



Σχολή Εφαρμοσμένων Μαθηματικών και Φυσικών Επιστημών  
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΩΜΑΤΙΩΝ ΑΛΦΑ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΗΝ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑ ΜΕ ΜΕΘΟΔΟΥΣ MONTE CARLO

ΑΧΤΑΡΟΠΟΥΛΟΥ ΜΑΡΙΑΝΝΑ Α.Μ. 0914087

**Επιβλέπων : Αλ. Γεωργακίλας**  
Καθηγητής, ΣΕΜΦΕ, ΕΜΠ

**Τριμελής Επιτροπή**

- 1) Αλ. Γεωργακίλας , καθηγητής ΕΜΠ
- 2) Μ. Κόκκορης, καθηγητής ΕΜΠ
- 3) Μ. Διακάκη, επίκουρη καθηγήτρια ΕΜΠ

# ΕΝΟΤΗΤΕΣ



**Σωματίδια άλφα**



**Μηχανισμός δράσης του Ραδίου 223 στην ακτινοθεραπεία**



**Προσομοίωση γεωμετρίας και πηγής στο MCNP6 (Version 1.0)**



**Πρόβλεψη δόσης μέσω MCNP**



**Υπολογισμός εμβέλειας ηλεκτρονίων και σωματιδίων άλφα μέσω E-star και SRIM**

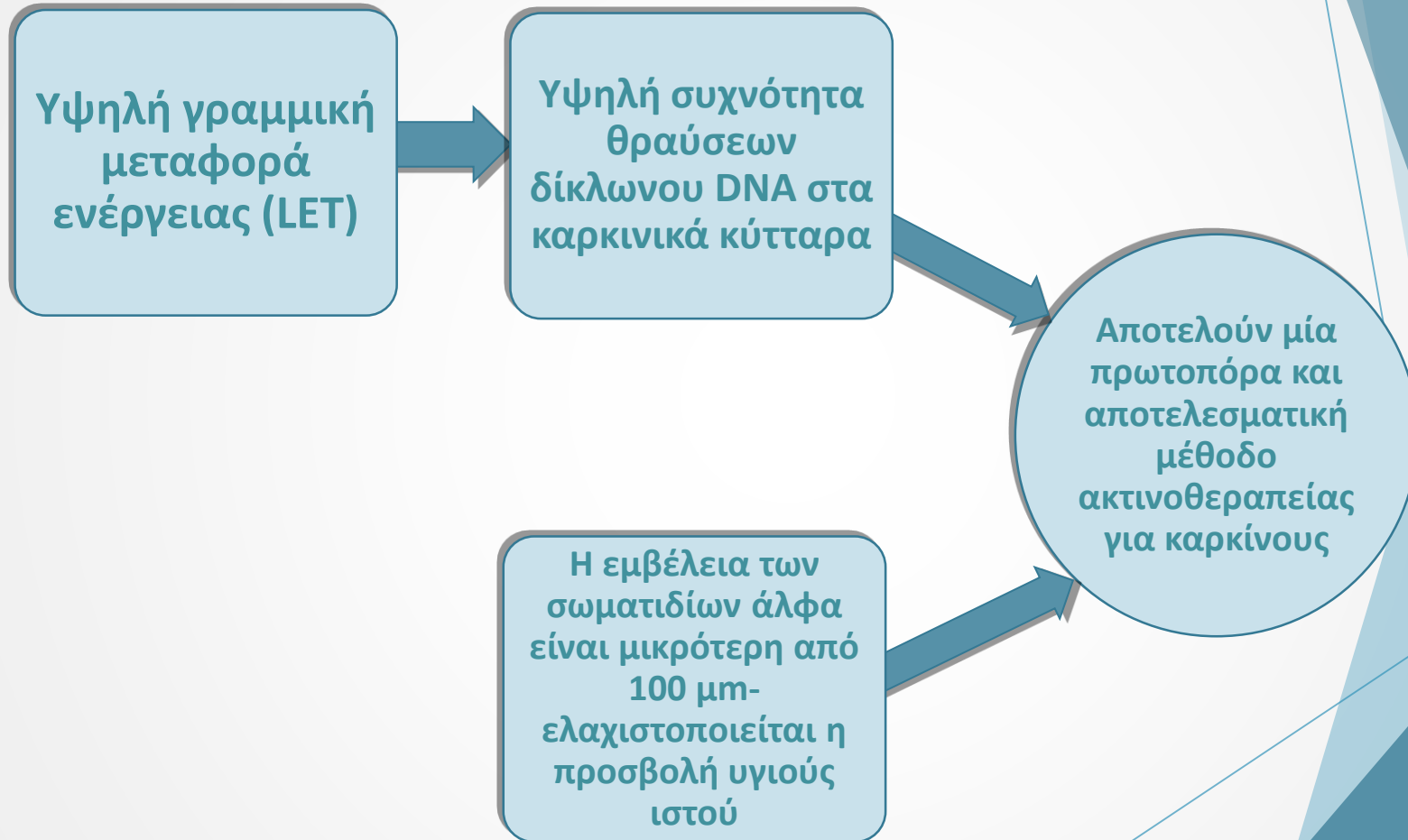


**Πρόβλεψη βλαβών μέσω MCDS**



**Προβλήματα-Συμπεράσματα-Προοπτικές**

# Σωματίδια άλφα



# Το ράδιο 223

- ◆ Είναι ένας πομπός σωματιδίων άλφα
- ◆ Η διάσπασή του δίνει 93,6% ακτινοβολία άλφα, 3,3% βήτα και 1,1% γάμμα
- ◆ Χρησιμοποιούμε το διάλυμα  $^{223}\text{RaCl}_2$  με εμπορική ονομασία **Xofigo**<sup>®</sup> (*Injection, Bayer HealthCare Pharmaceuticals Inc.*)
- ◆ Καταπολέμηση των μεταστάσεων στα οστά που προέρχονται από καρκίνο στον προστάτη



## Εσωτερική ακτινοθεραπεία

Είναι μια θεραπευτική μέθοδος κατά την οποία μια πηγή ακτινοβολίας τοποθετείται μέσα στο σώμα. Η πηγή ακτινοβολίας στο ΧΟFIFO είναι εσωτερική υγρή θεραπεία.

**Υγρή:** Η εσωτερική ακτινοθεραπεία με υγρή πηγή ονομάζεται συστηματική θεραπεία.



Η θεραπεία ταξιδεύει μέσω των ιστών του σώματος καθώς η κυκλοφορία του αίματος αναζητά και σκοτώνει τα καρκινικά κύτταρα.



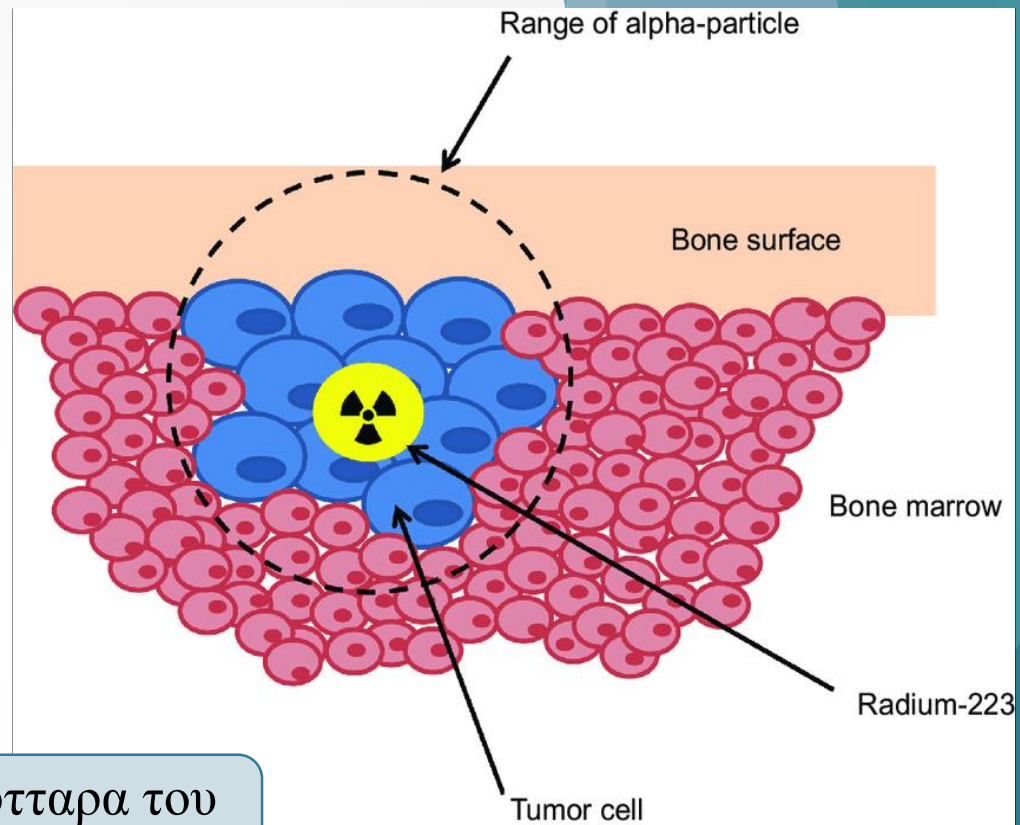
Μέσω κατάποσης, ενδοφλέβια, ή ένεσης.

# Θεωρητική διαδικασία

Το ραδιοφάρμακο εγχέεται στον ασθενή

Μιμείται το ασβέστιο και απορροφάται από τα οστά

Φτάνει στα κύτταρα του όγκου



# Προσομοίωση

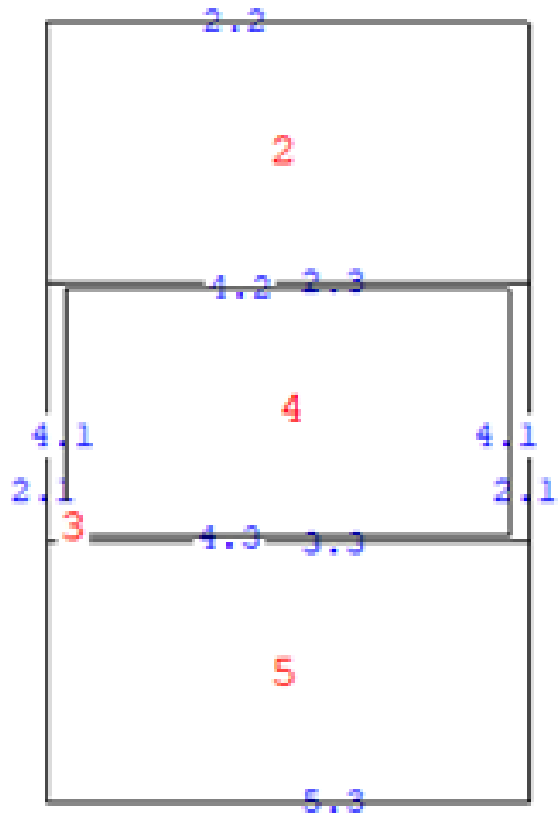
- ◆ Μέτρηση πραγματικών διαστάσεων όγκου
- ◆ Κατασκευή της γεωμετρίας στο MCNP6 (Version 1.0)
- ◆ Τοποθέτηση πηγής στο κέντρο της μετάστασης στο MCNP6
- ◆ Υπολογισμός εναπόθεσης ενέργειας για σωματίδια άλφα, ηλεκτρόνια και φωτόνια



Αξονική  
ασθενούς

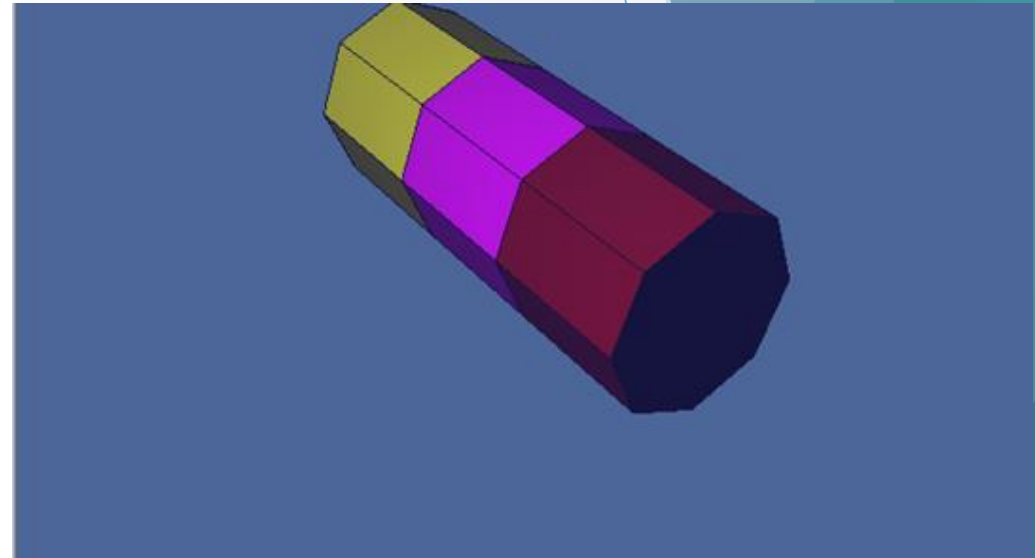


# Γεωμετρία MCNP6 (Version 1.0)



+

1

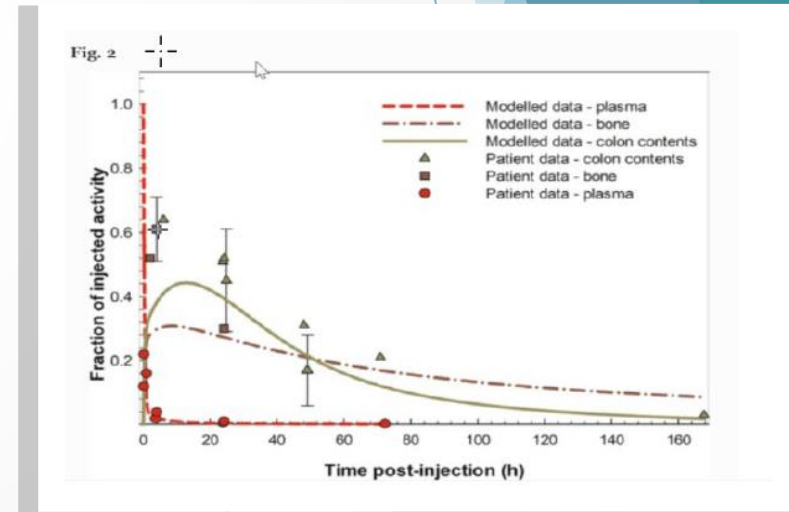




# Υπολογισμός απορροφούμενης δόσης

➤ Το ποσοστό συγκέντρωσης στα οστά σε συνάρτηση με τον χρόνο:

- Στις 2,5 ώρες ήταν περίπου 60% της αρχικής , όπου είναι και η μέγιστη
- Στις 24 ώρες ήταν περίπου 30% της αρχικής



# Υπολογισμός απορροφούμενης δόσης

| CELL | ALPHA<br>(Gy*Wτ/Mbq)<br>2,5h | ELECTRONS<br>(Gy*Wτ/Mbq)<br>2,5h | PHOTONS<br>(Gy*Wτ/Mbq)<br>2,5h |
|------|------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 1    | 0,00E+00                     | 0,00E+00                         | 5,89E-09                       |
| 2    | 0,00E+00                     | 8,79E-09                         | 8,91E-08                       |
| 3    | 8,54E-03                     | 9,25E-06                         | 2,69E-07                       |
| 4    | 2,01E+00                     | 7,95E-05                         | 4,51E-07                       |
| 5    | 0,00E+00                     | 9,58E-09                         | 8,97E-08                       |

Η απορροφούμενη δόση από την επιφάνεια των οστών στις 2,5 ώρες. (Gy/Mbq)

# Υπολογισμός εμβέλειας ηλεκτρονίων μέσω E-star

| Ενέργεια $e^-$ (MeV) | Στο νερό (cm) | Στα οστά (cm) |
|----------------------|---------------|---------------|
| 0.450                | 0.1523        | 0.0916        |
| 0.500                | 0.1766        | 0.1062        |

Ενώ η εμβέλεια είναι μικρότερη του μεγέθους του όγκου τα επιφανειακά ηλεκτρόνια θα ξεφύγουν στον υγιή ιστό!

# Υπολογισμός εμβέλειας σωματιδίων άλφα μέσω SRIM

| Ion      | Projected | <i>total stopping power</i>     | <i>total stopping power</i> |
|----------|-----------|---------------------------------|-----------------------------|
| Energy   | Range     | $dE/dx_{elec} + dE/dx_{nuclea}$ | keV/um                      |
| 5,00 MeV | 36,39 um  | 9,14E-01                        | 9,14E+01                    |
| 5,50 MeV | 42,05 um  | 8,54E-01                        | 8,54E+01                    |
| 6,00 MeV | 48,08 um  | 8,03E-01                        | 8,03E+01                    |
| 6,50 MeV | 54,49 um  | 7,58E-01                        | 7,58E+01                    |
| 7,00 MeV | 61,27 um  | 7,18E-01                        | 7,18E+01                    |
| 8,00 MeV | 75,89 um  | 6,51E-01                        | 6,51E+01                    |

Η εμβέλεια των σωματιδίων άλφα στο νερό είναι μόλις μερικά μm, άρα δεν ξεφεύγουν από τον όγκο!

# Υπολογισμός εμβέλειας σωματιδίων άλφα μέσω SRIM

| Ion      | Projected | <i>total stopping power</i> | <i>total stopping power</i> |
|----------|-----------|-----------------------------|-----------------------------|
| Energy   | Range     | $dE/dx_{elec}+dE/dx_{nuc}$  | keV/um                      |
| 5,00 MeV | 34,56 um  | 9,31E-01                    | 9,59E+01                    |
| 5,50 MeV | 39,96 um  | 8,69E-01                    | 8,95E+01                    |
| 6,00 MeV | 45,72 um  | 8,16E-01                    | 8,40E+01                    |
| 6,50 MeV | 51,85 um  | 7,69E-01                    | 7,92E+01                    |
| 7,00 MeV | 58,33 um  | 7,28E-01                    | 7,50E+01                    |
| 8,00 MeV | 72,35 um  | 6,58E-01                    | 6,78E+01                    |

Η εμβέλεια των σωματιδίων άλφα στο **οστό** ακόμα μικρότερη άρα δεν ξεφεύγουν από τον όγκο!

# Πρόβλεψη βιολογικών βλαβών από ηλεκτρόνια στις 2,5 ώρες

| CELL | ELECTRON OTHER   | ELECTRON ALL CLUSTERS | ELECTRON DSB      |
|------|------------------|-----------------------|-------------------|
| 1    | 0                | 0,00E+00              | 0                 |
| 2    | 129504501        | 2,93E+08              | 32017290          |
| 3    | 535275060        | 7,83E+08              | 10549887          |
| 4    | <b>542575380</b> | <b>7,91E+08</b>       | <b>10200388,2</b> |
| 5    | 145266519        | 3,16E+08              | 30982341          |

(Αριθμός clusters ανά κύτταρο) \* Gy/WT/Mbq

| CELL | ELECTRON OTHER | ELECTRON ALL CLUSTERS | ELECTRON DSB    |
|------|----------------|-----------------------|-----------------|
| 1    | 0              | 0,00E+00              | 0               |
| 2    | 0              | 5,36E+06              | 10511797,5      |
| 3    | 0              | 5,36E+06              | 17602655,4      |
| 4    | 0              | <b>5,36E+06</b>       | <b>17707296</b> |
| 5    | 0              | 5,36E+06              | 10859668,2      |

( Σύνθεση cluster (% Sb ανά cluster) \* Gy\*WT/Mbq

# Πρόβλεψη βιολογικών βλαβών από σωματίδια άλφα στις 2,5 ώρες

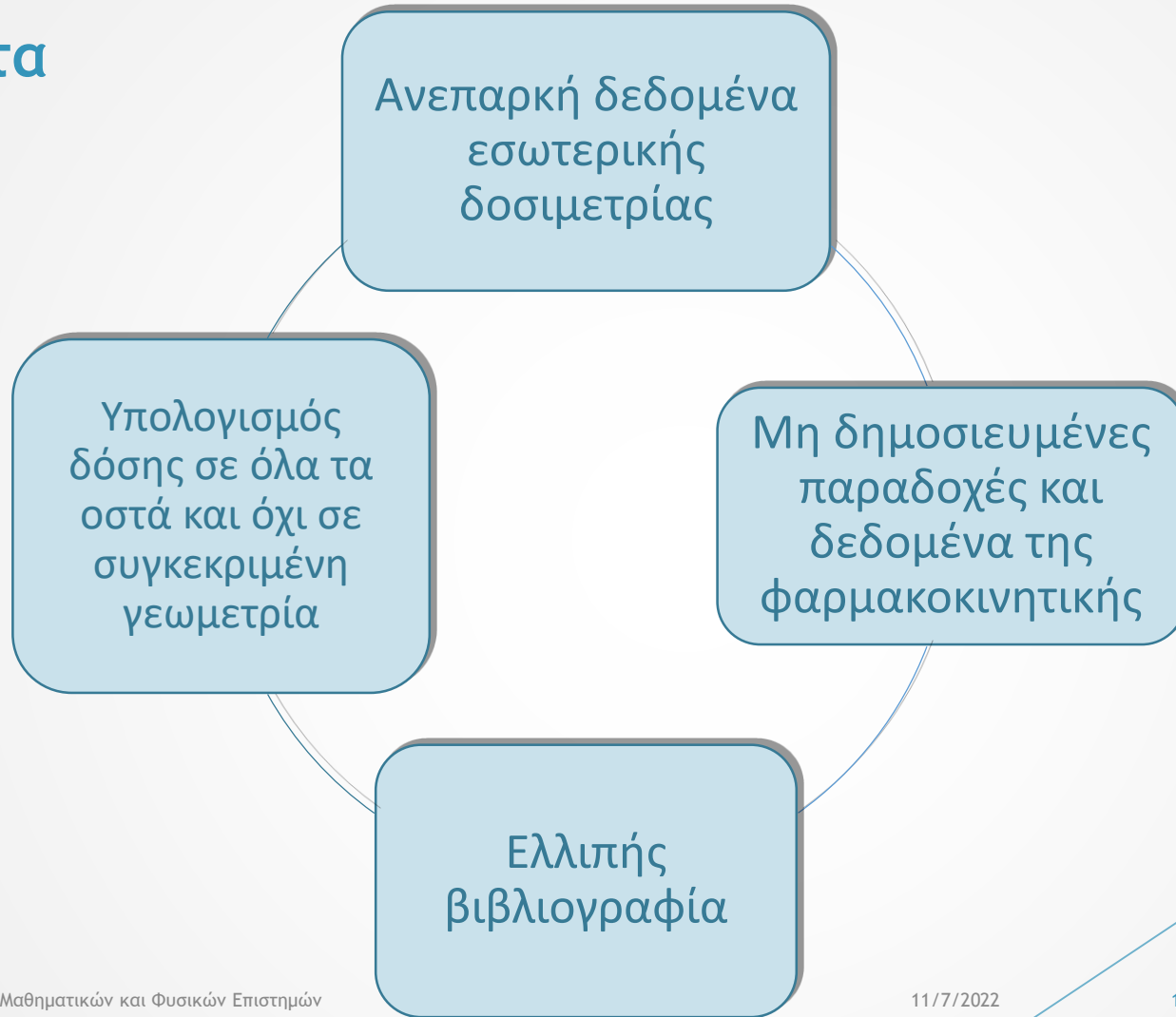
| CELL | ALPHA<br>OTHER   | ALPHA ALL<br>CLUSTERS | ALPHA DSB       |
|------|------------------|-----------------------|-----------------|
| 1    | 0                | 0,00E+00              | 0               |
| 2    | 0                | 0,00E+00              | 0               |
| 3    | 553,5741         | 1,74E+08              | 36122313        |
| 4    | <b>2170,0563</b> | <b>4,11E+08</b>       | <b>26445369</b> |
| 5    | 0                | 0,00E+00              | 0               |

(Αριθμός clusters ανά κύτταρο) \* Gy/WT/Mbq

| CELL | ALPHA<br>OTHER | ALPHA<br>CLUSTERS | ALL               | ALPHA DSB |
|------|----------------|-------------------|-------------------|-----------|
| 1    | 0              | 0,00E+00          | 0                 | 0         |
| 2    | 0              | 0,00E+00          | 0                 | 0         |
| 3    | 0              | 5,36E+06          | 8552469,6         |           |
| 4    | <b>0</b>       | <b>5,36E+06</b>   | <b>12347731,5</b> |           |
| 5    | 0              | 0,00E+00          | 0                 | 0         |

( Σύνθεση cluster (% Sb ανά cluster) \* Gy\*WT/Mbq

# Προβλήματα





# Προβλήματα



# Συμπεράσματα



Πραγματοποίηση υπολογισμών με αναλυτικές τις παραδοχές και τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν



Πραγματοποίηση επιτυχημένης σύγκρισης MCNP6 (Version 1.0) με το e-star και το SRIM στην εμβέλεια των σωματιδίων αλλά και των βιολογικών βλαβών

# Συμπεράσματα



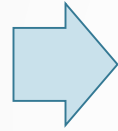
Περιορίσαμε την αβεβαιότητα μας στους υπολογισμούς μόνο στις επιπρόσθετες παραδοχές και όχι στην ακρίβεια των προγραμμάτων που χρησιμοποιήσαμε αφού στο MCNP ελέγχουμε το σφάλμα ανάλογα με τις επαναλήψεις που θα τρέξουμε.



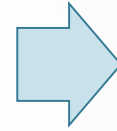
Με χρήση διαφορετικών δεδομένων, ένας γνώστης φαρμακοκινητικής θα μπορέσει να υπολογίσει και να προβλέψει δόσεις και βλάβες που θα προκληθούν από το Ra223

# Προοπτικές

Συνεχή βελτίωση των  
προγραμμάτων  
προσομοίωσης



Πιο ακριβή και  
λεπτομερή μοντέλα  
εσωτερικής  
δοσιμετρίας



Αναλυτικότερη μελέτη  
αποτελεσματικότητας  
του ραδιοφαρμάκου

Σας ευχαριστώ για τον χρόνο σας

