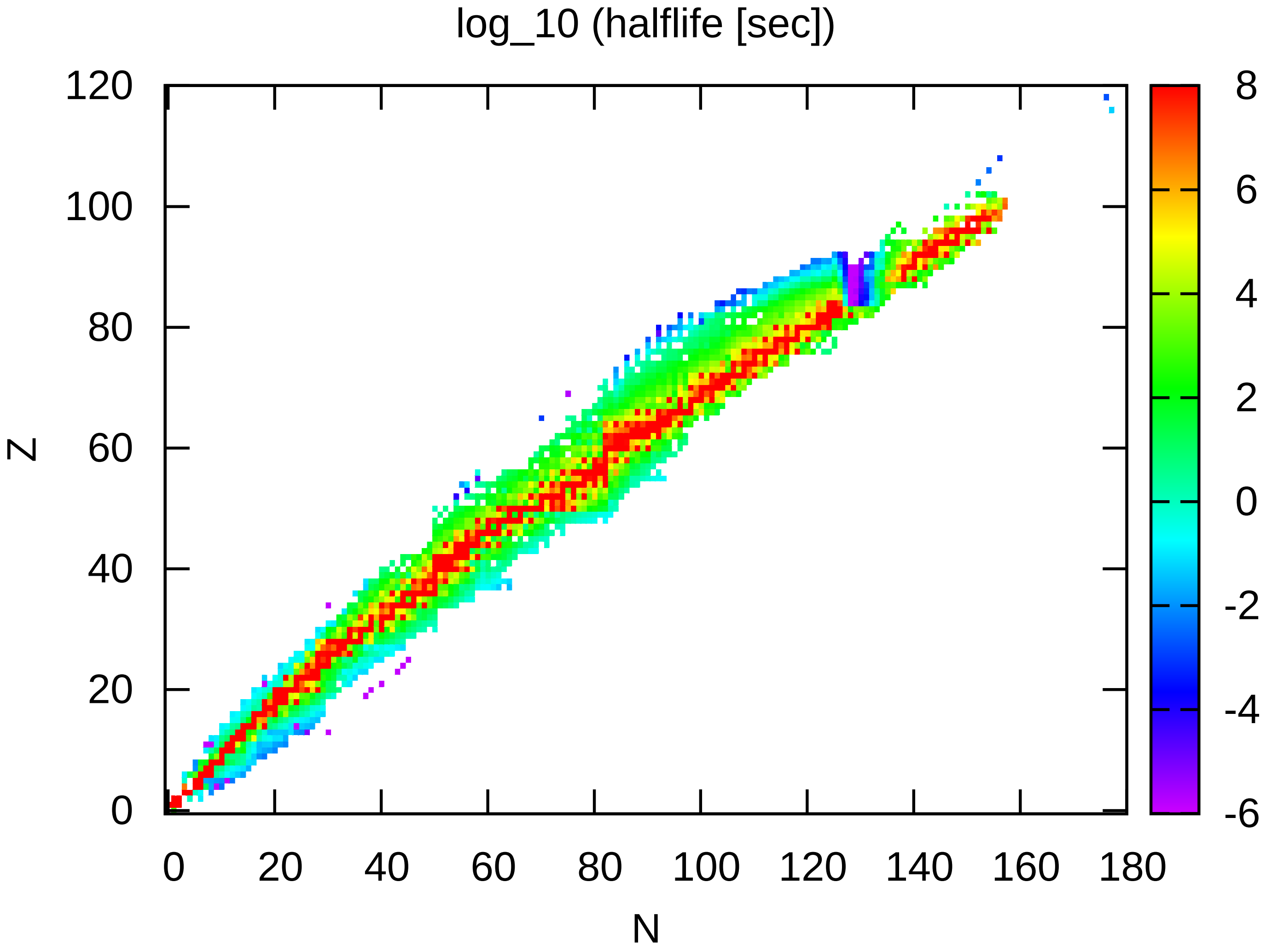
このようにして決められたN_βとZ_βを通る曲線をβ安定曲線と言う

安定核の分布



Distribution of Stable Nuclei
B-stability line
stable nuclei
Z
N
0
20
40
60
80
100
120

核分布図

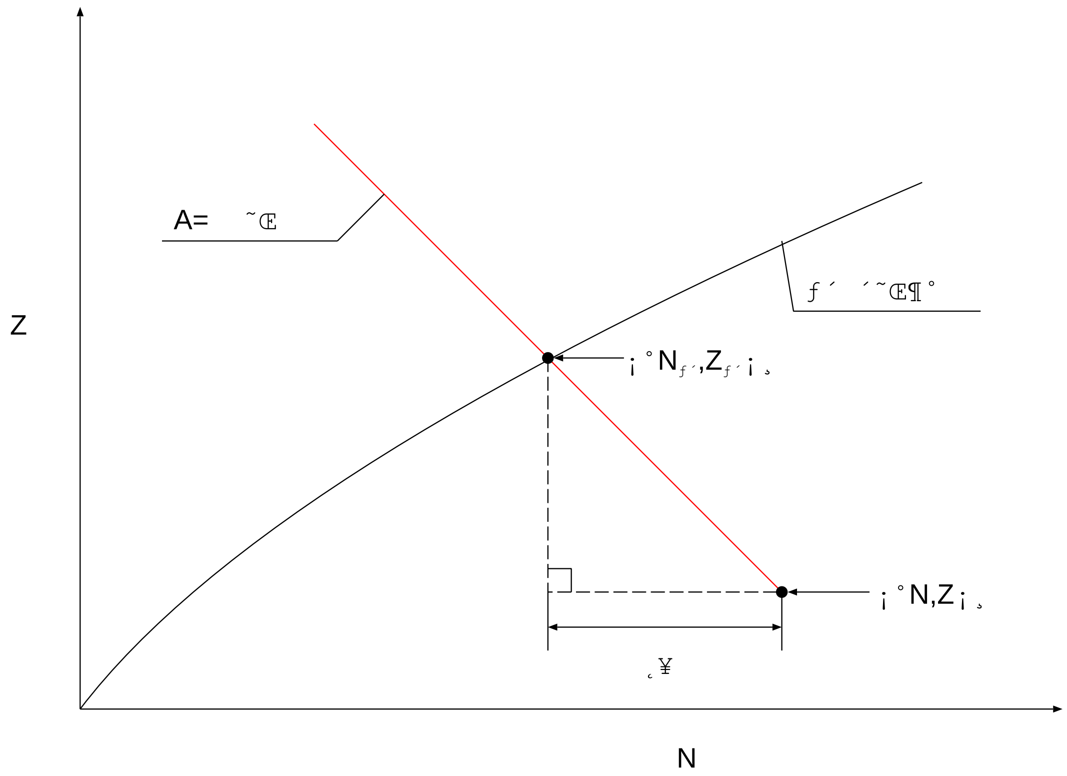

log_10 (halflife [sec])
Z
N
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
8
6
4
2
0
-2
-4
-6

β安定曲線からの距離

各座標をN,Zと取った場合ちょうど45度のところで、質量数の同じ核が並ぶ。

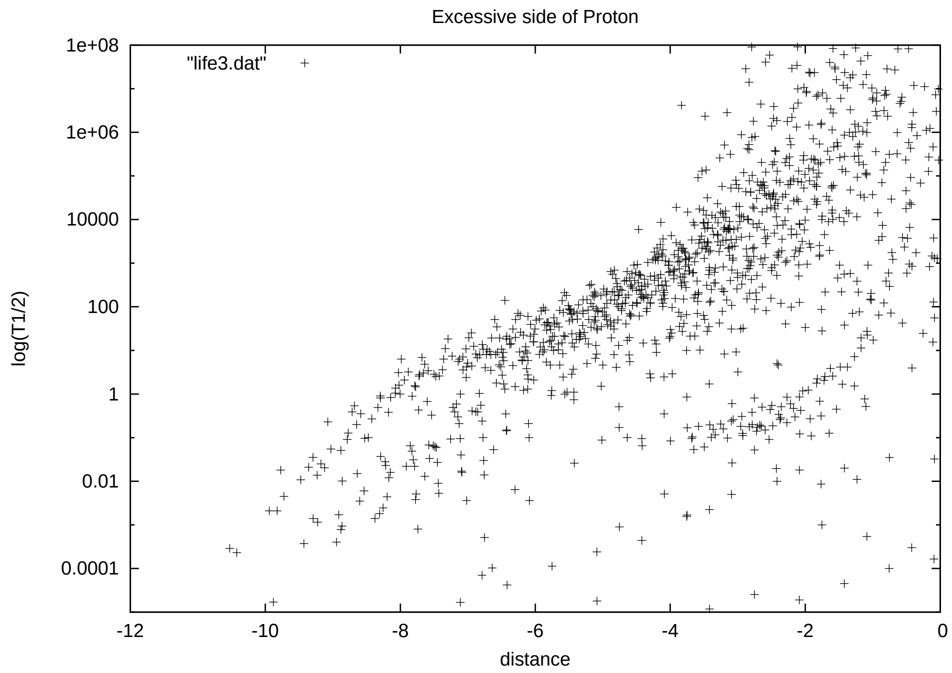
つまりβ安定曲線上の中性子数N_βとNとの差がβ安定曲線からの距離となる。

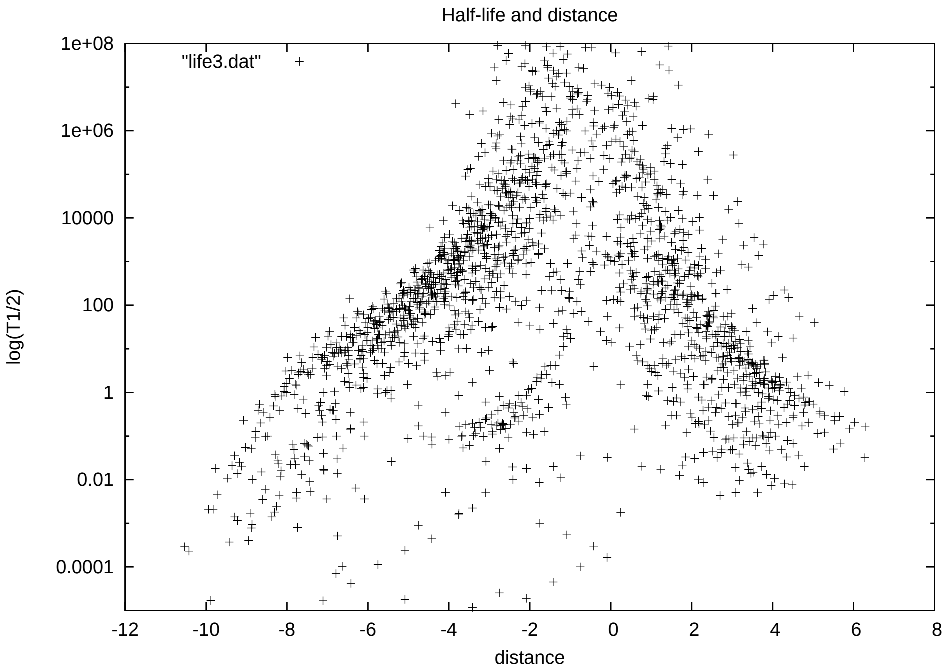
β安定曲線からの距離＝N-N_β

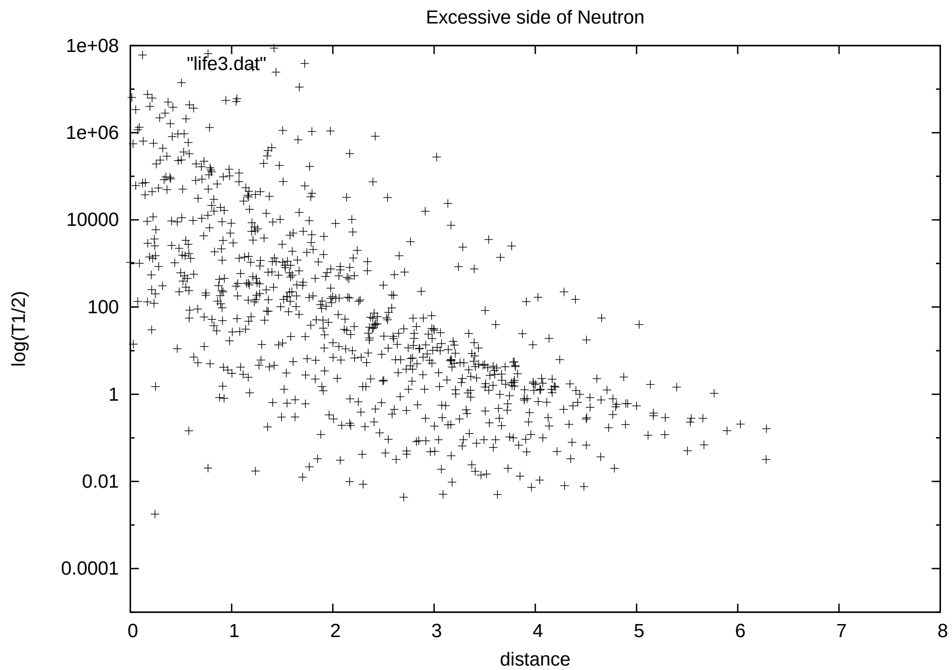


・図：β安定曲線からの距離

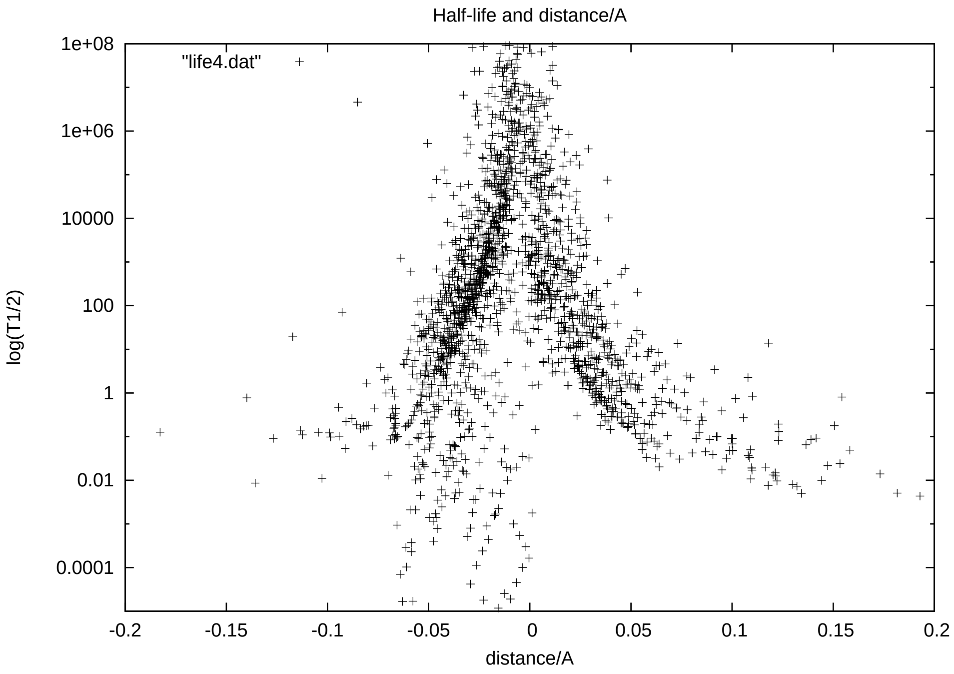
半減期とβ安定曲線からの距離

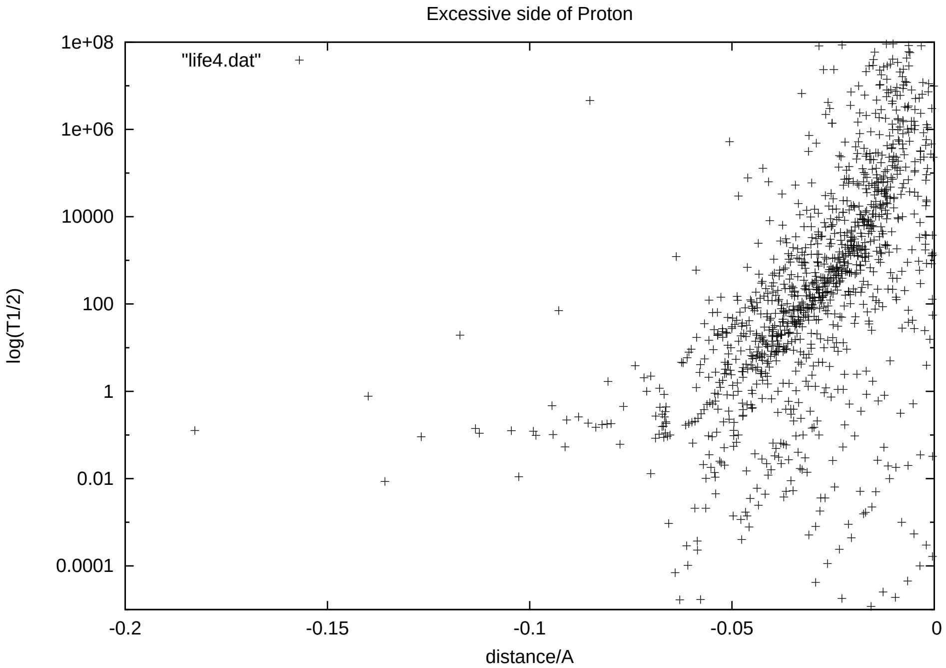


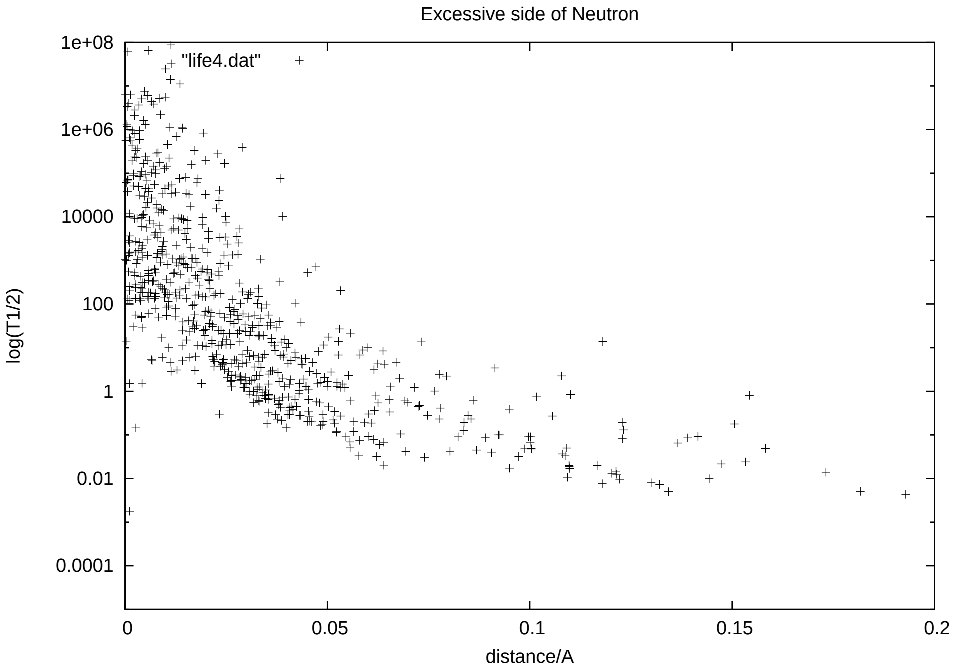




半減期と(β安定曲線からの距離)/A







まとめ

1. 原子核の質量と半減期の評価値をNUCLEAR WALLET CARDSのデータファイルを入手し、これを解釈して読み込むperlスクリプトを作成した。

2. 半減期をN,Z平面上に図示し、その傾向を論じた。

   - β安定線からの距離への依存性の質量数による違い
   - α崩壊とβ崩壊を別個に扱う必要性

3. 半減期をβ安定線からの距離の関数としてプロットするより距離/質量数の関数としてプロットする方がデータのばらつきを減らすことができる。

卒業論文締切りまでの目標

1. 横軸を(β安定線からの距離)/A^{α}としたとき、フィッティングを最も良くするαの値の決定

2. αの値に理論的根拠を与える

   - 液滴模型のN-Z依存項に結びつけたい

3. 最小２乗法の結果として半減期の最良の経験式を決める