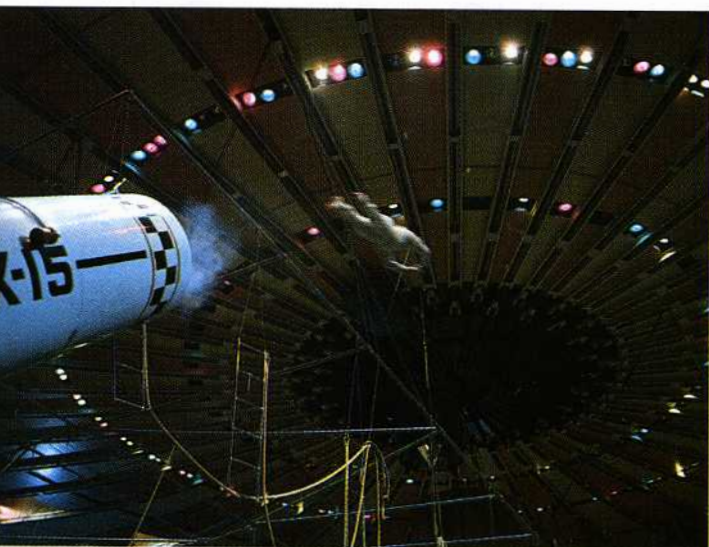


תנועה במסלול לא ישר



1 פרק הקודם הבחנו בין שתי אפשרויות של תנועה על קו ישר - תנועה במהירות קבועה ותנועה מואצת. בפרק זה נרחיב רעיונות אלה גם עבור תנועה שאינה על קו ישר - תנועה במסלול עקום. נראה שמסלולו העקום של כדור-סל, או של כל קלע אחר, הוא צירוף של שני "רכיבים" של תנועה - תנועה אופקית (ללא תאוצה) ותנועה אנכית (בהשפעת תאוצת הכובד). שני רכיבים אלה של התנועה הם לחלוטין בלתי תלויים זה בזה. החלק האנכי אינו תלוי כלל בחלק האופקי, ולהיפך - עובדה מעניינת למדי.

הכל נע. אפילו עצמים השרויים לכאורה במנוחה נעים יחסית למשהו אחר - יחסית לשמש ולכוכבים למשל. ספר השרוי במנוחה ביחס לשולחן שעליו הוא מונח, נע במהירות של כ-30 קילומטרים בשנייה (!) ביחס לשמש. הוא נע מהר אף יותר ביחס למרכז הגלקסיה שלנו. בשעה שאנו דנים בתנועתם של עצמים, אנו מתארים את תנועתם יחסית לנקודת ייחוס כלשהי. לדוגמה, כשאנו אומרים שרכבת נוסעת במהירות של 200 קילומטרים בשעה, כוונתנו לתנועתה ביחס למסילה. בהמשך, כשנדון במהירותו של גוף, הכוונה היא ביחס לפני כדור הארץ, אלא אם כן נציין אחרת.

הבה נתבונן במטוס איטי. אם אין רוח נושבת, המטוס, שנע במהירות של 100 קילומטרים בשעה (ק"מ/שעה) ביחס לאוויר, נע במהירות של 100 ק"מ/שעה

תנועה היא יחסית

גם ביחס לפני כדור הארץ שמתחתיו. אולם אם נושבת רוח, מהירותו של המטוס ביחס לאוויר ומהירותו יחסית לקרקע שונות זו מזו. אם המטוס טס בכיוון שבו נושבת הרוח, מהירותו ביחס לקרקע גדולה יותר; ואילו אם תנועתו מנוגדת לכיוון הרוח, מהירותו ביחס לקרקע קטנה יותר. אם כיוון הרוח מאונך לכיוון הטיסה, גם אז מהירותו ביחס לקרקע תהיה שונה ממהירותו ביחס לאוויר. ניתן לטפל במהירויות השונות האלה באמצעות שיטה העושה שימוש בווקטורים.

ניזכר בהבדל בין המושג גודל המהירות לבין מושג המהירות, הכולל גודל וכיוון, כפי שתיארנו בפרק 2 ("מהירות" - זוכרים?). גודל המהירות אומר לנו פשוט "כמה מהר" הגוף נע, ואילו מושג המהירות במלואו אומר לנו הן כמה מהר והן "באיזה כיוון" הוא נע. אם מד המהירות במכונית מורה, למשל, 100 ק"מ/שעה, הרי שידוע לנו גודל המהירות. אם ישנו גם מצפן בלוח המחוונים, המורה שהמכונית נעה בכיוון צפון, הרי שידוע לנו גם כיוונה של המהירות - המהירות היא: 100 ק"מ/שעה צפונה. ידיעת המהירות במלואה פירושה ידיעת גודל המהירות וגם ידיעת כיוון המהירות.

כל גודל, שתיאורו המלא מחייב את ידיעת הכיוון (לאן) בנוסף לידיעת השיעור (כמה), נקרא **גודל וקטורי**. המהירות היא, איפוא, גודל וקטורי. דוגמאות אחרות הם הכוח והתאוצה. לעומת זאת, גודל שניתן לתארו באמצעות שיעורו בלבד ושתיאורו אינו כרוך במידע על כיוון, נקרא **גודל סקלארי**. המסה והנפח הם גדלים סקלאריים וכזה הוא גם גודל המהירות. גודל המהירות הוא איפוא סקלאר ואילו המהירות היא גודל וקטורי. בפרק זה נעסוק באופי הווקטורי של המהירות.

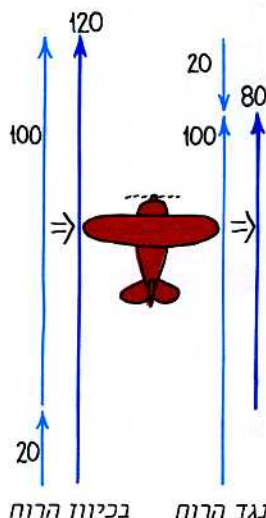
לעיתים נוח יותר לתאר דברים באמצעות איור מאשר במילים. נוח מאוד לייצג גודל וקטורי באמצעות חץ. אם אורך החץ מייצג את שיעורו של הגודל ("כמה") וכיוונו של החץ מייצג את כיוון הגודל, אנו קוראים לחץ בשם **וקטור**. הווקטור שבאיור 3.1 מצויר בקנה מידה שבו 1 ס"מ מייצג 20 ק"מ/שעה; אורכו הוא 3 ס"מ והוא מצביע ימינה, ולכן הוא מייצג מהירות של 60 ק"מ/שעה ימינה. הבה נתבונן במטוס הנע צפונה במהירות של 100 ק"מ/שעה יחסית לאוויר הסובב אותו. אנו יכולים לייצג זאת באמצעות חץ המצויר בקנה מידה - אורכו של החץ יתאים ל-100 ק"מ/שעה וכיוונו יצביע צפונה. באותו זמן נושבת גם רוח גב (רוח מאחור) הנעה צפונה גם היא, במהירות של 20 ק"מ/שעה. דוגמה זו מתוארת באמצעות וקטורים באיור 3.2 משמאל. קנה המידה: כל ס"מ מייצג 20 ק"מ/שעה. וכך, מהירותו בת 100 הק"מ/שעה של המטוס מתוארת באמצעות וקטור באורך 5 ס"מ, ורוח הגב בת 20 הק"מ/שעה מתוארת בווקטור שאורכו 1 ס"מ. קל לראות (בעזרת הווקטורים או בלעדיהם) שהמהירות המתקבלת היא 120 ק"מ/שעה. בלי רוח הגב המטוס היה נע 100 ק"מ/שעה אחת ביחס לקרקע. עם רוח הגב, הוא ינוע 120 קילומטרים באותה שעה.

נניח עתה שהרוח היא חזיתית (נושבת מול המטוס) כך שהמטוס טס נגד הרוח ולא איתה. וקטורי המהירות הם עתה בכיוונים מנוגדים (איור 3.2 מימין). התוצאה היא 100 ק"מ/שעה פחות 20 ק"מ/שעה, שהם 80 ק"מ/שעה. כשהוא טס נגד רוח חזיתית בת 20 ק"מ/שעה, המטוס ינוע ביחס לקרקע רק 80 קילומטרים במשך שעה אחת.

המהירות - גודל וקטורי

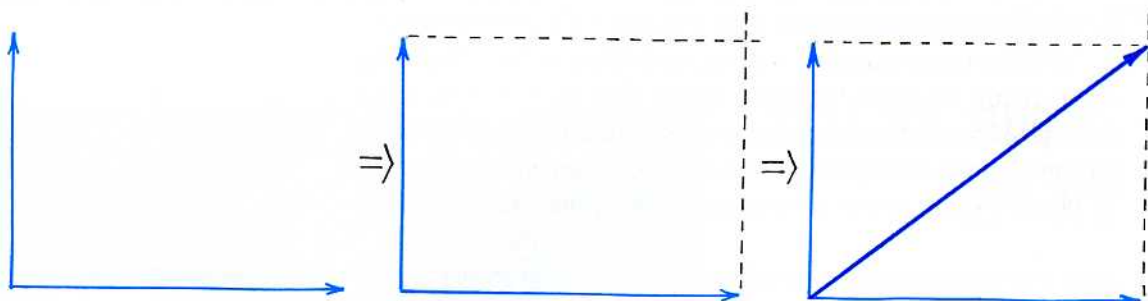
איור 3.1

וקטור זה, בקנה מידה של 1 ס"מ = 20 ק"מ/שעה, מייצג מהירות של 60 ק"מ/שעה ימינה.



איור 3.2

מהירותו של מטוס ביחס לקרקע תלויה במהירותו יחסית לאוויר הנח ובמהירות הרוח.



איור 3.3

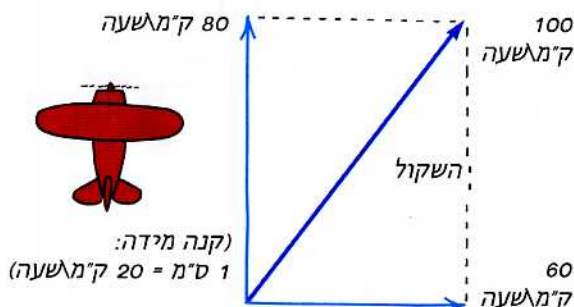
שני הווקטורים המאונכים זה לזה מהווים שתי צלעות של מלבן, שאלכסונו הוא השקול.

חיבור וקטורים הפועלים בכיוונים מקבילים הוא עניין פשוט למדי: אם הם פועלים באותו כיוון, הם מתוספים זה לזה; אם הם פועלים בכיוונים מנוגדים הם מופחתים זה מזה. הסכום של שני וקטורים או יותר נקרא **השקול** שלהם. למציאת השקול של שני וקטורים המכוונים בזווית זה ביחס לזה, נשתמש בכלל המקבילית*. נבנה מקבילית שבה שני הווקטורים מהווים צלעות סמוכות - האלכסון של מקבילית זו מתאר את השקול. הדבר מתואר באיור 3.3, שבו המקבילית היא מלבן (בפרק זה נעסוק רק בווקטורים המקבילים זה לזה או בכאלה היוצרים מלבנים. דיון כללי יותר בווקטורים ניתן למצוא בנספח ג' שבסוף הספר).

שאלה

תארו לעצמכם סירת מנוע שמהירותה במים שקטים היא 10 ק"מ/שעה. אם הסירה שטה בנהר הזורם במהירות של 10 ק"מ/שעה אף הוא, מה תהיה מהירות הסירה ביחס לגדה כשהיא נעה עם הזרם? כשהיא נעה כנגד הזרם?

בשיטת הווקטורים נוכל לחשב את השפעתה של רוח צד על מהירותו של מטוס. נתבונן במטוס האיטי הטס צפונה במהירות 80 ק"מ/שעה ונקלע לרוח צד עזה של 60 ק"מ/שעה הנושבת מזרחה. באיור 3.4 מתוארים הווקטורים של מהירות המטוס ושל מהירות הרוח.



איור 3.4

מהירותו השקולה של מטוס שמהירותו ביחס לאוויר 80 ק"מ/שעה, הטס ברוח צד של 60 ק"מ/שעה, היא 100 ק"מ/שעה ביחס לקרקע.

תשובה:

כשהסירה נעה במעלה הזרם מהירותה היא אפס ביחס לגדה (חיבור של מהירות 10 + למהירות 10 - שווה אפס). כשהסירה נעה במורד הזרם מהירותה היא 20 ק"מ/שעה ביחס לגדה (חיבור של מהירות 10 + למהירות 10 + שווה ל-20 + באותו כיוון).

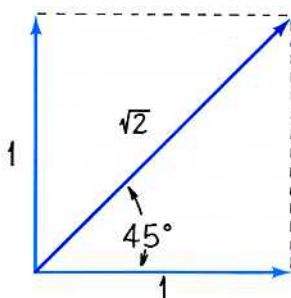


* מקבילית היא מרובע שהצלעות הנגדיות בו שוות ומקבילות.

קנה המידה כאן הוא: 1 ס"מ = 20 ק"מ/שעה. אורך האלכסון של המקבילית (המלבן) שבנינו הוא 5 ס"מ, המייצגים 100 ק"מ/שעה. כלומר, המטוס טס במהירות של 100 ק"מ/שעה בכיוון שבין צפון לצפון-מזרח*.

מקרה מיוחד הוא כאשר שני הווקטורים שווים בגודלם ומאונכים זה לזה; המקבילית המתקבלת היא ריבוע. הואיל ובכל ריבוע אורך האלכסון גדול פי $\sqrt{2}$ (או 1.414) מכל אחת מן הצלעות, השקול שווה $\sqrt{2}$ פעמים כל אחד מן הווקטורים. לדוגמה, שני וקטורים המאונכים זה לזה וגודל כל אחד מהם הוא 100 יחידות, השקול שלהם הוא בן 141.4 יחידות.

אפשר להתייחס למצב הווקטורים שבאיור 3.5 גם מנקודת ראות אחרת. כשם שאפשר לצרף וקטור אופקי ווקטור אנכי באופן שיווצר וקטור שקול אחד בזווית מסוימת ביניהם, גם ההיפך נכון. וקטור נתון המכוון בזווית כלשהי ניתן להפרדה לזוג של וקטורים המאונכים זה לזה. שני הווקטורים הללו נקראים הרכיבים של הווקטור הנתון.



איור 3.5
האלכסון של ריבוע גדול פי $\sqrt{2}$ מאורך כל אחת מהצלעות.

נתבונן שוב בסירת המנוע שמהירותה הרגילה במים שקטים היא 10 ק"מ/שעה. אם הסירה מכוונת לחצות את הנהר, הזורם גם הוא במהירות 10 ק"מ/שעה, מה תהיה מהירותה ביחס לגדה?

שאלה

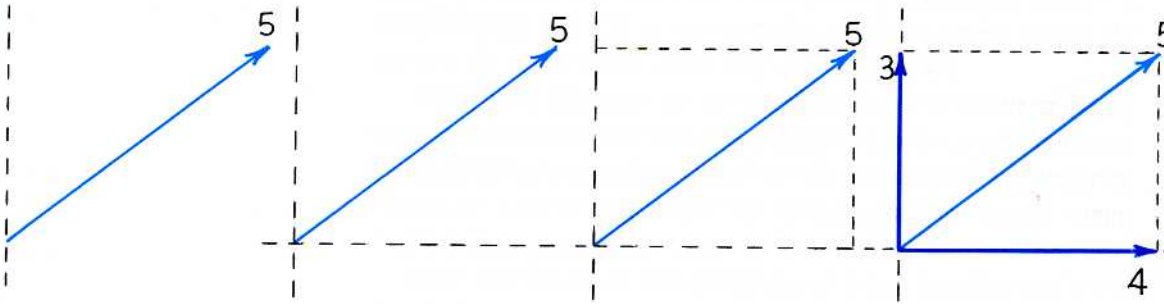
כאשר הסירה נעה בניצב לזרם מהירותה היא 14.14 ק"מ/שעה, בכיוון 45° במורד הנהר (בהתאם לאיור 3.5).

תשובה:

* בכל מקרה שבו וקטורים מאונכים זה לזה אפשר למצוא את השקול שלהם באמצעות משפט פיתגורס, הידוע מן הגיאומטריה. המשפט אומר שריבוע היתר במשולש ישר זווית שווה לסכום הריבועים של שני הניצבים. שימו לב לכך שבמקבילית (במקרה זה - מלבן) שבאיור 3.5 יש שני משולשים ישרי זווית. לגבי כל אחד מהם:

$$\begin{aligned} (\text{השקול})^2 &= (60 \text{ ק"מ/שעה})^2 + (80 \text{ ק"מ/שעה})^2 \\ &= 3600 + 6400 \text{ (ק"מ/שעה)}^2 \\ &= 10000 \text{ (ק"מ/שעה)}^2 \end{aligned}$$

השורש הריבועי של 10000 (ק"מ/שעה)² הוא 100 ק"מ/שעה.



איור 3.6

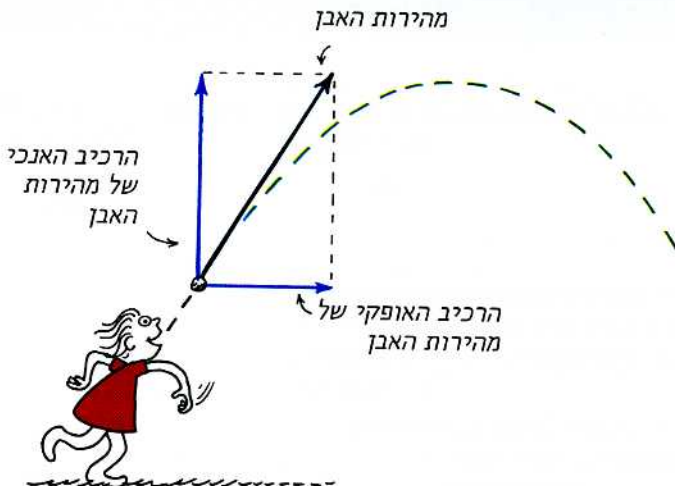
בניית הרכיב האנכי והרכיב האופקי של וקטור.

מצב כזה מתואר באיור 3.6 עבור וקטור הנוטה בזווית 37° ביחס לכיוון האופקי. נפריד אותו לזוג רכיבים מאונכים זה לזה - רכיב אופקי ורכיב אנכי. תחילה נשרטט קו אנכי מקוטע העובר דרך קצה זנבו של הווקטור. זה כיוונו של הרכיב האנכי. אחר כך נשרטט קו מקוטע דרך זנבו של הווקטור, בזווית ישרה לאנך - כלומר בכיוון האופקי. אחר כך נבנה מלבן שהאלכסון שלו הוא הווקטור הנתון. צלעות המלבן הן נותנות את הגדלים של רכיבי הווקטור. במקרה שלנו, שבו הזווית היא 37° , קל לראות שגודל הרכיב האופקי 4 יחידות וגודלו של הרכיב האנכי 3 יחידות.

כל וקטור ניתן לייצוג באמצעות רכיביו, האופקי והאנכי. באיור 3.7, למשל, מתוארים רכיבי המהירות, האופקי והאנכי, של אבן שנזרקה לאוויר. בתחילה כיוון המסלול נוטה בזווית הגדולה מ- 45° . שימו לב לכך שהרכיב האנכי גדול יותר מן הרכיב האופקי. בגלל כוח הכובד יקטן וילך הרכיב האנכי של המהירות עם עליית האבן. בשיא המסלול הרכיב האנכי יתאפס לרגע, אחר כך ישנה את כיוונו כלפי מטה וגודלו יגדל וילך עם ירידתה של האבן חזרה לעבר הקרקע. כך מתקבל מסלולה העקום של האבן.

איור 3.7

הרכיב האנכי והרכיב האופקי של מהירות האבן.



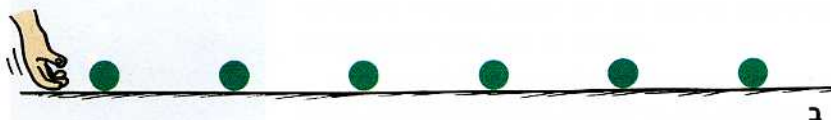
תנועת קלעים

קלע הוא כל עצם המוטל או נורה בדרך כלשהי וממשיך לנוע סמוך לפני כדור הארץ. אבן הנזרקת למרחק, פגז שנורה מתותח או כדור המתגלגל מקצה השולחן - כולם קלעים. קלעים אלה נעים במסלולים עקומים, שבמבט ראשון נראים מסובכים למדי. אולם, המסלולים ייראו פשוטים במידה מפתיעה אם נתבונן בנפרד ברכיב האופקי וברכיב האנכי של התנועה.

הרכיב האופקי של תנועת קלע אינו מסובך יותר מתנועתו האופקית של כדור המתגלגל בחופשיות על משטח אופקי. אם אפשר להתעלם מהשפעת החיכוך, הכדור נע במהירות קבועה. הואיל ואין כוח אופקי הפועל על הכדור, הוא מתגלגל עקב התמדדותו בלבד ועובר מרחקים שווים בפרקי זמן שווים. הוא מתגלגל ללא תאוצה. החלק האופקי של תנועת הקלע הוא ממש כתנועת הכדור על המישור (איור 3.8).

איור 3.8

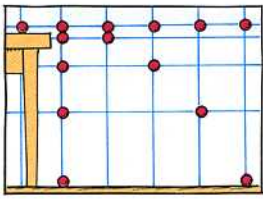
(א) הניחו לכדור ליפול והוא ינוע בתאוצה ויעבור בכל שנייה מרחק אנכי גדול יותר. (ב) גלגלו אותו על מישור אופקי, ומהירותו תישאר קבועה מפני שלכוח הכובד אין שום רכיב הפועל בכיוון אופקי.



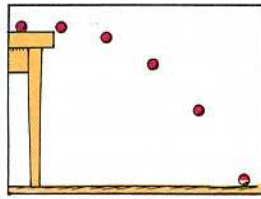
רכיב התנועה האנכי של קלע הנע במסלול עקום הוא בדיוק כתנועתו של גוף הנופל נפילה חופשית, שאותה תיארו בפרק 2. בדומה לכדור שמשחררים אותו באוויר ומניחים לו ליפול, גם הרכיב האנכי של תנועת הקלע מואץ בכיוון כוח הכובד של כדור הארץ - כלפי מטה (איור 3.8א). לאחר עוברו את שיא המסלול, הגידול במהירות בכיוון האנכי גורם לכך שבמרווחי זמן עוקבים ושווים הוא יעבור מרחקים גדלים והולכים.

חשוב להדגיש כי רכיב התנועה האופקי של הקלע הוא לחלוטין בלתי תלוי ברכיב האנכי של התנועה. כל עוד אין השפעה של החיכוך באוויר או של כוח אופקי אחר, הרכיב האופקי הקבוע של המהירות אינו מושפע מכוח הכובד, המשפיע רק על הרכיב האנכי של התנועה. חשוב להבין שכל רכיב מתנהג באורח בלתי תלוי ברכיב האחר. התנהגותם המצורפת יוצרת את המסלול העקום שבו נע הקלע.

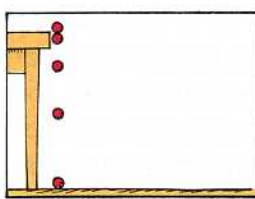
רעיונות אלה מתוארים בהדמיה של תצלום רב חשיפות שבאיור 3.9, שבה נראה מקומו של כדור שהתגלגל מקצה שולחן אופקי ברווחי זמן שווים. התבוננו בעיון בתצלום, המכיל מידע פיסיקלי רב. הדרך הטובה ביותר לנתח את מסלולו העקום של הכדור היא להתבונן בנפרד ברכיב האופקי וברכיב האנכי של התנועה. יש להבחין בשתי עובדות חשובות. הראשונה היא שרכיב התנועה האופקי של



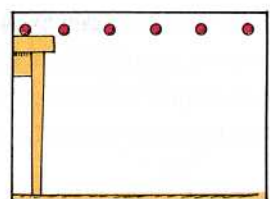
צירוף של המקרים הקודמים



תנועה אנכית ואופקית מורכבת



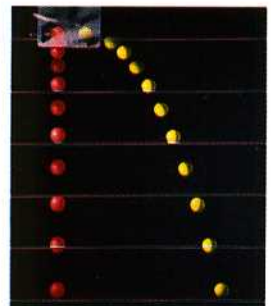
תנועה אנכית בלבד בהשפעת כוח הכובד



תנועה אופקית ללא כוח הכובד

איור 3.9

הדמיה של תצלומים מרובי חשיפות של כדור נע.



איור 3.10

תצלום רב חשיפות (באמצעות סטרובוסקופ) של שני כדורים המשוחררים בו זמנית ממתקן המאפשר לכדור האחד ליפול נפילה חופשית בעוד הכדור האחר נזרק אופקית.

הכדור אינו משתנה בעת שמתרחשת הנפילה. הכדור עובר מרחקים אופקיים שווים בפרקי הזמן השווים שבין חשיפה לחשיפה. זאת, מפני שלכוח הכובד אין רכיב הפועל בכיוון האופקי. כוח הכובד פועל רק כלפי מטה, ולכן התאוצה היחידה של הכדור היא כלפי מטה. העובדה השנייה שאפשר להבחין בה בתמונות היא שהמקומות האנכיים הולכים ומתרחקים זה מזה עם הזמן. המרחקים האנכיים שעובר הכדור שווים לאלה שהיה עובר אם היו מניחים לו פשוט ליפול. מעניין לציין שהתנועה כלפי מטה זהה לזו של נפילה חופשית. איור 3.10 הוא תצלום רב חשיפות אמיתי של שני כדורים ששוחררו יחד, אחד עם מהירות אופקית ואחד ללא מהירות אופקית.

צורת המסלול שעובר קלע המואץ רק בכיוון האנכי בעוד הוא נע במהירות קבועה בכיוון האופקי היא **פרבולה**. כשניתן להתעלם מהתנגדות האוויר - למשל כאשר הקלעים איטיים או כאשר התנגדות האוויר חלשה יחסית - המסלולים העקומים הם פרבוליים.

תארו לעצמכם קלע שנורה בזווית כלפי מעלה (איור 3.11). דמיינו לעצמכם לרגע שכוח הכובד חדל מלפעול. עקב ההתמדה, הקלע ינוע לאורך הקו הישר המתואר במקוטע. אך כוח הכובד קיים, ומה שקורה בפועל הוא שהקלע נופל ללא הרף מתחת לקו הדמיוני, עד שלבסוף הוא פוגע בקרקע. זיכרו: המרחק האנכי של נפילתו מתחת לכל נקודה שעל הקו המקוטע שווה למרחק האנכי שהוא היה נופל אילו הניחו לו ליפול ממנוחה למשך זמן שווה. המרחק, כפי שהראינו בפרק 2, נתון בנוסחה: $d = \frac{1}{2}gt^2$, שבה t הוא הזמן שחלף.

ברגע שבו יורים קליע מרובה המוחזק אופקית, משחררים קליע זהה המוחזק לצד הקנה. איזה משני הקליעים יפגע ראשון בקרקע?

שאלה

תשובה:

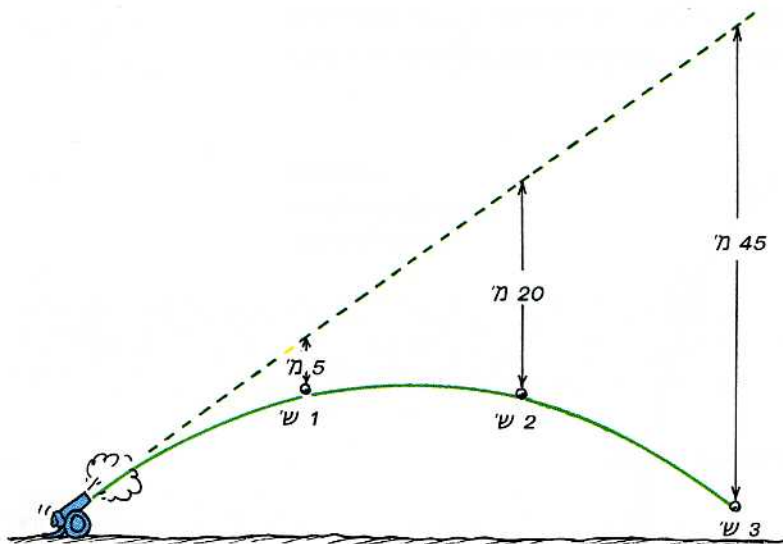
שני הכדורים נופלים אותו מרחק אנכי בתאוצה שווה (g) עקב כוח הכובד ולכן הם פוגעים בקרקע באותו זמן. האם הבנתם בכך שעובדה זו תואמת את הניתוח שעשינו באיורים 3.9 ו-3.10? יכולנו להציג את הטיעון בדרך שונה בכך שהיינו שואלים איזה מן הכדורים יפגע בקרקע תחילה אם נכוון את הרובה בזווית כלפי מעלה. במקרה זה, הכדור שפשוט מניחים לו ליפול יפגע בקרקע ראשון. עתה נתבונן במקרה שבו מכוונים את הרובה כלפי מטה. במקרה זה הכדור שנורה יפגע תחילה. כלומר, אם מכוונים למעלה - הכדור הנופל חופשית פוגע תחילה; מכוונים למטה - הכדור שנורה פוגע תחילה. חייבת להיות זווית ביניים כלשהי שבה שניהם יפגעו בקרקע באותו רגע. שימו לב שהדבר יקרה כשהרובה אינו מכוון למעלה וגם לא למטה אלא כשהוא אופקי.

נוכל להציג זאת באופן אחר: נירה קלע בזווית כלשהי לשמים ונדמה לעצמנו שכוח הכובד אינו פועל. כעבור שניות אחדות t , הקלע אמור להיות בנקודה מסוימת לאורך מסלולו המתווה קו ישר. אבל בשל כוח הכובד הוא אינו שם. היכן הוא? התשובה היא שהקלע נמצא בדיוק מתחת לנקודה הזאת. כמה מתחתיה? התשובה במטרים היא $5t^2$ (או, ליתר דיוק, $4.9t^2$). מה דעתכם על כך? הרי עוד עובדה שאפשר להבחין בה באיור 3.11. הפגז נע מרחקים אופקיים שווים במרווחי זמן שווים. זאת מכיוון שאין כל תאוצה בכיוון האופקי. התאוצה היחידה היא אנכית, בכיוון כוח הכובד של כדור הארץ. המרחק האנכי של הקלע מן הקו הישר גדל בריצפות במרווחי זמן שווים.

שאלות

1. נניח שהפגז באיור 3.11 נורה במהירות גבוהה יותר. כמה מטרים מתחת לקו המקוטע הוא יימצא בתום 5 שניות?
2. אם הרכיב האופקי של מהירות הפגז הוא 20 מ'ש', מה המרחק האופקי שיעבור הפגז במשך 5 שניות?

איור 3.11



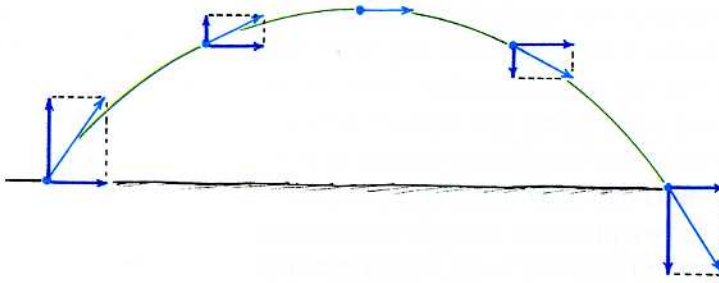
בהעדר כוח הכובד, הקלע היה נע לאורך קו ישר (הקו המקוטע). אך בשל כוח הכובד, הוא נופל מתחת לקו זה מרחק אנכי שווה לזה שהוא היה נופל אילו שחררו אותו ממנוחה. השוו את מרחקי הנפילה לאלו שבטבלה 2.3 שבפרק 2. (אם 9.8 מ' לש"ש g , מרחקים אלה יהיו, ליתר דיוק, 4.9 מ', 19.6 מ', ו-44.1 מ').

תשובות:

1. בהנחה ש-10 מ'ש"ש g , המרחק האנכי מתחת לקו המקוטע יהיה 125 מ'.
[אם נשתמש ב-9.8 מ'ש"ש g , המרחק יהיה 122.5 מ'.]
[$d = 5t^2 = 5(5)^2 = 5(25) = 125$].
מעניין לציין שמרחק זה אינו תלוי בזווית התותח. בהזנחת התנגדות האוויר כל קלע יפול $5t^2$ מטרים מתחת למקום שהוא מגיע אליו בהעדר כוח הכובד.
2. בהעדר התנגדות האוויר, הפגז ינוע מרחק אופקי של 100 מ' $[d = vt = (20)(5) = 100]$. שימו לב לכך שמכיוון שכוח הכובד פועל רק אנכית ואין תאוצה בכיוון האופקי, הפגז יעבור מרחקים אופקיים שווים בזמנים שווים. מרחק זה הוא פשוט הרכיב האופקי של המהירות כפול הזמן.

איור 3.12

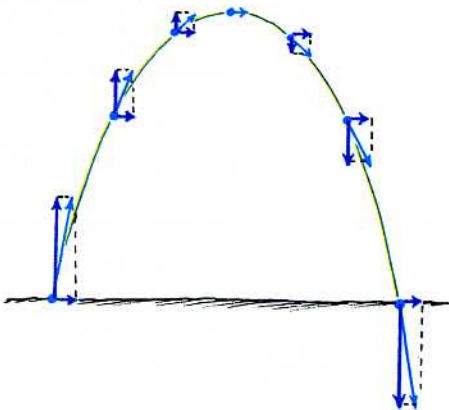
מהירותו של קלע בנקודות שונות לאורך מסלולו. שימו לב שהרכיב האנכי משתנה בעוד הרכיב האופקי שווה בכל מקום.



באיור 3.12 מוצגים וקטורים המייצגים הן את הרכיב האופקי והן את הרכיב האנכי של מהירות קלע הנע במסלול פרבולי. שימו לב לכך שהרכיב האופקי שווה בכל מקום, ורק הרכיב האנכי משתנה. שימו לב גם לכך שהמהירות עצמה מיוצגת באמצעות הווקטור שהוא אלכסון המלבן הנוצר על ידי שני רכיבי וקטור המהירות. בשיא המסלול הרכיב האנכי מתאפס, כך שהמהירות בנקודה זו היא הרכיב האופקי של המהירות בכל שאר הנקודות. בכל מקום אחר שיעורה של המהירות גדול יותר (האלכסון במלבן תמיד גדול יותר מכל אחת מן הצלעות). באיור 3.13 מתואר הנתביב שעובר קלע שנורה במהירות שווה בגודלה למהירות הקלע שבאיור 3.12, אך בזווית תלולה יותר. במקרה זה, לווקטור המהירות ההתחלתית יש רכיב אנכי גדול יותר. התוצאה של רכיב אנכי גדול יותר היא מסלול גבוה יותר. אך הרכיב האופקי כאן קטן יותר, והתוצאה היא טווח קטן יותר.

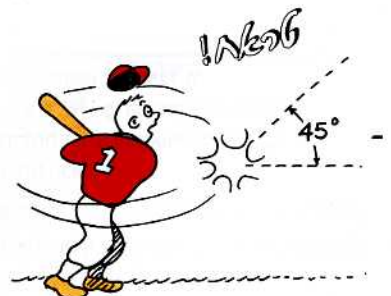
איור 3.13

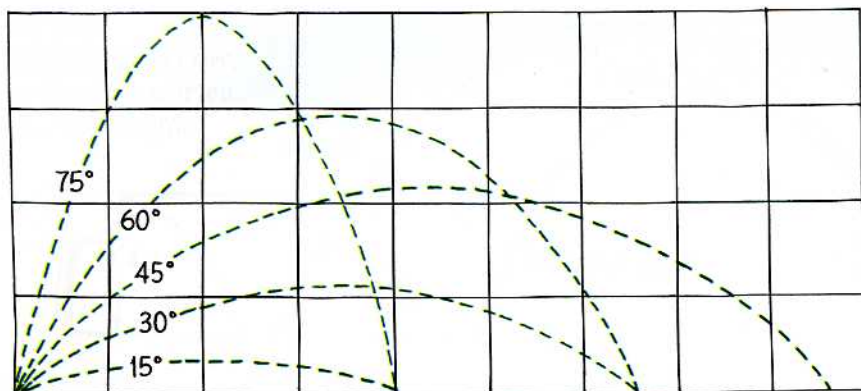
מסלולו של קלע שהוטל בזווית תלולה יותר.



איור 3.14

הטווח הגדול ביותר יושג אם יחבטו בכדור בזווית של 45° בקירוב. (אמנם במקרים שבהם התנגדות האוויר אינה זניחה הטווח המרבי מושג בזוויות קטנות מ- 45° .)





איור 3.15
הטווחים של
קלע שנורה
במהירויות
התחלתיות
השוות בגודלן אך
בזוויות הטלה
שונות.

באיור 3.15 מתוארים מסלוליהם של קלעים אחדים שלכולם שיעור מהירות התחלתי שווה אך זוויות ההטלה שלהם שונות. כאן מזניחים את השפעת התנגדות האוויר ולכן המסלולים הם כולם פרבולות. שימו לב לכך שבכל אחד מהמקרים שונה שיא המסלול, או הגובה המרבי, שאליו מגיעים קלעים אלה. גם הטווח האופקי, או המרחק האופקי שאליו הם מגיעים, שונה במקרים השונים. הנקודה הראויה לציון באיור 3.15 היא שאותו טווח מושג משתי זוויות הטלה שונות - זוויות שסכומן הוא 90° : לעצם הנזרק לאוויר בזווית בת 60° , למשל, יהיה אותו טווח שהיה לו אילו נזרק בזווית של 30° . כמובן שבזווית הקטנה יותר העצם ישהה באוויר זמן קצר יותר. עסקנו בהדגשה במקרה המיוחד של תנועת קלע ללא התנגדות האוויר. כשהתנגדות האוויר קיימת, טווח הקלע קצר יותר, שיא המסלול נמוך יותר, וצורתו אינה פרבולה אמיתית (איור 3.16).

1. קלע נזרק בזווית כלשהי לאוויר. אם נתעלם מהתנגדות האוויר, מהי תאוצת הרכיב האנכי של תנועתו? מהי תאוצת הרכיב האופקי?
2. באיזה חלק של המסלול יהיה גודל מהירותו של קלע הקטן ביותר?

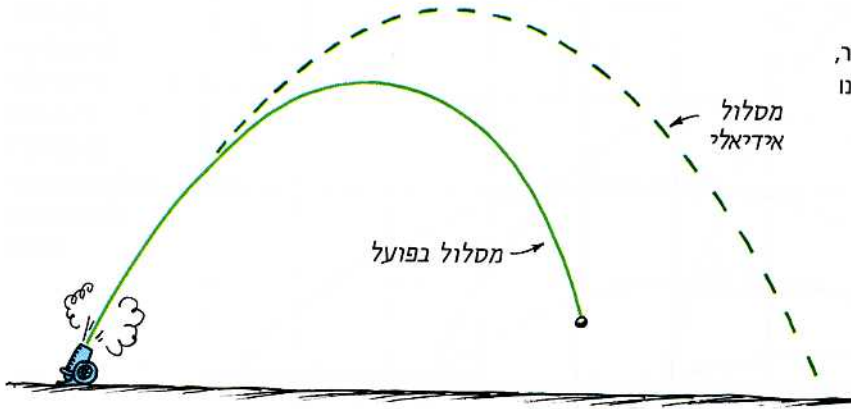
שאלות

תשובות:

1. התאוצה בכיוון האנכי היא g מפני שכוח הכובד פועל בכיוון האנכי (בפרק הבא נראה שהתאוצה היא תמיד בכיוון הכוח שפועל על הגוף). התאוצה בכיוון האופקי היא אפס מפני ששום כוח אופקי אינו פועל על הקלע.
2. בשיא המסלול גודל מהירותו של קלע הוא הקטן ביותר. אם הוא מוטל אנכית, מהירותו בשיא המסלול תהיה אפס. אם הוא נזרק בזווית, הרכיב האנכי של המהירות הוא אפס בשיא המסלול, ושאר רק הרכיב האופקי. במילים אחרות, המהירות בשיא שווה לרכיב האופקי של מהירות הקלע בכל נקודה. האין זה נאה?

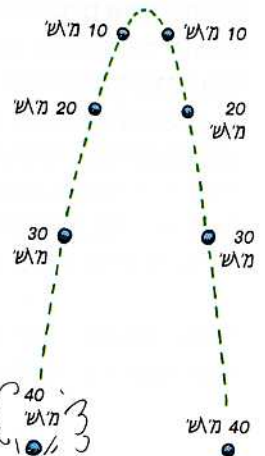
איור 3.16

בהשפעת התנגדות האוויר, מסלולו של קלע מהיר אינו מגיע לצורת פרבולה.



אם התנגדות האוויר היא כה קטנה שניתן להזניחה, קלע יגיע לגובהו המרבי באותו פרק זמן שנדרש לו כדי ליפול מגובה זה לקרקע (איור 3.17). הסיבה לכך היא שהתאוצה שגורם כוח הכובד בעלייה שווה לתאוצה עקב כוח הכובד בירידה. וכך, הקלע מגיע לקרקע כשגודל מהירותו שווה לזה שהיה לו כשאך נזרק כלפי מעלה.

משחקי כדור נערכים בדרך כלל על מגרשים מישוריים. ביחס למרחקים הקצרים שעוברים הכדורים במשחק אפשר לראות את פני כדור הארץ כשטוחים - מעופו של הכדור אינו מושפע מעיקום פני כדור הארץ. אולם בקלעים בעלי טווח ארוך מאוד יש להתחשב בעיקום כדור הארץ. להלן ניווכח לדעת כי אם משליכים עצם במהירות שהיא גבוהה במידה מספקת, "נפילתו" תהיה כה ארוכה עד שיקיף את כדור הארץ ויהפוך ללוויין.



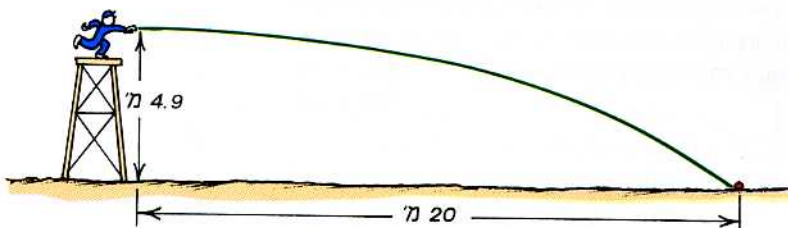
קלעים מהירים - לוויינים

נתבונן בשחקן שבאיור 3.18, הניצב על מגדל ומשליך כדור. אילו לא פעל כוח הכובד על הכדור הוא היה נע לאורך הקו הישר המקוטע. אך כוח הכובד קיים, ולכן הכדור נופל אל מתחת למסלול ישר זה. למעשה, במשך השנייה הראשונה אחרי שעזב את יד השחקן, הכדור ייפול 4.9 מטרים מתחת לקו המקוטע, וזאת ללא תלות במהירות הזריקה. הדבר חשוב מפני שזו הנקודה המרכזית שיש להבין בתנועת לוויינים.



איור 3.17

ללא התנגדות האוויר, איבוד המהירות בעת העלייה שווה לתוספת המהירות בעת הירידה; משך העלייה שווה למשך הירידה.

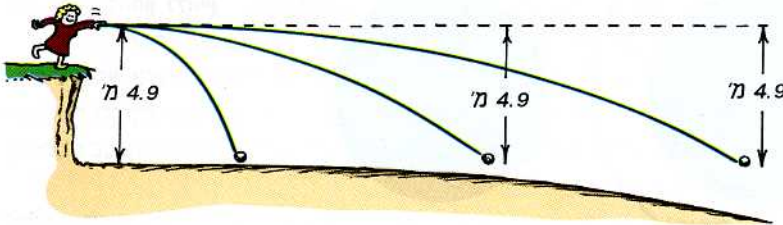


איור 3.18

באיזו מהירות נזרק הכדור?

שאלה

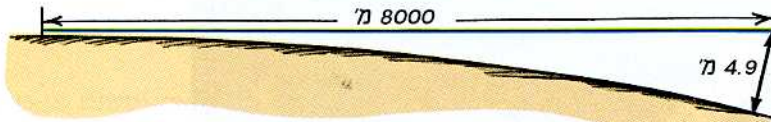
השחקן שעל המגדל זורק את הכדור למרחק אופקי של 20 מ' כמתואר באיור 3.18. באיור מהירות נזרק הכדור?



איור 3.19

אם תזרקו אבן במהירות כלשהי, כעבור שנייה אחת היא תיפול 4.9 מטרים אל מתחת לנקודה שאליה היא היתה מגיעה בהעדר כוח הכובד.

לוויין של כדור הארץ הוא פשוט קלע הנופל מסביב לכדור הארץ במקום ליפול עליו. מהירות הלוויין צריכה להיות גדולה במידה מספקת כדי שמרחק נפילתו יתאים לעיקום כדור הארץ*. עובדה גיאומטרית בדבר העיקום של כדור הארץ היא שאם תתקדמו 8000 מטרים לאורך משיק לפני הכדור תצטרכו לרדת 4.9 מטרים כדי להישאר סמוך לפני הכדור (איור 3.20)**. פירוש הדבר הוא שאילו צפתם על פני אוקיינוס רוגע הייתם מסוגלים לראות רק את קצהו העליון של תורן שגובהו 4.9 מטרים על ספינה המרוחקת מכך 8 קילומטרים. לכן, אילו ניתן היה להשליך את הכדור במהירות גבוהה במידה מספקת שהוא ינוע מרחק אופקי של 8 קילומטרים במשך הזמן שנדרש לו כדי ליפול 4.9 מטרים (1 שנייה), הוא היה נע במקביל לעיקום כדור הארץ. קל לראות שהמהירות הנדרשת היא 8 קילומטרים בשנייה. אם המהירות אינה נראית לכם גבוהה נסו להמיר זאת לקילומטרים בשעה (קמ"ש) ותקבלו את המספר המדהים 29,000 קמ"ש/שעה!



איור 3.20

עיקום כדור הארץ – לא בקנה מידה אמיתי.

תשובה:

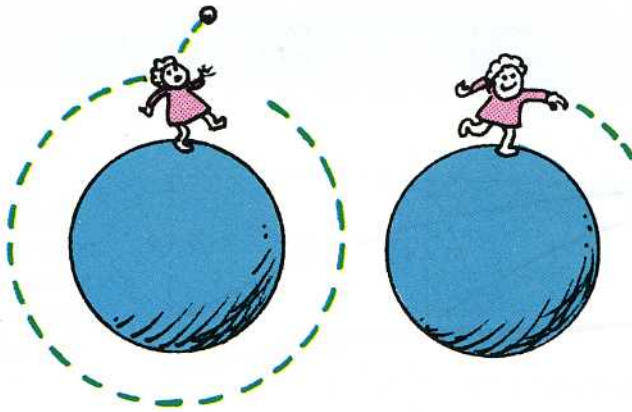
הכדור נזרק אופקית, ולכן מהירות הזריקה שווה למרחק האופקי מחולק בזמן. נתון שהמרחק האופקי הוא 20 מ', אך לא נאמר מהו הזמן. אולם, בשעה שהכדור נע אופקית במהירות קבועה, הוא נופל בהשפעת כוח הכובד מרחק אנכי של 4.9 מ', ולכן נדרשת שנייה אחת. מהירות הזריקה היא איפוא 20 מ'ש' ($1 \text{ ש} / (20 \text{ מ}') = v = d/t$). מעניין לציין שהמשוואה לתנועה במהירות קבועה, $v = d/t$, ממש מנחה את מחשבתנו אל הגורם החשוב בבעיה – גורם הזמן.

* ההגדרה המקובלת של "ליפול" היא "להתקרב אל כדור הארץ"; לוויינים כדוגמת הירח אינם מתקרבים. במדע נמצא פעמים רבות שההגדרה הטכנית של מושג שונה מההגדרה המקובלת. כך למשל אנחנו אומרים כי "השמש עולה" או "הירח שוקע", אך טכנית הדבר אינו קורה.

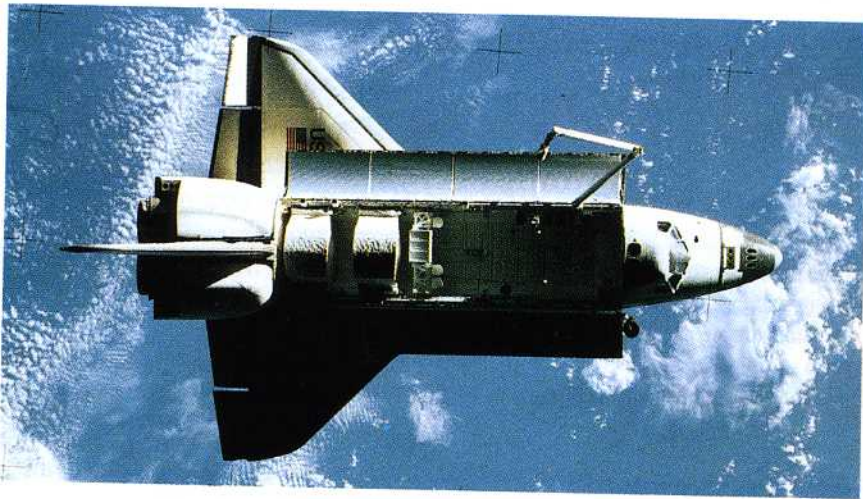
** משיק למעגל או לפני כדור הארץ הוא קו ישר הנוגע במעגל או בפני הכדור בנקודה מסוימת, כך שהוא מקביל למעגל בנקודת המגע.

איור 3.21

אם מהירות האבן מספיק גדולה, כך שעיקום המסלול יתאים לזה של כדור הארץ, היא עשויה להפוך ללוויין.



במהירות כזאת, החיכוך באטמוספירה היה שורף כליל כל כדור, אפילו אם היה עשוי ברזל. זה גורלם של גרגרי חול ומטאוריטים אחרים החולפים דרך אטמוספירת כדור הארץ ונשרפים. לנו הם נראים כ"כוכבים נופלים". זו הסיבה לכך שלוויינים כמו מעבורות החלל משוגרים לגובה של 150 קילומטרים או יותר. רבים טועים וחושבים שלוויינים הסובבים את כדור הארץ במסלולים גבוהים חופשיים מהשפעת כוח הכובד של כדור הארץ. לא ולא; זוהי טעות יסודית. בהמשך ניווכח שכוח הכובד על לויין בגובה של 150 קילומטרים מעל הקרקע קטן אך במעט מהכוח הפועל עליו על פני כדור הארץ. המסלול הגבוה נועד להרחיק את הלוויין מהאטמוספירה של כדור הארץ, לא מכוח הכובד שלו! נחזור לתנועת לוויינים ולכוח הכובד בפרקים 8 ו-9.



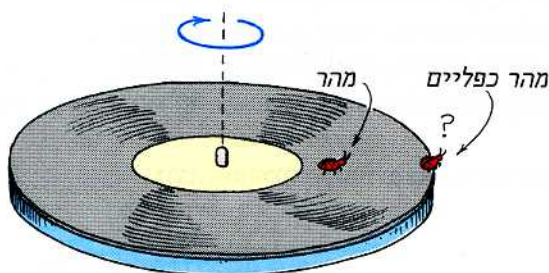
איור 3.22

מעבורת החלל היא קלע השרוי במצב של נפילה חופשית מתמשכת. בשל מהירותה המשיקית הגבוהה, היא נופלת מסביב לכדור הארץ ולא אל פניו.

מי נע מהר יותר בסחרחרת (קרוסלה) - סוס הקרוב למעקה החיצוני או סוס הקרוב למרכז? איזה חלק של תקליט או של תקליטור נע מהר יותר מתחת לזרוע הקולטת - החלק המצוי בצידו החיצוני של התקליטור או החלק הסמוך למרכז? אם תציגו שאלות אלו לאנשים שונים תקבלו תשובות שונות. הסיבה לכך היא שקל להתבלבל בין מהירות קווית למהירות סיבובית.

מהירות קווית היא מה שקראנו בפשטות גודל-המהירות - המרחק במטרים או בקילומטרים שהגוף עובר ביחידת הזמן. נקודה בחלקם החיצוני של סחרחרת או תקליט עוברת מרחק גדול יותר בסיבוב שלם אחד מאשר נקודה הסמוכה למרכז. המהירות הקווית גדולה יותר בחלקו החיצוני של גוף מסתובב מבחלקו הסמוך לציר הסיבוב.

מהירות סיבובית (הנקראת לעיתים מהירות זוויתית) מתייחסת למספר הסיבובים ביחידת זמן. כל החלקים של הסחרחרת הקשיחה, של התקליט או של התקליטור משלימים הקפה מסביב לציר הסיבוב באותו פרק זמן. לכולם יש קצב סיבוב משותף, כלומר אותו מספר סיבובים ביחידת זמן. נהוג לבטא את קצב הסיבוב בסיבובים לדקה (סל"ד)*. תקליט אריך-נגן רגיל, לדוגמה, מסתובב בקצב של $33\frac{1}{3}$ סל"ד. מקדחה חשמלית עשויה להגיע לקצב של 800 סל"ד ואילו מחוג השעות בשעון משלים סיבוב אחד ב-12 שעות או $1/720$ סל"ד.



איור 3.23

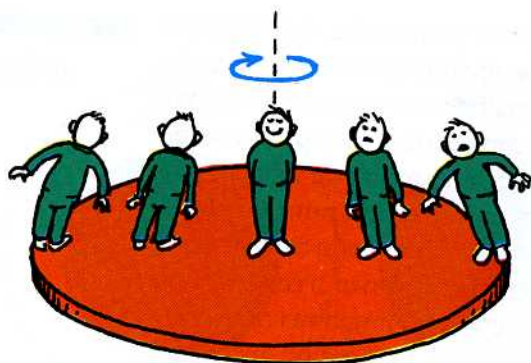
התקליט כולו מסתובב במהירות סיבובית אחת, אולם החיפושיות, המצויות במרחקים שונים מהמרכז, נעות במהירויות קוויות שונות. החיפושית שנמצאת במרחק כפול מן המרכז נעה במהירות קווית כפולה.

קיים קשר בין מהירות קווית ומהירות סיבובית. האם נסעתם אי-פעם בסחרחרת גדולה בלונה-פארק? ככל שהסחרחרת מסתובבת מהר יותר כך גדלה מהירותכם הקווית. זה הגיוני; ככל שגדל מספר הסל"ד גדלה מהירותכם במטרים לשנייה. ליתר דיוק, קיים יחס ישר בין המהירות הקווית למהירות הסיבובית. אם מכפילים את מספר הסל"ד, גם מהירותכם הקווית גדלה פי שניים; הגדילו את מספר הסל"ד פי שלושה וגם המהירות הקווית תגדל באותו שיעור. אומרים שהמהירות הקווית נמצאת ביחס ישר (או שהמהירות הקווית מתכונתית) למהירות הסיבובית.

* בפיסיקה נהוג לתאר את קצב הסיבוב במונחים של הזווית שהגוף הסתובב ביחידת זמן. במקרה זה המהירות הסיבובית תסומן ב- ω (האות היוונית אומגה).

איור 3.24

המהירות הקווית של כל אחד
מן האנשים שווה למכפלת
המהירות הסיבובית של
המשטח $\times$ המרחק מן הציר
המרכזי.



שלא כמהירות הסיבובית, המהירות הקווית תלויה במרחק מן הציר. ממש במרכז המשטח המסתובב אין כלל מהירות קווית, רק סיבוב. אולם ככל שתתקרב אל קצה המשטח תבחינו שאתם נעים יותר ויותר מהר. המהירות הקווית נמצאת ביחס ישר למרחק מציר הסיבוב. הגדילו פי שניים את מרחקכם מציר הסיבוב שבמרכז ותמצאו את עצמכם נעים במהירות גדולה פי שניים. התרחקו פי שלושה, והמהירות הקווית תגדל פי שלושה. אם אתם מצויים במערכת מסתובבת כלשהי, מהירותכם הקווית תלויה במרחקכם מציר הסיבוב. כששורה של אנשים שזרועותיהם שלובות זו בזו מסתובבים יחד על משטח להחלקה-על-קרח, תנועתו של הקיצוני בשורה היא הוכחה למהירות הגדלה עם המרחק מהציר.

ובכן, המהירות הקווית נמצאת ביחס ישר הן למהירות הסיבובית והן למרחק מן הציר*.

שאלה

ילד עומד בחצי המרחק שבין ציר הסיבוב לבין השוליים, על גבי משטח מסתובב כמו זה המתואר באיור 3.24. אם המשטח מסתובב במהירות סיבובית של 20 סל"ד, ומהירותו הקווית של הילד היא 2 מ'ש', מהי מהירותו הסיבובית ומהי מהירותו הקווית של ילד הנמצא ממש בשולי המשטח?

תשובה:

הואיל והמשטח המסתובב הוא קשיח, כל חלקיו מסתובבים באותה מהירות סיבובית, ולכן גם הילד מסתובב בקצב של 20 סל"ד. אך המהירות הקווית היא כבר עניין אחר; מכיוון שמרחקו מציר הסיבוב גדול כפליים, הוא נע במהירות קווית כפולה - 4 מ'ש'.

*במסגרת קורס מתקדם יותר בפיסיקה תוכלו ללמוד שאם משתמשים ביחידות מתאימות עבור המהירות הקווית v , המהירות הזוויתית ω והמרחק מהציר r , היחס הישר שבין v ל- ω מתבטא בשוויון $v = r\omega$.

מהירותו של המטוס ביחס לקרקע?

9. גודל הווקטור השקול באוויר 3.5 הוא 100. מה גודלם של רכיביו, האופקי והאנכי?

10. אבן נזרקת בזווית כלפי מעלה. מה קורה לרכיב האנכי של מהירותה כשהיא מתרוממת? כשהיא יורדת?

תנועת קלעים

11. מהו קלע? תנו שלוש דוגמאות.

12. אבן נזרקת בזווית כלפי מעלה. מה קורה לרכיב האופקי של מהירותה כשהיא מתרוממת? כשהיא יורדת?

13. כשהתנגדות האוויר אינה משפיעה על תנועת הקלע, הוא עובר מרחקים אופקיים שווים בפרקי זמן שווים. נכון או לא נכון?

14. כשהתנגדות האוויר אינה משפיעה על תנועת הקלע, הרכיב האופקי והרכיב האנכי של מהירותו אינם משתנים. נכון או לא נכון?

15. השינויים ברכיב האנכי של מהירות הקלע מתכונתיים (נמצאים ביחס ישר) לשינויים ברכיב האופקי של מהירותו. נכון או לא נכון?

16. מסלולו של קלע נמוך יותר מן הקו הישר שבו היה נע בהעדר כוח הכובד. כמה מטרים מתחת לקו זה הוא נמצא אם הזמן שחלף מאז תחילת התנועה הוא שנייה אחת? 2 שניות?

17. האם תלויה תשובתכם לשאלה הקודמת בזווית שבה נזרק הקלע?

18. מדוע משתנה הרכיב האנכי של מהירות הקלע במשך הזמן, ואילו הרכיב האופקי אינו משתנה?

19. קלע נורה בזווית 75° מעל לכיוון האופקי ופוגע בקרקע במרחק מסוים מנקודת המוצא. באיזו זווית זריקה אחרת היה הקלע מגיע לאותו מרחק?

20. קלע נזרק אנכית למעלה במהירות 100 מ/ש. אם ניתן להזיח את התנגדות האוויר, באיזו מהירות יחזור הקלע לגובה שממנו נזרק?

קלעים מהירים – לוויינים

21. כיצד יכול קלע "ליפול מסביב לכדור הארץ"?

22. מדוע ינוע קלע שנע אופקית במהירות 8 ק"מ/שנייה במסלול עקום התואם את עיקום כדור הארץ?

23. מדוע חשוב שהקלע בשאלה הקודמת יימצא מעל לאטמוספירת כדור הארץ?

תנועה מעגלית

24. מהו ההבדל בין מהירות קווית למהירות סיבובית?

תקציר מונחים

גודל וקטורי גודל המאפיין הן בשיעורו והן בכיוונו. דוגמאות לגדלים כאלה הן כוח, מהירות ותאוצה.

גודל סקלארי גודל פיסיקלי המאפיין בשיעורו אך אין לו כיוון. דוגמאות הן מסה ונפח.

וקטור חץ המשוורטט בקנה מידה והמשמש להצגת גודל וקטורי.

שקול התוצאה של צירוף שני וקטורים או יותר.

קלע כל עצם הנזרק בכיוון מסוים ומאותו רגע פועל עליו כוח הכובד בלבד.

פרבולה צורה גיאומטרית; המסלול העקום שבו נע קלע בהשפעת משיכת הכבידה צורתו פרבולה.

מהירות קווית המרחק שעבר עצם ביחידת זמן. נקראת גם בפשטות מהירות.

מהירות סיבובית מספר הסיבובים, או ההקפות, ליחידת זמן; נמדדת לעיתים קרובות בסיבובים לשנייה או בסיבובים לדקה.

שאלות חזרה

1. פרט את ההבדלים בין תנועה על קו ישר לתנועה לא-ישרה.

תנועה יחסית

2. הסבר למה מתכוונים כשאומרים שתנועה היא יחסית.

3. אתם הולכים במהירות 1 מ/ש' בתוך אוטובוס הנוסע במהירות 10 מ/ש'. מהי מהירות התנועה שלכם ביחס לכביש אם אתם נעים לעבר חלקו הקדמי של האוטובוס? לעבר חלקו האחורי?

המהירות – גודל וקטורי

4. מהו גודל וקטורי? תנו שלוש דוגמאות.

5. מהו גודל סקלארי? תנו שלוש דוגמאות.

6. מטוס טס באוויר במהירות 200 ק"מ/שעה. אם נושבת מזל רוח חזיתית שמהירותה 40 ק"מ/שעה, מהי מהירות המטוס ביחס לקרקע שמתחתיו?

7. האם מלבן הוא מקבילית? האם ריבוע הוא מקבילית?

8. אם מטוס שטס במהירות של 100 ק"מ/שעה באוויר נקלע לרוח צד שמהירותה 100 ק"מ/שעה, מה תהיה

25. אם מגדילים פי 2 את מהירות הסיבוב של משטח, כיצד תשתנה המהירות הקווית בכל מקום על המשטח?

26. אם המהירות הסיבובית של המשטח אינה משתנה אך המרחק מן המרכז גדל פי 2, מה קורה למהירות הקווית?

תרגילים

1. הניחו שכדי לחצות נהר זורם אתם שוחים בכיוון מאונך לכיוון זרימתו ומגיעים לגדה הנגדית בנקודה במורד הנהר המרוחקת מרחק קטן יותר מרוחב הנהר. השוו את מהירות השחייה שלכם למהירות הזרימה של הנהר.

2. מדוע יוצרות טיפות גשם הנופלות אנכית קווים אלכסוניים על החלונות הצדדיים של מכונית נוסעת? אם הקווים האלכסוניים מהווים זווית של 45° עם הכיוון האנכי, מה תוכלו ללמוד מכך על היחס בין מהירות המכונית למהירות הנפילה של טיפות הגשם בעת שהן פוגעות בשמשה?

3. תארו לעצמכם שאתם נוסעים במכונית פתוחה וזורקים גולת זכוכית הישר למעלה. בעוד הגולה באוויר הנהג לוחץ על דוושת הבלמים. היכן תנחת הגולה ביחס למכונית?

4. אתם עומדים באוטובוס הנוסע במהירות קבועה ומשחררים מידכם כדור. מסלול נפילתו ייראה לכם כקו ישר אנכי. כיצד ייראה המסלול לחבר העומד בצד הכביש?

5. נניח שמשליכים חפץ כלשהו ממטוס שטס במהירות קבועה, ונניח גם שהתנגדות האוויר אינה משפיעה על החפץ הנופל. מה יהיה מסלול הנפילה מנקודת ראותו של צופה השרוי במנוחה על הקרקע, במרחק מה מן הצד? מה יהיה מסלול הנפילה מנקודת ראותו של צופה הנמצא במטוס ומסתכל כלפי מטה? היכן יפגע החפץ בקרקע יחסית לצופה שבמטוס? היכן הוא יפגע במקרה המציאותי יותר, שבו להתנגדות האוויר יש השפעה ממשית?

6. השוו בין רכיב התנועה כלפי מטה של קלע לבין נפילה חופשית אנכית.

7. אם זורקים אבן מראש צוק, כיצד משתנה (אם בכלל) הרכיב האופקי של מהירותה בנקודות השונות לאורך המסלול?

8. לאיזה מרחק מתחת לקו הישר שבכיוונו נורק קלע הוא ייפול במשך שנייה אחת? האם התשובה תלויה בכיוון הזריקה או במהירות ההתחלתית של הקלע? נמקו את תשובתכם!

9. נניח שאתם עומדים על מרפסת בחשיכה ורוצים לאמוד את גובה המרפסת מעל לקרקע. אתם עוזבים אבן מעבר

למעקה ושומעים שפגעה בקרקע כעבור שנייה אחת. מהו גובה המרפסת? כיצד ניתן היה לנצל את האבן להערכת גובה המרפסת אילו לא עמדתם קרוב למעקה ולא יכולתם פשוט להניח לאבן ליפול?

10. חבר אחד טוען שהקליעים הנורים מרובה מסוים נעים מרחק ניכר בקו ישר מבלי ליפול. חבר אחר חולק עליו וטוען שכל קליע, מכל רובה, נופל מתחת לקו הישר שבכיוונו נורה למרחק אנכי הנתון בנוסחה $\frac{1}{2}gt^2$, וכי המסלול העקום בולט יותר במהירויות נמוכות ובולט פחות במהירויות גבוהות. מה דעתכם. האם כל הקליעים נופלים מרחקים שווים בפרקי זמן שווים? הסבירו.

11. באיזו זווית יש להחזיק צינור השקיה כדי שהמים יגיעו למרחק הגדול ביותר?

12. שומר בגן החיות יורה חץ הרדמה לעבר קוף שנאחז בענף של עץ. השומר מכוון את החץ הישר לעבר הקוף מבלי להיות מודע לכך שהוא ינוע במסלול פרבולי ולכן יחלוף מתחת לקוף. אולם הקוף, שהשתמט משיעורי הפיסיקה, מבחין בחץ עם שיעורו ונשמט מן הענף כדי לא להיפגע.

היפגע החץ בקוף? בהנחה

שמהירות החץ גדולה דיה כך

שהחץ יעבור את המרחק

האופקי עד לעץ לפני שיפגע

בקרקע, האם תלויה התשובה

במהירות החץ? נמקו!



13. קלע נורה הישר כלפי מעלה במהירות 141 מ'ש'. מהי מהירות הקלע ברגע שהוא מגיע לשיא מסלולו? אילו היה הקלע נורה בזווית של 45° , מה היתה מהירותו בשיא המסלול?

14. בהזנחת התנגדות האוויר, אם זורקים כדור במהירות 20 מ'ש' לעבר חבר, הניצב יחד איתכם באותו מישור

בחסרת אילוצי הפיסיקה צליק אלאף
קוצץ כל אלהבין אה האיוצד האובא בפרק. אה
אנסו אפגור אה הגרואלוק אפני כן - הפ
נודעו ארגולו (נול אשובה, אלאר שהבגא
אה האואר א צוכיו.



22. אם תתקינו במכוניתכם צמיגים בעלי קוטר גדול, כיצד תשתנה הוריית מד-המהירות (הספידומטר, מד-המהירות, מודד למעשה סל"ד)?

בעיות

1. מהירותו של מטוס ביחס לאוויר היא 100 ק"מ/שעה. אם נושבת רוח צד שמהירותה 100 ק"מ/שעה, מהי מהירות המטוס ביחס לקרקע?

2. קליע נורה אופקית במהירות התחלתית 250 מ/ש' ממגדל שגובהו 20 מ'. חשבו את משך הזמן שהקליע שוהה באוויר. אם התנגדות האוויר זניחה, חשבו את המרחק האופקי שהקליע יעבור עד לפגיעתו בקרקע.

3. מטוס מאבד מנוע בעת שהוא טס אופקית במהירות 1000 ק"מ/שעה (280 מ/ש'). בהזנחת התנגדות האוויר, אם עוברות 30 ש"ע לפגיעת המנוע בקרקע, חשבו מהו המרחק האופקי שעבר המנוע בפילתו. אם בדרך כלשהי המטוס ממשיך לטוס כאילו לא אירע דבר, השוו בין המרחק שיעבור המטוס לבין המרחק האופקי שעבר המנוע בפילתו באותו זמן (שוב בהנחה שאין התנגדות-אוויר).

4. דן ודנה מסתכלים ממרפסת שגובהה 80 מ' על בריכת שחייה הממוקמת במרחק 20 מ' מתחתית הבניין שעליו הם עומדים. הם תוהים באיזו מהירות עליהם לזרוק אופקית כדור גומי קטן כדי שיגיע לבריכה. מהי תשובתכם?

5. כמה זמן מבלה באוויר שחקן כדורסל אם הוא מתקדם למרחק של 1.8 מ' כשהוא קופץ לגובה 1.2 מ'? מהו משך השהייה באוויר אם התקדמותו האופקית בקפיצה זו היא 2.4 מ'?

6. מיצאו את המהירות הקווית של אופניים שהיקף הגלגלים שלהם הוא 2 מ' אם קצב הסיבוב של הגלגלים הוא 1 סיבוב לשנייה.

7. מיצאו את מהירותו הקווית של אדם על סחרחרת שהרדיוס שלה 10 מ' המסתובבת פעם אחת בכל 30 שניות.

אופקי, האם יגיע הכדור אל החבר במהירות 20 מ/ש', במהירות גדולה יותר או במהירות קטנה יותר? מה קורה אם מתחשבים בהשפעת התנגדות האוויר?

15. בשעת קפיצה לגובה, האם משך הזמן שבו הרגליים אינן נוגעות בקרקע תלוי ברכיב האופקי של התנועה ברגע הקפיצה, ברכיב האנכי או בשניהם? נמקו.

16. רגליו של שחקן כדורסל הקופץ לגובה 60 ס"מ (0.6 מ') מנותקות מהקרקע במשך $\frac{2}{3}$ שנייה. כמה זמן ישהה השחקן באוויר אם יגיע לאותו גובה במהלך קפיצה למרחק אופקי של 1.2 מ'?

17. בהנחה שאין התנגדות-אוויר, מדוע קלע, שנורה במהירות אופקית של 8 ק"מ לשנייה, לא יפגע בפני כדור הארץ?

18. ידוע שהתאוצה עקב משיכת הכובד על פני הירח קטנה מזו של כדור הארץ ($\frac{1}{6}$ כ- $\frac{1}{6}$ ממנה). ידוע גם שהירח קטן מכדור הארץ (קוטרו כ- $\frac{1}{4}$ מקוטרו של כדור הארץ). האם הייתם מצפים שמהירותו של לוויין הנע במסלול הקרוב לפני הירח תהיה גדולה מזו של לוויין המקיף את כדור הארץ, קטנה ממנה, או שווה לה בקירוב? הסבירו.

19. הירח נמשך בכוח הכובד לעבר כדור הארץ. מדוע אין הוא מתרסק על פניו?

20. חיפושית עומדת על גבי תקליט במחצית המרחק שבין המרכז לשוליים. מה יקרה למהירותה הקווית של החיפושית אם מספר הסיבובים לדקה של התקליט יוכפל לפתע? בקצב סיבוב כפול זה, מה יקרה למהירותה הקווית אם תעמוד בשולי התקליט?



21. האם מחט של תקליט עוברת על פני החריצים שבתחילת התקליט או בסופו במהירות קווית גבוהה יותר או נמוכה יותר? אם איכות הקול משתפרת עם המהירות הקווית, באיזה חלק של התקליט נוצר צליל בעל האיכות הטובה ביותר?