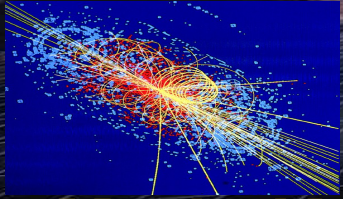


Wszechświat cząstek elementarnych

WYKŁAD 5



Maria Krawczyk, Wydział Fizyki UW

17.III.2010

Oddziaływania:

elektromagnetyczne i grawitacyjne

elektromagnetyczne i silne (kolorowe)

Biegające stałe sprzężenia: α i α_s

uwiecznienie i asymptotyczna swoboda

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.

Oddziaływanie słabe (elementarne i fundam.)

Rozpady promieniotwórcze niektórych jąder np. rozpad beta
Na poziomie fundamentalnym realizowane między kwarkami,
we współpracy z oddziaływaniem e-m (→ oddz. elektroślabe)

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 ok. 10^{-40}

gravitacja kontra elektromagnetyzm

wg wykładu Close'a

 ep in H atom

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

c.f. size of proton $\approx 10^{-15}$ m.

size of univ. $\leq 10^{10}$ yr. $\times 10^{16}$ m yr⁻¹
 $\leq 10^{26}$ m.

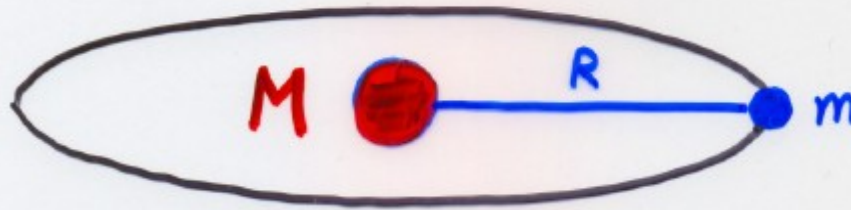
$$10^{-40} \approx \frac{\text{Radius of proton}}{\text{Radius of Universe}}$$

GRAVITY



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

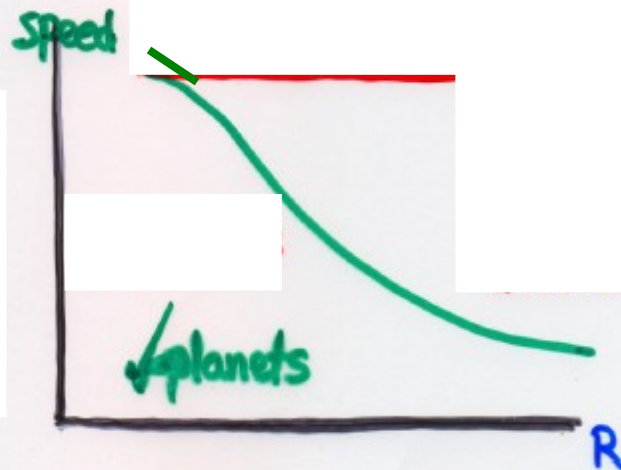


Newton: $F = G \frac{Mm}{R^2} = \frac{mv^2}{R}$

➔ $v^2 = \frac{GM}{R}$

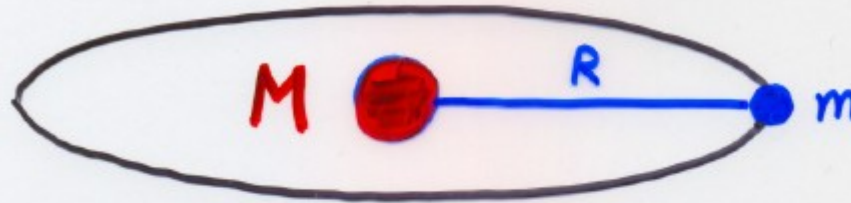
Speed goes down as \sqrt{R}

Prędkość maleje gdy promień R rośnie



CIEMNA MATERIA

Prędkość masy m w ruchu wywołanym przyciąganiem grawitacyjnym wokół masy M

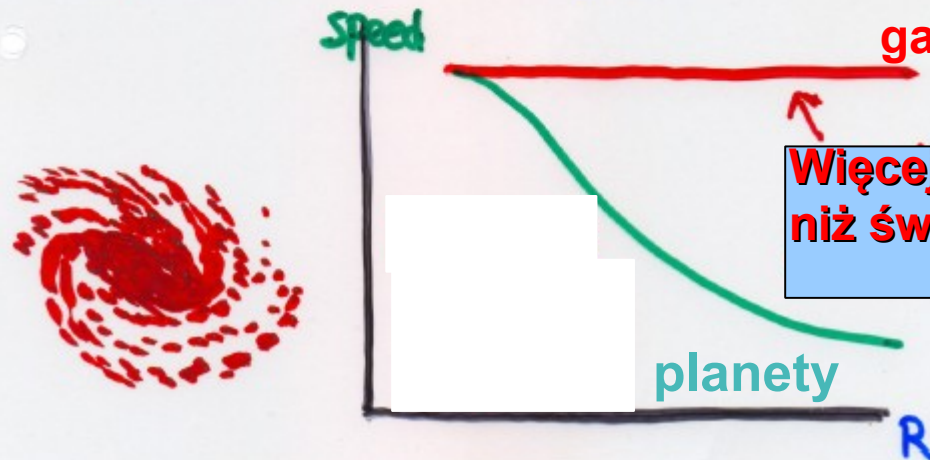


$$\text{Newton: } F = G \frac{Mm}{R^2} = \frac{mv^2}{R}$$

$$\Rightarrow v^2 = \frac{GM}{R}$$

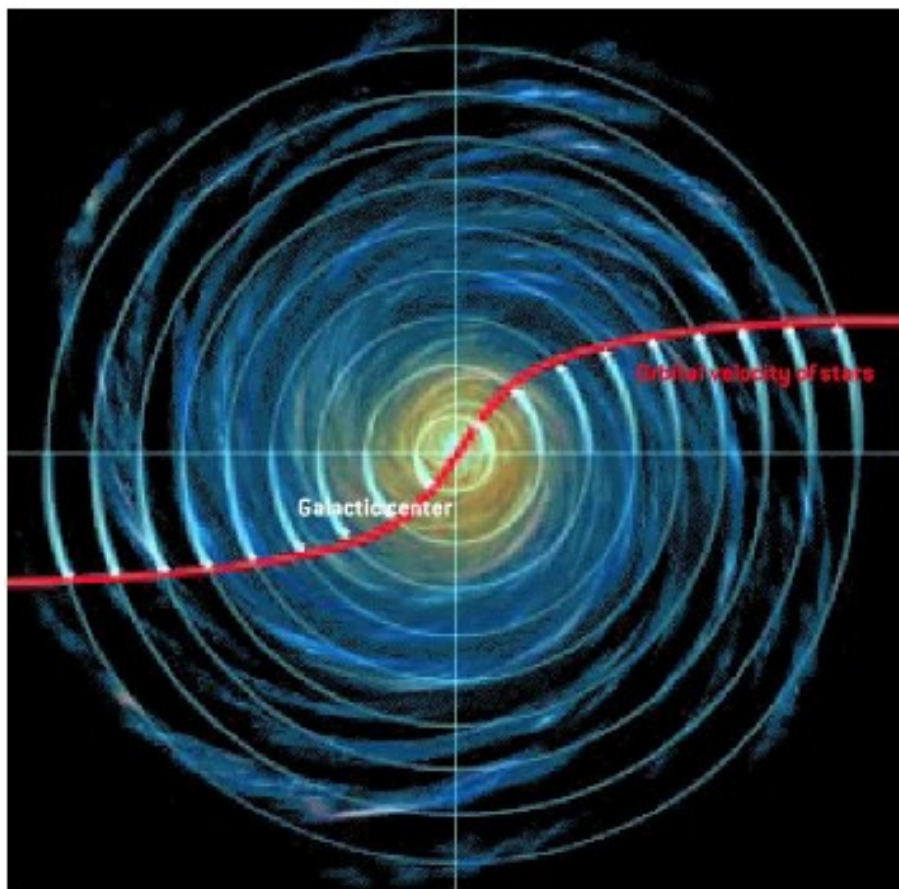
Speed goes down as \sqrt{R}

Prędkość maleje gdy promień R rośnie

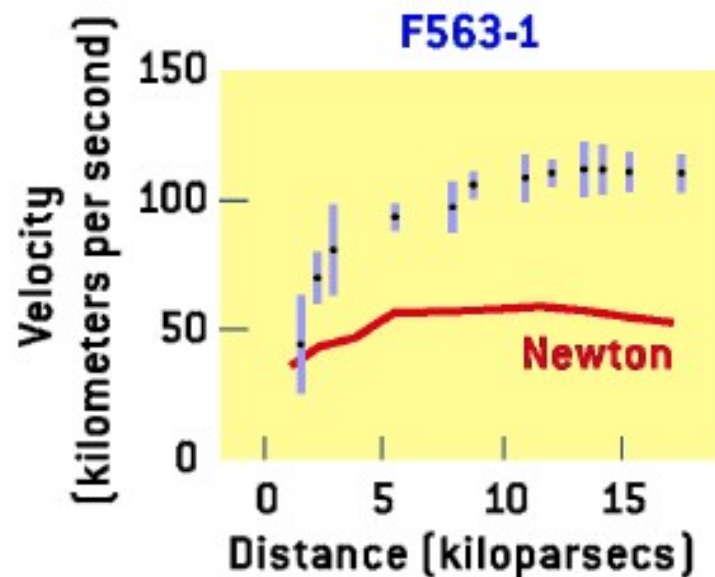


Więcej masy M dla dużych R niż świeci

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 musi być neutralna elektrycznie i albo:
 - zimna ciemna materia – ciężkie cząstki (małe energie kinetyczne)
 - gorąca ciemna materia – lekkie cząstki (duże energie kinetyczne)

więcej w dalszych wykładach

Oddz. elektromagnetyczne
kontra silne (kolorowe)

Elektrostatyka

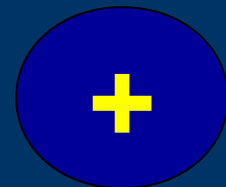
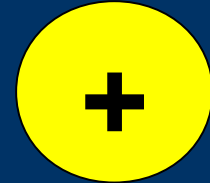
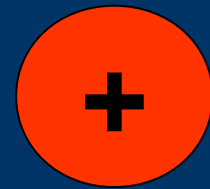
- Dwa typy ładunków + i -

CHROMOSTATYKA

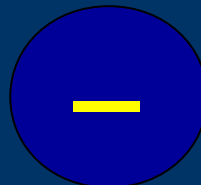
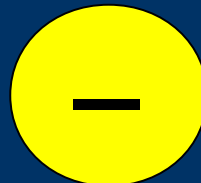
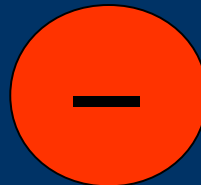
- Trzy rodzaje ładunków (kolorów),
każdy typu + i -

3 ładunki kolorowe

kwarki



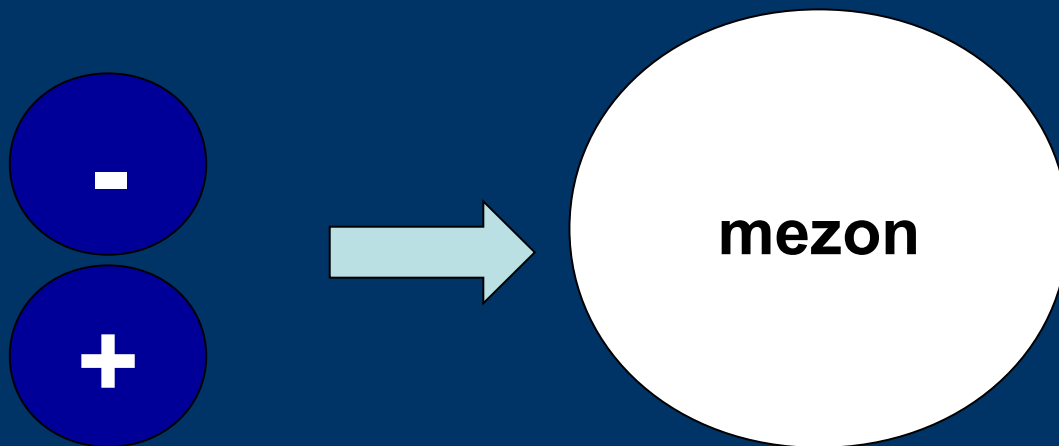
antykwaraki



Znana reguła:

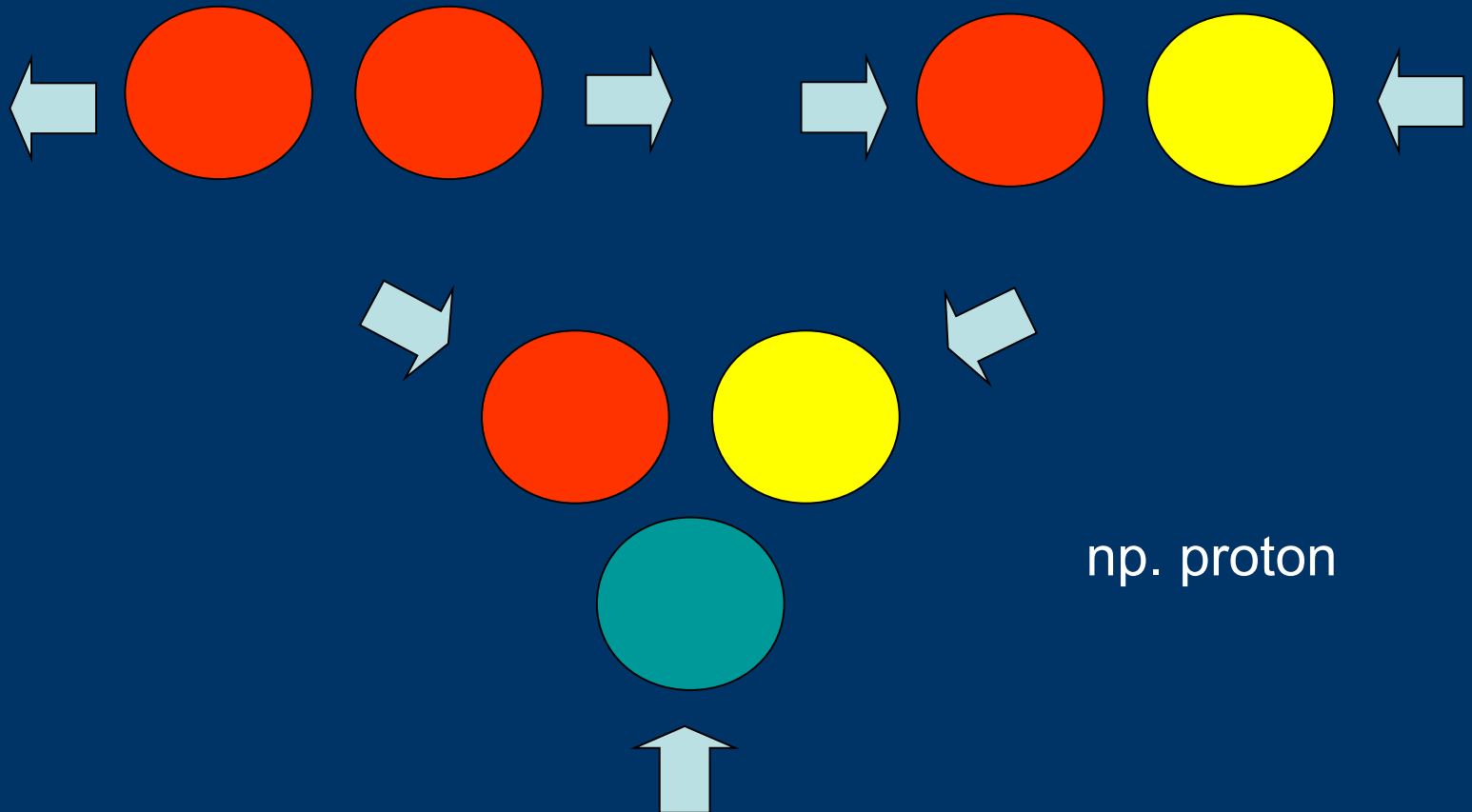
“Takie same kolory się odpychają, przeciwne - przyciągają”

Najprostszy układ: mezon=kwark-antykwarek



TRZY kolory

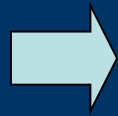
Potrzebne aby powstały bariony (3 kwarki)
(np. proton) = aby się kolor zneutralizował



Elektrodynamika kwantowa

Quantum Electrodynamics: QED

Ładunek
elektryczny



Atomy

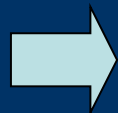


Molekuły
(cząsteczki)

Chromodynamika kwantowa

Quantum Chromodynamics: QCD

Ładunek
kolorowy

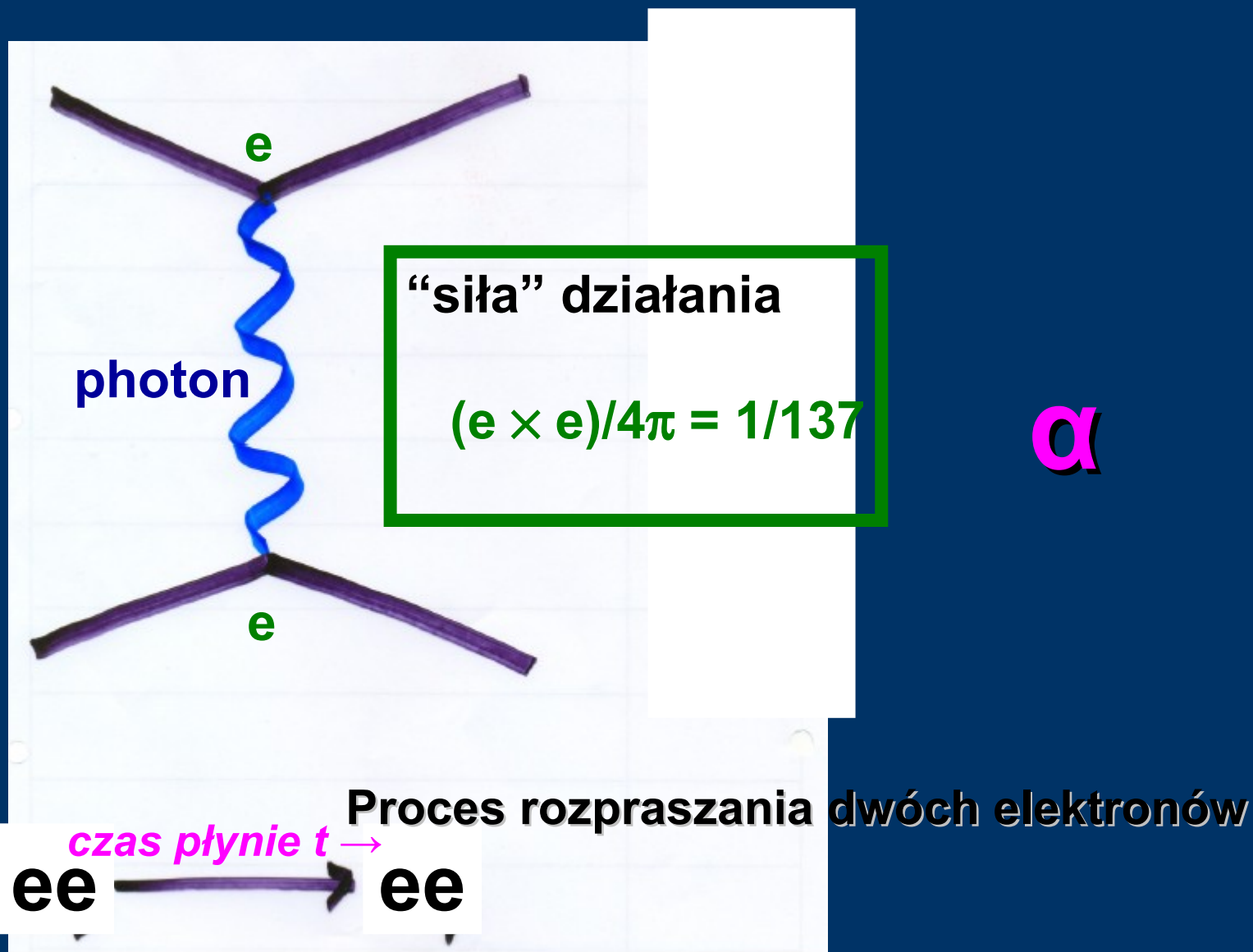


Nukleony



Jądra

Diagramy Feynmana dla oddziaływań elektromagnetycznych



"siła" działania

$$(e \times e)/4\pi = 1/137$$

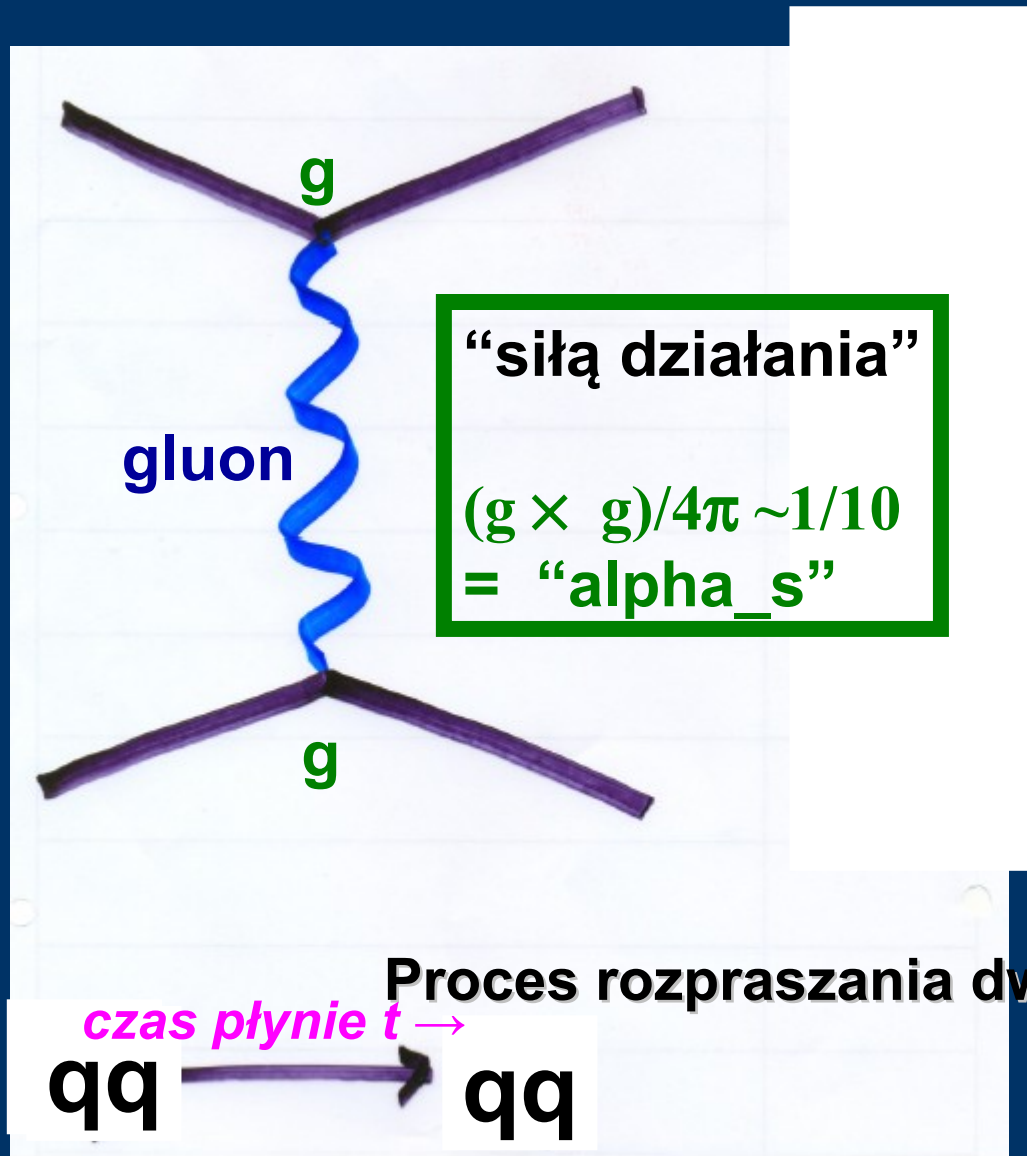
α

czas płynie $t \rightarrow$

ee \longrightarrow ee

Proces rozpraszania dwóch elektronów

Diagramy Feynmana dla oddziaływań kolorowych

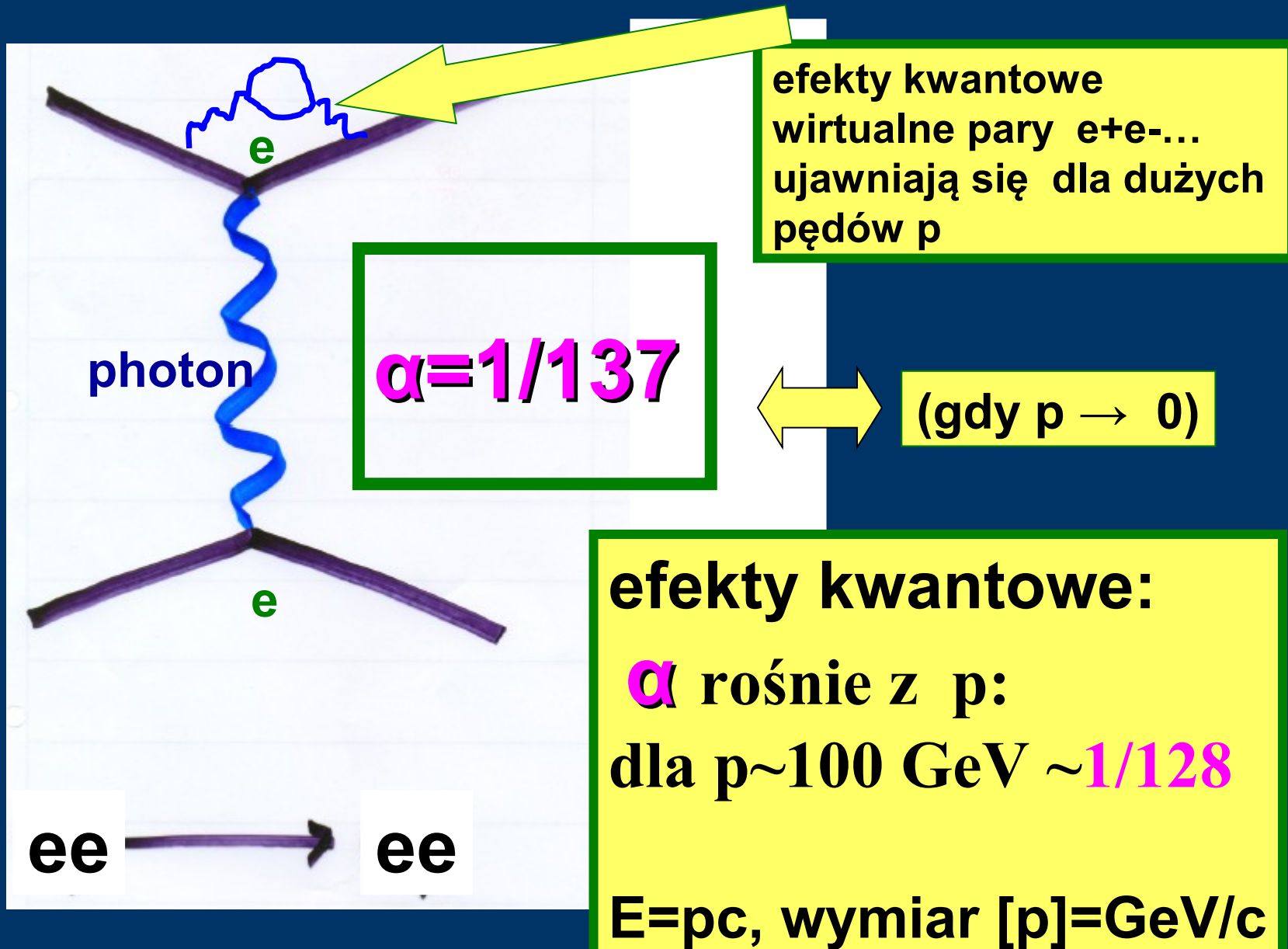


α_s

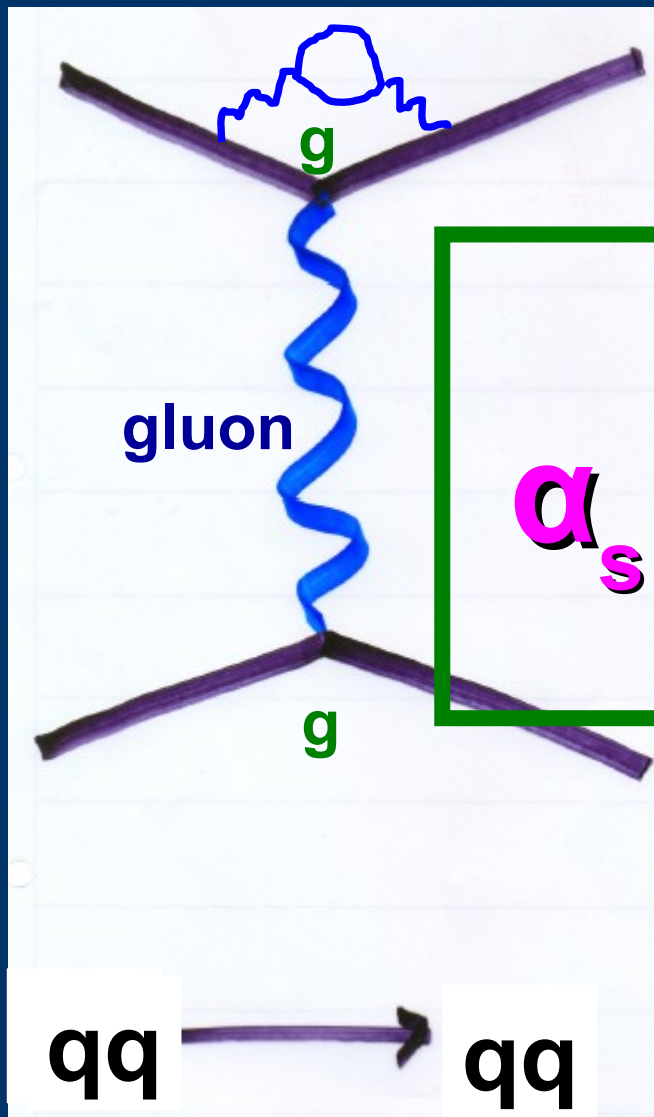
Proces rozpraszania dwóch kwarków

czas płynie $t \rightarrow$
qq \longrightarrow qq

Diagramy Feynmana dla oddziaływań elektromagnetycznych



Feynman diagrams for chromomagnetic interaction



Jak w QED, w QCD

ale również

$$\alpha_s \sim 1/10$$

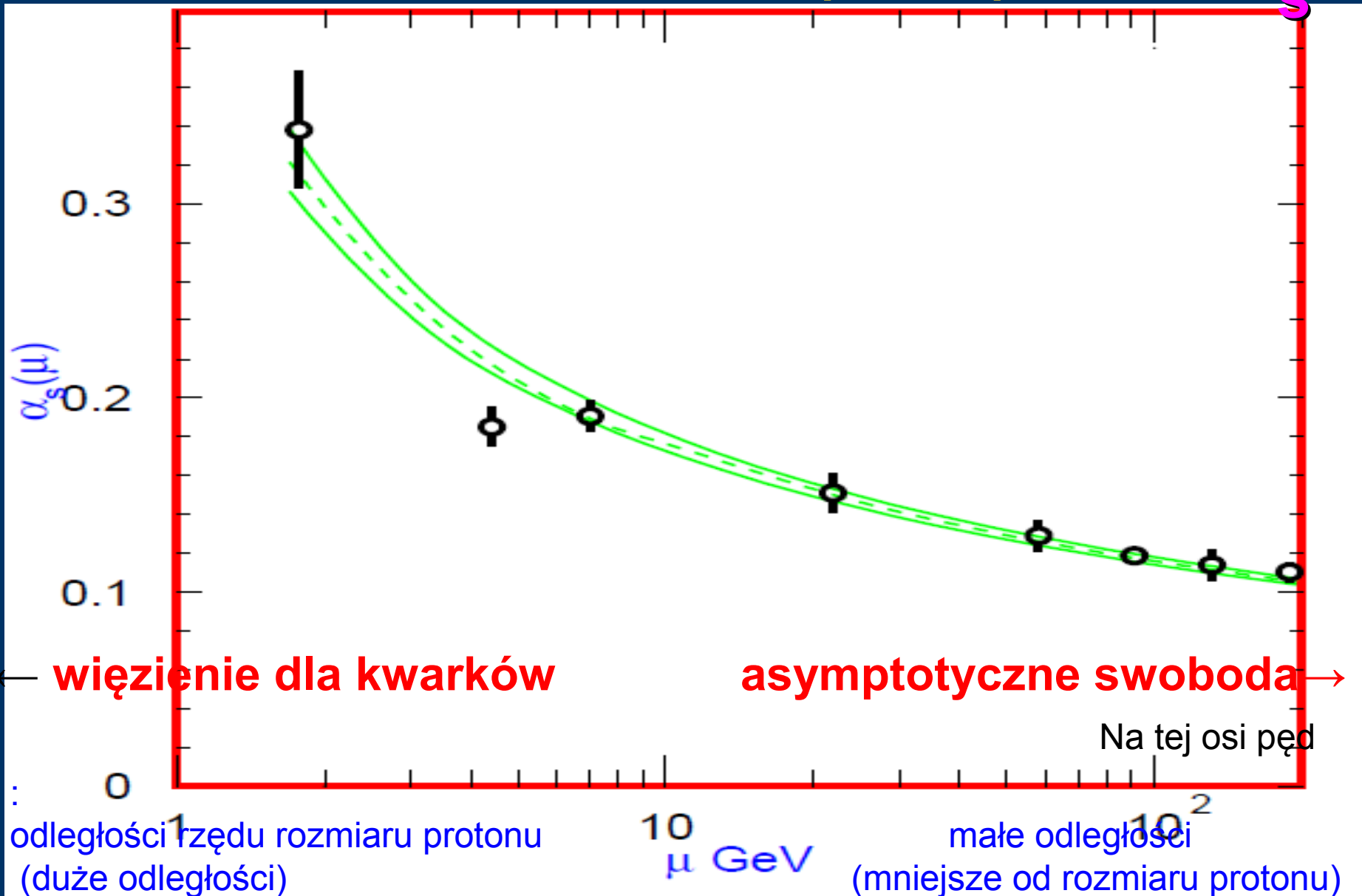
α_s maleje z p

= duża dla małych p
SILNE ODDZIAŁYWANIA!

= mała dla dużych p
“rachunek zaburzeń QCD”

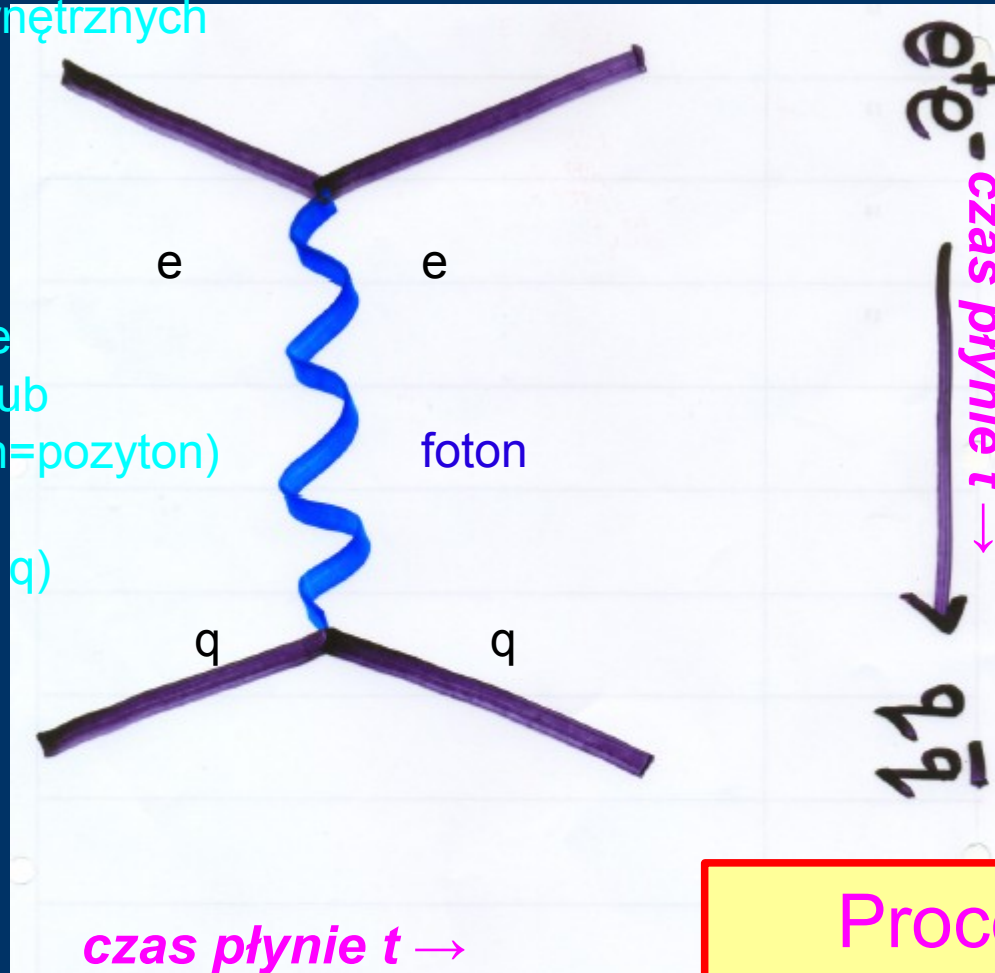
Biegająca stała sprzężenia: dane doświadczalne (2008)

α_s



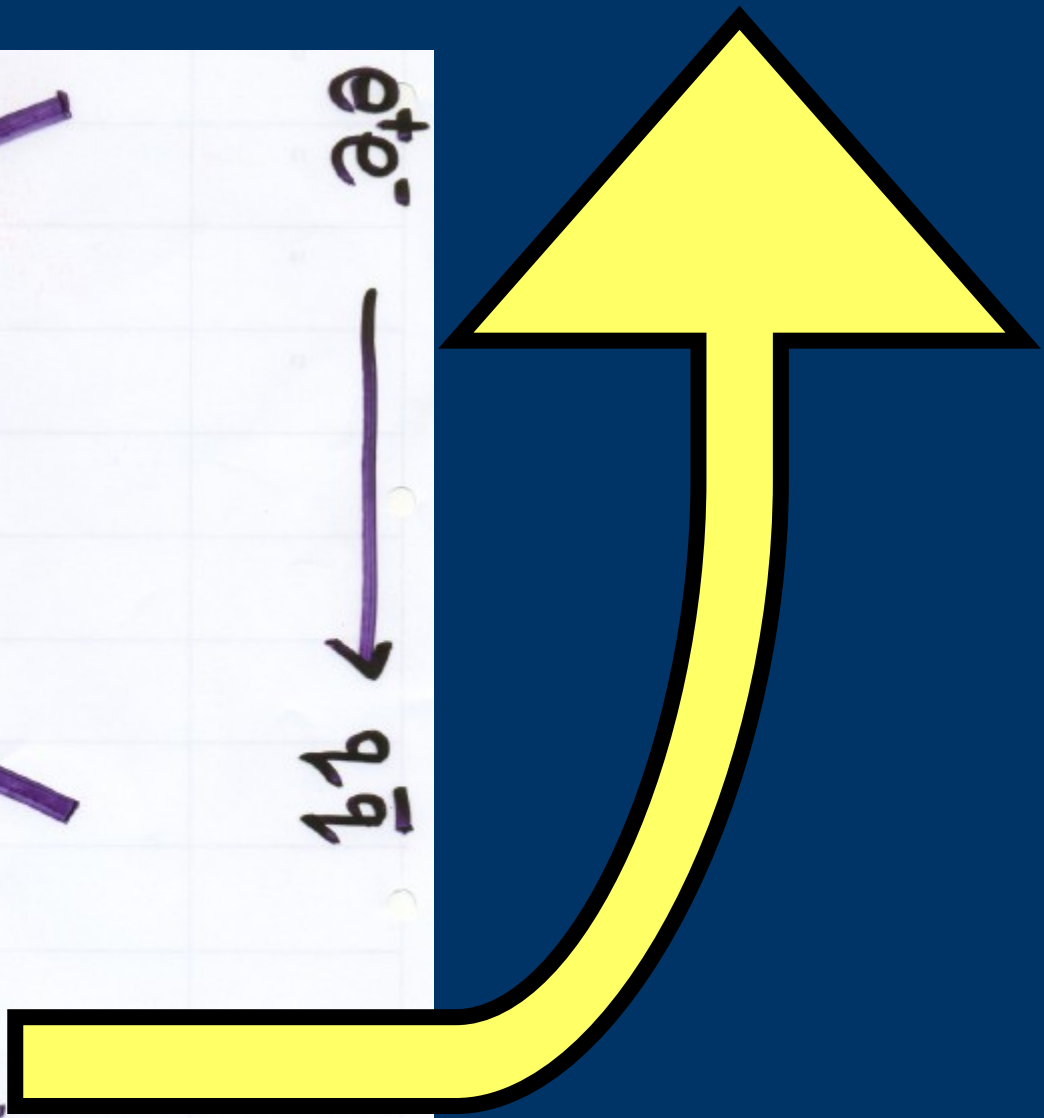
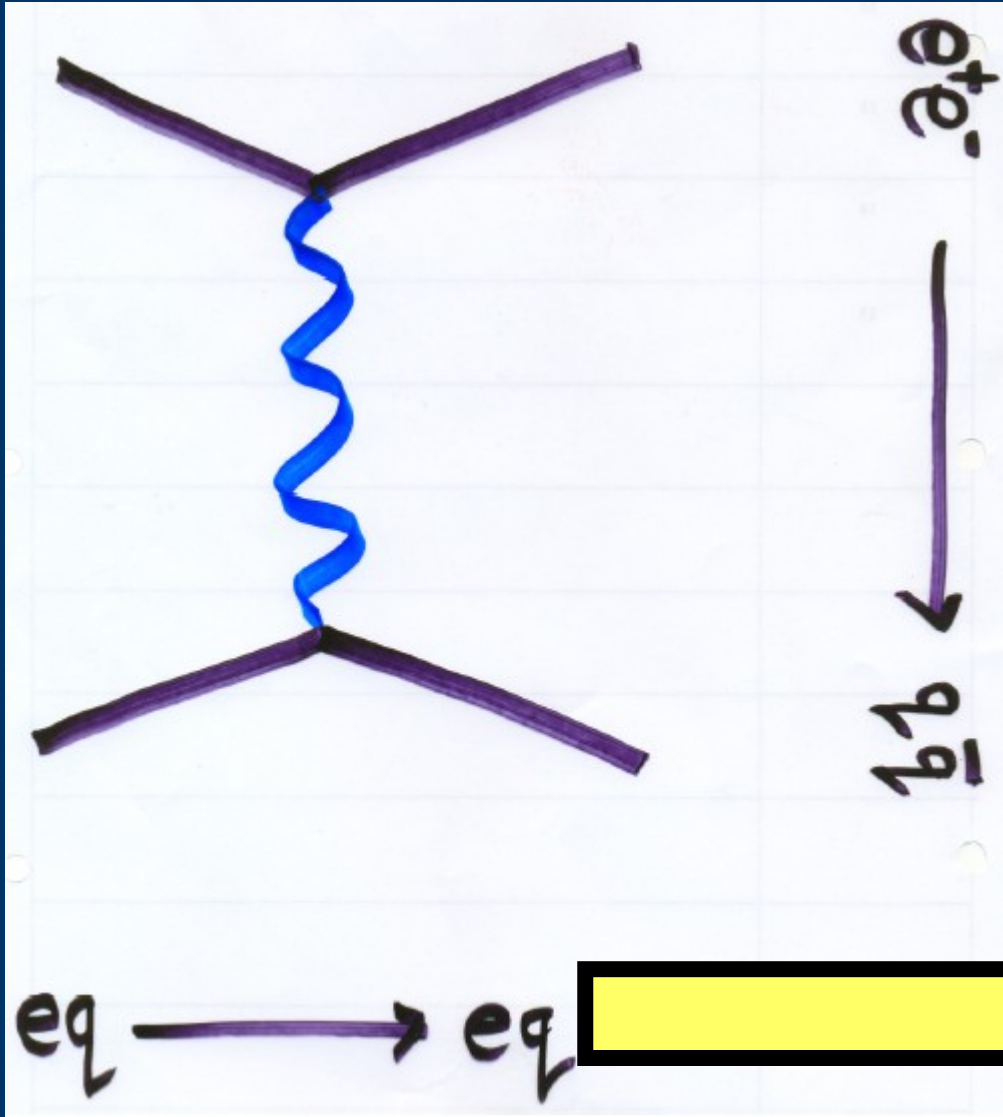
Procesy skrzyżowane: przykład dla oddz. elektromagnetycznych

Linie bez strzałek pozwalają opisywać różne procesy z udziałem ustalonych typów cząstek zewnętrznych

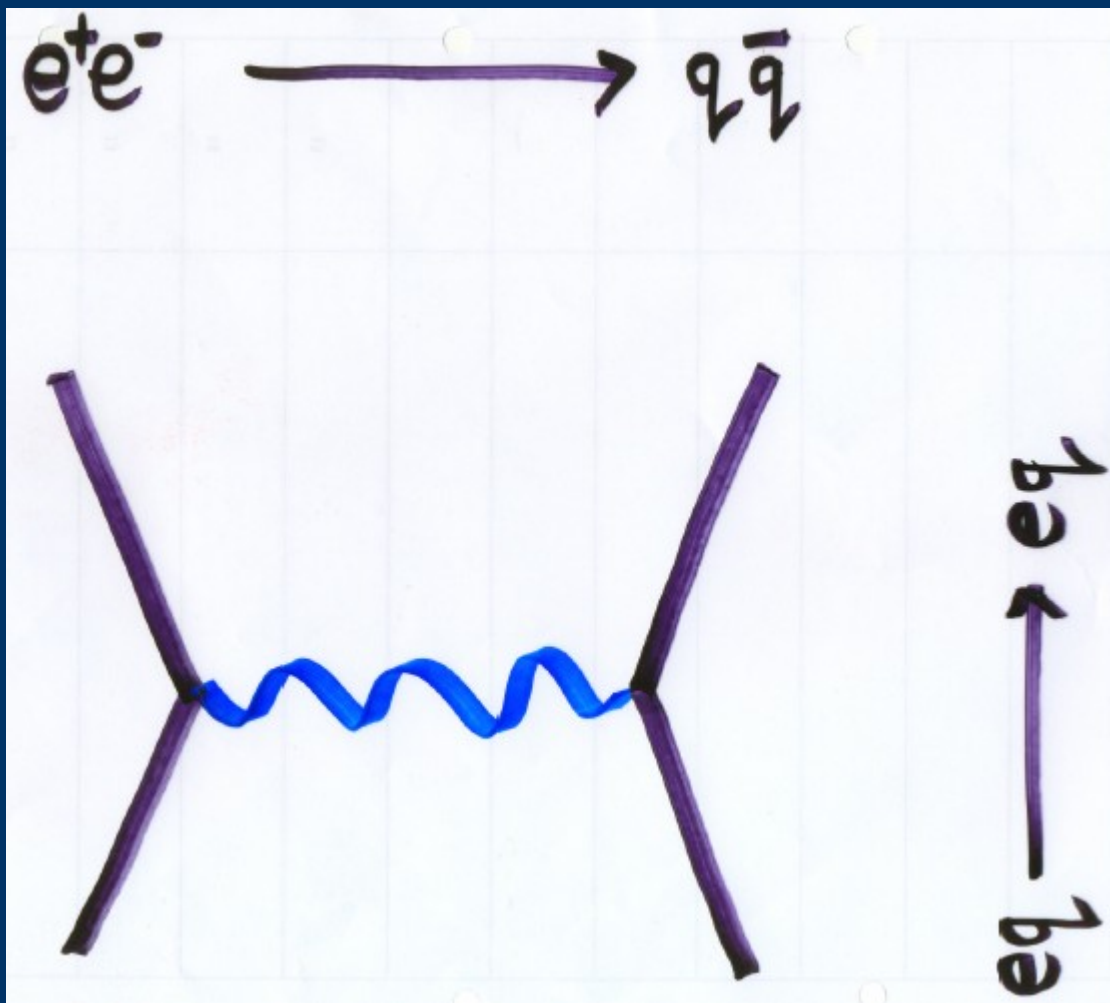


$$e^- q \rightarrow e^- q$$

Procesy skrzyżowane
 pozyton początkowy \rightarrow elektron końcowy
 a anty q końcowe \rightarrow q początkowe



Diagramy Feynmana dla oddziaływań elektromagnetycznych



Pytania do wykładu 5

- Co świadczy o istnieniu ciemnej materii: ruch planet czy galaktyk?
- Czy ciemna materia jest naładowana elektrycznie?
- Czy wiemy z czego składa się ciemna materia?
- Ile wynosi stała struktury subtelnej dla pędów $p \rightarrow 0$, a ile dla $p = 100$ GeV?
- Czy dla dużych energii (pędów) dwa elektrony oddziałują silniej czy słabiej?
- Ile wynosi stała sprzężenia oddziaływań silnych dla pędu ok. 1 GeV?
- Dla jakiego pędu α_s wynosi 1/10?
- Kiedy kwarki stają się bardziej swobodne (mniejsza „siła” działania) – dla dużych czy małych energii?
- Co to jest uwięzienie kwarków ?
- Wypisz procesy skrzyżowane do procesu rozproszenia kwarków:
 $u d \rightarrow u d$