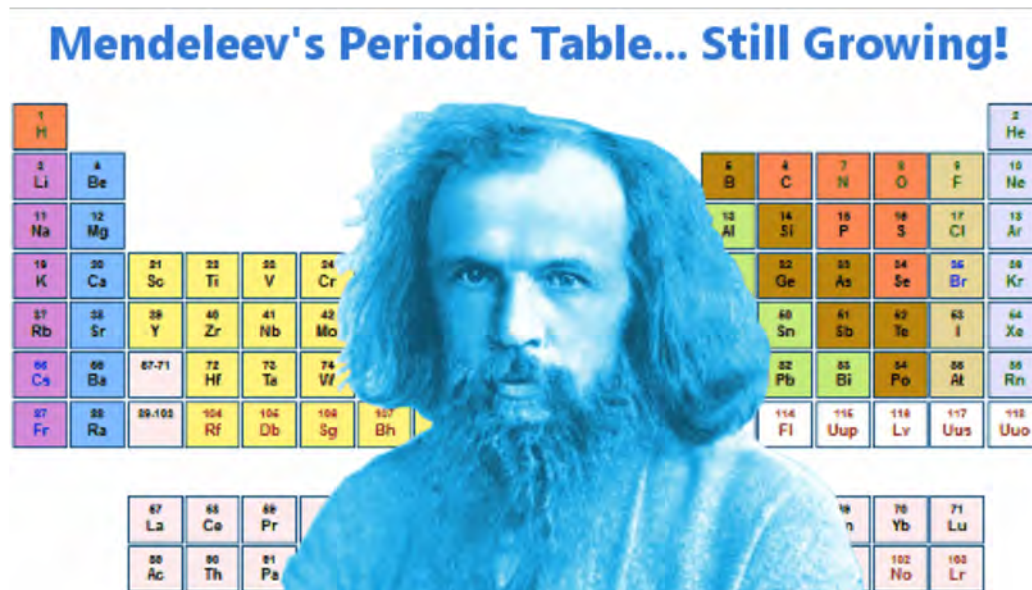
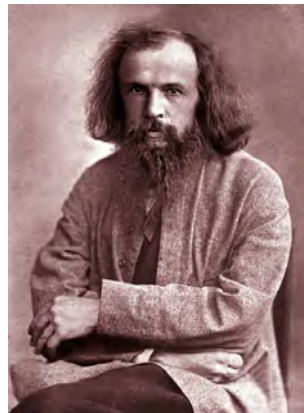


אני עומד לספר לכם על הטבלה המחזורית שהפכה לאייקון
אוניברסלי : הולדתה לפני 150 שנים, והפופולריזציה שלה
בסיפרות, באמנות ובמוזיקה.



ההרצאה כוללת שלושה קטעים: הניצוץ הגאוני של מנדלייב – ולידת הטבלה המחזורית אשר שמה את כל עולם החומר על כף יד אחת !

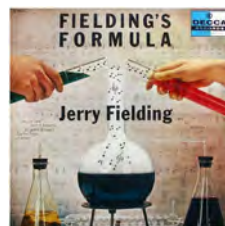
Periodic Table of Elements



הקטע הזה ילווה באנליזה,
סיפורים ומיתולוגיות אודות
מנדלייב.



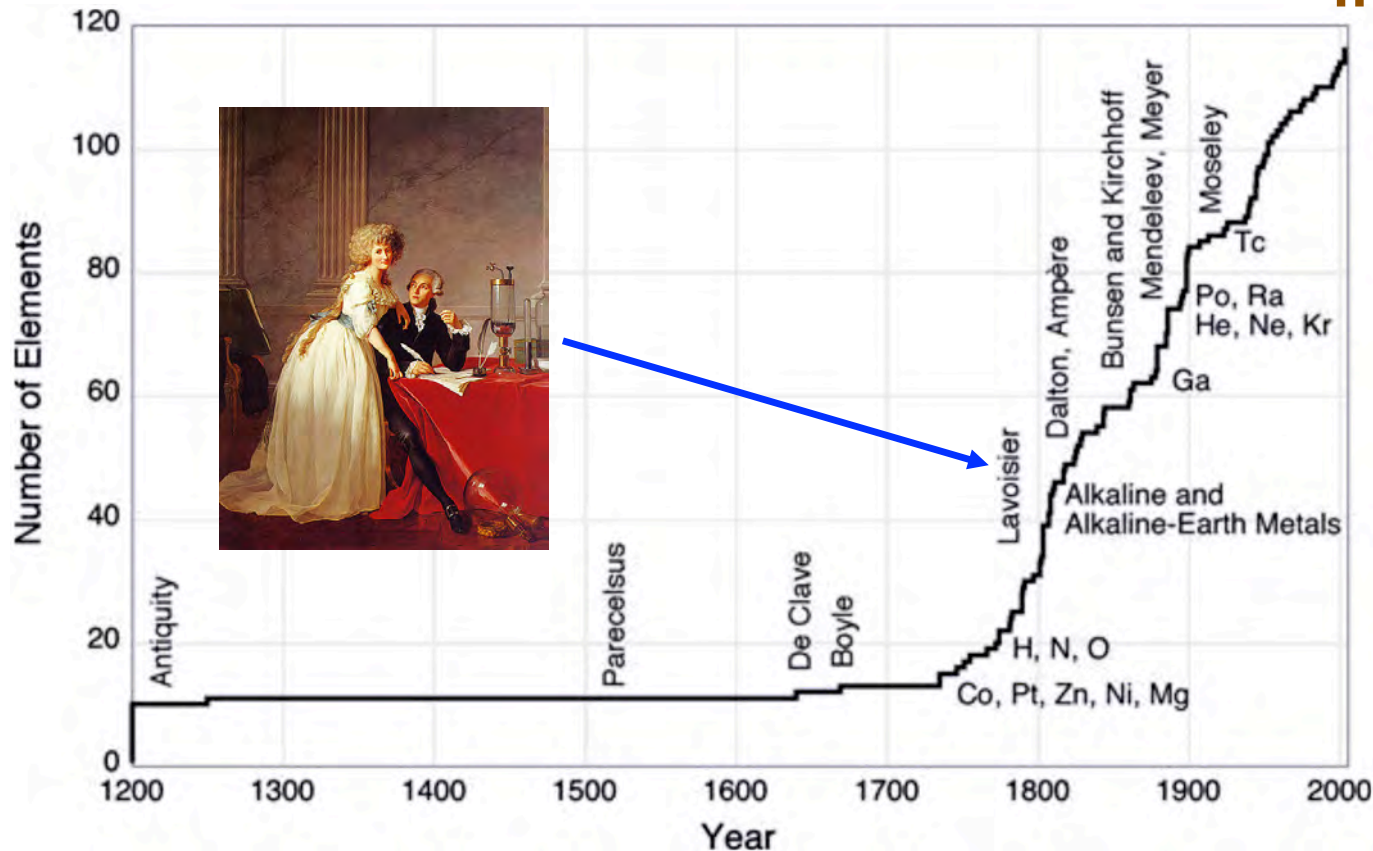
ואז אעבור לשימוש בטבלה המחזורית באומנות ובמוזיקה.



בקטע השני
אדבר על
הפופולריזציה
של הטבלה
בספרו של
פרימו לוי.

**הרקע ל'בריא' הטבלה המחזורית ע"י מנדלייב
הם הוויכוחים הסוערים בין הכימאים במחצית
השניה של המאה ה-19**

הציור שלפניכם משרטט את מספר היסודות החדשים שהתגלו לאחר המהפכה של לבואזייה:



יותר מדי יסודות...
 הכימאים חשים
 שגורשו מגן עדן,
 ומתחילים להתגעגע
 לעולם הפשוט של 4
 – היסודות (אדמה,
 אוויר, מים, אש)

אבל מרגע שההכרה מתגבשת, שגן העדן הזה הלך לבלי שוב, התחליף הוא למצוא "סדר וחוקים חדשים" בים האינפורמציה.

ההשערה האטומית של ג'והן דלטון הייתה צעד גדול לעבר הסדר המיוחל:

John Dalton:

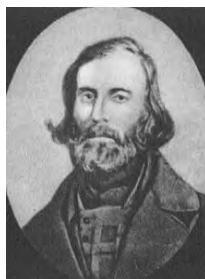
טען שמסת החומר מופיעה במנות שלמות
(קוונטים) של חלקיקים אטומים.

הוא יצר שיטת חישוב של משקלים
אטומים (מ"א).

הוא הגדיר את הזהות הכימית של
מולקולה כמקבץ אטומים.



Charles-Adolphe
Wurtz



August
Laurent



Charles
Gerhard

Ernst Mach



Marcellin
Berthelot



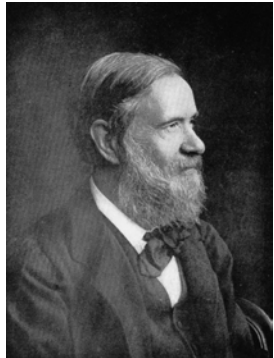
מדענים אחדים כמו וורץ, לוראנט, גרהרד וכו' קבלו את ההשערה האטומית.
אחרים: כמו הפיזיקאי ארנסט מאך, והכימאים ברטלו ודומא, דחו אותה.

הקלקולוס של דלטון לא היה מושלם ויצר יותר מדי ערכים שונים של משקלים אטומים
עבור אותו האטום.

עד כדי כך, שדומא הצהיר (1837): "לו הייתי האדון הייתי מוחק את המילה אטום
מהשפה המדעית"

ואז הגיע הכינוס בקרלסרואה ב-1860

Stanislao
Cannizzaro



Amadeo Avogadro

זה היה הסימפוזיון הראשון לכימיה.

במהלך הסימפוזיון, קניזארו הראה שעל ידי שימוש בהשערת אבוגדרו, ניתן ליצור באופן שיטתי משקלים אטומיים (מ"א) המבוססים על סקלה שבה מימן הוא בעל מסה של יחידה.

הוא הגדיר את המושג "מול"

את הנפח של "מול", ואת הערכיות של האטום, כיחס בין המ"א למשקל שבו האטום מתחבר לאחרים. למשל עבור

חמצן:

$$[v = 16/8 = 2]$$

הכינוס בקרלסרואה היה הזמן הנכון, וחיכה לאדם הנכון שיבצע את הסדר המיוחל של היסודות.

האדם הנכון היה מנדלייב הצעיר, שהיה אז פוסטדוקטורנט של בונזן בהיידלברג, ומעריץ גדול של ניוטון ומונח "המסה" שיצר.
מנדלייב נוכח בקרלסרואה יחד עם חברו הטוב בורודין שלימים יהיה מלחין מפורסם.
מנדלייב נפעם מהרצאתו המהפנטת של קניזארו והוא ישתמש בשיעור שלמד ויחולל מהפכה בכימיה.



Mendeleev,
at 1860

* He will divorce the term 'simple body' and its negative definition as the limit of decomposability, and will replace it by a positivistic definition – the atomic weight as “a constant of the element”.

מי היה דמיטרי מנדלייב?

**נתחיל ברקע
אישי...**

דמטרי מנדלייב נולד ב- 1834

**בטובולסק אשר בסיביר, לדמטרייבנה קורנילייבה מנדלייבה
ואיבן פבלוביץ מנדלייב. לזוג היו 11-17 ילדים !**



**כאשר האב שהיה מנהל בית ספר נפטר משחפת ב-1847, יסדה
האם בית חרושת לזכוכית וניהלה אותו לפרנסת המשפחה.**

**זמן קצר לאחר מכן, נשרף המפעל, והיא לוקחת את מנדלייב
ואחותו ליזה, ונוסעת בטרמפים מרחק של 3000 ק"מ (או
14,000 מילין לפי מקורות אחרים), כדי למצוא לבנה הצעיר
חינוך מתאים.**



**בסופו של דבר היא מצליחה ב-1850 לרשום את מנדלייב למכון הפדגוגי של
סנט פטרסבורג, ובאותה השנה היא וליזה נפטרות משחפת.**

זה ברור שהאם הייתה הדמות החשובה והמעצבת בחייו.

בזיכרונותיו כותב מנדלייב:

**” תוך כדי ניהול המפעל, היא חינכה אותי
במילותיה שלה... תיקנה אותי באהבה... היא
העניקה לי את שליחותי המדעית: היא עזבה את
סיביר, השקיעה את כל כספה, ודילדלה את
שארית כוחותיה ”**

**” על ערש מותה אמרה לי - המנע מאשליות,
תשקיע בעבודה ולא במילים. חתור בסבלנות אל
האלוהי והאמת המדעית ”
הוא מילא את צוואתה ומורשתה!**



הרשו לי להמשיך במספר מילים על חיי המשפחה של מנדלייב:

מנדלייב התחתן פעמיים, ונולדו לו 6 ילדים. יש ספק רב שגירושיו מאשתו הראשונה היו חוקיים, ואת אשתו השניה הנראית התמונה נשא לאחר רומן סוער שארך למעלה מ-4 שנים.



בהיותו כבר בן 43, האזין מנדלייב לקונצ'רטו לפסנתר, "הקיסר" של בטהובן, אשר נוגן על ידי סטודנטית צעירה לאמנות, בשם אנה איבנובנה פופובה.

מנדלייב התאהב נואשות וחיזר אחרי אנה ... הוא אפילו איים להתאבד באם לא תינשא לו. בסופו של דבר אנה נישאה לו בין השנים 1881-1882.



נישואיו של מנדלייב, ללא גירושין תקפים מאשתו הראשונה, וללא תקופת הצינון של 7 שנים שנדרשה על ידי הכנסייה האורתודוקסית, עוררה כעס ציבורי, ולפי המקורות עלתה למנדלייב בחברותו באקדמיה הרוסית.



עוד מסופר, שהאצילים התקנאו וביקשו מהצאר לאפשר גם להם לשאת יותר מאשה אחת.

והצאר הגיב: "אנו מודים שמנדלייב נשוי לשתי נשים... יש לנו הרבה אצילים אבל רק מנדלייב אחד ויחיד".



העוצמה שבה חיזר מנדלייב אחרי אנה, מאפיינת את הכוח העצום שבו חתר כדי לסדר את היסודות הכימיים.

מעט על הקריירה של מנדלייב:

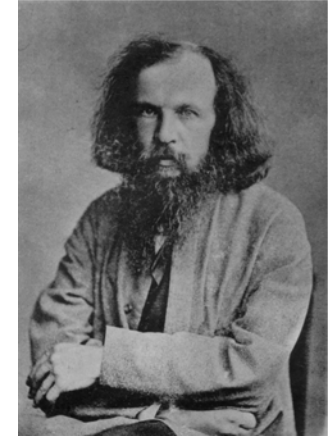
ב-1861 לאחר השתלמות אצל בונזן, חזר מנדלייב לאוניברסיטת סנט-פטרסבורג, וכבר באותה שנה כתב תוך 60 ימים את ספרו הראשון "כימיה אורגנית" אשר הכיל 500 עמודים. זהו סממן לכוחו האינטלקטואלי המתפרץ...
לספר הייתה השפעה רבה באירופה.

ב-1866-7 עלה לדרגת פרופסור, וב-1868 כתב את שני הכרכים של הספר "עקרונות הכימיה (אוסנובי חימי)", אותו כינה "ילדי ותמצית אישיותי".

כבר אז מפתח מנדלייב התנהגות אקסנטרית, ומגדל שיער אותו יקצץ פעם בשנה. עם עיניו הכחולות השקועות ושערו הפרוע, הוא דמות היפנוטית ומורה פופולרי.
ב-1890 הוא תומך בהתקוממות סטודנטים ומפוטר מהאוניברסיטה.



ב-1893 הוא מונה למנהל "המשרד למשקלים ומידות".
הוא מכניס לרוסיה את השיטה המטרית.
הוא מייסד את החברה הרוסית לכימיה, ואת בית הזיקוק
הראשון בבאקו.



ב-1906 הוא מועמד לפרס נובל, אך מפסיד לצרפתי מוא'סאן. השמועות טוענות
שההפסד נבע מהאיבה שרחש לו ארהניוס שהיה בעל השפעה רבה בוועדת
הנובל.

מנדלייב נפטר ב-1907 משפעת קשה

אשתו אנה קראה על קברו מספרו של ד"ר וורן
"המסע לקוטב הצפוני" – מחווה ששיקף את
הערצתה ואהבתה לבן זוגה החדשן.
תלמידיו נשאו את הטבלה המחזורית בלוויה.



הקיר של "המשרד למידות ומשקלות" עוטר ב-
1934 בגירסה האחרונה של הטבלה המחזורית.



הוא הופך לגיבור רוסי
המופיע על בולים.



המוטיבציה של מנדלייב ליצור סדר בעולם הכימי נבעה מהיותו מורה.
כבר ב-1861 הוא מבין שהסטודנטים מתקשים בכימיה, כי המקצוע
דורש שינון של עובדות ללא הגיון ברור.

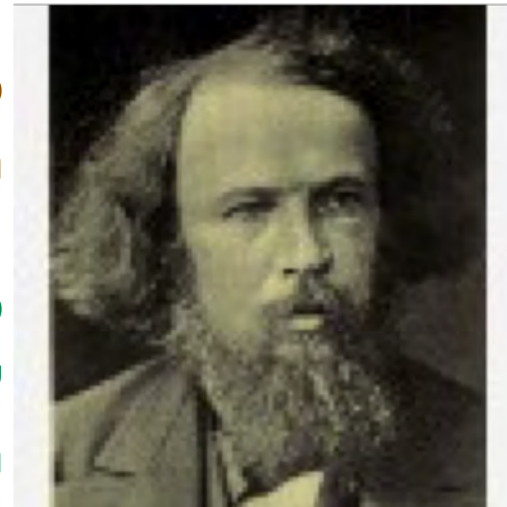


הוא אומר לעצמו: "המבנה המדעי דורש תכנית מסודרת"
ב-1868 הוא כותב את שני הכרכים של "אוסנובי חימי" ומתחיל לארגן
את 65 היסודות הכימיים הידועים.

בהיותו מעריץ של ניוטון וקניזארו, הוא מתחיל להשתמש **במשקל**
האטומי כגורם מסדר, ועד מהרה הוא נוכח בצורך להשתמש גם
בערכיות של היסוד ותכונות אחרות.

[* Brock, p. 311 in Osnovy Ximii vol. ii]

כדי להשיג את הסדר המיוחל, מנדלייב כותב את שמות היסודות על פיסות קרטון עם המ"א והערכיות שלהם.



כמו במשחק הקלפים סוליטר הוא מנסה בכל הזדמנות לסדר את הקלפים כדי ליצור את הסדר המיוחל של היסודות.

בתחילת פברואר 1869 הוא מתכונן להרצות בפני יצרני הגבינות על תהליכי ייצור. הוא יושב בחדרו 3 ימים רצופים ללא שינה ומסדר את הקלפים, וכל פעם שהוא מבין משהו, **ההבנה מתעתעת בו ומתפוגגת לה!** הוא מקפץ ברוב כעס...

מעוצם תסכולו ותשישותו, נופל ראשו על השולחן והוא נרדם. **בחלומו נגלה לו הסדר המיוחל והוא כותב: "והנה ראיתי בחלומי שולחן, ועליו כל היסודות מסודרים בסדר מופתי. מיד ניעורתי וכתבתי את הכל על פיסת ניר".**
[פ. סטראטרן 2000]

מנדלייב מכנה את הסדר שנגלה לו "עקרון מחזוריות היסודות"

כאן ניתן לראות את הטיטות של הטבלה בזמנים שונים ואילו למטה נראית הטבלה שפורסמה ב-1869

ניתן לראות שורות ועמודות המבטאות מחזוריות בתכונות ובערכים

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ

	Tl=50	Zr=90	Г=180.		
	V=51	Nb=94	Ta=182		
	Cr=52	Mo=96	W=186.		
	Mn=53	Rh=104.4	Pt=197.4		
	Fe=56	Ru=104.4	Ir=198		
	Ni=Co=59	Pt=106.6	Os=199.		
	Cu=63.4	Ag=108	Hg=200		
H=1					
Be=9.4	Mg=24	Zn=65.3	Cd=112		
B=11	Al=27.4	?=68	U=116	Au=197?	
C=12	Si=28	?=70	Sn=118		
N=14	P=31	As=75	Sb=122	Bi=210?	
O=16	S=32	Se=79.4	Te=128?		
F=19	Cl=35	Br=80	I=127		
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85.4	Cs=133	Tl=204
	Ca=40	Sr=87.6	Ba=137	Pb=207	
	?=45	Ce=92			
	?Er=56	La=94			
	?Yt=60	Th=95			
	?In=75.6	Th=118?			

Д. Менделѣевъ

The 1869 Table

Опытъ системы элементовъ, основанной на ихъ атомномъ весѣ и химическомъ сходствѣ, Д. Менделѣевъ.

Менделѣевъ

Li=7	?=8	?=32	Cu=63.4	Ag=108	Hg=200
Be=9.4	?=11	?=68	Zn=65.3	Cd=112	
B=11	?=12	?=70	Al=27.4	Si=28	
C=12	?=14	?=75	N=14	P=31	
N=14	?=16	?=80	O=16	S=32	
F=19	?=18	?=85.4	Cl=35	Br=80	
Li=7	?=23	?=85.4	Na=23	K=39	
	?=40	?=87.6	Ca=40	Sr=87.6	
	?=45	?=92	?=45	Ce=92	
	?=56	?=94	?=56	La=94	
	?=60	?=95	?=60	Th=95	
	?=75.6	?=118?	?=75.6	Th=118?	

Эта таблица основана на атомномъ весѣ и химическомъ сходствѣ элементовъ. Она показываетъ, что элементы, расположенные въ одной и той же группѣ, имѣютъ сходныя свойства. Это и есть законъ периодичности.

Д. Менделѣевъ



Опытъ системы элементовъ, основанной на ихъ атомномъ весѣ и химическомъ сходствѣ, Д. Менделѣевъ.

Менделѣевъ

Li=7	?=8	?=32	Cu=63.4	Ag=108	Hg=200
Be=9.4	?=11	?=68	Zn=65.3	Cd=112	
B=11	?=12	?=70	Al=27.4	Si=28	
C=12	?=14	?=75	N=14	P=31	
N=14	?=16	?=80	O=16	S=32	
F=19	?=18	?=85.4	Cl=35	Br=80	
Li=7	?=23	?=85.4	Na=23	K=39	
	?=40	?=87.6	Ca=40	Sr=87.6	
	?=45	?=92	?=45	Ce=92	
	?=56	?=94	?=56	La=94	
	?=60	?=95	?=60	Th=95	
	?=75.6	?=118?	?=75.6	Th=118?	

Д. Менделѣевъ

לאחר יצירת הטבלה, מנדלייב מתייחס לעקרון המחזוריות כהשערה תיאורטית ומשתמש בה באופן אפקטיבי ומופלא.

הוא מתחיל לחפש קפיצות גדולות במשקלים האטומים וכך הוא מזהה פערים
אותם הוא מייחס "ליסודות שיש לגלותם".

לפניכם גירסה מודרנית של הטבלה של 1869. היסודות הידועים צבועים בצהוב והפערים הם בירוק

[illegible]

מנדלייב מכנה את הפערים הללו **אקה-יסודות**. למשל מתחת לאלומניום צריך להיות היסוד **אקה-אלומניום**, וכמוהו יש **אקה-צורן**, **אקה-בורן**, **אקה-מנגן** וכו'.

המילה אקה לקוחה משפת הסנסקריט אותה העריץ מנדלייב ופרושה: "הראשון אחרי".

המילה הזו מהווה סימן לכימאים: "חסר פה יסוד, מצאו אותו!"

בעצם, מנדלייב יוצק תוכן למקום ריק !!!

מנדלייב גם מספיק נועז לחזות את התכונות של היסודות החסרים על ידי מיצוע של תכונות היסודות השכנים. הוא אפילו ממצע את הצבע!

[illegible]

האמונה של מנדלייב בעקרון המחזוריות
היא ללא סייג. והוא כותב על כך
בזיכרונותיו: "למרות שהיו לי השגות על
פרטים קטנים, לא הטלתי ספק ולו פעם
אחת באוניברסליות של חוק
המחזוריות"

לפניכם קריקטורה רוסית אשר
מבטאת את בטחונו העצום, אשר
בסופו של דבר אפשר לו להפיץ את
העיקרון ברבים.

A moment in the life of the Mendeleev family ...



Translation: "One day, maybe we'll understand why Dimitri always arranges his blocks the same way".

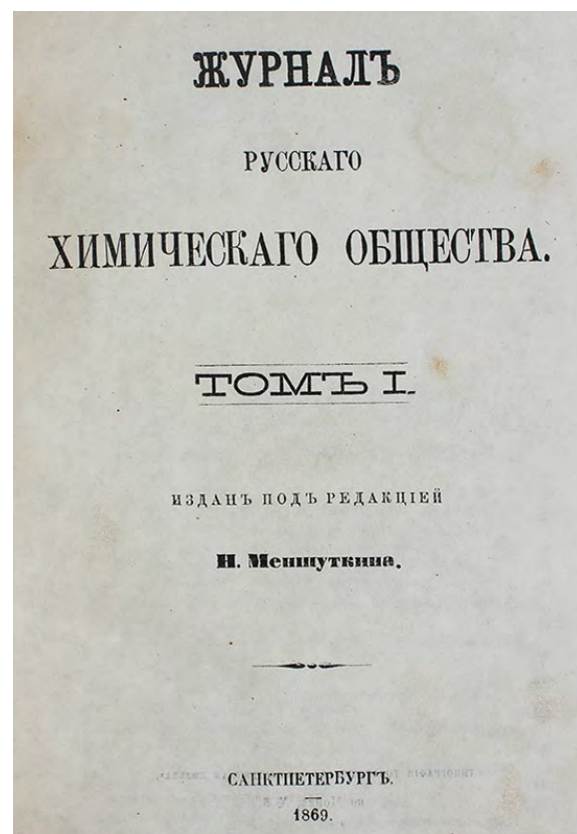
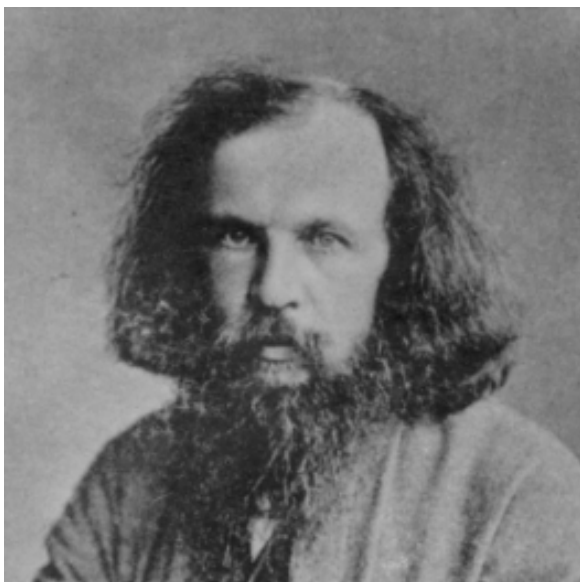
ההישג של מנדלייב מוכתר בהתלהבות על ידי פילוסופים והיסטוריונים.
אולי הבולט בהם הוא **בראש** אשר כותב :

**”מצאתי מעט מאד נבואה (פרדיקטיביזם) במרבית המדעים, כולל בפיזיקה.
אבל מצאתיה בכימיה, בעיקר במקרה של עיקרון המחזוריות של מנדלייב”.**

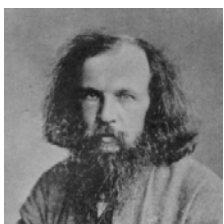
**פרדיקטיביזם- נבואה או תחזיתנות – היא בדיוק יציקת תוכן במקומות ריקים -
מה שמנדלייב עשה עם האקה-יסודות.**

- **Brush** *Stud. Hist. Phil. Sci.* 2007, 38, 256-259]

המאמר של 1869 התפרסם בכתב העת הראשון של החברה הרוסית
לכימיה אשר נערך על ידי חברו של מנדלייב, ניקולאי מנשוטקין



* Menschutkin [the son], *Nature*, 1934, p. 946



לפניכם הטבלה המחזורית ברוסית ובגרמנית :

שימו לב
שלימינו של
אלומיניום יש
סימן שאלה
על משקל
אטומי 68
זהו האקה-
אלומיניום

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ

ИСКОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ

			Ti = 50	Zr = 90	? = 180.
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4
			Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198
			Ni = Co = 59	Pt = 106,6	Os = 199.
			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
H = 1	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

Д. Менделѣевъ

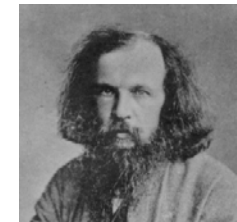
MENDELEEV'S 1869 SYSTEM

Ueber die Beziehungen der Eigenschaften zu den Atomgewichten der Elemente. Von D. Mendelsjeff. — Ordnet man Elemente nach zunehmenden Atomgewichten in verticale Reihen so, dass die Horizontalreihen analoge Elemente enthalten, wieder nach zunehmendem Atomgewicht geordnet, so erhält man folgende Zusammenstellung, aus der sich einige allgemeinere Folgerungen ableiten lassen.

			Ti = 50	Zr = 90	? = 180
			V = 51	Nb = 94	Ta = 182
			Cr = 52	Mo = 96	W = 186
			Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4
			Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198
			Ni = Co = 59	Pd = 106,6	Os = 199
			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
H = 1	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	J = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
		? = 45	Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94		
		?Yt = 60	Di = 95		
		?In = 75,6	Th = 118?		

Zeitschrift fuer Chemie 1869, 12, 405

תוך 6-68 שנים, כל התחזיות של האקה-יסודות נתמכות על ידי ממצאים ניסיוניים.



יתר על כן, כאשר המספרים האטומים מחליפים את המשקלים האטומים, צדקתו של מנדלייב מוכחת גם בקשר לחלופי סדרים שעשה במיקומם של יסודות מסוימים (למשל טלוריום לעומת יוד), וביסודות עבורם הכפיל את המשקלים אטומיים (אורניום)

הבה נתבונן במספר דוגמאות:

A Mendeleev Prediction (1871)

	PREDICTED PROPERTIES Ekasilicon (Es)	ACTUAL PROPERTIES Germanium(Ge)
ATOMIC WEIGHT	72	72.59
DENSITY	5.5 g/cm ³	5.35 g/cm ³
VALENCE	4	4
MELTING POINT	high	937.4°C
COLOR OF METAL	dark gray	gray-white
FORM OF OXIDE	EsO ₂	GeO ₂
DENSITY OF OXIDE	4.7 g/cm ³	4.23 g/cm ³
FORM OF CHLORIDE	EsCl ₄	GeCl ₄
DENSITY OF CHLORIDE	1.9 g/cm ³	1.84 g/cm ³
B.P. OF CHLORIDE	<100°C	84°C

הטבלה הזאת מעמדת
את התכונות הנצפות של
אקה-סיליקון, עם היסוד
גרמניום שהתגלה והופק
ניסיונית, ונקרא גרמניום
על שם מולדתו של
מגלהו, הגרמני קלמנס
ווינקלר.

שימו לב המשקל
האטומי, הצפיפות
והערכיות נחזו בדיוק רב.
יתר על כן, מנדלייב
מספיק נועז גם לחזות
את הצבע.
ההתאמה מצוינת!

התגלית של גליום על ידי הצרפתי פול לקוק, היוותה נקודת מפנה בקרירה של מנדלייב.

לא רק שמנדלייב חזה את קיומו של היסוד החסר כאקה-אלומניום, אלא שבעקבות התגלית של גליום, מעז מנדלייב לכתוב ללקוק שערך הצפיפות שנקבע באורח ניסיוני הוא שגוי!

הרבה חושבים שזה ארוגנטי, אבל לקוק לוקח ברצינות את הערתו של מנדלייב, מבצע בדיקה נוספת ומקבל כמו שנראה מהטבלה ערך קרוב לזה שנחזה על ידי מנדלייב

Eka-aluminium	Gallium
Atomic weight, c. 68.	Atomic weight, 69.9.
Metal of density 5.9 and low melting- point; not volatile; unaffected by air; should decompose steam at a red heat and dissolve slowly in acids and alkalies.	Metal of density 5.94; melting at 30.15°; not volatile; unchanged in air; action on steam not known; dissolves slowly in acids and alkalies.
The element will probably be discovered by spectrum analysis.	Was discovered spectroscopically.

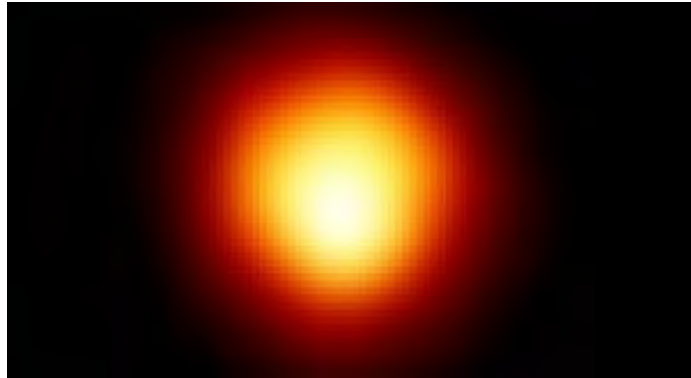


בראש כותב על כך: "אחד ההישגים המרשימים ביותר בהיסטוריה של המדע המודרני"

לעניות דעתי, אחת הנבואות המדהימות של מנדלייב הייתה קיומו של היסוד אקה-מנגן. היום הוא ידוע כטכנציום. טכנציום לא היה קיים על כדור הארץ והוא סונתז על ידי אמיליו סגרה בתהליך של הפגזה גרעינית של אטומי מוליבדן.

ואכן, מנדלייב חזה שהמשקל האטומי של אקה-מנגן הוא 99-100, ובהתאמה גדולה המשקל של היסוד טכנציום נמצא כ-98.9

זהו נצחון גדול של הפרדיקטיביזם- יציקת תוכן במקומות ריקים.



Tc spectrum in the Red
Giant Star Betelgeuse



The 1st Technetium Generator, 1958

Emilio
Segre



ב-1890 התגלו היסודות האצילים:

0	I H 1.01	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
He 4.00	Li 6.94	Be 9.01	B 10.8	● C 12.0	N 14.0	O 16.0	F 19.0			
Ne 20.2	Na 23.0	Mg 24.3	Al 27.0	Si 28.1	P 31.0	● S 32.1	Cl 35.5			
Ar 40.0	K 39.1	Ca 40.1	Sc 45.0	Ti 47.9	V 50.9	Cr 52.0	Mn 54.9	● Fe 55.9	Co 58.9	Ni 58.7
	● Cu 63.5	Zn 65.4	Ga 69.7	Ge 72.6	As 74.9	Se 79.0	Br 79.9			
Kr 83.8	Rb 85.5	Sr 87.6	Y 88.9	Zr 91.2	Nb 92.9	Mo 95.9	Tc (99)	Ru 101	Rh 103	Pd 106
	● Ag 108	Cd 112	In 115	● Sn 119	Sb 122	Te 128	I 127			
Xe 131	Ce 133	Ba 137	● La 139	Hf 179	Ta 181	W 184	Re 180	Os 194	Ir 192	Pt 195
	● Au 197	● Hg 201	Tl 204	● Pb 207	Bi 209	Po (210)	At (210)			
Rn (222)	Fr (223)	Ra (226)	● Ac (227)	● Th 232	● Pa (231)	● U 238				

Dobereiner's triads

Known to Mendeleev

●

Lanthanide series

●

Actinide series

●

Known to Ancients

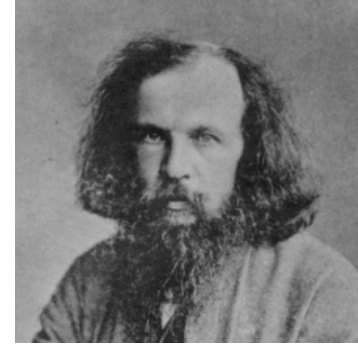
רמזי דובב את הטבלה,
ובעקבות זאת גילה את ארגון
וניאון, והתהליך נמשך...

ב1905 מנדלייב עורך את
סיפרו אוסנובי חימי ויוצר
טבלה חדשה עם קבוצת 0.

הטבלה היא יצור חי שמתפתח כל הזמן: וצעיר לנצח!

סיכום ההישג האינטלקטואלי של מנדלייב:

ב-1882 החברה המלכותית הבריטית מעניקה למנדלייב את "מדלית דייוי" - מהחשובים בפרסים המדעיים



אוגוסט מיכאליס (פרופסור מקרלסרואה) מצהיר על תחזיות האקה:
"אלה תחזיות מדהימות, השקולות לתגלית של פלנטות חדשות"- מיכאליס מכוון
לגילוי של הכוכב נפטון על ידי גאלה, לאחר ששני מתמטיקאים (וורייה ואדאמס)
מצביעים על כך שהמסלול המשונה של אורנוס נבע מכוכב שכן.

במילים אחרות, ליד אורנוס ישנו אקה-אורנוס שמתגלה כנפטון על ידי גאלה.
זוהי הדרך הנכונה להעריך את הישגו של מנדלייב.

הטבלה המחזורית בספרות, במוזיקה ובאמנות

הטבלה המחזורית הפכה לאיקון אוניברסלי אשר מצא את דרכו לסיפרות, מוזיקה ואומנות.

אני עומד לספר לכם מעט על הספר "הטבלה המחזורית" לפרימו לוי אשר מצדיע לטבלה של מנדלייב

אחר כך נראה מספר אלבומי מוזיקה שכוללים את הטבלה המחזורית, ואת הדרך בה האומנות מדמיינת את הכימיה, האטומים והמולקולות שלה.

**כימיה בסיפרות:
הקולאז' הזה הינו
קצה הקרחון.**

[illegible]

**אבל הספר שמתעלה מעל כולם, מנקודת מבטה של הכימיה, הוא ספרו של פרימו לוי
"הטבלה המחזורית".**

**הספר נבחר על ידי המוסד המלכותי הבריטי
כספר המדע הטוב אי פעם.**

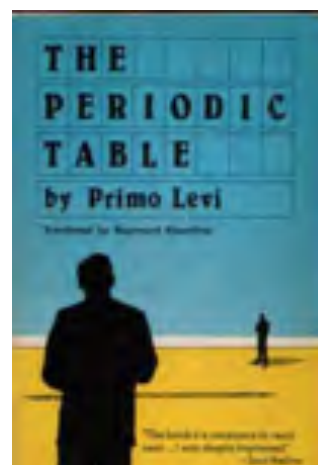
**אבל, זהו ספר ייחודי שלא ניתן לסיווג:
הספר מכיל גם ספרות גדולה שמתעדת
זיכרונות באופן פורץ דרך.**

**הספר כולל גם סיפורת בדיונית אשר מעניקה
תובנה אדירה לעולמו הפנימי של פרימו לוי,
לסבל הרב של יהודי איטליה בתקופה
הסוערת של המלחמה, וסיבלו של פרימו לוי
במחנה הריכוז.**



פרימו לוי משתמש ב-21
יסודות כקודים או מטפורות
של מצבים אנושיים, ותכונות
אופי, בצורה שמראה את
הקשר הגורדי בין חומר לרוח.

הספר הוא פואטי.
הקריאה בו מהווה התנסות
מרתקת ומתעתעת



אני אגביל את עצמי לשני נושאים: (א) עוצמת הרגש המובעת על ידי לוי באשר
לתגלית הטבלה המחזורית, ו - (ב) הפרק "פחמן", אשר חותם את הספר

הסיפור על היסוד ברזל הינו שירה נישגבת.



הסיפור מתחיל בקורס של לוי בשנה שניה שנקרא אנליזה איכותית. לוי מספר לנו
"שפרופסור ד., הסגפני והמפוזר", נותן להם, ללוי ולבן זוגו במעבדה-סאנדרו, גרם
של אבקה מסוימת לאנליזה.

סאנדרו המעשי מזהה ברזל באבקה.

פרימו לוי הפואטי מזהה את תכונות האופי של ידידו: "סאנדרו היה עשוי מברזל"...



”סאנדרו בחר בכימיה משום שנראתה לו כמקצוע העוסק בדברים שניתן לראות ולמשש, ודרך פחות מייגעת מנגרות או איכרות להרוויח בה את לחמו”.

לעומת זאת, פרימו בחר בכימיה מפני שלדעתו ”**אצילותו של האדם** אשר הושגה במשך מאתיים יובלות...נעוצה בהשתלטותו על החומר, .. להכניע את החומר פרושו להבינו”.

ולכן, אומר פרימו לוי: ”הטבלה המחזורית של מנדלייב, שעל פתרון צפונותיה שקדנו באותם ימים, היא בעצם שירה נישגבת וחגיגית יותר מכל אותם השירים אשר עיכלנו בגימנסיה: **ושים לב יש בה אפילו חרוזים!**”

כך ”שאם מחפשים את הגשר , את החוליה החסרה בין עולם המילים לעולם הדברים, הוא שם במעבדותינו המפויחות ובמקצוענו העתידי”.

הציון של סאנדרו קופץ ממספיק לטוב מאד. אחר כך הוא מצטרף לקומנדו של תנועת ההתנגדות, נתפס ומוצא להורג על ידי הפשיסטים: **חבר הברזל נרצח על ידי הרוע.**



בדיאלוג של לוי עם הפיזיקאי טוליו רגה ב-1981, לוי חוזר ומגדיר את השירה הנישגבת בעבודתו של מנדלייב.

טוליו: " אני אוהב את הביטוי בו הנך משווה את הטבלה המחזורית לשירה. אבל מה לזה ולענין החריזה?"

לוי: "הביטוי נראה פרדוקסלי אבל התיאור חריזה הוא מדויק. בצורתה הגרפית של הטבלה, כל שורה מסתיימת באותה ההברה, אשר תמיד מורכבת מהלוגן פלוס גז אציל: פלואור וניאון, כלור וארגון וכו'".

"אבל באותו משפט חבויה משמעות נוספת. יש כאן הדהוד של תגלית גדולה, כזאת שעוצרת את נשימתך: רגש (אפילו אסתטי, אפילו פואטי) אשר מנדלייב חש בוודאות כאשר הבין שבעקבות ארגון היסודות כפי שקולו הפנימי הדריך אותו, הופך התווה ובוהו לסדר מופתי"



ופרימו לוי ממשיך ומפרט לטוליו:

” ואחר כך מנדלייב מוצא ”משבצות” ריקות אשר יש למלאן מפני שכל התכונות

אשר צפה מנדלייב יכולות להתקיים שם ... זוהי עבודה נבואית ורבת חזון:

לחזות מראש יסודות בלתי נודעים, אשר כולם התגלו אחר כך בעבודה ניסויית,

לחזות או ליצור סימטריה, למקם דברים במקומות הנכונים- זוהי הרפתקאה מנטלית

המשותפת למשורר ולמדען”.



בפרק "זהב" מוסיף לוי ומספר לנו על השירה של הכימיה וכך הוא כותב:

"בסתיו 1942 היינו במילנו שבעה ידידים מטורינו... שמסיבות שונות נקלעו לעיר
הגדולה שבגלל המלחמה הזעיפה פניה... ואילו אני, אחרי נישואיה של ג'וליה, נותרתי
לבדי עם ארנבי, חשתי עצמי אלמן ויתום, וחלמתי על כתיבת הסאגה של אטום פחמן,
כדי להמחיש לאנשים את הפיוטיות הנשגבת, הידועה רק לכימאים, של
הפוטוסינתזה של הכלורופיל: ואכן, כתבתי אותה אבל רק לאחר שנים רבות, וזהו
הסיפור החותם ספר זה."



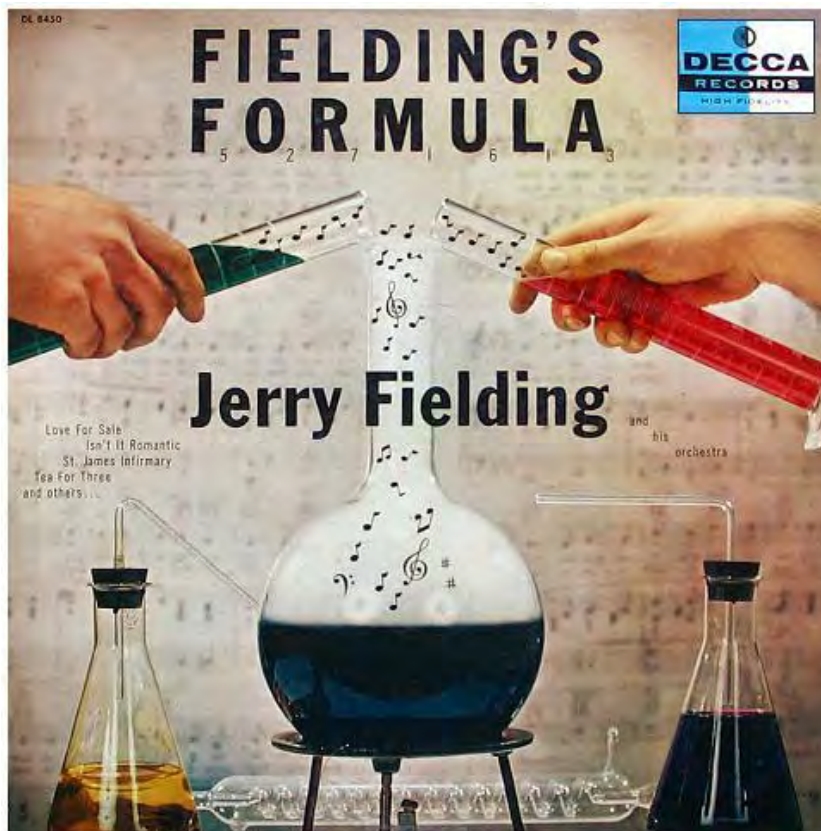
כדי לשמור אתכם במתח אסתפק במשפט אחד על פרק הפחמן:

הפרק הזה הינו מהות הספר: זוהי הכרה אסתטית, כמעט דתית ונבואית של מחזור ויסוד החיים בטבע, דרך אטום פחמן וגלגוליו, המהווה גם ספור בריאה אלטרנטיבי.

אני ממליץ על הפרק כקריאת חובה לכימאים, ולכל אדם שעדיין חש התרגשות מהולה בעצב נוכח הגניוס האנושי ופריכות ההוויה.

הרשו לי להחליף מהלך
ולספר לכם על הקשר בין
הכימיה לבין מוזיקה ואומנות

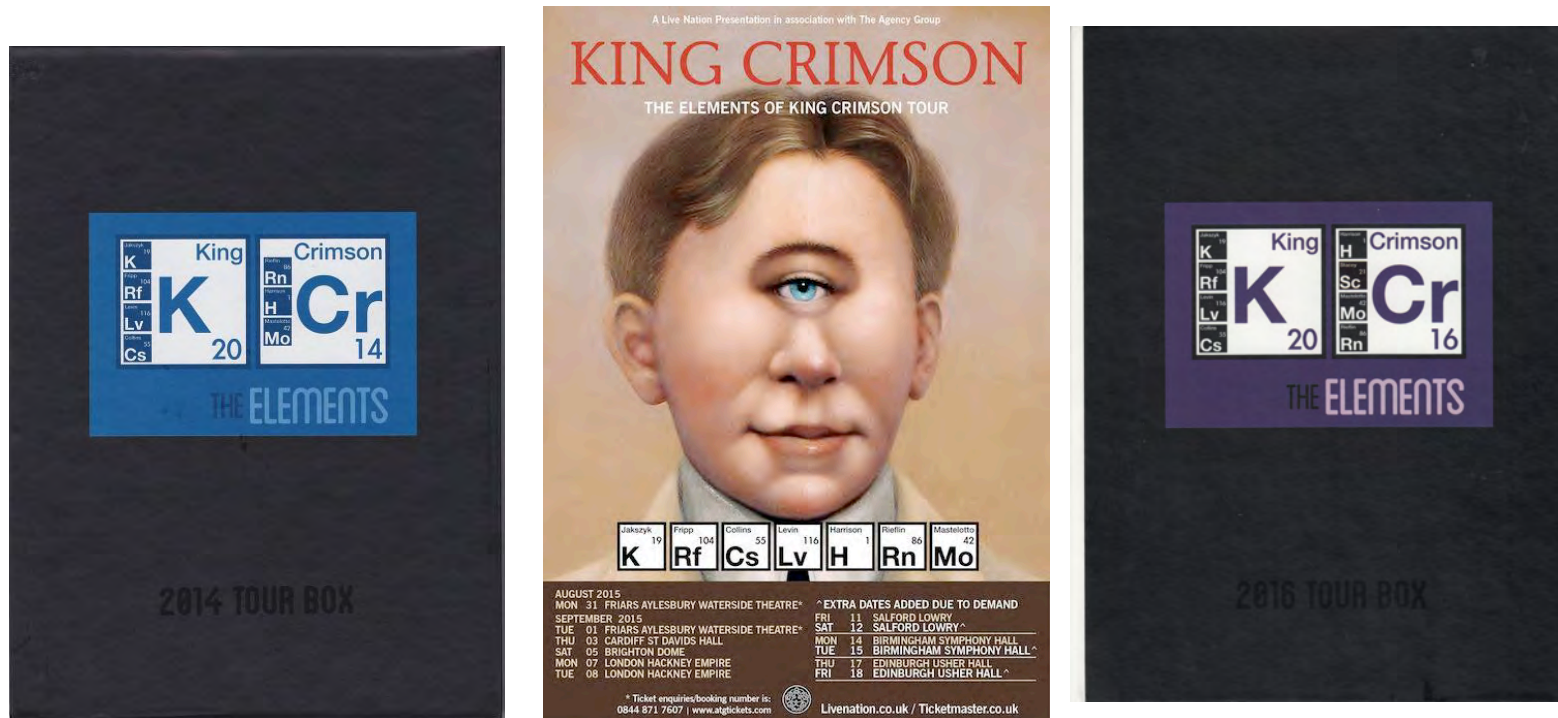
ג'רי פילדינג (נולד כיהושע פלדמן) הוא מוזיקאי אשר



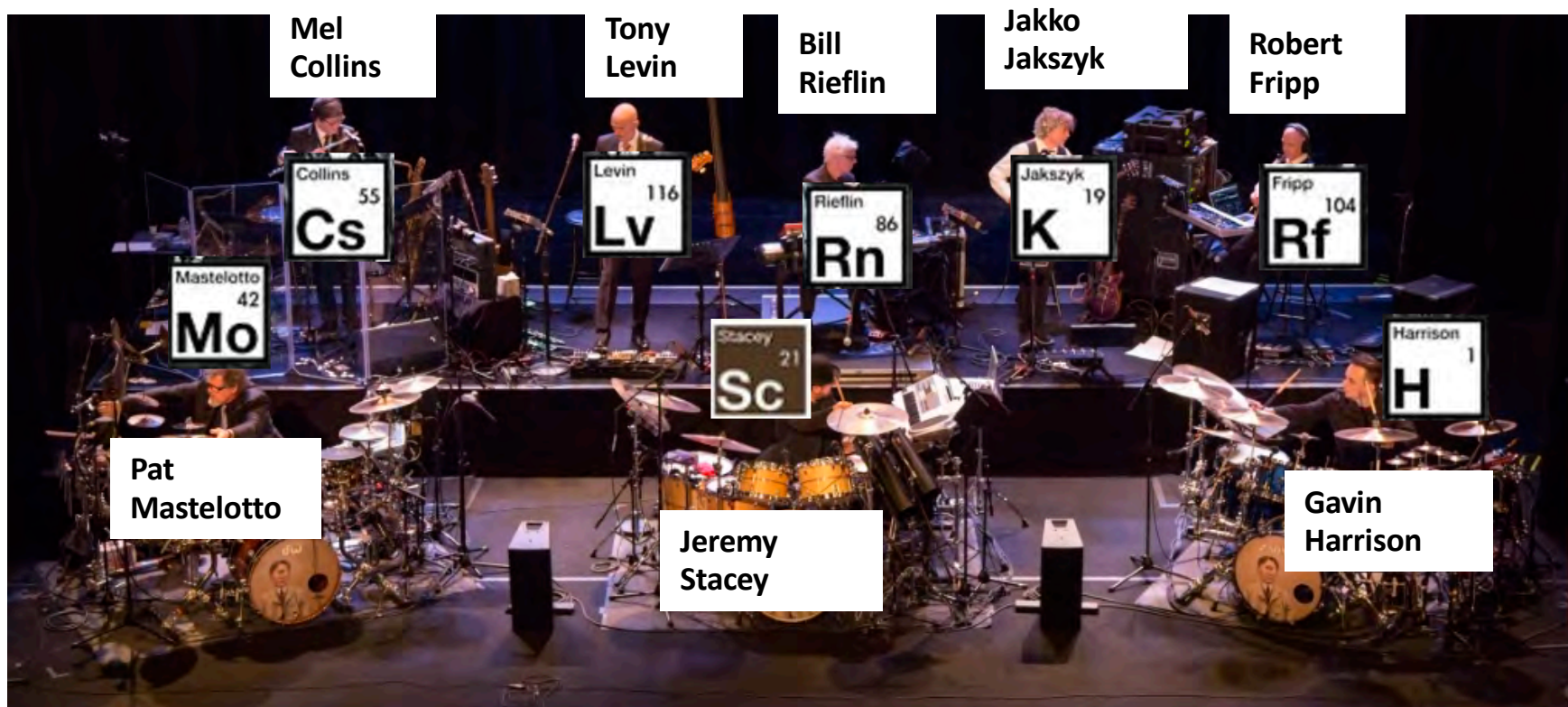
כתב מוזיקה לסרטים מפורסמים כמו:
חבורת הרעים, כלבי הקש וכו' (בבימוי של
סם פקינפה) אשר עבורם זכה בפרסי אמי
ואני חושב גם באוסקר.

ב-1958 הוא הקליט אלבום הקרוי **"נוסחת
פילדינג"** אשר בו הוא מדמה כימיה
למוזיקה- **הכימיקלים נשפכים לכלי
והופכים לתווים מוזיקליים.**
וכאשר הם מתערבבים בתחתית הכלי הם
הופכים לחומרים כימיים- **זהו הקסם
הכימי!**

קינג כרימזון היא אחת מהחשובות בלהקות הרוק הפרוגרסיבי או הרוק
 הסימפוני כמו פינק-פלוייד. ב-2014 הם פרסמו את אלבומם הקרוי
 "היסודות" אשר על עטיפתו מיוצג שם הלהקה על ידי היסודות אשלגן
 וכרום- שוב, כימיה ומוזיקה כרוכות זו בזו כתחומי יצירה.

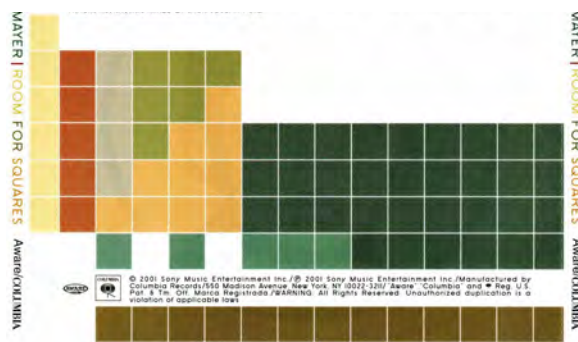
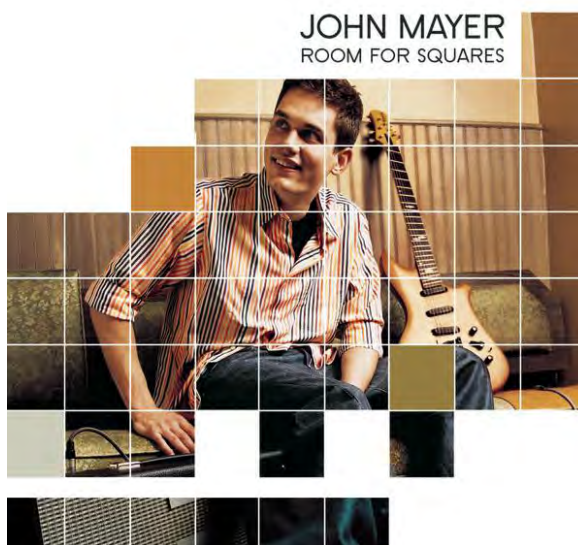
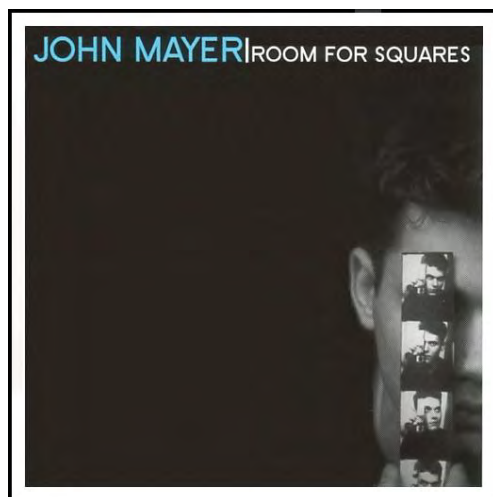


על העטיפה האחורית מופיעים יסודות אחרים, המיצגים את שמות חברי הלהקה.



התצוגה הזאת הופיעה במשך המסע של הלהקה על פוסטרים, חולצות טי, ומוצרים אחרים.

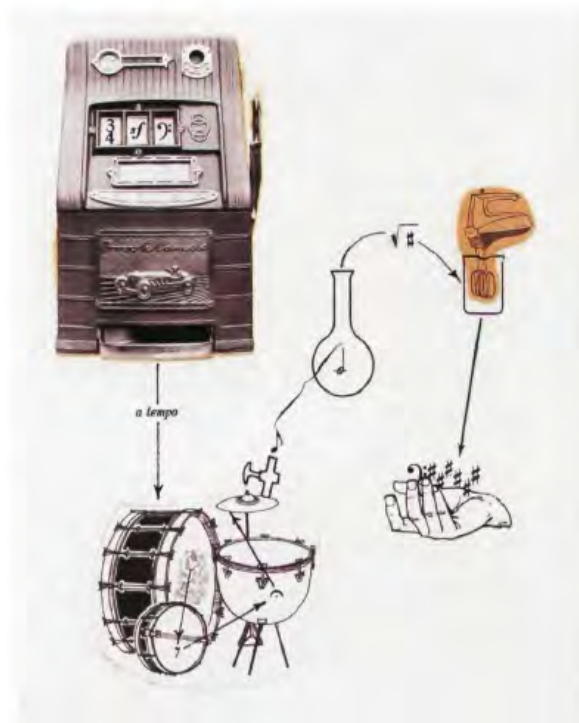
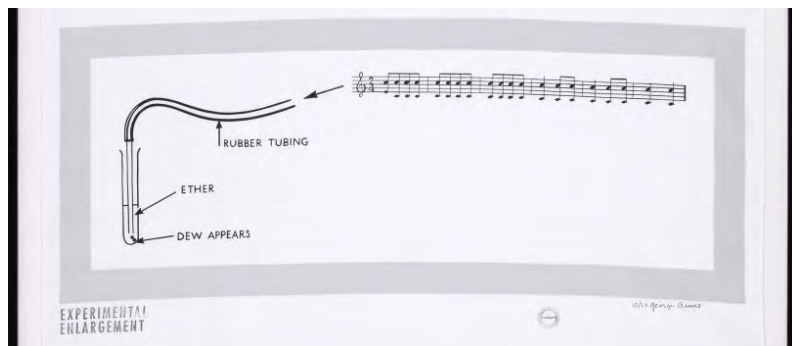
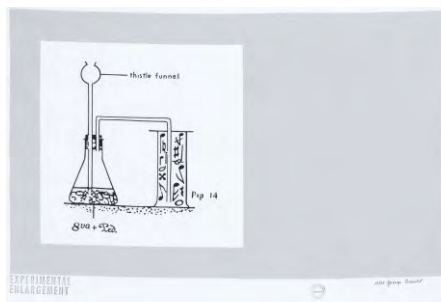
הנה עטיפות האלבום של ג'ון מאייר "מקום למשבצות" או "מקום לריבועים".
אתם יכולים לראות את הטבלה המחזורית בצורתה המודרנית.



אגב זהו התקליט
שעשה את הרווח הגדול
ביותר מאז 2001.

ב-1968 יצר האמן/כימאי ג'ורג' ברכט סידרה של עבודות בנושא "הכימיה של המוזיקה".

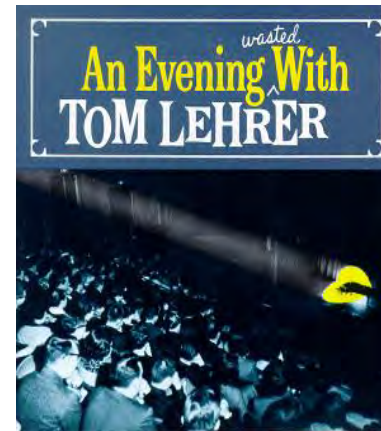
באותה סדרה הוא גם חלק כבוד לאביו שהיה חלילן מפורסם. כמו שניתן לראות בכל העבודות: תווי מוזיקה הופכים לחומרים וחוזר חלילה. רעיון מאד עמוק של יצירתיות מיסודות קמאיים.



המשורר-זמר , טום להרר- כתב שיר שבו הוא מדקלם את יסודות
הטבלה המחזורית לצלילי פסנתר.
נהגתי להשמיע את השיר לתלמידי כימיה בשנה א'. השיר משעשע

מאד

בואו ונשמע..

A standard periodic table of elements with atomic numbers and symbols. The elements are color-coded by groups: Group 1 (yellow), Group 2 (orange), Groups 3-10 (various shades of red and pink), Groups 11-18 (various shades of blue and green), and the lanthanide and actinide series (various shades of purple and pink).



הגיע הזמן לסכם את הרצאתי במשהו שכולנו מודעים לו: **המין האנושי עשוי מחומר כימי - אותו חומר ממנו עשוי כל החומר ביקום.**

אנו יצורים המורכבים מ-118 חתיכות לגו הקרויות אטומים.

מה שנותר לאחר מותו של כל אחד מאתנו הם האטומים שלנו המתגלגלים לתוך הוויות אחרות.

האטומים הם בעצם אוניברסאלים וניצחיים ולכן, הטבלה המחזורית היא "ספר מרשם האוכלוסין" הקומפקטי של עולמנו.

A standard periodic table of elements, color-coded by groups. It includes element symbols, atomic numbers, and names. The table is titled "Periodic Table of Elements" and features a legend for states of matter (Solid, Liquid, Gas, Unknown) and categories (Metals, Nonmetals, Metalloids, Lanthanoids, Actinoids). The bottom section includes the Lanthanide and Actinide series. A note at the bottom states: "For elements with no stable isotopes, the mass number of the isotope with the longest half-life is in parentheses." The logo "Ptable.com" is visible in the bottom left corner.

המטמורפוזת הזאת מובעת באופן מופלא על ידי ברונו שולץ, הסופר שנספה במחנה ריכוז. וכך הוא כתב:

A standard periodic table of elements with a color-coded background. The title 'Periodic Table of Elements' is at the top. The table is organized into groups and periods, with elements color-coded by their properties: metals (shades of blue and green), nonmetals (shades of red and orange), and noble gases (yellow). The lanthanide and actinide series are shown at the bottom. The table includes element symbols, atomic numbers, and names. A small legend at the top left indicates the states of matter: Solid (S), Liquid (L), Gas (G), and Unknown (U).

“ החומר כולו מתנועע בשל אין-סוף האפשרויות החולפות בו ... הוא הישות הסבילה ביותר ביקום וחסרת המגן מכל. כל אחד יכול ללוש אותו, ליצור ממנו, הוא מציית לכל אחד.

כל צורות הארגון של החומר רופפות ואינן בנות קיום, הן ניתנות בנקל להסטה, להתרה...סולם הדרגות של הצורות הללו הוא אין-סופי”
(ברונו שולץ, ספר הבריאה הבא או בובות החייטים).

ב-22 בינואר 2019 פגשתי קבליסט ששמע אותי מספר בהתלהבות לאשתי על הטבלה המחזורית.

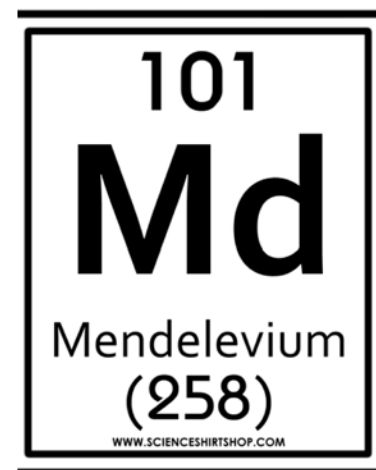
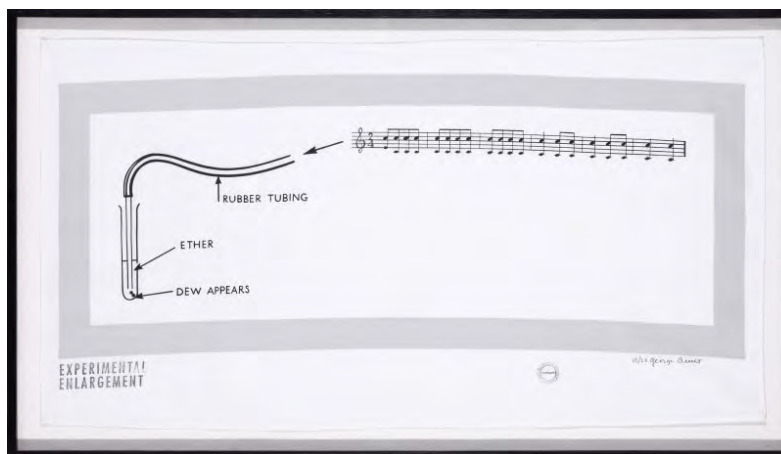
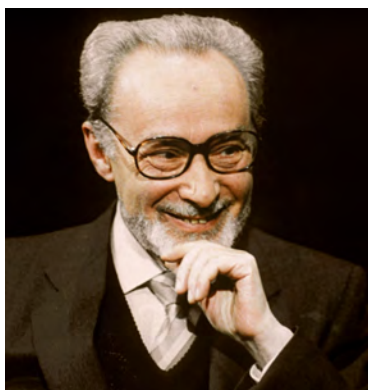
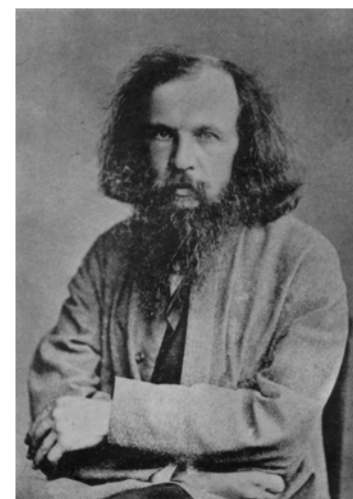
A standard periodic table of elements, color-coded by groups. It includes element symbols, atomic numbers, and names. The title "Periodic Table of Elements" is at the top. The table is organized into periods (rows) and groups (columns). It includes the lanthanide and actinide series at the bottom. The source "Ptable.com" is visible in the bottom left corner.

לאחר שיחה קצרה, סיפר לי הקבליסט שלפי הקבלה יש 273 יסודות. זה מזכיר את אמרתו של ברונו שולץ שכל צורות החומר מופיעות במדרג אין סופי. זה גם מורה לנו שהכימיה היא "שירת האדם בחומר" והידע נצחי אשר יעמוד תמיד לרשות יצירתיותו.

הקסם הכימי אופף אותנו.
מנדלייב פיענח את אבן הרוזטה הזאת, יצר את הטבלה
המחזורית, ונגע בסודות ההוויה. היסוד 101 קרוי על שמו.

פרימו לוי קשר כתרים ליצירותיו ולשירה של הכימיה
המקופלות בטבלה. שירותו לעולם הכימיה עצום !

עלינו לקרוא את ספרו וללמד אותו לתלמידנו, ואולי לקרוא
ליסוד חדש על שמו.



Acknowledgment

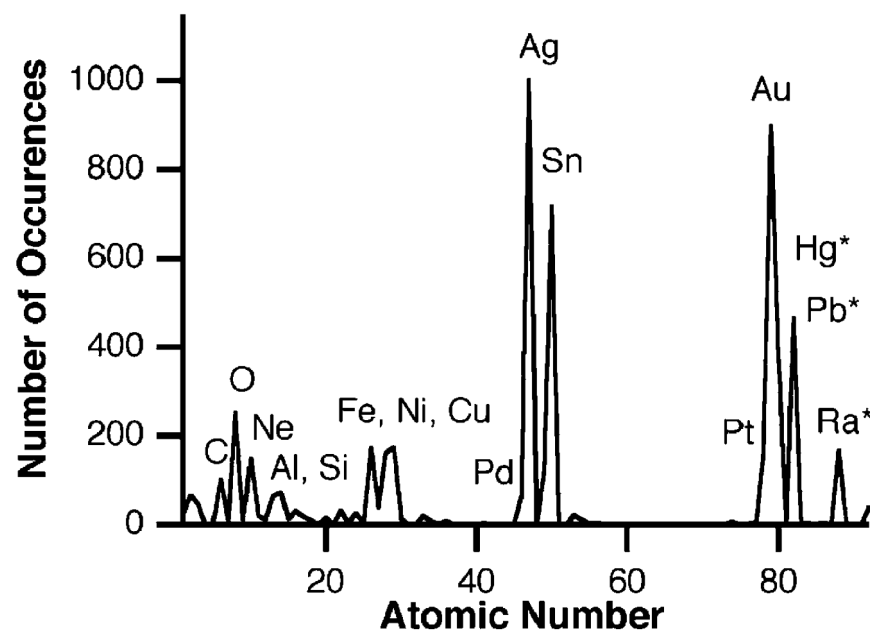
- My special thanks to Eduardo Cremades and Santiago Alvarez for sharing their enthusiasm and material on the periodic table.
- Thanks to David Danovich for keeping me right on the little Russian I showed.



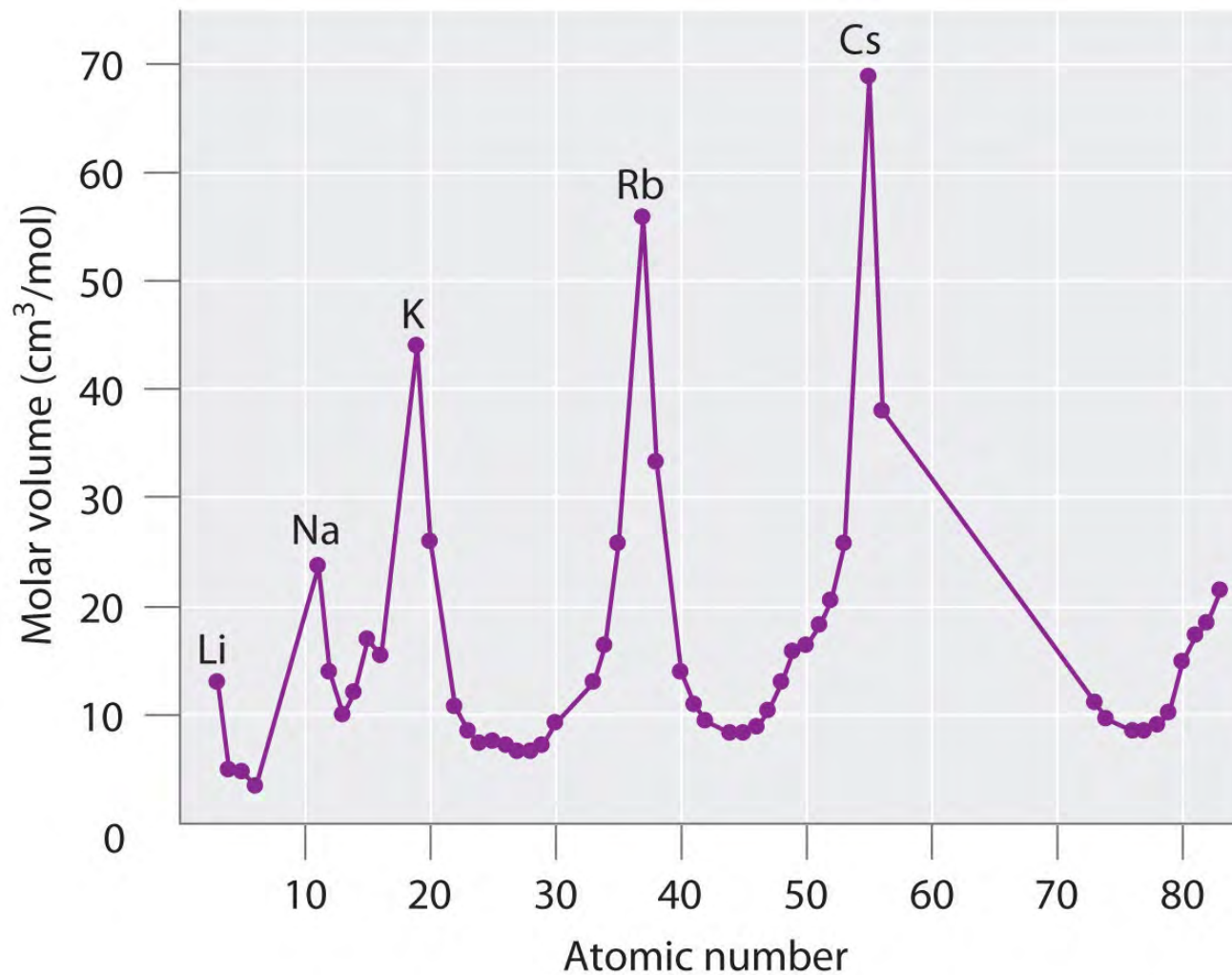
1943-2019

ההרצאה מוקדשת לידידי יואל ברנשטיין ואלי גרושקא שהלכו בטרם עת.

סנטיאגו אלוורז כתב מאמר מעניין ב-2008, אשר בו הוא שירטט את התדירות של הופעת יסודות כימיים בעבודות מוזיקליות אשר מצא בחנות הסייבר.



אכן, האלמנטים מהם עשוי עולמינו מהווים רעיון עמוק שמושך אליו הרבה אמנים.



**Lothar Meyer:
Very Vivid
Periodicity.
Acknowledged
Mendeleev's
Priority**