

עלון

אישהח"מ

עלון האיגוד הישראלי לשיטות חישוביות במכניקה

מספר 13

מרץ 2005

עורך: דן גבעולי, הפקולטה להנדסת אוירונאוטיקה וחלל, טכניון, חיפה 32000, טל. 8292308 (04), פקס 8292030 (04), דואר אלקטרוני: givolid@aerodyne.technion.ac.il
חברי ועד אישהח"מ: עמנואל אור (מזכיר-גזבר), מיכאל אנגלמן, פנחס בר-יוסף, דן גבעולי, יצחק הררי (נשיא), יונתן טל, זהר יוסיבש
איש-קשר עם ECCOMAS: מישל ברקובייר
ועדת ביקורת: איתן כוכבי, משה פוקס
אתר אישהח"מ (IACMM) באינטרנט: <http://www.iacmm.org.il>
רישום לחברות באגוד ופרטים נוספים: באתר האגוד הנ"ל, או פנו למזכיר-גזבר, ד"ר עמנואל אור, טל. 9908640 (04), פקס 9908164 (04), דואר אלקטרוני: emanuelo@rafael.co.il

הערות העורך:

נא שלחו לכתובת המערכת (בדואר אלקטרוני או רגיל) חומר לפרסום בעלון. ניתן ורצוי לצרף ציורים ותמונות. לידיעת חברות: ניתן גם לפרסם חומר מסחרי- פרסומי בתשלום. לפרטים נא לפנות למערכת. גירסה צבעונית של עלון זה מופיעה באתר האגוד (ראה לעיל).

חידוש רישום באגוד:

אנא הרשמו כחברים באגוד או חדשו את חברותכם! טופס רישום עם פרטים מלאים ניתן למצוא באתר <http://www.iacmm.org.il/member>

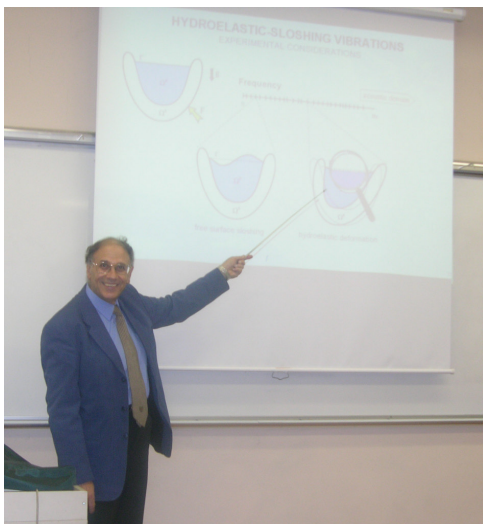
אנשים:

פרופ' יצחק הררי, נשיא אישהח"מ, קיבל בספטמבר 2004 את האות היוקרתי IACM Fellow מהאיגוד הבינלאומי למכניקה חישובית. האות הוענק לו בכנס WCCM של האיגוד, שנערך בבייג'ינג, סין.

ISCM-17

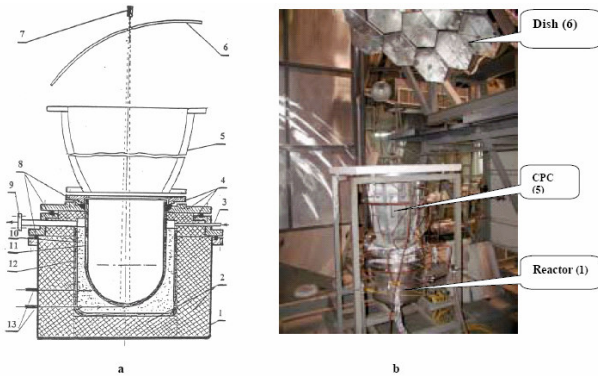
יום העיון ה-17 התקיים ב-14.10.2004 באוניברסיטת בן-גוריון בנגב. המארגן המקומי היה פרופ' זוהר יוסיבש מהמחלקה להנדסת מכונות. יום העיון היה מוצלח מאד, וכלל הרצאה מרתקת של פרופ' Roger Ohayon, מומחה ידוע באינטראקציה זורם-מוצק מ- Conservatoire National des Arts et Metiers (CNAM) בצרפת. בתמונה שמשמאל נראה פרופ' Ohayon מדבר על בעיית שכשוך (Sloshing).

בין השאר הצביע פרופ' Ohayon בהרצאתו על השינוי שחל בשנים האחרונות בתפיסת השימוש במכניקה חישובית בתעשייה. התפיסה המסורתית אמרה: "אל תעזו לעשות חישובים בלבד, ללא בסיס של ניסויים מאחוריהם", ואילו התפיסה המודרנית אומרת בנוסף: "אל תעזו לעשות ניסויים בלבד, ללא בסיס של חישובים מאחוריהם!"



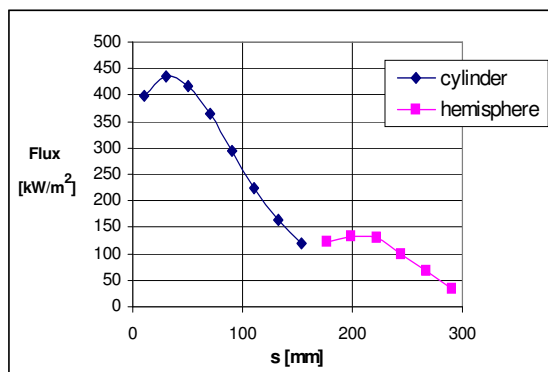
שימנע דליפות אויר לאזור האטם ובכך למנוע את התחמזנותו.

בחירת הכורית נעשתה כך, שתעמוד בטמפ' גבוהה (כ- 1400°C), תהיה אינרטיית למגיבים ותוצרי הריאקציה, חזקה מבחינה מבנית ובעלת מוליכות תרמית גבוהה. כוריות סיליקון קרביד מקובלות בתעשייה הכימית ועונות על דרישות מקדמיות אלה. אולם בניסויים הראשוניים בשמש נסדקה הכורית באיזור האטם. כדי להבין את הסיבה לכשל ולהציע פתרון, הוחלט לבצע אנליזה תרמו-מכנית של המערכת. לשם כך נדרשת יכולת חישוב של מעבר חום בקרינה, הולכה והסעה וחישוב מבני סטנדרטי (אלסטי לינארי) של מבנה קליפה עבה. ANSYS v7.0/ED נראתה מתאימה לדרישות אלה.



איור 1

על פניו המודל החישובי אמור להיות פשוט: ביצוע אנליזה תרמית הכוללת את כל אופני מעבר החום הנ"ל, מעבר לאלמנטי מבנה וביצוע אנליזת מאמצים. ניתן להניח שהבעיה כולה אכסיסימטרית. מכיוון שמצב המאמצים כולל כפיפה דומיננטית והמבנה אינו דק-דופן, נבחרו אלמנטים של 8 צמתים (מסדר שני) לאנליזת המאמצים. כדי לפשט את העברת הפתרון התרמי לבעיית המבנה, הבחירה הטבעית היתה להשתמש באותה רשת ובאלמנטים המקבילים לאנליזה התרמית, ובכך לחסוך אי-דיוק עקב אינטרפולציות. שטף הקרינה הפוגעת בדופן הפנימית של הכורית מאד לא-אחיד (איור 2), ומתקבל מחישוב בלתי-תלוי של מעבר קרינה מהשמש דרך המערכת האופטית המרכזת, הכוללת שדה הליוסטטיס, "צלחת" (dish) ומרכז משני פרבולי (CPC). יש מספר בעיות בהגדרת המודל, כמו ייצוג האטם, ייצוג הריאקציה כמקור חום (heat sink), מידול ת.ש. תרמיים באוגן ובשכבות הבידוד וקריטריון כשל לחומר פריץ, אבל לכולן מצאנו פישוטים סבירים.



איור 2

בתמונה שלהלן נראות מספר דמויות מוכרות מאזינות לאחת ההרצאות ביום העיון. מימין לשמאל: פנחס בר-יוסף (יו"ר המושב), זהר יוסיבש, יצחק הררי, Roger Ohayon ומוטי סנטו.



ISCM-18

יום העיון ה-18 יתקיים ב-7.4.2005 בפקולטה להנדסה אזרחית וטביבתית בטכניון. המארגן המקומי הוא פרופ' משה איזנברגר. ראו אתר האגוד לפרטים נוספים.

גלגולו של חישוב או קומדיה (טרגדיה?) של טעויות – יישום חוק מרפי למכניקה חישובית

רמי בן-צבי

מתקנים סולאריים, מכון ויצמן למדע

rami.ben-zvi@weizmann.ac.il

העבודה המוצגת כאן נעשתה במסגרת מחקר, שהוצג לאחרונה בכנס:

Irina Vishnevetsky, Michael Epstein, Rami Ben-Zvi, Rahamim Rubin,

Feasibility study on non-windowed solar reactor: The carboreduction of ZnO example, 12th SolarPACES International Symposium, Oaxaca, Mexico, Oct. 6-8, 2004.

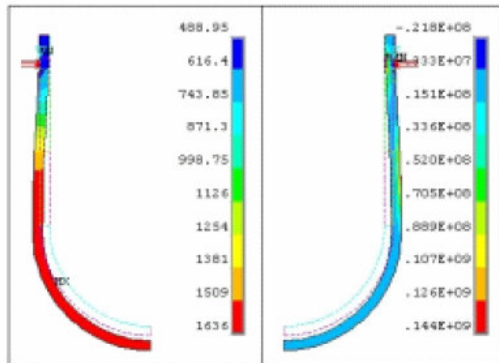
המאמר הנ"ל מתאר את מהלך ותוצאות המחקר בגישה ניסויית וחישובית. כאן בחרתי להביא הבטים אחרים, המוכרים במידה זו או אחרת לכל מי שעוסק זמן ניכר בחישובים – כיצד עבודה פשוטה לכאורה, הדורשת זמן קצר ומשאבים צנועים, יכולה להפוך לסאגה כמעט אינסופית. כדי להציג זאת אפתח בהצגה תמציתית של המחקר. המעוניינים בפרטים נוספים מזומנים לעיין במאמר וואו לפנות לכותב שורות אלה.

מערכת להפקת אבץ ע"י חיזור תחמוצתו בפחמן בעזרת אנרגיית שמש מרוכזת פותחה ביח' המתקנים הסולאריים במכון ויצמן. המערכת (איור 1) מורכבת מכורית (crucible) מסיליקון קרביד המתחממת מצידה הפנימי ע"י קרינת שמש מרוכזת, מחממת את תערובת המגיבים (אבקה) ויוצרת תגובה. התוצרים (בפאזה גזית) יוצאים ונאספים בחלק העליון. ע"מ למנוע כניסת אויר, שיחמצן מחדש את אדי האבץ החמים, המערכת נאטמת באטם גרפיט המוחזק בין אוגנים מאלומיניום, מקוררים במים ובהסעה טבעית. גז אינרטי מוכנס למערכת כגז נושא וכדי ליצור לחץ חיובי

מכאן התחילו סיבוכים.

תרמי גבוה כתוצאה מפילוג הקרינה וקירור האוגנים (איור 3).

כדי למצוא פתרון קונסטרוקטיבי נדרשו חישובים פרמטריים רבים. בשלב זה התעוררה בעיה חדשה ובלתי תלויה. בעקבות התגלות פרצות רבות במערכת ההפעלה בה השתמשנו (Win2k) ומתקפות וירוסים, נאלצנו לעדכן את מערכת ההפעלה. לאחר העדכון (SP4) הפסיק ANSYS לפעול. שוב, הנושא נבדק, והחברה הבטיחה תיקון, אבל גרסת ED (educational) במערכת הפעלה זו לא היתה בראש סדר העדיפויות, ועברו מספר חדשים עד שקבלנו עדכון מתאים. שוב נדרש מעקף, שיאפשר להתקדם בינתיים בפרויקט.



איור 3

הדרך שנמצאה היתה להתקין את ANSYS במחשב אחר עם מערכת הפעלה שונה. המחשב שעמד לרשותנו היה מחשב נייד עם WinXP, ועליו ניתן היה להפעיל את ANSYS. לעומת זאת את PHOENICS לא ניתן להעביר, מכיון שהרשיון ניתן למחשב מסוים, והסבה היתה גוזלת ולהעביר קבצים ביניהם (קלט תרמי ל- ANSYS ופלט גרפי מ- ANSYS). כאן התגלע קושי טכני: לא התאפשר לחבר לרשת את שני המחשבים זה לצד זה עקב מחסור בקוים פיזיים. מאחר והקבצים המועברים קטנים – הפתרון הפשוט והזמין ביותר היה להעבירם על דיסקט. קצת סירבול נוסף ולא ממש High-Tech, אבל ניתן היה להמשיך ולהתקדם בחישובים.

אבל גם בכך עוד לא מלאה הסאה. בשלב מסוים לא ניתן היה להשתמש בכונן הדיסקטים במחשב המקורי. נדרש זמן עד שאותרה הסיבה והוחלפו הרכיבים הפגומים. בינתיים הועברו הקבצים רצוא ושוב בדוא"ל למחשב של חבר אחר בקבוצה, ושם נכתבו לדיסקט או נקראו ממנו ונשלחו להדפסה. בשלב זה הפך כל חישוב לפרויקט של ממש, שמעורבים בו מספר אנשים ו-3 מחשבים שונים, ואעפ"י כן – נוע תנוע... החישובים הגיעו למיצוי, נמצא פתרון מעשי, המערכת תוכננה מחדש במינימום השינויים שנדרשו, ובזמן סביר הופעלה בהצלחה. בדיעבד גם ניתן היה להשוות את פילוג הטמפרטורה לאורך הכורית, וההתאמה בין החישוב לניסוי טבירה (איור 4). גם חיזוי הכשל תאם במידה רבה את הניסויים.

ניתן לסכם באוסף של וריאציות על קלישאות שחוקות.

- חוק מרפי – הקובע ש"כל מה שיכול להשתבש, סביר שישתבש" – הודגם כנכון במידה רבה במכניקה חישובית.

ראשית, היה צורך להכתיב את פילוג הקרינה הפוגעת כתנאי שפה. לשם כך נדרש לבנות פונקציות המקרבות את הפילוג בתלות במיקום לאורך השפה – משימה לא לגמרי טריוויאלית למי שעושה זאת לראשונה. אולי כאן המקום לציין את העזרה המהירה והנפלאה שניתנה ע"י שמואליק קידר מברקום לאורך כל הדרך הפתלתלה שתואר בהמשך – ממש קרן שמש באפלה.

כעת היה צורך לבחור את מודל הטיפול בקרינה מבין 4 האפשרויות המוצעות ב- ANSYS. שתיים מהן נפסלו מיד בהיותן מפושטות יתר על המידה לצרכינו. האפשרויות שנותרו הן the radiosity method ו- the radiation matrix method. הראשונה מביניהן היא הותיקה, ומסורבלת למדי לשימוש. השנייה היא שיטה מוכרת לעוסקים בקרינה אך חדשה ב- ANSYS, ונראתה פשוטה בהרבה לשימוש. מסיבה זו בחרתי בה.

לאחר נסיונות רבים במודלים פשוטים יותר ויותר הסתבר שקיימים בשיטה זו באגים שלא מאפשרים להשתמש בה אפילו לבעיה הפשוטה ביותר שעדיין רלוונטית לגבינו. בסופו של דבר קבלנו לכך אישור מ- ANSYS, עם הבטחה שהפגמים יתוקנו בגרסאות הבאות.

נותרנו עם השיטה האחרונה. מתוך זהירות התחלנו לטפל בבעיה פשוטה ביותר, שאותה ניתן לפתור אנליטית (תוך שימוש בפתרון לא-ליניארי נומרי): פרוסה אינסופית בעלת עובי סופי, שבשפה העליונה מוכתב עליה שטף קרינה אחיד, בשפה התחתונה מוכתבים שטף או לחילופין טמפרטורה אחידים, וקיימת הולכה בעובי. שימוש באלמנטים מסדר שני נתן פתרון שגוי לחלוטין, ולכן ייתרנו על הכוונה המקורית והשתמשנו באלמנט מסדר ראשון. כל עוד השפה העליונה היתה שחורה, התקבל הפתרון האנליטי בדיוק טוב. אבל בבעיה המקורית שלנו חלק מהמשטחים אינם שחורים, ולכן נבדקה אפשרות זו בבעיה המפושטת. הפתרון שהתקבל היה זהה (!?) לפתרון הקודם (עם משטח שחור). לאחר עיון בתיעוד התוכנה ובירורים ארוכים עם ANSYS התברר, שמשוואת הקרינה בין משטחים אינה כוללת איבר של קרינה פוגעת בלתי-תלויה (שהיא הכרחית בבעיה המקורית שלנו), וההתייחסות לשטף המוכתב היא, לכן, כאל השטף הנבלע במשטח. בבעיה המפושטת ניתן אמנם להכתיב שטף המתאים לשטף הנבלע (ע"י הכפלתו ב- absorptivity של המשטח) ולקבל פתרון נכון, אבל לא כך בבעיה המקורית: שם פילוג השטף הנבלע הוא חלק מהפתרון, המתקבל ע"י חישוב שטפים נבלעים, מוחזרים ונפלטים-תרמית סימולטנית בין כל השטחים המשתתפים בקרינה. הגענו למבוי סתום.

מכיוון שפיתחנו כלי חישוב לבעיות זרימה וקרינה, החלטנו לנסות מסלול עוקף. הסתבר שניתן להשתמש בתוכנה שפיתחנו ולנוון את התווך הזורם למוצק מוליך. כעת ניתן לפתור את החלק התרמי. אבל כדי להמשיך ולפתור את הבעיה המבנית יש צורך להעביר את פילוג הטמפרטורה שהתקבל בתוכנה אחת (תוכנת קרינה שלנו המשולבת בחבילה PHOENICS) לתוכנה שנייה (ANSYS). כאן התעורר קושי נוסף הנובע משיטות החישוב השונות ומיקום המשתנים (במרכזי תאים ב- PHOENICS, בצמתים ב- ANSYS). יתרה מזאת, תאי PHOENICS הם של 4 צמתים, בעוד שב- ANSYS בחרנו כאמור, להשתמש באלמנטי מבנה של 8 צמתים כדי לקרב טוב יותר את הכפיפה. הבעיה נפתרה ע"י שימוש באינטרפולציה / אקסטרפולציה בתוכנת-ביניים ובמספר תוספות לקלט של ANSYS. סוף-סוף הצלחנו לבצע חישובים, אם כי בדרך מסורבלת ורבת-שלבים, ולקבל תוצאות משמעותיות המסבירות את הגורמים לכשל (מאמצי מתיחה גבוהים עקב כפיפה הנגרמת מגרדיאנט

הערת העורך: אינני מסכים ש אינטגרציה מופחתת ובררנית היא טריק יוריסטי. כיום מבינים אותה היטב.

פינת הלשון

נסינו לתרגם באדיקות כל מונח לועזי לעברי נתקלים לעיתים בקשיים. קחו לדוגמה את הכותרת הבאה להרצאה אפשרית בכנס:

“An optimal aeroelastic model of a plate in rotational fluid including turbulence and warping effects”

ותרגומו האפשרי ל"עברית" (?):
 "מודל אורואלסטי אופטימלי של פלטה בפלואיד רוטציוני הכולל אפקטים של טורבולנטיות והתעוותות בפיתול" או לחלופין:
 "דגם אויר-גמיש מיטבי של טבלה בזורם סיבובי הכולל גורמי ערבוליות ועיקוש"
 שתי האופציות (האפשרויות) אינן אטרקטיביות (מושכות).

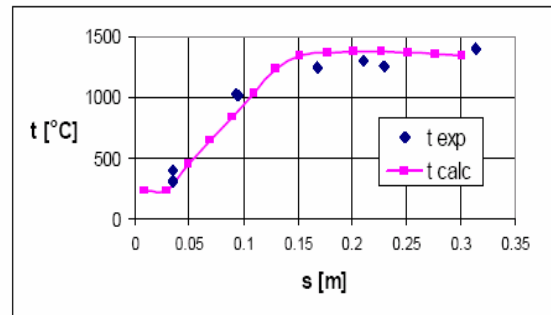
פתרון חידת אישח"מ מס' 5

בחידה היו נתונות 22 הגדרות, כמספר אותיות הא'-ב', של מושגים הקשורים למכניקה חישובית. פתרון המושגים המתאימים מצויין בסוגריים [].

1. מרכיבי הרשת (7) [אלמנטים]
2. כך מרגיש מנתח החיבורים במפעל גדול (4) [בורג]
3. סוג חומר שזורם למרות שהוא עשוי מחלקיקים מוצקים (5) [גרגרי]
4. המתכנן מציב אותן בפני מבצע האנליזה (6) [דרישות]
5. חלומן של מי שמפתח או מפעיל שיטה נומרית (7) [התכנסות]
6. חומר המתנהג מעט כמו מוצק ומעט כמו זורם (10) [ויסקואלסטי]
7. עולם עם 4 מימדים (3-4) [זמן-מרחב]
8. נע עם החלקיקים בזמן הדפורמציה וחושב על כסף (5) [חומרי]
9. סוג של תנאי שפה בשיטה ואריאציונית (4) [טבעי]
10. ללא תכונה זו כל הפרעה קטנה תגרום לטטיות גדולות (6) [יציבות]
11. רוח מפעילה אותו על מכונת (2,3) [כוח צד]
12. הציע אינטגרציה עם נקודות הכוללות את הצמתים, יחד עם גאוס (5) [לובטן]
13. רב-סריג (9) [מולטיגריד]
14. שני חבריה שהבינו משהו בזרימה צמיגה (5-5) [נאויה-סטוקס]
15. שקשור לפונקציות העצמיות או לערכים העצמיים (7) [ספקטרלי]
16. מה שיש לעשות לרשת כדי לשפר או לשמור דיוק תוך כדי תהליך הפתרון (7,4) [עידון אדפטיבי]
17. סוג פונקציה פופולרי בשיטת האלמנט הסופי (7) [פולינום]
18. נקודה ברשת (4) [צומת]
19. פתרון שונה מהפתרון המדויק (4) [קרוב]
20. היא לא תביא לתוצאות מדויקות (3,3) [רשת גסה]
21. החלק האחורי של משטח כנף (5,3) [שפת זרימה]
22. דרושים להגדרת בעיות בנוסף למשוואה הדיפרנציאלית (3,4) [תנאי שפה]

כפי שניתן לראות, המושגים מסודרים לפי סדר הא'-ב'. שליפה מכל מושג של אות אחת לפי המפתח
 7 4 6 2 2 7 7 6 7 7 3 4 4 3 5 4 6 3 4 3 2 6
 נותנת בקריאה אחורה את המשפט:
 "זההרו מפלט רב-צבעים אך שגוי!"

פתר את החידה נכונה רמי בן-צבי, והוא זוכה בפרס של חברות-חינם באישח"מ למשך שנה. כל הכבוד!



איור 4

- כבדהו וחשדהו: גם חברות תוכנה גדולות ומכובדות כמו ANSYS ואפילו Microsoft מייצרות באגים.
- אין דבר העומד בפני הרצון (כמעט) / יגעת ומצאת – תאמין / בתחבולות תעשה לך חישובים: עקשנות, התמדה, זבקות במטרה וכושר אילתור משתלמים!
- אל יתהלל חוגר כמפתח: משך זמן העבודה – זה כבר מסיפור אחר...

מאמר על הכוונת

אם אתם חושבים שמאמר רציני במכניקה חישובית לא יכול להיות משעשע, כדאי לכם לקרוא את המאמר של Carlos A. Felippa בכרך 192 של כתב-העת Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, עמ' 2125-2168. המאמר מדבר בעיקר על דרגות חופש מסוג קדיחה (drilling) אבל שלושת העמודים הראשונים הם פילוסופיים בעיקרם ומשעשעים למדי. להלן ציטוטים נבחרים, מתורגמים לעברית בצורה חופשית:

"... תוכנות אלמנטים סופיים מסחריות נמצאות כיום בשימוש גובר של טירוניהם, לעיתים קרובות כשלוחה של בנייה ב-CAD. משתמשים אלו, במקרה הטוב, הם בעלי מושג מעורפל על מה שמתרחש בתוך הקונפסאות השחורות. לכן אני מזהיר בקורס המבוא שלי לאלמנטים סופיים: לעולם, לעולם, לעולם אל תשתמשו באלמנט מיוחד (אלמנט מסדר גבוה, למשל) אלא אם כן אתם בטוחים לחלוטין במה שאתם עושים..."

"שיטות סטנדרטיות ליצירת אלמנטים, כגון הפורמולציה האיזו-פרמטרית, עלולות ליצור אלמנטים מסדר נמוך רעים או בינוניים. אם זהו המקרה, נשאלות שתי שאלות: (1) האם ניתן לשפר את האלמנט? (2) האם כדאי לטרוח? אם התשובה לשתי השאלות חיובית, הגישה המקובלת מנסה לשפר את הביצועים ע"י סידרה של תרופות שניתן לקרוא לה בית-מקחת של אלמנטים סופיים. התרופות יכולות להיות טריקים יוריסטיים כגון אינטגרציה מופחתת ובררנית או תיקונים יותר מדעיים. גישה זו היא השלטת באלמנטולוגיה (finitelementology). לשחק ברופא זה נחמד. אבל גם מתסכל, כמו למצוא חתול שחור במרתף חשוך בחצות. הזרק את המודים הבלתי-מתאימים האלה: אופס! מבחן-הטלאי לא עובר. קבע את היעקוביאן כקבוע: אופס! הוא ננעל כשהאלמנט מתעוות. הפחת את סדר האינטגרציה: אופס! המטרציה מאבדת דרגה. פרק את משוואות מאמך-עיבוד ובצע אינטגרציה בררנית: אופס! הפורמולציה אינה אינואריאנטית לצופה. וכך הלאה."