

כל אחד מאתנו יודע, כי אי-אפשר לבנות אפילו מנגנון מכני פשוט ביותר — בית, גשר, אניה — ללא חרי שוכים, כלומר, ללא שימוש בחוקי המתמטיקה. לכולנו ברור, כי המהפכה באמנות המלחמה, שביטוייה הברז לט ביותר הוא כראש וראשונה בהופעת הנשק הגרעיני-טילי, לא היתה יכולה להתבצע ללא שימוש נרחב בתורתיה של המתמטיקה.

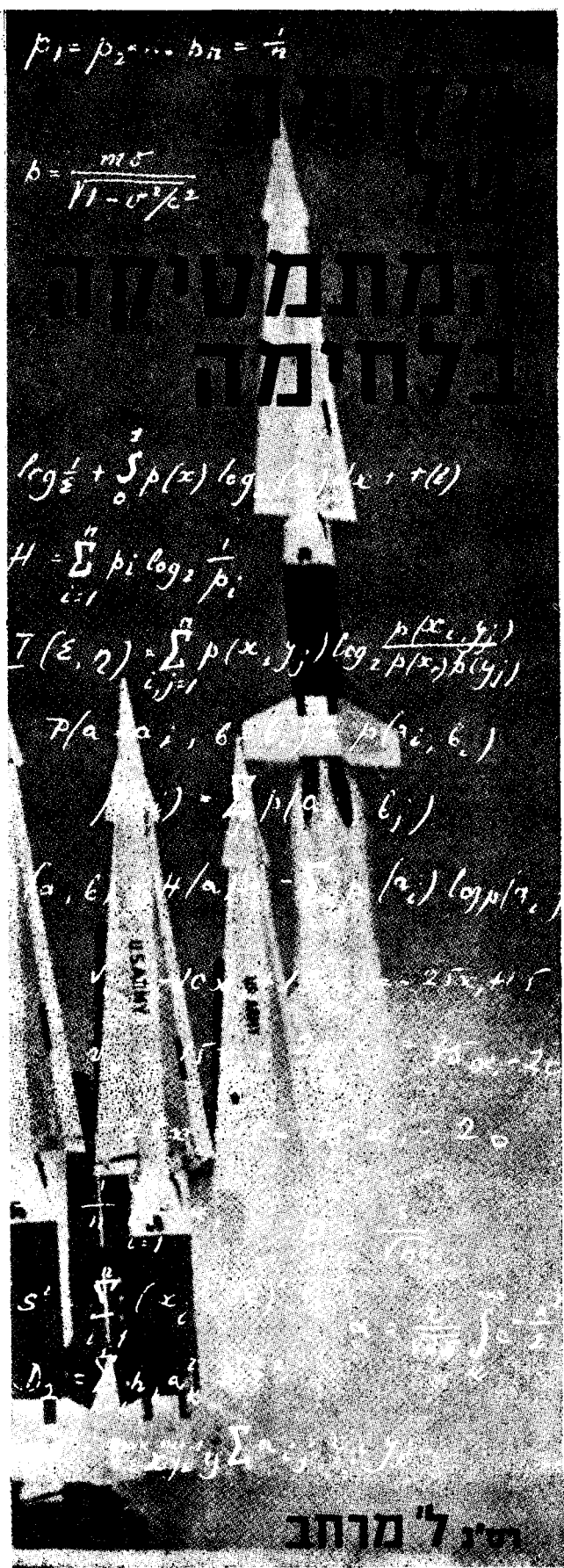
ללא מתמטיקה אי-אפשר היה לפצח את הגרעין האטומי, ליצור באופן מעשי חומרי-נפץ גרעיניים, לבנות טילים מסוגים שונים לאחר שנקבעו חוקי תנועתם. באמצעות המתמטיקה נבדקה חוקיותה של פעולת מערכות רדיואלקטרוניות ושוכללו תכונות טכניות של מטוסים וצלילות.

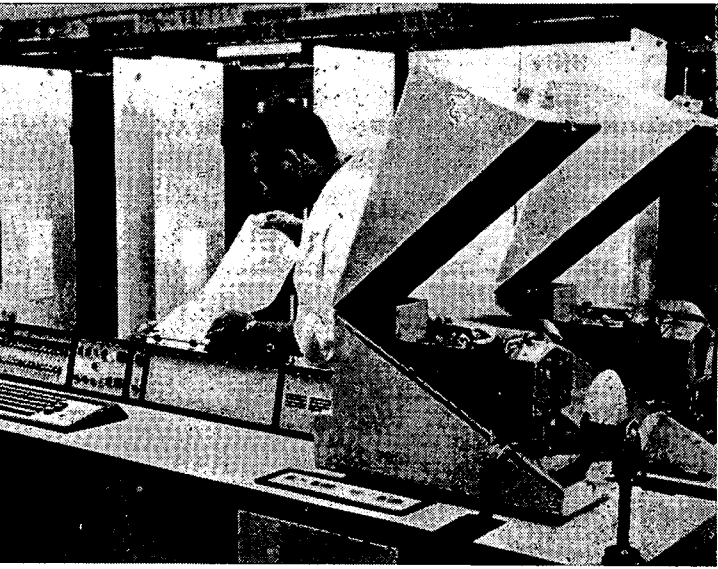
קיצרו של דבר — האדם החוקר, המעצב צורת כלים ומכונות, הבונה אותם ומייצרם, לא היה יכול להמציא, לפתח ולבנות בפועל את הדגמים הרבים שבמערכת כל-יחלומה החדישים, הקובעת כיום את פני הכוחות המזוינים, אילו לא השתלט על רויה של המתמטיקה.

אך אם נסתפק בקביעה זו, נתאר רק צד אחד של הבעיה — תפקידה של המתמטיקה בפיתוח טכני של כל-יחלומה. הופעת נשק גרעיני-טילי גרמה להתקדמות עצומה בכל תחומי אמנות-המלחמה ושינתה את העקרונות ואת הכללים הבסיסיים של הטקטיקה, תורת המערכה והאסטרטגיה. הצבר אות נאלצו לשנות את שיטות הפיקוד והשליטה בשדה הקרב, בהן השתמשו בעבר הלא-רחוק; גם להגשמת מטרה זו נזקקו למתמטיקה.

מאז ומתמיד היוו תכנון הפיקוד והשליטה ויישומם בצבאות בעיה רצינית ומורכבת, אלא שבתקופתנו הופיעו קשיים חדשים. ראשית, גבר הצורך בהשגת מדיעין רחב-היקף על המצב המשתנה במהירות רבה ביבשה, באויר ובים. שנית, כיום יש להגיב באופן מידי על כל שינוי בשדה-הקרב, מכיון שכל איחור או השהיה במלחמה טילית-גרעינית גוררים כשלון; על מפקד הכוחות המקבל החלטות והמנהל פעולות קרב לפעול בהתאם לדרישות מיוחדות אלה. כלומר, ההחלטה חייבת לענות על שתי דרישות: לתאם את המצב המורכב שמציג שדה-הקרב ולהיות מהירה ככל האפשר.

מאז ומתמיד נדרש המפקד לקבל החלטות המבוססות על שיקולים נכונים ומנומקים; אך בתקופתנו, תחת חישובים והערכות אלמנטריים המבוססים על נסיונו האישי של המפקד ועל האינטואיציה שלו — מותנות והולכות החלטות המפקד בשיטות-מחקר ובמדעים מדויקים של ניהול המלחמה. יסוד-היסודות של שיטות-מחקר אלו היא המתמטיקה. אלא שבכך לא הסתיים עדיין תפקידה; מחשבים אלקטרוניים — ששפתם היא המתמטיקה — עוזרים למפקד לערוך חישובים מורכבים ומהירים בשעת הכנת הנתונים לקבלת החלטותיו. המתמטיקה היא מכשיר יעיל ביותר להכנת הנתונים הדרושים לקבלת החלטות בשעת תכנון מבצעים ומערכות, ואילו בעזרת המחשב מממש המפקד את החלטות תוך מתן פקודות-ביצוע (הכנות טילים, מטוסים, ארטילריה וכד'). אילו הם ענפי המתמטיקה, הבאים לעזרת המפקד במלחמה בת-זמננו? מובן שבראש עומדים הענפים ה"ותיקים" —





המחשב האלקטרוני בטכניון חיפה

תקשורת הינה תהליך קליטת אינפורמציה מסוימת, שמירתה ומסירתה.

שליטה הינה תהליך תרגום האינפורמציה הנקלטת לשפת האותות (Signals), שתפקידם לכוון את פעולת המכונות ובעלי-החיים.

אם המכונה או בעל-החיים מסוגלים לקלוט אינפורמציה על תוצאות פעולותיהם, אזי נאמר, שיש להם אבר תקשורת חוזרת. תרגום אינפורמציה זו לאותות, המנחים את פעולת המכונות ובעלי-החיים בכיוון מסוים, נקרא בשפת הקיברנטיקה בקרה (או ויסות).

הקיברנטיקה עוסקת במכונות ובעלי-חיים אך ורק מבחינת כשרם לקלוט אינפורמציה מסוימת, לשמור אותה ב„זכרון“, למוסרה בצנורות התקשורת ולתרגמה לאותות, כדי להנחות את הפעולות בכיוון הרצוי.

לפי הגדרות הקיברנטיקה מתבטאים פיקוד ושליטה על גייסות בהתנתן תכנית המבצע של המפקד, בעיבודה ובהגשמתה, או בשפת הקיברנטיקה: איסוף האינפורמציה, עיבודה ומסירתה.

### תורת האינפורמציה

תורת האינפורמציה הינה אחד מענפי המתמטיקה, המהווה חלק בלתי-נפרד מהקיברנטיקה. תורה זו עוסקת בשיטות חישוב והערכה של כמות מסוימת של אינפורמציה, בנתונים כלשהם. היא בודקת את תהליכי שמירתה של האינפורמציה ומסירתה. תורה זו מאפשרת לפתור משימות מורכבות של פיקוד ושליטה על גייסות, על-ידי קביעת התנאים המסייעים לקבלת נתוני-מודיעין במצבים שונים, וכן עוזרת בפתרון בעיות חשובות אחרות.

אריתמטיקה, אלגברה וגיאומטריה. ענפים אלה שימשו את הצבא מאז ומתמיד בעריכת חישובים טכניים שונים, כך שאין צורך להאריך בהסברם. לצרכי תכנונים אופרטיביים בקנה-מידה רחב משתמשים עתה בענפים חדשים של המתמטיקה, כגון: תורת ההסתברות, הסטטיסטיקה המתמטית, קיברנטיקה, תורת האינפורמציה, תורות הדגמים, תורת החיפוש, תכנון מתמטי, תורת המשחקים וכד'.

### תורת ההסתברות

תורת ההסתברות היא ענף מתמטי, החוקר את החוקיות בתחום התופעות האקראיות. פעולות קרב, הנערכות בתנאים זהים, מתבצעות לעתים קרובות בצורה שונה, ומכאן אנו מסיקים, שלאקראיות יש חלק בקביעתן. התופעות האקראיות כפופות לחוקים של תורת ההסתברות. הכרת חוקים אלה מאפשרת: תחזית של תוצאות-הקרב האפשריות, הערכה וחישוב של העצמה הדרושה למילוי המשימה וקביעת דרך הביצוע היעילה ביותר.

ניקח דוגמה: לשם פגיעה בטוחה בטנק אחד דרושים לנו שני טילי נ"ט. כלומר — כדי לפגוע בטנק בנשק טילי יש צורך במספר טילים כפול ממספר הטנקים. בניסויים נוספים שנערכו נקבע, כי מתוך 100 טילים יפגעו במטרה 70 טילים בממוצע. לפי תורת ההסתברות נאמר, כי הסתברות פגיעתם של הטילים במטרה היא 70% (ככל שגדל מספר הטילים גדלה הסתברות הפגיעה). בכך, יתאפשר למפקד לחשב, מה מספר הטילים אותם יש להפעיל, כדי לפגוע במטרות.

### הסטטיסטיקה המתמטית

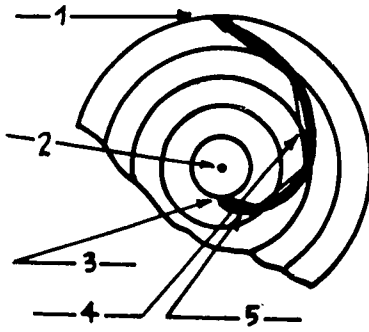
מהדוגמה המובאת לעיל אנו למדים, שכדי להשתמש בתורת ההסתברות, הכרח שיהיו לנו נתונים קונקרטיים ובדוקים. ומכאן מקומה של הסטטיסטיקה המתמטית: היא מעבדת ומנתחת את תוצאותיהם של ניסויים שונים; היא מכינה את הבסיס לאיסוף נתונים ולתכנון יעיל וחסכוני של הניסויים מצד אחד — ומצד אחר, היא מאפשרת הערכה נכונה של העובדות, אשר יהיו את תומר הגלם להפעלת התורות השוררות. מכאן ברורה לנו גם חשיבותם ההולכת וגוברת של נתוני הניסויים, אותם משיגים כתוצאה מבדיקת כלי-הירי ואמצעי-הלחימה בשעת הפעלתם בשדות-האימונים ובמתנחלי הניסוי. נתונים אלה מהווים מקור אינפורמציה חשוב, ובלעדו דיהם אי-אפשר לנצל את השיטות המתמטיות בשלב של עיבוד התכנית וקבלת ההחלטה הנכונה.

### הקיברנטיקה

קיברנטיקה הינה — במובנה המילולי של המלה — המדע של אמנות הניהוג. הקיברנטיקה עוסקת בתהליכי „תקשורת“, „שליטה“ ו„בקרה“ במכונות (בעיקר אוטומטיות) ובעלי-חיים (כולל בני-אנוש ובשכבות חברתיות שלמות).

## תורת ההפעלה רבתי

כי במקרה זה מסלול התנועה המתקבל ביותר על הדעת יהיה עקומה לוגריתמית מתרחבת והולכת (ראה ציור).



1. סיום החיפוש
2. המקום הראשון בו נתגלתה המטרה
3. תחילת החיפוש
4. מסלול הצופה
5. עקומה לוגריתמית (מסלול התנועה של המטרה)

### האלוקציה

בעת ביצוע משימות קרב חשובות, יש צורך לתכנן את פעולות הקרב ולחלק את הכוחות והאמצעים בצורה הטובה ביותר, כדי להנחית על האויב מהלומה מכרעת. גם במקרה זה אנחנו פונים אל המתמטיקה והפעם — לענף האלוקציה (אי.ו.ו). דוגמה: צות צוללות, הנמצא בעמדות אש, חייב לפגוע בטילים במספר מטרות בחוף. אולם סיכויי פגיעותן של מטרות אלה על ידי צוללות שונות אינם זהים. ענף זה של המתמטיקה מאפשר חלוקת הטילים המונחתים על המטרות בצורה כזו, שלאויב ייגרם נזק מכסימלי.

### תורת הדגמים

בד בבד עם התרחבות השימוש במחשבים אלקטרוניים לצורך מילוי משימות טקטיות אופרטיביות, גוברת גם חשיבותו של התיאור המתמטי של פעולות הקרב, המתבסס על תורת הדגמים.

תורת הדגמים היא שיטת מחקר של תהליכים פיסיים באמצעות בחינת תופעות זהות בעלות תוכן פיסי שונה, אך המתוארות על ידי אותן משוואות מתמטיות. פתירת משימות הקרב ובעיותיהן באמצעות מכונות אלקטרוניות אפשרית רק, אם בעיות אלה מתורגמות לשפת המתמטיקה ומוצגות בצורת פונקציות מתמטיות מוגדרות. דגמים מתמטיים מאפשרים ניתוח מצבים אפשריים והסקת מסקנות מעשיות עוד בטרם התחילו פעולות הקרב. פרט לכך, מאפשרת תורה זו בניית דגמים של מבנים שונים (אניות, צוללות וכו'), כך שיהלמו את דרישותיו הטכניות של הצרכן.

### תורת הנושחקים

במלחמה בת-זמננו ניתן להשיג נצחון מכריע רק כאשר מביאים בחשבון את העובדה, שהאויב חמוש, מצויד היטב, חזק ומסוגל להגיב במהירות ובעירנות על כל הפעולות הננקטות

באמנות המלחמה משתמשים יותר ויותר בתורת ההפעלה רבתי, המאפשרת קבלת החלטות כאשר יש צורך להתמודד עם שורת יעדים (מטרות) בכוחות או באמצעים מוגבלים. נברר דבר זה בעזרת דוגמה: נניח שבמערכת ההגנה הנ"מ של איזור מסוים יש ארבעה מעגלי הגנה נ"מ. בכל מעגל שתי מערכות דמות של טילי נ"מ, אשר כל אחת מהן מסוגלת ליירט מטרה אחת. ברור, כי המטוסים, המתקיפים את היעד המוגן, חייבים לעבור על פני כל ארבעה המעגלים בזה אחר זה. בשעת תכנון ההגנה הנ"מ יש לחשב מהו מספר המטוסים העלולים לפרוץ דרך מערכת ההגנה הנ"מ. במקרה שלנו יש צורך לברר, כמה מטוסים יעברו מעגל אחד, שני מעגלים, שלושה, וכד'. בעזרת תורת ההפעלה רבתי יכולים לקבוע, כי מתוך מאה מטוסים, חמישים יעברו את המעגל הראשון, עשרים יעברו את שני הראשונים, חמישה יעברו את שלושת הראשונים, ואת כל ארבעה המעגלים — לא יותר ממטוס אחד. אם כן, רק מטוס אויב אחד מתוך מאה שהגיעו למערכת ההגנה הנ"מ יעבור את כל ארבעה המעגלים. דבר זה ייתן למפקד אפשרות לקבוע את מספר כלי-נשק הנ"מ, הנחוצים להגנה במקרה זה.

### תורת החיפושים

תכניתו של המפקד תהיה מושלמת, רק אם יהיה מסוגל להעריך נכונה את כל הגורמים הקובעים את ההצלחה בקרב. אחד הגורמים הללו הוא גילוי האויב בעוד מועד על ידי "חיפוש". גם בתחום זה אפשר להיעזר באחת מתורות המתמטיקה — בתורת החיפושים.

תורת החיפושים עוסקת בחוקיות כמותית של תצפית וסיור, הנבחנים כתהליכים אקראיים, אשר עשויים להביא לגילוי המטרה. תורת החיפושים מבוססת על שיטות מתמטיות כלליות, ובעיקר על תורת ההסתברות. משימתה העיקרית של תורה זו היא קביעת השיטות היעילות ביותר לתצפית ולסיור.

תורת החיפושים עוסקת בשלושה תחומים:

- היסוד הקינמטי, אשר באמצעותו נבדקת חוקיות התנועות ההדדיות בין הצופה לבין המטרה, עד לרגע בו היא נכנסת לטוח פעולתם של אמצעי-התצפית.
- גילוי המטרה. בתחום זה אנו דנים בבעיות התכליתיות של ניצול אמצעי-התצפית בשעת סיור. היות המטרה בטוח אמצעי-התצפית אינו מבטיח עדיין שהמטרה אמנם תתגלה. וכאן מקומן של תורת ההסתברות ושל הסטטיסטיקה המתמטית, אשר קובעות את חוקיות גילוי המטרות בתנאים מסוימים.
- בחירת שיטת הסיור היעילה ביותר. נסביר נקודה זו באמצעות דוגמה: במקום מסוים גילינו מטרה, וזו נעלמה לאחר זמן-מה. אין בידינו נתונים על מסלול תנועתה של המטרה, אך מהירותה הממוצעת ידועה לנו. במקרה זה עלינו לחזור ולגלות את המטרה. אך כיצד נקבע את מסלול תנועתה של המטרה, כשאנו רוצים לגלותה במהירות מכסימלית ותוך השקעת אמצעים מינימליים? תורת החיפושים מלמדת אותנו,

כוחות הצד הראשון. אם הצלית הצד השני לסכל הסואת הגייסות על-ידי בחירת טכסיס מתאים — הוא הפעיל את כוחותיו בצורה חיובית; אם לאו — הופעלו כוחותיו לשוא. לכל משחק מערכת כללים, המנוסחים בדיוק. כללים אלה מגדירים מראש מצבים, אשר עשויים להיוצר במשך המשחק כתוצאה מפעולות שמבצעים משתתפי המשחק או כתוצאה מתנאים אקראיים (למשל — סדר הקלפים לאחר טריפתם). כללים אלו קובעים גם את סדר המהלכים של השחקנים ואת הידיעות הנמצאות ברשותם. פרט לכך הם קובעים גם את המצב הסופי של המשחק ואת הפרס שיקבל כל צד במקרה של נצחון.

בדוגמה המובאת להלן משתתפים שני שחקנים: לכל אחד מהם שתי אפשרויות למהלך. עשויים להיוצר 4 מצבים: בשניים מהם קובע השחקן הראשון (A) את מספר הפרס, ובשני האחרים בוחר השחקן השני (B) באחד מהם. להלן מודגמות אפשרויות הנצחון של שחקן (A).

	B		
		מס' 1	מס' 2
A			
	מס' 1	- 10	+ 15
	מס' 2	+ 15	- 20

### סיכום

לסיכום יש לציין, כי השיטות המתמטיות שתוארו לעיל מהוות יסוד של מחקר המערכות ופעולות הקרב — אחד החלקים החשובים של תורת הלחימה.

במחקר זה משתמשים בתורות ובשיטות מתמטיות שונות, מבוצע ניתוח מדעי של פעולות הקרב, והנתונים הכמותיים הדרושים מוגשים למפקד לצורך קבלת ההחלטה. כמובן מרבים כיום להשתמש במחשבים אלקטרוניים ובמכונות חישוב פשוטות יותר לביצוע חישובים טקטואופרטיביים.

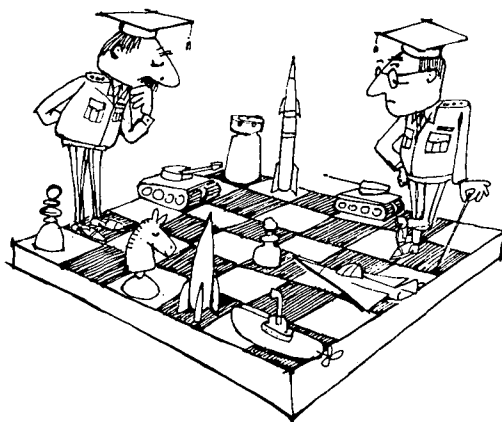
אולם, כל נטעה ונחשוב שפעולות מתמטיות אלה נערי כות ברמות הנמוכות. אמנם, היוני שקצינים ככל הרמות יהיו בעלי השכלה מתמטית מספקת, כדי להי בין את התהליכים השונים, אך יש לזכור, שפעולות אלה תיעשינה רק ברמות הגבוהות ביותר.

אכן, צבא מודרני חייב כיום, ועוד יותר בעתיד, להשי תמש בכל התורות שנסקרו, ועם זאת אין לשכוח שהגורם האנושי הוא המכריע, וימשיך להיות המכריע.

נגדו. כיום יש למתמטיקה שיטות מיוחדות, המאפשרות לסכל את הפעולות העתידות של האויב. בעזרת שיטות אלה ניתן גם לבחור בתגובה הטובה ביותר על פעולתו הנגדית המשוערת של האויב. שיטות מסוג זה כלולות בתורת המשחקים. תורה זו מושתתת על ניתוח סכסוכים (קונפליקטים), בהם יש לצדדים היריבים אינטרסים מנוגדים.

תורת המשחקים עוסקת בגילוי קריההתנהגות המתקבל ביותר על הדעת של כל צד מהמשתתפים במשחק על סמך חישובים מתמטיים. בעזרת תורה זו ניתן לקבוע תוצאות סופיות של מצב מסויים על-ידי ניתוח תיאורטי וחישובים מתמטיים מוקדמים. המשחק מורכב בדרך-כלל ממהלכים, המבוצעים על-ידי „שחקן” אחד או מספר „שחקנים”, שבכונתם להשיג מטרה קבועה מראש. תורת המשחקים מראה, באיזה תנאים מובטח הנצחון.

להלן דוגמה סכימטית של כללי תורת המשחקים ומשימותיה: שחקן ראשון קובע, מבלי לגלות ליריבו, איזה מבין שני הפרסים יהיה הזוכה — פרס מס' 1 (10 נקודות) או פרס מס' 2 (20 נקודות). השחקן השני מכריז על מספר הפרס בו הוא בוחר. כאשר הוא מציין את המספר הנכון, הוא זוכה



בפרס. אם הוא טעה, עליו לרשום לזכות השחקן הראשון 15 נקודות  $(\frac{10+20}{2} = 15)$ .

אפשר לומר כי פעולות שני הצדדים הלוחמים מתנהלות אף הן בצורה דומה: צד אחד בוחר בשיטה מסויימת להסואת הגייסות או לביצוע התמרון; הצד השני מנסה להביס את