

# ארבעת הגדולים

על יסודות כבדים, הכנתם וסוף הטבלה המחזורית

אורי טייכמן

# כמה עקרונות בסיסיים

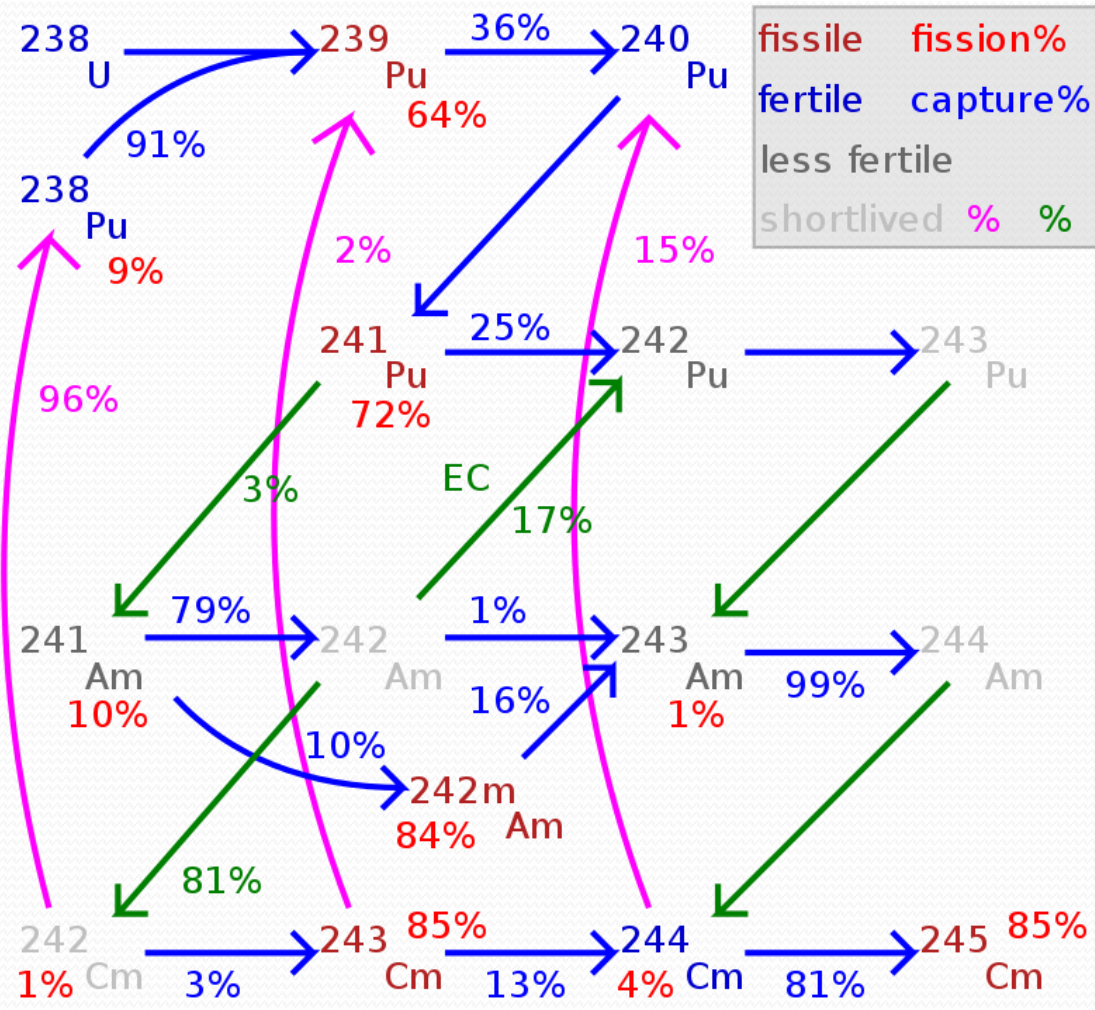
1. ככלל, יציבות גרעיני האטומים יורדת ככל שהאטומים נהיים כבדים יותר.
2. תגובות גרעיניות מקיימות כמה חוקי שימור – אנרגיה, תנע, תנע זוויתי ומספר הנוקלאונים.
3. הטבלה המחזורית בנויה לפי האלקטרונים ולא לפי יציבות הגרעין.
4. יסוד מוגדר כקיים אם זמן מחצית החיים מעל  $10^{-14}$  שניות.

# יציבות היסודות בטבלה המחזורית.

		Group																		
		I	II											III	IV	V	VI	VII	VIII	
Period	1	1 H																		2 He
	2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
	3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
	4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
	5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
	6	55 Cs	56 Ba	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn	
	7	87 Fr	88 Ra	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og	

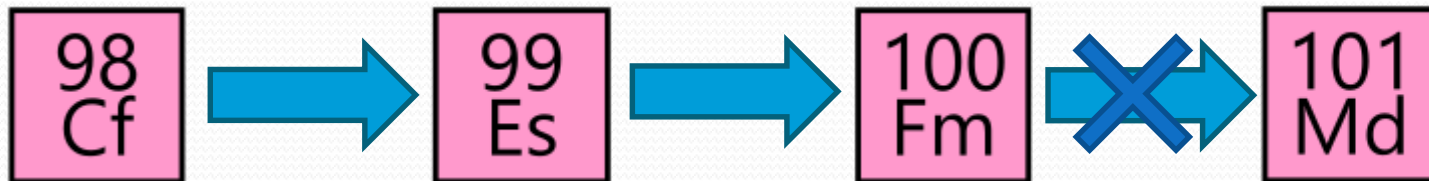
* Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
** Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

# יצירת יסודות טרנס-אורניים בכורים גרעיניים



# פרמיום הוא הגבול

- כל האיזוטופים הידועים של פרמיום (יסוד 100) דועכים לתוצרים שאינם יסוד 101.
- לכן, אי אפשר לייצר את מנדלביום (יסוד 101) בכמויות מאקרוסקופיות.
- אותו הגיון תקף לכל היסודות הכבדים יותר.



# ארבעת הגדולים

113  
Nh

115  
Mc

117  
Ts

118  
Og

I U P A C

INTERNATIONAL UNION OF  
PURE AND APPLIED CHEMISTRY

IUPAP

International Union of Pure and Applied Physics

# ניהוניום, Nh – יסוד 113

- נתגלה ביפן בשנת 2004.

- נקרא על שם יפן - ביפנית, ניהון הוא אחד השמות לארץ.

- סונתז במקור על ידי התגובה:



- 8 איזוטופים שונים עד כה, באופן ישיר או עקיף.

- האיזוטופ היציב ביותר הידוע עד כה: Nh-286, זמן מחצית חיים של 9.5 שניות.

# מוסקוביום, Mc – יסוד 115

- נתגלה בשיתוף פעולה רוסי-אמריקני בשנת 2003.
- נקרא על שם מחוז מוסקבה בו שוכן הצוות הרוסי (בעיר דובנה).
- סונתז במקור על ידי התגובה:  
$$\text{Am-243} + \text{Ca-48} \rightarrow \text{Mc-288} + 3n$$
- 4 איזוטופים שונים עד כה, באופן ישיר או עקיף.
- האיזוטופ היציב ביותר הידוע עד כה: Mc-290, זמן מחצית חיים של 0.65 שניות.
- זה גם האיזוטופ הכבד ביותר שסונתז עד כה של היסוד.
- היסוד הכבד ביותר בעל זמן מחצית חיים ארוך מספיק בשביל לבדוק תכונות כימיות.

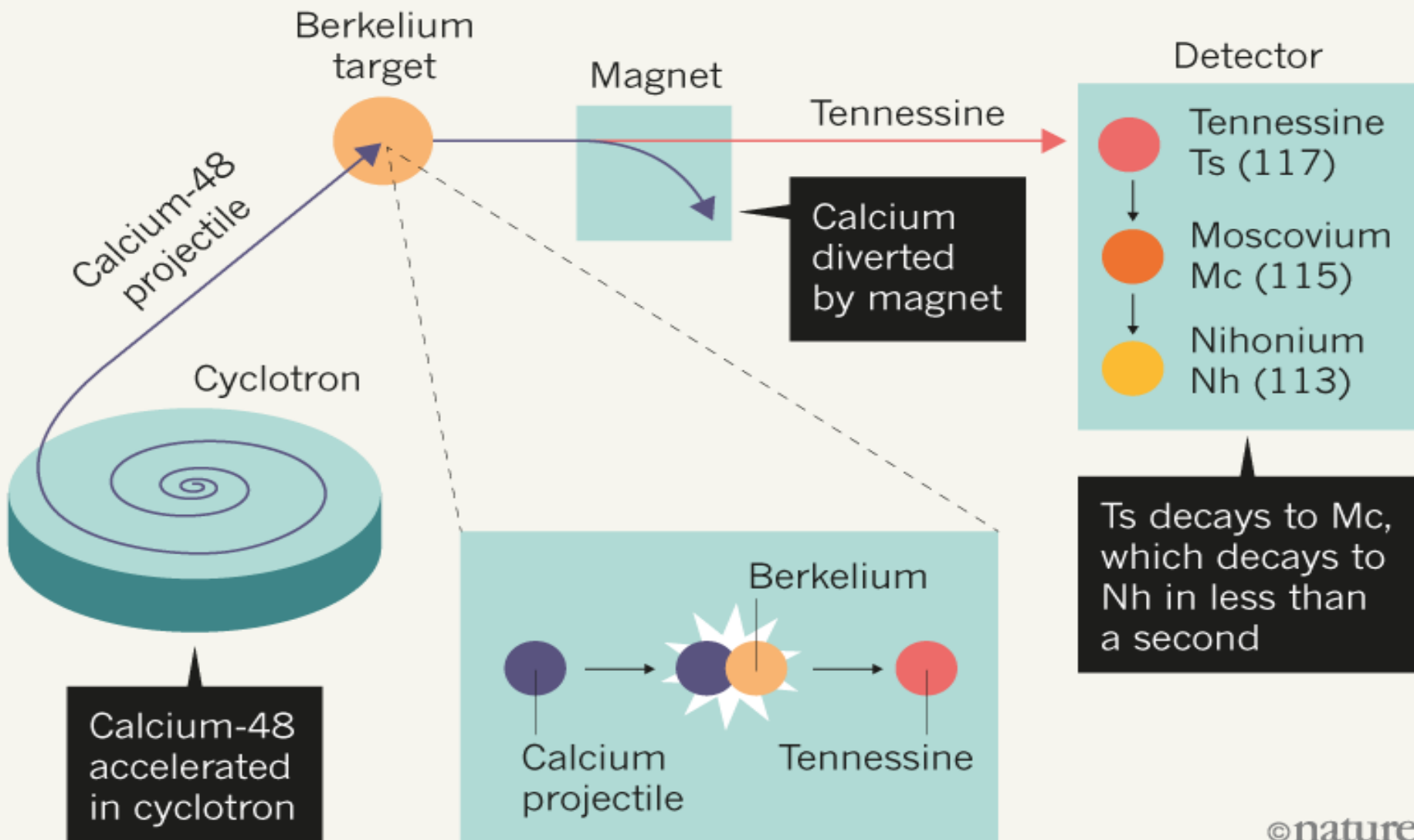


# טנסיין, Ts – יסוד 117

- נתגלה בשיתוף פעולה רוסי-אמריקני בשנת 2010.
- נקרא על שם מדינת טנסי בה נמצא הצוות האמריקני באוק רידג'.
- הברקליום יוצר בארה"ב, התגובות בוצעו ברוסיה.
- סונתז במקור על ידי התגובה:  
$$\text{Bk-249} + \text{Ca-48} \rightarrow \text{Ts-293} + 4n$$
- כ-20 מ"ג של ברקליום במטרה, ובסך הכל כ-3 גרם סידן.
- 2 איזוטופים שונים עד כה, באופן ישיר.
- האיזוטופ היציב ביותר הידוע עד כה: Ts-294, זמן מחצית חיים של 51 מילישניות.
- זה גם האיזוטופ הכבד ביותר שסונתז עד כה של היסוד.

# HOW TO CREATE AN ELEMENT

A team of Russian and US researchers bombarded berkelium (atomic number 97) with calcium-48 (atomic number 20) to create tennessine (atomic number 117), which splits through radioactive decay into smaller elements.



# מטרת הברקליום בה השתמשו לסינתזה

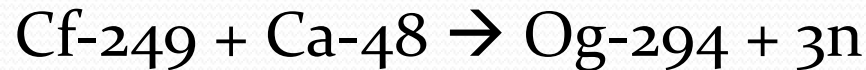


# אוגאנסון, Og – יסוד 118

- נתגלה בשיתוף פעולה רוסי-אמריקני בשנת 2002.
- נקרא על שם יורי אוגאנסיאן, המדען שעמד בראש הצוות הרוסי.
- אחראי באופן ישיר, או הציע את הטכניקות בהן השתמשו, לסינתזת כל היסודות הכבדים 106-118.



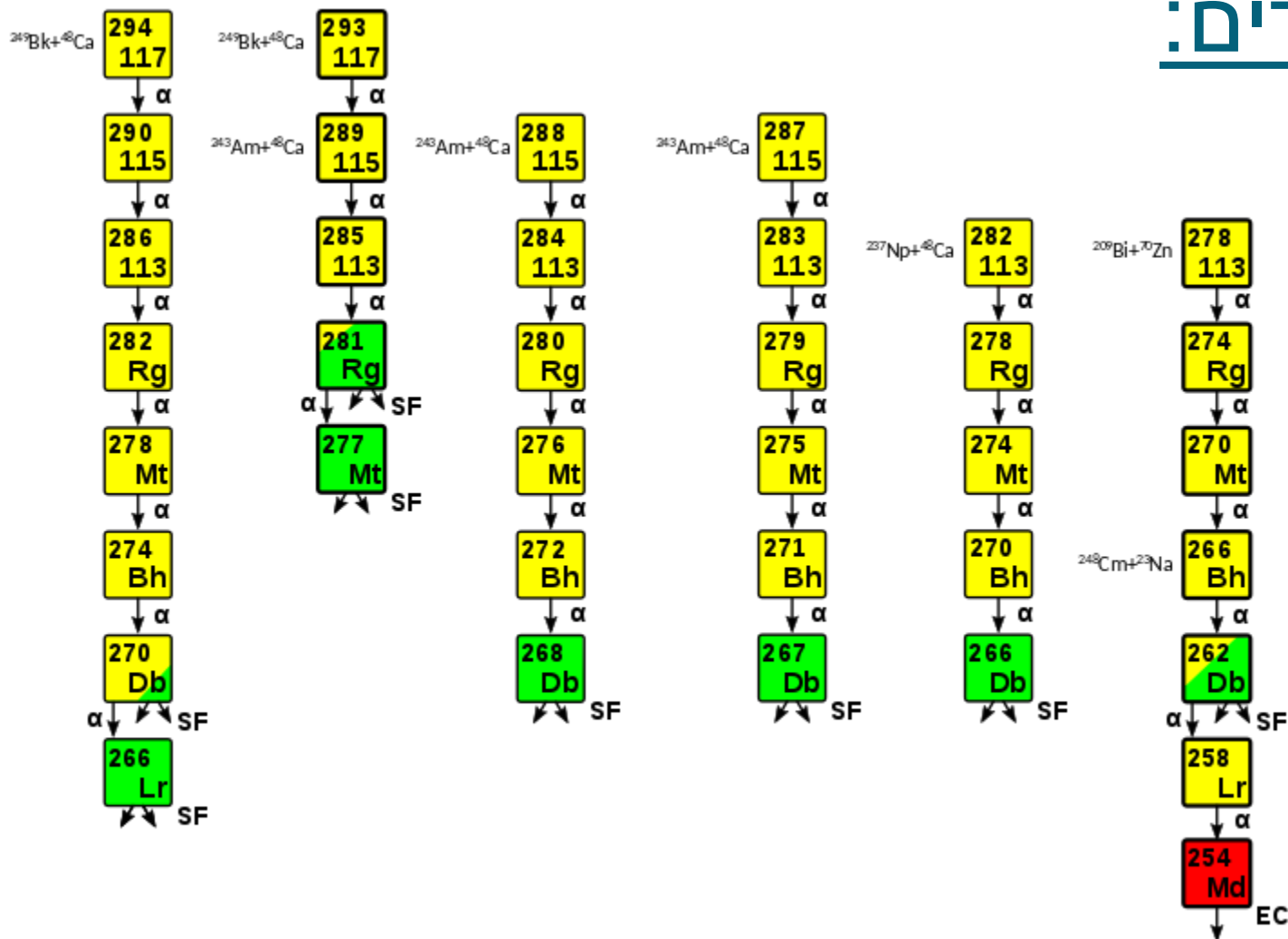
- סונתז במקור על ידי התגובה:



- איזוטופ אחד סונתז עד כה, ועוד אחד לא ודאי.
- זמן מחצית החיים של Og-294 : 0.89 מילישניות.
- לא אומת קיומו של האיזוטופ Og-295 עם מחצית חיים של 0.181 שניות (נוצר כתוצאה מדעיכה של איזוטופ לא מאומת של יסוד 120).
- הסינתזה המקורית נמשכה ארבעה חודשים של הקרנה רצופה, וייצרו אטום בודד.

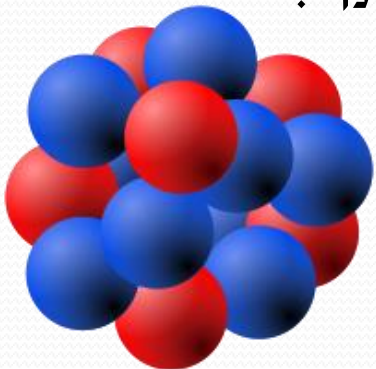
# דוגמאות לשרשראות דעיכה של היסודות

## הכבדים:



# יחס ניוטרונים-פרוטונים

- תמיד מעל 1 (מספר ניוטרונים גדול או שווה למספר הפרוטונים).  
שני יוצאי דופן : הליום-3 (שני פרוטונים וניוטרון) ומימן-1 (פרוטון בודד).
- לגרעינים קלים, עד סידן, בדרך כלל יש איזוטופ יציב עם יחס 1:1.
- ככל שהמסה עולה, היחס לאיזוטופים יציבים עולה.
- היחס הגבוה ביותר לאיזוטופ יציב : האיזוטופ היציב הכבד ביותר, עופרת-208 עם יחס של 1.537
- האיזוטופים הכבדים ביותר בטבע, עם היחס הגדול ביותר :  
אורניום-238, 1.587 ; פלוטוניום-244, 1.596.



# יחס ניוטרוניים-פרוטונים

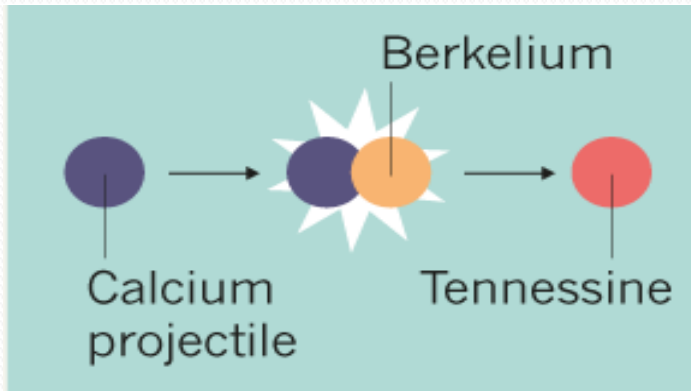
- תחזית תיאורטית, בהתאמה טובה לניסויים:

$$\frac{N}{Z} \approx 1 + \frac{a_C}{2a_A} * A^{2/3}$$

- $N$  - מספר ניוטרונים,  $Z$  - מספר אטומי (מספר פרוטונים),  $A$  - מספר מסה.
- $a_C$  ו- $a_A$  הם קבועים אמפיריים.

# דוגמאות לתגובות גרעיניות:

- יחס הניוטרונים-פרוטונים בתוצר לא יכול להיות גדול מהיחס במגיבים.



- לדוגמא, נסתכל בסינתזה של טנסין:
- ברקליום-249 : 1.567, סידן-48 : 1.4
- בתוצר, טנסין-294 : 1.513, באמצע ביניהם.
- זו בעיה עבור הסינתזות של יסודות כבדים!



# סידן 48 – "קליע הכסף" של הסינתזות

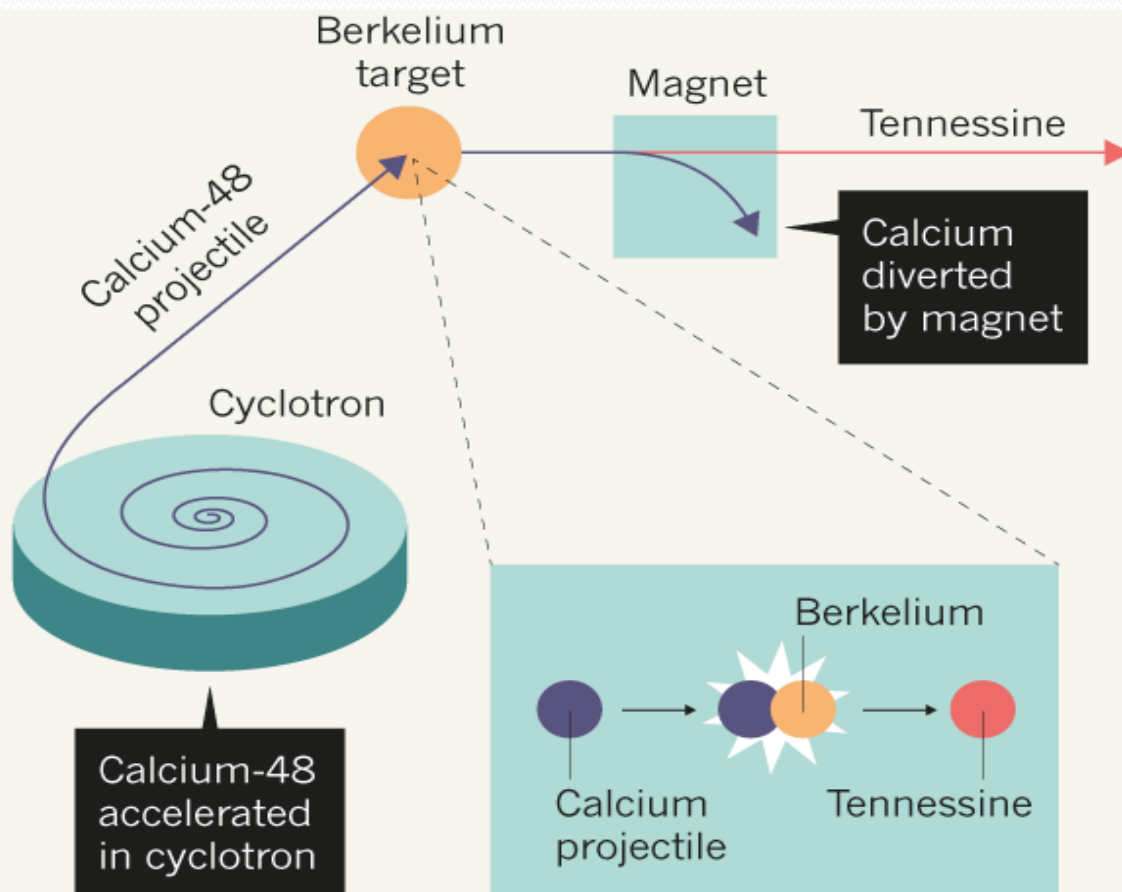
- מכיל 20 פרוטונים ו-28 ניוטרונים.

- יחס ניוטרונים לפרוטונים של 1.4, גדול מאוד עבור יסוד קל כמו

סידן.

- שימש לסינתזה של

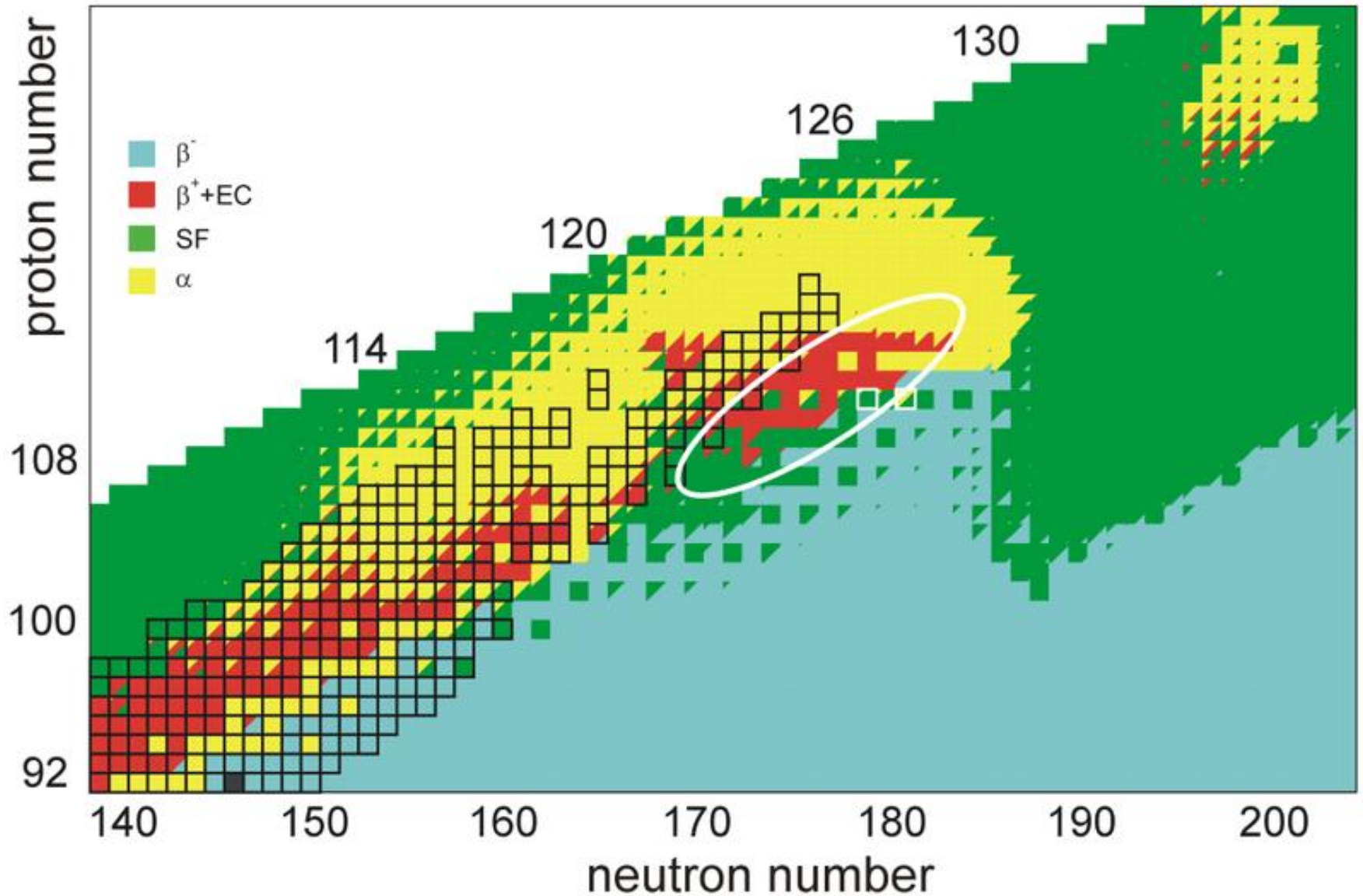
יסודות 114-118.



# האי של היציבות

- יסודות סופר כבדים יציבים במיוחד.
- עד כה, אף אחד מהם לא סונתז.
- למשל, פלרוביום(114)-298 צפוי להיות יציב במיוחד, לפי חלק מהתחזיות. הכי כבד עד כה : פלרוביום-289.
- בטכניקות ישירות בהן השתמשו עד היום לא ניתן להגיע אליו ככל הנראה.
- טכניקות חדשות בעתיד עשויות להצליח בכך.

# האי של היציבות



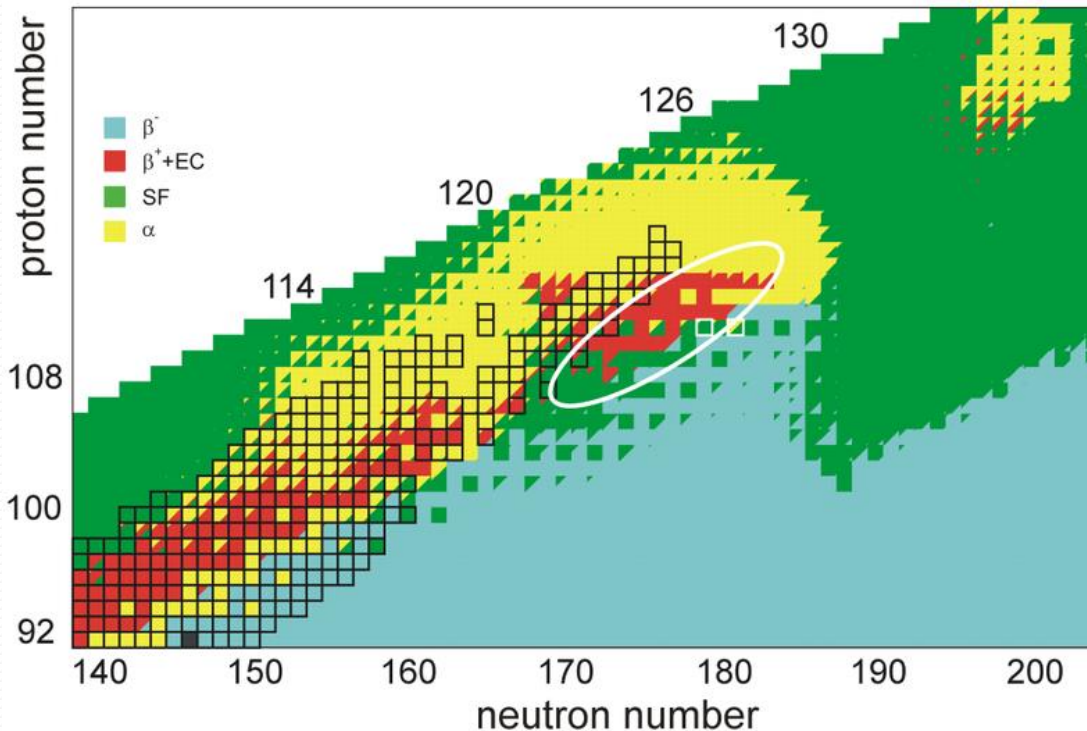
# דוגמא לקושי להגעה לאי של היציבות

- ננסה לסנתז פלרוביום-298 עם סידן-48:

מסה	ניוטרונים	פרוטונים	
298	184	114	פלרוביום-298
48	28	20	סידן-48
250	156	94	פלוטוניום-250

- צריך גם כמה ניוטרונים עודף.
- אין איזוטופ פלוטוניום מעשי מעל פלוטוניום-244, לכן לא נוכל להצליח בשיטה הזו.

# האי של היציבות – דוגמא להגעה



- איזוטופים שדועכים בטא או אלפא ליסודות בתוך האי הם חלופה אפשרית ומבטיחה יחסית.

- תהליכים אלו מעלים יחס ניוטרונים לפרוטונים.

- אחת התגובות המשוערות המבטיחות ביותר להגעה אל האי. איזוטופ היעד: קופרניקיום(112)-291.

- לפי חלק מהתחזיות, זמן מחצית החיים יהיה מעל אלף שנה.

- הכי כבד שיוצר עד היום הוא קופרניקיום-285.

# האי של היציבות – דוגמא להגעה

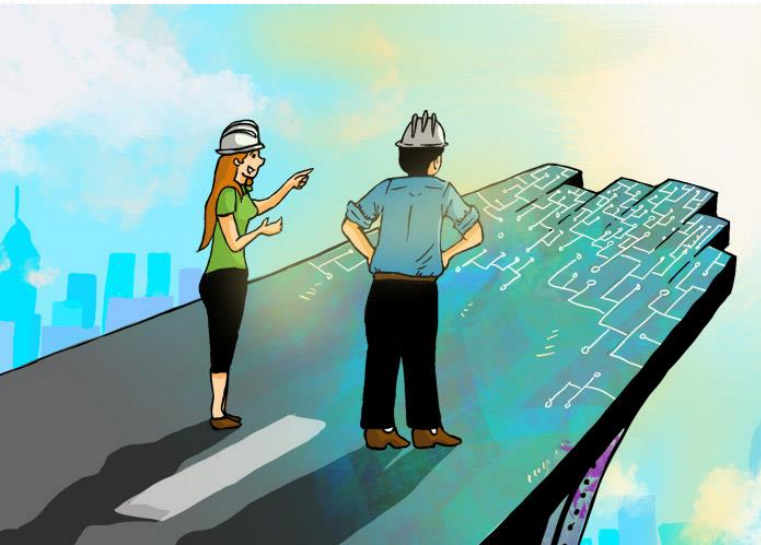
- אם נוכל לסנתז טנסין(117)-295, הוא כנראה ידעך אלפא למוסקוביום(115)-291.
- כאן צפויה להתחיל שרשרת של בטא פלוס, עד לתוצר הרצוי של קופרניקיום-291.
- בעיות:
- התגובה לייצור טנסין-295 קשה לביצוע.
- לא ברור עד כמה אמינה התחזית התיאורטית לגבי התפרקויות הבטא-פלוס.

# האם זהו הסוף?

- אין סיבה להניח ש-118 הוא האחרון.
- אבל: יש סיבות טובות לכך שהוא האחרון שהתגלה עד כה, בגלל הטכניקות בהן משתמשים.
- סידן-48 בעייתי מאוד לסינתזה של 119 ומעלה.
- מעבר לטיטניום-50 מקטין את סבירות התגובה בערך פי 20.
- לפי כמה הערכות, 119 יהיה על גבול יכולת הגילוי בטכניקות הקיימות כיום, ו-120 כבר ידרוש שיטות אחרות.

# אז מי האחרון?

- יש תחזיות לפיהן אחרי האי של היציבות, היציבות תרד באופן דרמטי והטבלה תיגמר למעשה – כל מה שאחריו יתפרק מהר מדי.
- יש תחזיות לגבי איים נוספים של יציבות, עם "אוקיינוס של אי יציבות" ביניהם. אין לנו דרך כיום להתקרב אליהם ולבדוק.
- יש תחזיות לפיהן אין סוף לטבלה.
- נצטרך לחכות לעתיד ולראות מה עוד יתגלה!







תודה רבה על ההקשבה!  
שאלות?