



## *Честице и античестице. Кваркови*

### *- Честице и античестице*

Прву претпоставку да постоји античестица је дао енглески физичар Пол Дирак (*Paul Dirac*) 1930. године. Његова теоретска претпоставка је убрзо експериментално потврђена. Скоро свака елементарна честица има своју античестицу. Честица и античестица имају исту масу, спинове, једнако вријеме живота, исту количину наелектрисања, исти интензитет магнетног момента. Разликују се по знаку наелектрисања и по смјеру магнетног момента. Честица и античестица су на примјер електрон и позитрон, неутрино и антинеутрино итд.

Поред наведеног, честица и античестица се разликују и по знаку два квантна броја која се уводе у физици елементарних честица: лептонском и барионском броју.

**Лептонски број** је дефинисан тако да се лептони разликују од антилептона, као и да се лептони разликују од других честица. Лептонски број лептона је  $+1$ , антилептона  $-1$ , а честица које нису лептони  $0$ . Међутим, иако је дефинисан само да се разликују наведене честице, лептонски број има свој физички смисао.

У сваком физичком процесу важи **закон одржања лептонског броја**: Збир лептонских бројева свих честица које ступају у реакцију једнак је збиру лептонских бројева честица које се добијају у реакцији.

**Барионски број** је дефинисан тако да се бариони разликују од антибариона, као и да се бариони разликују од других честица. Барионски број бариона је  $+1$ , антибариона  $-1$ , а честица које нису бариони  $0$ . Међутим, иако је дефинисан само да се разликују наведене честице, барионски број има свој физички смисао.

У сваком физичком процесу важи **закон одржања барионског броја**: Збир барионских бројева свих честица које ступају у реакцију једнак је збиру барионских бројева честица које се добијају у реакцији.



При сусрету спорих честице и античестице долази до њихове анихилације, као што смо видјели код електрона и позитрона. Постоји мали број елементарних честица које не могу да се анихилирају, тј. оних које немају своју античестицу. За такве честице кажемо да су **апсолутно неутралне** (фотон,  $\pi^0$ - мезон,  $\eta^0$ - мезон...). Немогуће је да честица и античестица егзистирају једна поред друге, због анихилације. Античестице добијамо под дејством космичког зрачења, производе се експериментално, али се брзо анихилирају.

Оправдано је вјеровати да негдје у свемиру постоји свијет, читава галаксија састављена од античестица. Такав антисвијет се не би ни по чему разликовао од нашег, звијезде би емитовале фотоне исто као нормалне звијезде, без икакве разлике. Евидентно је да због анихилације не може постојати галаксија која би имала уравнотежен број честица и античестица, јер би она јако брзо нестала у облику електромагнетног зрачења. Оно за шта би могла да се користи антиматерија је прављење чисте енергије у којем би гориво биле честице и античестице које би својим анихилацијама ослобађале огромну енергију.

### - Кваркови

Већ смо напоменули да фундаменталних/недјелјивих честица има јако мало. Изучавајући структуру атома, језгра па и самих нуклеона устављено је да и нуклеони имају своју структуру. На тај начин формира се хипотеза о постојању **кваркова** (1964. година). Од честица које смо до сада спомињали, фундаментални су лептони. За хдроне смо рекли да су састављени од кваркова.

Кваркови су фундаменталне честице. Сматра се да постоји шест кваркова (и шест антикваркова):  $u$ ,  $d$ ,  $s$ ,  $c$ ,  $b$  и  $t$  (*up*, *down*, *strange*, *charm*, *bottom* и *top*). Ту су кваркови поређани од најмање ка највећој маси. Особине кваркова су:

- Кваркови су наелектрисане честице: кваркови  $u$ ,  $c$  и  $t$  имају наелектрисање  $+\frac{2}{3}e$ , а кваркови  $d$ ,  $s$  и  $b$  имају наелектрисање  $-\frac{1}{3}e$ ;
- Спин кварка је  $\frac{1}{2}$ .

Сваки мезон је састављен од кварка и антикварка. Због тога је наелектрисање мезона  $+e$ ,  $-e$  или  $0$ , а спин им је  $0$  или  $1$  (нпр.  $\pi^+$ - мезон има структуру  $u\bar{d}$ ).

Бариони су састављени од три кварка или три антикварка- зато бариони имају полуцијели спин, а наелектрисање може бити  $0$ ,  $\pm e$ ,  $\pm 2e$  (нпр. структура протона је  $udd$ ).

Међутим, у почетку заснивања теорије кваркова увидјели су да се неке честице састоје од три иста кварка. То је било у супротности са Паулијевим принципом, који је предвиђао да се не смију наћи идентичне честице са истим вриједностима квантних бројева у истом квантно-механичком стању. Због тога је кварковима додјељен још један допунски квантни број који описује унутрашње својство кваркова. Тај квантни број се назива **"боја"**. Претпоставка је да постоје три боје кваркова: црвена, зелена и плава (и за антикваркове антицрвена, антизелена и антиплава боја). Смисао тих боја је да одреди какви кваркови могу градити неку честицу: хадрони су безбојни.

Према томе, бариони су безбојни јер се праве као комбинација три кварка комплементарних боја (које својом комбинацијом дају бијелу боју). А мезони су безбојни због тога што настају комбинацијом једне боје и одговарајуће антибоје.

Постојање кваркова је доказано, како је и напоменуто на почетку ове приче. Међутим, самосталан кварк (изван хадрона) није детектован. Кривац за то је, према данашњим схватањима, природа силе која држи кваркове на окупу унутар хадрона. Наравно, још једно питање на које се не може одговорити јесте да ли су кваркови и најмање честице од којих је саткана материја.

У сваком случају, према данашњој теорији елементарних честица, цјелокупна материја је саграђена од 6 лептона и 6 кваркова (и наравно још толико античестица). Они су сву обухваћени такозваним стандардним моделом елементарних честица.





**Стандардни модел** је физичка теорија која описује фундаменталне честице као и основне интеракције међу њима. Од 12 фундаменталних честица, 3 су јако битне јер граде атоме. Кваркови  $u$  и  $d$  граде неутроне и протоне, и заједно са електронима граде атоме и читав универзум. Осталих девет фундаменталних честица је уочено у акцелераторима честица.

Интеракције су такође битан дио ове приче. Да нема интеракција, ове честице би слободно лутале космосом а материја какву данас знами, не би постојала. Интеракције се остварују помоћу преносиоца интеракција (глуона, фотона,  $W$  и  $Z$  бозона). Односно, честице између себе размјењују ове преносиоце и тако остварују одговарајућу интеракцију. Нпр. глуони (јака нуклеарна сила) су задужени да држе кваркове на окупу унутар нуклеона, фотони су задужени за електромагнетне интеракције (држе електроне око језгра),  $W$  и  $Z$  бозони (слаба нуклеарна сила) су задужени за неке радиоактивне распаде итд. Видјели смо да постоје четири основне интеракције. Стандардни модел описује 3 интеракције, не описује гравитациону. Гравитациона интеракција је најзагонетнија, јер је најслабија па ју је тешко изучавати. Честица која преноси гравитациону интеракцију- гравитон, никада није откривена. Поред честица и преносиоца интеракције, у стандардном моделу је и **Хигсов бозон**, који објашњава откуд тијелима маса.

Стандардни модел елементарних честица је можда и најуспјешнија физичка теорија у историји: она нам даје формулу како је изграђен космос- разним комбинацијама 12 фундаменталних честица уз присуство преносиоца интеракција. Стандардни модел добија на значају открићем  $u$  кварка (1995. године), тау неутрина (2000. године) и Хигсовог бозона (2013. године). Међутим, у њему је још доста неријешених ствари: како уклопити гравитацију у стандардни модел; не може да објасни добро убрзано ширење свјетлости као тамна материја; зашто постоји 12 фундаменталних честица и да ли их има још...

На сљедећој слици је приказан стандардни модел елементарних честица који укључује 12 фундаменталних честица, 4 преносиоца интеракције и Хигсов бозон.

## Стандардни модел елементарних честица

		Три генерације материје			Бозони	
		1	2	3		
Маса	→	$\approx 2.3 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 126 \text{ GeV}/c^2$
Наелектрисање	→	$2/3$	$2/3$	$2/3$	0	0
Спин	→	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	0
		<b>u</b> Горе	<b>c</b> Зачарани	<b>t</b> Врх	<b>g</b> Глуон	<b>H</b> Хигсов бозон
		<b>d</b> Доле	<b>s</b> Чудни	<b>b</b> Дно	<b>γ</b> Фотон	
		<b>e</b> Електрон	<b>μ</b> Мион	<b>τ</b> Тау	<b>Z</b> Z бозон	
		<b>ν<sub>e</sub></b> Електронски неутрино	<b>ν<sub>μ</sub></b> Мионски неутрино	<b>ν<sub>τ</sub></b> Таонски неутрино	<b>W</b> W бозон	