



# Αμερίκιο

Το χημικό στοιχείο **αμερίκιο** είναι μέταλλο με χημικό σύμβολο **Am**, ατομικό αριθμό 95 και ατομικό βάρος 243. Έχει θερμοκρασία τήξης 994 C° και θερμοκρασία βρασμού 2607 C°. Αυτό το υπερουράνιο στοιχείο της σειράς των ακτινιδών βρίσκεται στον περιοδικό πίνακα κάτω από το στοιχείο της σειράς των λανθανιδών ευρώπιο και έτσι, κατ' αναλογία, πήρε και το όνομα μιας άλλης ηπείρου, της Αμερικής.<sup>[1]</sup>

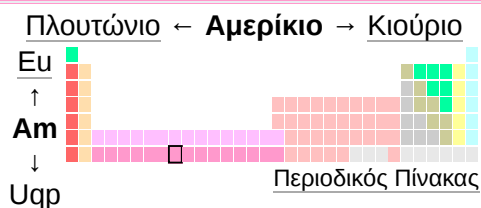
Το αμερίκιο παράχθηκε αρχικά το 1944 από την ομάδα του Γκλεν Σίμποργκ στο Πανεπιστήμιο του Μπέρκλεϋ στην Καλιφόρνια. Παρόλο που είναι το τρίτο στοιχείο στην υπερουράνια σειρά, ανακαλύφθηκε τέταρτο, μετά το βαρύτερο κιούριο. Η ανακάλυψη κρατήθηκε μυστική και αποκαλύφθηκε στο κοινό τον Νοέμβριο του 1945. Η μεγαλύτερη ποσότητα του αμερικίου παράγεται μέσω βομβαρδισμού του ουρανίου ή του πλουτωνίου με νετρόνια μέσα σε πυρηνικούς αντιδραστήρες - ένας τόπος χρησιμοποιημένου πυρηνικού καυσίμου περιέχει περίπου 100 γραμμάρια αμερίκιο. Χρησιμοποιείται πολύ σε ανιχνευτές καπνού θαλάμων ιονισμού, όπως επίσης και σε πηγές νετρονίων και βιομηχανικούς μετρητές. Μερικές ασυνήθιστες εφαρμογές, όπως μια πυρηνική μπαταρία ή καύσιμο για διαστημόπλοια με πυρηνική ώθηση, έχουν προταθεί για το ισότοπο <sup>242m</sup>Am, αλλά μέχρι τώρα έχουν ως εμπόδιο τη σπανιότητα του υλικού και το κόστος αυτού του πυρηνικού ισομερούς.

Το αμερίκιο είναι σχετικά μαλακό ραδιενεργό μέταλλο με ασημί εμφάνιση. Τα πιο συνηθισμένα του ισότοπα είναι το <sup>241</sup>Am και το <sup>243</sup>Am. Στις χημικές ενώσεις συνήθως παίρνουν αριθμό οξειδωσης +3, συνήθως σε διαλύματα. Μερικές άλλες καταστάσεις οξειδωσης είναι επίσης γνωστές, οι οποίες παίρνουν τιμές από +2 ως +7 και μπορούν να αναγνωριστούν από το χαρακτηριστικό φάσμα οπτικής απορρόφησης. Η κρυσταλλική σύνθεση του στερεού αμερικίου και των ενώσεων του έχει ατέλειες οι οποίες προκαλούνται από την ακτινοβολία με σωματίδια άλφα που παράγει και συσσωρεύονται με τον χρόνο, κάτι το οποίο προκαλεί αλλαγές στις ιδιότητες του στοιχείου.

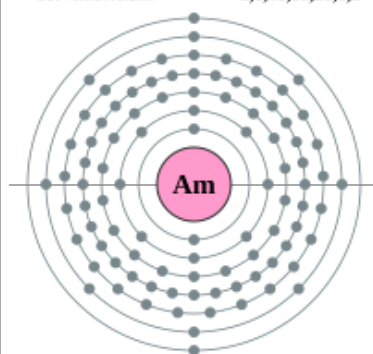
## Ιστορία

Παρόλο που το αμερίκιο προφανώς παράχθηκε σε προηγούμενα πυρηνικά πειράματα, συντέθηκε, απομονώθηκε και αναγνωρίστηκε στο τέλος του φθινοπώρου του 1944 στο Πανεπιστήμιο Μπέρκλεϋ στην Καλιφόρνια από τους Γκλεν Σίμποργκ, Λίον Μόργκαν, Ραλφ Τζέιμς, και Άλμπερτ Γκιόρσο. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν κύκλοτρο 60 ιντσών στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια.<sup>[2]</sup> Το στοιχείο αναγνωρίστηκε χημικά στο Μεταλλουργικό Εργαστήριο (τώρα Εθνικό

### Αμερίκιο



95: Americium 2,8,18,32,25,8,2



Τα ηλεκτρόνια στο άτομο του αμερικίου



Αμερίκιο (γκρίζο γυαλιστερό)

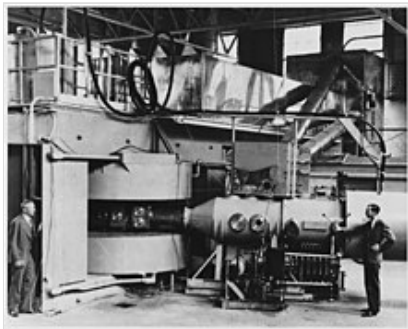
### Ιστορία

#### Ταυτότητα του στοιχείου

Όνομα, σύμβολο	Αμερίκιο (Am)
Ατομικός αριθμός (Z)	95
Κατηγορία	Ακτινίδες
ομάδα, περίοδος, τομέας	N/A , 7, f
Σχετική ατομική μάζα (A <sub>r</sub> )	243g mol <sup>-1</sup>
Ηλεκτρονική διαμόρφωση	[Rn] 5f <sup>7</sup> 7s <sup>2</sup>
Αριθμός CAS	7440-35-9

#### Ατομικές ιδιότητες

Ατομική ακτίνα	173 pm
Ομοιοπολική ακτίνα	180±6 pm



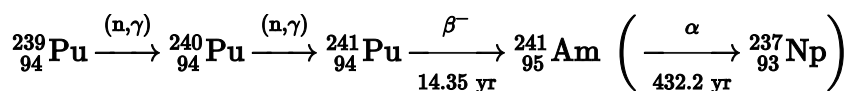
Το κύκλοτρο 60 ιντσών στο Εργαστήριο Ακτινοβολίας Lawrence του Πανεπιστημίου της Καλιφόρνια στο Μπέρκλεϊ, τον Αύγουστο του 1939

Εργαστήριο Άργκον) του Πανεπιστημίου του Σικάγου. Ακολουθώντας το ελαφρύτερο ποσειδώνιο, το πλουτώνιο και το βαρύτερο κιούριο, το αμερίκιο ήταν το τέταρτο υπερουράνιο στοιχείο που ανακαλύφθηκε. Εκείνο τον καιρό, ο περιοδικός πίνακας είχε ανακατασκευαστεί από τον Σίμποργκ και είχε πάρει τη σημερινή του μορφή περιέχοντας τις σειρές των ακτινιδών και των λανθανιδών.

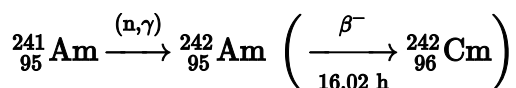
Αυτό οδήγησε στην τοποθέτηση του αμερίκιου ακριβώς κάτω από το δίδυμο λανθανίδιο στοιχείο του, το ευρώπιο. Έτσι, ονομάστηκε και αυτό από μια άλλη ήπειρο, την Αμερική: «Το όνομα αμερίκιο (από την Αμερική) και το σύμβολο *Am* προτείνονται για αυτό το στοιχείο με βάση τη θέση του ως το έκτο μέλος της σειράς των ακτινιδών σε αντιστοιχία του ευρωπίου, της σειράς των λανθανιδών».[3][4][5]

Το νέο στοιχείο απομονώθηκε από τα οξειδιά του σε μια περίπλοκη διαδικασία πολλών σταδίων. Αρχικά μια νιτρώδης ένωση του ισοτόπου πλουτωνίου 239 ρίχνεται σε ένα έλασμα λευκόχρυσου εμβαδού περίπου μισού τετραγωνικού εκατοστού, η ένωση εξατμίζεται και το κατάλοιπο μετατρέπεται σε διοξείδιο του πλουτωνίου μέσω σκλήρυνσης. Μετά την ακτινοβολήση του κύκλοτρο, η επίστρωση διαλύεται με νιτρικό οξύ, και μετά επιταχύνεται ως υδροξείδιο χρησιμοποιώντας συμπυκνωμένο υδατικό διάλυμα αμμωνίας. Το διάλυμα μετά διαλύεται σε υπερχλωρικό οξύ. Περαιτέρω διάλυση πραγματοποιείται με ανταλλαγή ιόντων από την οποία προκύπτει ένα ισότοπο του κιουρίου. Ο διαχωρισμός του κιουρίου και του αμερίκιου ήταν τόσο δύσκολος που αρχικά αυτά τα δύο στοιχεία είχαν ονομαστεί «πανδαιμόνιο» και «ντελίριο» (από το λατινικό για την τρέλα).[6][7]


Τα αρχικά πειράματα παρήγαγαν τέσσερα ισότοπα του αμερίκιου: Το  $^{241}\text{Am}$ , το  $^{242}\text{Am}$ , το  $^{239}\text{Am}$  και το  $^{238}\text{Am}$ . Το ισότοπο αμερίκιο-241 παράχθηκε απευθείας από το πλουτώνιο με απορρόφηση ενός νετρονίου. Αποσυντίθεται εκπέμποντας ένα σωματίδιο άλφα και μετατρέπεται σε  $^{237}\text{Np}$ . Η ημιζωή αυτής της αποσύνθεσης αρχικά προσδιορίστηκε στα  $510 \pm 20$  έτη, αλλά μετά διορθώθηκε και ορίστηκε στα 432,2 έτη.[8]



Το δεύτερο ισότοπο  $^{242}\text{Am}$  παράχθηκε με τον βομβαρδισμό με νετρόνια του ήδη δημιουργημένου  $^{241}\text{Am}$ . Μέσω της γρήγορης β-αποσύνθεσης, το  $^{242}\text{Am}$  μετατρέπεται στο ισότοπο του κιουρίου  $^{242}\text{Cm}$  (το οποίο είχε ανακαλυφθεί νωρίτερα). Η ημιζωή αυτής της αποσύνθεσης είχε αρχικά οριστεί στις 17 ώρες, μέγεθος το οποίο ήταν πολύ κοντά στην τωρινή ορισμένη τιμή των 16,02 ωρών.



Η ανακάλυψη του αμερίκιου και του κιουρίου το 1944 είχε άμεση σχέση με το Σχέδιο Μανχάταν, τα αποτελέσματα του οποίου ήταν εμπιστευτικά και δεν αποκαλύφθηκαν μέχρι το 1945. Ο Σίμποργκ διέρρευσε τη σύνθεση των στοιχείων 95 και 96 στο αμερικανικό ραδιοφωνικό πρόγραμμα για παιδιά, το *Quiz Kids*, 5 μέρες πριν την επίσημη παρουσίαση σε ένα συνέδριο της Αμερικανικής Ένωσης Χημικών στις 11 Νοεμβρίου 1945, όταν ένας

Ηλεκτραρνητικότητα	1,3 (κλίμακα Pauling)
Κυριότεροι αριθμοί οξείδωσης	6, 5, 4, <b>3</b> , 2
Ενέργειες ιονισμού	1η: 578 kJ/mol
<b>Φυσικά χαρακτηριστικά</b>	
Κρυσταλλικό πλέγμα	εξαγωνικό
	
Σημείο τήξης	994°C
Σημείο βρασμού	2607°C
Πυκνότητα	12 g/cm3
Ενθαλπία τήξης	14.39 kJ/mol
Ειδική θερμοχωρητικότητα	62.7 J/mol/°C
Μαγνητική συμπεριφορά	παραμαγνητικό
Ειδική ηλεκτρική αντίσταση	0.69 μΩ·m
Ειδική θερμική αγωγιμότητα	10 W/m/°C
Η κατάσταση αναφοράς είναι η πρότυπη κατάσταση (25°C, 1 Atm) εκτός αν σημειώνεται διαφορετικά	

από τους ακροατές ρώτησε αν κατά τη διάρκεια του πολέμου ανακαλύφθηκε κάποιο άλλο υπερουράνιο στοιχείο εκτός από το πλουτώνιο και το ποσειδώνιο.<sup>[6]</sup> Μετά την ανακάλυψη των ισοτόπων  $^{241}\text{Am}$  και  $^{242}\text{Am}$ , η παρασκευή και οι ενώσεις τους κατοχυρώθηκαν σαν πατέντες αποκλειστικά υπό το όνομα του Σίμποργκ.<sup>[9]</sup> Τα αρχικά δείγματα αμερίκιου ζύγιζαν μερικά μικρογραμμάρια, ήταν μετά βίας ορατά και αναγνωρίστηκαν από τη ραδιενέργεια που εξέπεμπαν. Οι πρώτες ουσιώδεις ποσότητες μεταλλικού αμερίκιου ζύγιζαν από 40 έως 200 μικρογραμμάρια και δεν προέκυψαν μέχρι το 1951 μέσω της μείωσης του φθοριούχου άλατος αμερίκιου με βάριο σε περιβάλλον κενού στους 1.100 βαθμούς Κελσίου.<sup>[10]</sup>

## Δράση

---

Τα μακροβιότερα και πιο κοινά ισότοπα του αμερίκιου, τα  $^{241}\text{Am}$  και  $^{243}\text{Am}$ , έχουν ημιζωές 432,2 και 7.370 έτη αντίστοιχα. Έτσι, όλο το αρχέγονο αμερίκιο (το αμερίκιο που υπήρχε στη Γη κατά τη δημιουργία της) πρέπει να έχει αποσυντεθεί ως τώρα.

Το υπάρχον αμερίκιο είναι συγκεντρωμένο στις περιοχές που έχουν χρησιμοποιηθεί για ατμοσφαιρικές πυρηνικές δοκιμές μεταξύ του 1945 και 1980, όπως επίσης και σε τοποθεσίες πυρηνικών ατυχημάτων όπως το Τσερνόμπιλ. Για παράδειγμα, η ανάλυση των καταλοίπων στο πεδίο δοκιμών της πρώτης αμερικάνικης βόμβας υδρογόνου την 1η Νοεμβρίου 1952 έδειξε υψηλή συγκέντρωση διάφορων ακτινιδίων, μεταξύ αυτών και αμερίκιου. Λόγω στρατιωτικού απόρρητου, αυτά τα αποτελέσματα δημοσιεύτηκαν το 1956.<sup>[11]</sup> Ο τρινιτίτης, το υαλώδες κατάλοιπο που υπάρχει στο έδαφος της ερήμου κοντά στο Αλαμογκόρντο του Νέου Μεξικού, μετά τη δοκιμή της πυρηνικής βόμβας *Trinity* στις 16 Ιουλίου 1945 περιέχει ίχνη  $^{241}\text{Am}$ . Αυξημένα επίπεδα αμερίκιου ανιχνεύθηκαν επίσης στον τόπο συντριβής ενός αμερικανικού βομβαρδιστικού B-52, το οποίο μετέφερε τέσσερις βόμβες υδρογόνου, το 1968 στη Γροιλανδία.<sup>[12]</sup>

Σε άλλες περιοχές, ο μέσος όρος ραδιενέργειας στην επιφάνεια του εδάφους λόγω των κατάλοιπων αμερίκιου είναι μόνο 0,01 picocurie. Οι ατμοσφαιρικές ενώσεις αμερίκιου διαλύονται πολύ δύσκολα σε κοινούς διαλυτές και κυρίως απορροφούνται από τα σωματίδια του εδάφους. Η ανάλυση του εδάφους έδειξε περίπου 1.900 φορές υψηλότερη συγκέντρωση αμερίκιου σε σωματίδια άμμου παρά στο νερό που υπάρχει στους πόρους του εδάφους. Ακόμα υψηλότερη συγκέντρωση μετρήθηκε σε έδαφος με χόμα.<sup>[13]</sup>

Το αμερίκιο παράγεται κυρίως τεχνητά σε μικρές ποσότητες, για ερευνητικούς σκοπούς. Ένας τόνος χρησιμοποιημένου πυρηνικού καυσίμου περιέχει περίπου 100 γραμμάρια διάφορων ισοτόπων του αμερίκιου, κυρίως  $^{241}\text{Am}$  και  $^{243}\text{Am}$ .<sup>[14]</sup> Η μεγάλης διάρκειας ραδιενέργειά του δεν είναι κατάλληλη για αποκομιδή, και γι' αυτό το αμερίκιο μαζί με άλλα ακτινίδια στοιχεία με μεγάλη διάρκεια ημιζωής πρέπει να εξουδετερώνονται. Η σχετική διαδικασία έχει αρκετά βήματα, όπου το αμερίκιο αρχικά διαχωρίζεται και μετά μετατρέπεται μέσω βομβαρδισμού νετρονίων σε ειδικούς αντιδραστήρες για μικρής ζωής νουκλεΐδια. Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως πυρηνική μεταστοιχείωση αλλά είναι ακόμα υπό κατασκευή για το αμερίκιο.<sup>[15][16]</sup>

Μερικά άτομα αμερίκιου μπορούν να παραχθούν με αντιδράσεις δέσμευσης νετρονίων και βήτα αποσύνθεση σε αποθέματα με πολύ μεγάλη συγκέντρωση ουρανίου.

## Σύνθεση και εξαγωγή

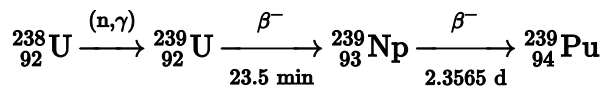
---

### Σύνθεση πυρήνων ισοτόπων

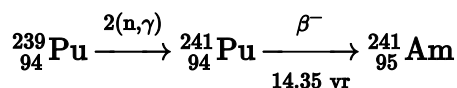
Το αμερίκιο παράγεται σε μικρές ποσότητες σε πυρηνικούς αντιδραστήρες εδώ και δεκαετίες, και αρκετά κιλά των ισοτόπων  $^{241}\text{Am}$  και  $^{243}\text{Am}$  έχουν συγκεντρωθεί μέχρι σήμερα. Παρ' όλα αυτά, από τότε που προσφέρθηκε για πώληση για πρώτη φορά το 1962, η τιμή του η οποία είναι περίπου στα 1.500 δολάρια ανά γραμμάριο  $^{241}\text{Am}$

παραμένει σχεδόν ίδια λόγω της πολύ περίπλοκης διαδικασίας διαχωρισμού. Το βαρύτερο ισότοπο  $^{243}\text{Am}$  παράγεται σε πολύ μικρότερες ποσότητες και έτσι είναι πολύ δυσκολότερο να διαχωριστεί, κάτι το οποίο καταλήγει σε πολύ υψηλότερο κόστος της τάξεως των 100-160 χιλιάδων δολαρίων ανά γραμμάριο.

Το αμερίκιο δεν παράγεται απευθείας από το ουράνιο - το πιο κοινό υλικό πυρηνικών αντιδραστήρων - αλλά από το ισότοπο του πλουτωνίου  $^{239}\text{Pu}$ . Αυτό το ισότοπο του πλουτωνίου πρέπει αρχικά να παραχθεί, σύμφωνα με την παρακάτω πυρηνική διαδικασία:

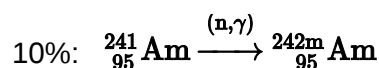
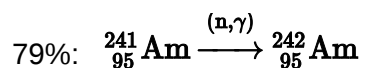


Η δέσμευση δύο νετρονίων από το  $^{239}\text{Pu}$  (η λεγόμενη (n,γ) αντίδραση) ακολουθείται από μια β-αποσύνθεση και καταλήγει στο  $^{241}\text{Am}$ :

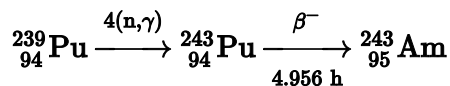


Το πλουτόνιο που υπάρχει στα χρησιμοποιημένα πυρηνικά καύσιμα είναι περίπου κατά το 12%  $^{241}\text{Pu}$ . Επειδή μετατρέπεται αυτόματα σε  $^{241}\text{Am}$ , το  $^{241}\text{Pu}$  μπορεί να εξαχθεί και να χρησιμοποιηθεί για επιπλέον παραγωγή  $^{241}\text{Am}$ . Αυτή η διαδικασία, όμως, είναι ιδιαίτερα αργή. Η μισή από την αρχική ποσότητα του  $^{241}\text{Pu}$  αποσυντίθεται και γίνεται  $^{241}\text{Am}$  μετά από περίπου 15 έτη και η ποσότητα του  $^{241}\text{Am}$  φτάνει τον μέγιστο αριθμό της μετά από 70 έτη.<sup>[17]</sup>

Το  $^{241}\text{Am}$  που αποκτήθηκε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή βαρύτερων ισωτόπων του αμερίκιου μέσω της περαιτέρω λήψης νετρονίων μέσα σε πυρηνικό αντιδραστήρα. Σε αντιδραστήρα ελαφρού ύδατος, το 79% του  $^{241}\text{Am}$  μετατρέπεται σε  $^{242}\text{Am}$  και το 10% στο πυρηνικό ισομερές  $^{242\text{m}}\text{Am}$ :<sup>[18][19]</sup>

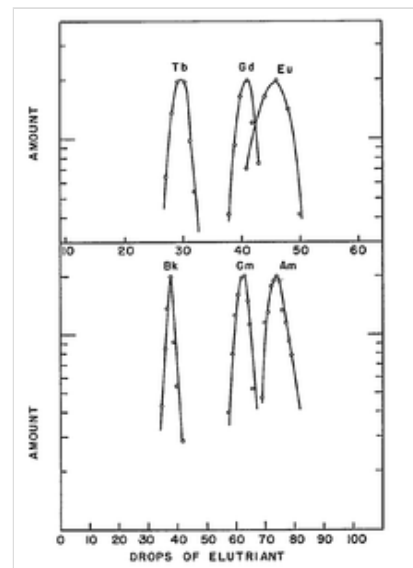


Το αμερίκιο-242 έχει περίοδο ημιζωής μόνο 16 ώρες, κάτι το οποίο κάνει την περαιτέρω μετατροπή του σε  $^{243}\text{Am}$  εξαιρετικά ανεπαρκή. Αντί αυτού, το τελευταίο ισότοπο παράγεται με μια διαδικασία όπου το  $^{239}\text{Pu}$  λαμβάνει τέσσερα νετρόνια υπό υψηλή ροή νετρονίων:



## Δημιουργία μετάλλου

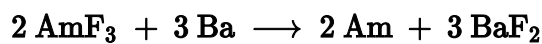
Οι περισσότερες διαδικασίες σύνθεσης περιέχουν μείγμα διαφορετικών ισωτόπων ακτινιδών σε μορφή οξειδίων, από τα οποία πρέπει να διαχωριστούν τα ισότοπα του αμερίκιου. Σε μια τυπική διαδικασία, το χρησιμοποιημένο καύσιμο του αντιδραστήρα (καύσιμο μείγμα οξειδίων) διαλύεται σε νιτρικό οξύ και η μάζα του ουρανίου και του πλουτωνίου αφαιρείται χρησιμοποιώντας εξαγωγή πλουτωνίου-ουρανίου με τριβουτύλο-φωσφορικό άλας σε υδρογονάνθρακα. Οι λανθανίδες και οι ακτινίδες που μένουν, διαχωρίζονται από το υδάτινο υπόλειμμα (πυρηνέλαιο) με χρήση εξαγωγής με βάση το διαμίδιο, έτσι ώστε μετά τον διαχωρισμό να δοθεί ένα μείγμα τρισθενών ακτινιδών και λανθανιδών. Έπειτα, οι ενώσεις του αμερίκιου εξαγονται επιλεκτικά χρησιμοποιώντας περίπλοκες τεχνικές χρωματογραφίας και φυγοκεντρικού διαχωρισμού<sup>[20]</sup> με το κατάλληλο συστατικό. Έχουν γίνει εκτενείς μελέτες και διεργασίες πάνω στην εξαγωγή αμερίκιου μέσω διαλύματος. Για παράδειγμα, μια



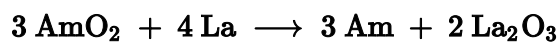
Οι καμπύλες χρωματογραφικής εξαγωγής δείχνουν τις ομοιότητες μεταξύ των λανθανιδών Tb, Gd, και Eu και των αντίστοιχων ακτινιδών Bk, Cm, and Am.

πρόσφατη έρευνα που χρηματοδοτήθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση με την κωδική ονομασία "EUROPART" μελέτησε τις τριαζίνες και άλλες ενώσεις ως πιθανές ουσίες εξαγωγής.<sup>[21][22][23][24][25]</sup> Η σύνθεση BTBP (Bis-triazinyl bipyridine) προτάθηκε πρόσφατα για ουσία εξαγωγής, τόσο για το αμερίκιο όσο και για το κιούριο. Ο διαχωρισμός του αμερίκιου από το κατά πολύ όμοιο του κιούριο μπορεί να επιτευχθεί βυθίζοντας ένα μείγμα των υδροξειδίων τους σε διάλυμα διττανθρακικού νατρίου με όζον σε υψηλές θερμοκρασίες. Τόσο το αμερίκιο όσο και το κιούριο είναι παρόντα κυρίως σε διαλύματα με σθένος +3. Ενώ το κιούριο παραμένει αμετάβλητο, το αμερίκιο οξειδώνεται και μετατρέπεται σε διαλυτές ενώσεις του αμερίκιου, οι οποίες μπορούν να απομακρυνθούν με νερό.<sup>[26]</sup>

Το μεταλλικό αμερίκιο παράγεται με αναγωγή από τις ενώσεις του. Το φθοριούχο άλας του αμερίκιου(III) χρησιμοποιήθηκε αρχικά για αυτό τον σκοπό. Η αντίδραση πραγματοποιούνταν χρησιμοποιώντας βάριο ως παράγοντα αναγωγής σε υδάτινο και χωρίς οξυγόνο περιβάλλον μέσα σε θάλαμο κατασκευασμένο από ταντάλιο και βολφράμιο.<sup>[10][27][28]</sup>

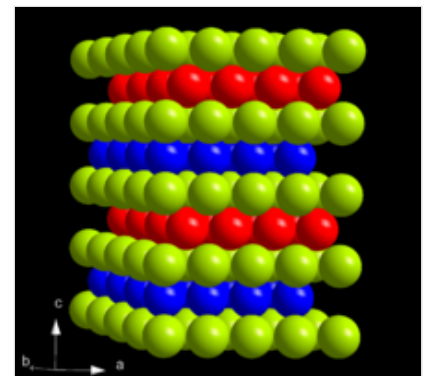


Μια εναλλακτική μέθοδος είναι η αναγωγή του διοξειδίου του αμερίκιου με μεταλλικό λανθάνιο ή θόριο.



## Φυσικές ιδιότητες

Στον περιοδικό πίνακα το αμερίκιο εντοπίζεται δεξιά από το πλουτόνιο, αριστερά από το κιούριο και κάτω από τη λανθανίδα ευρώπιο, με το οποίο μοιράζεται πολλές ομοιότητες στις φυσικές και χημικές ιδιότητες. Το αμερίκιο είναι ένα υψηλά ραδιενεργό στοιχείο. Όταν είναι ακόμα «φρέσκο» έχει αργυρόλευκη μεταλλική λάμψη, αλλά σιγά σιγά διαλύεται στον αέρα. Με πυκνότητα 12 γραμμάρια ανά κυβικό εκατοστό, το αμερίκιο είναι ελαφρύτερο τόσο από το κιούριο (13,52 γραμμάρια/κυβικό εκατοστό) όσο και από το πλουτόνιο (19,8 γραμμάρια/κυβικό εκατοστό) αλλά είναι βαρύτερο από το ευρώπιο (5,264 γραμμάρια/κυβικό εκατοστό) κυρίως λόγω της μεγάλης ατομικής μάζας του. Το αμερίκιο είναι σχετικά μαλακό, διαμορφώνεται εύκολα και έχει σημαντικά χαμηλότερο συντελεστή όγκου από τις ακτινίδες πριν από αυτό : Th, Pa, U, Np και Pu. Το σημείο τήξης του των 1.173 βαθμών Κελσίου είναι σημαντικά υψηλότερο από αυτό του πλουτονίου (639 βαθμοί) και του ευρωπαϊού (826 βαθμοί), αλλά χαμηλότερο από αυτό του κιουρίου (1.340 βαθμοί).<sup>[29]</sup>



Πυκνή διπλο-εξαγωνική δομή με την ακολουθία στρωμάτων ABAC στην κρυσταλλική δομή του α-αμερίκιου (A: πράσινο, B: μπλε, C: κόκκινο).

Σε ατμοσφαιρικές συνθήκες, το αμερίκιο έχει τη σταθερότερη α μορφή του, η οποία έχει κρυσταλλική εξαγωνική συμμετρία και ομάδα συμμετρίας  $P6_3/mmc$  με παραμέτρους πλέγματος  $a = 346.8 \text{ pm}$  και  $c = 1124 \text{ pm}$ , και τέσσερα άτομα ανά μονάδα. Ο κρύσταλλος αποτελείται από διπλή εξαγωνική κλειστή δομή με ακολουθία στρώσης ABAC και έτσι είναι ισοτυπικός με το α-λανθάνιο και μερικές άλλες ακτινίδες όπως το α-κιούριο.<sup>[30]</sup> Η κρυσταλλική δομή του αμερίκιου αλλάζει με την πίεση και τη θερμοκρασία. Όταν συμπιέζεται σε θερμοκρασία δωματίου στα 5 GPa, το α-λανθάνιο μετατρέπεται στη β μορφή του, η οποία είναι προσωποκεντρική κυβική συμμετρία με ομάδα συμμετρίας  $Fm3m$  και σταθερά πλέγματος  $a = 489 \text{ pm}$ . Αυτή η συμμετρία είναι ίδια με την πλησιέστερη δομή με την ακολουθία ABC. Με επιπλέον πίεση στα 23 GPa, το αμερίκιο αποκτά ορθορομβική  $\gamma\text{-Am}$  δομή όμοια με αυτή του α-ουρανίου. Δεν υπάρχουν άλλες μεταβολές μέχρι και τα 52 GPa, εκτός από την εμφάνιση μιας μονοκλινούς φάσης στις πιέσεις μεταξύ 10 και 15 GPa.<sup>[31]</sup> Δεν υπάρχει συνοχή στην κατάσταση αυτής της φάσης στις μελέτες που έχουν γίνει ως τώρα, οι οποίες καταχωρούν τις φάσεις  $\alpha$ ,  $\beta$  και  $\gamma$  ως I, II και III. Η μετατροπή από  $\beta$  σε  $\gamma$  συνοδεύεται από μείωση 6% στην κρυσταλλική περιεκτικότητα, όμως η θεωρία προβλέπει μια σημαντική μεταβολή στην περιεκτικότητα κατά τη μεταβολή από  $\alpha$  σε  $\beta$ , κάτι το οποίο δεν



επιβεβαιώνεται πειραματικά. Η πίεση στη μεταβολή από α σε β μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και όταν το α-αμερίκιο θερμαίνεται σε ατμοσφαιρικές συνθήκες στους 770 βαθμούς Κελσίου, παίρνει μορφή fcc, η οποία είναι διαφορετική από τη β-Am και στους 1075 βαθμούς Κελσίου μετατρέπεται σε σωματοκεντρική κυβική δομή. Το διάγραμμα φάσης πίεσης-θερμοκρασίας του αμερίκιου είναι όμοιο με εκείνο των λανθανιδών, του πρασεοδυμίου και του νεοδυμίου.<sup>[32]</sup>

Όπως και με πολλές άλλες ακτινίδες, η αυτοκαταστροφή του κρυσταλλικού πλέγματος λόγω της εκπομπής α-σωματιδίων είναι εγγενής στο αμερίκιο. Είναι εμφανές κυρίως στις χαμηλές θερμοκρασίες, όπου η κινητικότητα των παραγόμενων παραμορφώσεων του πλέγματος είναι σχετικά χαμηλή, μέσω της διεύρυνσης διάθλασης των κορυφών των ακτίνων X. Αυτό το φαινόμενο κάνει ασαφή τη θερμοκρασία του αμερίκιου και μερικές από τις ιδιότητες του, όπως η ηλεκτρική αντίσταση.<sup>[33]</sup> Έτσι, για το αμερίκιο-241 η αντίσταση στα 4,2K αυξάνεται με τον χρόνο από τα περίπου 2 μOhm·cm στα 10 μOhm·cm μετά από διάστημα 40 ωρών και φορτίζεται στα περίπου 16 μOhm·cm μετά από 140 ώρες. Αυτό το φαινόμενο παρουσιάζεται λιγότερο σε θερμοκρασίες δωματίου, λόγω της εξάλειψης των ελαττωμάτων λόγω ακτινοβολίας. Επίσης, η επαναφορά του δείγματος στη θερμοκρασία δωματίου το οποίο είχε διατηρηθεί αρχικά σε χαμηλές θερμοκρασίες για ώρες επαναφέρει την αντίσταση του. Σε πρόσφατα δείγματα η αντίσταση αυξάνεται σταδιακά με την αύξηση της θερμοκρασίας από περίπου 2 μOhm·cm στο υγρό ήλιο στα 69 μOhm·cm σε θερμοκρασία δωματίου. Αυτή η συμπεριφορά είναι όμοια με αυτή του ποσειδωνίου, του ουρανίου, του θορίου και του πρωτακτινίου αλλά είναι διαφορετική από του πλουτωνίου και του κιουρίου, τα οποία δείχνουν ραγδαία αύξηση ως τα 60 K η οποία ακολουθείται από φόρτιση. Η τιμή της θερμοκρασίας δωματίου για το αμερίκιο είναι χαμηλότερη από αυτή του ποσειδωνίου, του πλουτωνίου και του κιουρίου αλλά υψηλότερη από αυτή του ουρανίου, του θορίου και του πρωτακτινίου.

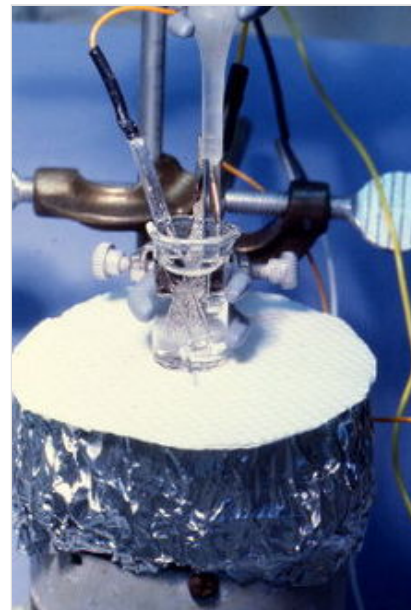
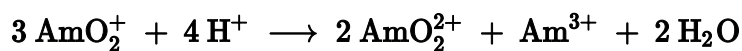
Το αμερίκιο είναι παραμαγνητικό σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, από αυτή του υγρού ήλιου ως τη θερμοκρασία δωματίου και υψηλότερα. Αυτή η συμπεριφορά είναι σημαντικά διαφορετική από το γειτονικό κιούριο το οποίο παρουσιάζει αντισιδηρομαγνητική μεταβολή στους 52 K.<sup>[34]</sup> Ο συντελεστής θερμικής διαστολής του αμερίκιου είναι ελαφρώς ανισοτροπικός και κυμαίνεται στα  $(7.5 \pm 0,2) \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  στον μικρότερο "α" άξονα και  $(6,2 \pm 0,4) \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  για τον μεγαλύτερο "c" εξαγωνικό άξονα. Η ενθαλπία της διάλυσης του μεταλλικού αμερίκιου σε υδροχλωρικό οξύ σε κανονικές συνθήκες είναι  $-620,6 \pm 1,3 \text{ kJ/mol}$  από την οποία η σταθερή μεταβολή της ενθαλπίας σχηματισμού του υδάτινου ιόντος  $\text{Am}^{3+}$  είναι  $-621,2 \pm 2,0 \text{ kJ/mol}^{-1}$ . Το σταθερό δυναμικό είναι  $2,08 \pm 0,01 \text{ V}$ .<sup>[35]</sup>

## Χημικές ιδιότητες

Το αμερίκιο αντιδρά άμεσα με το οξυγόνο και διαλύεται σε οξέα. Η συνηθέστερη κατάσταση οξείδωσης για το αμερίκιο είναι +3<sup>[36]</sup> στην οποία οι ενώσεις του αμερίκιου είναι σχετικά ανθεκτικές προς την οξείδωση και την αναγωγή. Κατ'αυτή την έννοια, το αμερίκιο είναι χημικά ίδιο με τις υπόλοιπες λανθανίδες. Το τρισθενές αμερίκιο σχηματίζει αδιάλυτο φθοριούχο, οξαλικό, ιωδικό, υδροξείκο, φωσφορικό και άλλα άλατα.<sup>[36]</sup> Άλλες καταστάσεις οξείδωσης έχουν παρατηρηθεί μεταξύ των σθενών +2 και +7 το οποίο είναι το μεγαλύτερο εύρος μεταξύ των ακτινιδών. Το χρώμα τους σε υδάτινα διαλύματα διαφέρει ως εξής :  $\text{Am}^{3+}$  (διαφανές προς κιτρινο-κόκκινο),  $\text{Am}^{4+}$  (κιτρινο-κόκκινο),  $\text{Am}^{\text{V}}\text{O}_2^+$  (κίτρινο),  $\text{Am}^{\text{VI}}\text{O}_2^{2+}$  (καφέ), και  $\text{Am}^{\text{VII}}\text{O}_6^{5-}$  (σκοτεινό πράσινο).<sup>[37][38]</sup> Όλες οι καταστάσεις οξείδωσης έχουν ένα χαρακτηριστικό φάσμα οπτικής απορρόφησης, με λίγες κορυφές στις περιοχές ορατού και ημι-υπέρυθρου, και η θέση και η ένταση αυτών των κορυφών μπορούν να μετατραπούν σε συγκεντρώσεις των αντίστοιχων καταστάσεων οξείδωσης.<sup>[39]</sup> Για παράδειγμα, το Am(III) έχει 2 μυτερές κορυφές στα 504 και 811 nm, το Am(V) στα 514 και 715 nm, και το Am(VI) στα 666 και 992 nm.

Οι ενώσεις αμερίκιου με κατάσταση οξείδωσης +4 και πάνω είναι ισχυροί παράγοντες οξείδωσης, συγκρίνονται σε ισχύ με το υπερμαγγανικό ιόν ( $\text{MnO}_4^-$ ) σε οξικά διαλύματα.<sup>[40]</sup> Ενώ τα  $\text{Am}^{4+}$  ιόντα είναι ασταθή σε διαλύματα και μετατρέπονται αμέσως σε  $\text{Am}^{3+}$ , η κατάσταση οξείδωσης +4 συμβαίνει και σε στερεά, όπως το διοξειδίο του αμερίκιου ( $\text{AmO}_2$ ) και το φθοριούχο άλας αμερίκιου ( $\text{AmF}_4$ ).

Όλες οι πενταδύναμες και εξαδύναμες ενώσεις του αμερίκιου είναι σύνθετα άλατα όπως τα  $\text{KAmO}_2\text{F}_2$ ,  $\text{Li}_3\text{AmO}_4$  και  $\text{Li}_6\text{AmO}_6$ ,  $\text{Ba}_3\text{AmO}_6$ ,  $\text{AmO}_2\text{F}_2$ . Οι καταστάσεις υψηλής οξείδωσης  $\text{Am(IV)}$ ,  $\text{Am(V)}$  και  $\text{Am(VI)}$  μπορούν να προκύψουν από το  $\text{Am(III)}$  μέσω οξείδωσης με υπερθειικό αμμώνιο σε αραιωμένο νιτρικό οξύ,<sup>[41]</sup> με οξείδιο του ασημιού σε περιχλωρικό οξύ,<sup>[42]</sup> ή με όζον ή υπερθειικό νάτριο σε διαλύματα ανθρακικού νατρίου.<sup>[43]</sup> Η πενταδύναμη κατάσταση οξείδωσης του αμερίκιου παρατηρήθηκε για πρώτη φορά το 1951.<sup>[44]</sup> Είναι παρούσα σε υδάτινα διαλύματα στη μορφή ιόντων του  $\text{AmO}_2^+$  (όξινα) ή του  $\text{AmO}_3^-$  (αλκαλικά) τα οποία είναι ασταθή και ευαίσθητα σε αντιδράσεις δυσαναλογοποίησης.<sup>[45][46][47]</sup>



Ιόντα αμερίκιου σε διάλυμα:  $\text{Am}^{3+}$ . Το  $\text{Am}^{3+}$  είναι άχρωμο σε χαμηλές και κοκκινωπό σε υψηλές συγκεντρώσεις.

## Χημικές ενώσεις

### Ενώσεις οξυγόνου

Είναι γνωστά δύο οξείδια του αμερίκιου, με καταστάσεις οξείδωσης +3 και +4.<sup>[48]</sup> Το οξείδιο του αμερίκιου(III) είναι κόκκινο-καφέ σε στερεή μορφή και σημείο τήξης τους 2.205 °C.<sup>[49]</sup> Το οξείδιο του αμερίκιου(IV) είναι η συνηθέστερη μορφή στερεού αμερίκιου η οποία χρησιμοποιείται σε όλες σχεδόν τις εφαρμογές του. Όπως όλα τα άλλα διοξείδια ακτινιδών, είναι στερεό, μαύρο με κυβική κρυσταλλική μορφή φθοριότητα.<sup>[50]</sup>

Το οξαλικό άλας του αμερίκιου(III), αφού στεγνωθεί σε κενό σε θερμοκρασία δωματίου, έχει τη χημική μορφή  $\text{Am}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Εάν θερμανθεί σε κενό, χάνει το νερό στους 240 °C και αρχίζει να μετατρέπεται σε  $\text{AmO}_2$  στους 300 °C, η αποσύνθεση ολοκληρώνεται στους 470 °C. Το αρχικό οξαλικό μετατρέπεται σε νιτρικό οξύ με τη μέγιστη διαλυτότητα των 0,25 g/L.

### Αλογονίδια

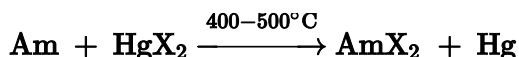
Τα αλογονίδια του αμερίκιου είναι γνωστά για τις οξειδωτικές τους καταστάσεις +2,+3 και +4, από τις οποίες η +3 είναι η πιο σταθερή, ειδικά σε διαλύματα.

Oxidation state	F	Cl	Br	I
+4	Americium(IV) fluoride $\text{AmF}_4$ Απαλό ροζ			
+3	Americium(III) fluoride $\text{AmF}_3$ Ροζ	Americium(III) chloride $\text{AmCl}_3$ Ροζ	Americium(III) bromide $\text{AmBr}_3$ Ανοιχτό κίτρινο	Americium(III) iodide $\text{AmI}_3$ Ανοιχτό κίτρινο
+2		Americium(II) chloride $\text{AmCl}_2$ Μαύρο	Americium(II) bromide $\text{AmBr}_2$ Μαύρο	Americium(II) iodide $\text{AmI}_2$ Μαύρο

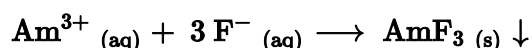
Η αναγωγή των ενώσεων του  $\text{Am(III)}$  με αμάλαγμα νατρίου δημιουργεί άλατα  $\text{Am(II)}$ , τα μαύρα αλογονίδια  $\text{AmCl}_2$ ,  $\text{AmBr}_2$  και  $\text{AmI}_2$ . Είναι πολύ ευαίσθητα στο οξυγόνο και την οξείδωση στο νερό κατά την οποία απελευθερώνουν υδρογόνο και επιστρέφουν στην κατάσταση του  $\text{Am(III)}$ . Οι σταθερές μορφές δομής είναι:

- Ορθορομβικό σύστημα  $\text{AmCl}_2$ :  $a = 896,3 \pm 0,8 \text{ pm}$ ,  $b = 757,3 \pm 0,8 \text{ pm}$  και  $c = 453,2 \pm 0,6 \text{ pm}$
- Τετραγωνικό σύστημα  $\text{AmBr}_2$ :  $a = 1159,2 \pm 0,4$  και  $c = 712,1 \pm 0,3 \text{ pm}$ .

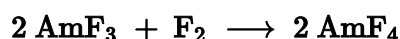
Μπορούν επίσης να προκύψουν από την αντίδραση μεταλλικού αμερίκιου με το κατάλληλο αλογονίδιο υδραργύρου  $\text{HgX}_2$ , όπου το X μπορεί να είναι Cl, Br ή I:



Το φθοριούχο αμερίκιο ( $\text{AmF}_3$ ) είναι ελάχιστα διαλυτό και γίνεται ίζημα όταν αντιδρά με  $\text{Am}^{3+}$  και ιόντα φθοριούχου άλατος σε αδύναμα οξικά διαλύματα:



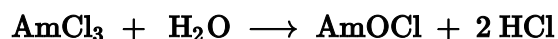
Το τετρασθενές φθοριούχο αμερίκιο ( $\text{AmF}_4$ ) παράγεται μέσω της αντίδρασης στερεού φθοριούχου αμερίκιου(III) με μοριακό φθόριο:



Μια άλλη γνωστή μορφή στερεού τετρασθενούς χλωριούχου αμερίκιου είναι το  $\text{KAmF}_5$ . Το τετρασθενές αμερίκιο έχει επίσης παρατηρηθεί στην υδάτινη μορφή του. Για αυτό τον σκοπό, το μαύρο  $\text{Am}(\text{OH})_4$  διαλύθηκε σε 15-M  $\text{NH}_3\text{F}$  με συγκέντρωση αμερίκιου 0,01M. Το κόκκινο διάλυμα που προέκυψε είχε ένα χαρακτηριστικό φάσμα οπτικής απορρόφησης το οποίο είναι όμοιο με αυτό του  $\text{AmF}_4$ , αλλά διαφέρει από άλλες καταστάσεις οξείδωσης. Η θέρμανση του  $\text{Am}(\text{IV})$  στους  $90^\circ\text{C}$  δεν οδήγησε σε δυσαναλογοποίηση ή αναγωγή, όμως παρατηρήθηκε μια αργή αναγωγή σε  $\text{Am}(\text{III})$  η οποία μετά έγινε ακτινοβολία σωματιδίων άλφα του αμερίκιου.

Τα περισσότερα αλογονίδια του  $\text{Am}(\text{III})$  σχηματίζουν εξαγωνικούς κρυστάλλους με μικρή διαφορά στο χρώμα και την ακριβή δομή ανάμεσα στα αλογονίδια. Έτσι, το ( $\text{AmCl}_3$ ) είναι κοκκινωπό και έχει ισοτυπική δομή με το χλωριούχο ουράνιο(III) (ομάδα διαστήματος  $\text{P6}_3/\text{m}$ ) και σημείο τήξης τους  $715^\circ\text{C}$ . Το φθοριούχο άλας είναι ισοτυπικό με το  $\text{LaF}_3$  (ομάδα διαστήματος  $\text{P6}_3/\text{mmc}$ ), και το ιωδίδιο με το  $\text{BiI}_3$  (ομάδα διαστήματος  $\text{R}\bar{3}$ ). Το βρωμίδιο αποτελεί εξαίρεση με την ορθορομβική δομή του τύπου  $\text{PuBr}_3$  και ομάδα διαστήματος  $\text{Cmcm}$ . Κρύσταλλοι εξαυδρικού αμερίκιου ( $\text{AmCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) μπορούν να παραχθούν αν διαλύσουμε διοξείδιο του αμερίκιου σε υδροχλωρικό οξύ και εξατμίσουμε το υγρό. Αυτοί οι κρύσταλλοι είναι υγροσκοπικοί και έχουν κιτρινο-κόκκινο χρώμα και μονοκλινική κρυσταλλική δομή.

Οξυαλογονίδια αμερίκιου στη μορφή  $\text{Am}^{\text{VI}}\text{O}_2\text{X}_2$ ,  $\text{Am}^{\text{V}}\text{O}_2\text{X}$ ,  $\text{Am}^{\text{IV}}\text{OX}_2$  και  $\text{Am}^{\text{III}}\text{OX}$  μπορούν να παραχθούν με την αντίδραση αντίστοιχων αλογονιδίων αμερίκιου με οξυγόνο ή  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ , και το  $\text{AmOCl}$  μπορεί επίσης να παραχθεί από τη φάση εξατμίσωσης της υδρόλυσης:



## Χαλκογενίδια και πνικτίδια

Τα γνωστά χαλκογενίδια του αμερίκιου περιλαμβάνουν το σουλφίδιο  $\text{AmS}_2$ , τα σελινίδια  $\text{AmSe}_2$  και  $\text{Am}_3\text{Se}_4$  και τα τελλουρίδια  $\text{Am}_2\text{Te}_3$  και  $\text{AmTe}_2$ . Τα πνικτίδια του αμερίκιου ( $^{243}\text{Am}$ ) του τύπου  $\text{AmX}$  είναι γνωστά για τα στοιχεία φώσφορο, αρσενικό, αντιμόνιο και βισμούθιο. Κρυσταλλοποιούνται σε πλέγμα ορυκτού άλατος.

## Πυριτίδια και βορίδια

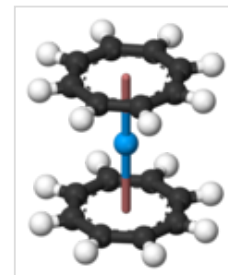
Το μονοπυριτίδιο του αμερίκιου ( $\text{AmSi}$ ) και το "διπυριτίδιο" ( $\text{AmSi}_x$  με  $1.87 < x < 2.0$ ) προκύπτουν από την αναγωγή του φθοριούχου άλατος αμερίκιου(III) με στοιχειώδες πυρίτιο σε κενό στους  $1050^\circ\text{C}$  ( $\text{AmSi}$ ) και μεταξύ  $1150$  και  $1200^\circ\text{C}$  ( $\text{AmSi}_x$ ). Το  $\text{AmSi}$  είναι στερεό, μαύρο, ισομορφικό με το  $\text{LaSi}$  και έχει ορθορομβική κρυσταλλική συμμετρία. Το  $\text{AmSi}_x$  έχει ένα έντονο ασημί χρώμα και τετράγωνο κρυσταλλικό πλέγμα (ομάδα



διαστήματος  $/4_1/\text{amd}$ ) και είναι ισομορφικό με τα  $\text{PuSi}_2$  και  $\text{ThSi}_2$ . Τα βορίδια του αμερίκιου περιλαμβάνουν τα  $\text{AmB}_4$  και  $\text{AmB}_6$ . Το τετραβορικό Am μπορούμε να το αποκτήσουμε αν θερμάνουμε ένα οξείδιο ή αλογονίδιο του αμερίκιου με διβορικό μαγνήσιο σε κενό ή αδρανή ατμόσφαιρα.

## Ενώσεις οργανοαμερίκιου

Το αμερίκιο σχηματίζει μια οργανομεταλλική ένωση με 2 κυκλο-οκτα-τετραενείς συνδέτες που είναι  $(\eta^8\text{-C}_8\text{H}_8)_2\text{Am}$ . Επίσης σχηματίζει τριγωνικούς συνδέσμους  $(\eta^5\text{-C}_5\text{H}_5)_3\text{Am}$  με 3 δακτυλίους κυκλοπενταδιενυλίου. Ο σχηματισμός συνδέσμων του τύπου  $\text{Am}(\text{n-C}_3\text{H}_7\text{-BTP})_3$ , όπου το BTP είναι 2,6-δι(1,2,4-τριαζιν 3-ιλ)πυριδίνιο, σε διαλύματα που περιέχουν  $\text{n-C}_3\text{H}_7\text{-BTP}$  και ιόντα  $\text{Am}^{3+}$  έχουν επιβεβαιωθεί από την τεχνική EXAFS. Μερικοί από αυτούς τους συνδέσμους τύπου BTP διαδρούν επιλεκτικά με το αμερίκιο και για αυτό τον λόγο είναι χρήσιμοι στον διαχωρισμό από τις λανθανίδες και άλλες ακτινίδες.



Προβλεπόμενη  
δομή αμεροκίνιου  
 $[(\eta^8\text{-C}_8\text{H}_8)_2\text{Am}]$

## Στη βιολογία

Το αμερίκιο είναι τεχνητό στοιχείο και για αυτό μια βιολογική λειτουργία που θα περιλαμβάνει αυτό το στοιχείο είναι ανέφικτη. Έχει προταθεί η χρήση βακτηρίων για την αφαίρεση του αμερίκιου και άλλων βαρέων μετάλλων από ποτάμια και ρυάκια. Έτσι, τα εντεροβακτήρια της οικογένειας των κитροβακτηρίων απομακρύνουν τα ιόντα του αμερίκιου από υδάτινα διαλύματα, δεσμεύοντας τα σε μια ένωση μέταλλου-φωσφόρου στα κυτταρικά τους τοιχώματα. Διάφορες μελέτες έχουν δείξει βιοαπορρόφηση και βιοσυγκέντρωση αμερίκιου από βακτήρια και μύκητες.

## Σχάση

Το ισότοπο  $^{242\text{m1}}\text{Am}$  (περίοδος ημιζωής 141 έτη) έχει τις μεγαλύτερες τιμές απορρόφησης θερμικών νετρονίων (5.700 barns), αυτό έχει ως αποτέλεσμα μικρή κρίσιμη μάζα για μια διαρκή αλυσιδωτή πυρηνική αντίδραση. Η κρίσιμη μάζα για μια ατόφια σφαίρα  $^{242\text{m1}}\text{Am}$  είναι περίπου 9 έως 14 χιλιόγραμμα (η αβεβαιότητα προκύπτει από την ανεπαρκή γνώση των ιδιοτήτων των υλικών). Μπορεί να μειωθεί στα 3 έως 5 kg με έναν μεταλλικό ανακλαστήρα και μπορεί να γίνει ακόμα μικρότερη με έναν ανακλαστήρα νερού. Μια τόσο μικρή κρίσιμη μάζα είναι προτιμότερη για φορητά πυρηνικά όπλα αλλά αυτά που βασίζονται στο  $^{242\text{m1}}\text{Am}$  δεν είναι ακόμα γνωστά, προφανώς λόγω της σπανιότητας και της πολύ υψηλής τιμής τους. Οι κρίσιμες μάζες των δύο άλλων διαθέσιμων ισότοπων, του  $^{241}\text{Am}$  και  $^{243}\text{Am}$  είναι σχετικά υψηλές, 57.6 ως 75.6 κιλά για το  $^{242\text{m1}}\text{Am}$  και 209 κιλά για το  $^{243}\text{Am}$ . Η σπανιότητα και η υψηλή τιμή δυσχεραίνουν επίσης τη χρήση του αμερίκιου ως πυρηνικού καυσίμου σε πυρηνικούς αντιδραστήρες.

## Ισότοπα

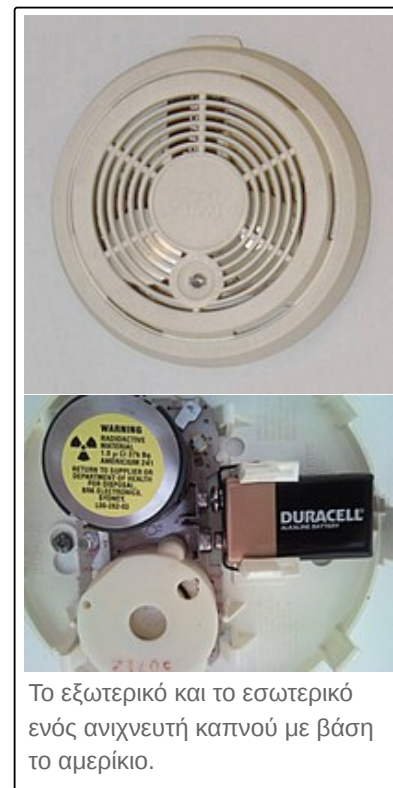
Περίπου 19 ισότοπα και 8 πυρηνικά ισομερή είναι γνωστά για το αμερίκιο. Υπάρχουν 2 εκπομποί ακτίνων α μακράς ζωής, οι  $^{241}\text{Am}$  και  $^{243}\text{Am}$  με διάρκεια ημιζωής 432,2 και 7.370 έτη αντίστοιχα, και το πυρηνικό ισομερές  $^{242\text{m1}}\text{Am}$  που έχει μακρά περίοδο ημιζωής ίση με 141 έτη. Οι περίοδοι ημιζωής των άλλων ισότοπων και ισομερών ποικίλλουν από 0,64 microseconds για το  $^{245\text{m1}}\text{Am}$  ως 50,8 ώρες για το  $^{240}\text{Am}$ . Όπως με τις περισσότερες από τις ακτινίδες, τα ισότοπα του αμερίκιου με μονό αριθμό νετρονίων έχουν σχετικά υψηλό αριθμό πυρηνικών σχάσεων και χαμηλή κρίσιμη μάζα. Το αμερίκιο-241 αποσυντίθεται σε  $^{237}\text{Np}$  εκπέμποντας σωματίδια α 5 διαφορετικών ενεργειών, κυρίως στα 5.846 MeV (85.2%) και 5.443 MeV (12.8%). Επειδή οι περισσότερες καταστάσεις που προκύπτουν είναι μεταστατικές, εκπέμπουν επίσης ακτίνες γ με τη διακριτή ενέργεια μεταξύ των τιμών 26,3 και 158,5 keV. Το αμερίκιο-242 είναι ένα ισότοπο σύντομης ζωής με διάρκεια ημιζωής 16.02 ωρών.

Κυρίως (κατά το 82,7%) μετατρέπεται με β-αποσύνθεση σε  $^{242}\text{Cm}$ , αλλά επίσης με πρόσληψη ηλεκτρονίων σε  $^{242}\text{Pu}$  (17,3%). Το  $^{242}\text{Cm}$  και το  $^{242}\text{Pu}$  μετατρέπονται με σχεδόν την ίδια αλυσίδα αποσύνθεσης από το  $^{238}\text{Pu}$  ως και το  $^{234}\text{U}$ . Σχεδόν όλη η ποσότητα (99,541%) του  $^{242\text{m}1}\text{Am}$  αποσυντίθεται με εσωτερική μετατροπή και το υπόλοιπο 0,459% με αποσύνθεση-α σε  $^{238}\text{Np}$ . Το τελευταίο διασπάται σε  $^{238}\text{Pu}$  και μετά σε  $^{234}\text{U}$ . Το αμερίκιο-243 μετατρέπεται μέσω εκπομπής-α σε  $^{239}\text{Np}$ , το οποίο μετατρέπεται μέσω αποσύνθεσης-β σε  $^{239}\text{Pu}$  και το  $^{239}\text{Pu}$  γίνεται  $^{235}\text{U}$  με εκπομπή ενός σωματιδίου α.

## Εφαρμογές

### Ανιχνευτές ιονισμού

Το αμερίκιο είναι το μόνο συνθετικό στοιχείο που έχει βρει εφαρμογές στα σπίτια μας, όπου ένας συνηθισμένος ανιχνευτής καπνού χρησιμοποιεί  $^{241}\text{Am}$  στη μορφή του διοξειδίου του αμερίκιου ως πηγή ιονίζουσας ακτινοβολίας. Αυτό το ισότοπο προτιμάται αντί του  $^{226}\text{Ra}$ , επειδή εκπέμπει 5 φορές περισσότερα σωματίδια α και έχει σχετικά μικρή βλαβερή ακτινοβολία γ. Η ποσότητα αμερίκιου σε ένα κοινό νέο ανιχνευτή καπνού είναι 1  $\mu\text{curie}$  (37 kBq) ή 0,28  $\mu\text{g}$ . Αυτή η ποσότητα μειώνεται σταδιακά καθώς το αμερίκιο μετατρέπεται σε ποσειδώνιο-237, ένα διαφορετικό διουρανικό στοιχείο με πολύ μεγαλύτερη ημιζωή (περίπου 2,14 εκατομμύρια έτη). Με τη διάρκεια ημιζωής του στα 432,2 έτη, το αμερίκιο που βρίσκεται σε έναν ανιχνευτή καπνού περιέχει περίπου 3% ποσειδώνιο μετά από 19 έτη, και περίπου 5% μετά από 32 έτη. Η ακτινοβολία περνά από έναν θάλαμο ιονισμού, έναν χώρο μεταξύ δύο ηλεκτροδίων γεμάτο αέρα, που επιτρέπει να περνά ένα μικρό, σταθερό ρεύμα μεταξύ των ηλεκτροδίων. Όταν εισέρχεται καπνός στα ηλεκτρόδια απορροφά τα σωματίδια α, κάτι το οποίο μειώνει τον ιονισμό και επηρεάζει το ρεύμα ενεργοποιώντας τον συναγερμό. Σε σύγκριση με τους εναλλακτικούς οπτικούς ανιχνευτές καπνού, ο ανιχνευτής καπνού ιονισμού είναι φθηνότερος και μπορεί να ανιχνεύσει σωματίδια τα οποία είναι πολύ μικρά για να προκαλέσουν σημαντική διασπορά φωτός, όμως είναι πιο επιρρεπής σε λανθασμένους συναγερμούς.



### Ραδιονουκλείδια

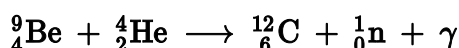
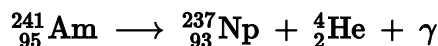
Καθώς το  $^{241}\text{Am}$  έχει σημαντικά μεγαλύτερη περίοδο ημιζωής από το  $^{238}\text{Pu}$  (432,2 έτη έναντι 87), έχει πρωταθεί ως ενεργό στοιχείο ραδιοϊσοτοπικές θερμοηλεκτρικές γεννήτριες, για παράδειγμα στη διαστημική. Παρόλο που το αμερίκιο παράγει λιγότερη θερμότητα και ηλεκτρισμό - η απόδοση είναι 114,7 mW/g για το  $^{241}\text{Am}$  και 6,31 mW/g για το  $^{243}\text{Am}$  - και η ακτινοβολία του είναι περισσότερο επιβλαβής για τους ανθρώπους καθώς εκπέμπει νετρόνια, η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος σκοπεύει να χρησιμοποιήσει το αμερίκιο για εξερευνητικά σκάφη.

Άλλη μια προτεινόμενη χρήση του αμερίκιου που έχει σχέση με το διάστημα είναι ως καύσιμο σε διαστημόπλοια με πυρηνική ώθηση. Βασίζεται στον πολύ υψηλό ρυθμό πυρηνικής σύντηξης του  $^{242\text{m}1}\text{Am}$ , η οποία μπορεί να διατηρηθεί ακόμα και με μεταλλικά φύλλα πάχους λίγων μικρομέτρων. Το μικρό πάχος μας βοηθάει να αποφύγουμε το πρόβλημα της αυτο-απορρόφησης της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας. Το πρόβλημα αυτό είναι παρεμφερές με αυτό που παρουσιάζεται στις ράβδους ουρανίου ή πλουτωνίου, στις οποίες μόνο η επιφάνεια παράγει σωματίδια α. Τα προϊόντα σύντηξης του  $^{242}\text{Am}$  μπορούν είτε να δώσουν απευθείας ώθηση στο διαστημόπλοιο ή μπορούν να θερμάνουν το προωθητικό αέριο. Μπορούν επίσης να μεταφέρουν την ενέργεια τους σε κάποιο υγρό και να παράγουν ηλεκτρισμό μέσω μιας υδρομαγνητοδυναμικής γεννήτριας.

Άλλη μια πρόταση που υλοποιεί τον υψηλό ρυθμό πυρηνικής σύντηξης του  $^{242\text{m}}\text{Am}$  είναι οι πυρηνικές μπαταρίες. Ο σχεδιασμός τους βασίζεται όχι στην ενέργεια των σωματιδίων  $\alpha$  που εκπέμπονται από το αμερίκιο αλλά στο φορτίο τους, καθώς το αμερίκιο δρα ως αυτοσυντηρούμενη "κάθοδος". Ένα μόνο φορτίο 3.2 κιλών  $^{242\text{m}}\text{Am}$  μιας τέτοια μπαταρίας μπορεί να δώσει περίπου 140 kW ισχύος σε διάστημα 80 ημερών. Με όλα τα πιθανά οφέλη, οι τρέχουσες εφαρμογές του  $^{242\text{m}}\text{Am}$  παρεμποδίζονται από τη σπανιότητα και την υψηλή τιμή αυτού του πυρηνικού ισομερούς.

## Πηγή νετρονίων

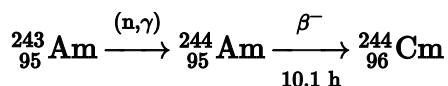
Το οξειδίο του  $^{241}\text{Am}$  πιεζόμενο με βηρύλλιο είναι μια επαρκής πηγή νετρονίων. Εδώ το αμερίκιο δρα ως πηγή σωματιδίων  $\alpha$ , και το βηρύλλιο παράγει νετρόνια λόγω της μεγάλης διασταύρωσης του για την  $(\alpha, n)$  πυρηνική αντίδραση :



Η πιο διαδεδομένη χρήση της πηγής νετρονίων  $^{241}\text{AmBe}$  είναι μια δίοδος νετρονίων - μια συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ποσότητας νερού που υπάρχει στο έδαφος, όπως επίσης και για τη μέτρηση της υγρασίας εδάφους για ελέγχους ποιότητας στην κατασκευή αυτοκινητόδρομων. Οι πηγές νετρονίων  $^{241}\text{Am}$  χρησιμοποιούνται επίσης στις διαδικασίες γεωτρήσεων για πηγάδια, όπως επίσης και στη ραδιογραφία νετρονίων, στην τομογραφία και σε άλλες ραδιοχημικές έρευνες.

## Παραγωγή άλλων στοιχείων

Το αμερίκιο είναι αρχικό συστατικό για την παραγωγή άλλων διουρανικών στοιχείων και μετακτινιδών - για παράδειγμα, το 82,7% του  $^{242}\text{Am}$  μετατρέπεται σε  $^{242}\text{Cm}$  και το 17,3% σε  $^{242}\text{Pu}$ . Στον πυρηνικό αντιδραστήρα, το  $^{242}\text{Am}$  μεταστοιχειώνεται επίσης λόγω πρόσληψης νετρονίου σε  $^{243}\text{Am}$  και  $^{244}\text{Am}$ , το οποίο μετατρέπεται λόγω  $\beta$ -αποσύνθεσης σε  $^{244}\text{Cm}$  :



Ο βομβαρδισμός του  $^{241}\text{Am}$  με ιόντα  $^{12}\text{C}$  ή  $^{22}\text{Ne}$  παράγει το ισότοπο  $^{247}\text{Es}$  (Αϊνσταϊνίο) ή το  $^{260}\text{Db}$  (ντούμπνιο) αντίστοιχα. Επίσης, το στοιχείο μπερκέλιο (ισότοπο  $^{243}\text{Bk}$ ) είχε αρχικά παραχθεί και αναγνωριστεί εσκεμμένα μέσω του βομβαρδισμού του  $^{241}\text{Am}$  με σωματίδια  $\alpha$ , το 1949, από την ίδια ομάδα του Πανεπιστημίου του Μπέρκλεϊ χρησιμοποιώντας το ίδιο κυκλοτρόνιο των 60 ιντσών. Παρομοίως, το νομπέλιο παράχθηκε στο Κοινό Ινστιτούτο Πυρηνικής Έρευνας στην Ντουμπνά της Ρωσίας το 1965 μέσω αρκετών αντιδράσεων, μια από τις οποίες περιελάμβανε βομβαρδισμό του  $^{243}\text{Am}$  με ιόντα  $^{15}\text{Ni}$ . Επίσης, μια από τις αντιδράσεις σύνθεσης του λωρένσιου που ανακαλύφθηκε από επιστήμονες στο Μπέρκλεϊ και την Ντουμπνά συμπεριελάμβανε βομβαρδισμό του  $^{243}\text{Am}$  με  $^{18}\text{O}$ .

## Φασματοσκόπιο

Το αμερίκιο-241 έχει χρησιμοποιηθεί ως φορητή πηγή τόσο ακτινοβολιών γάμμα όσο και σωματιδίων  $\alpha$  για μια σειρά ιατρικών και βιομηχανικών χρήσεων. Οι εκπομπές ακτινών γάμμα των 60-keV από το  $^{241}\text{Am}$  σε τέτοιες πηγές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για έμμεση ανάλυση υλικών στη ραδιογραφία και στη φασματοσκοπία φθοριούχων ακτινών X, όπως επίσης και για τον έλεγχο ποιότητας σε μετρητές πυρηνικής πυκνότητας και πυρηνικά παχύμετρα. Για παράδειγμα, το στοιχείο έχει χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση του πάχους γυαλιού ώστε να διευκολυνθεί η παραγωγή επίπεδου γυαλιού. Το αμερίκιο-241 είναι επίσης κατάλληλο για βαθμονόμηση των φασματοσκοπίων ακτινών γάμμα στο φάσμα χαμηλής ενέργειας, καθώς το φάσμα του αποτελείται από σχεδόν μια

μόνο κορυφή και αμελητέο συνεχές Compton (τουλάχιστον 3 τάξεις χαμηλότερης έντασης). Οι ακτίνες γάμμα του αμερίκιου-241 χρησιμοποιούνταν επίσης στο παρελθόν για παθητική διάγνωση της λειτουργίας του θυροειδούς. Αυτή η τεχνική βέβαια δε χρησιμοποιείται πλέον.

## Επιπτώσεις στην υγεία

---

Ως πολύ ραδιενεργό στοιχείο, το αμερίκιο και οι ενώσεις του πρέπει να δέχονται επεξεργασία μόνο σε ειδικά εργαστήρια με εξειδικευμένο εξοπλισμό. Παρόλο που τα περισσότερα ισότοπα του αμερίκιου εκπέμπουν κυρίως σωματίδια  $\alpha$  τα οποία μπορούν να μπλοκαριστούν με λεπτά φύλλα κοινών υλικών, πολλά από τα παράγωγα εκπέμπουν ακτίνες γάμμα και νετρόνια τα οποία έχουν μεγάλο διεισδυτικό βάθος.

Εαν καταναλωθεί, το αμερίκιο αποβάλλεται από τον οργανισμό σε μερικές μέρες και μόνο το 0,05% απορροφάται από το αίμα. Από αυτό, περίπου το 45% πάει στο συκώτι, το 45% στα κόκκαλα, και το υπόλοιπο 10% αποβάλλεται. Η πρόσληψη από το συκώτι εξαρτάται από τον οργανισμό του ατόμου και αυξάνεται με την ηλικία. Στα κόκκαλα, το αμερίκιο αποθηκεύεται αρχικά στον φλοιό και στις δοκιδώδεις επιφάνειες και σιγά σιγά αναδιανέμεται σε όλο το κόκκαλο. Η βιολογική ημιζωή του  $^{241}\text{Am}$  είναι 50 έτη στα κόκκαλα και 20 έτη στο συκώτι, ενώ στους γόνους (όρχεις και ωοθήκες) μένει για πάντα. Σε όλα αυτά τα όργανα ενισχύει τον κίνδυνο καρκινοπάθειας ως αποτέλεσμα της ραδιενέργειας του.

Το αμερίκιο συχνά βρίσκεται στις χωματερές από ανιχνευτές καπνού που έχουν πεταχτεί. Οι κανόνες που σχετίζονται με την απόρριψη των ανιχνευτών καπνού είναι πολύ ελαστικοί. Στις Η.Π.Α. ο «Πρόσκοπος Ραδιενέργειας» David Hahn μπόρεσε να συγκεντρώσει αμερίκιο από ανιχνευτές καπνού αφού κατάφερε να αγοράσει περίπου εκατό σε πολύ χαμηλή τιμή και επίσης να κλέψει μερικούς. Έχουν υπάρξει περιπτώσεις ανθρώπων που μολύνθηκαν με αμερίκιο, η χειρότερη από τις οποίες είναι αυτή του Harold McCluskey, ο οποίος στην ηλικία των 65 ετών είχε εκτεθεί σε 500 φορές υψηλότερη τιμή αμερίκιου από την επιτρεπτή ως αποτέλεσμα μιας έκρηξης στο εργαστήριό του. Ο McCluskey πέθανε στην ηλικία των 75 ετών, όχι ως αποτέλεσμα της έκθεσης του αλλά από καρδιοπάθεια την οποία είχε και πριν το ατύχημα.

## Παραπομπές

---

1. Seaborg, Glenn T. (1946). «The Transuranium Elements». *Science* **104** (2704): 379–386. doi:10.1126/science.104.2704.379 (<https://dx.doi.org/10.1126%2Fscience.104.2704.379>). PMID 17842184 (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17842184>). Bibcode: 1946Sci...104..379S (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1946Sci...104..379S>).
2. Obituary of Dr. Leon Owen (Tom) Morgan (1919–2002) (<http://www.utexas.edu/faculty/council/2002-2003/memorials/Morgan/morgan.html>). Ανακτήθηκε στις 28 Νοεμβρίου 2010
3. Seaborg, G.T.; James, R.A. and Morgan, L.O.: "The New Element Americium (Atomic Number 95)", THIN PPR (*National Nuclear Energy Series, Plutonium Project Record*), Vol 14 B *The Transuranium Elements: Research Papers*, Paper No. 22.1, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, 1949. Abstract ([https://www.osti.gov/cgi-bin/rd\\_accomplishments/display\\_biblio.cgi?id=ACC0046&numPages=43&fp=N](https://www.osti.gov/cgi-bin/rd_accomplishments/display_biblio.cgi?id=ACC0046&numPages=43&fp=N)); Full text (<https://www.osti.gov/accomplishments/documents/fullText/ACC0046.pdf>) (Ιανουάριος 1948), ανακτ. 28 Νοεμβρίου 2010
4. Street, K.; Ghiorso, A.; Seaborg, G. (1950). «The Isotopes of Americium» (<http://repositories.cdlib.org/cgi/viewcontent.cgi?article=7073&context=lbln>). *Physical Review* **79** (3): 530. doi:10.1103/PhysRev.79.530 (<https://dx.doi.org/10.1103%2FPhysRev.79.530>). Bibcode: 1950PhRv...79..530S (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1950PhRv...79..530S>). <http://repositories.cdlib.org/cgi/viewcontent.cgi?article=7073&context=lbln>.
5. Greenwood, p. 1252

6. Pepling, Rachel Sheremeta (2003). «Chemical & Engineering News: It's Elemental: The Periodic Table – Americium» (<http://pubs.acs.org/cen/80th/ameridium.html>). Ανακτήθηκε στις 7 Ιουλίου 2010.
7. Robert E. Krebs (2006). *The History and Use of Our Earth's Chemical Elements: A Reference Guide* (<https://books.google.com/?id=yb9xTj72vNAC&pg=PA322>) (Second έκδοση). Greenwood Publishing Group. σελ. 322. ISBN 978-0-313-33438-2.
8. Audi, G; Bersillon, O.; Blachot, J.; Wapstra, A.H. (1997). «The N<sup>o</sup> evaluation of nuclear and decay properties» (<https://web.archive.org/web/20080923135135/http://www.nndc.bnl.gov/amdc/nubase/Nubase2003.pdf>). *Nuclear Physics A* **624**: 1. doi:10.1016/S0375-9474(97)00482-X (<https://dx.doi.org/10.1016%2FS0375-9474%2897%2900482-X>). Bibcode: 1997NuPhA.624....1A (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1997NuPhA.624....1A>). Αρχαιοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.nndc.bnl.gov/amdc/nubase/Nubase2003.pdf>) στις 2008-09-23. <https://web.archive.org/web/20080923135135/http://www.nndc.bnl.gov/amdc/nubase/Nubase2003.pdf>. Ανακτήθηκε στις 2016-08-14.
9. Seaborg, Glenn T. U.S. Patent 3.156.523 (<http://www.google.com/patents?vid=3156523>) "Element", Filing date: 23 August 1946, Issue date: 10 November 1964
10. Westrum, Edgar F.; Eyring, Leroy (1951). «The Preparation and Some Properties of Americium Metal». *Journal of the American Chemical Society* **73** (7): 3396. doi:10.1021/ja01151a116 (<https://dx.doi.org/10.1021%2Fja01151a116>).
11. Fields, P. R.; Studier, M.H.; Diamond, H.; Mech, J.F.; Inghram, M.G.; Pyle, G.L.; Stevens, C.M.; Fried, S. και άλλοι. (1956). «Transplutonium Elements in Thermonuclear Test Debris» ([https://archive.org/details/sim\\_physical-review\\_1956-04-01\\_102\\_1/page/n180](https://archive.org/details/sim_physical-review_1956-04-01_102_1/page/n180)). *Physical Review* **102** (1): 180–182. doi:10.1103/PhysRev.102.180 (<https://dx.doi.org/10.1103%2FPhysRev.102.180>). Bibcode: 1956PhRv..102..180F (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1956PhRv..102..180F>). [https://archive.org/details/sim\\_physical-review\\_1956-04-01\\_102\\_1/page/n180](https://archive.org/details/sim_physical-review_1956-04-01_102_1/page/n180).
12. Eriksson, Mats (Απρίλιος 2002). *On Weapons Plutonium in the Arctic Environment* (<https://www.risoe.dk/rispubl/NUK/nukpdf/ris-r-1321.pdf>) (PDF). Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark: Lund University. σελ. 28. Αρχαιοθετήθηκε (<https://web.archive.org/web/20081218233551/http://www.risoe.dk/rispubl/NUK/nukpdf/ris-r-1321.pdf>) (PDF) από το πρωτότυπο στις 18 Δεκεμβρίου 2008. Ανακτήθηκε στις 15 Νοεμβρίου 2008.
13. Human Health Fact Sheet on Americium (<http://www.ead.anl.gov/pub/doc/ameridium.pdf>) Αρχαιοθετήθηκε (<https://web.archive.org/web/20110716164652/http://www.ead.anl.gov/pub/doc/Americium.pdf>) 2011-07-16 στο *Wayback Machine*., Los Alamos National Laboratory, Ανακτήθηκε στις 28 Νοεμβρίου 2010
14. Hoffmann, Klaus: *Kann man Gold machen? Gauner, Gaukler und Gelehrte. Aus der Geschichte der chemischen Elemente*, Urania-Verlag, Λειψία-Ιένα-Βερολίνο 1979, σελ. 233
15. Baetslé, L. *Application of Partitioning/Transmutation of Radioactive Materials in Radioactive Waste Management* ([http://www.ictp.trieste.it/~pub\\_off/lectures/Ins012/Baetsle.pdf](http://www.ictp.trieste.it/~pub_off/lectures/Ins012/Baetsle.pdf)) Αρχαιοθετήθηκε ([https://web.archive.org/web/20050426092418/http://www.ictp.trieste.it/~pub\\_off/lectures/Ins012/Baetsle.pdf](https://web.archive.org/web/20050426092418/http://www.ictp.trieste.it/~pub_off/lectures/Ins012/Baetsle.pdf)) 2005-04-26 στο *Wayback Machine*., Nuclear Research Centre of Belgium Sck/Cen, Mol, Βέλγιο, Σεπτέμβριος 2001, ανακτήθηκε στις 28 Νοεμβρίου 2010
16. Fioni, Gabriele; Cribier, Michel and Marie, Frédéric Can the minor actinide, americium-241, be transmuted by thermal neutrons? ([http://www.cea.fr/var/cea/storage/static/gb/library/Clefs46/pagesg/clefs46\\_30.html](http://www.cea.fr/var/cea/storage/static/gb/library/Clefs46/pagesg/clefs46_30.html)) Αρχαιοθετήθηκε ([https://web.archive.org/web/20071111175005/http://www.cea.fr/var/cea/storage/static/gb/library/Clefs46/pagesg/clefs46\\_30.html](https://web.archive.org/web/20071111175005/http://www.cea.fr/var/cea/storage/static/gb/library/Clefs46/pagesg/clefs46_30.html)) 2007-11-11 στο *Wayback Machine*., Department of Astrophysics, CEA/Saclay, Ανακτήθηκε στις 28 Νοεμβρίου 2010
17. BREDL Southern Anti-Plutonium Campaign ([http://www.bredl.org/sapc/Pu\\_ReportI.htm](http://www.bredl.org/sapc/Pu_ReportI.htm)), Blue Ridge Environmental Defense League, ανακτήθηκε στις 28 Νοεμβρίου 2010
18. The "metastable" state is marked by the letter m.





19. Sasahara, A. (2004). «Neutron and Gamma Ray Source Evaluation of LWR High Burn-up UO<sub>2</sub> and MOX Spent Fuels» ([https://archive.today/20101119071142/http://www.jstage.jst.go.jp/article/jnst/41/4/448/\\_pdf](https://archive.today/20101119071142/http://www.jstage.jst.go.jp/article/jnst/41/4/448/_pdf)). *Journal of Nuclear Science and Technology* **41** (4): 448–456. doi:10.3327/jnst.41.448 (<https://dx.doi.org/10.3327/jnst.41.448>). Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο ([http://www.jstage.jst.go.jp/article/jnst/41/4/448/\\_pdf](http://www.jstage.jst.go.jp/article/jnst/41/4/448/_pdf)) στις 2010-11-19. [https://archive.today/20101119071142/http://www.jstage.jst.go.jp/article/jnst/41/4/448/\\_pdf](https://archive.today/20101119071142/http://www.jstage.jst.go.jp/article/jnst/41/4/448/_pdf). Ανακτήθηκε στις 2016-08-14. [article/200410/000020041004A0333355.php Abstract](http://sciencelinks.jp/j-east/) (<http://sciencelinks.jp/j-east/>) Αρχειοθετήθηκε (<https://web.archive.org/web/20101124010256/http://sciencelinks.jp/j-east/>) 2010-11-24 στο Wayback Machine.
20. Penneman, σσ. 34–48
21. Hudson, M. J. (2003). «The coordination chemistry of 1,2,4-triazinyl bipyridines with lanthanide(III) elements – implications for the partitioning of americium(III)». *Dalton Trans.* (9): 1675–1685. doi:10.1039/b301178j (<https://dx.doi.org/10.1039/b301178j>).
22. Geist, A.· και άλλοι. (11–13 Δεκεμβρίου 2000). «Actinide(III)/Lanthanide(III) Partitioning Using n-Pr-BTP as Extractant: Extraction Kinetics and Extraction Test in a Hollow Fiber Module» (<https://web.archive.org/web/20150924055355/http://www.oecd-neo.org/pt/docs/iem/madrid00/Proceedings/Paper14.pdf>) (PDF). *6th Information Exchange Meeting on Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation*. OECD Nuclear Energy Agency. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<https://www.oecd-neo.org/pt/docs/iem/madrid00/Proceedings/Paper14.pdf>) (PDF) στις 24 Σεπτεμβρίου 2015. Ανακτήθηκε στις 14 Αυγούστου 2016.
23. Hill, C.· Guillauneux, D.· Hérès, X.· Boubals, N. & Romain, L. (24–26 Οκτωβρίου 2000). «Sanex-BTP Process Development Studies» (<https://web.archive.org/web/20121115151847/http://www-atalante2004.cea.fr/home/liblocal/docs/atalante2000/P3-26.pdf>) (PDF). *Atalante 2000: Scientific Research on the Back-end of the Fuel Cycle for the 21st Century*. Commissariat à l'énergie atomique. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www-atalante2004.cea.fr/home/liblocal/docs/atalante2000/P3-26.pdf>) (PDF) στις 15 Νοεμβρίου 2012. Ανακτήθηκε στις 14 Αυγούστου 2016.
24. Geist, A.· και άλλοι. (14–16 Οκτωβρίου 2002). «Effective Actinide(III)-Lanthanide(III) Separation in Miniature Hollow Fibre Modules» (<https://web.archive.org/web/20090929023456/http://www.nea.fr/html/pt/docs/iem/jeju02/session2/SessionII-15.pdf>) (PDF). *7th Information Exchange Meeting on Actinide and Fission Product Partitioning and Transmutation*. OECD Nuclear Energy Agency. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο (<http://www.nea.fr/html/pt/docs/iem/jeju02/session2/SessionII-15.pdf>) (PDF) στις 29 Σεπτεμβρίου 2009. Ανακτήθηκε στις 14 Αυγούστου 2016.
25. Ensor, D.D. «Separation Studies of f-Elements» ([https://web.archive.org/web/20060922113030/http://www.tntech.edu/wrc/pdfs/Projects04\\_05/Ens\\_Elem.pdf](https://web.archive.org/web/20060922113030/http://www.tntech.edu/wrc/pdfs/Projects04_05/Ens_Elem.pdf)) (PDF). Tennessee Tech University. Αρχειοθετήθηκε από το πρωτότυπο ([http://www.tntech.edu/WRC/pdfs/Projects04\\_05/Ens\\_Elem.pdf](http://www.tntech.edu/WRC/pdfs/Projects04_05/Ens_Elem.pdf)) (PDF) στις 22 Σεπτεμβρίου 2006. Ανακτήθηκε στις 14 Αυγούστου 2016.
26. Penneman, σελ. 25
27. *Gmelin Handbook of Inorganic Chemistry*, System No. 71, transuranics, Part B 1, pp. 57–67.
28. Penneman, p. 3
29. Wade, W; Wolf, T. (1967). «Preparation and some properties of americium metal». *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry* **29** (10): 2577. doi:10.1016/0022-1902(67)80183-0 ([https://dx.doi.org/10.1016/0022-1902\(67\)80183-0](https://dx.doi.org/10.1016/0022-1902(67)80183-0)).
30. McWhan, D.B.; Cunningham, B.B.; Wallmann, J.C. (1962). «Crystal structure, thermal expansion and melting point of americium metal». *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry* **24** (9): 1025. doi:10.1016/0022-1902(62)80246-2 ([https://dx.doi.org/10.1016/0022-1902\(62\)80246-2](https://dx.doi.org/10.1016/0022-1902(62)80246-2)).
31. Benedict, U (1984). «Study of actinide metals and actinide compounds under high pressures». *Journal of the Less Common Metals* **100**: 153. doi:10.1016/0022-5088(84)90061-4 ([https://dx.doi.org/10.1016/0022-5088\(84\)90061-4](https://dx.doi.org/10.1016/0022-5088(84)90061-4)).
32. Young, D. A. (1991). *Phase diagrams of the elements* (<https://books.google.com/?id=F2HVYh6wLBcC&pg=PA226>). University of California Press. σελ. 226. ISBN 978-0-520-91148-2.
33. Benedict, U; Dufour, C (1980). «Low temperature lattice expansion of americium dioxide». *Physica B+C* **102**: 303. doi:10.1016/0378-4363(80)90178-3 ([https://dx.doi.org/10.1016/0378-4363\(80\)90178-3](https://dx.doi.org/10.1016/0378-4363(80)90178-3)). Bibcode: 1980PhyBC.102..303B (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1980PhyBC.102..303B>).

34. Kanellakopulos, B; Blaise, A.; Fournier, J.M.; Müller, W. (1975). «The magnetic susceptibility of Americium and curium metal». *Solid State Communications* **17** (6): 713. doi:10.1016/0038-1098(75)90392-0 (<https://dx.doi.org/10.1016%2F0038-1098%2875%2990392-0>).  
Bibcode: 1975SSCom..17..713K (<http://adsabs.harvard.edu/abs/1975SSCom..17..713K>).
35. Mondal, J.U.; Raschella, D.L.; Haire, R.G.; Petereson, J.R. (1987). «The enthalpy of solution of 243Am metal and the standard enthalpy of formation of Am<sup>3+</sup>(aq)» ([https://archive.org/details/sim\\_thermochimica-acta\\_1987-06-15\\_116/page/n253](https://archive.org/details/sim_thermochimica-acta_1987-06-15_116/page/n253)). *Thermochimica Acta* **116**: 235. doi:10.1016/0040-6031(87)88183-2 (<https://dx.doi.org/10.1016%2F0040-6031%2887%2988183-2>).  
[https://archive.org/details/sim\\_thermochimica-acta\\_1987-06-15\\_116/page/n253](https://archive.org/details/sim_thermochimica-acta_1987-06-15_116/page/n253).
36. Penneman, p. 4
37. Americium (<http://www.chemie-master.de/FrameHandler.php?loc=http://www.chemie-master.de/pse/pse.php?modul=Am>) Αρχειοθετήθηκε (<https://web.archive.org/web/20190609181845/http://www.chemie-master.de/FrameHandler.php?loc=http%3A%2F%2Fwww.chemie-master.de%2Fpse%2Fpse.php%3Fmodul%3DAm>) 2019-06-09 στο [Wayback Machine.](http://www.waybackmachine.org/), Das Periodensystem der Elemente für den Schulgebrauch (The periodic table of elements for schools) chemie-master.de (στη γερμανική), ανακτήθηκε στις 28 Νοεμβρίου 2010
38. Greenwood, p. 1265
39. Penneman, pp. 10–14
40. Wiberg, p. 1956
41. Asprey, L. B.; Stephanou, S. E.; Penneman, R. A. (1950). «A NEW VALENCE STATE OF AMERICIUM, AM(VI)». *Journal of the American Chemical Society* **72** (3): 1425. doi:10.1021/ja01159a528 (<https://dx.doi.org/10.1021%2Fja01159a528>).
42. Asprey, L. B.; Stephanou, S. E.; Penneman, R. A. (1951). «Hexavalent Americium». *Journal of the American Chemical Society* **73** (12): 5715. doi:10.1021/ja01156a065 (<https://dx.doi.org/10.1021%2Fja01156a065>).
43. Coleman, J. S.; Keenan, T. K.; Jones, L. H.; Carnall, W. T.; Penneman, R. A. (1963). «Preparation and Properties of Americium(VI) in Aqueous Carbonate Solutions». *Inorganic Chemistry* **2**: 58. doi:10.1021/ic50005a017 (<https://dx.doi.org/10.1021%2Fic50005a017>).
44. Werner, L. B.; Perlman, I. (1951). «The Pentavalent State of Americium». *Journal of the American Chemical Society* **73**: 495. doi:10.1021/ja01145a540 (<https://dx.doi.org/10.1021%2Fja01145a540>).
45. Hall, G; Markin, T.L. (1957). «The self-reduction of americium(V) and (VI) and the disproportionation of americium(V) in aqueous solution». *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry* **4** (5–6): 296. doi:10.1016/0022-1902(57)80011-6 (<https://dx.doi.org/10.1016%2F0022-1902%2857%2980011-6>).
46. Coleman, James S. (1963). «The Kinetics of the Disproportionation of Americium(V)». *Inorganic Chemistry* **2**: 53. doi:10.1021/ic50005a016 (<https://dx.doi.org/10.1021%2Fic50005a016>).
47. Greenwood, p. 1275
48. Akimoto, Y. (1967). «A note on AmN and AmO». *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry* **29** (10): 2650. doi:10.1016/0022-1902(67)80191-X (<https://dx.doi.org/10.1016%2F0022-1902%2867%2980191-X>).
49. Wiberg, p. 1972
50. Greenwood, p. 1267

## Εξωτερικοί σύνδεσμοι

---

-  Πολυμέσα σχετικά με το θέμα [Americium](#) στο Wikimedia Commons
-  Λεξιλογικός ορισμός του [αμερίκιο](#) στο Βικιλεξικό