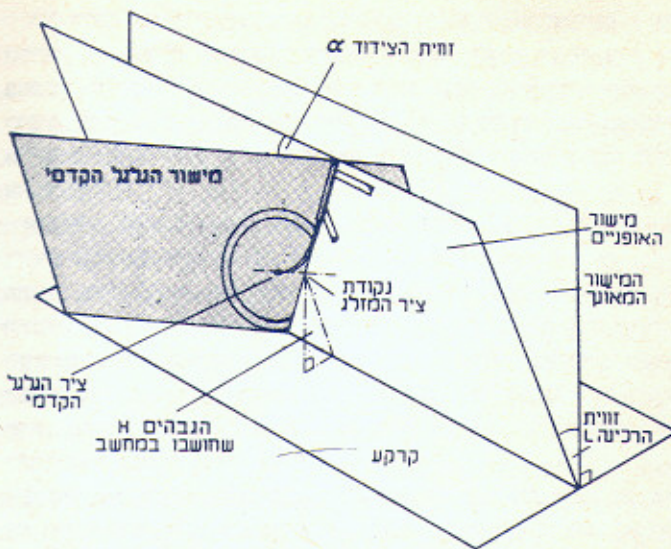
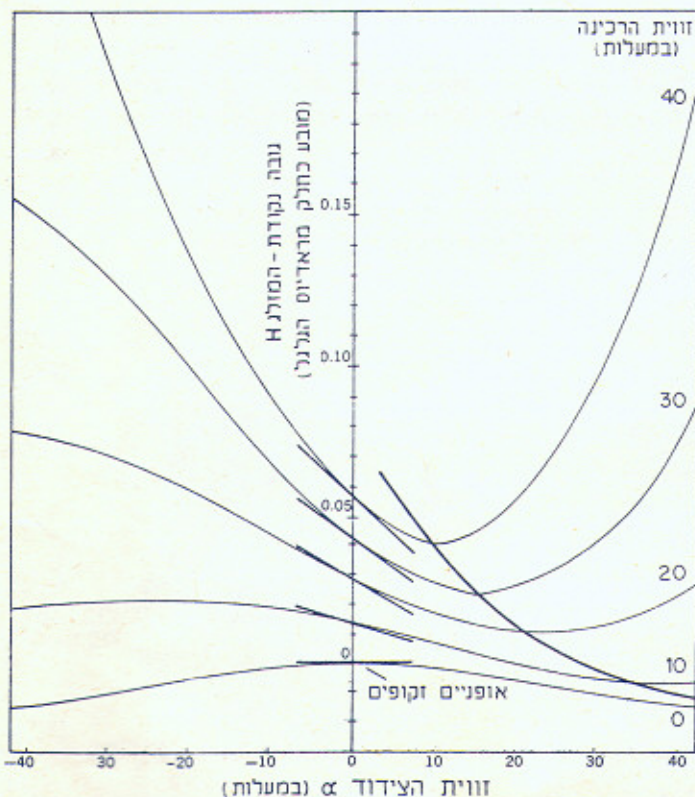


במה חשיבותה של גיאומטריית-ההיגוי? תופעה אחת גלויה-לעין: כאשר מוליכים אופניים תוך כדי החזקתם כמושב, קל לכוון את הרכב על-ידי הטיית המסגרת, הגורמת לכך שהגלגל הקדמי מתכוון אוטו-מאטית לנטייה הרצויה. זאת איננה תופעה גירוסקופית, משום שהיא מתרחשת גם כאשר האופניים עומדים במקומם. עיון מסויים מבהיר, כי הדבר קורה משום שמרכז-הכובד של האופניים הנטויים יורד בשעה שהגלגל הקדמי סוטה מן הקו הישר. מכאן נובעת, איפוא, תיאוריה חדשה בדבר יציבות האופניים – זווית-הצידוד היא כזאת, שכאשר האופניים רוכנים על-צידם פונה הגלגל הקדמי לכיוון הנטייה כדי להקטין עד למינימום את האנרגיה הגראוויטאציונית הפוטנציאלית של כלי-הרכב. כדי לבדוק את התיאוריה הזאת הוצרכתי לעיין בצורה קפדנית ביותר במשמעויות של גיאומטריית-ההיגוי.

### אופניים של מחשב

מתברר כי קביעת גובהה של נקודת ציר-המזלג במונחים של גיאומטריית-ההיגוי וזוויות הרכינה והצידוד (תמונה 3) היא בעיה קשה למדי. למעשה נראשתי מן החישובים אחרי כמה ניסויים ותחת זאת הכינותי תיכנות בשפת פורטראן בשם "ביסיק" ("BICYC"). כך פתר לי המחשב את המערכות של המשוואות הטריגונומטריות וסיפק לי את כל המידות הדרושות. בהיותי מצויד עתה בבביסיק יכולתי ליצור, בעזרת המחשב, כל מיני סוגים מטורפים של אופניים ולהעמידם במבחן ההיגוי והרכינה. הניסויים הראשונים היו מעודדים ביותר; הם הראו, כי כאשר הגיאומטריה של האופניים היא רגילה, מבטיחה הטיית המסגרת שמרכז הכובד יהיה בגובה מינימאלי, כאשר הגלגל

תמונה 4: אופני מחשב. נתונים אלה, הלקוחים מן הפלט של בייסיק, מראים כי הגובה המינימאלי של נקודת-המזלג מושג קרוב יותר למצב הנסיעה ישר קדימה, ככל שזוויות הרכינה גדולות יותר. שים לב ש- $dH/da$  משתנה באורח ליניארי עם זווית הרכינה  $L$ , בשביל ערכים קטנים של  $L$ .



תמונה 3: בעיה טריגונומטרית סבוכה. באופניים רכובים על צידם עליו לדעת את  $H$ , שהוא גובה נקודת ציר המזלג מעל פני הקרקע. בעזרת בייסיק חישבנו גם את הגובה המאונך וגם את הגובה במישור האופניים.

אם המיטען שהוסף – אשר בלט קדימה מעבר למסגרת, כדי שיהיה בעל השפעה מירבית על הגלגל הקדמי – אכן ימנע בעד השפעת הגירו מלייצב את האופניים – כפי שניתן לצפות מן ההבדל בין אופניים עם רוכב ובלעדיו. נתקבל הרושם כי המשקלות עשו את האופניים יציבים קצת פחות, ואילו הגלגל שהסתובב בכיוון הנגדי הפך אותם כמעט מיד. החבטות הגסות שספג כלי-הרכב המסכן אחרי כל נפילה אילצו אותי לחזור וליישר חלקים עקומים, או להחליף חיטורים שנשברו.

נצנץ בדעתי רעיון להסיר את הכידון, כדי להקטין את מומנט-ההתמדה מסביב לציר ההיגוי; הדבר חייב אותי להסיר גם את המישור קלות ואת מערכת-הבלמים, וכתוצאה מכך ניתן לגלגל הקדמי להסתובב ימינה ושמאלה בזווית של 180 מעלות מסביב לציר-ההיגוי, ובכך חל היפוך של גיאומטריית המזלג הקדמי (תמונה 2). עשיתי את הניסוי הזה כבר בפעם קודמת וקראתי לתוצאה בשם אבנ"ל 3; רכב זה היה מסורבל בצורה מזוהר מאוד הן להולכה והן לרכיבה, ורשמתי לפני עובדה זו כראייה לכך שגיאומטריית-ההיגוי היא בעלת חשיבות, בצורה זו או אחרת. כלאחר-כך הפכתי את מזלג האופניים והדפתי אותם מעלי, תוך ציפיה כי יפלו ארצה תיכף ומיד. אך למרבה הפלא המשיכו לנסוע בצורה זקופה לאורך מטרים אחדים עד אשר נפלתי! ניסויים נוספים הוכיחו, כי אופניים אלה ללא-רוכב הם יציבים במידה מפתיעה. לא-זו בלבד שהיו מסוגלים לנוע בקשת תוך הענות לרכינה התחלתית, אלא שאף היה בכוחם לייצב עצמם באורח פעיל, דבר ששום חישוק ושום גירו אינם מסוגלים לעשות! ההיתקלויות והטילטולים שנגרמו על-ידי היספוס-הדרך לא סיכנו את יציבות האופניים ורק כאשר איבדו מהירות הם החלו לאבד מיציבותם, יותר ויותר. בשלב זה היו לעתים קרובות מתנוודים מצד אל-צד, רוכנים תחילה לצד אחד ואחר-כך לצד אחר, עד אשר נפלו לבסוף על-צידם. ניסוי זה שיכנע אותי כי כוחות היציבות הבולטים הפריזו בתיוקן הנטייה בכל התנוודות וכך גרמו לבסוף לנפילה. גם אבנ"ל 1, בעל הרוטאציה הנגדית, גילה פעם או פעמיים סימנים להתנהגות דומה בקריירה קצרת-הימים שלו.