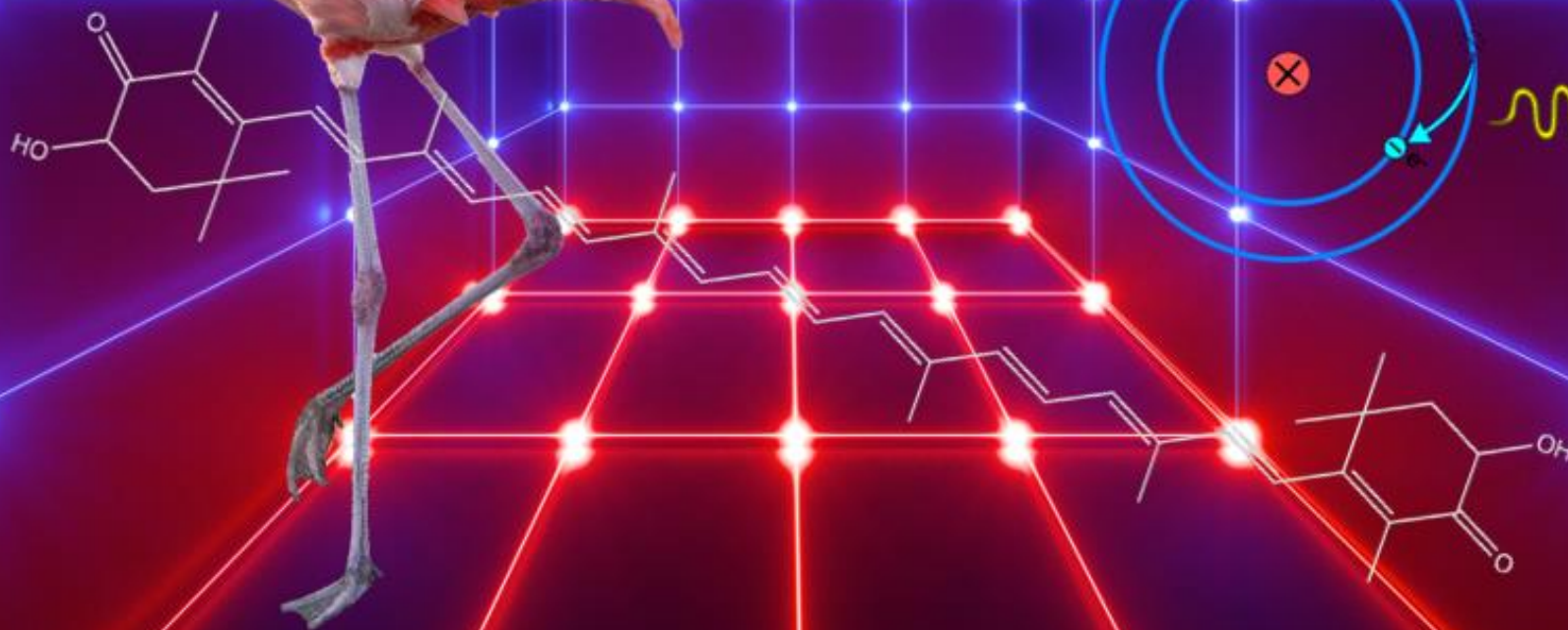


המבנה האלקטרוני של מוצקים



מוליכים, מבדדים ומוליכים
למחצה



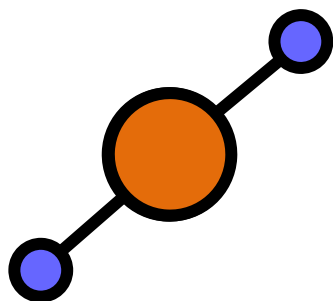
פס ערכיות, פס הולכה ופער
אנרגיה אסור



אכלוס אלקטרונים בפסים



מה אנחנו צריכים כבר לדעת?



מוצקים מוליכים ולא-מוליכים 

אכלוס אלקטרונים באטומים 

אורביטלים מולקולריים 

עירור אלקטרוני 

מוצקים מוליכים, מבדדים ומוליכים ומחצה (מל"מ)

בחומרים מוליכים ישנם חלקיקים נושאי מטען ניידים. 

במוצקים מוליכים – מתכות וגרפיט – ישנם אלקטרונים ניידים. 

במוצקים שהם מבדדים יש כמות זניחה של חלקיקים נושאי מטען ניידים. דוגמאות: חומרים יוניים מוצקים, חומרים מולקולריים מוצקים. 

מוצקים מוליכים למחצה (מל"מ) הם חומרים שהמוליכות החשמלית שלהם נמוכה, דוגמאות: סיליקון, גרמניום, תרכובות כמו GaAs, InP ועוד. 

המבנה האלקטרוני של מוצקים – תאוריית הפסים

בדוגמה של מולקולות אורגניות מצומדות ראינו כי כשהכרומופור מתארך יותר אורביטלים מאטומים סמוכים מתחברים ומתחסרים. רמות האנרגיה המתקבלות נעשות צפופות יותר.

בסריג מוצק יש מספר עצום של אטומים הסמוכים זה לזה ולכן יש מספר עצום של אורביטלים שאפשר לחבר ולחסר. רמות האנרגיה שנוצרות צפופות מאוד, והן יוצרות רצף של רמות אנרגיה שנקרא **פס אנרגיה** (Energy Band).

קבוצת האורביטלים העצומה שרמות האנרגיה שלהם יצרו את פס האנרגיה נקראת **חבורת אורביטלים**.



כיצד נוצרים הפסים?
 כל אורביטל אטומי יחבור
 לאורביטלים בעלי אנרגיה
 דומה מהאטומים הסמוכים.
 כך מתקבל פס אנרגיה
 שנוצר מחבורת אורביטלי
 $1s$, פס אנרגיה אחר
 שמתקבל מחבורת
 אורביטלי $2s$, פס נוסף
 מחבורת אורביטלי $2p$, וכו'.

פסי אנרגיה ופערי אנרגיה אסורים

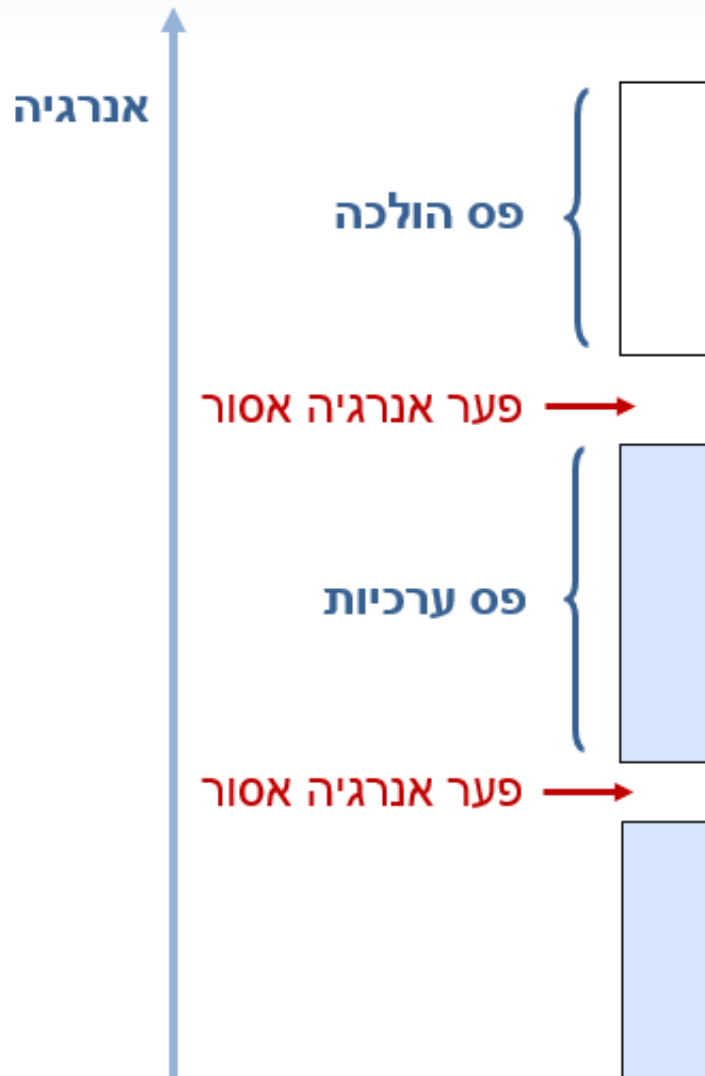
לכל פס אנרגיה יש רוחב מסוים.
לפעמים יכול להתקבל מרווח בין שני פסים. מרווח בין פסי אנרגיה נקרא **פער אנרגיה אסור**.
בפעמים אחרות הפסים חופפים ויוצרים פס אנרגיה רציף.
האלקטרונים מאכלסים את הפסים אך ההסתברות למצוא אלקטרונים בפער האנרגיה האסור היא זניחה.



דוגמה: מבנה הפסים בנתרן מוצק ואטום באלקטרוני

הפסים המאכלסים באלקטרוני צבועים,
הפסים הריקים מאלקטרוני הם חסרי צבע.





פס האנרגיה הגבוה 
ביותר המאוכלס
באלקטרונים נקרא
פס הערכיות.

פס האנרגיה הנמוך 
ביותר שאינו מאוכלס
באלקטרונים נקרא
פס ההולכה.

פס ערכיות ופס הולכה - נתון



בנתון מוצק פס
האנרגיה שנוצר
מחבורת אורביטלי $3s$
ומחבורת אורביטלי
 $3p$ הוא גם פס
הערכיות וגם פס
ההולכה: זהו גם פס
האנרגיה הגבוה
ביותר שמאוכלס, וגם
פס האנרגיה הנמוך
ביותר שאינו מאוכלס.

מבנה הפסים של מוליך, מבדד ומוליך למחצה

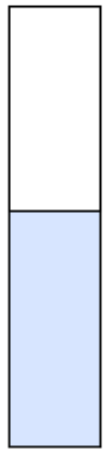
בחומרים **מוליכים** פס

הערכיות ופס ההולכה
חופפים ואין ביניהם פער
אנרגיה אסור. האלקטרונים
חופשיים לנוע לאורביטלים
ריקים בפס.

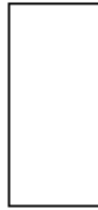
ב**מבדדים** יש **פער אנרגיה**

אסור גדול בין פס הערכיות
לפס ההולכה. האלקטרונים
אינם יכולים לעבור בקלות
לפס ההולכה ולנוע בו
בחופשיות.

פער אנרגיה
אסור גדול



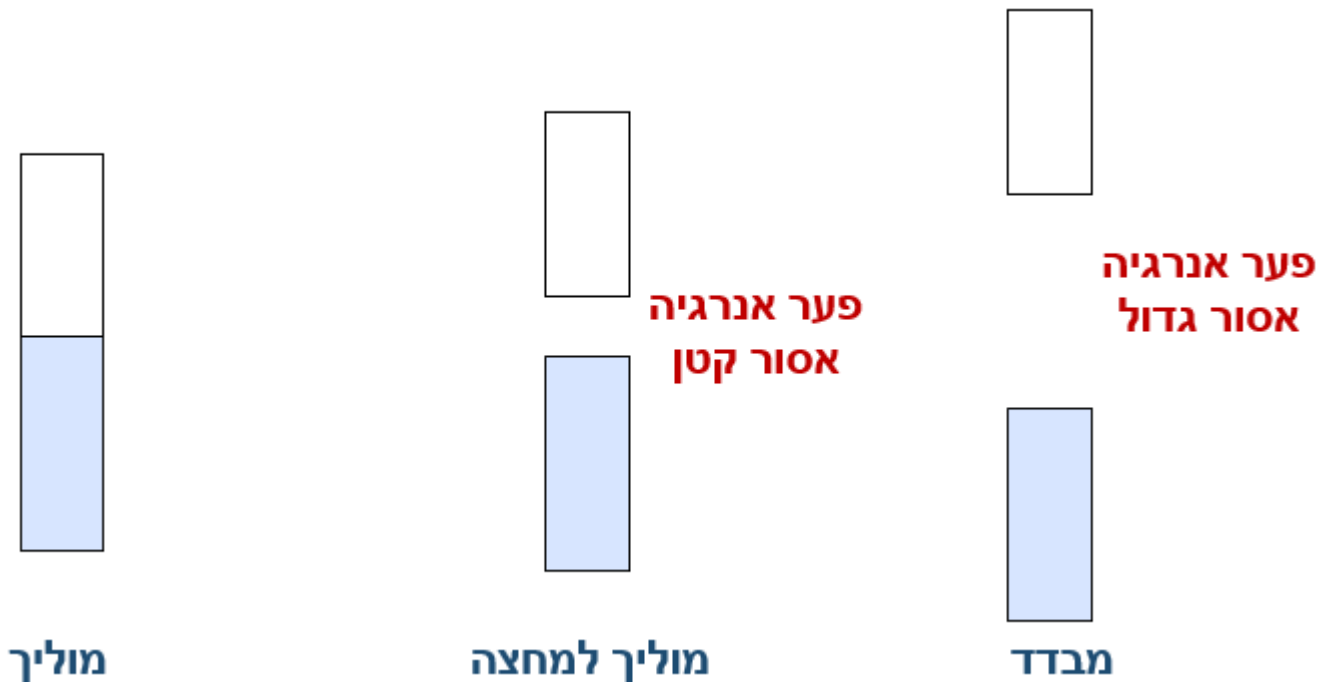
מוליך



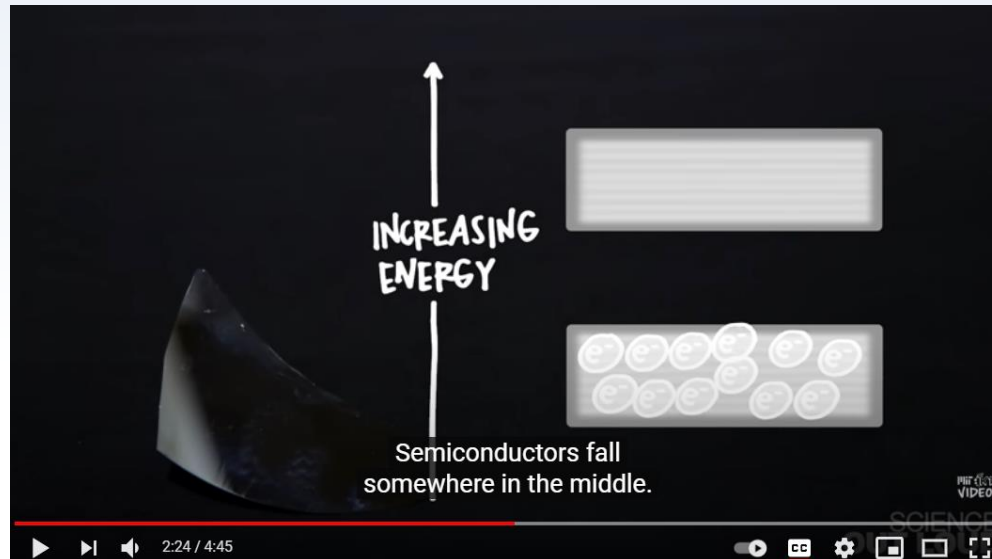
מבדד

מבנה הפסים של מוליך, מבדד ומוליך למחצה

במוליכים למחצה יש פער אנרגיה אסור קטן בין פס הערכיות לפס ההולכה. כשמחממים מוליך למחצה האנרגיה הקינטית של האלקטרונים עולה ומאפשרת להם לדלג מעל פער האנרגיה האסור, מפס הערכיות לפס ההולכה. לכן חימום מעלה את המוליכות החשמלית של מ"מ.



נצפה בסרטון



הולכה חשמלית של מוליכים למחצה בעת חימום

https://www.youtube.com/watch?v=gUmDVe6C-BU&ab_channel=MITK12Videos

לצפות מההתחלה עד 1:06

ואז לצפות בדקות 1:46-2:40

לפניכם נתונים על פערי אנרגיה אסורים של שני חומרים: 524
kJ/mol ו- 117 kJ/mol.

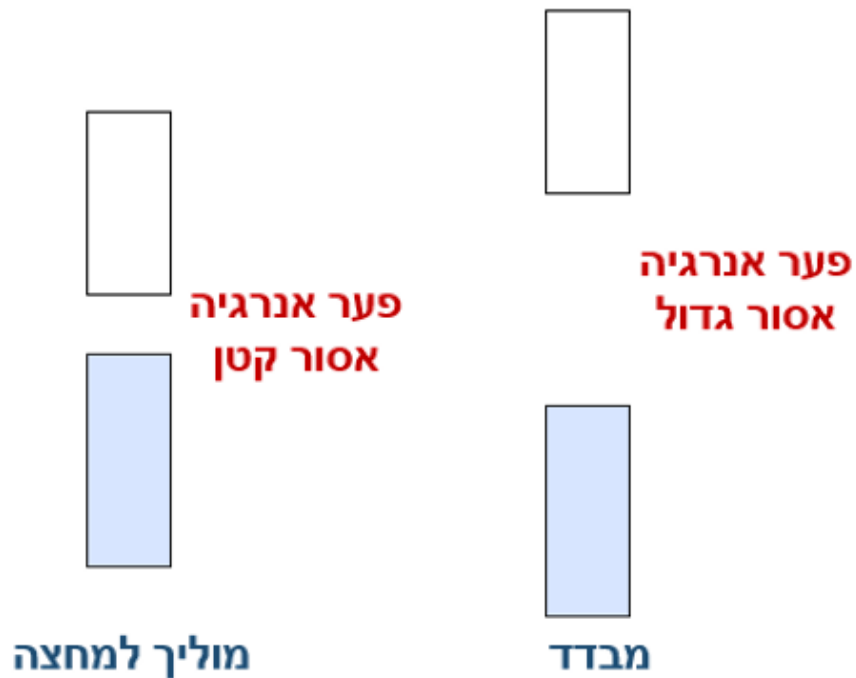
מי מהם הוא פער האנרגיה האסור של יהלום? ומי של סיליקון?

יהלום הוא מבדד וסיליקון הוא מוליך למחצה.

למבדד פער אנרגיה אסור גדול יותר ולכן:

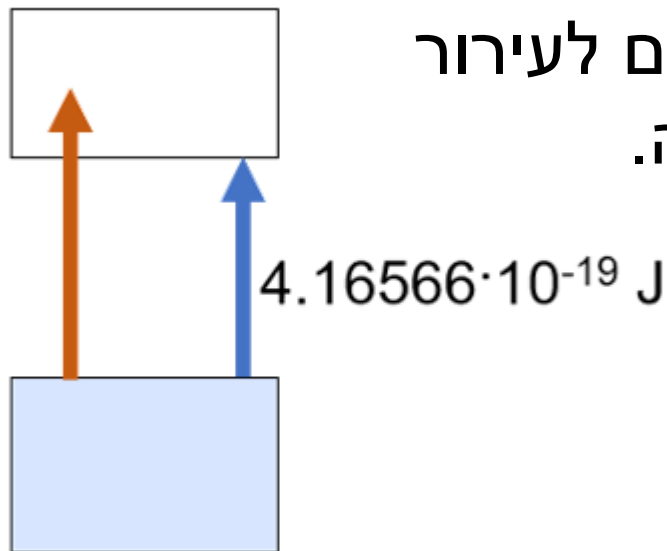
יהלום - 524 kJ/mol

סיליקון - 117 kJ/mol



פער האנרגיה האסור במוליך למחצה מוצק כלשהו
הוא $J \cdot 4.16566 \cdot 10^{-19}$.

חשבו את אורך הגל המקסימלי המתאים לעירור
אלקטרונים מפס הערכיות לפס ההולכה.



הערה: זו האנרגיה הקטנה ביותר
(ולכן זהו אורך הגל המקסימלי)
הנדרשת לעירור אלקטרוני (חץ כחול).
לפס יש רוחב ולכן גם אנרגיות גדולות
יותר (או אורכי גל קטנים יותר) יגרמו
לעירור אלקטרוני (חץ חום).

פער האנרגיה האסור במוליך למחצה מוצק כלשהו
הוא $4.16566 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

א. חשבו את אורך הגל המתאים לאנרגיה זו
(ביחידות nm).

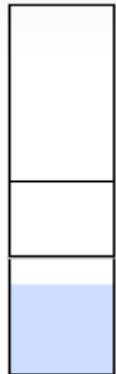
$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{sec} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{sec}}}{4.16566 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 4.77 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 477 \text{ nm}$$

אכלוס אלקטרונים בפסים – נתון

נאכלס את פסי האנרגיה של סריג נתון המכיל N אטומים.
אכלוס האלקטרונים של אטום נתון אחד הוא: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$.
בכל אורביטל אפשר לאכלס עד שני אלקטרונים.

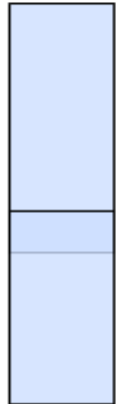
הפס נוצר	מס' האורביטלים שיש בפס	מס' אלקטרונים לאכלוס	האם נותרו אורביטלים ריקים בפס?
מחבורת אורביטלי $1s$	1N	2N	לא
מחבורת אורביטלי $2s$	1N	2N	לא
מחבורת אורביטלי $2p$	3N	6N	לא
מחבורת אורביטלי $3s$	1N	1N	כן, 0.5N

אכלוס אלקטרונים בפסים – נתון (המשך)



פס אנרגיה הנוצר מחבורת אורביטלי $3s$ + חבורת אורביטלי $3p$.

בפס $1N+3N=4N$ אורביטלים המאוכלסים ב- $1N$ אלקטרונים.



פס אנרגיה הנוצר מחבורת אורביטלי $2s$ + חבורת אורביטלי $2p$.

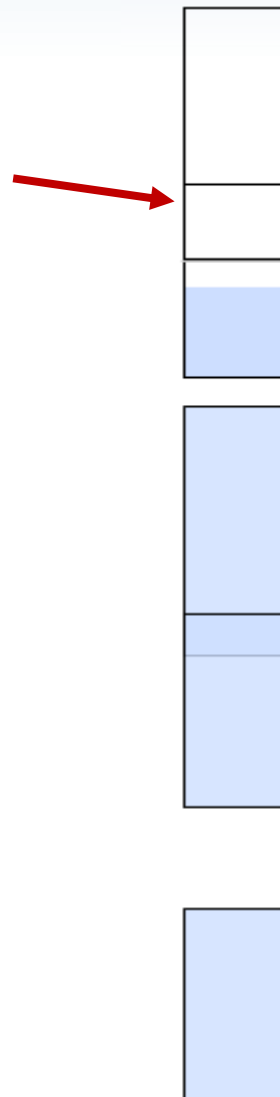
בפס $1N+3N=4N$ אורביטלים המאוכלסים ב- $8N$ אלקטרונים.



פס אנרגיה הנוצר מחבורת אורביטלי $1s$.
בפס $1N$ אורביטלים המאוכלסים ב- $2N$ אלקטרונים.

אכלוס אלקטרונים בפסים – נתון (המשך)

האלקטרונים בפס זה יכולים
לנוע בחופשיות לאורביטלים
הריקים של שני הפסים
החופפים ולכן הנתון הוא
חומר מוליך.



פס אנרגיה הנוצר מחבורת
אורביטלי $3s + 3p$

פס אנרגיה הנוצר מחבורת
אורביטלי $2s + 2p$

פס אנרגיה הנוצר מחבורת
אורביטלי $1s$

לעיתים מתייחסים רק לאכלוס האלקטרונים בפסים שנוצרים מחבורות האורביטלים של רמת הערכיות.

דוגמה:

לפניכם מבנה פסים של מוצק
ברמה האחרונה בלבד.



האם מבנה פסים זה מתאים
לגביש מגנזיום מוצק שבו N
אטומים?

הערה: ציירו את אכלוס
האלקטרונים בפסים.

מגנזיום הוא חומר מוליך.
לכל אטום מגנזיום 12 אלקטרונים, מהם שניים ברמה
האחרונה (רמה 3): $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$.

הפס נוצר	מס' האורביטלים שיש בפס	מס' אלקטרונים לאכלוס	האם נותרו אורביטלים ריקים בפס?
מחבורת אורביטלי $3s$	1N	2N	לא
מחבורת אורביטלי $3p$	3N	0	3N

זכרו: בכל אורביטל אפשר לאכלס עד 2 אלקטרונים.
בפס יש סה"כ 4N אורביטלים שיכולים לאכלס 8N
אלקטרונים, אך מאכלסים בפועל רק 2N אלקטרונים.

אכלוס אלקטרונים בפסים

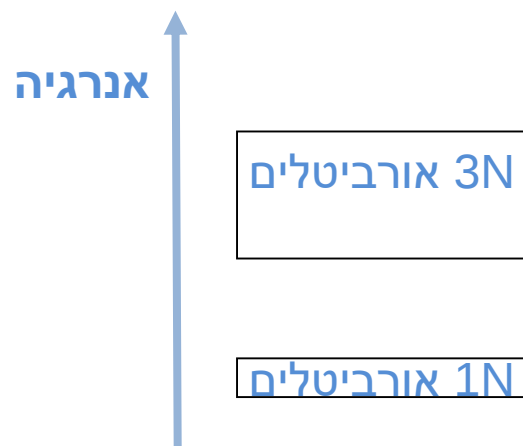
הפס נוצר מחפיפה של שני פסים:
של חבורת אורביטלי $3s$ ושל
חבורת אורביטלי $3p$.



הפס מאוכלס רק בחלקו (רבע
ממנו) והאלקטרונים המאוכלסים
בפס זה חופשיים לנוע
לאורביטלים הריקים שבחלק הפס
שאינו מאוכלס.

מבנה פסים זה מתאים לחומר
מוליך כמו המגנזיום.

לפניכם מבנה פסים של מוצק ברמה האחרונה בלבד.
ציירו את אכלוס האלקטרונים בפסים וקבעו האם מבנה זה
מתאים לגביש של סידן שבו N אטומים.



בכל אטום סידן 20 אלקטרונים. אכלוס האלקטרונים:
 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$. הרמה האחרונה המאוכלסת היא
 רמה 4.

הפס נוצר	מס' האורביטלים שיש בפס	מס' אלקטרונים לאכלוס	האם נותרו אורביטלים ריקים בפס?
מחבורת אורביטלי $4s$	1N	2N	לא
מחבורת אורביטלי $4p$	3N	0	3N

ל- N אטומי סידן $2N$ אלקטרונים שמאכלסים את פס האנרגיה שנוצר מחבורת אורביטלי $4s$.
 $2N$ אלקטרונים מאכלסים $1N$ אורביטלים:



אנו רואים כי קיים פער אנרגיה אסור בין פס הערכיות לפס ההולכה, ולכן מבנה פסים זה לא מתאים לסידן שהוא חומר מתכתי מוליך.

בסריג מוצק מספר גדול מאוד של אורביטלים מתחברים ומתחסרים. רמות האנרגיה צפופות מאוד ויוצרות פס אנרגיה רציף.

פסי אנרגיה סמוכים יכולים לחפוף חלקית וליצור פס אנרגיה אחד, או שיהיה ביניהם פער אנרגיה אסור.

פס האנרגיה הגבוה ביותר המאוכלס באלקטרונים נקרא פס ערכיות. פס האנרגיה הנמוך ביותר שאינו מאוכלס באלקטרונים נקרא פס הולכה.

במוליכים פס הערכיות ופס ההולכה חופפים חלקית. במבדדים יש פער אנרגיה אסור גדול בין פס הערכיות לפס ההולכה. במוליכים למחצה יש פער אנרגיה אסור קטן.