

**Zeitschrift:** Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz = Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse = Radioattività dell'ambiente e dosi d'irradiazione in Svizzera

**Herausgeber:** Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz

**Band:** - (2013)

**Rubrik:** Radioaktivität im Menschen = Radioactivité dans le corps humain

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 11.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz

## Radioactivité de l'environnement et doses de rayonnements en Suisse

Ergebnisse 2013  
Résultats 2013



### 6

## Radioaktivität im Menschen

## Radioactivité dans le corps humain

<b>6.1 Ergebnisse der Ganzkörpermessungen von 2013</b>	<b>107</b>
Zusammenfassung	107
Ziel der Messungen	107
Messmethode	107
Ergebnisse und Interpretation der $^{137}\text{Cs}$ -Messungen	108
$^{40}\text{K}$ -Gehalt des Körpers	108
<b>6.2 Mesure de <math>^{90}\text{Sr}</math> dans les vertèbres et les dents de lait</b>	<b>109</b>
Résumé	109
Introduction	109
Résultats et discussion	110





## 6.1

# Ergebnisse der Ganzkörpermessungen von 2013

### **S. Estier**

Sektion Umweltradioaktivität, URA BAG, 3003 Bern

### **M. Boschung**

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, PSI, 5232 Villigen-PSI

### **Mme. S. Namy, et K. Jeandet**

Abteilung Nuklearmedizin des Kantonsspitals, Av. Micheli-du-Crest 24, 1211 Genf-4

### Zusammenfassung

Ganzkörpermessungen zur Bestimmung des Radioaktivitätsgehaltes im menschlichen Körper werden regelmässig an Mitarbeitern des Paul-Scherrer-Institutes (PSI) in Villigen sowie an Gymnasiasten aus Genf durchgeführt. 2013 konnten aus organisatorischen Gründen in Genf keine Messungen durchgeführt werden. Das PSI meldete in diesem Jahr zwei  $^{137}\text{Cs}$ -Messwerte über 200 Bq und drei Messwerte zwischen 60 und 200 Bq. Die  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten für die anderen 441 am PSI durchgeführten Messungen lagen unterhalb der Nachweisgrenze von 60 Bq.

### Ziel der Messungen

Am PSI werden Ganzkörpermessungen zur Überwachung der beruflich strahlenexponierten Personen dieses Institutes eingesetzt. Bei Ereignissen mit Verdacht auf Inkorporation radioaktiver Stoffe können auch Personen der Bevölkerung gemessen werden. Seit 40 Jahren wurden in Genf Gymnasiastinnen und Gymnasiasten gemessen, mit dem Ziel die Radioaktivität bis zum letzten Glied der Nahrungskette überwachen zu können und Angaben zur Verteilung natürlicher und künstlicher Radionuklide in der Bevölkerung zu erhalten. Leider konnten diese Messungen 2013 nicht durchgeführt werden, da es immer schwieriger wurde die Schüler für diesen freiwilligen Beitrag zu gewinnen. Ab 2014 wird das Messprogramm mit Studenten der höheren Fachschule für Gesundheit in Genf weitergeführt.

### Messmethode

Ganzkörpermessungen am Kantonsspital Genf werden mit grossvolumigen NaI-Kristallen in speziell abgeschirmten Messkammern mit Blei- und Eisenabschirmung durchgeführt. Die Messung einer Person dauert in der Regel etwa zehn bis 30 Minuten. Die Kalibrierung erfolgt mittels eines Personen-Phantoms bekannter Aktivität.

Für die Ganzkörpermessungen wird am PSI ein Reinstgermanium-Detektor in einer speziell abgeschirmten Messkammer (mit Blei- und Eisenabschirmung) eingesetzt. Die Messung einer Person dauert in der Regel etwa 7 Minuten für die routinemässigen Überwachungsmessungen am PSI. Die Kalibrierung erfolgt mittels eines personenähnlichen Phantoms bekannter Aktivität.

## Ergebnisse und Interpretation der $^{137}\text{Cs}$ -Messungen

Im Rahmen der Inkorporationsüberwachung der beruflich strahlenexponierten Personen wurden 2013 am PSI in Villigen bei 259 Personen total 446 Ganzkörpermessungen durchgeführt. Bei zwei Messungen wurde eine  $^{137}\text{Cs}$ -Ganzkörperaktivität über 200 Bq nachgewiesen. Bei einer Messung wurde ein  $^{137}\text{Cs}$ -Ganzkörperaktivität zwischen 150 und 200 Bq nachgewiesen. Bei zwei Messungen wurde eine  $^{137}\text{Cs}$ -Ganzkörperaktivität zwischen 60 und 150 Bq gemessen. Die  $^{137}\text{Cs}$ -Messwerte für alle anderen Messungen lagen unterhalb der Nachweisgrenze von 60 Bq.

Die beiden Messwerte von über 200 Bq wurden bei 2 Messungen eines PSI-Mitarbeitenden im Abstand von 6 Monaten ermittelt und sind auf eine einmalige, jedoch nachträglich zeitlich nicht bestimmbare Inkorporation bei der Arbeit zurückzuführen. Die Standardinterpretation des Messwertes gemäss den Vorgaben der Verordnung über die Personendosimetrie ergibt eine effektive Folgedosis von 25 microSv.

## $^{40}\text{K}$ -Kalium-Gehalt des Körpers

Da  $^{40}\text{K}$  ein Gamma-Strahler ist, kann es bei der Ganzkörpermessung ohne zusätzlichen Aufwand mitgemessen werden.

Das in der Natur vorkommende Kalium besteht zu 11.67‰ aus dem radioaktiven Isotop  $^{40}\text{K}$ . Kalium befindet sich vor allem im Muskelgewebe und damit ist der Kalium-Gehalt proportional zur Muskelmasse. Da bei Männern der Anteil Muskelgewebe am Gesamtkörpergewicht grösser ist als bei Frauen, haben die Männer einen höheren Kalium-Gehalt als Frauen. Der durchschnittliche  $^{40}\text{K}$ -Gehalt beträgt (gemäss älteren Publikationen) bei 20-30-jährigen Männern ca. 4'500 Bq und bei gleichaltrigen Frauen ca. 3'000 Bq und nimmt danach bis zum Alter von 70 Jahren um etwa 10 bis 20 Prozent ab.

Aus den langjährigen Ganzkörpermessungen an Gymnasiasten aus Genf (von 1974 bis 2012: 693 Messwerte an jungen Frauen und 715 Messwerte an jungen Männern) kann die Häufigkeitsverteilung des Kalium-Gehaltes bestimmt werden. Im Durchschnitt ergibt sich bei den untersuchten Gymnasiasten bei den jungen Frauen ein Mittel von 1.84 g Kalium (20 - 80%-Perzentile: 1.68 - 2.04 g K) pro kg Körpergewicht (entsprechend 3'300 Bq) und bei den jungen Männern 2.30 g K (20 - 80%-Perzentile: 2.11 - 2.51 g K) pro kg Körpergewicht (entsprechen 4'900 Bq). Man stellt eine Erhöhung der durchschnittlichen  $^{40}\text{K}$ -Aktivität im Körper von ca. 10% über die letzten Jahre stellt man eine Erhöhung von 10% der durchschnittlichen  $^{40}\text{K}$ -Aktivität im Körper fest. Diese ist direkt auf die Zunahme des durchschnittlichen Körpergewichts der Gymnasiasten zurückzuführen.

Die tägliche Kaliumzufuhr beträgt etwa 3.3 g d.h. rund 100 Bq  $^{40}\text{K}$ . Die durchschnittliche Jahresdosis durch das natürliche  $^{40}\text{K}$  beträgt bei den untersuchten Gymnasiasten etwa 0.19 mSv (0.17 mSv bei den Frauen und 0.21 mSv bei den Männern). Gemittelt über alle Altersgruppen liegt der Wert infolge Abnahme des K-Gehaltes mit dem Alter etwas tiefer, gemäss UNSCEAR: 0.17 mSv/Jahr. Da bei diesen Messreihen auch Grösse und Gewicht der untersuchten Personen erfasst wurden, konnte aus den Daten abgeleitet werden, dass der Kalium-Gehalt mit zunehmendem Body-Mass-Index ( $\text{BMI} = \text{Gewicht}/\text{Grösse}^2 [\text{kg}/\text{m}^2]$ ) leicht abnimmt. Das hängt damit zusammen, dass der BMI proportional zum Anteil Fettgewebe ist und damit umgekehrt proportional zur Muskelmasse und somit zum Kalium-Gehalt.



## 6.2

# Mesure de $^{90}\text{Sr}$ dans les vertèbres et les dents de lait

**P. Froidevaux, M. Straub, F. Barraud, M. Pedro, F. Bochud**

Institut de radiophysique, Grand Pré 1, 1007 Lausanne

### Résumé

Nous avons mesuré le  $^{90}\text{Sr}$  dans des échantillons de dents de lait d'enfants nés entre 1994 et 2006 et prélevées entre 2010 et 2013. Les activités sont situées entre 0.010 et 0.015 Bq/g Ca. Des mesures similaires ont été effectuées sur des vertèbres de personnes décédées en 2012 et 2013, au Tessin et dans le canton de Vaud. Les activités sont situées entre 0.006 et 0.019 Bq/g Ca. Ces valeurs sont en constante diminution, ce qui démontre une disparition progressive du  $^{90}\text{Sr}$  de la biosphère. Ces résultats montrent également que la chaîne alimentaire n'est contaminée en  $^{90}\text{Sr}$  que par les résidus d'activité provenant des essais nucléaires des années soixante. En 2013, nous avons poursuivi les mesures de  $^{210}\text{Po}$  initiées en 2010 dans ces mêmes échantillons afin de voir l'impact de l'inhalation de  $^{222}\text{Rn}$  et de la contamination de la nourriture par le  $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$  sur l'humain. Les activités sont situées entre 0.019 et 0.060 Bq/g Ca.

### Introduction

Le  $^{90}\text{Sr}$  est un radioélément parmi les plus radio-toxiques que produit la fission nucléaire. Il est présent dans l'environnement en Suisse à la suite des retombées des essais nucléaires atmosphériques des années 1955 - 1963. Le  $^{90}\text{Sr}$  a une période physique de 29.1 ans et constitue donc un danger potentiel d'irradiation à long terme, notamment s'il est accumulé dans le corps humain. Le  $^{90}\text{Sr}$  est un analogue chimique du calcium et peut ainsi être incorporé dans les os et les dents. Un paramètre très important pour évaluer la dose reçue par la population suite à l'ingestion de  $^{90}\text{Sr}$  est le temps de

réten-tion du radioisotope dans le corps humain. Il a été déterminé dans la vertèbre à 13.5 ans et suit le temps de rétention du  $^{90}\text{Sr}$  dans tous les autres compartiments de l'environnement (Froidevaux et al. 2010). La présence de  $^{90}\text{Sr}$  dans le squelette humain est donc liée à la présence de  $^{90}\text{Sr}$  dans la biosphère.

Nous avons également mesuré le  $^{210}\text{Po}$  dans des vertèbres provenant du Tessin et de Vaud. L'os est en effet un compartiment cible pour le  $^{210}\text{Pb}$ , pré-curseur du  $^{210}\text{Po}$  (Leggett, 1993). L'incorporation par ingestion de nourriture riche en  $^{210}\text{Po}$  (poissons, crustacés, fruits de mer) peut mener à un niveau de  $^{210}\text{Po}$  accru dans les os mais le régime alimentaire moyen en Suisse contient peu de ces produits. Le tabagisme accroît aussi de manière significative l'incorporation de  $^{210}\text{Po}$ . Des valeurs d'excrétion de 15 - 20 mBq/l d'urine ne sont pas rares chez les fumeurs, alors que le taux normal chez les non fumeurs est inférieur à 5 mBq/l d'urine (Froidevaux and Baechler, 2006).

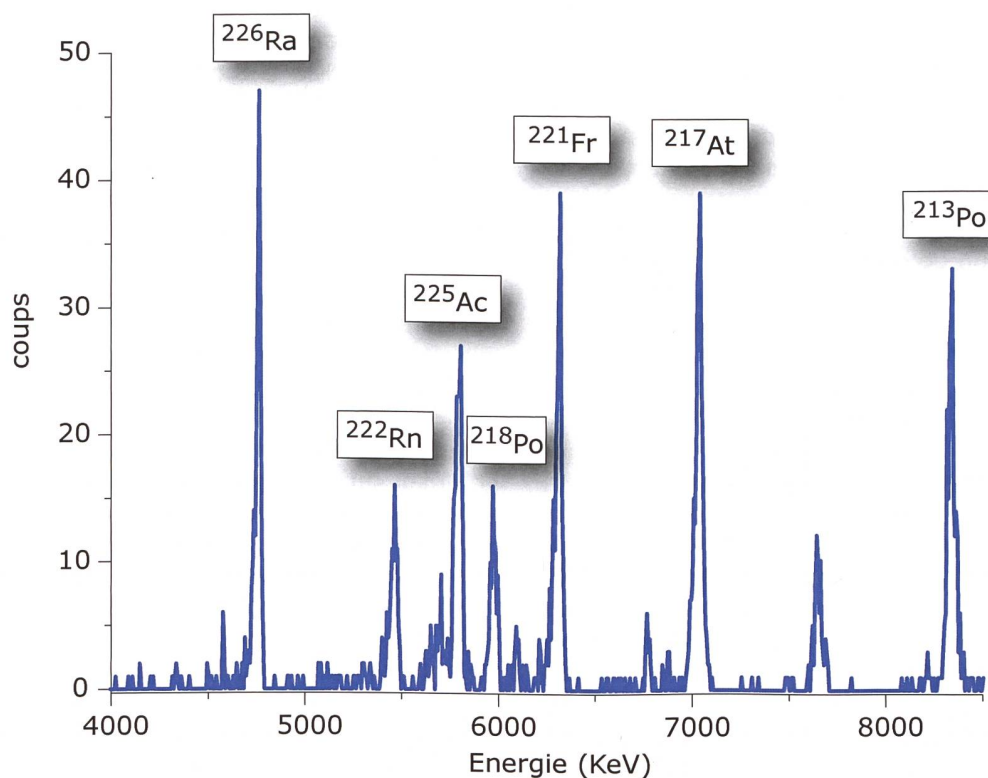
Dans ce rapport, nous avons ajouté la mesure de  $^{226}\text{Ra}$  sur un échantillon de vertèbre du Tessin. En effet, nous avons développé une méthode de mesure de  $^{226}\text{Ra}$  dans les échantillons environnementaux et biologiques (os, urine) avec un rattachement métrologique au traceur  $^{225}\text{Ra}$ , issu du traceur  $^{229}\text{Th}$ . La méthode implique une co-précipitation du radium sur  $\text{BaSO}_4$ , suivi d'une séparation chimique sur résine Dowex 50w8 (cationique) en présence de complexants tels que EDTA et DCTA. Le radium est ensuite électrodéposé sur disque d' $\text{Ag}^0$  en milieu éthanol/ $\text{HNO}_3$  dilué, sous 25 - 30 V (env. 100 mA). Le rendement chimique est obtenu par la mesure sur le spectre alpha de la région d'intérêt de  $^{217}\text{At}$ , arrière-petite fille de  $^{225}\text{Ra}$  (cf. Figure 1).

## Résultats et discussion

Les résultats des analyses 2013 sont présentés dans les tableaux 1 et 2. Les activités normalisées au contenu en calcium de l'échantillon sont de l'ordre de 0.013 Bq/g Ca dans les dents de lait ( $n=6$ ) et dans les os ( $n=17$ ). La présence de  $^{90}\text{Sr}$  dans les dents de lait des enfants est due au passage de ce radioélément du plasma sanguin de la mère (après ingestion de nourriture contaminée) à travers le placenta durant les derniers mois de la grossesse ainsi qu'à la contamination du lait maternel lors des premiers mois d'allaitement. La présence de  $^{90}\text{Sr}$  dans les vertèbres humaines est due à un échange permanent du calcium dans la masse osseuse. Le calcium échangé provient de la nourriture et peut contenir du  $^{90}\text{Sr}$ , si celui-ci est présent dans l'environnement. La diminution exponentielle de l'activité en  $^{90}\text{Sr}$  dans les vertèbres humaines et les dents de lait des enfants depuis le traité d'interdiction des essais d'armes atomiques en atmosphère (1963) indique que l'environnement en Suisse n'a pas été contaminé ultérieurement par ce radioélément.

Les activités en  $^{210}\text{Po}$  mesurées dans les vertèbres sont beaucoup plus variables que celles de  $^{90}\text{Sr}$ , car les niveaux d'activité dans l'air inhalé et dans la nourriture ingérée sont également plus variables, alors que les habitudes en matière de tabagisme ont également une importance fondamentale. Les valeurs mesurées en 2013 sont situées entre 18 et 60 mBq/g Ca. Il faut également noter que le niveau d'activité en  $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$  est dépendant de l'âge. Des niveaux de l'ordre de 13 mBq/g Ca ont été observés dans la tête de fémur d'enfants (Lovaas and Hursh, 1968) alors que des activités situées entre 20 et 100 mBq/g Ca sont rapportées pour les os trabéculaires chez l'adulte. Les activités mesurées dans vertèbres dans ce travail sont donc compatibles avec l'intervalle de valeurs reporté dans la littérature et ne présentent pas de danger d'irradiation significative.

L'activité de  $^{226}\text{Ra}$  mesurée dans une vertèbre du Tessin était de  $4.3 \pm 0.5$  mBq/g Ca, soit une valeur compatible avec l'intervalle de valeurs de 1.5 - 4.6 mBq/g Ca proposé dans la littérature (Lovaas and Hursh, 1968).



**Figure 1:**

Spectre alpha de la fraction radium électrodéposée sur disque d'Ag<sup>0</sup>, à partir de 5 g de cendres d'os. On identifie le  $^{226}\text{Ra}$  et ses filles,  $^{222}\text{Rn}$  et  $^{218}\text{Po}$ , ainsi que les filles de  $^{225}\text{Ra}$ ,  $^{225}\text{Ac}$ ,  $^{221}\text{Fr}$ ,  $^{217}\text{At}$  et  $^{213}\text{Po}$ . On utilise le pic de  $^{217}\text{At}$  pour la mesure du traceur, car sa ROI est exempte d'interférence et la probabilité d'émission alpha sur sa ligne est de 100 %.



**Tableau 1:**

$^{90}\text{Sr}$  (Bq/g Ca) dans les dents de lait d'enfants nés en Suisse entre 1994 et 2006 et mesurées en 2013. Les dents de lait sont groupées pour former un échantillon d'au moins 4 g de cendre après calcination (environ 10 dents). Incertitudes pour  $u(95\%)$ .

Naissance		Année d'extraction	$^{90}\text{Sr}$ (Bq/g Ca)
Année	Lieu		
1994	Vaud	2011 - 2013	$0.015 \pm 0.003$
1998	Vaud	2011 - 2013	$0.012 \pm 0.003$
1999	Vaud	2010 - 2013	$0.015 \pm 0.003$
2000	Vaud	2012 - 2013	$0.010 \pm 0.003$
2002	Vaud	2011 - 2013	$0.013 \pm 0.003$
2006	Vaud	2012 - 2013	$0.011 \pm 0.003$

**Tableau 2:**

$^{90}\text{Sr}$  (Bq/g Ca) et  $^{210}\text{Po}$  (mBq/g Ca) dans les vertèbres de personnes décédées en Suisse en 2012 et 2013 et mesurées en 2013. Incertitudes pour  $u(95\%)$ .

Lieu de décès	$^{90}\text{Sr}$ (Bq/g Ca)	$^{210}\text{Po}$ (Bq/g Ca)
Tessin	$0.016 \pm 0.004$	$0.047 \pm 0.005$
Tessin	$0.012 \pm 0.002$	$0.024 \pm 0.003$
Tessin	$0.019 \pm 0.003$	$0.019 \pm 0.002$
Tessin	$0.010 \pm 0.002$	$0.023 \pm 0.002$
Tessin	$0.012 \pm 0.002$	$0.059 \pm 0.006$
Tessin	$0.008 \pm 0.002$	$0.019 \pm 0.002$
Tessin	$0.015 \pm 0.002$	$0.018 \pm 0.002$
Tessin	$0.006 \pm 0.002$	$0.019 \pm 0.002$
Tessin	$0.007 \pm 0.002$	$0.023 \pm 0.002$
Tessin	$0.014 \pm 0.002$	$0.060 \pm 0.006$
Tessin	$0.027 \pm 0.003$	$0.030 \pm 0.003$
Tessin	$0.013 \pm 0.002$	$0.019 \pm 0.002$
Tessin	$0.012 \pm 0.002$	
Tessin	$0.017 \pm 0.003$	
Tessin	$0.007 \pm 0.003$	
Vaud <sup>a)</sup>	$0.009 \pm 0.002$	$0.021 \pm 0.002$
Vaud <sup>a)</sup>	$0.007 \pm 0.002$	$0.027 \pm 0.003$
<b>Moyenne</b>	<b><math>0.0124 \pm 0.005</math></b>	<b><math>0.028 \pm 0.014</math></b>

<sup>a)</sup> mélange de cendres de deux cas au moins pour la mesure du  $^{90}\text{Sr}$ .

## Conclusions

Les activités de  $^{90}\text{Sr}$  mesurées en 2013 dans les dents de lait et les vertèbres sont très basses et s'approchent des limites de détection de la méthode qui utilise 5 g de cendres pour les deux types d'échantillons. Malheureusement le faible taux de réponse à la collecte annuelle de dents de lait ne permet pas d'augmenter ces quantités. En 2014, nous introduirons pour la mesure de  $^{90}\text{Sr}$  dans les vertèbres 7.5 g de cendres dans l'analyse pour abaisser la limite de détection. Il est toutefois encourageant de constater que le  $^{90}\text{Sr}$  introduit dans l'environnement suite aux essais d'armes nucléaires réalisées dans les années soixante a pratiquement disparu du corps humain.

La mesure de  $^{210}\text{Po}$  montre des activités plus variables (19 - 30 mBq/g Ca) mais dans l'intervalle de valeurs que l'on peut trouver dans d'autres études incluant des cas d'âge de décès différents. Nous proposons également d'incorporer quelques mesures de  $^{226}\text{Ra}$  à ces mesures afin de compléter la détermination de l'impact de la radioactivité artificielle et naturelle sur l'humain en Suisse.

## Remerciements

Nous remercions les médecins-dentistes ayant participé à la collecte des dents de lait et les instituts de pathologie de Lausanne et Locarno pour la collecte des vertèbres.

## Références

- Froidevaux et al. Retention half times in the skeleton of plutonium and  $^{90}\text{Sr}$  from above-ground nuclear tests: A retrospective study of the Swiss population. *Chemosphere*, **2010**, 80, 519-524.
- Froidevaux and Bächler. Measurement and dosimetry of  $^{210}\text{Po}$ . Rapport à l'OFSP. Institute for Radiation Physics. University Hospital Center. Lausanne **2006**.
- R.W.Leggett. An Age-Specific Kinetic-Model of Lead Metabolism in Humans, *Environ.Health Persp.* **1993**, 101, 598-616.
- P.L.Salmon et al. Dose210, a semi-empirical model for prediction of organ distribution and radiation doses from long-term exposure to Pb-210 and Po-210. *Rad.Prot.Dosim.* **1999**, 82,175-192.
- Lovaas, A.; Hursh, JB. Radium-226 and Pb-210 in human teeth and bone. *Health Phys.* **1968**,14, 540-555.



