

ברוכים הבאים!

כשאני שומע - אני שוכח • כשאני רואה - אני זוכר • כשאני עושה - אני מבין!

- קונפוזיוס -

כנף ברנולי



אז מה עושים?



פוגשים
מדען



מפליגים
לארץ אחרת



קוראים
ונהנים



בונים
דגם טכנולוגי



מגלים
חוקי מדע



חוקרים
תופעות

- בהצלחה ובהנאה! -

לֹאן נוֹסְעִים? <<



>>

שווייץ

נמצאת במרכז יבשת אירופה.

עיר הבירה: ברן

בראש המדינה: נשיא

שפות: גרמנית, צרפתית, איטלקית,

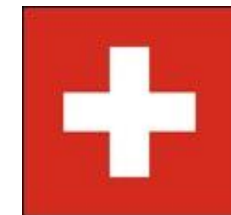
רומאנש

בצפון: גרמניה

במזרח: אוסטריה

במערב: צרפת

בדרום: איטליה





1782-1700

דניאל ברנולי

ברנולי, כמו מדענים רבים בתקופתו, היה איש אשכולות, ועסק במגוון תחומי מדע. הוא היה מרצה לרפואה, מטאפיזיקה ומדעי הטבע.

בשנת 1724, בהיותו בן 24 בלבד, התמנה דניאל ברנולי כפרופסור למתמטיקה באוניברסיטת סנט פטרבורג. משנת 1733 ועד מותו שימש כמרצה באוניברסיטת באזל בשווייץ.

עבודתו המפורסמת ביותר של דניאל ברנולי פורסמה בשנת 1739, ועסקה בחקר המכניקה של הנוזלים - הידרודינמיקה.

לאחר מכן פרסם עבודה על התאוריה של הגאות, שעליה זכה בפרס מטעם האקדמיה הצרפתית.





דניאל ברנולי

עקרון ברנולי - עקרון מרכזי באווירודינמיקה:

במקום בו יש תנועה מהירה של אוויר – לחץ האוויר נמוך.

בעזרת עקרון זה ניתן להסביר את תופעת העילוי של גופים הכבדים מן האוויר. (מציפורים זעירות ועד למטוסי ענק).

ברנולי גילה את העיקרון שהזכרנו, בעקבות תצפיות על ציפורים.

ברנולי שאל את עצמו איך הציפור מצליחה להתרומם בניגוד לכוח הכבידה.

הכוח הפועל על גוף ומאפשר לו לעלות לאוויר נקרא "כוח העילוי".

ברנולי החליט לבדוק איך נוצר כוח העילוי הפועל על הציפור.

גם אנחנו נערוך מספר ניסויים כדי להבין את התופעה.

נלך בעקבות דניאל ברנולי

נתחיל במספר הנחות יסוד:

הציפור מנפנפת בכנפיה בשעת ההמראה.

אנחנו לא נצליח להמריא גם אם נפנף המון זמן בידינו.

לכן, ניתן להניח שיש קשר בין מאפיין ייחודי של כנף הציפור לבין יצירת כוח העילוי על ידי נפנוף בכנפיים.

כשהציפור מנפנפת בכנפיה היא יוצרת זרם אוויר. כן - נתחיל בחקר זרם האוויר.

נהיה גם אנחנו מדענים:

- נפרוט את ההנחות למספר **שאלות חקר**.
- נעלה **השערות**.
- נערוך **ניסויים** כדי לבדוק אותן. [הערה חשובה: מדען אמיתי חוזר על כל ניסוי מספר פעמים. כדי לוודא שהתוצאות אינן מקריות ושלא היו גורמים זרים שהשפיעו עליהן].
- לסיום – על בסיס הממצאים, נסיק **מסקנות** ונבין את התופעות.



החומרים הדרושים לכם לניסוי

- 2 בקבוקים אחד עגול ואחד מרובע
- נרית
- קופסת גפרורים





ניסוי מספר 1 - שלב א

ציוד

- בקבוק עגול | נרית | קופסת גפרורים

התנסות

- **הניחו** את הבקבוק העגול על השולחן.
- **הניחו** את הנר מאחורי הבקבוק.
- **הדליקו** את הנר.
- **שבו** מול הבקבוק, כשהוא חוצץ ביניכם לבין הנר הדולק.
- **נשפו** לכיוון הבקבוק.





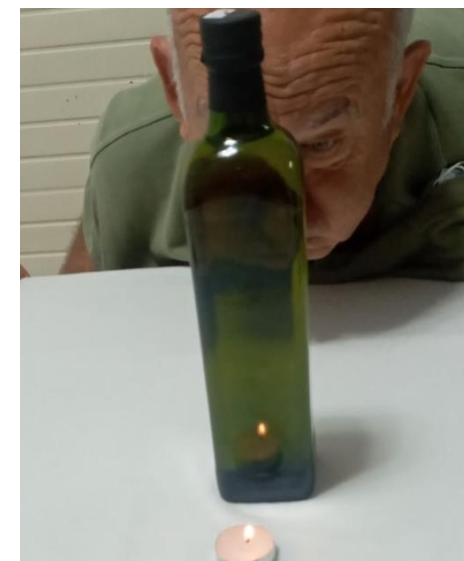
ניסוי מספר 1 - שלב ב

ציוד

- בקבוק מרובע | נרית | קופסת גפרורים

התנסות

- **הניחו** את הבקבוק המרובע על השולחן.
- **הניחו** את הנר מאחורי הבקבוק.
- **הדליקו** את הנר.
- **שבו** מול הבקבוק, כשהוא חוצץ ביניכם לבין הנר הדולק.
- **נשפו** לכיוון הבקבוק.





ניסוי מספר 1

מה קורה?

ברוב הפעמים כאשר נושפים לכיוון הבקבוק העגול – הנר כבה.

ברוב הפעמים כאשר נושפים לכיוון הבקבוק המרובע – הנר אינו כבה. [בחלק מהפעמים השלהבת אולי רועדת...]

למה זה קורה?

יש קשר בין מבנה הגוף החוסם לבין התנהגות האוויר.

הנחת יסוד נוספת [שאותה קשה לנו להוכיח בניסוי ביתי]:

כאשר זרם אוויר פוגש במחסום הוא מתפצל, בכל מקרה. אבל - לאור הממצאים שלנו ניתן להניח:

1. כשזרם האוויר פוגש בגוף מרובע הוא מתפזר, ורובו אינו מגיע מעבר לגוף החוסם.
2. כשזרם אוויר פוגש בגוף עגול – הוא אמנם מתפצל, אבל – "מחליק" משני צידי הגוף החוסם, ושב ומתלכד מעבר לגוף זה ומצליח לכבות את הנר.



ניסוי מספר 1 - הסבר

הערה לבוגרים בלבד:

"זרימה" (של נוזלים, או של גזים) מבוארת היטב ב"משוואות הגלים", שהן משוואות דיפרנציאליות, הדורשות היכרות עם מתמטיקה גבוהה. וזה כמובן חורג מהמסגרת שלנו.

קשה לנו להסביר את התנהגות האוויר בלשון "ספרותית".
לכן, נסתפק בכך שנרשום לפנינו, שהמתמטיקאים הבינו, ש:
כאשר אוויר מתפצל, ומחליק משני עבריו של מחסום,
שני הענפים שהתפצלו עוברים את המחסום באותו פרק זמן,
והם שבים ומתלכדים מיד אחרי שהם "השאירו את המחסום מאחוריהם".

נמשיך בדרכו של דניאל ברנולי

דניאל ברנולי טען שבמקום שיש תנועת אוויר מהירה – האוויר דליל ולחץ האוויר נמוך.

נערוך מספר ניסויים.

נבדוק - מה קורה כאשר אנחנו יוצרים תנועת אוויר מוגברת בסביבתו של גוף מסוים.



ניסוי מספר 2

ציוד

- 1/2 דף נייר A4

התנסות

- **החזיקו** את הדף מול הפנים שלכם
- **שערו** מה יקרה אם תנשפו מעל הדף
- **נישפו** מעל הדף





ניסוי מספר 3

ציוד

- 1/2 דף נייר A4

התנסות

- **גלגלו** את הדף וצרו ממנו גליל.
- **הרפו** מהנייר המגולגל, כך שהוא יהיה פתוח, אך עדיין מעוגל.
- **הניחו** את הנייר על השולחן, כך **שתיצרו** מעין מנהרה.
- **שערו** מה יקרה אם תנשפו לתוך ה"מנהרה".
- **נישפו** לתוך המנהרה





ניסוי מספר 4

ציוד

- 1/2 דף נייר A4

התנסות

- **קפלו** את הדף.
- **החזיקו** את הדף כשקו הקיפול נמצא בין שתי כפות ידיכם, ושני חלקי הדף נוטים לצדדים, ויוצרים צורה של האות "V"
- **שערו** מה יקרה אם תנשפו אל הרווח שנוצר בין שני חלקי ה"V"
- **נישפו** נשיפה חזקה ומהירה





ניסויים 2-4

מה קורה?

המכנה המשותף לכל הניסויים: **התוצאה מפתיעה...**

בניסוי מספר 2: הדף התרומם - למרות שנשפנו מעליו.

בניסוי מספר 3: הדף נע כלפי מטה - למרות שנשפנו מתחתיו. המנהרה הפכה שטוחה.

בניסוי מספר 4: ה-"V" נסגר, למרות שהיינו מצפים שהוא ייפתח... כי נשפנו ברווח בין שתי זרועות ה-"V".



ניסויים 2-4

למה זה קורה?

כאשר נשפנו – יצרנו תנועת אוויר מהירה במקום שבו נשפנו.

כזכור - ברנולי קבע, לאור הניסויים שהוא ביצע, את החוק הבא: במקום שבו יש תנועת אוויר מהירה, לחץ האוויר נהיה נמוך יותר.

על פי עיקרון זה נסביר בשיקופיות הבאות מה קרה בכל אחד מהניסויים.



ניסוי מספר 2 - הסבר

למה זה קורה?

בניסוי מספר 2:

כאשר נשפנו מעל הדף –

האוויר שמעל לדף נע במהירות גדולה, ולכן לחץ האוויר מעל הדף נהיה נמוך יותר.

ואילו - לחץ האוויר שמתחת לדף נשאר כמו קודם – הלחץ האטמוספרי.

נוצר **הפרש לחצים** –

לחץ האוויר שמתחת ל"דף", גבוה יותר מלחץ האוויר שמעל לדף.

לכן הנייר נדחף כלפי מעלה.



ניסוי מספר 3 - הסבר

למה זה קורה?

בניסוי מספר 3:

כאשר נשפנו לתוך המנהרה –

האוויר שבתוך המנהרה, מתחת לנייר, נע במהירות גדולה, ולכן לחץ האוויר במנהרה נהיה נמוך יותר.

לחץ האוויר שמעל למנהרה נשאר כמו קודם - הלחץ האטמוספרי.

נוצר הפרש לחצים –

לחץ האוויר שמתחת ל"מנהרה", נמוך יותר מלחץ האוויר שמעל למנהרה.

לכן הנייר נדחף כלפי מטה, והמנהרה נעשתה שטוחה.



ניסוי מספר 4 - הסבר

למה זה קורה?

בניסוי מספר 4:

מחוץ ל- "V" משני צדדיו החיצוניים של הדף פועל הלחץ האטמוספרי.

הוא "מבקש" לדחוף את שני חלקי הדף זה אל זה.

אבל, גם ברווח שבין שני חלקי ה- "V" פועל אותו לחץ אטמוספרי, והוא מתנגד לדחיפה של שני חלקי הדף "פנימה", זה כלפי זה.

אבל, כאשר אנחנו נושפים בחוזקה אל תוך הרווח, תנועת האוויר המהירה מדללת את האוויר שבתוך ה- "V"

לחץ האוויר שבתוך ה- "V" נהיה נמוך יותר.

נוצר הפרש לחצים -

בין לחץ האוויר בתוך ה- "V" לבין לחץ האוויר שמשני צידיו.

לחץ האוויר משני הצדדים גבוה יותר, והוא דוחף את שני חלקי ה- "V" זה אל זה.



החומרים הדרושים לכם לניסוי

- **ציוד:**

2 בלונים

חוט

סלוטייפ

- **הכנות:**

נפחו את שני הבלונים

קשרו חוטים באורך כ-40 ס"מ אל הבלונים

הדביקו את קצות החוטים אל משקוף הדלת, במרחק של 40-50 ס"מ זה מזה.





ניסוי מספר 5

ציוד

2 בלונים תלויים

התנסות

- **עמדו** בין שני הבלונים.
- **שערו** מה יקרה אם תנשפו למרווח בין שני הבלונים.
- **נשפו** למרווח שבין הבלונים – נשיפה חזקה וחדה.





ניסוי מספר 5

מה קורה?

2 הבלונים נצמדים זה לזה, למרות שנשפנו ביניהם וציפינו שהם יתרחקו זה מזה.

למה זה קורה?

כאשר נשפנו בין הבלונים, יצרנו לחץ אוויר נמוך.

לחץ האוויר משני צידי הבלונים נשאר כמו שהיה – הלחץ האטמוספרי.

כיוון שלחץ האוויר משני צידי הבלונים גבוה יתר מאשר הלחץ בין הבלונים – הבלונים נדחפו זה אל זה, ונצמדו זה לזה.



החומרים הדרושים לכם לבנייה

- תבנית נייר מלבנית – גוף הכנף
- 2 שיפודים ארוכים
- 3 רצועות פוליגל עם תעלות רוחביות
- 3 רצועות פוליגל עם תעלות אורכיות, שבקצותיהן מודבקות פיסות של דבק דו-צדדי





הכנת גוף הכנף

על השרטוט מופיעות הוראות הקיפול וההדבקה. מלאו את הוראות לפי הסדר הבא:

1. **קפלו** בהתאם לקווי הקיפול.
 2. **חישפו** את השכבה העליונה מעל רצועת הדבק
 3. **הדביקו** את הרצועה הצרה [עם הדבק] אל קצה ה"חלק התחתון"
- קיבלתם "מנהרה", שחלקה העליון מקומר, וחלקה התחתון שטוח. זו הכנף.

5



4



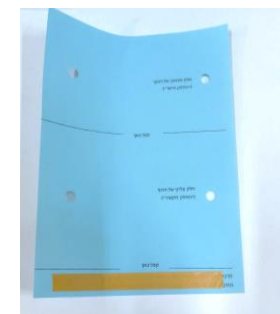
3



2



1

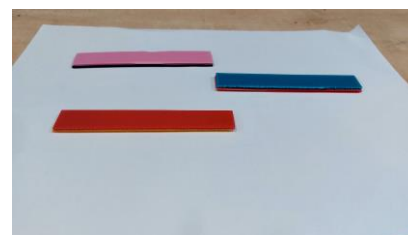




הכנת "מעמד" לכנף

1. הדביקו 3 זוגות של רצועות פוליגל זו לזו:
 בכל זוג - רצועה עם תעלות רוחביות ורצועה עם תעלות אורכיות
 חיבור כזה נקרא: "שתי וערב"
 שתיים מהרצועות תהיינה "רגליים" של המעמד.
 הרצועה השלישית תהיה "גשר" בין רגלי המעמד.

2



1





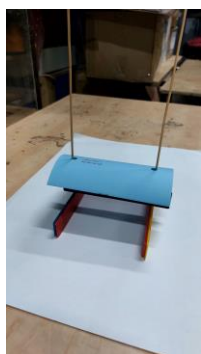
חיבור הכנף למעמד

1. **השחילו** את אחד השיפודים לתוך **אחד החורים ב"גג" המנהרה** וממנו אל **החור המקביל ברצפת המנהרה**, ולסיום – אל תוך **תעלה צדדית באחת** מרצועות הפוליגל שהכנתם – הגשר.
2. **חיזרו** על הפעולה עם השיפוד השני. **הקפידו** שהשיפודים יהיו במרכזי החורים כדי למנוע חיכוך עם הנייר.
3. **השחילו** את השיפודים לתוך תעלה מרכזית בכל אחת מרצועות הפוליגל הנותרות – הרגליים. עכשיו הדגם יציב.

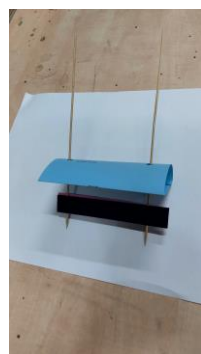
5



4



3



2



1





ניסוי מספר 6 – מניעים את הכנף בנשיפה

ציוד

הדגם שבניתם

התנסות

- **החזיקו** את הדגם במרחק של 10-15 ס"מ מהפנים. [מומלץ להחזיק בשתי רגלי המעמד כדי לשמור על היציבות של הדגם].
- **נישפו** בחוזקה לכיוון הדגם, כווננו אל קו החיבור בין ה"רצפת המנהרה" הישרה, לבין הגג הקמור.
- **חזרו** על הפעולה מספר פעמים, כדי לוודא שהתופעה של התרוממות הכנף אינה מקרית.
- צפו בסרטון.





ניסוי מספר 7 – מניעים את הכנף באוויר

ציוד

הדגם שבניתם

התנסות

החזיקו את הדגם בשתי רגלי המעמד כדי לשמור על היציבות של הדגם.

הניעו את הדגם במהירות מצד לצד.

חיזרו על הפעולה מספר פעמים, כדי לוודא שהתופעה של התרוממות הכנף אינה

מקרית.

צפו בסרטון.





ניסויים מספר 6-7 - הסבר

למה זה קורה?

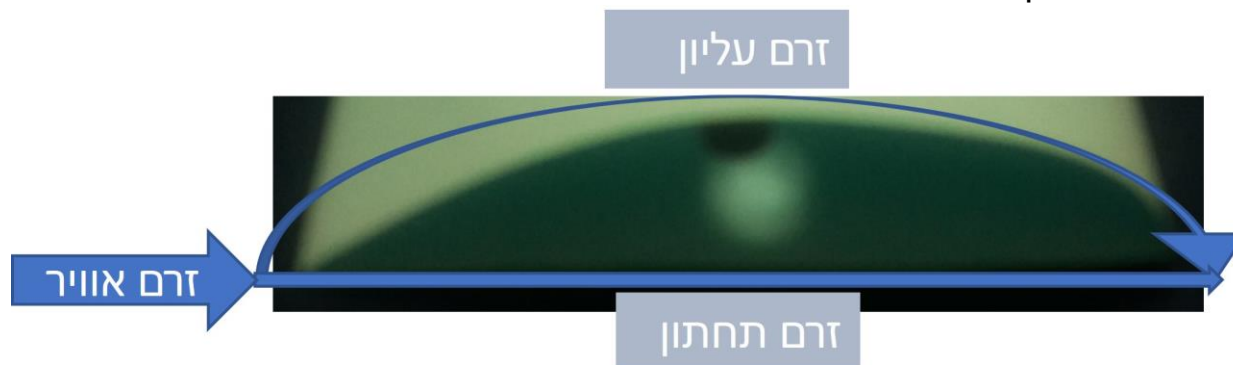
תזכורת למסקנות מהניסוי שערכנו עם הבקבוק העגול:

זרם אוויר שפוגש גוף חוסם מתפצל למספר זרמי אוויר חוזרים ומתלכדים מאחורי הגוף.

כאשר אנחנו מניעים את הכנף באוויר במהירות, או נושפים לכיוון קו הקיפול בחוזקה – אנחנו גורמים לזרם אוויר לנוע לעבר הכנף.

כאשר זרם האוויר פוגש בכנף הוא מתפצל למספר זרמי אוויר [בתמונה סכימה של שניים מזרמי אוויר].

שני זרמי האוויר מתלכדים מחדש מאחורי הכנף.





ניסויים מספר 6-7 - הסבר

למה זה קורה?

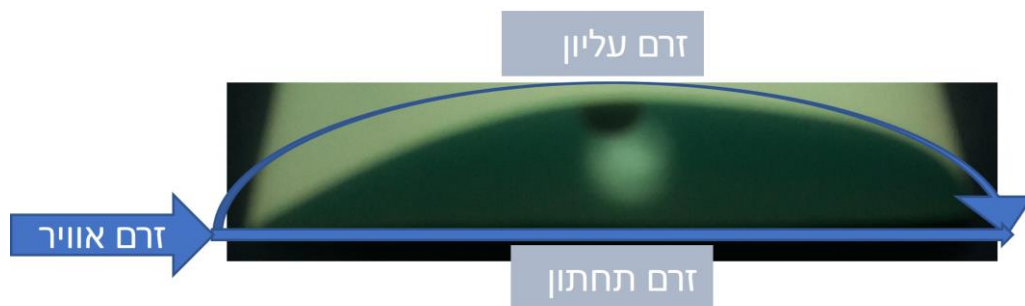
עוד תזכורת חשובה: כל זרמי האוויר מגיעים בו זמנית אל מאחורי הכנף.

שאלה ראשונה:

לאיזה משני הזרמים בתמונה יש דרך ארוכה יותר לעבור:

לזרם העליון, הנע מעל לכנף – בחלק הקמור,

או לזרם התחתון, הנע מתחת לכנף, בחלק הישר?



לעליון, כמובן. כי המסלול שלו קמור.

הזרם התחתון נע בקו ישר. הדרך שלו קצרה יותר. כי קו ישר הוא הקו הקצר ביותר העובר בין שתי נקודות.

מה עושים? מנסים! << >>



ניסויים מספר 6-7 - הסבר

למה זה קורה?

שאלה שנייה:

אם שני הזרמים מתחילים ומסיימים בו זמנית את הדרך,
איזה משני הזרמים צריך לנוע מהר יותר: העליון או התחתון?
העליון, כמובן. כי יש לו דרך ארוכה יותר לעבור בזמן שהזרם התחתון עובר דרך קצרה...

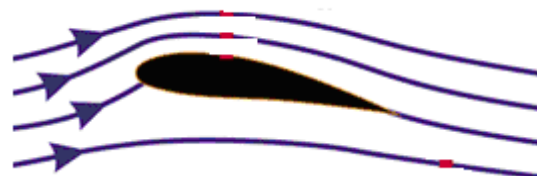
ניזכר בעקרון ברנולי:

במקום שבו האוויר נע במהירות גדולה יותר לחץ האוויר נמוך יותר.
כלומר – **לחץ האוויר מעל הכנף הוא נמוך יותר מאשר לחץ האוויר מתחת לכנף.**
ולכן הכנף נעה כלפי מעלה!



עילוי אצל ציפורים

הציפור מניעה את כנפיה קדימה במטרה לאפשר לאוויר לזרום על פני הכנף מלפנים לאחור, ובכך ליצור עילוי. יצירת העילוי מבוססת על מבנה הכנף : כנף הציפור אינה ישרה, אלא קמורה בחלקה העליון וקעורה בחלקה התחתון, כך שחלקה הקדמי (הקרוי שפת ההתקפה) עבה יותר. וחלקה האחורי (הקרוי שפת הזרימה) דק יותר.



כאשר זרם האוויר פוגע בחלקה הקדמי [בשפת ההתקפה] של הכנף, הוא נחצה כך שחלקו זורם מעל לכנף וחלקו זורם מתחת לכנף. שני זרמי האוויר נפגשים שוב בחלקה האחורי של הכנף.



עילוי אצל ציפורים

האוויר הזורם מעל לכנף צריך לעבור דרך ארוכה יותר מאשר האוויר הזורם מתחת לכנף. כיוון ששני זרמי האוויר צריכים להגיע יחד לשפת הזרימה – זרם האוויר שמעל לכנף, שיש לו דרך ארוכה יותר, צריך לנוע במהירות גדולה יותר. וכאשר אוויר נע במהירות – לחץ האוויר יורד. לעומתו, האוויר הזורם מתחת לכנף עובר דרך קצרה יותר, זורם לאט יותר ולכן לחצו גבוה יותר. כך נוצר **הפרש לחצים**. מתחת לכנף יש יותר לחץ מאשר מעל לכנף. הפרש לחצים זה יוצר כוח כלפי מעלה. כוח זה הוא כוח העילוי.

עוצמת העילוי תלויה בהפרש הלחצים: ככל שהכנף קמורה יותר, הפרש זה גדל וכוח העילוי גדל. לציפורים יש אפשרות לשלוט בקמירות של הכנף בהתאם לצורך שלהן לעוף גבוה / נמוך יותר.

סיכום...

- היינו "מגלי עולם" – הפלגנו לשווייץ.
- היינו "היסטוריונים" – פגשנו מדען דגול: דניאל ברנולי
- היינו "מדענים" – ערכנו ניסויים וגילינו: איך מבנה הכנף של הציפור / המטוס משפיע על כוח העילוי
- היינו "טכנולוגים" - בנינו כנף ברנולי

כשאני שומע - אני שוכח • כשאני רואה - אני זוכר • כשאני עושה - אני מבין!

- קונפוציוס -

רוצים עוד?

היכנסו לחנות שלנו!



נהניתם?

נשמח שתמלאו משוב קצר!

4 שאלות ושלחתם...

< בטח שנמלא משוב! >



© כל הזכויות שמורות לחברת טכנוקט.

אין לשכפל, להעתיק, לצלם, לתרגם, לאחסן במאגר מידע, לשדר או לקלוט בכל דרך או בכל אמצעי אלקטרוני, אופטי או מכני או אחר כל חלק שהוא מהחומר שבמצגת זו.

שימוש מסחרי מכל סוג שהוא בחומר הכלול בחוברת זו אסור בהחלט אלא ברשות מפורשת בכתב מחברת טכנוקט.