

Fonto: <http://mylab.ike.tottori-u.ac.jp/~mijosxi/eo-/dokumentoj.html>

Kio estas neŭtrino?

ニュートリノ 中性微子

ĉe Japana Esperanto-Kongreso en Kameoka

Shigeaki Nagamachi

Prof. M. Koshiba ricevis Nobel-premion por la studo pri neŭtrino (小柴博士 ニュートリノの研究でノーベル賞)  
 Neŭtrinoj ekzistas tre multe en la universo tamen preskaŭ ne troviĝas (ニュートリノの観測は非常に難しい)

Meznombro de partikuloj en Universo

宇宙における平均粒子数

partikulo	粒子	signo	nombro en 1 cm <sup>3</sup>
fotono	光子 (光)	$\gamma$	400
neŭtrino	ニュートリノ	$\nu$	300
hidrogeno	水素	H	$10^{-7}$
heliumo	ヘリウム	He	$10^{-8}$

## Atomo 原子

Ĉio konsistas el atomoj: Demokritos (400 a.K.)

La tabelo de Mendeleev (1869)

La perioda tabelo   メンデレーフの周期律表

H: hidrogeno, O: oksigeno, H<sub>2</sub>O: akvo

Akvo konsistas el hidrogenoj kaj oksigeno

# Tabelo de Atomoj

## Perioda tabelo de Mendeleev

H											He
Li	Be					B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg					Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	...	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	...	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	...	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	...									

La periodeco montras:

Atomo havas iun strukturon

Elektrono 電子  $e^-$ : J.J. Thomson (1897)

Atomo konsistas el elektronoj kaj nukleo

E. Rutherford (1911)

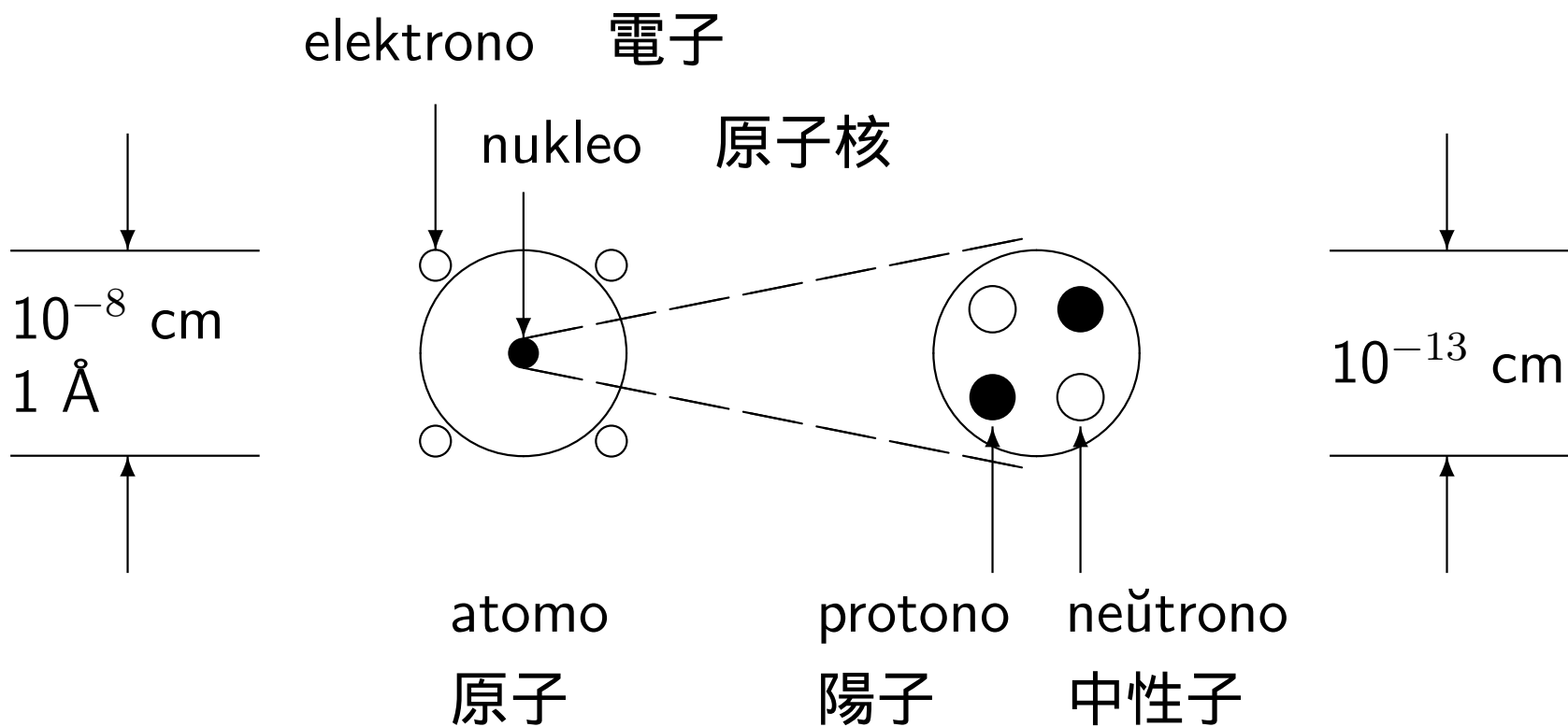
原子は電子と原子核よりなる

Protono 陽子  $p$ : Nukleo de hidrogeno

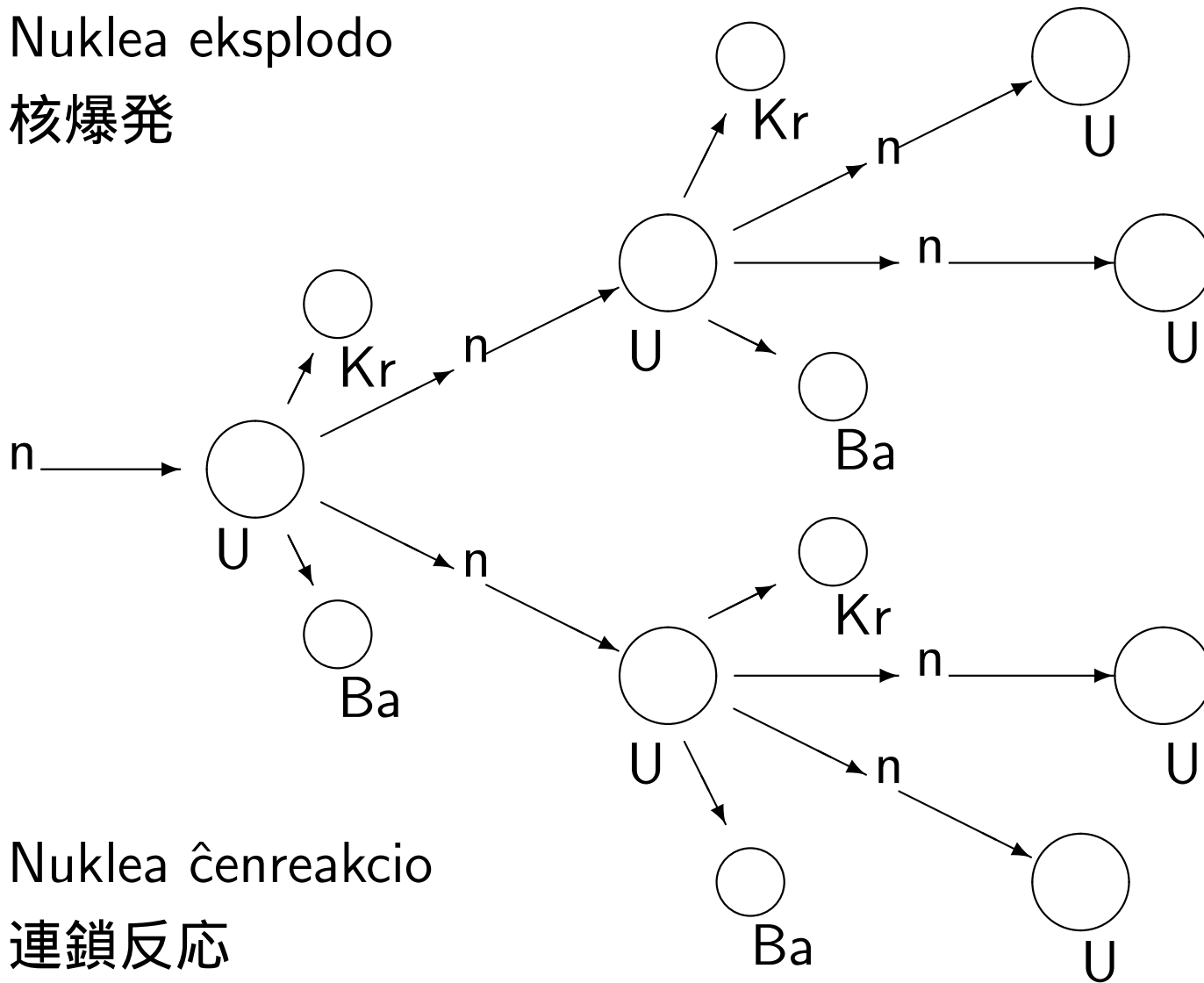
Neŭtrono 中性子  $n$ : J. Chadwick (1932)

Nukleo konsistas el protonoj kaj neŭtronoj

原子核は陽子と中性子からなる



Nuklea eksplodo  
核爆発



Nuklea ĉenreakcio  
連鎖反応

## Historio de moderna fiziko

X-radioj: W.C. Röntgen (1895) X 線の発見

Komenco de nova fiziko

Radioj: A.H. Becquerel (1896) 放射能の発見

Radioj konsistas el

$\alpha$ -radio,  $\beta$ -radio: E. Rutherford (1898)  $\alpha$ -線,  $\beta$ -線

kaj  $\gamma$ -radio: P. Vilaro (1900)  $\gamma$ -線

$\alpha$ -radio: nukleoj de Heliumo ヘリウムの原子核

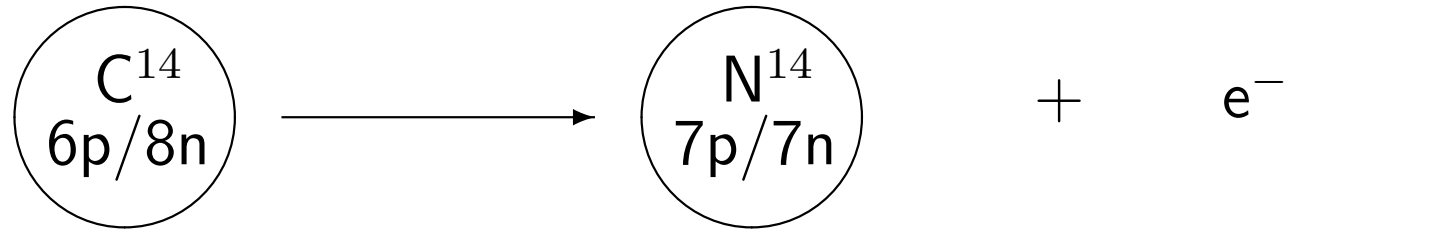
$\beta$ -radio: elektronoj 電子

$\gamma$ -radio: fotonoj 高エネルギーの光

$\beta$ -diseriĝo  $\beta$ -崩壊



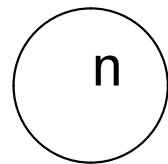
# $\beta$ -diseriĝo



karbono  
炭素

nitrogeno  
窒素

$\beta$ -radio



neŭtrono  
中性子

protono  
陽子

elektrono  
電子

## Stranga $\beta$ -diseriĝo    奇妙な $\beta$ -崩壊

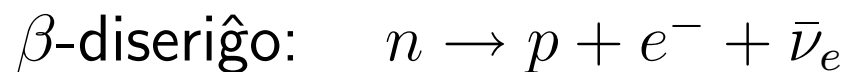
$\beta$ -diseriĝo malobeas la leĝon de konservado de energio,  
momentumo kaj angula momanto

エネルギー、運動量、角運動量の保存則を破っている

W. Pauli (1930) supozis ke nekonata partikulo kun  $1/2$   
spino eliras kun elektrono en  $\beta$ -diseriĝo

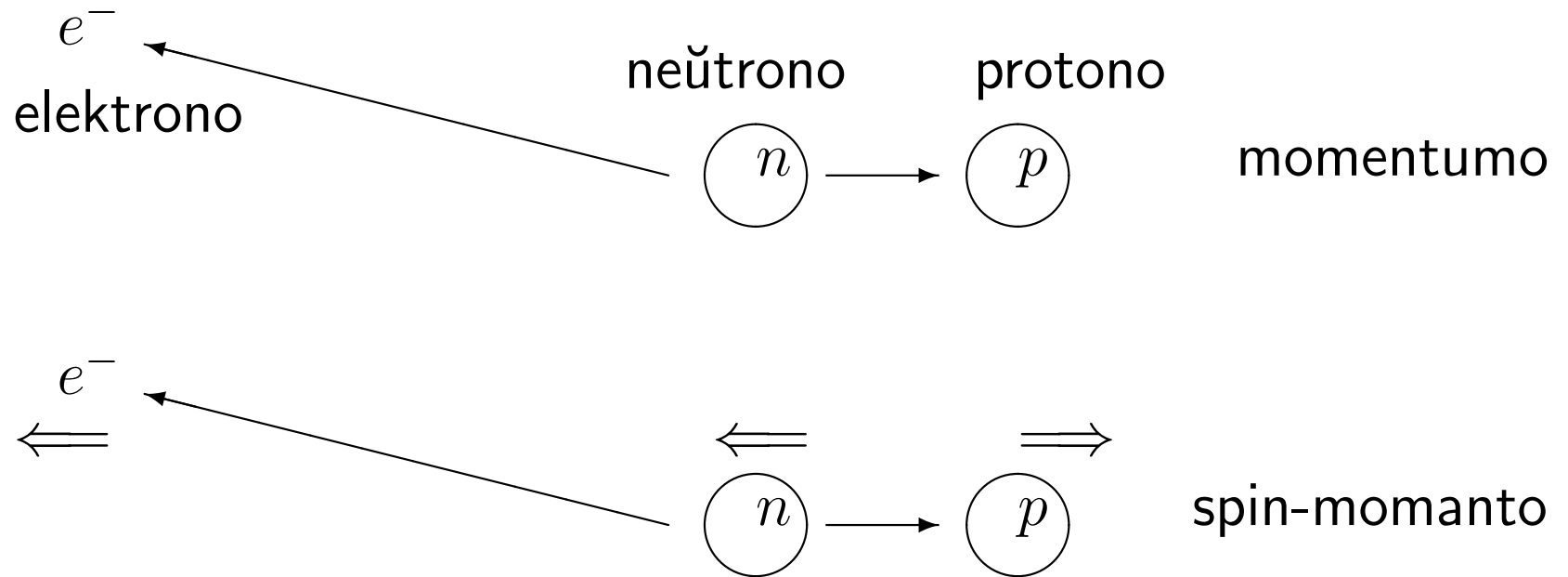
パウリ：未知の粒子の存在を仮定

E. Fermi (1934) nomis ĝin neŭtrino kaj kreis la teorion de



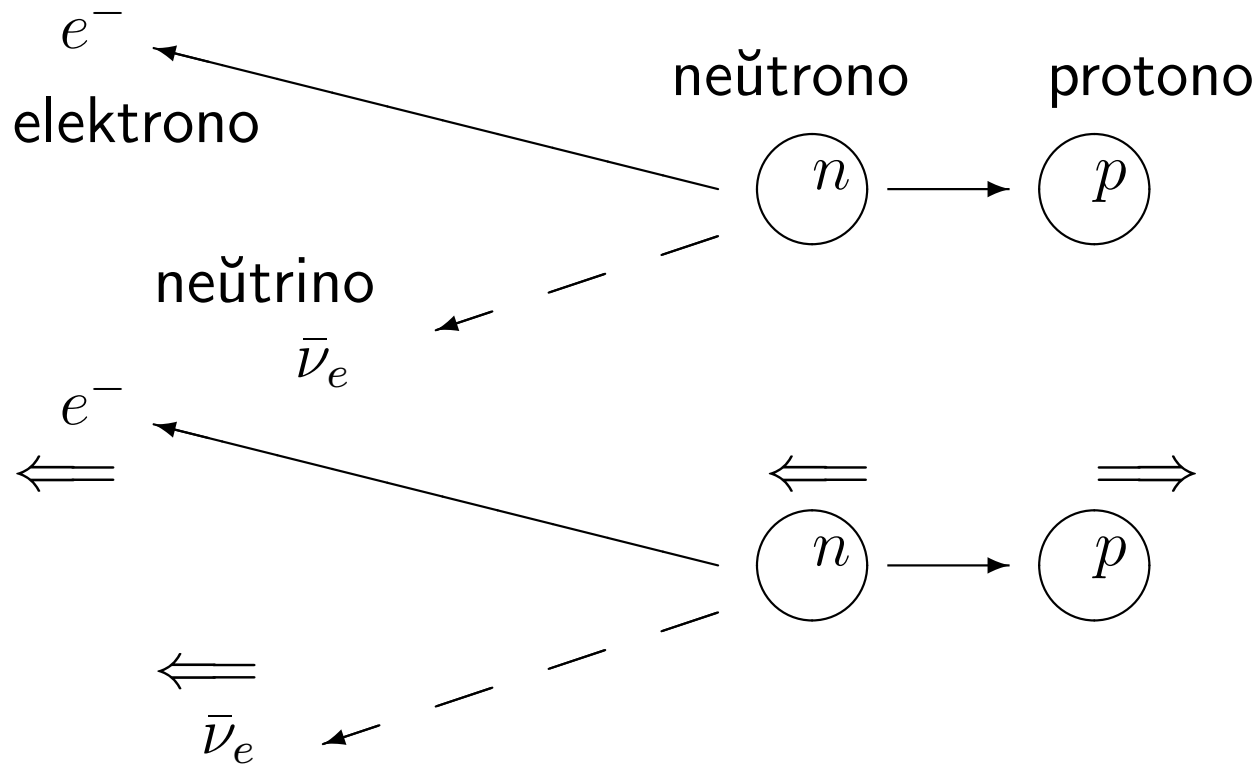
フェルミ：未知の粒子をニュートリノと名付け  $\beta$ -崩壊の  
理論を創始

## Kontraŭ Leĝo de Konservado



$$E = m_n c^2 - [m_p c^2 + m_e c^2] = 0.8 \text{ MeV} \neq \text{kineta energio de } e^- \text{ kaj } p$$

Nova partikulo neŭtrino (leĝo de konservado estas valida)



$$E = m_n c^2 - [m_p c^2 + m_e c^2] = \text{kineta energio de } p, e^- \text{ kaj } \bar{\nu}_e$$

F. Reines kaj C. Cowan (1956) eltrovis neŭtrinion

26 jaroj pasis de kiam W. Pauli antaŭsupozis neŭtrinion!

(eltrovi neŭtrion estas tre malfacile )

パウリの予言から26年経ってやっとニュートリノが発見された

## Kvar fortoj 4 つの力

1. Gravita forto 重力
2. Elektromagneta forto 電磁力
3. Forta forto 強い力
4. Malforta forto 弱い力

Malforta forto kaŭzas  $\beta$ -diseriĝon

弱い力が  $\beta$ -崩壊をもたらす

S. Weinberg kaj A. Salam unuigis elektromagnetan forton kaj malfortan forton (1968) 弱電磁統一理論

Ilia teorio postulas novajn partikulojn  $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z^0$  kaj  $H$   
新粒子  $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z^0$ ,  $H$  の予言

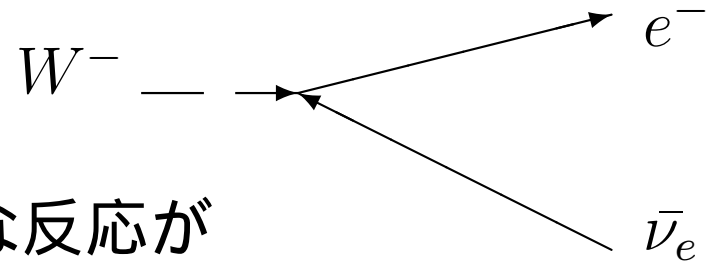
$W^+$ ,  $W^-$  kaj  $Z^0$  estis eltrovitaj de C. Rubbia en 1984

Malforta interago: (matematika esprimo)

弱い相互作用の数学表現

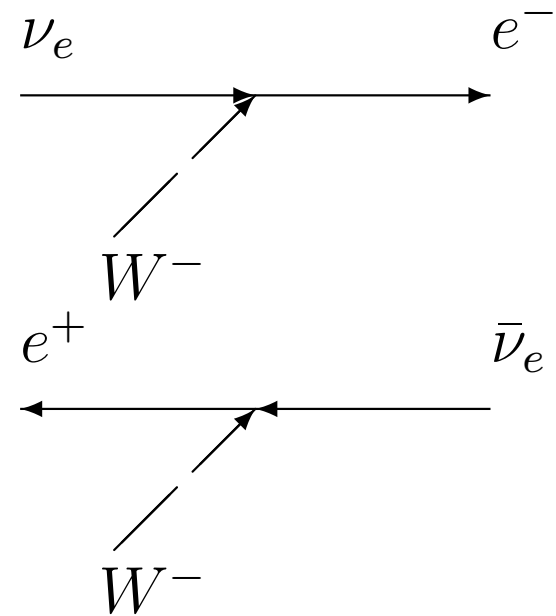
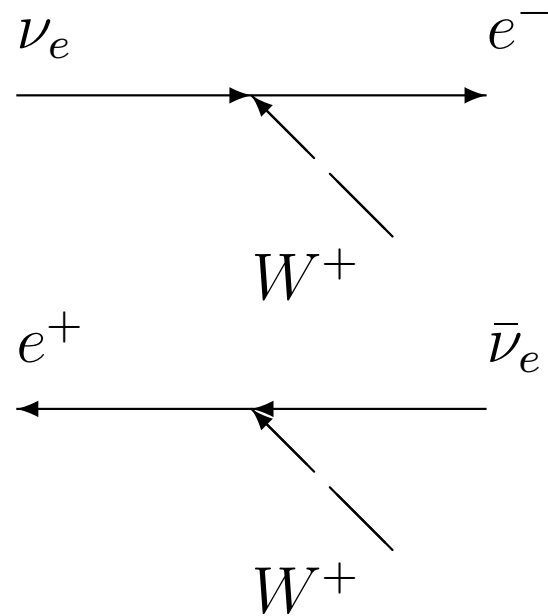
$$(\bar{\nu}_e, e^+) \begin{pmatrix} 0 & W^+ \\ W^- & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix} = \bar{\nu}_e W^+ e^- + e^+ W^- \nu_e$$

$e^+ W^- \nu_e$



pluraj procezoj いろいろな反応が

egalaj diagrmoj 同相な図形で表される



## Kvarko クォーク

Nun protono kaj neŭtrono ne estas elementaj partikuloj  
陽子や中性子はもはや素粒子ではない

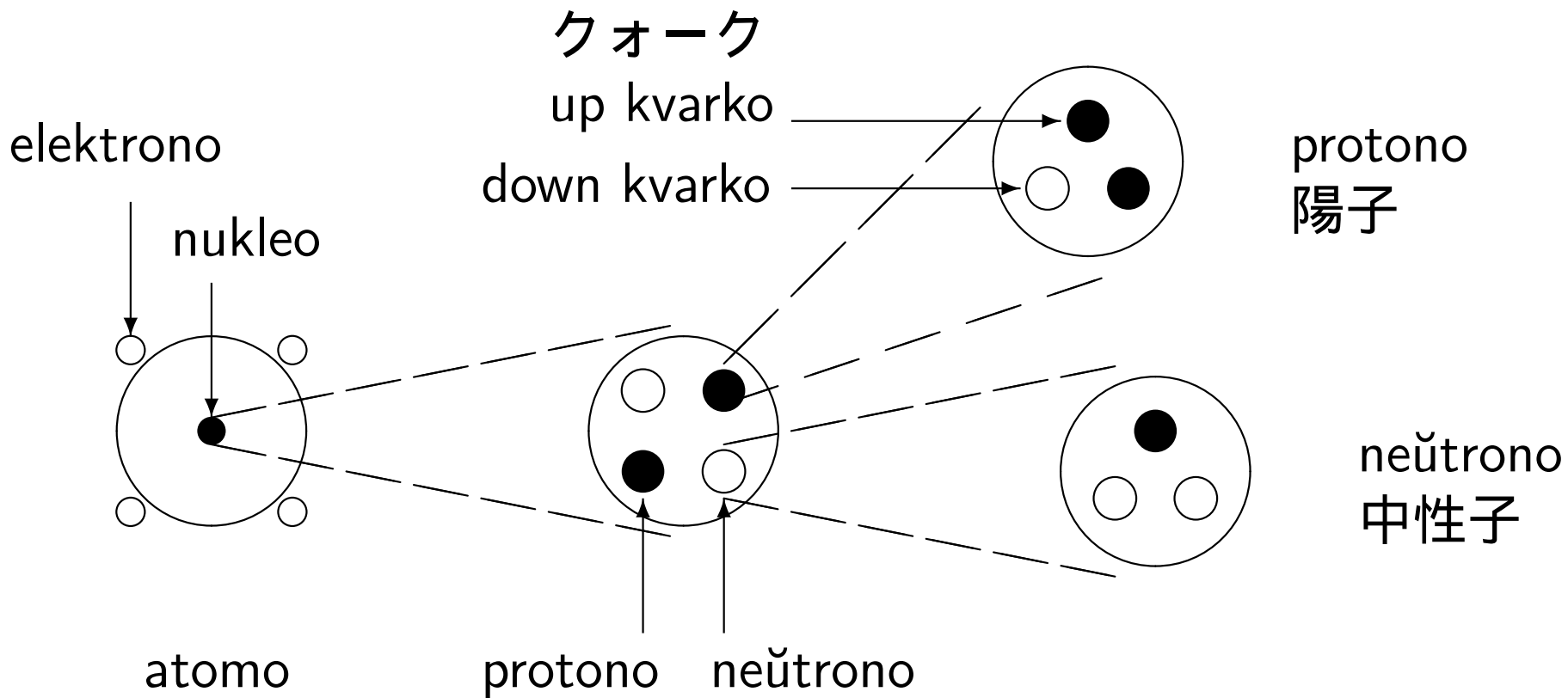
Ili konsistas el tri kvarkoj

それらは3個のクォークから成り立っている

u: up kvarko, アップクォーク

d: down kvarko     ダウンクォーク





Kvarkoj ankaŭ sentas malfortan forton

クォークも弱い力を感じる

La paro  $\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$  tre similas al la paro  $\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix}$  似ている

Marforta interago: (matematika esprimo)

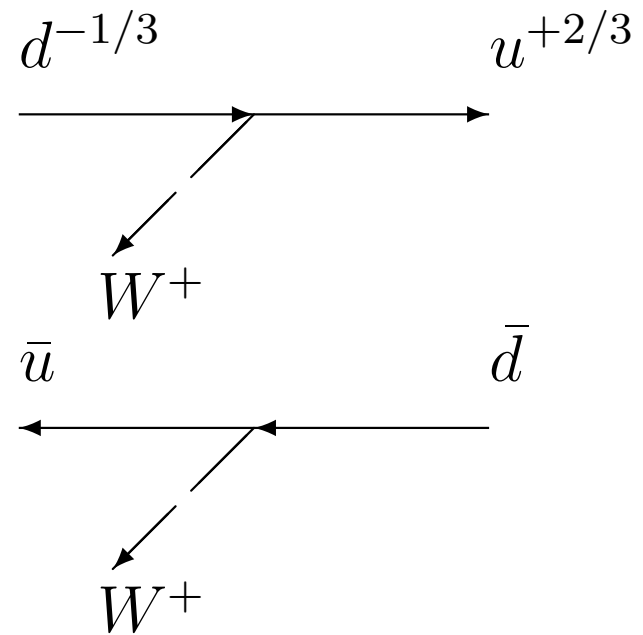
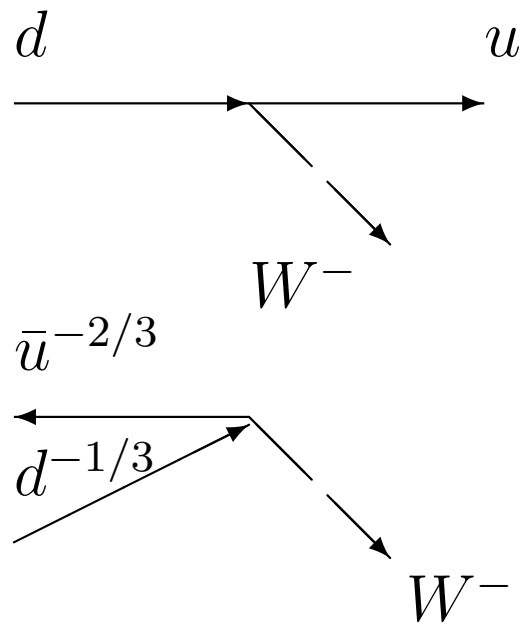
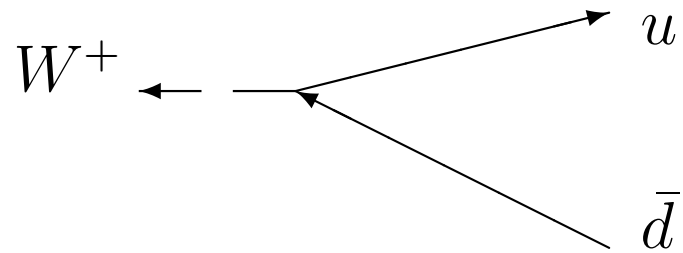
弱い相互作用の数学表現

$$(\bar{u}, \bar{d}) \begin{pmatrix} 0 & W^+ \\ W^- & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} = \bar{u}W^+d + \bar{d}W^-u$$

$$\bar{u}W^+d$$

pluraj procezoj

egalaj diagramoj



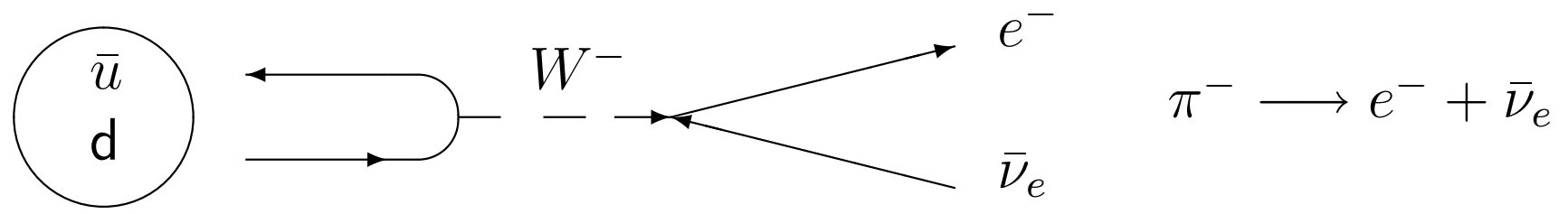
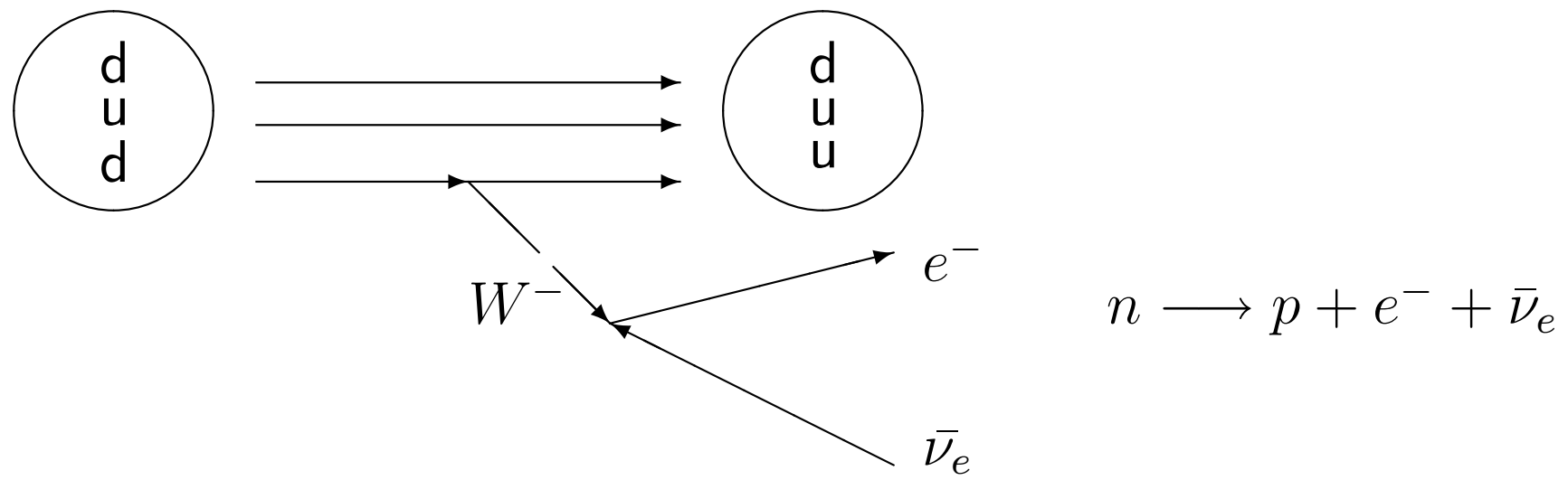
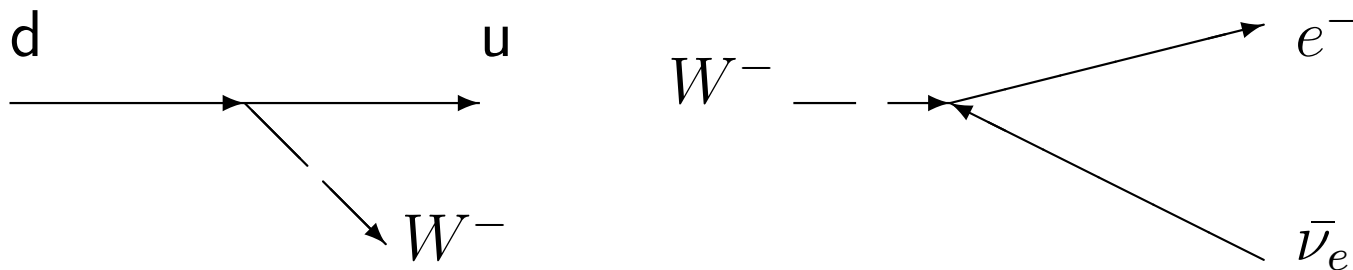
Fundamentaj interagoj  $d \rightarrow u + W^-$  基本的相互作用  
 $W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$

kaŭzas  $\beta$ -diseriĝon:  $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$   $\beta$ -崩壊

kaj diseriĝon de piono:  $\pi^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$   $\pi^-$  中間子の崩壊

$SU(3) \times SU(2) \times U(1)$  norma gaŭĝ-teorio

$SU(3) \times SU(2) \times U(1)$  標準ゲージ理論

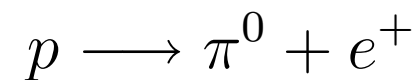


H. Georgi kaj S. Glashow kreis  $SU(5)$  grande unuigitan teorion (1974)

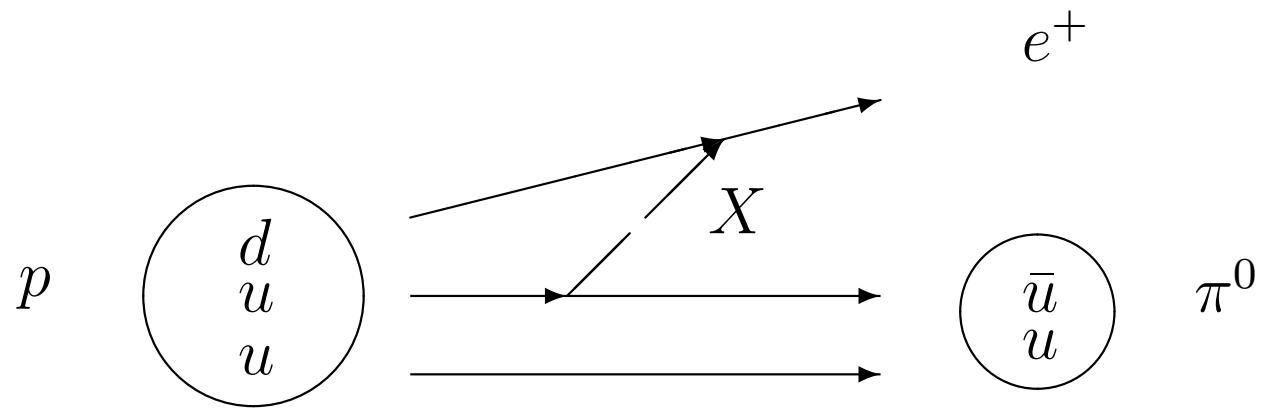
$SU(5)$  大統一理論

Tiu teorio postulas multajn novajn partikulojn  $X, \dots$  kaj prediktas protono-diseriĝon

新粒子  $X, \dots$  と陽子崩壊の予言



# Protono-diseriço



$$p \longrightarrow \pi^0 + e^+$$

## KAMIOKANDE

Kamiokande estis konstruita por eltrovi la fenomenon de  
protono-diseriĝo (1983)

カミオカンデは陽子崩壊を観測するために作られた

Protono-diseriĝo ne estis trovita

陽子崩壊は観測されなかった

Kamiokande neis la  $SU(5)$  grande unuigitan teorion

$SU(5)$ -大統一理論は否定された

Kamiokande komencis observi neŭtrinion

ニュートリノの観測を始める



# KAMIOKANDE

= Kamioka Nukleono Diseriĝo Eksperimentejo

神岡 核子 崩壊 実験装置

→ Kamioka Neŭtridon Detekti Eksperimentejo

神岡 ニュートリノ 検出 実験装置

## Tabelo de Partikuloj kaj Fortoj 粒子と力

	kvarkoj		neŭtrinoj
fortoj	$u, d, c, s, t, b$	$e^-, \mu^-, \tau^-$	$\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$
forta	○	×	×
elektromagneta	○	○	×
malforta	○	○	○

Kvarkoj sentas ĉiujn fortojn

クォークはすべての力を感じる

Neŭtrinoj sentas nur malfortan forton

ニュートリノは弱い力しか感じない

## Tabelo de Partikuloj kiu kaŭzas Fortojn 力を媒介する粒子

fortoj	partikuloj	distanco	forteco
forta	$G^a \ a = 1, \dots, 8$	$10^{-13} \text{ cm}$	$\alpha_{qcd} = 1$
elektromagneta	$\gamma$	$\infty$	$\alpha_{em} = 1/137$
malforta	$W^\pm, Z^0$	$10^{-18} \text{ cm}$	$\alpha_w = 1/40$

Kvarkoj sentas fortan forton pere de gluonoj  $G^a$

Neŭtrinoj sentas nur malfortan forton pere de malfortaj bosonoj

$W^\pm$  kaj  $Z^0$

La distanco de malforta interago estas tre mallonga

弱い力の到達距離は非常に短い

La fotono kiu naskiĝis en la centro de la suno eliras el la suno post miliono da jaroj pro la elektromagneta interago  
太陽の中心で生まれた光が太陽を抜け出すのに100万年かかる

Per lumo, oni nur povas scii kio okazis en la centro antaŭ miliono da jaroj (oni ne povas scii kio okazas nun)  
光を使ったのでは、今太陽の中心で何が起きているのかはわからない

La neŭtrinoj kiuj naskiĝis en la centro de la suno atingas teron post 8 minutoj ĉar distanco de malforta forto estas tre mallonga (ili tre malofte proksimiĝas tiel proksime kiel  $10^{-18}$  cm, kaj preskaŭ sen interago ili trapasas)

太陽の中心で生まれたニュートリノは、弱い力の相互作用が非常に弱いので、8分後には地球に到達する

Per neŭtrino, oni povas scii kio okazas nun (antaŭ 8 minutoj) en la centro. ニュートリノを用いると今太陽の中心で何が起きているかを知ることができる

Nova studkampo: Neŭtrino astronomio

新分野：ニュートリノ天文学