

うちゅうせん ほうしゃせん
宇宙線と放射線

愛知教育大学理科教育講座 児 玉 康 一

講師紹介:愛知教育大学自然科学系物理領域教授(理学博士)。専門は素粒子・原子核物理学の実験的研究。エマルジョンという特殊な写真フィルムに様々な素粒子反応を記録し、それらを顕微鏡下で観測している。現在は主に、研究に必要なソフトウェアの開発を他の大学と共同で行っている。

地球上には、大きく分けて、大地を起源とする放射性物質からの放射線と、宇宙を飛び交っている放射線（宇宙線）を起源とする放射線の2種類が、いつも飛び交っています。これら自然放射線の持つ基本的な性質についてのお話をします。放射線そのものは、原子核程度の大きさ（ 10^{-15}m ）の非常に小さいものであり、また、高速で飛び交っているので、それらを直接目で見ることができませんが、それらが空気などの物質を通過する際にひきおこす現象を利用して、放射線をとらえる（検出する）ことができます。ドライアイスを使った霧箱はそのひとつです。霧箱の中を放射線が通過すると、その後に飛行機雲ができ、放射線の通った跡を目で見ることが出来ます。お話の後で、このドライアイス霧箱を使って身の回りを飛び交っている自然放射線を観察していただきます。

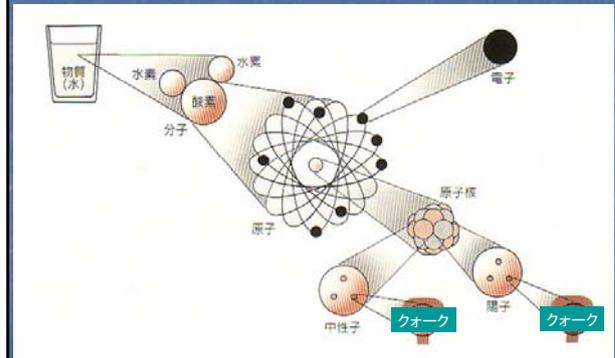
宇宙線と放射線

- 霧箱で見えているもの
 - 宇宙起源の放射線(宇宙線)
 - 地球起源の放射性物質からの放射線

科学ものづくりフェスタ
2011-11-05
児玉康一

1

物質の階層



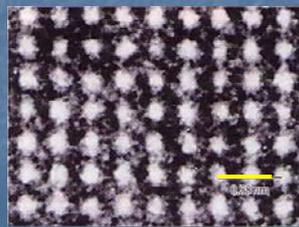
2

透過型電子顕微鏡写真



ショウジョウバエの頭
黄色い線の長さは0.5ミリ

規則正しく並んでいる
金結晶中の原子
黄色い線の長さは0.0000005ミリ



3

原子の構造

- 大きさ ~ $10^{-10}m$
- 中心に原子核 $10^{-15}m$
 - 原子核は陽子と中性子の複合体
 - 原子の質量のほとんどを担う
 - 陽子が+電荷を持つので原子核も+電荷
- 周りに電子軌道(殻)
 - 原子核の+電荷を打消すだけの電子が存在
 - 陽子の原子の化学的性質は主に最外殻電子が決める
 - 陽子数が同じ原子は化学的性質が似る
 - 同位体=陽子数が同じで中性子数が異なる

陽子の持つ+電荷同士の反発力
よりはるかに強い力(核力)で
結合している

4

原子核の存在証明

- 金属箔に α 線をぶつけると大きく曲がる事がある。
 - 例えば銀の場合、 90° 以上曲がるのは1/8000程度
 - これを目で見て数えた!
 - +電荷が原子の中心に集中してなければ説明できない。

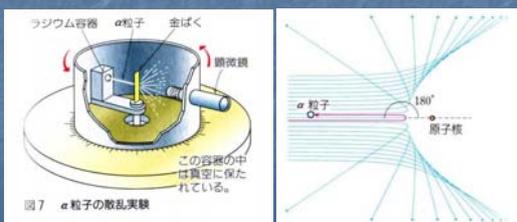


図7 α 粒子の散乱実験

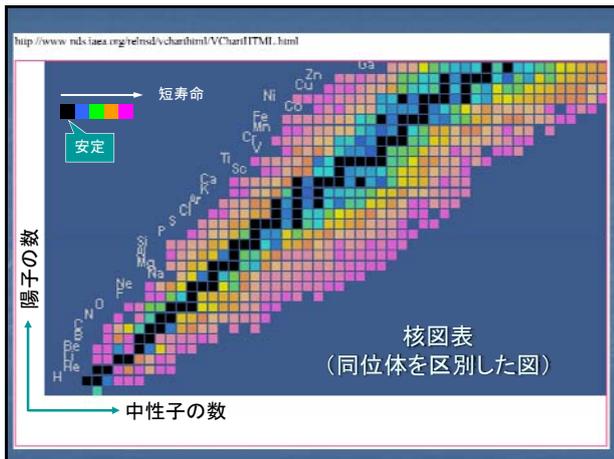
5

周期表

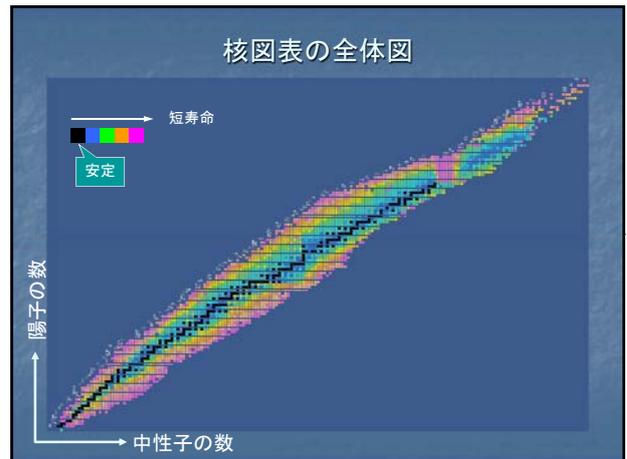
主に化学的な性質で分類(同位体の区別なし)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
H	He																
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
Fr	Ra	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg								
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			

6



7



8

不安定な原子核の発見

- 放射線の発見(ベクレル, 1896年)
 - ピッチブレンド(ウラン鉱石)と写真フィルムを同じ机の引出しに入れていたら、写真フィルムが感光して使えなくなっていた。

ラジウムのかけらが放射線に対する感度を高めた写真フィルム(エマルジョン)の表面に落ちて、そこから多くのアルファ線が飛び出している

9

不安定な原子核の寿命

次の Δt 秒間に崩壊してなくなる原子核の数

今存在している原子核の数

$$-\Delta N = N \times p \times \Delta t$$

次の Δt 秒間に崩壊する確率

半減期 T = 元の数の半になる時間
(注意) $2T$ では元の数の $1/2 \times 1/2 = 1/4$ になるだけ!

10

原子核は崩壊する時に放射線を出す

	正体	記号	電気量	出した後 Z A	電離	透過力
α 線	ヘリウム原子核	${}^4_2\text{He}$	+2e	2減 4減	強	弱
β 線	高速の電子	e^-	-1e	1増 不変	中	中
γ 線	波長の短い電磁波	γ	0	不変 不変	弱	強

中性子、ミュオン粒子、陽子など放射線は他にも多くある。

- 透過力(飛距離)
 - 通過する物質の密度(とZ/A)にほぼ逆比例する。
 - 5MeVの α 線は空気中で~36mm、水中で~40ミクロン飛ぶ
 - 1MeVの β 線は空気中で~4m 飛ぶ

11

原子核の分裂・融合で放出されるエネルギー

- 核子は集まると軽くなる
 - 原子核の重さ < 中にある核子の重さの合計より軽い。
 - 核子1個あたりと比べると、鉄(Fe)が一番軽くなる。

これだけ軽くなる

${}^{235}\text{U}$ より ${}^{92}\text{Kr} + {}^{141}\text{Ba}$ の方が軽い。その分が熱エネルギーになる。(E = mc²)

ウラン 235 の核分裂反応

12

単位

- ベクレル (Bq)
 - 放射放射性物質の量を表す。
 - 1秒間に崩壊する原子核の数 (崩壊/秒)。
 - 1Bq = 毎秒1個の原子核が崩壊する。
- グレイ (Gy)
 - 放射放射性物質が出す放射線のエネルギーを表す。
 - 1Gy = 1kgの物質に毎秒1ジュールのエネルギーが吸収される。
- シーベルト (Sv)
 - 1Sv = 1Gy x 「放射線荷重係数」
 - 放射線の種類により人体への影響が異なる事を補正する。

α線は20、
β・γ線は1、
中性子は5-20、
陽子は5

1 3

地球起源の放射性物質 (主なもの)

- ⁴⁰K (カリウム)
 - 半減期 1.3×10^9 年、β崩壊 (1.3MeV)
- トリウム系列
 - 系列の最初は、半減期 1.4×10^{10} 年の ²³²Th
- ウラン系列
 - 系列の最初は、半減期 4.5×10^9 年の ²³⁸U

地球の年齢
(~46億年 = 4.6×10^9 年)
と同じくらいなので
残っている

合計で
年間 ~2.01mSvの被曝

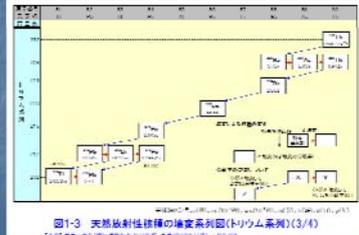


図1-3 天然放射性核種の崩壊系列図(トリウム系列)(3/4)

1 4

宇宙起源の放射線 (宇宙線)

- 宇宙空間をほぼ光速で飛び交っている陽子など
 - 大気トップで大気中の原子核と衝突、その生成物が地表に降り注ぐ
 - 地表での組成は、ミュー粒子：中性子：電子 ~ 1 : 0.3 : 0.2
 - 年間 ~ 0.39mSvの被曝
- 宇宙線の発見 (ヘス, 1912年)
 - 当時は岩石から出る放射線だけが知られていた。
 - 上空へあがるほど地表にある岩石から離れるので、放射線の強度は弱くなるだろうと予測したが、実際には、上空ほど強度が増え、1万mくらいで地表の10倍にもなった。
 - 上空(宇宙)からも放射線が来ている。

1 5

素粒子の生成 (エネルギーから物質への転換)



原子核の破片

50ミクロン

ここで
原子核と衝突

陽子が左側から
飛び込んで来る

多数の粒子が
新たに生成される
ほとんどは
パイ中間子

エマルシオンの顕微鏡写真
(放射線に対する感度を上げた銀塩写真)

200GeV/c のエネルギーを持つ陽子が
原子核と衝突して、
多数の粒子(主にパイ中間子)を生成する様子

1 6

素粒子の崩壊



ここで
パイ中間子が崩壊

(2) ミュー粒子が~600ミクロン飛ぶ。

(3) 電子が飛んで行く。

ここで
ミュー粒子が崩壊

(1) パイ中間子が飛んで来る。

パイ中間子がミュー粒子に崩壊し、
できたミュー粒子が電子に崩壊する様子

崩壊したところからは他にニュートリノも出ている。
(電荷を持たないのでエマルションには写っていない)

1 7



1 8

