

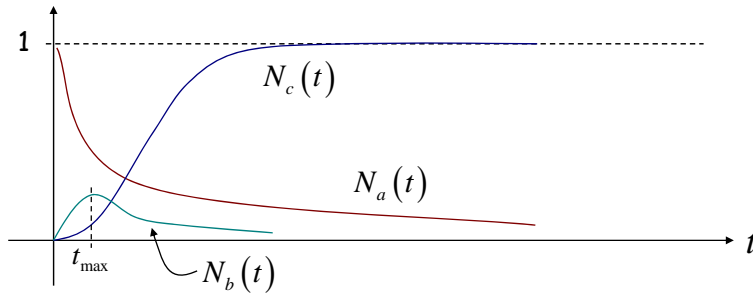
Αλυσίδες Ραδιενεργών Διασπάσεων

• Διαδοχικές διασπάσεις: $A \xrightarrow{\lambda_a} B \xrightarrow{\lambda_b} C$ (σταθερός πυρήνας)

$$\left. \begin{aligned} dN_a &= -\lambda_a N_a dt \\ dN_b &= \lambda_a N_a dt - \lambda_b N_b dt \\ dN_c &= \lambda_b N_b dt \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{η ενεργότητα} \\ \text{της πηγης b} \\ \text{δεν είναι } \lambda_b N_b \end{array} \quad \left. \begin{array}{l} N_a(0) \\ \text{Αρχικές συνθήκες: } N_b(0) = 0 \\ N_c(0) = 0 \end{array} \right\}$$

$$\Rightarrow \left\{ \begin{aligned} N_a(t) &= N_a(0) e^{-\lambda_a t} \\ N_b(t) &= N_a(0) \frac{\lambda_a}{\lambda_b - \lambda_a} (e^{-\lambda_a t} - e^{-\lambda_b t}) \\ N_c(t) &= N_a(0) \left[1 + \frac{1}{\lambda_b - \lambda_a} (\lambda_a e^{-\lambda_b t} - \lambda_b e^{-\lambda_a t}) \right] \end{aligned} \right.$$

Γ. Τσιπολίτης



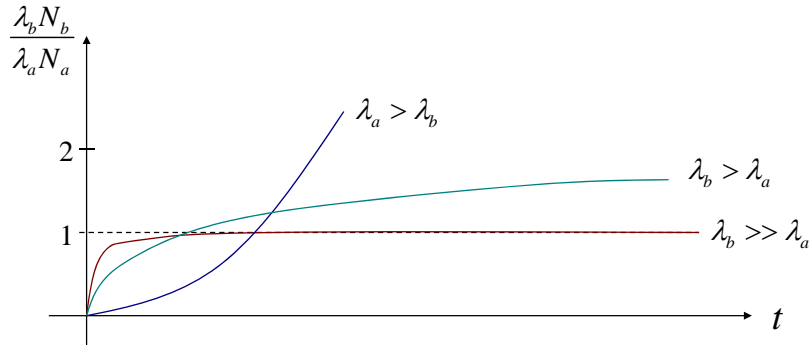
$$\frac{dN_b}{dt} = 0 \Rightarrow t_{\max} = \frac{\ln(\lambda_b / \lambda_a)}{\lambda_b - \lambda_a} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Για } t = t_{\max} : \lambda_a N_b(t_{\max}) = \lambda_b N_a(t_{\max}) \\ \text{Ιδανική ισορροπία!} \end{array} \right.$$

∇ t , ο λόγος των ενεργοτήτων B/A:

$$\frac{\lambda_b N_b}{\lambda_a N_a} = \frac{\lambda_b}{\lambda_b - \lambda_a} \cdot \left[1 - e^{-(\lambda_b - \lambda_a) \cdot t} \right]$$

Γ. Τσιπολίτης

1. Αν $\lambda_a > \lambda_b \Rightarrow (B/A) \uparrow$
2. Αν $\lambda_b > \lambda_a \Rightarrow (B/A)$ σταθεροποιείται σε >1 για $t \gg 0$
(ασταθής ισορροπία)
3. Αν $\lambda_b \gg \lambda_a \Rightarrow (B/A) \rightarrow 1$ (ευσταθής ισορροπία: ο αριθμός των θυγατρικών πυρήνων παραμένει σταθερός σχετικά με τον αριθμό των πυρήνων A)



Γ. Τσιπολίτης

Παραγωγή Ραδιοϊσοτόπων

- Ακτινοβόληση με δέσμη φορτισμένων σωματιδίων από επιταχυντή. Βομβαρδισμός στόχου με σταθερά φορτισμένα σωματίδια \rightarrow εκπομπή προϊόντος αντίδρασης.

$$dn = (N\sigma ag - n\lambda)dt$$

- dn : αριθμός παραγόμενων ραδιενεργών πυρήνων
 a : αριθμός ατόμων στόχου / όγκο
 λ : σταθερά εκπομπής ραδιοϊσοτόπου
 g : πάχος στόχου
 dt : το διάστημα ακτινοβόλησης
 σ : ενεργός διατομή της πυρηνικής αντίδρασης
 n : αριθμός ραδιενεργών ατόμων σε χρόνο t
 N : αριθμός εισερχομένων σωματιδίων

Γ. Τσιπολίτης

Παραγωγή Ραδιοϊσοτόπων

- Θεωρούμε ότι ο στόχος μας είναι ομογενής. Αν για $t=0 \rightarrow n=0$

$$n = \frac{N\sigma a g}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t})$$

- Ενεργότητα:

$$n\lambda = N\sigma a g (1 - e^{-\lambda t})$$

- Ροή σωματιδίων $\Phi=N/S$ (S η διατομή ομογενούς δέσμης)
- Αριθμός ατόμων στόχου $U=Sa g$

$$n\lambda = \Phi \sigma U (1 - e^{-\lambda t})$$

Γ. Τσιπολίτης

Παραγωγή Ραδιοϊσοτόπων

- Ακτινοβολήση με νετρόνια από Πυρηνικό Αντιδραστήρα
- Θεωρούμε αντί παράλληλης δέσμης ροή από όλες τις κατευθύνσεις. Αν έχουμε ένα στόχου όγκου V (αυθαίρετου σχήματος) τότε

$$dn = (\underbrace{\Phi \sigma a V}_U - n\lambda) dt$$

$$dn = (\Phi \sigma U - n\lambda) dt$$

Πυκνότητα ροής σωματιδίων που διαπερνούν μοναδιαία σφαίρα /μονάδα χρόνου

Αν U_0 ο αρχικός αριθμός ατόμων του στόχου

$$n = U_0 (1 - e^{-\Phi \sigma t})$$

$$\lambda n = \lambda U_0 (1 - e^{-\Phi \sigma t})$$

Θεωρούμε πλήρη μετατροπή με μακρά περίοδο βομβαρδισμού

Γ. Τσιπολίτης

Παραγωγή Ραδιοϊσοτόπων

- Στη γενική περίπτωση έχουμε

$$dn = (\Phi \sigma U_0 e^{-\Phi \sigma t} - n \lambda) dt$$
$$\Rightarrow n = \frac{\Phi \sigma U_0}{\lambda - \Phi \sigma} (e^{-\Phi \sigma t} - e^{-\lambda t})$$

- $T_{\max} \rightarrow n=U_0$

$$t_{\max} = \frac{\ln \Phi \sigma - \ln \lambda}{\Phi \sigma - \lambda}$$

Γ. Τσιπολίτης

Ραδιοϊσότοπα

- **Ειδική ενεργότητα** : ενεργότητα / μάζα του σταθερού ισότοπου στοιχείου για τις εφαρμογές ραδιοεπιστημών πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο υψηλή ώστε το ποσοστό του σταθερού στοιχείου που χορηγείται να μην είναι ικανό να διαταράσσει την ομαλή συμπεριφορά του συστήματος.
- **Καθαρότητα ραδιοϊσοτόπου** : το ποσοστό της ολικής ενεργότητας που βρίσκεται στην επιθυμητή/ειδική κατάσταση του στοιχείου
- πχ. το ^{60}Co ($T_{1/2} = 5,3$ γ) με απλή ακτινοβόληση μεταλλικού Co σε αντιδραστήρα χωρίς άλλη επεξεργασία.
- Βελόνες ^{132}I ($T_{1/2} = 74$ d) από ακτινοβόληση συρμάτων Ir \rightarrow λόγω μικρού $T_{1/2}$ παράγονται κοντά στον χώρο χρήσης.
- ^{55}Fe από ακτινοβόληση ^{54}Fe σε αντιδραστήρα (συνήθως Fe_2O_3).
 $^{55}\text{Fe} \rightarrow ^{55}\text{Mn}$. Η καθαρότητα ελέγχεται από την μέτρηση της εκπομπής συναρτήσει του χρόνου.

Γ. Τσιπολίτης

Ραδιοφάρμακα

- **Ραδιοϊσότοπο:** ραδιενεργό στοιχείο που εκπέμπει ένα ή περισσότερα είδη ακτινοβολίας. ΔΕΝ χορηγείται στον οργανισμό.
- **Ραδιοφάρμακο:** ουσία της οποίας οι ιχνηθέτες ακτινοβολούν και παρουσιάζει συγκεκριμένη βιο-διασπορά , ρυθμό αποβολής και χρόνο ημιζωής
- Κατάλληλος σχεδιασμός της δομής του μορίου του ραδιοφαρμάκου έχει σαν αποτέλεσμα τη συμμετοχή του σε βιολογικούς μηχανισμούς και κατά συνέπεια τον εκλεκτικό εντοπισμό του σε κάποιο όργανο/ιστό.
- Ανάλογα με τις φυσικοχημικές ή βιολογικές ιδιότητες του ραδιοφαρμάκου συγκεντρώνεται για κάποιο χρονικό διάστημα στο όργανο / ιστό μεταφέροντας μια δόση ακτινοβολίας.
- Η ακτινοβολία είτε δρα θεραπευτικά είτε ανιχνεύεται εξωτερικά ώστε να πάρουμε πληροφορίες σχετικά με τη μορφολογία / λειτουργικότητα του οργάνου.
- Συνήθως παρασκευάζονται λίγο πριν την χρήση τους και έχουν μικρό χρόνο ημιζωής.

Γ. Τσιπολίτης

Ραδιοϊσότοπα στην Ιατρική

Ραδιοϊσότοπο	$t_{1/2}$	Κύρια γ [MeV]	Ραδιοϊσοτοπικές προσμίξεις
^{32}P	14,3 d	$\beta_{\text{max}} = 1,71$	
^{51}Cr	27,7 d	0,320	
^{57}Co	271 d	0,122	^{60}Co
^{58}Cr	70,8 d	0,511 - 0,811	^{60}Co
^{59}Fe	44,6 d	1,10 - 1,29	^{55}Fe (μη προσδιοριζόμενος)
^{67}Ga	3,26 d	0,093 - 0,183 - 0,30	^{66}Ga
^{75}Se	118,5 d	0,136 - 0,265	
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6,02 h	0,140	^{99}Mo , ^{131}I , ^{103}Ru , ^{89}Sr , ^{90}Sr
^{125}I	60,1 d	0,027	^{131}I
^{131}I	8,04 d	0,365	
^{133}Xe	5,29 d	0,081 - 0,03 - 0,035	
^{123}I	13 h	0,027 - 0,160	
^{111}In	2,8 d	0,173 - 0,247	
$^{113\text{m}}\text{In}$	104 min	0,390	
^{201}Tl	73h	0,068 - 0,083	

Γ. Τσιπολίτης

Ραδιοφάρμακα

- 4 κατηγορίες:
 - Ραδιοφάρμακα έτοιμα για χρήση. Συνήθως έχουν κάποιο μακρόβιο ραδιοϊσότοπο και διατίθενται έτοιμα προς χρήση. Ο όγκος του φαρμάκου που χορηγείται εξαρτάται από την συγκέντρωση του ραδιοϊσοτόπου και το $T_{1/2}$.
 - Ραδιοφάρμακα σε kits. Μη ραδιενεργός συσκευασία με τα δραστικά συστατικά και η τελική διαμόρφωση γίνεται στο χώρο που θα χρησιμοποιηθεί. Πολλές φορές έχουμε κατάλληλες συσκευές παραγωγής πχ. γεννήτρια ^{99m}Tc .
 - Ραδιοφάρμακα παρασκευαζόμενα λίγο πριν τη χρήση: περίπτωση που το ραδιοϊσότοπο έχει πολύ μικρό $T_{1/2}$. Παράγονται σε κύκλοτρα ή από γεννήτριες υπερβραχύβιων ραδιοϊσοτόπων.
 - Ραδιοφάρμακα βασιζόμενα σε δείγμα του ασθενή: κύτταρα ή πρωτεΐνες του πλάσματος του ασθενή αφού επισημανθούν με κάποιο ραδιοϊσότοπο επαναχορηγούνται.

Γ. Τσιπολίτης

Ραδιοφάρμακα για διάγνωση

- Εκπομπή μόνο γ
- $100 \text{ keV} < E_{\gamma} < 250 \text{ keV}$
- Ενεργός χρόνος ημιζωής $< 1,5 \times$ χρόνος εξέτασης
- Ελάχιστη δόση στον ασθενή και στο ιατρικό προσωπικό
- Ασφαλές για τον ασθενή
- Καλές δυνατότητες επισημάνσης από τον ιχνηθέτη
- Χαμηλό κόστος και εύκολη διαθεσιμότητα του ραδιοφαρμάκου
- Σε περίπτωση παρασκευής σε κλινικά εργαστήρια: απλή προετοιμασία και ποιοτικός έλεγχος.

Γ. Τσιπολίτης

Ραδιοφάρμακα για Θεραπεία

- Εκπομπή μόνο ακτινοβολίας β
- $E_{\beta} > 1 \text{ MeV}$
- Ενεργός χρόνος ημιζωής αρκετά μεγάλος (πχ μερικές μέρες)
- Ελάχιστη δόση στον ασθενή και στο ιατρικό προσωπικό
- Ασφαλές για τον ασθενή
- Καλές δυνατότητες επισήμανσης από τον ιχνηθέτη
- Χαμηλό κόστος και εύκολη διαθεσιμότητα του ραδιοφαρμάκου
- Σε περίπτωση παρασκευής σε κλινικά εργαστήρια: απλή προετοιμασία και ποιοτικός έλεγχος.

Γ. Τσιπολίτης