

לקחים ראשוניים מבחינות הבגרות בפיסיקה 5 י"ל, קיץ תשנ"ג בנושאי המכניקה והאופטיקה הגיאומטרית

ערי רופן, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, רחובות, ומנר החינוך והתרבות, ירושלים

ב. שאלה מס' 1 בשאלון פרקי בחירה – אופטיקה גאומטרית.

נתייחס לסעיף ג' של שאלה זו, ובמיוחד לתת סעיף (3). תת סעיף (3) עוסק במושג "הגדלה זוויתית". נושא זה הוא אחד המושגים החשובים ביותר בהבנת דרך פעולתם של מכשירים אופטיים. במידגם של 120 שאלונים נמצא כי מעל 95% מתשובות התלמידים היו שגויות, והצביעו בברור על אי-הכרת המושג ולא על תפישת מוטעות בהבנתו. הדבר קשור לדעתנו לכך שנושא זה לא הופיע שנים רבות בבחינות הבגרות.

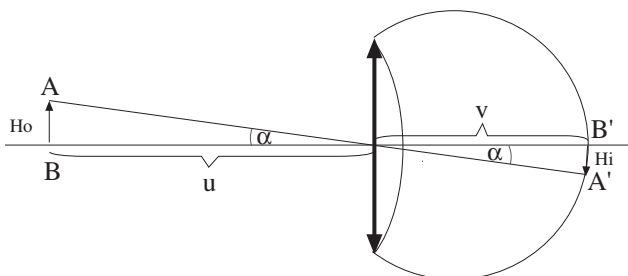
נראה שיש מקום לרענן הידע לגבי מושג זה:

נניח שאדם מסתכל דרך זכוכית מגדלת, בעצם הנמצא במרחק מסוים מעדשה. ה"הגדלה הזוויתית" היא מספר המבטא פי כמה נראה העצם במצב זה גדול יותר, מאשר הוא נראה לאותו אדם במצב אופטימלי ללא עדשה.

עצם נראה לנו גדול יותר ככל שדמותו על רשתית העין גדולה יותר.

בתרשים 1 מתואר עצם AB שגובהו H_0 הניצב לפני עין.

דמות העצם על רשתית העין היא A'B' וגובהה H_1 .



תרשים 1

את גודל הדמות (H_1) מחשבים על פי דמיון משולשים:

$$\frac{H_0}{H_1} = \frac{u}{v}$$

הערה: בחישוב זה הנחנו כי הדמות A'B' ניצבת לציר העין. קירוב זה מוצדק ככל ש- α קטנה יותר.

אילו היינו רוצים לרשום את הלקחים מתשובות התלמידים לכל השאלות, היינו עלולים ל"מלא" חוברת שלמה של "תהודה". על כן נצטמצם ללקחים משתי שאלות - האחת במכניקה והשנייה מתחום האופטיקה הגיאומטרית.

א. שאלה מספר 3 במכניקה

בשאלה זו מדובר על קליע הפוגע אופקית בגוש עץ התלוי על חוט.

בסעיף ב' של השאלה נתבקשו התלמידים לחשב את הגובה המרבי אליו מתרומם גוש עץ. מטרתו של סעיף זה היתה לבחון אם התלמיד מסוגל לחזור על חישוב שקרוב לוודאי ביצע במסגרת שיעורי בית או דיון בכיתה.

תשובותיהם של רוב התלמידים לסעיף זה היו נכונות. נתייחס בהמשך רק לתלמידים שפתרונם לסעיף זה נכון (תשובה עם שגיאה חישובית בלבד נחשבת לעניין זה כנכונה). ניתן היה לצפות שתלמיד שאכן פתר את השאלה בסעיף ב', יענה כהלכה על סעיף א': "האם האנרגיה המכנית נשמרת בתהליך ההתנגשות?" איפכא מסתברא: ממדגם של 96 מחברות (80 עתודאים!), 22% מבין התלמידים שפתרו נכון את סעיף ב', הצהירו שחור על גבי לבן שהאנרגיה המכנית נשמרת. מכאן, שדרך הפתרון בסעיף ב' (שני שלבים; שמור תנע בהתנגשות, ואחר-כך שימור אנרגיה מכנית) נעשה באופן טכני, ללא הבנה; שהרי היינו מצפים שתלמיד הטוען שהאנרגיה המכנית נשמרת יפתור את סעיף ב' על-ידי השוואה בין האנרגיה הקינטית של הקליע לפני ההתנגשות ושינוי האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית של גוף העץ (עם הקליע בתוכו). תמונה עגומה יותר הצטיירה מבדיקה של סעיף ג': "מהי העבודה שנעשתה על ידי המתיחות בחוט, במשך עליית גוש העץ עם הקליע עד לגובה המרבי". מבין 96 המחברות במדגם (שאינו מייצג, כי רובו כאמור עתודאים) ביצעו 38% חישובים שונים ומשונים, וקבלו ערכי עבודה השונים מאפס. מסקנתם שעבודה שמבצע החוט שונה מאפס לא הפריעה להם להשתמש בשימור האנרגיה בסעיף ב'. המסקנה המתבקשת לגבי דרכי ההוראה ברורה, ואף מיותר לרשום אותה...

לכן גודל הדמות על רשתית העין הוא:

$$H_i = v \frac{H_0}{u}$$

כפי שרואים בתרשים 1, הגודל $\frac{H_0}{u}$ שווה ל- $\tan \alpha$. הזווית

α מכונה **זווית הראיה** והתוצאה המתקבלת היא:

$$H_i = v \tan \alpha$$

גודל הדמות H_i על רשתית העין קובע אם העצם נראה קטן או גדול. כיוון ש v קבוע (קוטר העין), הרי בתנאים בהם נוצרת דמות, **הפרמטר הגיאומטרי הקובע את גודל הדמות הוא זווית הראיה α** . כאשר α גדלה, גודל דמות העצם על רשתית העין גדל אף הוא. ככל שאנו מקרבים עצם לעין, קורים שני דברים:

- א. זווית הראיה גדלה (לכן גם גדלה הדמות על הרשתית).
- ב. העין צריכה להסתגל יותר כדי ליצור דמות חדה על הרשתית.

כאשר מקרבים עצם לעין, קיים מרחק מינימלי בין העצם לעין כך שמעבר לו, העין אינה יכולה להסתגל וליצור דמות חדה על רשתית העין. המרחק המכונה **"מרחק הראיה הברורה המינימלי"** זה המרחק בו אדם מתבונן בעצם ללא עדשה, והעצם ממוקם כך שהוא נראה לאדם:

א. ברור

ב. הגדול ביותר, מבין הגדלים המתקבלים עבור אפשרויות המיקום האחרות.

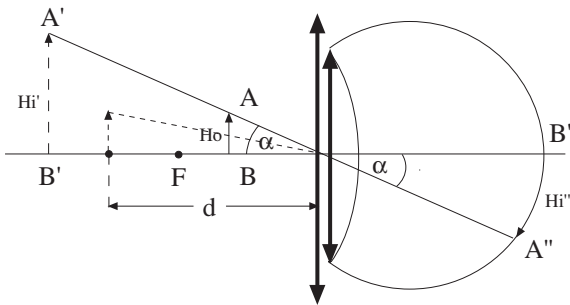
נהוג לסמן את "מרחק הראיה הברורה המינימלי" באות d . אם נסמן את זווית הראיה במצב זה α_0 , אזי גודל הדמות על רשתית העין יהיה:

$$(1) H_i = v \tan \alpha_0$$

זהו מצב הראיה האופטימלית ללא עדשה.

עתה נניח שהאדם מקרב את העצם לעין, למרחק קטן מאשר d , כך שהזווית בה נמצא העצם ביחס לעין היא עתה α , ומקיימת $\alpha > \alpha_0$. במצב זה המוח עדיין מצליח לתרגם את התמונה לתבנית מטושטשת, אך מבחינה פיסיקלית אין מצב זה מוגדר כיצירת דמות.

אם מציבים עדשה מרכזת (מגדלת) צמודה לעין, כך שרוחק המוקד שלה גדול מרוחק העצם מהעין (תרשים 2) נוצרת באמצעות העדשה דמות מדומה $A'B'$. אם מרחק דמות זו מהעדשה (ומהעין) גדול (או שווה) ל- d אז הדמות $A''B''$ על רשתית העין, תהיה עתה גדולה יותר מאשר במצב האופטימלי ללא עדשה.



תרשים 2

גודל הדמות על רשתית העין עם זכוכית מגדלת הוא:

$$(2) H_i'' = v \tan \alpha$$

על פי האמור לעיל, מגדירים את ההגדלה הזוויתית (μ) כיחס בין H_i'' לבין H_i , ולפיכך:

$$\mu = \frac{H_i''}{H_i} = \frac{v \tan \alpha}{v \tan \alpha_0} = \frac{\tan \alpha}{\tan \alpha_0}$$

נוסחה זו רשומה בדפי הנוסחאות שמקבל הנבחן יחד עם שאלון הבחינה. אך כדי להשתמש בה, עליו להבין מה בדיוק מייצגות הזוויות α ו- α_0 .

הערה: הפתרון המספרי לשאלה זו מופיע בחוברת זו בפתרון המלא של בחינת הברורה.

מטרת תת סעיף (3) היתה לבחון את יכולתו של תלמיד ליישם את המושג "הגדלה זוויתית". כנראה שלא קל ליישם מושג שלא נבנה כהלכה, או שלא נבנה כלל.