



**Национальный исследовательский ядерный  
университет «МИФИ»**

**Институт ядерной физики и технологий**

**Лаборатория экспериментальной ядерной физики**  
**<http://enpl.mephi.ru/>**

**А.И. Болоздыня**

**Экспериментальная ядерная физика**

**Лекция №27**

**Странные частицы**

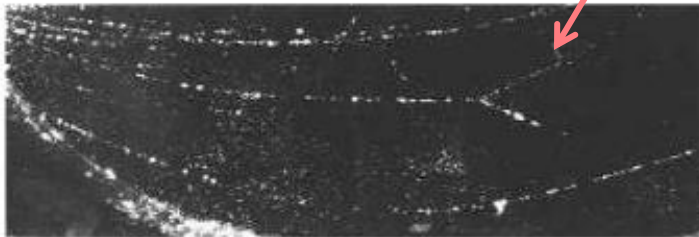
## *Лекция №27*

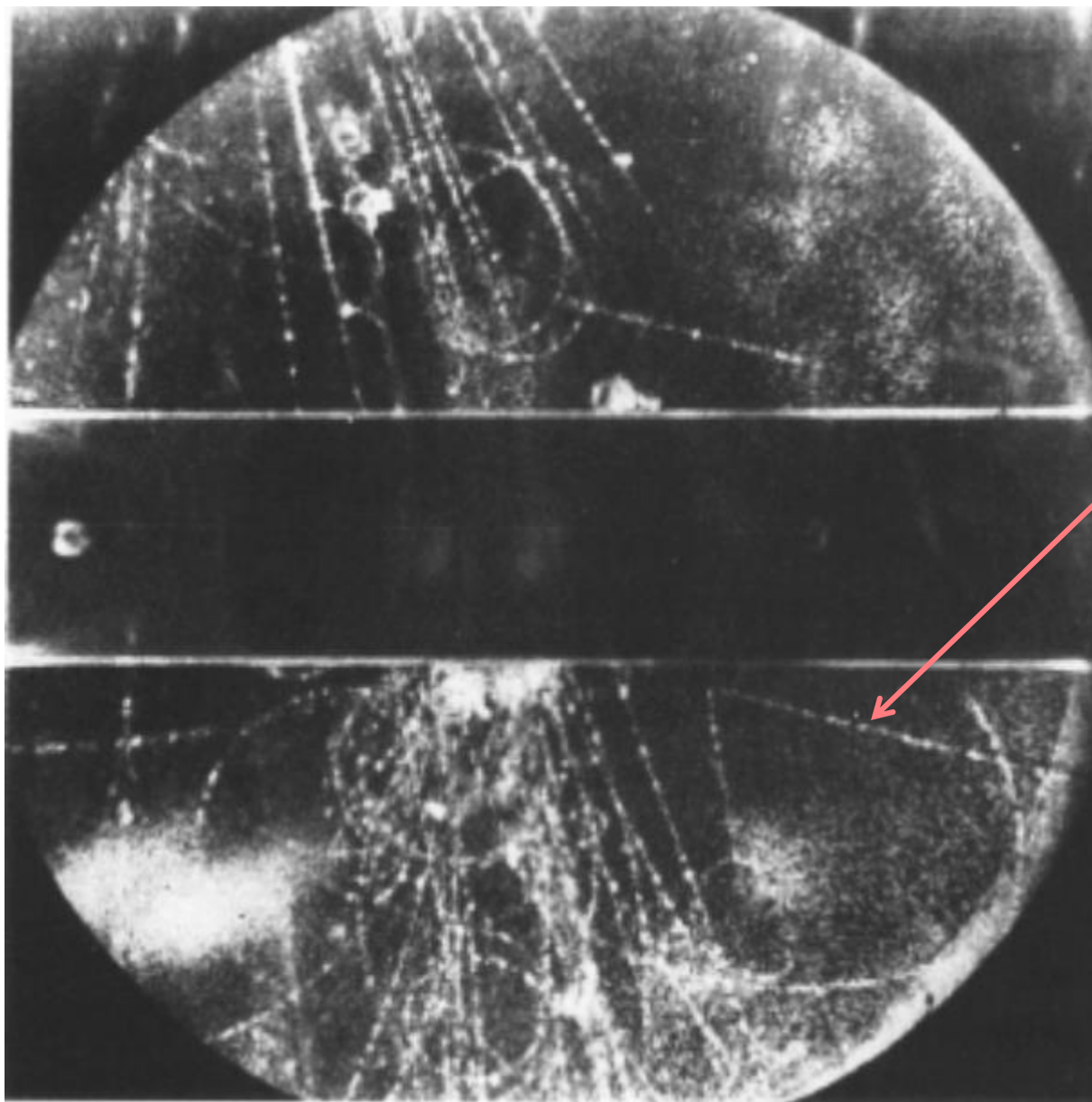
### ***Странные частицы***

1. V-частицы
2. Каоны
3. Несохранение четности в K-распадах
4. Гипероны
5. Гиперядра
6. Систематика странных частиц

## V-частицы

В течение 10 лет, последовавших за открытием пиона в 1947 году, в результате изучения космических лучей и экспериментов на ускорителях таблица частиц начала быстро пополняться новыми частицами. За это время их было открыто свыше 30. Первыми из открытых частиц были K-мезоны или каоны, частицы с массой  $\sim 500$  МэВ. Затем были обнаружены тяжелые частицы  $\Lambda$  и  $\Sigma$ . Была обнаружена странная особенность вновь открытых частиц - они рождались парами, хотя не были частицей и античастицей.

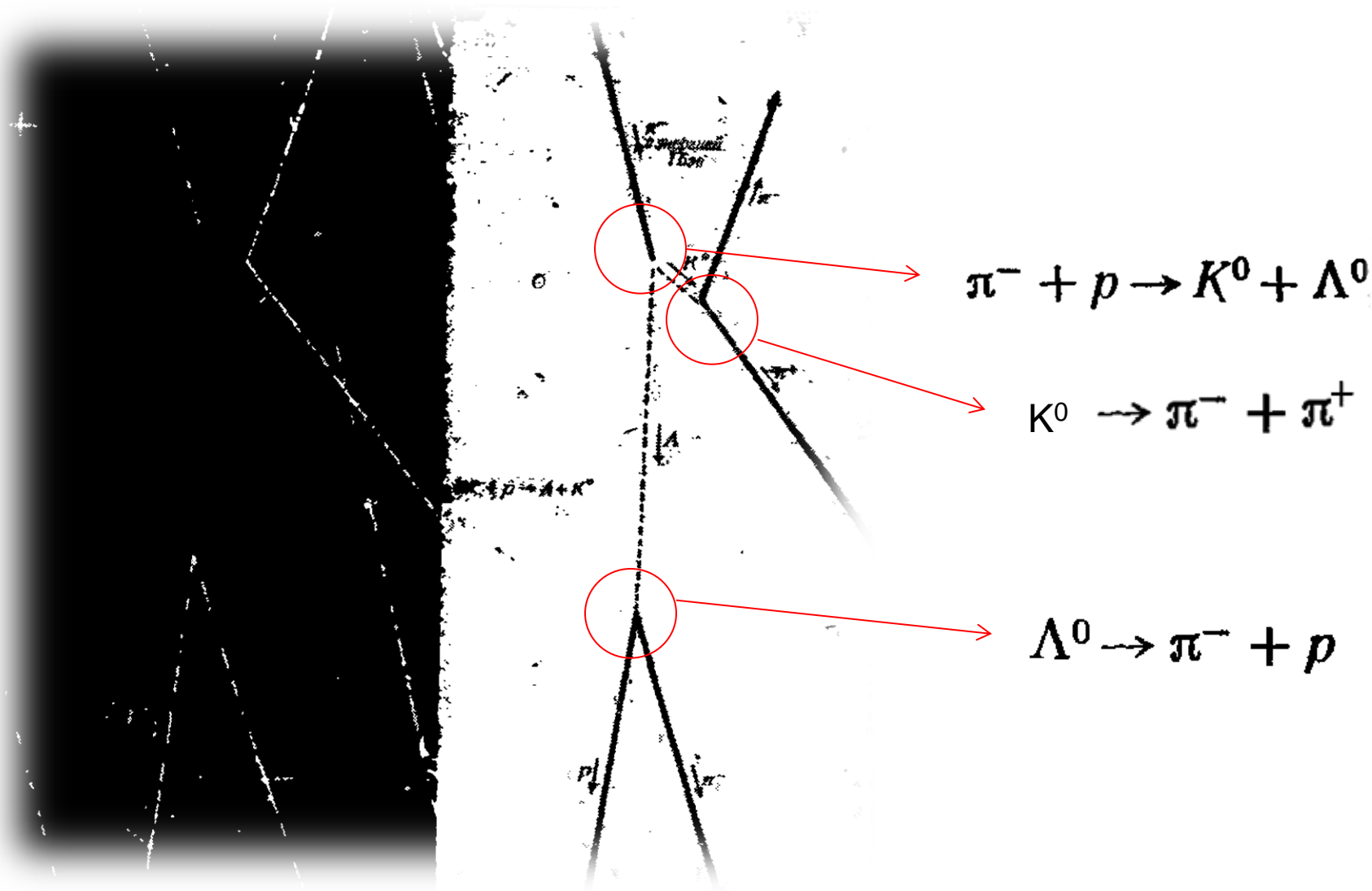




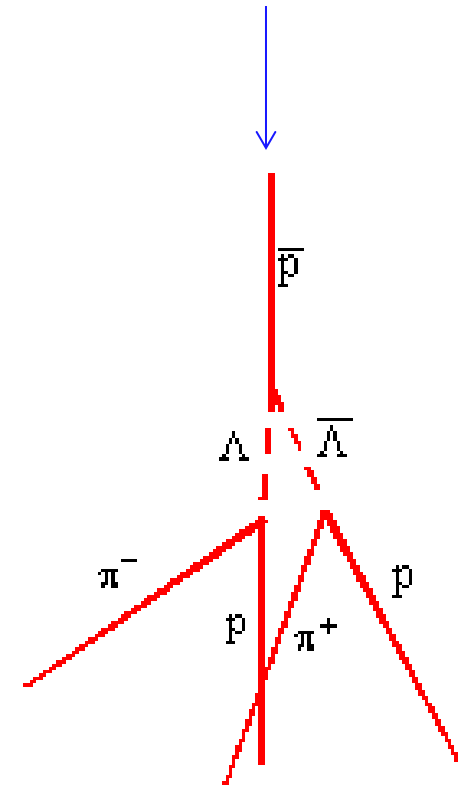
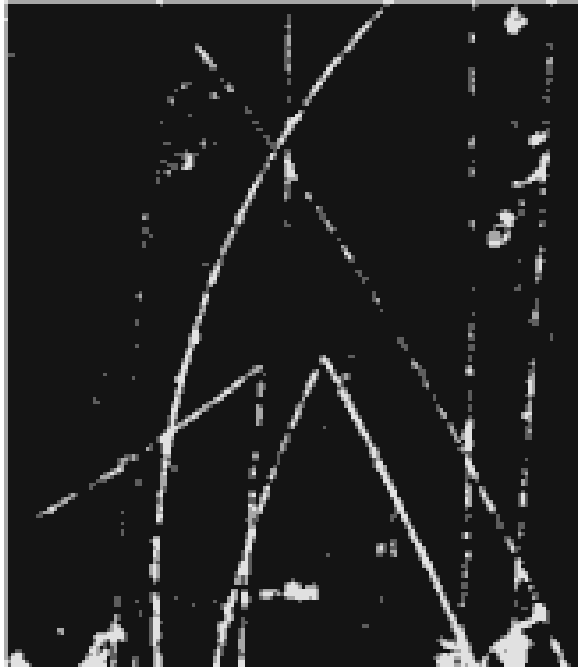
## Открытие V-частиц

в камере Вильсона,  
помещённой в  
магнитное поле.

Об этом открытии было  
сообщено в статье,  
напечатанной в 1947  
году в журнале  
*Nature*, английскими  
физиками  
G D Rochester,  
C C Butler.



Наблюдение странных частиц в пузырьковой камере при взаимодействии энергичных пионов с ядром водорода в ускорительном эксперименте



Наблюдение пары странных частиц в жидководородной пузырьковой камере при аннигиляции антипротона в ускорительном эксперименте

Вторая особенность поведения странных частиц – относительно **большое время жизни**.

В результате распада странных частиц образовывались сильновзаимодействующие частицы - пионы и нуклоны, поэтому, казалось бы, время жизни странных частиц должно быть «ядерным», т.е.  $\sim 10^{-22}-10^{-23}$  с

Однако, их времена жизни  $\sim 10^{-10}$  сек оказались более характерными для слабого взаимодействия.

М.Гелл-Манн (Н.п.1969) и К. Нишиджима высказали предположение, что странная частица является носителем нового квантового числа, которое было названо **странностью s**.

Квантовое число s может принимать значения -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3 и определяется кварковым составом адронов

$$\begin{aligned} s(K^+, K^0) &= +1, \\ s(\Lambda, \Sigma^+, \Sigma^-, \Sigma^0, K^-, \bar{K}^0) &= -1, \\ s(\Xi^-, \Xi^0) &= -2, \quad s(\Omega^-) = -3. \end{aligned}$$

Согласно соотношению Гелл-Мана – Нишиджимы заряд странной частицы

$$Q = I_z + Y/2,$$

где гиперзаряд  **$Y = B + s + c + b + t$**  есть сумма квантовых чисел:

**B** - барионное число, **s** - странность, **c** - очарование, **b** - bottom, **t** - top.

*Образование и распад странных частиц управляются законом сохранения странности.*

### **Закон сохранения странности**

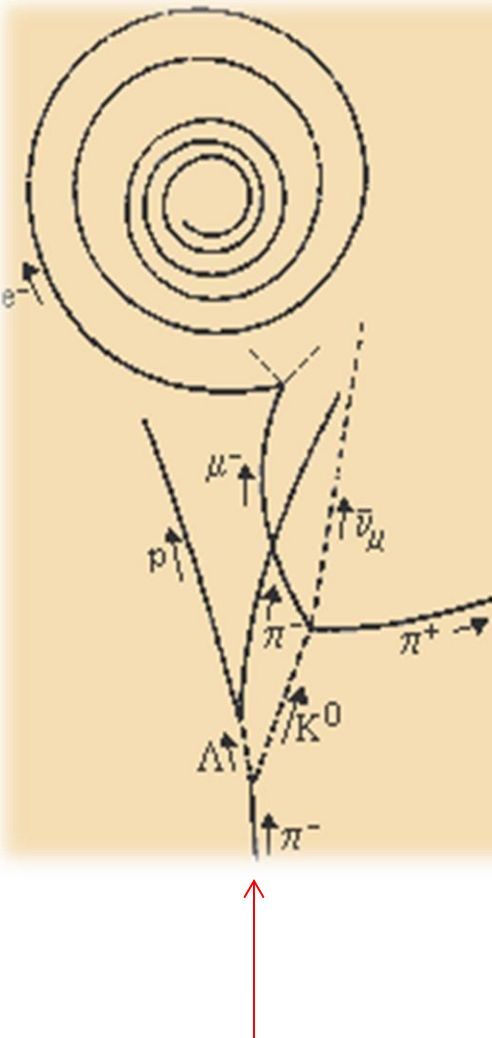
В сильных и электромагнитных взаимодействиях странность сохраняется  $\Delta s = 0$ .

В слабых взаимодействиях странность не изменяется или изменяется на единицу  $\Delta s = 0, \pm 1$ .

Это позволило объяснить и парное рождение странных частиц в реакции сильного взаимодействия и большое время жизни в результате распада, происходящего за счёт слабого взаимодействия

**Изоспин сохраняется только в сильных взаимодействиях. В электромагнитных взаимодействиях сохраняется проекция изоспина.**

Пример парного рождения и распада странных частиц в жидководородной пузырьковой камере, помещённой в магнитное поле



При взаимодействии  $\pi^-$ -мезона с протоном в пузырьковой камере образуются две нейтральные странные частицы  $\Lambda$  и  $K^0$ .  
 $\pi^- + p \rightarrow \Lambda + K^0$ .

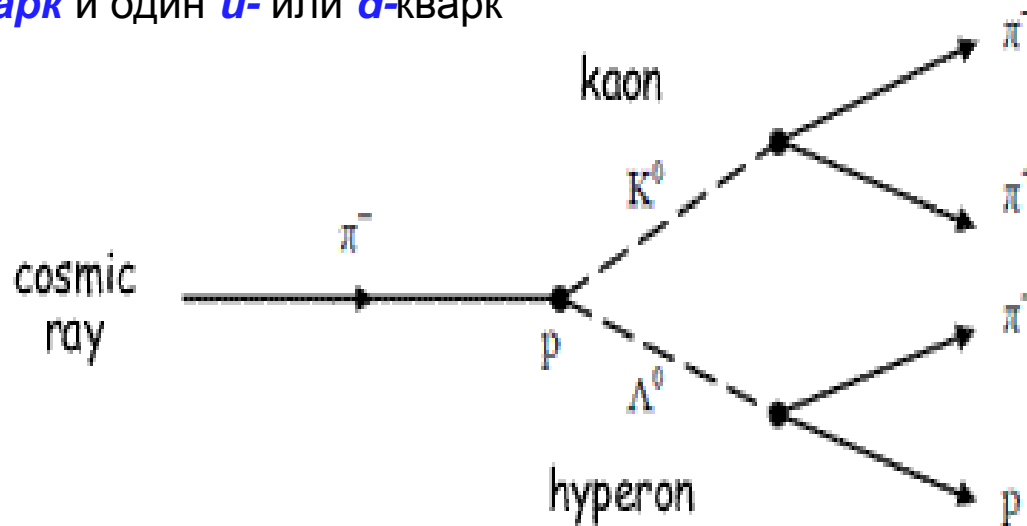
Они распадаются в результате слабого взаимодействия  
 $\Lambda \rightarrow p + \pi^-$ ,  $K^0 \rightarrow \pi^+ + \mu^- + \bar{\nu}_\mu$ .

Образующийся отрицательный мюон в свою очередь также в результате слабого взаимодействия распадается  
 $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$ .

Траектории заряженных частиц искривляются под действием приложенного магнитного поля. Особенно это отчетливо видно у электрона, радиус кривизны траектории которого уменьшается по мере того как он теряет энергию. Нейтральные частицы, которые не оставляют следов в пузырьковой камере показаны штриховыми линиями.

## 2. Каоны (K-мезоны)

- самые лёгкие частицы из всех *странных* адронов, содержащие один *странный кварк* и один *u*- или *d*-кварк



Известно 4 различных K-мезона с примерно одинаковыми массами.

$K^+(u\bar{s})$ ,  $m(K^+) = 493.677$  МэВ;

$K^-(\bar{u}s)$ ,  $m(K^-) = 493.677$  МэВ;

$K^0(d\bar{s})$ ,  $m(K^0) = 493.672$  МэВ;

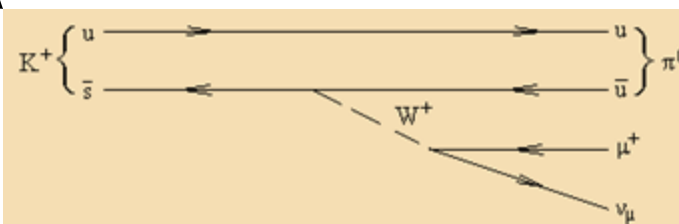
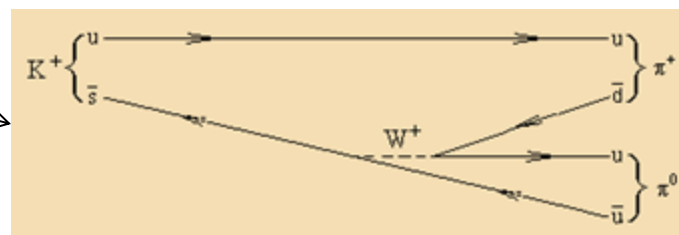
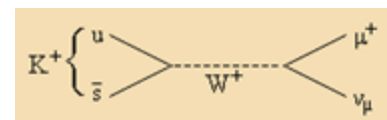
$\bar{K}^0(\bar{d}s)$ ,  $m(\bar{K}^0) = 493.672$  МэВ.

Так же как и  $\pi$ -мезоны, K-мезоны имеют спин  $J = 0$  и отрицательную четность

$$J^P(K^+, K^-, K^0, \bar{K}^0) = 0^-.$$

Частица	Символ	Анти-частица	Кварковый состав частицы	Спин и чётность, $J^{\pi}$	Масса МэВ/c <sup>2</sup>	S	C	B	Время жизни с	Распадается на
Заряженный каон	$K^+$	$K^-$	$u\bar{s}$	Псевдоскаляр ( $0^-$ )	493,667 (16)	+1	0	0	$1,24 \cdot 10^{-8}$	$\mu + \nu_{\mu}$ или $\pi^+ + \pi^0$ или $\pi^+ + \pi^+ + \pi^-$ или $\pi^0 + e^+ + \nu_e$
Нейтральный каон	$K^0$	$\bar{K}^0$	$d\bar{s}$	Псевдоскаляр ( $0^-$ )	497,614 (24)	+1	0	0	слабый распад см. ниже	

Каналы распада $K^+$ -мезона	Относительные вероятности распада %
$\mu^+ \nu_{\mu}$	63.5
$e^+ \nu_e$	$1.5 \cdot 10^{-5}$
$\pi^+ \pi^0$	21.16
$\pi^+ \pi^+ \pi^-$	5.59
$\pi^+ \pi^0 \pi^0$	1.73
$\pi^0 \mu^+ \nu_{\mu}$	4.82
$\pi^0 e^+ \nu_e$	$2.1 \cdot 10^{-5}$
$\pi^+ \pi^- e^+ \nu_e$	$3.91 \cdot 10^{-5}$
$\pi^+ \pi^- \mu^+ \nu_{\mu}$	$1.4 \cdot 10^{-5}$
$\mu^+ \nu_{\mu} e^+ e^-$	$1.3 \cdot 10^{-7}$

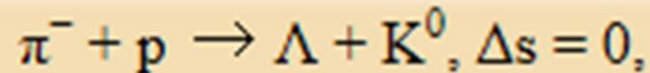


### 3. Несохранение четности в K-распадах

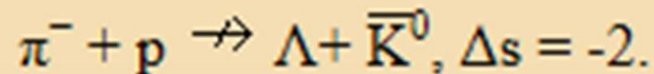
Нейтральные мезоны  $K^0$  и  $\bar{K}^0$  являются частицей и античастицей.

Единственное квантовое число, которым различаются  $K^0$  и  $\bar{K}^0$ , - это **странность**  $S(K^0) = 1$ ,  $S(\bar{K}^0) = -1$ , поэтому они по-разному ведут себя в сильном взаимодействии:

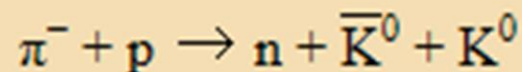
Например,  $K^0$ -мезоны могут образовываться в реакции



в то время как для  $\bar{K}^0$ -мезонов такая реакция запрещена

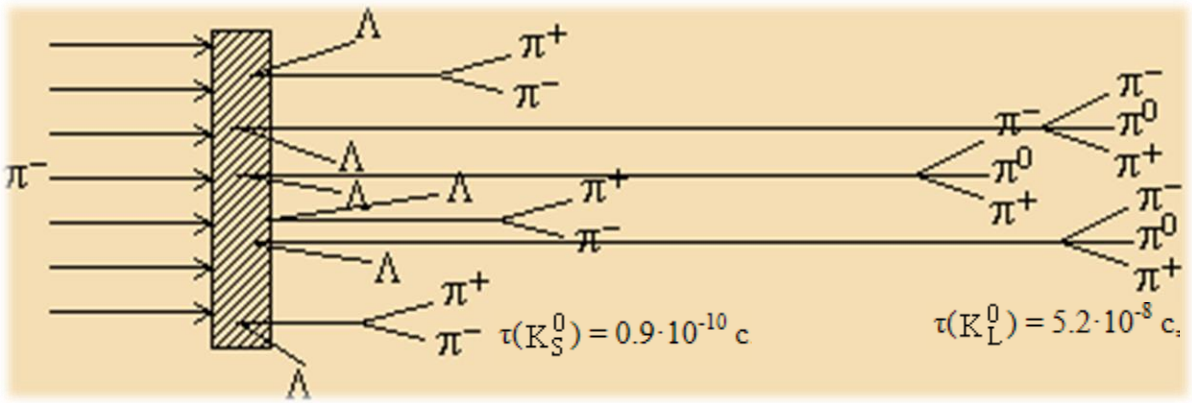


$\bar{K}^0$  в сильных взаимодействиях могут образовываться в реакции





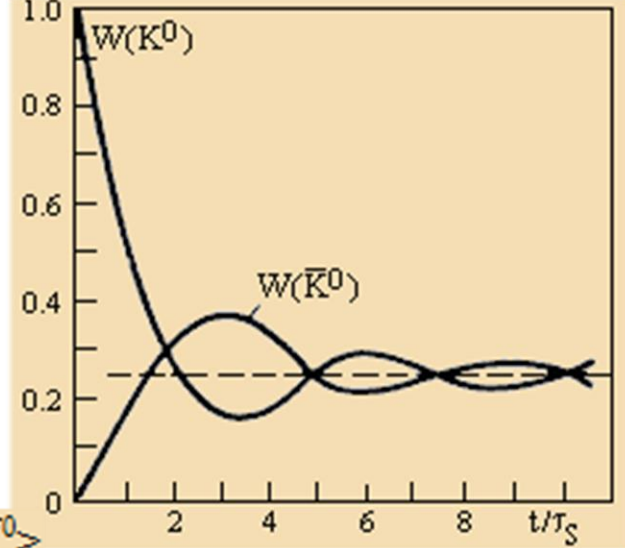
Распад  $K^0$  и  $\bar{K}^0$ -мезонов происходит в результате слабого взаимодействия. При этом после рождения  $K^0$  в реакции  $\pi^- + p \rightarrow \Lambda^0 + K^0$  наблюдалась такая картина:



$$|K^0\rangle = |K_1^0\rangle = (|K_L^0\rangle + |K_S^0\rangle)/\sqrt{2}$$

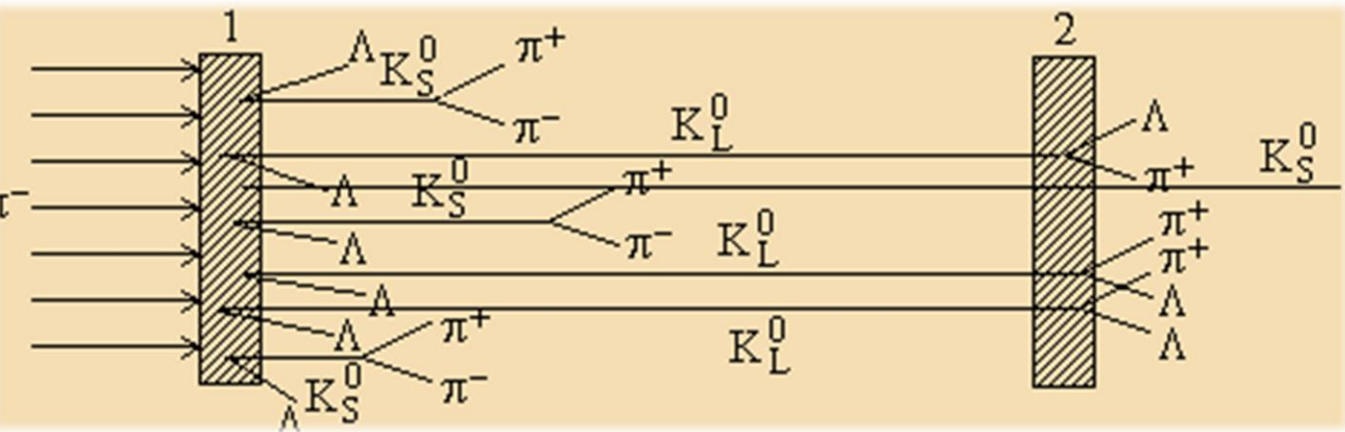
$$|K_L^0\rangle/\sqrt{2} = (|K^0\rangle + |\bar{K}^0\rangle)/2$$

Вероятности  $W(K^0)$  и  $W(\bar{K}^0)$  наблюдения



Причина эффекта - **осцилляции смеси состояний**  $|K^0\rangle$  и  $|\bar{K}^0\rangle$

По периоду осцилляции можно определить разность их масс.



$$K(t) = [K_L^0(t) + K_S^0(t)],$$

$$K_L^0(t) = K_L^0 \exp[-iEt/\hbar - \lambda_L t/2],$$

$$K_S^0(t) = K_S^0 \exp[-iEt/\hbar - \lambda_S t/2],$$

$$K(0) = K^0,$$

В природе существует две линейно независимые комбинации состояний  $K_L^0$  и  $K_S^0$ , которые отвечают частицам с различными массами и средним временем жизни:

$$m(K^0) = 497.67 \text{ МэВ}$$

$$\tau(K_L^0) = 5.2 \cdot 10^{-8} \text{ с,}$$

$$\tau(K_S^0) = 0.9 \cdot 10^{-10} \text{ с.}$$

Основные каналы распада  $K_S^0$

$$K_S^0 \rightarrow \begin{array}{ll} \pi^+ \pi^- & 68.6\%, \\ \pi^0 \pi^0 & 31.4\% \end{array} \quad CP = +1$$

Основные каналы распада  $K_L^0$

$$K_L^0 \rightarrow \begin{array}{ll} \pi^0 \pi^0 \pi^0 & 21.1\%, \\ \pi^+ \pi^- \pi^0 & 12.6\% \\ \pi^+ \mu^- \bar{\nu}_\mu, \pi^- \mu^+ \nu_\mu & 27.1\% \\ \pi^+ e^- \bar{\nu}_e, \pi^- e^+ \nu_e & 38.8\% \end{array} \quad CP = -1$$

Разность масс  $K_L^0$  и  $K_S^0$

$$m(K_L^0) - m(K_S^0) = (3.491 + 0.009) \cdot 10^{-12} \text{ МэВ.}$$

Если CP-инвариантность имеет место, можно считать:

$$|K_S^0\rangle \equiv |K_1^0\rangle, \quad |K_L^0\rangle \equiv |K_2^0\rangle.$$

Однако, в 1964 г. было обнаружено, что существует малая, но конечная вероятность распада:

$$K_L^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-, \quad CP = +1, \quad \frac{\Gamma(K_L \rightarrow \pi^+ \pi^-)}{\Gamma(K_L \rightarrow \text{all})} = (2.03 \pm 0.04) \cdot 10^{-3}.$$

Нейтральные каоны нарушают CP- симметрию

$$|K_S^0\rangle = \left( \frac{1}{1 + |\varepsilon_1|^2} \right)^{1/2} (|K_1^0\rangle + \varepsilon_1 |K_2^0\rangle),$$

$$|K_L^0\rangle = \left( \frac{1}{1 + |\varepsilon_2|^2} \right)^{1/2} (|K_2^0\rangle + \varepsilon_2 |K_1^0\rangle),$$

где  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  - малые комплексные числа.

## 4. Гипероны

Среди вновь открытых странных частиц оказались частицы, имеющие массу покоя больше массы покоя нуклона. Эти частицы были названы гиперонами. К ним относятся  $\Lambda$ ,  $\Sigma^0$ ,  $\Sigma^+$ ,  $\Sigma^-$ ,  $\Xi^0$ ,  $\Xi^-$ ,  $\Omega^-$ .

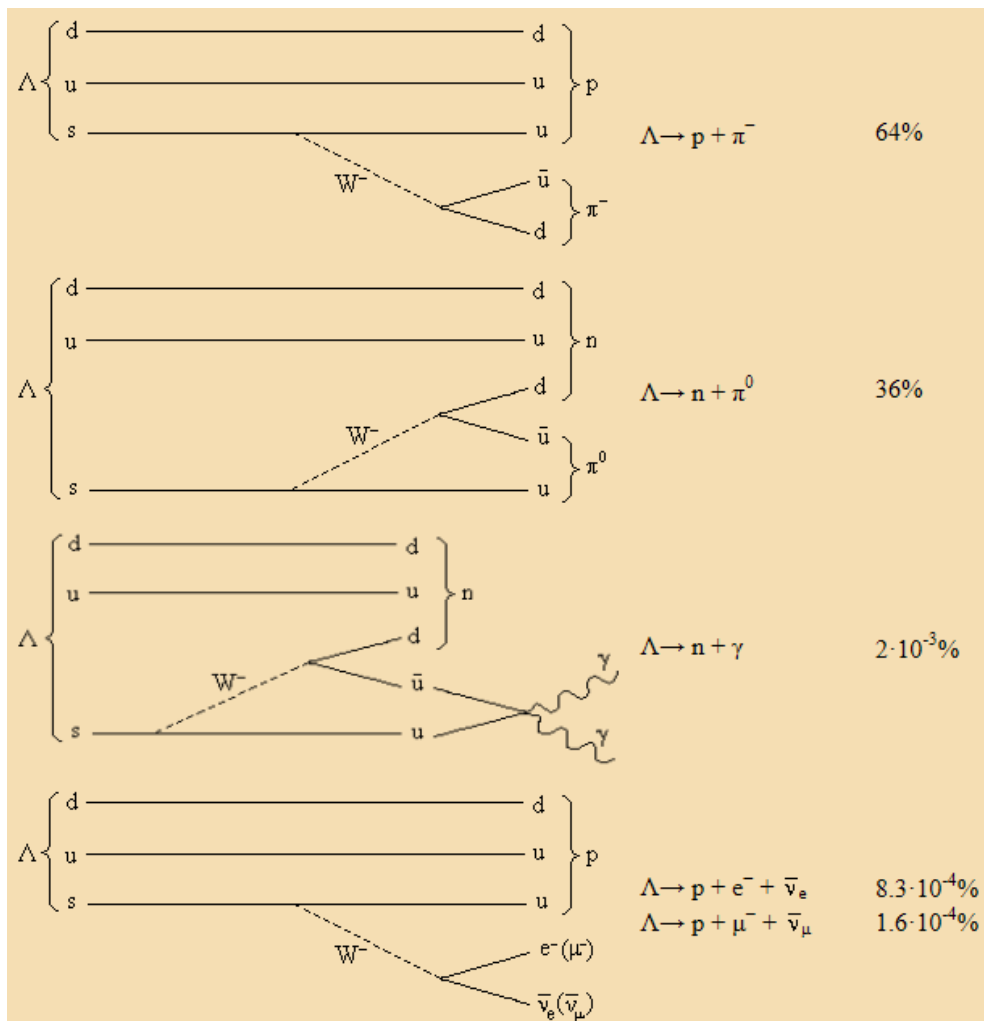
Первым открытым странным барионом был  **$\Lambda$ -гиперон**. Это электрически нейтральная частица со странностью  $s = -1$ . Затем были открыты заряженные барионы  $\Sigma^+$  и  $\Sigma^-$  гипероны.

Характеристики  $\Lambda$  и  $\Sigma$ -гиперонов

Частица	Кварковый состав	Масса, $m c^2$ (МэВ)	Время жизни (сек) или ширина (МэВ)	Спин-четность, изоспин $J^P(I)$	Основные моды распада
$\Sigma^+$	uus	1189	$0.80 \cdot 10^{-10}$	$1/2^+(1)$	$p\pi^0$ , $p\pi^+$
$\Sigma^0$	uds	1193	$7.4 \cdot 10^{-20}$	$1/2^+(1)$	$\Lambda\gamma$
$\Sigma^-$	dds	1197	$1.5 \cdot 10^{-10}$	$1/2^+(1)$	$n\pi^-$
$\Lambda$	uds	1116	$2.6 \cdot 10^{-10}$	$1/2^+(0)$	$p\pi^-$ , $n\pi^0$

## Λ-гиперон

Если бы в природе отсутствовали слабые взаимодействия Λ-гиперон был бы стабильной частицей, т.к. Λ-гиперон является самым легким барионом, в состав которого входит s-кварк. Однако слабые взаимодействия приводят к превращению s-кварка в u-кварк и, соответственно к слабым распадам Λ-гиперона.



## Каскадные гипероны

Наряду с частицами имеющими единичную странность были обнаружены, частицы со странностью  $s = \pm 2$ . У одной из них ( $\Xi^0$  «кси-ноль») был нулевой электрический заряд, у другой ( $\Xi^-$  «кси-минус»)  $Q = -1$ .

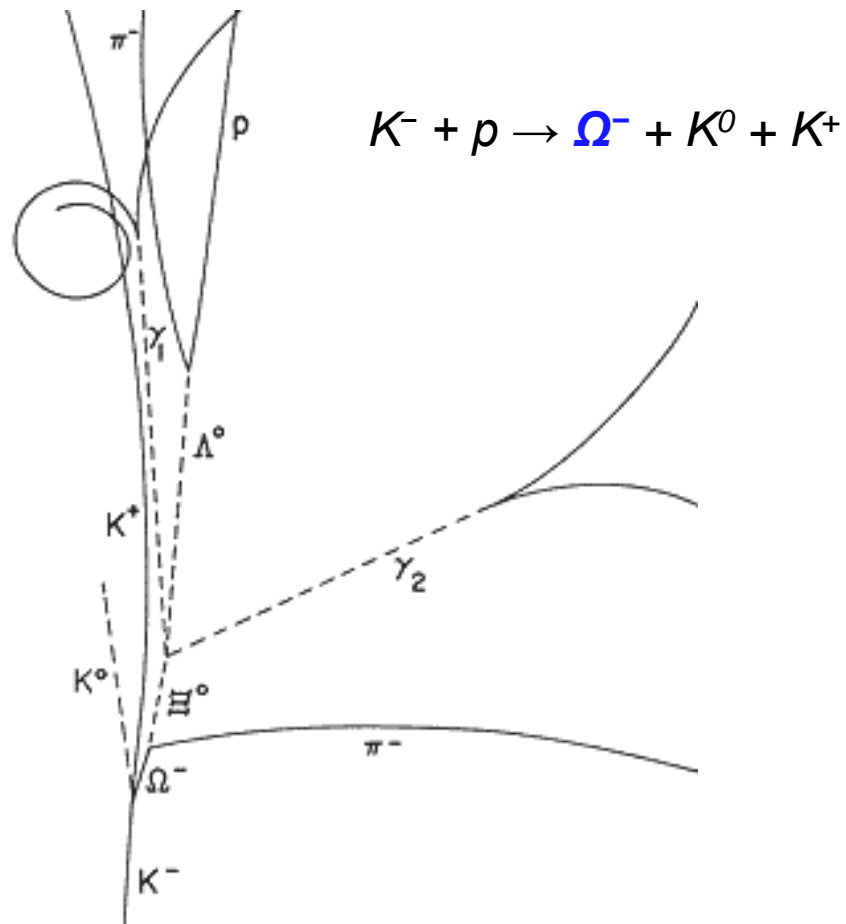
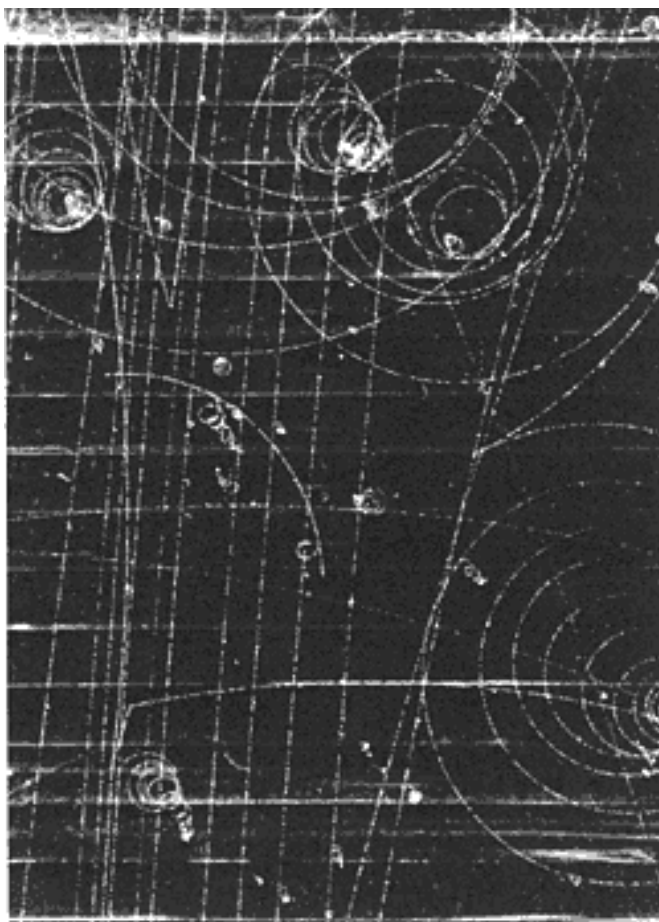
Среднее время жизни их было приблизительно таким же, как и у  $\Lambda$  и  $\Sigma$ -гиперонов. Это означало, что их распад тоже происходит в результате слабого взаимодействия

Эти гипероны не распадались непосредственно на частицы без странности, а только в результате каскада - сперва  $\Xi^0$ -гиперон распадался на  $\Lambda\pi^0$ , а  $\Xi^-$ -гиперон на  $\Lambda\pi^-$ .

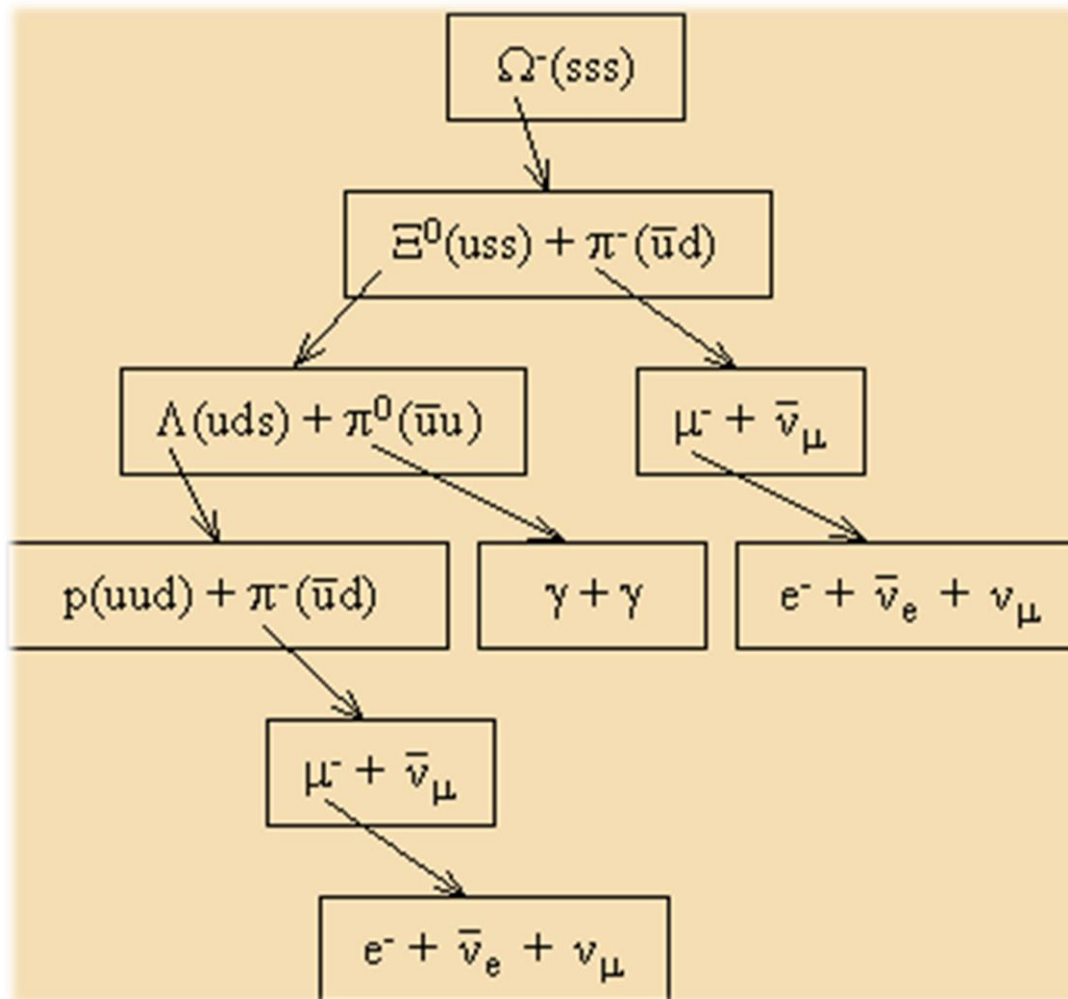
Т.е. странность менялась на 1. Поэтому их называли каскадными гиперонами.

Частица	Кварковый состав	Масса, $mc^2$ (МэВ)	Время жизни (сек) или ширина (МэВ)	Спин-четность, изоспин $J^P(I)$	Основные моды распада
$\Xi^0$	uss	1315	$2.9 \cdot 10^{-10}$	$1/2^+(1/2)$	$\Lambda\pi^0$
$\Xi^-$	dss	1321	$1.6 \cdot 10^{-10}$	$1/2^+(1/2)$	$\Lambda\pi^-$

**Омега-минус-гиперон** - барион, имеющий странность  $s = -3$ .



Частица	Кварковый состав	Масса, $mc^2$ (МэВ)	Время жизни (с)	Спин-четность $J^P$ , изоспин I $J^P(I)$
$\Omega^-$	sss	1672	$0.82 \cdot 10^{-10}$	$3/2^+(0)$



Т.к. в слабых распадах странность может изменяться не более чем на 1, *распад  $\Omega^-$ -гиперона происходит через каскад последовательных распадов с образованием в конечном состоянии стабильных частиц.*

# 5. Гиперядра

- система сильно взаимодействующих частиц, состоящая из нуклонов (протонов и нейтронов) и одного или нескольких гиперонов.

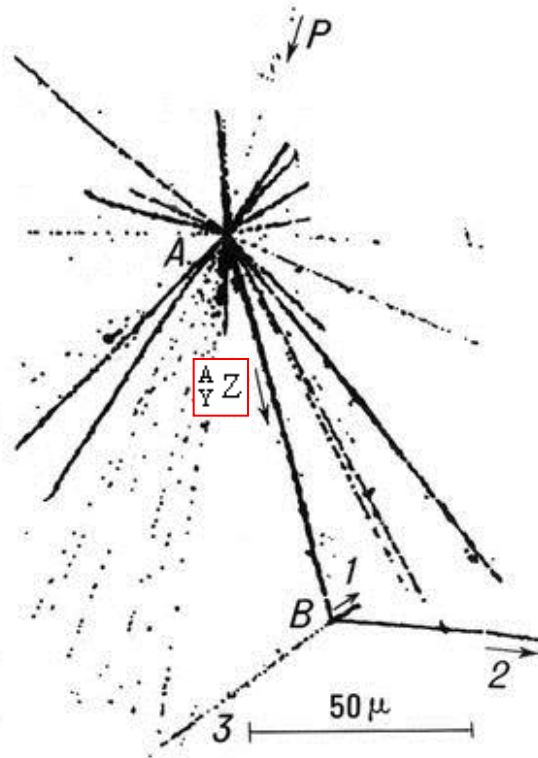
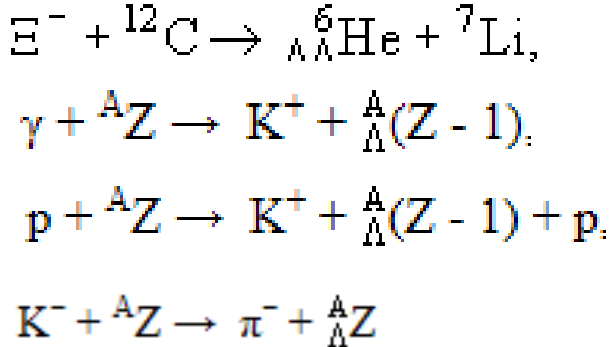
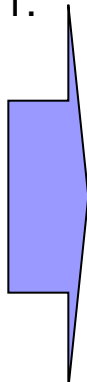
**$\Lambda$ -гиперядра** были открыты М. Данышем и Е. Пневским в 1953 г.

Гиперядра обозначаются символом  $\overset{A}{\underset{Y}{\Lambda}} Z$  где **Z** – символ элемента, соответствующего заряду гиперядра, **A** – суммарное число нуклонов и гиперонов, **Y** – символ гиперона.

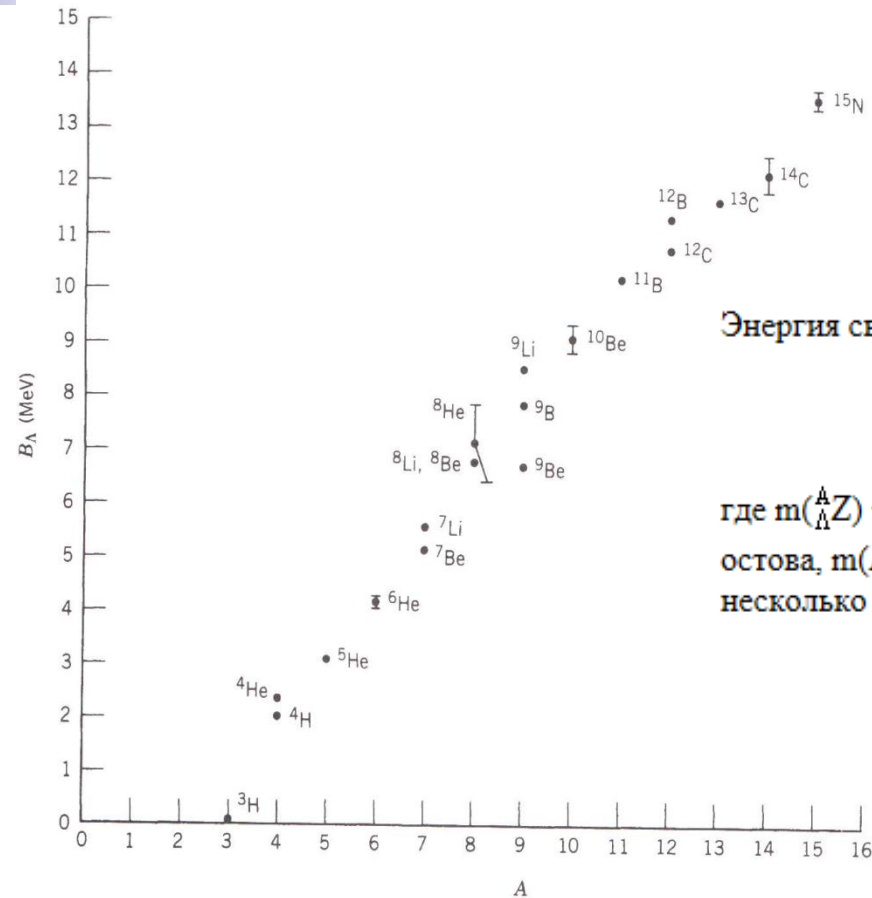
Странность гиперядра определяется странностью входящих в состав гиперядра гиперонов,

например, гиперядро  $\overset{4}{\Lambda} \text{He}$  имеет странность  $s = -1$ .

Образование гиперядер возможно в следующих реакциях:



## Энергия связи гиперядер



Энергия связи  $W_{\Lambda}(\overset{A}{\Delta}Z)$  гиперядра  $\overset{A}{\Delta}Z$  определяется из соотношения

$$W_{\Lambda}(\overset{A}{\Delta}Z) = [m(^{A-1}Z) + m(\Lambda) - m(\overset{A}{\Delta}Z)]c^2,$$

где  $m(\overset{A}{\Delta}Z)$  – масса гиперядра  $\overset{A}{\Delta}Z$ ,  $m(^{A-1}Z)$  – масса основного состояния нуклонного остова,  $m(\Lambda)$  – масса  $\Lambda$ -гиперона. Энергии связи лёгких гиперядер составляют несколько МэВ

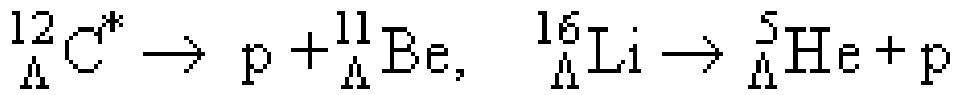
$$W(\overset{4}{\Delta}\text{He}) = 2.5 \text{ МэВ}, W(\overset{8}{\Delta}\text{Be}) = 6.8 \text{ МэВ}$$

Исследования гиперядер показали, что

1. Силы притяжения в системе гиперон-нуклон практически сравнимы с силами нуклон-нуклонного взаимодействия
2. Гиперон-нуклонные взаимодействия слабо зависят от спинового состояния  $\Lambda$ -гиперона, поэтому  $\Lambda$ -гиперон слабо влияет на структуру нуклонного остова  $^{A-1}Z$ .

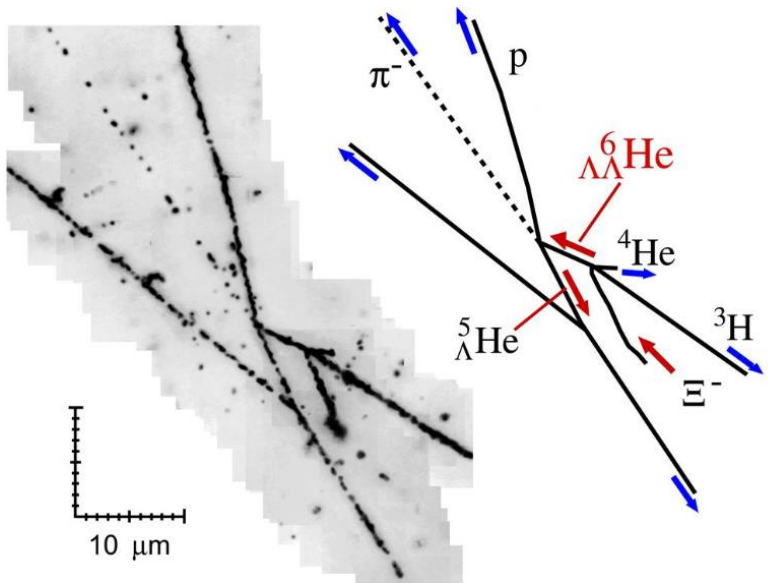
Изучение гиперядер позволяет получить дополнительную информацию барион-барионных взаимодействиях и влиянии их на ядерную структуру.

Распады гиперядер могут происходить в результате *сильных взаимодействий*. Тогда, в этих распадах *сохраняется странность*, а время распада  $\tau \sim 10^{-23} - 10^{-21}$  с. Так распадается большинство возбуждённых и основные состояния относительно тяжелых гиперядер.



Распады гиперядер могут происходить в результате *слабых взаимодействий* такие распады гиперядер происходят *с изменением странности*.

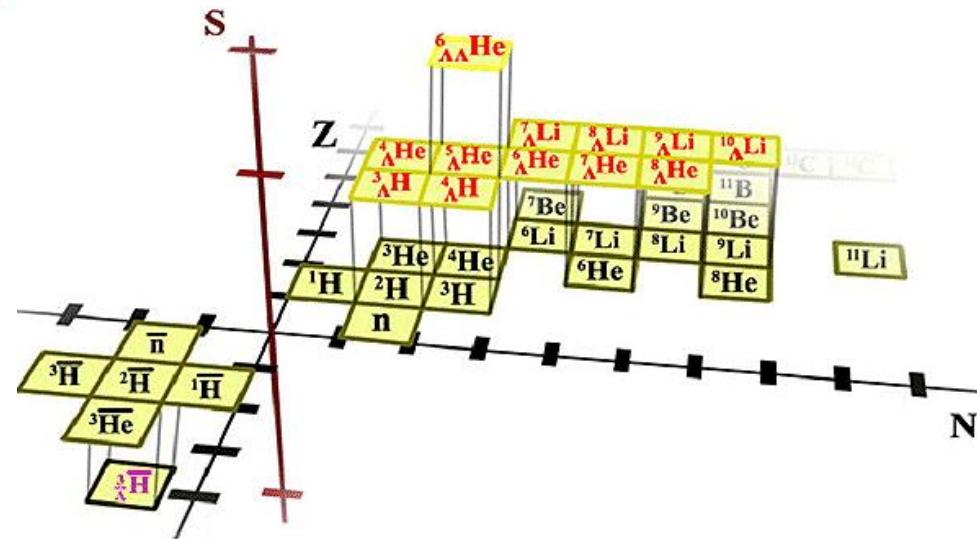
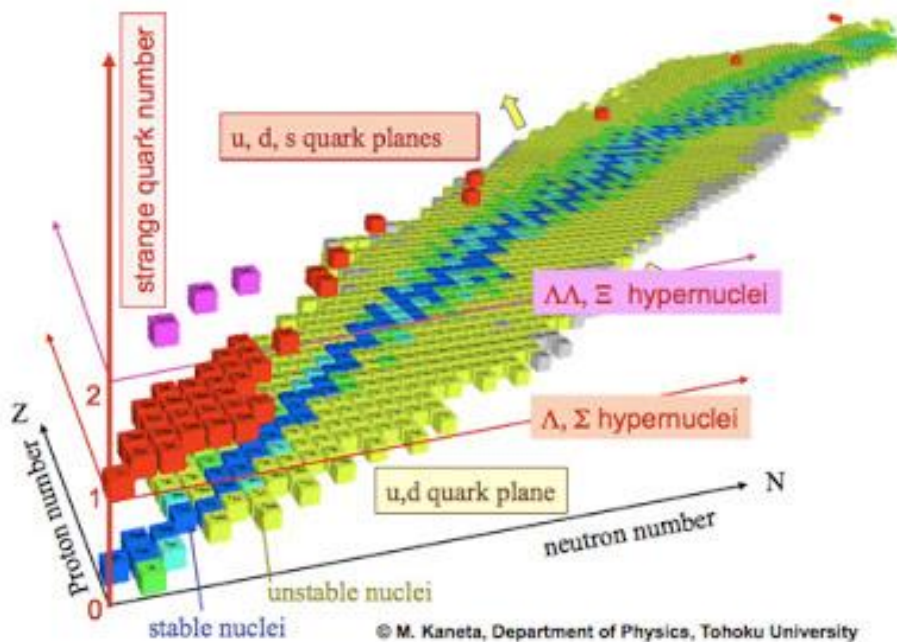
Характерное время слабых распадов сравнимо с временем жизни свободного  $\Lambda$ -гиперона  $\tau \approx 2.6 \cdot 10^{-10}$  с.



## Многомерная таблица Менделеева

В 2012 г. был экспериментально обнаружен гиперводород, ядра атомов которого состоят из четырёх нейтронов, протона и  $\Lambda$  — гиперона. Обозначается как  ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ .

Кроме обычных гиперядер, возможно существование антигиперядер — связанных систем антинуклонов и антигиперонов.

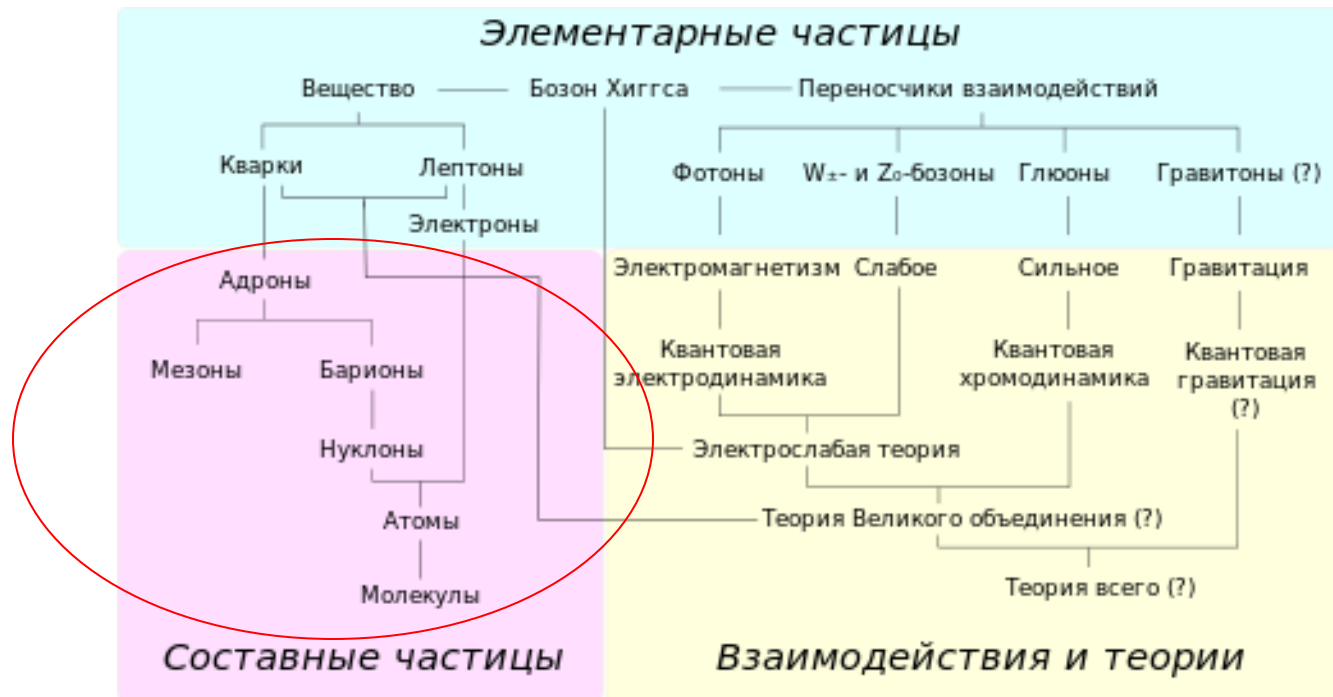


## Итак, что мы имеем?

Большинство известных элементарных частиц – адроны.  
(термин предложен Л. Б. Окунем в 1962 г.)

В настоящее время их известно несколько сотен.

Как их можно классифицировать?

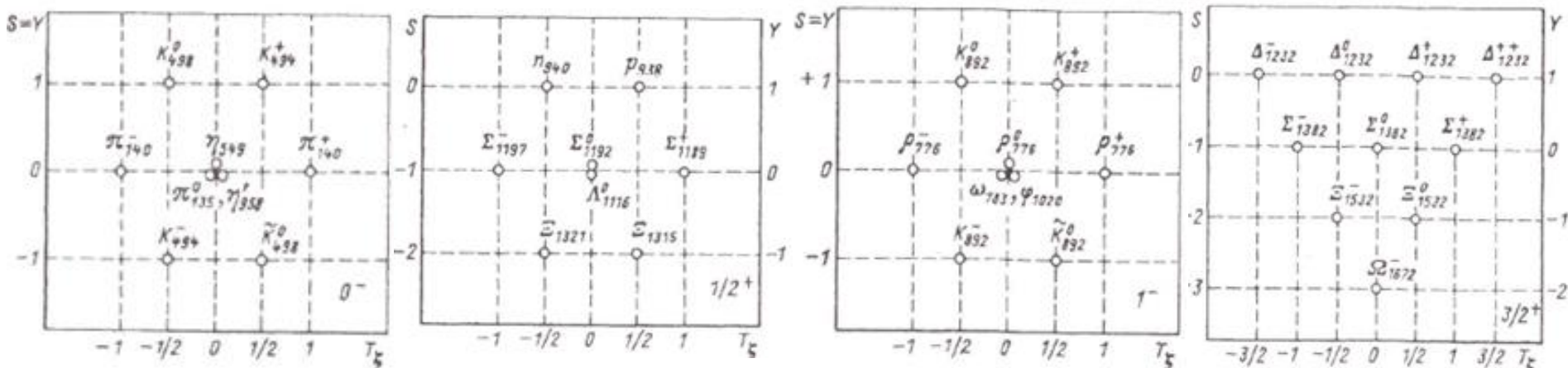


Т а б л и ц а стабильных элементарных частиц

Класс	Частица	Масса, Мэв	Спин и чет- ность	Время жизни, сек	Основные распады	S	T	T <sub>3</sub>	
Лептоны B=0, L=1	Фотон B=0 L=0	$\gamma$	0	1 <sup>-</sup>	$\infty$	—	—	—	
	$\nu_e$	0	1/2	$\infty$	—	—	—	—	
	$\nu_\mu$	0	1/2	$\infty$	—	—	—	—	
	$e^-$	0,511	1/2	$\infty$	—	—	—	—	
Мезоны B=0, L=0	$\mu^-$	105,66	1/2	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$	—	—	—	
	$\pi^+$	139,58	0 <sup>-</sup>	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$\mu^+ \nu_\mu$	0	1	+1	
	$\pi^0$	134,98		$0,89 \cdot 10^{-16}$	$\gamma\gamma$			0	
	$\pi^-$	139,58		$2,6 \cdot 10^{-8}$	$\mu^- \bar{\nu}_\mu$			-1	
	$K^+$	493,8	0 <sup>-</sup>	$1,24 \cdot 10^{-8}$	$\mu^+ \nu_\mu; \pi^+ \pi^0;$ $\pi^+ \pi^- \pi^+$	+1	1/2	+1/2	
	$K^0$	$K^0_s$		497,9	$0,87 \cdot 10^{-10}$			$\pi^+ \pi^-; \pi^0 \pi^0$	-1
$K^0_L$		$5,73 \cdot 10^{-8}$			$\pi e \nu_e; \pi \mu \nu_\mu;$ $\pi^0 \pi^0 \pi^0;$ $\pi^+ \pi^- \pi^0$				
$\eta$	548	0 <sup>-</sup>	$\sim 10^{-17}$	$\gamma\gamma; \pi^+ \pi^- \pi^0;$ $\pi^0 \pi^0 \pi^0; \pi^0 \gamma\gamma$	0	0	0		
Барions B=1, L=0	$p$	938,25	1/2 <sup>+</sup>	$\infty$	—	0	1/2	+1/2	
	$n$	939,55		$\sim 10^3$	$p e^- \bar{\nu}_e$			-1/2	
	$\Lambda$	1115,6	1/2 <sup>+</sup>	$2,54 \cdot 10^{-10}$	$p \pi^-; n \pi^0$	-1	0	0	
	$\Sigma^+$	1189,5	1/2 <sup>+</sup>	$0,8 \cdot 10^{-10}$	$p \pi^0; n \pi^+$	-1	1	+1	
	$\Sigma^-$	1192,6		$< 1 \cdot 10^{-14}$	$\Lambda \gamma$			0	
	$\Sigma^0$	1197,4		$1,65 \cdot 10^{-10}$	$n \pi^-$			-1	
	$\Xi^0$	1314,7	1/2 <sup>+</sup> ?	$3 \cdot 10^{-10}$	$\Lambda \pi^0$	-2	1/2	+1/2	
$\Xi^-$	1321,2	$1,74 \cdot 10^{-10}$		$\Lambda \pi^-$	-1/2				
$\Omega$	1674	3/2 <sup>+</sup> ?	$\sim 1 \cdot 10^{-10}$	$\Xi \pi; \Lambda \tilde{K}^+$	-3	0	0		

## 6. Унитарная симметрия

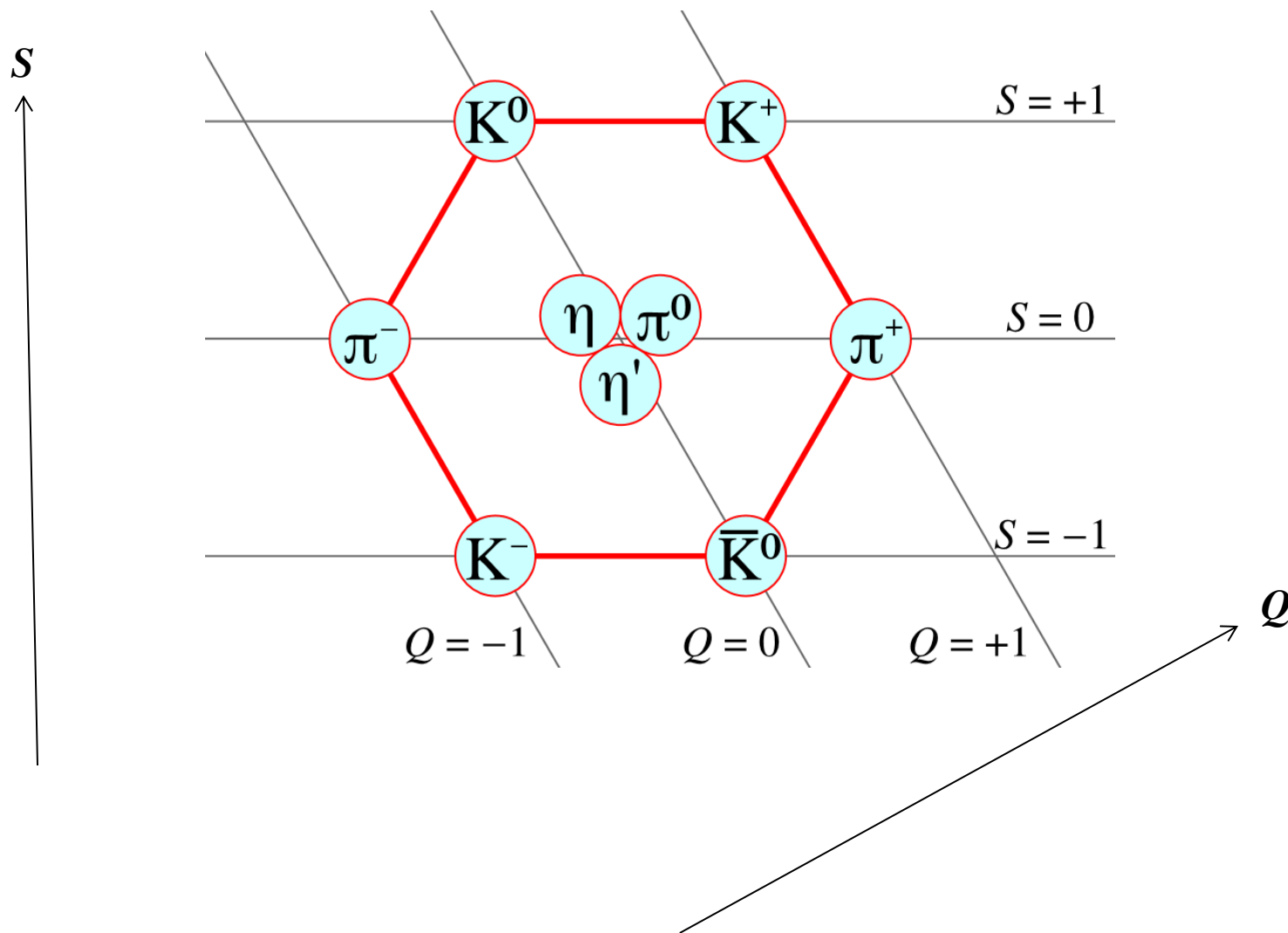
Все стабильные адроны и низко лежащие резонансы могут быть размещены по унитарным мультиплетам, члены которых обладают одним и тем же спином, четностью и барионным числом: октуплет мезонов  $0^-$ , октуплет барионов  $1/2^+$ , декуплет  $3/2^+$ , нонуплеты мезонных резонансов  $1^-$  и  $2^+$  и некоторые другие. Не обнаружено ни одной частицы, которую в принципе нельзя было бы поместить в один из унитарных мультиплетов не очень высокой размерности.



Предполагалось, что каждая из этих групп представляет собой супермультиплет частиц, возникший в результате «расщепления» **одной частицы**, состояние которой характеризуется **барионным зарядом, спином и чётностью**, присущими данной группе. Расщепление по массам в мультиплете  $<15\%$

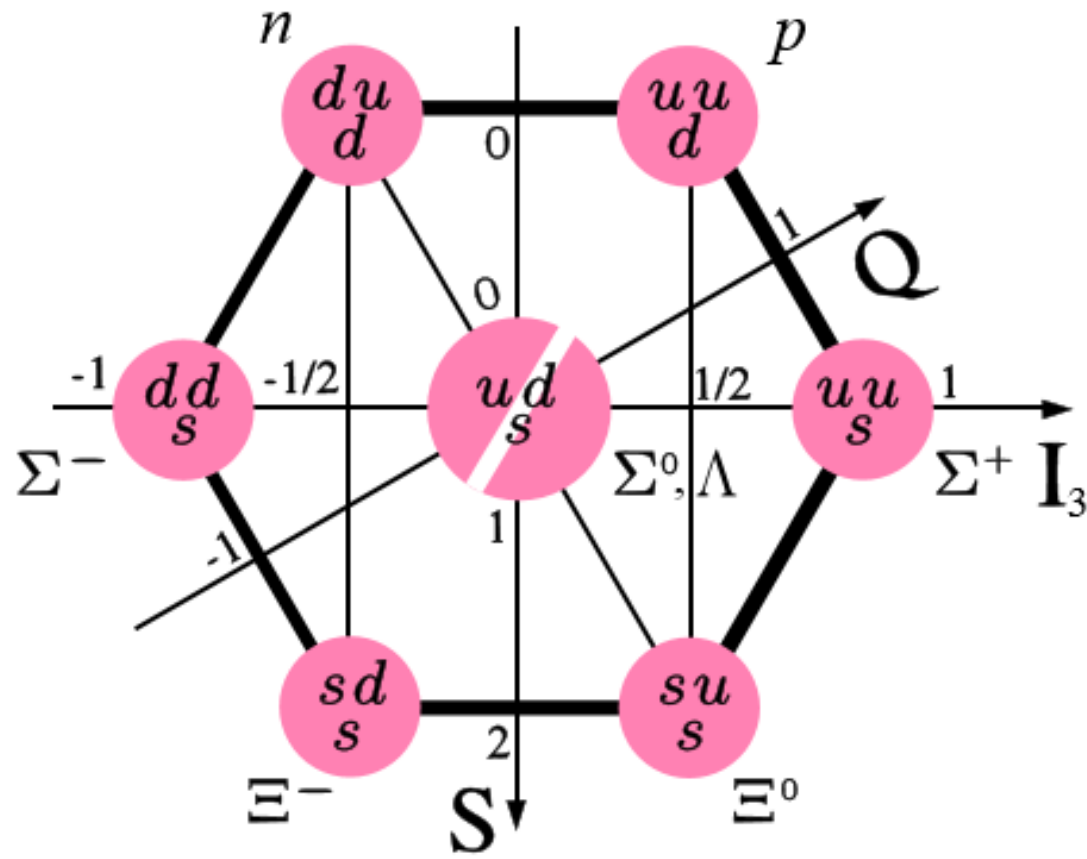
# Мезонный октет

$J^P = 0^-$



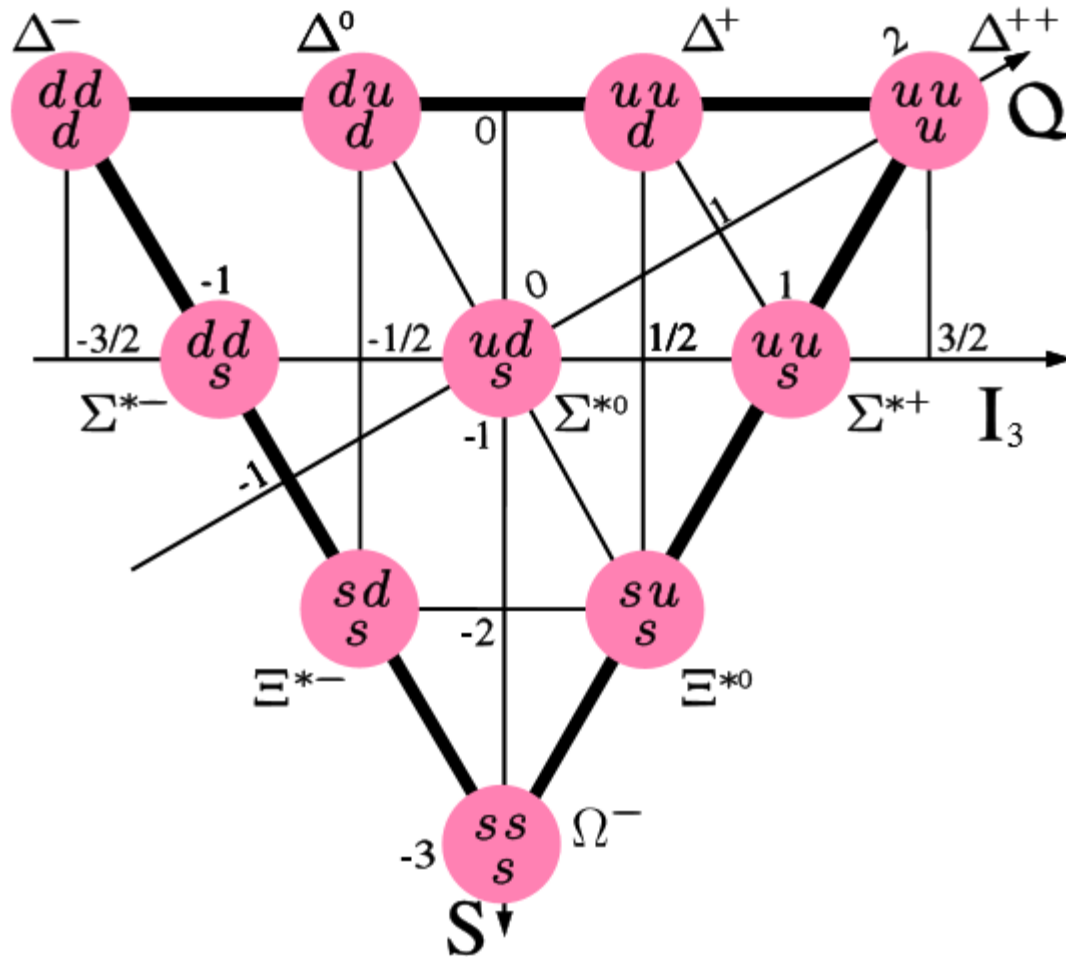
Барионный октет со спином  $\frac{1}{2}$

$J^P = 1/2^+$

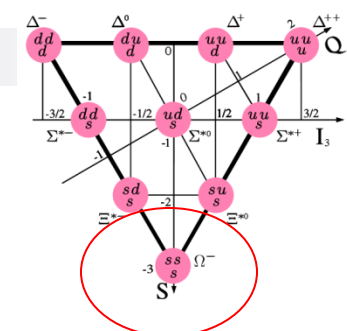


Барионный декуплет со спином  $\frac{3}{2}$

$J^P = 3/2^+$



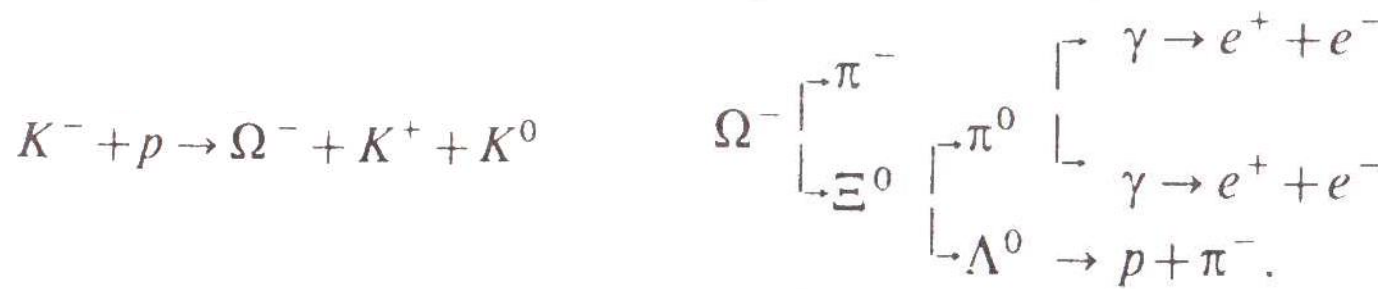
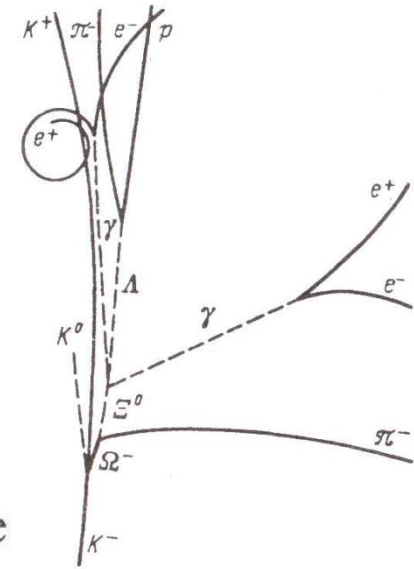
## SU(3) симметрия



Впервые шестиугольная диаграмма для барионов была получена в начале 1961 г. Гелл-Маном и Нейманом. В это время было известно семь псевдоскалярных мезонов. Через полгода были открыты восемь векторных мезонов. А еще через полгода был открыт недостающий восьмой псевдоскалярный  $\eta$ -мезон.

Триумфом  $SU(3)$ -симметрии была расшифровка треугольной диаграммы для барионных адронов в состоянии  $3/2^+$ . Осенью 1962 г. было известно девять адронов этого типа, которые на плоскости  $T_\zeta, S$  образовывали правильный треугольник без нижней вершины. В случае справедливости  $SU(3)$ -симметрии должен был существовать десятый адрон —  $\Omega^-$ -гиперон.

В начале 1964 г.  $\Omega^-$ -гиперон был открыт в Брукхейвене с помощью двухметровой водородной пузырьковой камеры, облученной  $K^-$ -мезонами с импульсом 5 ГэВ/с.



$$M_\Omega \approx (1672,4 \pm 0,3) \text{ МэВ.}$$

$$(0,82 \pm 0,03) \cdot 10^{-10} \text{ с}$$

В 1969 г Гелл-Ману была присуждена Нобелевская премия по физике за классификацию элементарных частиц.

$SU(3)$ -симметрия позволила классифицировать как мезонные, так и барионные адроны и предсказать существование нескольких новых частиц. Ее триумфом было предсказание всех квантовых чисел  $\Omega^-$ -гиперона, который вскоре был открыт.

С другой стороны, гипотеза унитарной симметрии обладает рядом существенных недостатков.

В частности,

$SU(3)$ -симметрия предсказывала следующие соотношения между магнитными моментами барионов:

$$\mu_p = \mu_{\Sigma^+}; \quad \mu_{\Sigma} = \mu_{\Xi} = -(\mu_p + \mu_n); \quad \mu_n = \mu_{\Xi^0} = 2\mu_{\Lambda} = -2\mu_{\Sigma^0}.$$

В настоящее время магнитные моменты барионов известны, и они не согласуются с этими предсказаниями.

## **ВМЕСТО ЗАКЛЮЧЕНИЯ:**

*Не существует совершенной красоты, которая не содержала бы в себе некоторую долю странности.*

*Ф. Бэкон*

*Открытие адронов с внутренним квантовым числом — «странностью» — положило начало самой поразительной эпохе в физике элементарных частиц, которая даже сейчас, пятьдесят лет спустя, не дошла до своего завершения... Именно большие эксперименты определили это развитие, и основные открытия появлялись неожиданно или даже вопреки ожиданиям теоретиков.*

*I.I. Bigi and A.I. Sanda*

*Нарушение CP-инвариантности*

## Источники информации

1. К.Н. Мухин. Экспериментальная ядерная физика. В 3-х тт. СПб.: Издательство «Лань», 2008. Главы XX, XXI.
2. Ядерная физика в Интернете:  
<http://nuclphys.sinp.msu.ru/spargalka/a27.htm>  
[http://nuclphys.sinp.msu.ru/spargalka/035\\_2.htm](http://nuclphys.sinp.msu.ru/spargalka/035_2.htm)  
<http://nuclphys.sinp.msu.ru/enc/e045.htm>
3. K.S.Krane. Introductory Nuclear Physics. Wiley, 1988. Chapter 17;  
<http://www.fulviofrisone.com/attachments/article/446/Krane%20-%20Introductory%20Nuclear%20Physics.pdf>