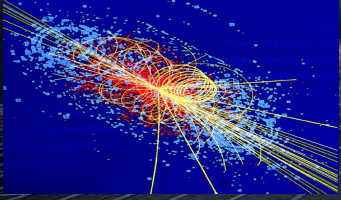


# Wszechświat cząstek elementarnych



## WYKŁAD 5

18.III.2009

## Oddziaływania grawitacyjne

elektromagnetyczne  
słabe i silne

Dziś: wstęp, oddziaływania e-m i silne

# Pytania egzaminacyjne

<http://www.fuw.edu.pl/~zarnecki/WCE/wce08.html>

Na egzaminie wolno korzystać TYLKO z własnoręcznych notatek i kopii materiałów z wykładów.

Przygotujemy czarno-białą wersję wykładów

Kilka kopii materiałów będzie dostępnych na egzaminie oraz dwa notebooki z wykładem w wersji kolorowej

# Przykłady pytań testowych

Kiedy powstała fizyka cząstek elementarnych ?

Ile jest cząstek elementarnych a ile fundamentalnych?

Ile jest generacji cząstek?

Podaj szacunkowe rozmiary atomów i jąder atomowych.

O ile mniejsze jest jądro od atomu np.dla złota?

Doświadczenie Rutherforda - na czym polegało?

Ile wynosi ładunek elektryczny atomu? A ile jądra atomowego?

Z czego zbudowany jest atom wodoru, deuteru, helu?

Co to jest nukleon?

Z jakich kwarków zbudowany jest proton, a z jakich neutron?

Wypisz 10 cząstek fundamentalnych i 10 elementarnych, złożonych z cząstek fundamentalnych.

Wypisz cząstki z pierwszej generacji.

Czego dotyczyły hipoteza Plancka i hipoteza Einsteina?

Światło widzialne ma większą czy mniejszą energię niż fale radiowe?

Kiedy odkryto pozyton?

Jaka jest masa pozytonu?

Jaka cząstka jest antycząstką fotonu?



# Cztery podstawowe siły

## Oddziaływanie grawitacyjne

Działa między wszystkimi cząstkami, jest to zawsze przyciąganie. Odpowiedzialne za tworzenie Układu Słonecznego, galaktyk itp.

## Oddziaływanie elektromagnetyczne

Ładunki elektryczne mogą się odpychać lub przyciągać. Odpowiedzialne za tworzenie wiązań atomowych.

## Oddziaływanie silne (jądrowe i kolorowe)

Siły jądrowe działają między nukleonami – przyciąganie; odpowiedzialne za tworzenie jąder atomowych. Wewnątrz nukleonów i innych hadronów (cząstek oddziałujących silnie) - kwarki i siły kolorowe między nimi.

# Cztery podstawowe siły- cd

## Oddziaływanie silne (jądrowe i kolorowe) powtórzenie

Siły jądrowe działają między nukleonami – przyciąganie; odpowiedzialne za tworzenie jąder atomowych. Wewnątrz nukleonów i innych hadronów (cząstek oddziałujących silnie - kwarki i siły kolorowe między nimi).

## Oddziaływanie słabe (elementarne i fundam.)

Rozpady promieniotwórcze niektórych jąder np. rozpad neutronu na p i antyneutrino el. Na poziomie fundamentalnym realizowane między kwarkami, we współpracy z oddziaływaniem e-m (oddz. elektroślabe)

Te dwie siły jedynie w mikroświecie i na dwóch poziomach

# Stałe fundamentalne:

$c$  – fizyka relatywistyczna

prędkość światła

$\hbar$  – fizyka kwantowa

stała Plancka  $h/2\pi$

$G$  – grawitacja

stała grawitacyjna  
(Newtona)



# Wielkości charakterystyczne

Ładunek elektryczny  $e$

Wielkość ( $e^2/\hbar c = 1/137$ ) –  $\alpha$

(stała struktury subtelnej)

ważna w relatywistycznej, kwantowej teorii

ładunku elektrycznego

Elektrodynamika kwantowa (lata 20-30 XXw)

$\alpha$  - miarą siły oddziaływania (sprzeżenia)

elektronów i fotonów (prom. e-m)

# Grawitacja i elektromagnetyzm

## - znane w makroświecie

- Oddziaływania elektromagnetyczne są znacznie silniejsze – więc dlaczego grawitację znano wcześniej??
- W dużych ciałach ładunki elektryczne się znoszą – zaś grawitacja się wzmacnia...
- Siła przyciągania dwóch ładunków elektrycznych, np. dla protonu i elektronu w atomie wodoru

$$F_{el} = e^2 / r^2 \quad \text{zaś} \quad F_{gr} = G M m / r^2$$

- Stosunek tych sił  $GMm/e^2 = 10^{-40}$



# Grawitacja - skala Plancka

- Zaniedbujemy grawitację dla pojedynczych cząstek elementarnych i przy obecnych energiach
- Kiedy może być ważna w mikroświecie?  
Z  $G$ ,  $h$  i  $c$  możemy utworzyć wielkości o wymiarze energii i długości →

## Skala Plancka :

Długość  $10^{-35}$  m, lub energia  $10^{19}$  GeV

- Wtedy relatywistyczna, kwantowa grawitacja -
- ale wciąż poszukujemy takiej teorii



# Introduction to Particle Physics (for non physics students)

## 3. FORCES



*PROFESSOR FRANK CLOSE  
EXETER COLLEGE  
UNIVERSITY OF OXFORD*

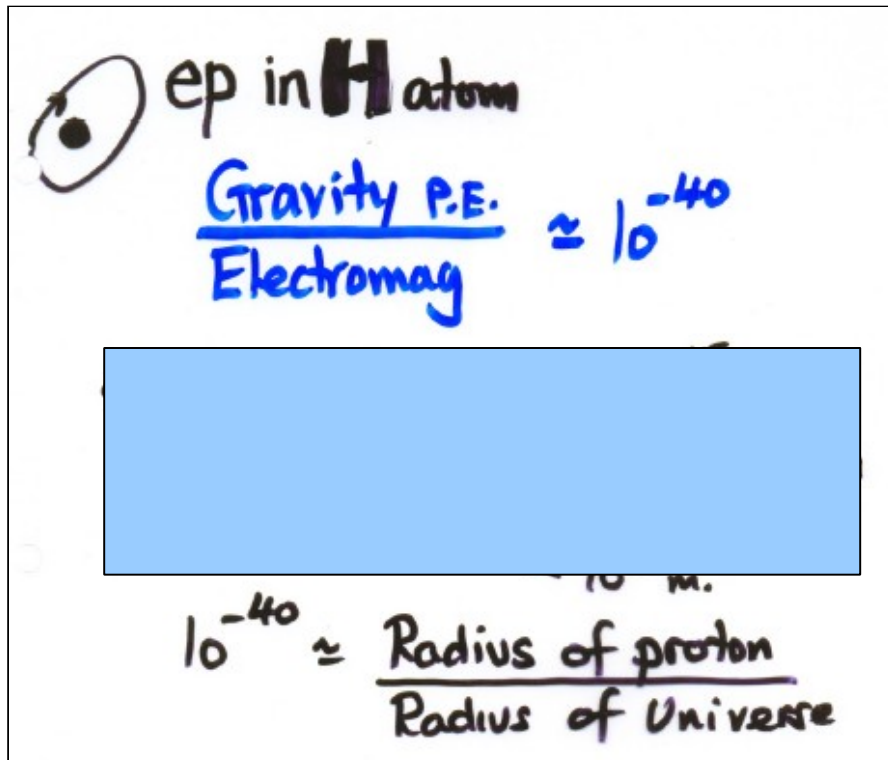


# SIŁY – czyli oddziaływania: grawitacyjne elektromagnetyczne, słabe, silne

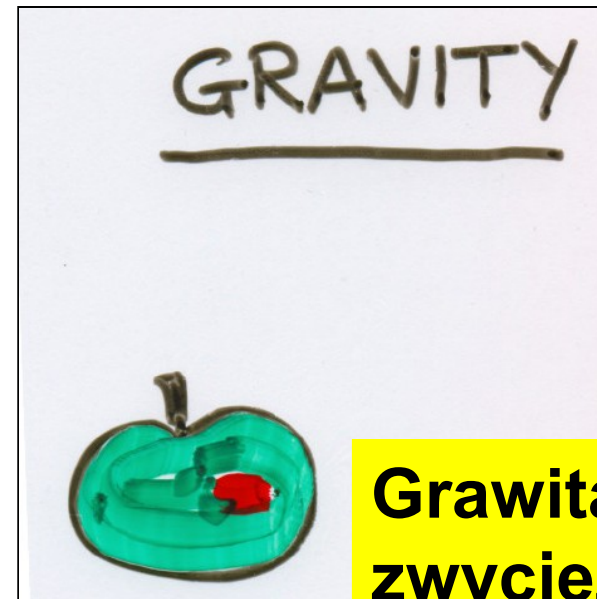
ep in H atom

$\frac{\text{Gravity P.E.}}{\text{Electromag}} \approx 10^{-40}$

$10^{-40} \approx \frac{\text{Radius of proton}}{\text{Radius of Universe}}$



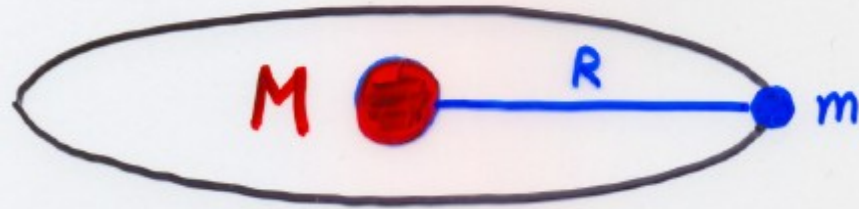
Zaniedbujemy grawitację dla pojedynczych cząstek elementarnych i przy obecnie dostępnych energiach



Grawitacja zwycięża dla dużych ciał i dostarcza zagadek, które mogą się wiązać z cząstkami



# Prędkość ciała o masie $m$ w ruchu wywołanym przyciąganiem grawitacyjnym wokół masy $M$

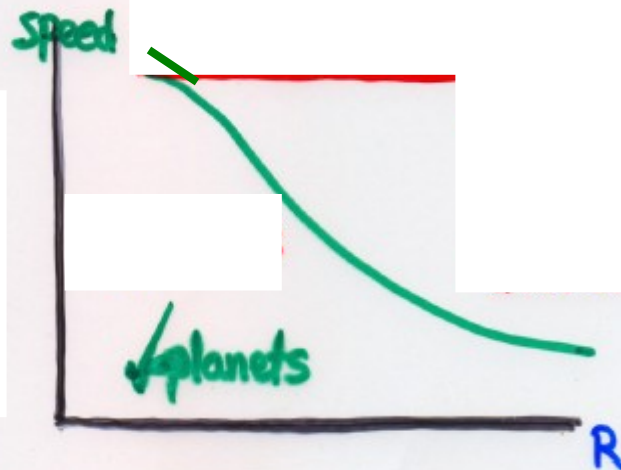


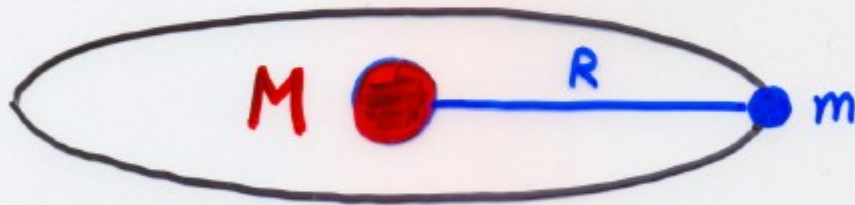
Newton:  $F = G \frac{Mm}{R^2} = \frac{mv^2}{R}$

➔  $v^2 = \frac{GM}{R}$

Speed goes down as  $\sqrt{R}$

Prędkość maleje gdy promień  $R$  rośnie

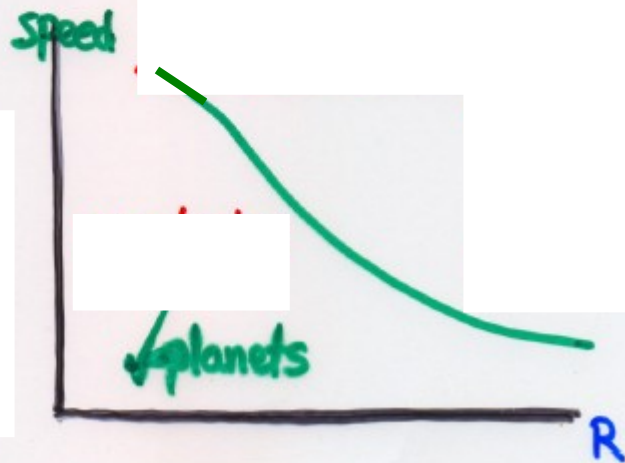




Newton:  $F = G \frac{Mm}{R^2} = \frac{mv^2}{R}$

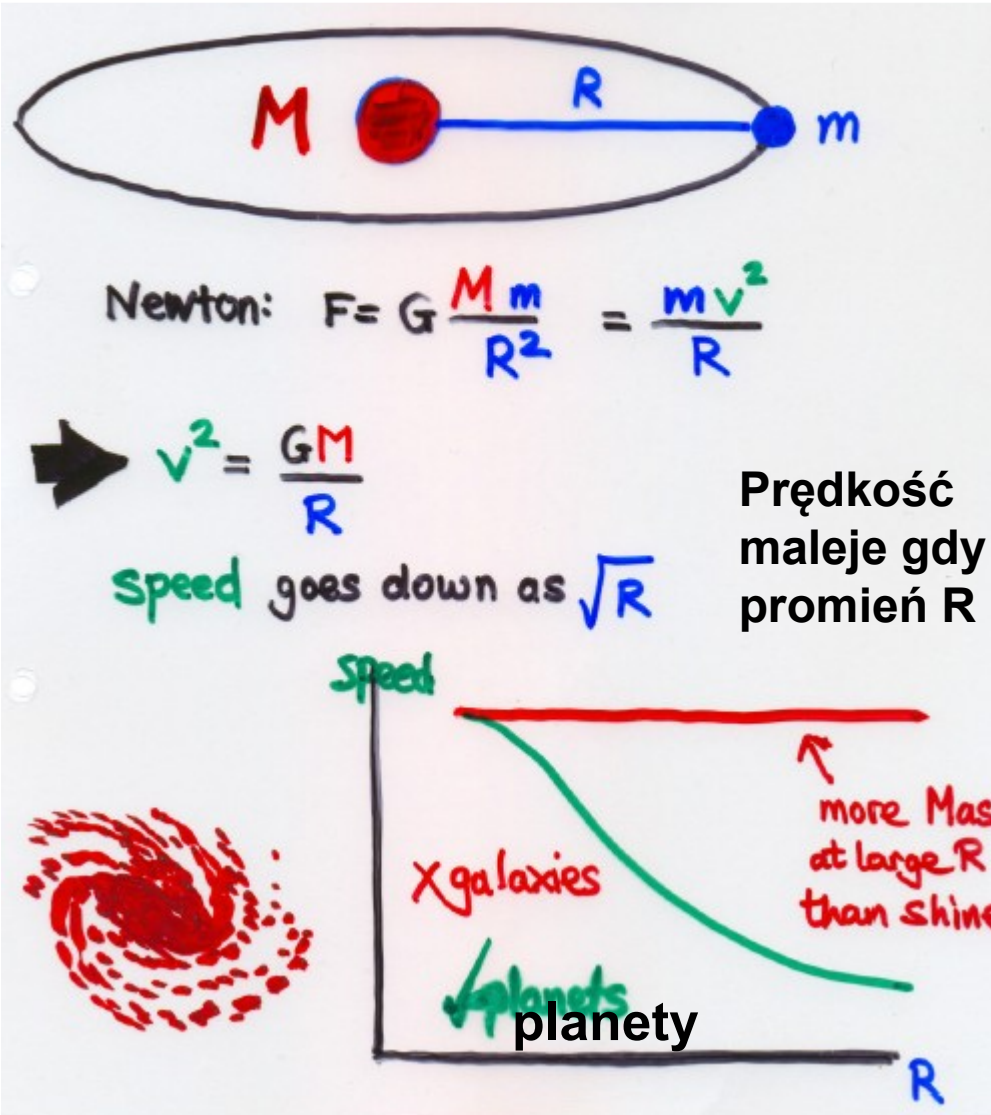
➔  $v^2 = \frac{GM}{R}$

Speed goes down as  $\sqrt{R}$



# CIEMNA MATERIA

Prędkość w ruchu wywołanym przyciąganiem grawitacyjnym wokół masy  $M$

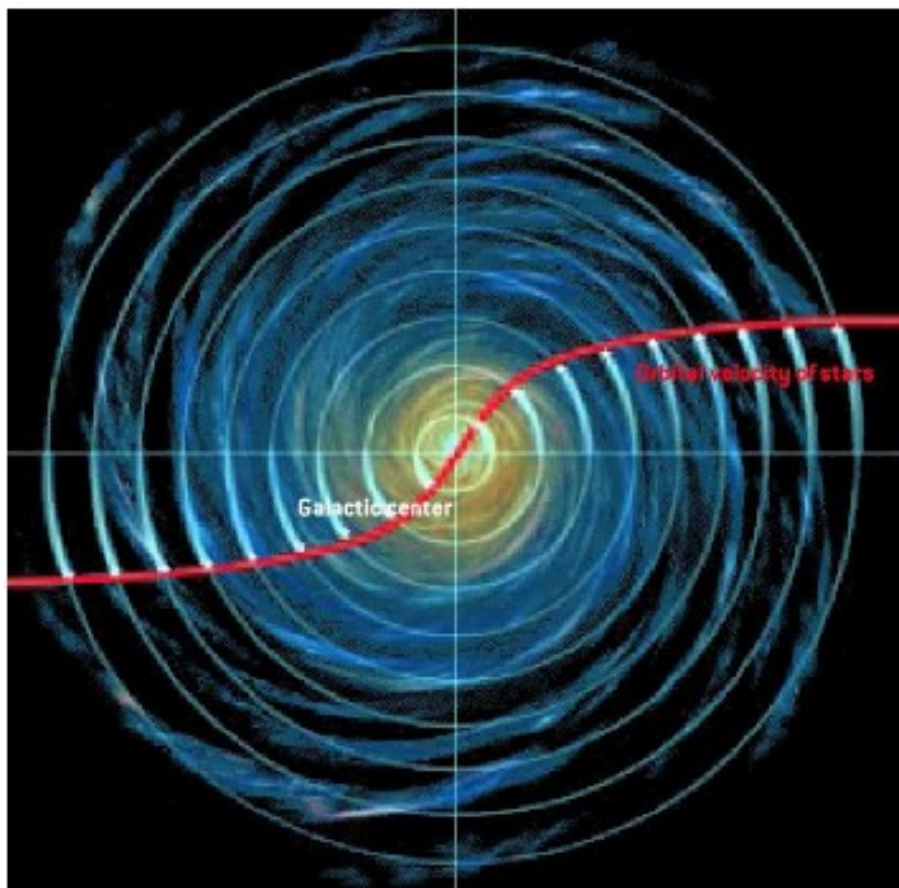


Prędkość maleje gdy promień  $R$  rośnie

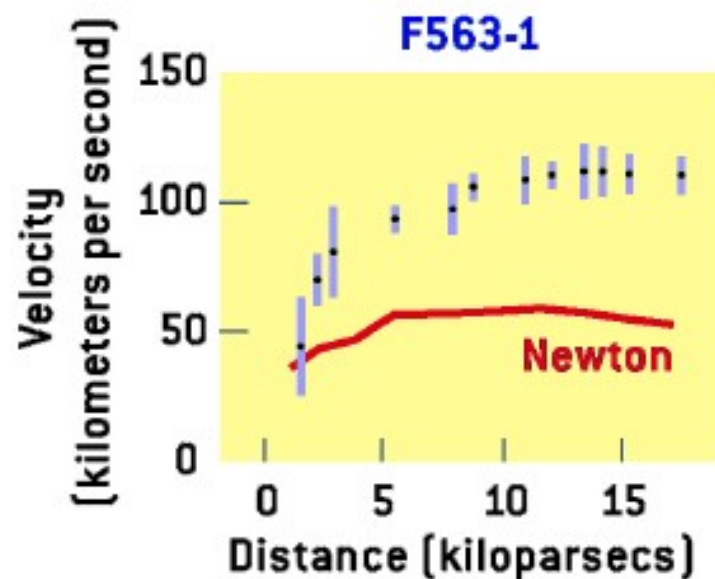
Więcej masy  $M$  dla dużych  $R$  niż świeci



# Oddziaływania grawitacyjne



Znane nam prawa dynamiki nie tłumaczą rotacji galaktyk.



Ramiona wirują szybciej niż oczekivalibyśmy z praw grawitacji i dynamiki

# **Co to jest ciemna materia?**

**- nie wiemy, ale powinna być**

- neutralna elektrycznie**
  
- gorąca ciemna materia**
  - lekkie cząstki jak neutrino**
  
- zimna ciemna materia**
  - ciężkie cząstki**

***więcej na następnych wykładach***

# Kolor i oddziaływania silne

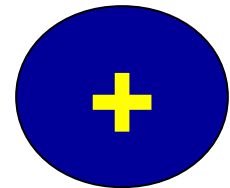
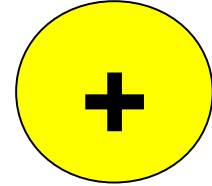
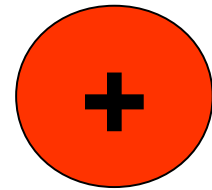
## CHROMOSTATYKA

Jak elektrostatyka ale z 3 typami ładunków +/-

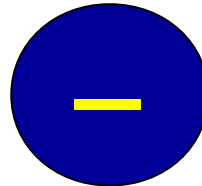
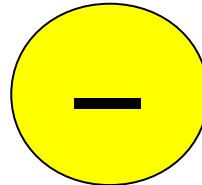
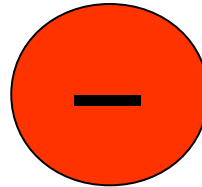


# 3 ładunki kolorowe

kwarki



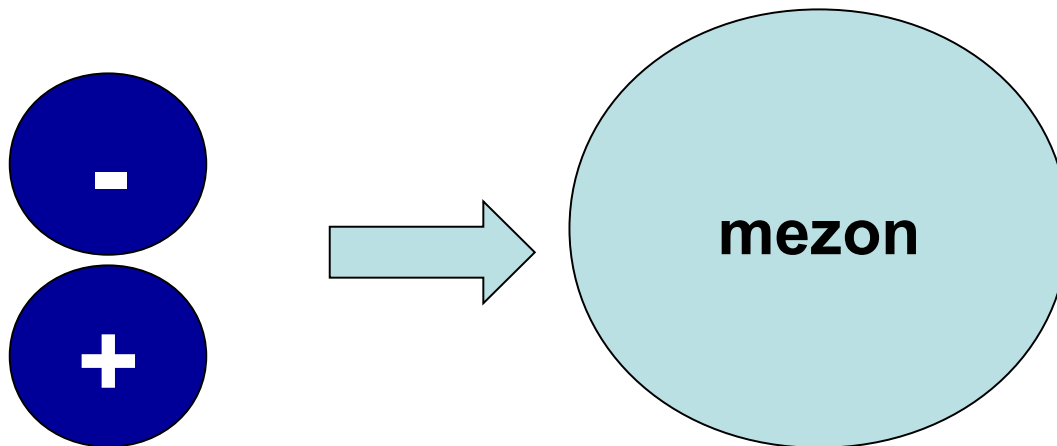
antykwarki



Znane reguły

**“Takie same kolory się odpychają  
przeciwnie - przyciągają”**

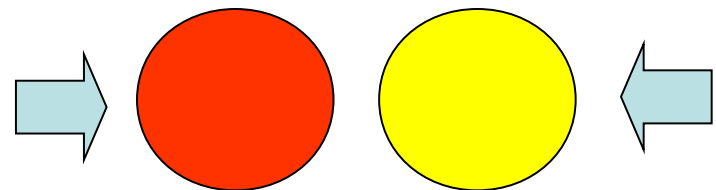
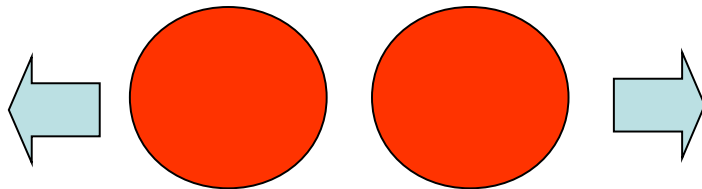
## Najprostsza sytuacja: mezon

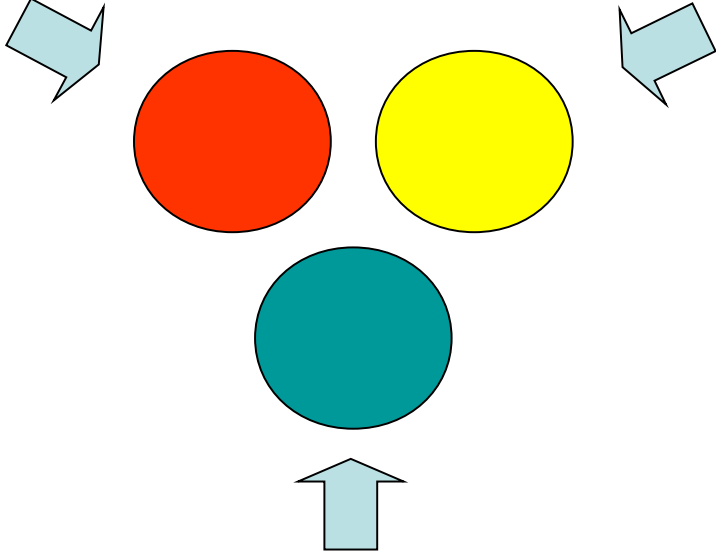


# TRZY kolory

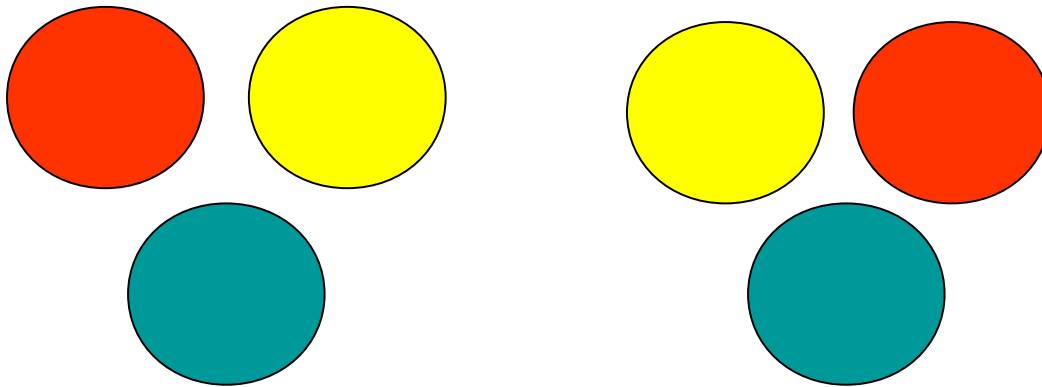
Potrzebne aby powstały bariony

(np. proton)



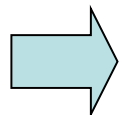




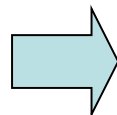


**Proste jądro (deuter)**

**Ładunek  
elektryczny**

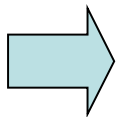


**Atomy**

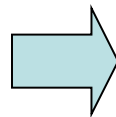


**Molekuły  
(cząsteczki)**

**Ładunek  
kolorowy**



**Nukleony**

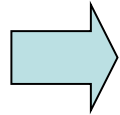


**Jądra**

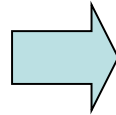
# Elektrodynamika kwantowa

**Quantum Electrodynamics: QED**

**Ładunek  
elektryczny**



**Atomy**

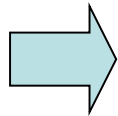


**Molekuły  
(cząsteczki)**

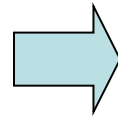
# Chromodynamika kwantowa

**Quantum Chromodynamics: QCD**

**Ładunek  
kolorowy**

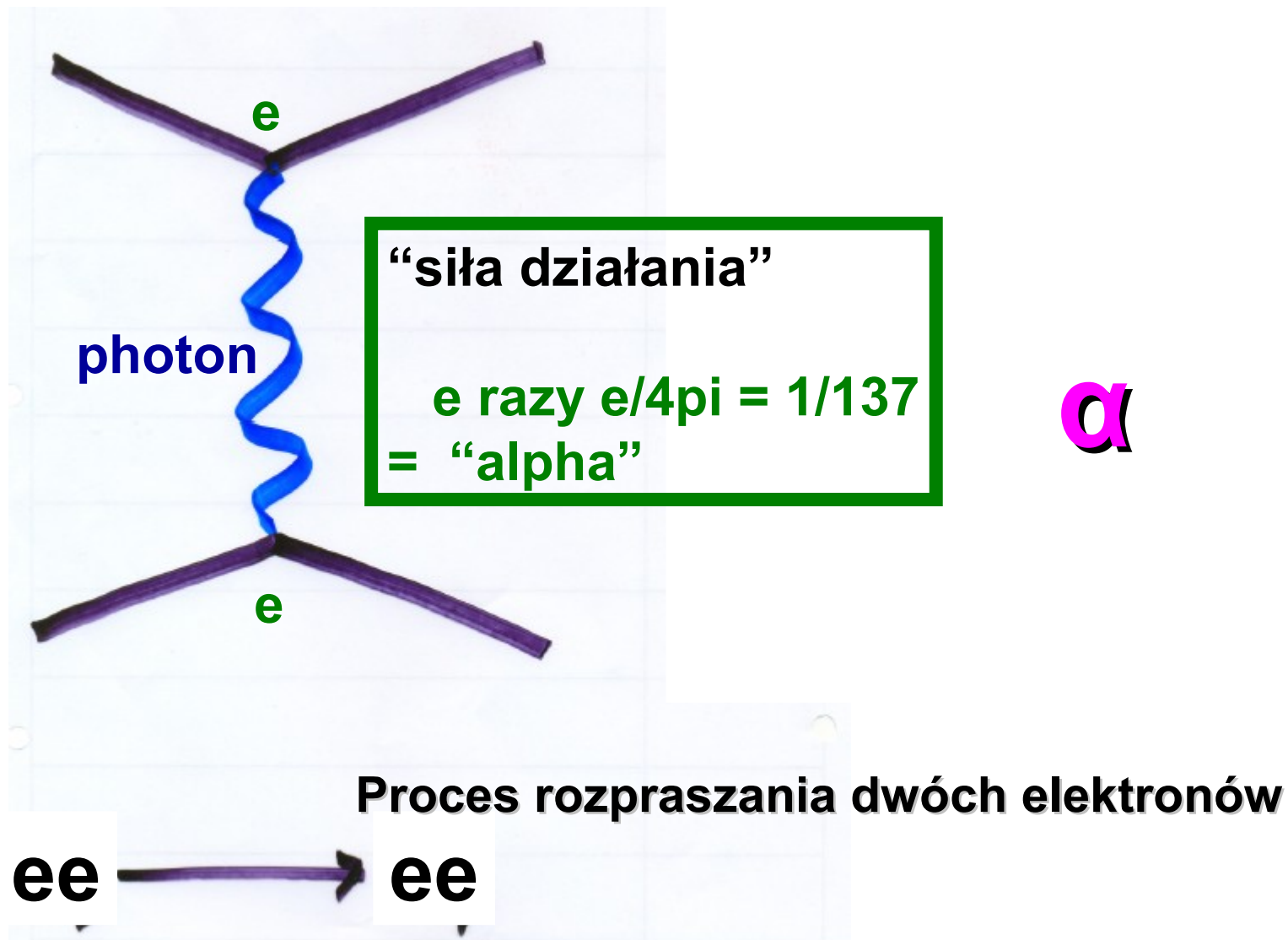


**Nukleony**



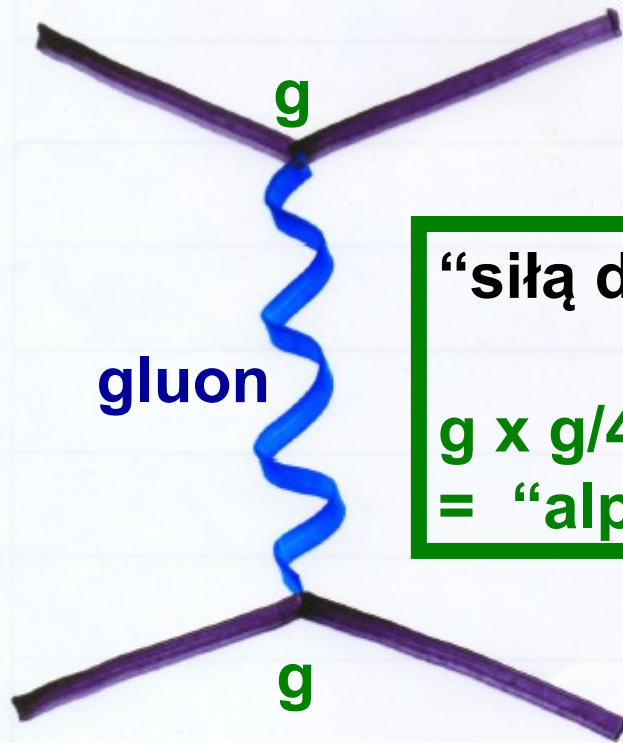
**Jądra**

# Diagramy Feynmana dla oddziaływań elektromagnetycznych





# Diagramy Feynmana dla oddziaływań kolorowych



gluon

“siła działania”

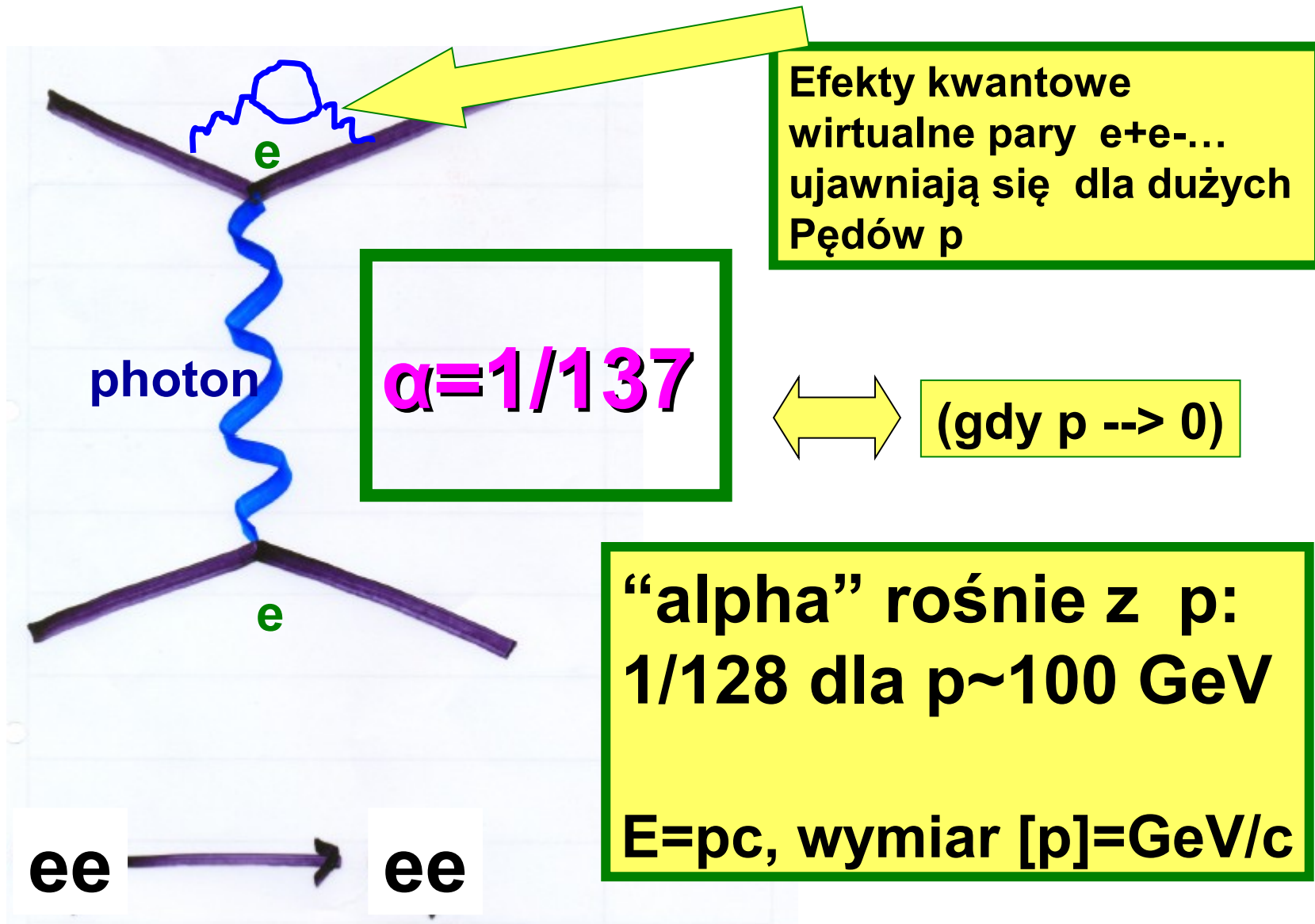
$$g \times g/4\pi \sim 1/10 \\ = \text{“alpha}_s\text{”}$$

$\alpha_s$

Proces rozpraszania dwóch kwarków

qq → qq

# Diagramy Feynmana dla oddziaływań elektromagnetycznych

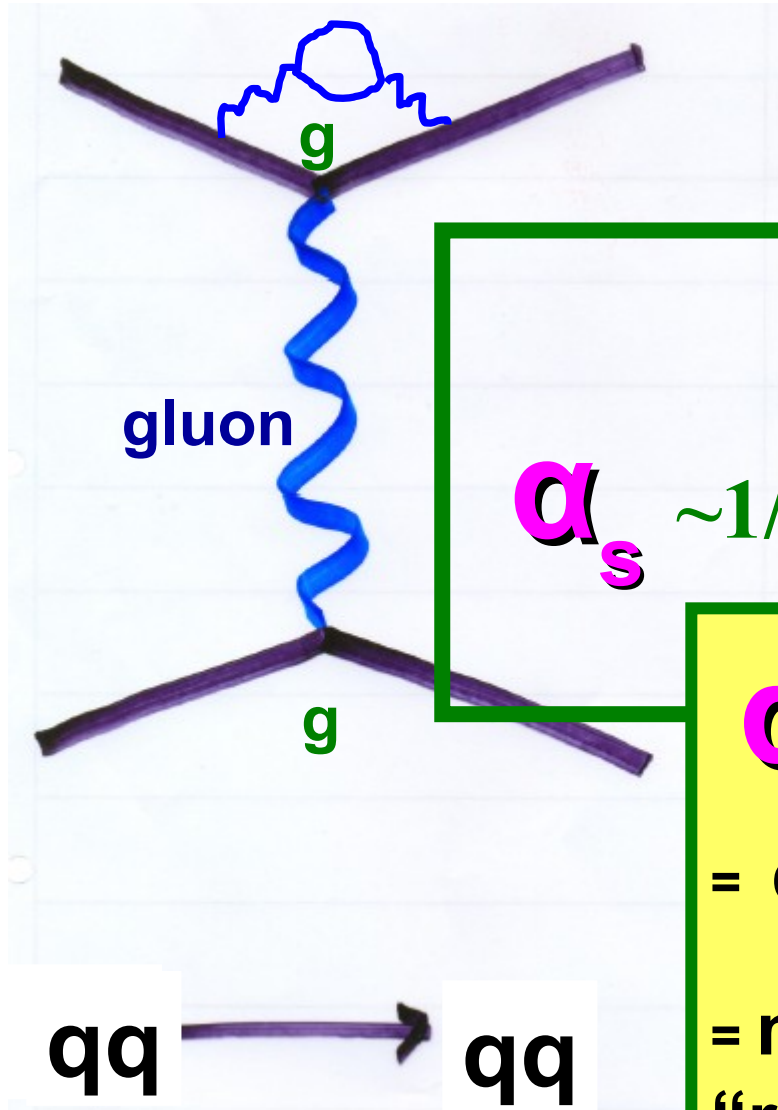


Efekty kwantowe wirtualne pary  $e^+e^-$ ... ujawniają się dla dużych Pędów  $p$

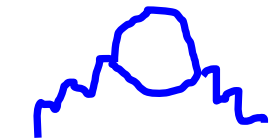
“alpha” rośnie z  $p$ :  
1/128 dla  $p \sim 100$  GeV

$E=pc$ , wymiar  $[p]=\text{GeV}/c$

# Feynman diagrams for chromomagnetic interaction



Jak w QED, w QCD



ale również

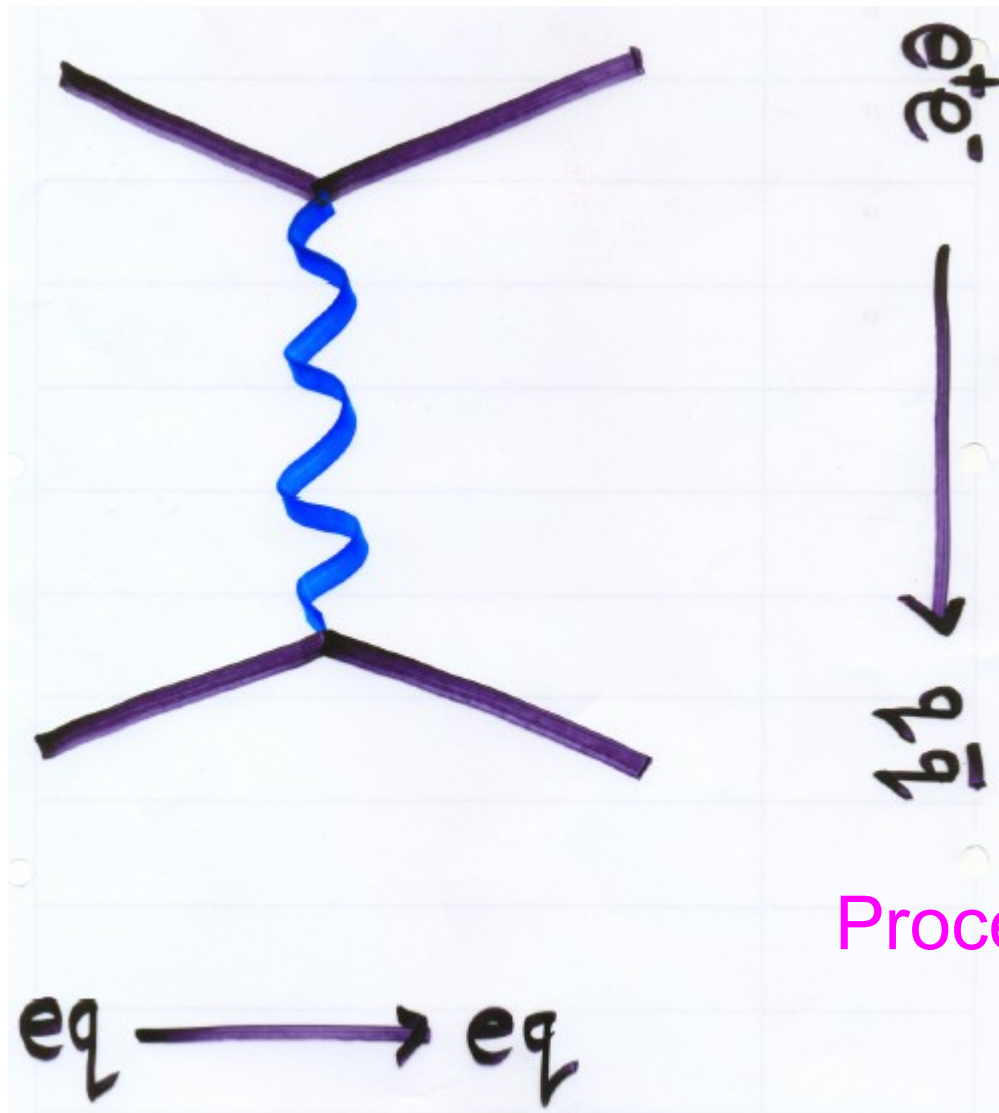


$\alpha_s$  maleje z  $p$

= duża dla małych  $p$   
SILNE ODDZIAŁYWANIA!

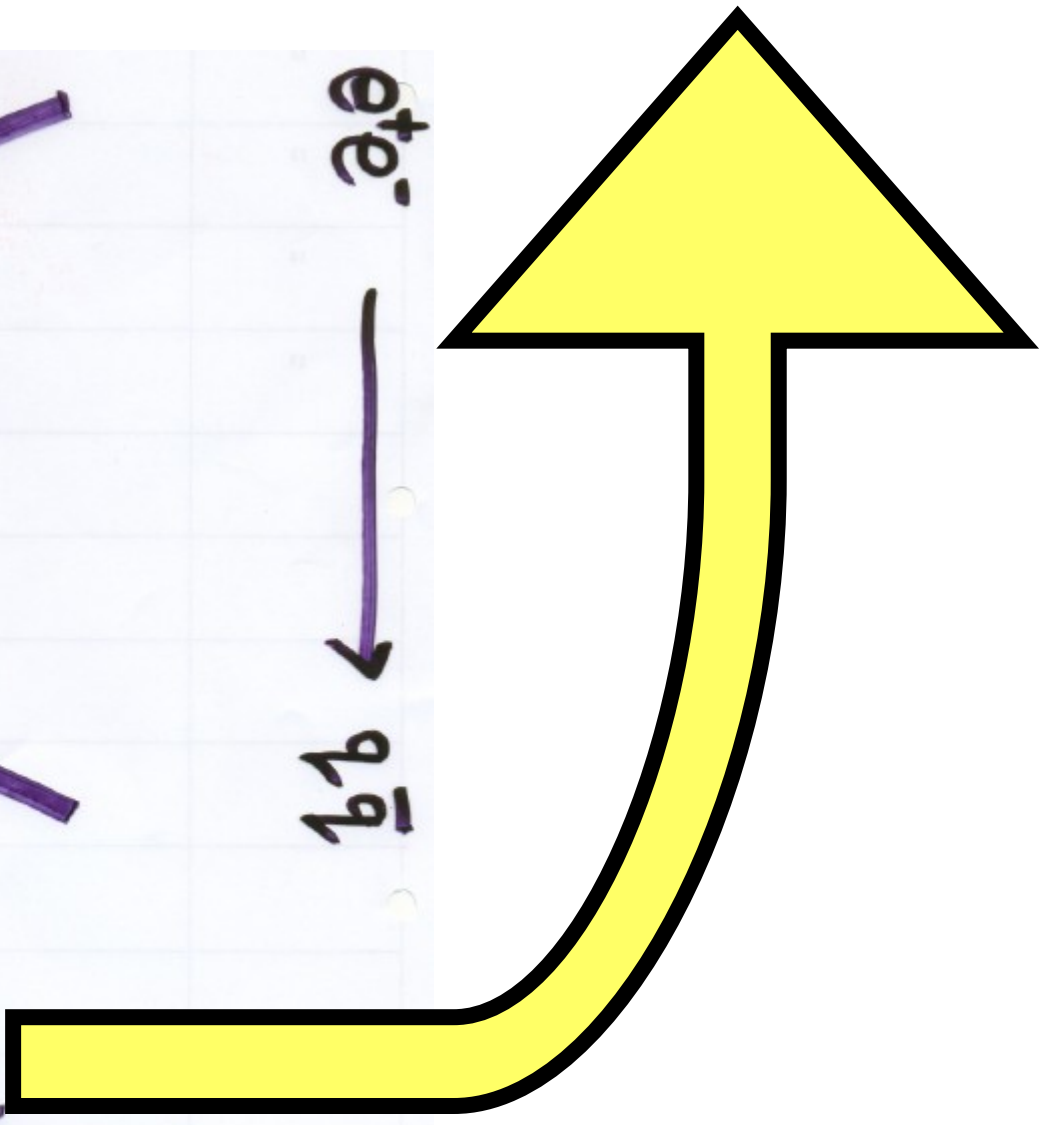
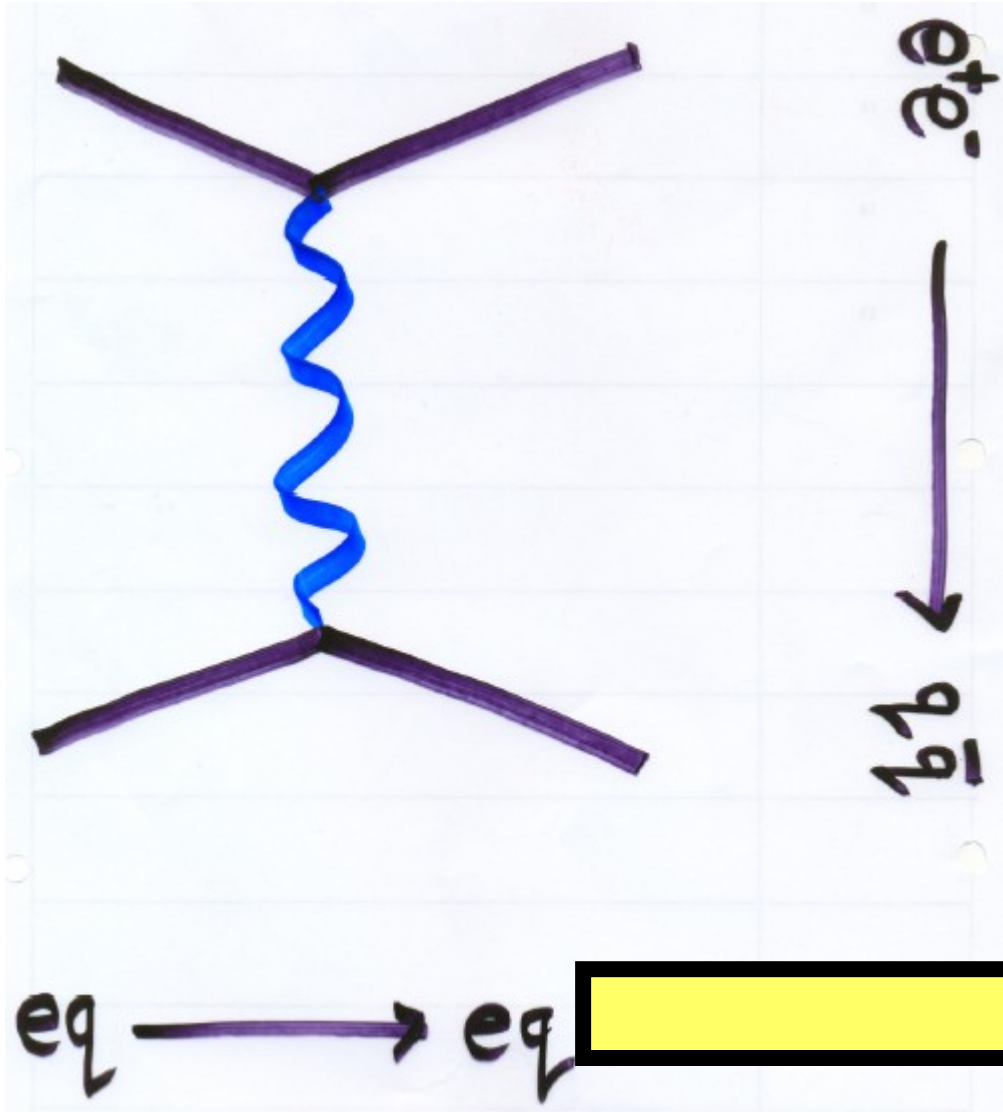
= mała dla dużych  $p$   
“rachunek zaburzeń QCD”

# Diagramy Feynmana dla oddziaływań elektromagnetycznych

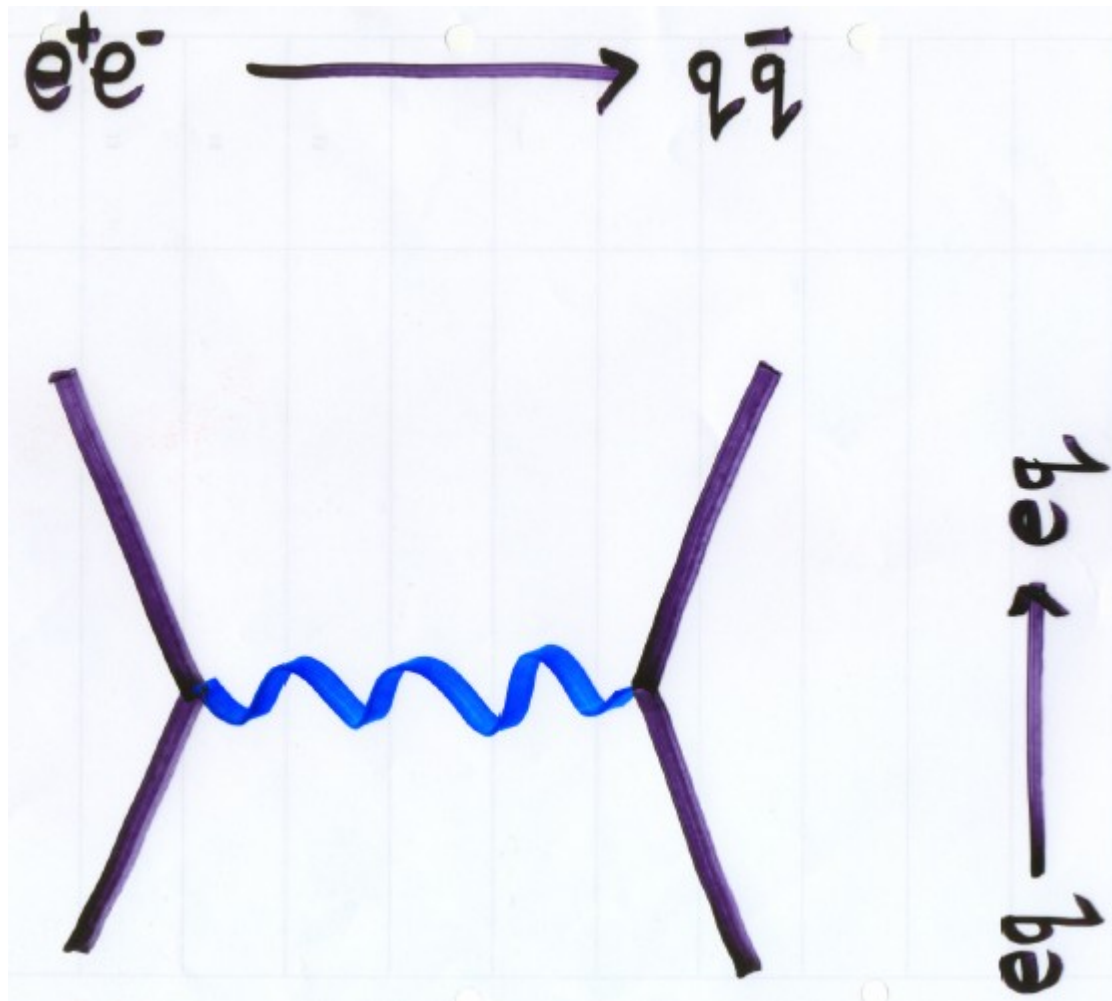


Procesy skrzyżowane





# Diagramy Feynmana dla oddziaływań elektromagnetycznych



# Unifying the forces

