

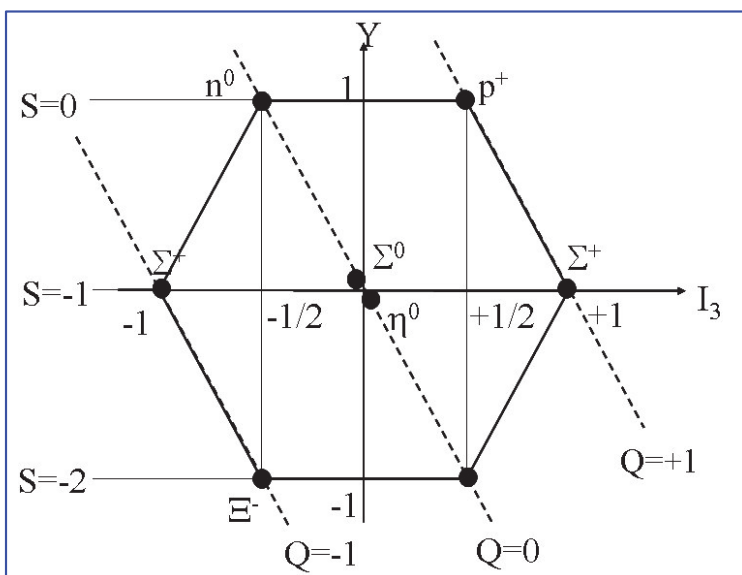
**Ryc. 3.13.** Proton (a) i cząstka  $\Delta^+$  są zbudowane tak samo – z dwóch kwarków *up* i jednego kwarku *down*; różnią się jedynie spinem, co powoduje, że cząstka  $\Delta^+$  jest aż o 30% cięższa niż proton (rys. dr T. Wróblewski © TW i GK)

Pozostaje jeszcze kwestia masy kwarków – i to jest problem „delikatny”. Mimo, że w każdym z nas są miliardy miliardów miliardów ( $>10^{27}$ ) kwarków, ich masy znamy z bardzo kiepską dokładnością. Według najlepszych oczarowań, tak doświadczalnych jak teoretycznych, masa kwarku *up* zawiera się między  $1,5 < m_{up} < 5$  a masa kwarku *down* między  $5 < m_{down} < 9$ , gdzie użytą jednostką jest stosowany już przez nas  $\text{MeV}/c^2$ .

Zadziwiająca jest, że tak lekkie (trzy) kwarki, nieco cięższe jedynie od elektronu  $m_e = 0,511 \text{ MeV}/c^2$ , składają się na tak ciężkie *nukleony* (przypominamy, o masach około  $938 \text{ MeV}/c^2$ ). Jest to oczywiście, efekt relatywistyczny – kwarki w nukleonach są tak „rozpędzone”, że ich gigantyczną energię kinetyczną obserwujemy jako wzrost masy. Kto to wyjaśni dokładniej, uzyska bez wątpienia Nagrodę Nobla!

### 3.10. Cząstki elementarne

Hipoteza kwarków okazała się niezwykle cenna dla badań teoretycznych (również doświadczalnych) nad cząstkami elementarnymi. Podobnie jak Sommerfeld w 1916 roku, tak fizycy jądrowi w latach 60-tych XX wieku wyszukiwali nowe liczby kwantowe, zachowane w przemianach cząstek „elementarnych”. Tworzyli również schematy, przypominające tablicę Mendelejewa. Przypominamy jedną z takich klasyfikacji, dla cząstek „ciężkich”, tzw. barionów.



**Ryc. 3.14.** Próba klasyfikacji „ciężkich” cząstek elementarnych, tzw. barionów: oktet barionowy; obserwowane cząstki zostały uporządkowane według spinu  $S$  i ładunku elektrycznego  $Q$ ; neutron znajdujemy w lewym górnym rogu a proton w prawym (rys. TW)

Wprowadzenie pojęcia kwarku bardzo uprościło klasyfikację cząstek. Według naszej obecnej wiedzy, kwarki mogą łączyć się jedynie w grupy po dwa (kwark + anty-kwark) lub w grupy po trzy, jak  $uud = \text{proton}$ ,  $udd = \text{neutron}$ .

Zestawy kwark + anty-kwark nazywamy *mezonami*, czyli cząstkami „pośrednimi”. Rzeczywiście, pierwszy (w 1949 r.) odkryty mezon,  $\pi^+$ , ma masę  $139 \text{ MeV}/c^2$ . Składa się on z

kwarku  $up$  i antykwarku  $\bar{d}$ . Jego antycząstka, mezon  $\pi^-$  ma identyczną masę ale ładunek przeciwny; składa się z anty-kwarku  $up$ ,  $\bar{u}$  i kwarku  $down$ ,  $d$  :  $\pi^- = (\bar{u}d)$ . Mezon obojętny elektrycznie  $\pi^0$  jest kwantową „mieszaniną” mezonów  $\pi^+$  i  $\pi^-$  :  $\pi^0 = 1/\sqrt{2}(u\bar{u} + d\bar{d})$ .

Mezony są niezwykle ważne: to one „sklejają” składniki jądra – protony i neutrony. Tak jak pole elektromagnetyczne (fotony) są przyczyną oddziaływania między ładunkami elektrycznymi, tak piony wymieniane bez przerwy między protonami i neutronami są przyczyną oddziaływań silnych (w jądrze). Rzuci to nowe światło na strukturę jądra: nie możemy w jądrze rozróżnić protonów od neutronów, bo bez przerwy wymieniają one między sobą własne składniki, czyli zespoły kwarków.

W ten sposób, związane przez kwarki w mezonach protony są neutronami a neutrony protonami. Od czasu do czasu, w cięższych jądrach powstaje przejściowy twór, cząstka alfa i może ona jądro opuścić. W reakcjach jądrowych, po przegrupowaniu kwarków, czasem zostaje namiarowy neutron, czasem proton. Reakcja przemiany dwóch kwarków, jak (3.16) również podlega zasadom prawdopodobieństwa – rozpad kwarków jest rządzone przez tzw. oddziaływania *słabe*.

Które z obserwowanych cząstek możemy zakwalifikować jako „elementarne”? Z pewnością *foton* i *elektron*. Mimo, że w produktach zderzeń wysokoenergetycznych elektronów np. z pozytonami obserwujemy roje innych cząstek, to pochodzą one z einsteinowego  $E = mc^2$ , czyli zamiany energii kinetycznej cząstek na masę innych cząstek. Nie zaobserwowano nigdy rozpadu elektronu na mniejsze fragmenty – jest to cząstka elementarna.

Elektron ma dwóch cięższych „partnerów”, które żyją bardzo krótko i rozpadają się m.in. na elektron. Są to tzw. miony,  $\mu$  (masa 207 razy większa niż elektron) i cząstka tau ( $\tau$ ) o masie 3477 razy większej niż masa elektronu. Rodzinę tych trzech cząstek nazywamy *leptonami*, czyli cząstkami lekkimi. Trzy leptony (i trzy anty-leptony) to też cząstki elementarne.

Również kwarki tworzą trzy rodziny (generacje): *up – down*, *strange – charm*, *top – bottom*, o rosnących masach. Wyższe generacje kwarków nie są stabilne. Pierwszy kwark „egzotyczny”, *strange* – dziwny odkryli w 1952 roku Polacy, M. Danysz i J. Pniewski. Kolejne kwarki odkrywano były za pomocą wielkich akceleratorów. Czy już wszystko wiemy?<sup>22</sup>

Model teoretyczny zakładający trzy generacje kwarków i leptonów jak do tej pory się sprawdza. Nie bardzo potrafimy przewidzieć np. masę protonu, ale model ten, oparty na parametrach uzyskany z wieloletnich doświadczeń, dobrze wyjaśnia obserwowane różne reakcje między cząstkami.

Podjęto wiele prób rozszerzenia/ zmiany tego modelu. Wymienimy tu teorię strun, hipotezy o ukrytych wymiarach czasoprzestrzeni, grawitację kwantową itd. Żadna z nich nie daje tak rewolucyjnych wniosków o świecie wokół nas, jak to dały np. prawa Maxwella. Tymczasem, wydaje się, że nadciąga burza, podobna do hipotezy Plancka.

W rozważaniach o Wszechświecie, „nie zgadza” się bilans 96% masy i energii. Na razie, roboczo, nieobserwowalny (a z pewnością istniejący) Wszechświat nazwaliśmy *ciemną masą* i *ciemną energią*. Co to jest, dziś (01/07/2012) tak naprawdę nie mamy nawet mglistego pojęcia.

---

<sup>22</sup> Dodatkowe materiały, stworzone w ramach projektu UE „Physics is Fun” koordynowanego przez autora, znajdzie Czytelnik na stronach internetowych ZDF UMK w wersji polskiej [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy\\_archiwum/z\\_omegi/index-pl.html](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/index-pl.html) i rozbudowanej wielojęzycznej [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics\\_is\\_fun/html/index-en.html](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Physics_is_fun/html/index-en.html) W szczególności, cząstkom elementarnym zostało poświęconych 5 plakatów dydaktycznych, zob. np. [http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Pliki/Kwarki\\_plakaty/enigma5pl.pdf](http://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Pliki/Kwarki_plakaty/enigma5pl.pdf)