

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ & ΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗ ΣΩΜΑΤΙΑ

Κ. Βελλίδης & Θ. Μερτζιμέκης
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ, 2023

- Βαρυονική Δεκάδα
- Βαρυονική Οκτάδα
- Ψευδοβαθμωτά και Διανυσματικά Μεσόνια

Κβαντικοί αριθμοί των κουάρκς

| Γεύση | B | J | P | I | I ₃ | S | Q/e |
|-------|-----|-----|----|-----|----------------|----|------|
| u | 1/3 | 1/2 | +1 | 1/2 | +1/2 | 0 | +2/3 |
| d | 1/3 | 1/2 | +1 | 1/2 | -1/2 | 0 | -1/3 |
| s | 1/3 | 1/2 | +1 | 0 | 0 | -1 | -1/3 |

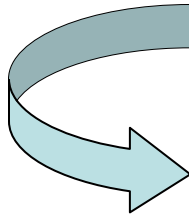
Όλοι είναι **προσθετικοί**, εκτός της ομοτιμίας που είναι **πολλαπλασιαστικός** κβαντικός αριθμός

Υπερφορτίο

$$Q = I_3 + \frac{B + S}{2} = I_3 + \frac{Y}{2}$$

όπου

$$Y = B + S$$



$$I_3 = Q - \frac{B + S}{2} = Q - \frac{Y}{2}$$

Παράδειγμα

$$\Sigma^+(\text{uus}) \quad I_3 = Q - (B+S)/2 = (+1) - (1 - 1)/2 = +1$$

$$\Xi^-(\text{dss}) \quad I_3 = Q - (B+S)/2 = (-1) - (1 - 2)/2 = -1/2$$

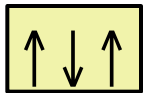
Παρατηρήσιμοι συνδυασμοί κουάρκς

Οι καταστάσεις που παρατηρούνται στη φύση είναι συνδυασμοί:

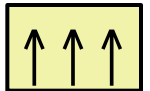
- 3 κουάρκς (βαρυόνια)
- κουάρκ-αντικουάρκ (μεσόνια)

Βαρυόνια

1η Θεμελιακή Κατάσταση: $J^P = 1/2^+$ ($J=1/2, L=0$)

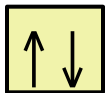


2η Θεμελιακή Κατάσταση: $J^P = 3/2^+$ ($J=3/2, L=0$)

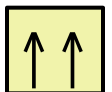


Μεσόνια

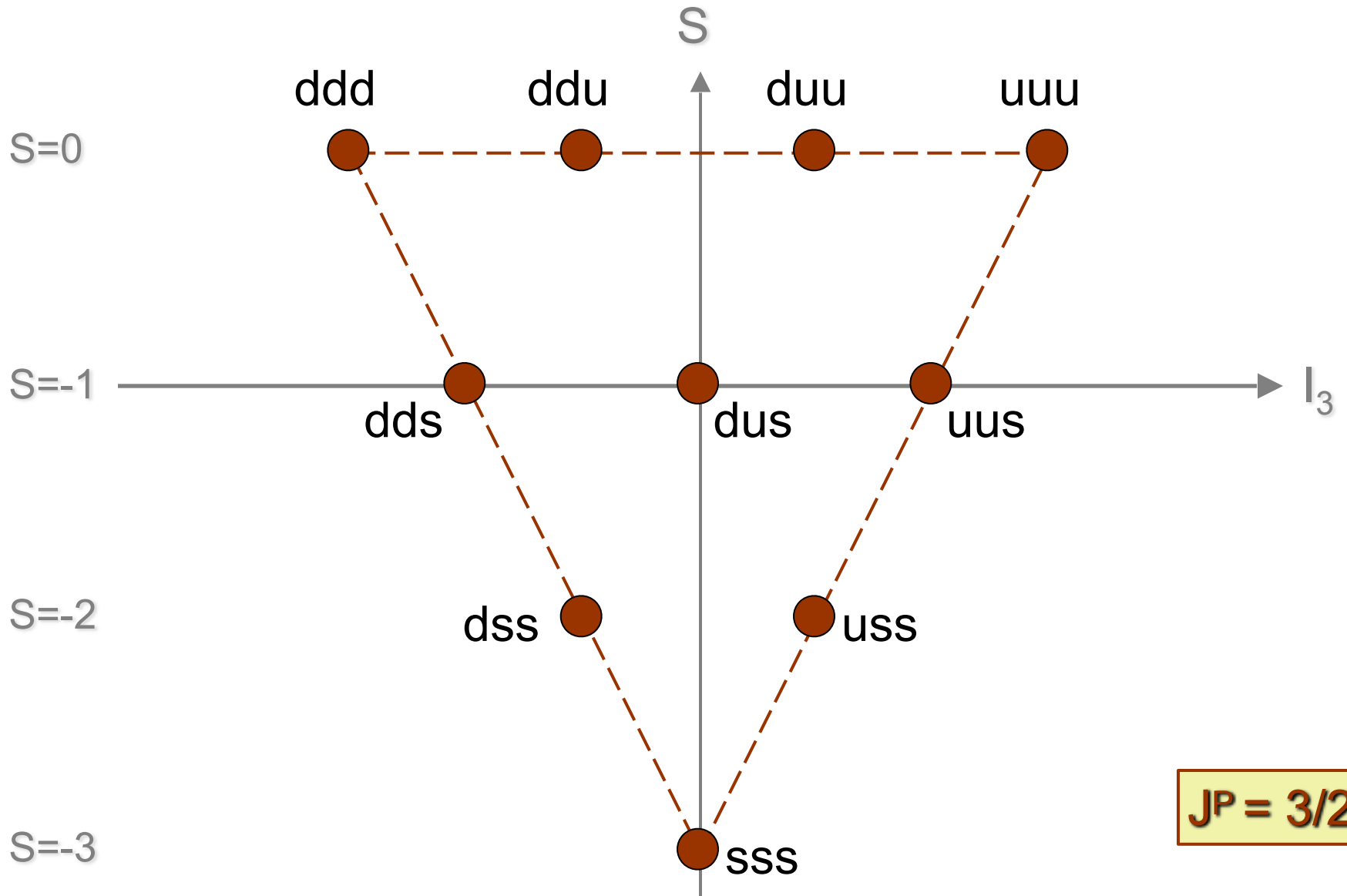
Ψευδοβαθμωτά Μεσόνια: $J^P = 0^-$ ($J=0, L=0$)



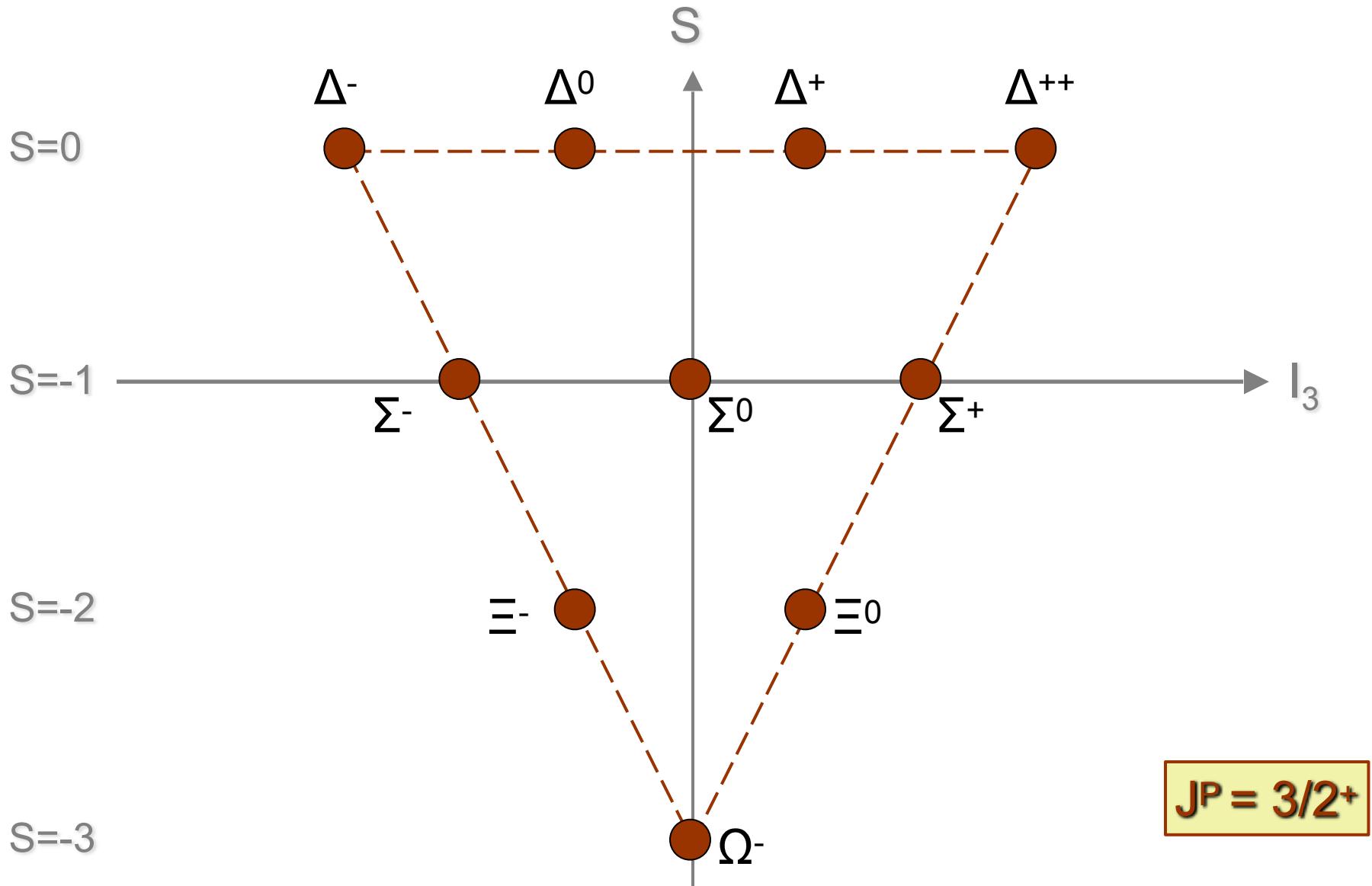
Διανυσματικά Μεσόνια: $J^P = 1^-$ ($J=1, L=0$)



Συνδυασμοί κουάρκς στη βαρυονική δεκάδα



Παρατηρούμενες καταστάσεις της βαρυονικής δεκάδας



Βαρυονική δεκάδα

$J^P = 3/2^+ \rightarrow$ και τα τρία κουάρκ έχουν ομοπαράλληλα spin

Όλα τα μέλη της βαρυονικής δεκάδας έχουν κυματοσυναρτήσεις που είναι συμμετρικές στο spin, τη γεύση και το χώρο.

Πλήρης μορφή μιας βαρυονικής κατάστασης με 2 διαφορετικές γεύσεις κουάρκ (aab):

$$\frac{1}{\sqrt{3}} (aab + baa + aba)$$

Πλήρης μορφή μιας βαρυονικής κατάστασης με 3 διαφορετικές γεύσεις κουάρκ (abc):

$$\frac{1}{\sqrt{6}} (abc + acb + bac + bca + cab + cba)$$

Βαρυονική δεκάδα

Βαρυονική κατάσταση 2 διαφορετικών γεύσεων κουάρκς (aab)

$$\frac{1}{\sqrt{3}} (aab + baa + aba)$$

Εναλλαγή 1 \leftrightarrow 2

$$\frac{1}{\sqrt{3}} (aab + aba + baa)$$

Εναλλαγή 2 \leftrightarrow 3

$$\frac{1}{\sqrt{3}} (aba + baa + aab)$$

Εναλλαγή 1 \leftrightarrow 3

$$\frac{1}{\sqrt{3}} (baa + aab + aba)$$

Οποιαδήποτε από τις παραπάνω εναλλαγές αφήνει την κυματοσυνάρτηση αμετάβλητη.

Βαρυονική δεκάδα

Βαρυονική κατάσταση 3 διαφορετικών γεύσεων κουάρκς (abc)

$$\frac{1}{\sqrt{6}} (abc + acb + bac + bca + cab + cba)$$

Εναλλαγή 1 \leftrightarrow 2

$$\frac{1}{\sqrt{6}} (bac + cab + abc + cba + acb + bca)$$

Εναλλαγή 2 \leftrightarrow 3

$$\frac{1}{\sqrt{6}} (acb + abc + bca + bac + cba + cab)$$

Εναλλαγή 1 \leftrightarrow 3

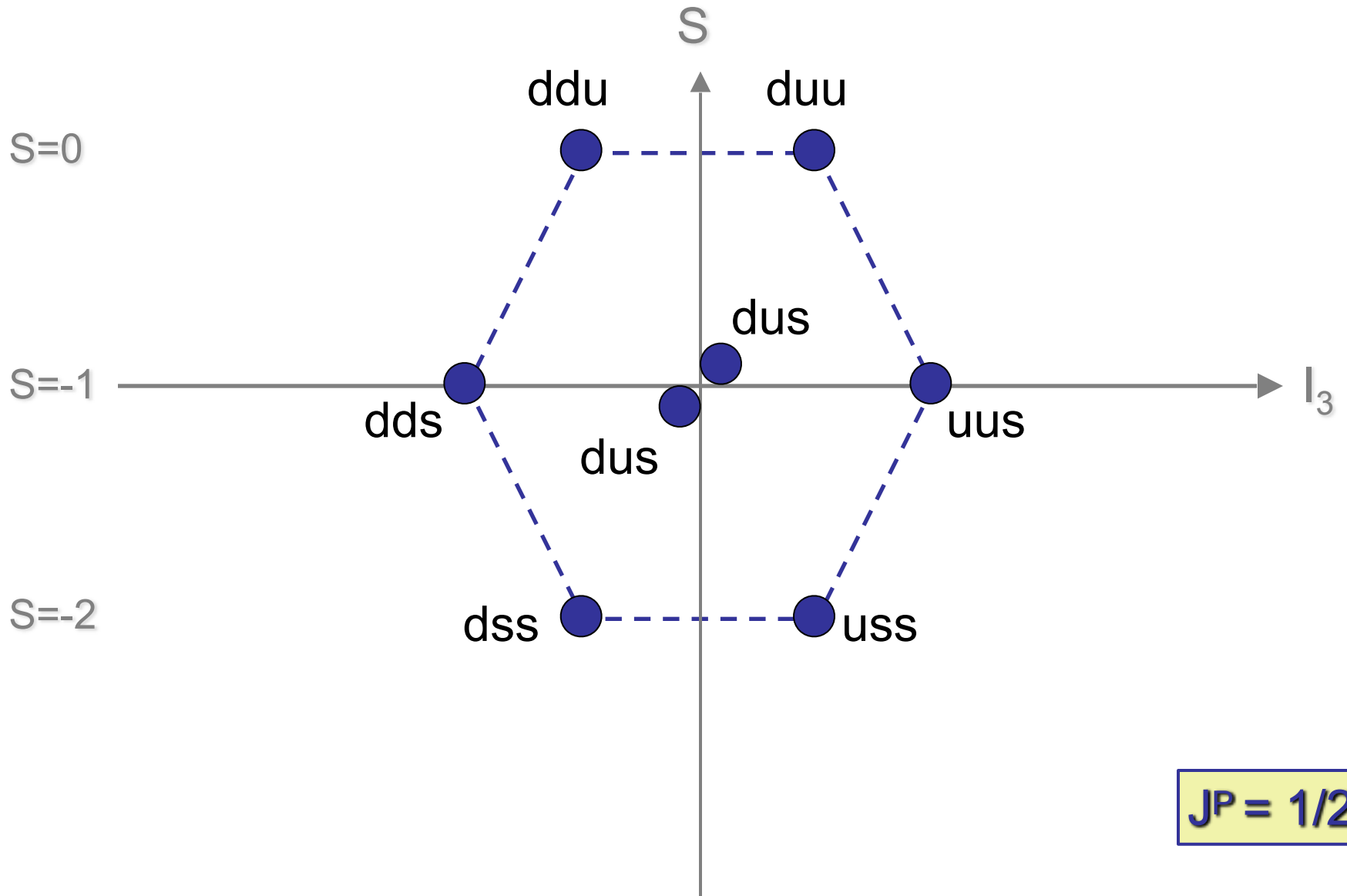
$$\frac{1}{\sqrt{6}} (cba + bca + cab + acb + bac + abc)$$

Οποιαδήποτε από τις παραπάνω εναλλαγές αφήνει την κυματοσυνάρτηση αμετάβλητη.

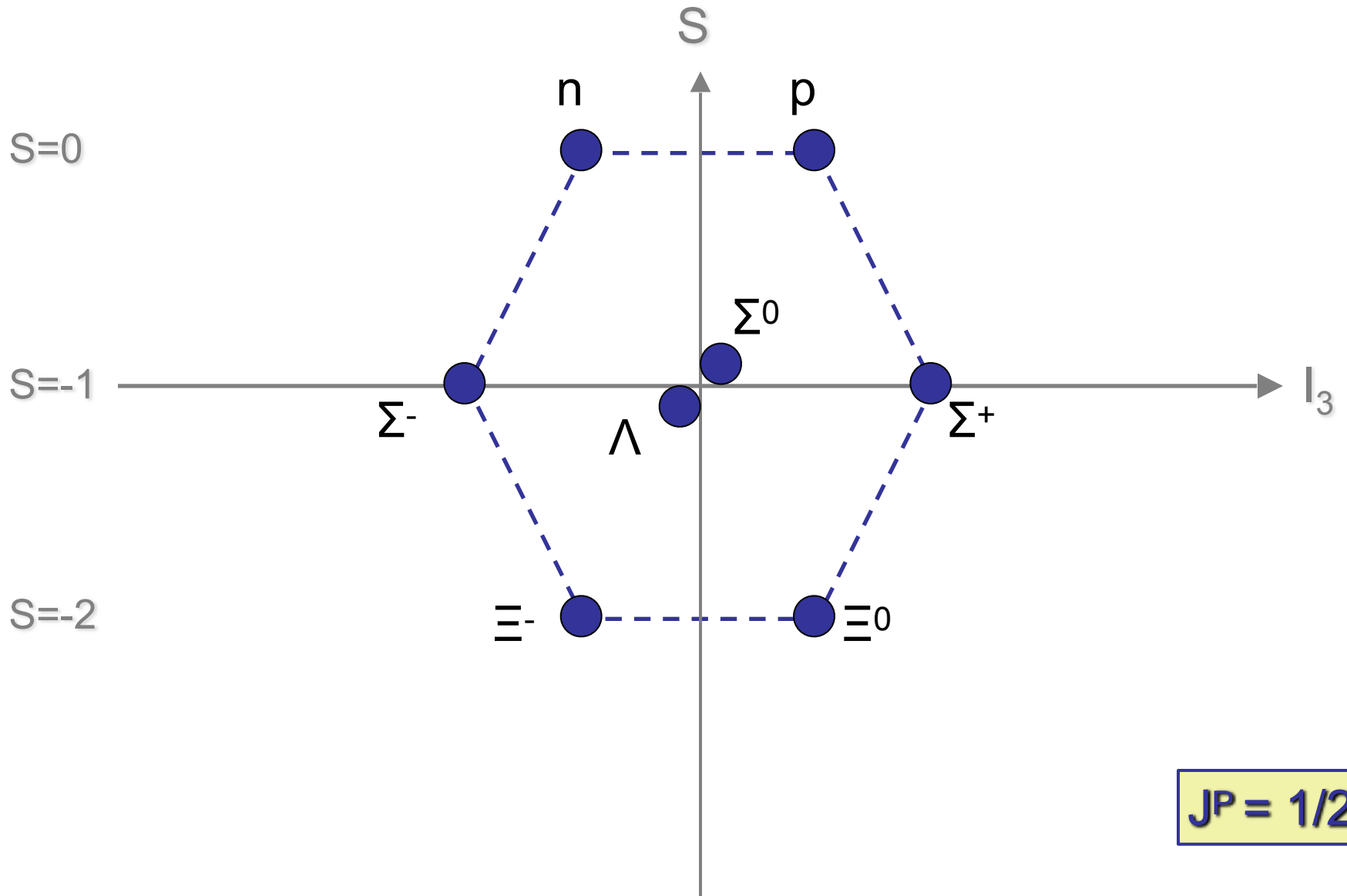
Βαρυονική δεκάδα

| $J^P = 3/2^+$ | S | I | Μέλη |
|----------------|----|-----|--|
| $\Delta(1232)$ | 0 | 3/2 | 4 $\Delta^-, \Delta^0, \Delta^+, \Delta^{++}$ |
| $\Sigma(1384)$ | -1 | 1 | 3 $\Sigma^-, \Sigma^0, \Sigma^+$ |
| $\Xi(1533)$ | -2 | 1/2 | 2 Ξ^-, Ξ^0 |
| $\Omega(1672)$ | -3 | 0 | 1 Ω^- |

Συνδυασμοί κουάρκς στη βαρυονική οκτάδα



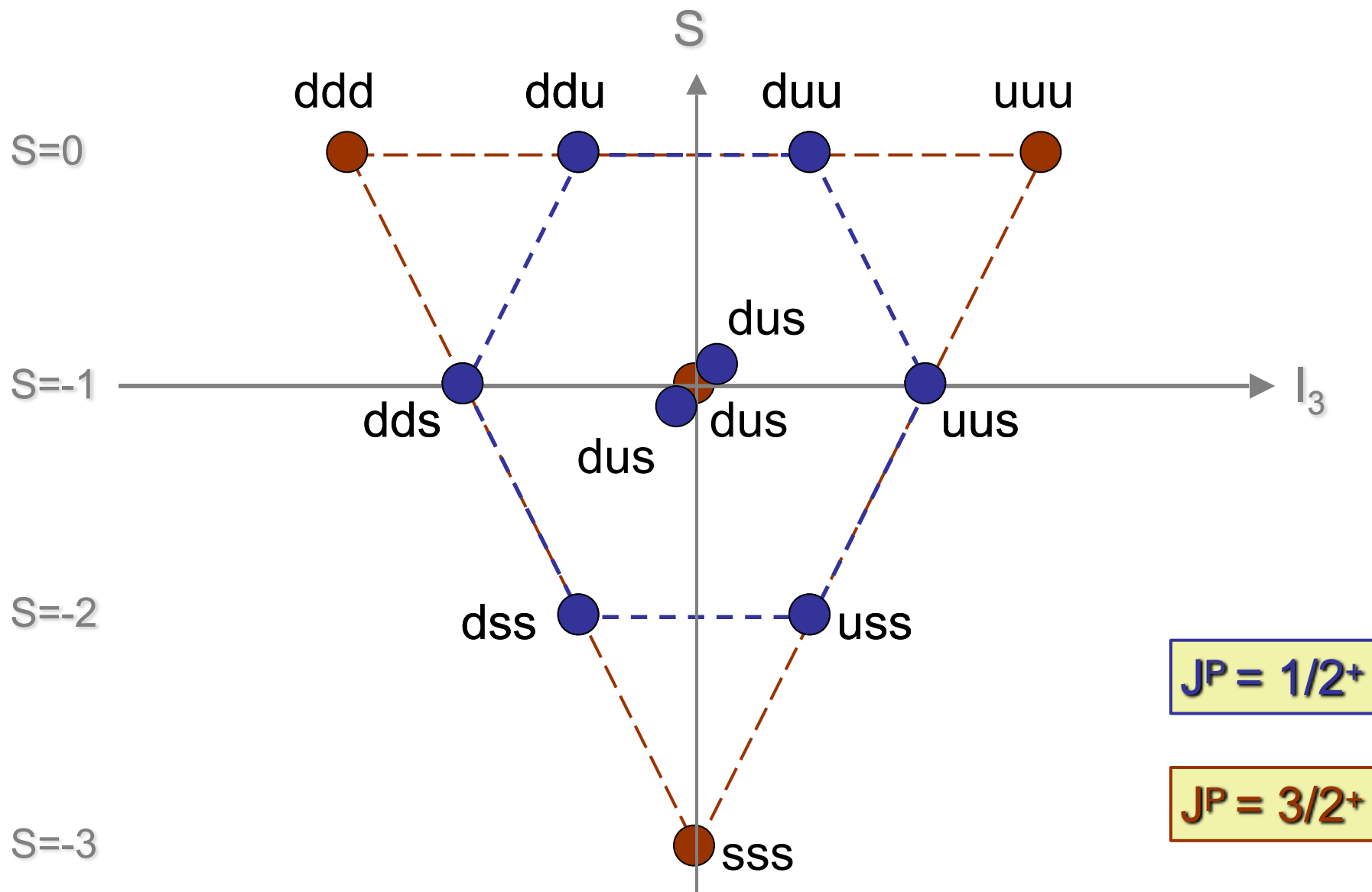
Παρατηρούμενες καταστάσεις της βαρυονικής οκτάδας



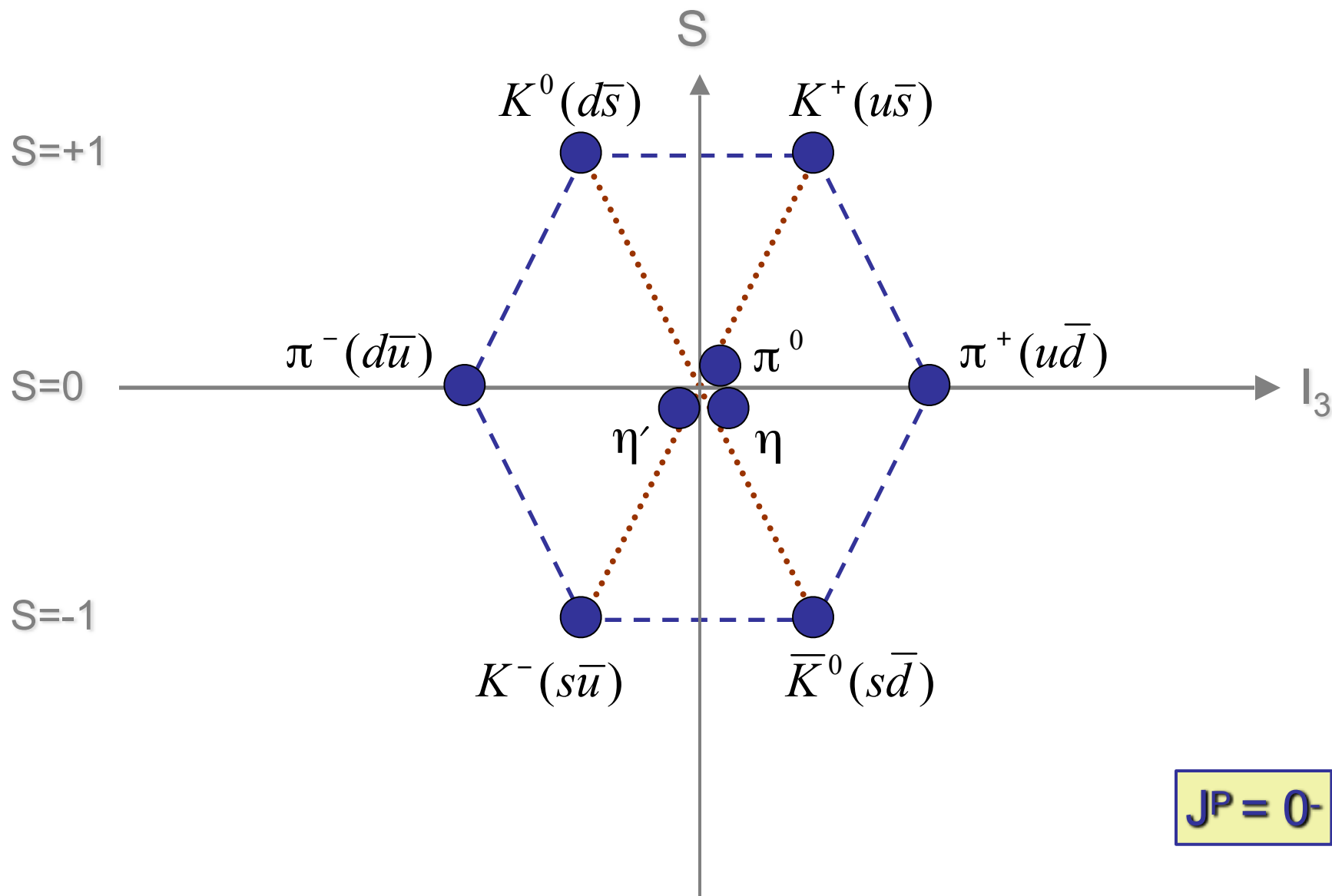
Βαρυονική οκτάδα

| $J^P = 1/2^+$ | S | I | Μέλη |
|-----------------|----|-----|-------------------------------------|
| N(939) | 0 | 1/2 | 2 n,p |
| $\Sigma(1193)$ | -1 | 1 | 3 $\Sigma^-, \Sigma^0, \Sigma^+$ |
| $\Lambda(1116)$ | -1 | 0 | 1 Λ |
| $\Xi(1318)$ | -2 | 1/2 | 2 Ξ^-, Ξ^0 |

Συνδυασμοί κουάρκς στη βαρυονική οκτάδα-δεκάδα



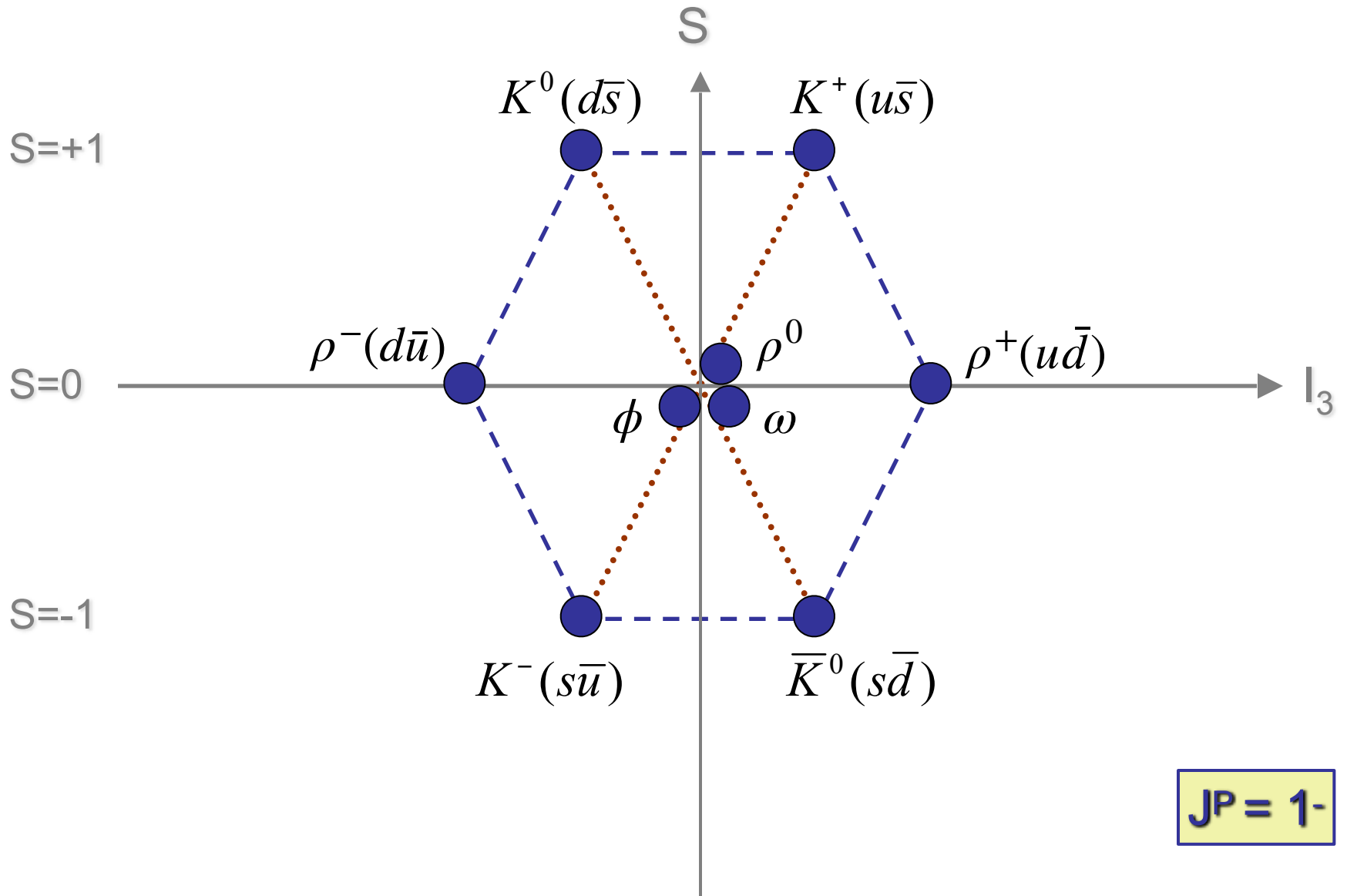
Χαμηλότερες ψευδοβαθμωτές μεσονικές καταστάσεις



Καταστάσεις ψευδοβαθμωτών μεσονίων

| $J^P = 0^-$ | S | I | I_3 | quarks |
|------------------|----|-----|-------|--|
| $\pi^+(140)$ | 0 | 1 | +1 | $u\bar{d}$ |
| $\pi^0(135)$ | 0 | 1 | 0 | $(d\bar{d} - u\bar{u})/\sqrt{2}$ |
| $\pi^-(140)$ | 0 | 1 | -1 | $d\bar{u}$ |
| $K^+(494)$ | +1 | 1/2 | 1/2 | $u\bar{s}$ |
| $K^0(498)$ | +1 | 1/2 | -1/2 | $d\bar{s}$ |
| $K^-(494)$ | -1 | 1/2 | -1/2 | $\bar{u}s$ |
| $\bar{K}^0(498)$ | -1 | 1/2 | 1/2 | $\bar{d}s$ |
| $\eta(549)$ | 0 | 0 | 0 | $(d\bar{d} + u\bar{u} - 2s\bar{s})/\sqrt{6}$ |
| $\eta'(958)$ | 0 | 0 | 0 | $(d\bar{d} + u\bar{u} + s\bar{s})/\sqrt{3}$ |

Χαμηλότερες διανυσματικές μεσονικές καταστάσεις



Καταστάσεις διανυσματικών μεσονίων

| $J^P = 1^-$ | S | I | I_3 | quarks |
|---------------------|----|-----|-------|----------------------------------|
| $\rho^+(770)$ | 0 | 1 | +1 | $u\bar{d}$ |
| $\rho^0(770)$ | 0 | 1 | 0 | $(d\bar{d} - u\bar{u})/\sqrt{2}$ |
| $\rho^-(770)$ | 0 | 1 | -1 | $d\bar{u}$ |
| $K^{*+}(892)$ | +1 | 1/2 | 1/2 | $u\bar{s}$ |
| $K^{*0}(896)$ | +1 | 1/2 | -1/2 | $d\bar{s}$ |
| $K^{*-}(892)$ | -1 | 1/2 | -1/2 | $\bar{u}s$ |
| $\bar{K}^{*0}(896)$ | -1 | 1/2 | 1/2 | $\bar{d}s$ |
| $\omega(782)$ | 0 | 0 | 0 | $(d\bar{d} + u\bar{u})/\sqrt{2}$ |
| $\phi(1020)$ | 0 | 0 | 0 | $s\bar{s}$ |