

על מדע, שקיפות ושקרי הפרסום

נימרוד בכר
המחלקה לפיזיקה, אוניברסיטת אריאל

אם חשבתם שזירות פשע וטלנובלות מוגבלות למסך הטלוויזיה אז תדעו לכם שגם בעולם המדע המחקרי קורים לעיתים סיפורים מעניינים ועסיסיים כמו שאספר לכם כעת. נתחיל רגע מהסוף.

בשבוע האחרון הסתכמה לה בלאס וגאס הוועידה של ארגון הפיזיקה האמריקאית (American Physical Society) או בשמה הידוע, ועידת מרץ שכן היא מתקיימת ב... מרץ. בוועידה היה רחש ורעש כי חוקר בשם ראנגה דיאס (Ranga Dias) יציג את עבודתו החדשה בנוגע למוליך על בטמפרטורת החדר. המאמר החדש פורסם יום לפני כן בעיתון המכובד Nature ודיאס היה יכול לשבור את קשר השתיקה ולתת הרצאה בנושא. היה כמובן עניין והחדר היה מלא עד אפס מקום, דיאס הציג את עבודתו אבל הקהל לא נראה מתרשם במיוחד [1].

אתם בטח שואלים מדוע? אם הייתם שואלים פיזיקאים של ימינו אז הם היו אומרים לכם שה"גביע הקדוש" של הפיזיקה הוא למצוא מוליך על בטמפרטורת החדר. אם נעשה זאת נוכל לבנות מכשיר MRI בעלויות נמוכות, לנסוע ברכבות שירחפו על פסים מגנטיים, להעביר חשמל ממקום למקום ללא הפסדים, לבנות מנועים חסרי חיכוך ועוד וזה מבלי להשקיע בכוח קירור כפי שקורה כיום במקרים שבהם אנו עושים שימוש במוליכי על. מציאתו של מוליך על בטמפרטורת החדר תזכה בוודאי את החוקר בפרס נובל, תהילה ופרסום עד קץ הימים והשקעות כספיות בלתי נדלות.

אז מדוע הקהל לא התרשם? כי אותו דיאס כבר "עבד" עליהם בעבר. למעשה דיאס פרסם בשנת 2020 מאמר שהראה מוליכות על בטמפרטורות החדר בחומר אחר שנקרא CSH, תערובת של פחמן, גופרית ומימן כאשר האחרון מבין המרכיבים הוא החשוב בסיפורינו [2]. המאמר נמשך (צורה עדינה שאומרת נחק מעל דפי העיתון) בהוראה של העיתון, Nature אותו עיתון שנתן לדיאס במה נוספת לפרסם את עבודתו החדשה על חומר שנקרא NLH, תערובת של חנקן, לוטטיום וכמובן מימן [3]. ולמה משכו את המאמר הקודם? כי גילו שדיאס או אחד מהכותבים האחרים במאמר לא היה כנה בפרסום ולא הסביר או למעשה שיקר לגבי התוצאות שנראו לחוקרים אחרים בתחום כתוצאות מפוברקות.

כדי להבין את הסיפור לעומק צריך קודם להבין מה זה מוליך על ואיך מוכיחים שחומר הוא מוליך על. ובכן, מוליך על הוא חומר בעל שתי תכונות מרכזיות: הראשונה היא שיש לו התנגדות השווה לאפס. לא קרוב לאפס, לא כמעט אפס אלא אפס מוחלט. אם בחוטי הנחושת שלכם בקיר זורם זרם חשמלי (או חשמל) אז ההספק ששלחתם לחוט עובר הפסדים בגלל ההתנגדות ואלו מתבטאים בעיקר בחום. אתם מכירים את אפקט ההתנגדות מתנורי חימום ומנורות הלהט של פעם. שם היה מדובר בחוט טונגסטן שזרם בו זרם, וההתנגדות גרמה להפסדים לאנרגיית חום שנהנינו ממנה באמבטיה או בצורה של אור שנפלט. כדי להוכיח שחומר הוא מוליך על צריך להראות שההתנגדות שלו מתאפסת, כלומר יש מעבר (מעבר פאזה במושגים הפיזיקליים) מחומר מוליך עם התנגדות סופית למצב של התנגדות אפס. למעשה אם ניקח חוט מוליך על, נזרים בו זרם ונסגור את החוט ללולאה, נוכל להשאיר מכתב לנכדינו שימדדו את הזרם בעוד 100 שנה והזרם יישאר כפי שהוא מאחר ואין הפסדים.

התכונה השנייה היא יותר טריקית להסבר של מדע פופולרי וקשורה בתכונות הקוונטיות של מוליכות על. מוליך על דוחה את השדה המגנטי שמנסה לחדור לתוכו עד כדי כך שהשדה המגנטי בתוך מוליך על הוא אפס. הוא הופך להיות דיא-מגנט מושלם, חומר שמייצר שדה מגנטי פנימי הפוך לזה שמופעל עליו כך שסה"כ השדה הפנימי הוא אפס. דיאמגנטיות היא לא תופעה שקיימת במוליך מושלם, שההתנגדות שלו גם היא יכולה להיות אפס (אם היה חומר כזה) אבל היא כן קיימת בחומר מוליך על. דחייה של שדה מגנטי גורמת למוליך על לרחף מעל מגנט או להיפך. לכן דחייה של השדה המגנטי, או מה שאנו קוראים לו בשפה המקצועית אפקט מייזנר, על שם הפיזיקאי שמצא אותה, היא התכונה השנייה והחשובה כדי להוכיח שהחומר שיש לך בידים הוא באמת מוליך על.

כדי להבין את השתלשלות העניינים שאתאר לכם עוד מעט צריך להבין שדיאס לא התעורר בוקר אחד ופתאום חשב על החומר CSH יצר אותו ומדד. משפחת החומרים שנקראים הידרטיים, כלומר חומרים מבוססי מימן היו כבר ידועים מזה מספר שנים. נמצא בהם לראשונה [4] אפקט של מוליכות על, ברם רק בצורה של התנגדות שווה לאפס, בטמפרטורות שהן לא טמפרטורת החדר אך עדיין גבוהות מהרבה משאר החומרים בקבוצה שאנו קוראים לה חומרים מוליכי על. עד אותו הממצא המפתיע בחומרים הידרטיים על ידי חוקר גרמני ממוצא רוסי בשם מיקאל ארמטס, השיא של טמפרטורת המעבר למוליכות על היה באזור ה 160 קלווין או מינוס 113 מעלות צלסיוס. די קר, אבל לא בשביל פיזיקאים שעובדים עם חנקן

נוזלי זול ולא עם הליום נוזלי יקר. ארמטס שבר את השיא הזה וגרם למרוץ הזהב המודרני של ימינו בתחום מוליכי על הידרטיים.

הנושא של חומרים הידרטיים היה בדיון מזה שנים רבות בפיזיקה של המצב המוצק. אשקרופט, מדען בעל שם עולמי שמספרו לומדים כל הפיזיקאים כיום בתואר הראשון, טען שהקשרים בין אטומי המימן הם חזקים דיים כדי לייצר את התנאים המספקים למוליכות על בטמפרטורות גבוהות [5]. יתרה מזאת, אשקרופט הגדיל לעשות וטען שהקשר מימן-מימן יכול לספק מוליכות על בטמפרטורות גבוהות ומבלי לעורר תיאוריות חדשות בנושא. הכל מגיע מאותה התיאוריה שמסבירה מוליכות על בעופרת ואלומיניום והייתה מוגבלת רק לטמפ' נמוכות מאד. כל מה שצריך הוא להפוך את המימן לחומר מוצק שכנראה יהיה גם מתכתי ואז לקוות שגם יהיה מוליך על.

איפה המלכוד אתם שואלים? ובכן, כל החומרים ההידרטיים האלו ששברו את השיאים עושים זאת בטמפרטורות קרובות לטמפרטורות החדר אבל רק כאשר לוחצים אותם בין שני ראשי יהלום ללחצים מטורפים במושגים של מחקר מדעי במעבדה. מה זה מטורף? כדי שהחומר יהפוך להיות מוליך על מביאים את תא הלחץ ללחצים שווים ערך לאלו השוררים במעטפת כדור הארץ בואכה ליבת הכדור, סדר גודל של 100 ג'יגה פסקל. אנחנו חיים ונושמים בלחץ אטמוספרי שזה בערך 100 קילו פסקל כלומר אנחנו צריכים עוד 6 אפסים בסדר הגודל של הלחץ כדי להפוך את החומר למוליך על.

אם אתם רוצים להפסיק לקרוא ובטח לומר, אוקי, אז מה הקטע? מה הרעיון להוכיח שיש מוליכות על בלחצים כאלו גבוהים אם אי אפשר לעשות עם זה כלום בלחץ אטמוספרי שבו אנחנו חיים? איך נשתמש בחומר כזה? ובכן התשובה לכך היא שמחקר בסיסי נועד להראות שהדבר אפשרי. בצורה מעשית אפשר לומר כי אם אפשר להביא את החומר ללחץ מסוים על ידי כלים חיצוניים, בוודאי שתמצא הדרך גם לעשות את זה באמצעים פנימיים, לדוג' להחליף כמה אטומים במבנה של החומר ואלו ימשכו אחד את השני חזק יותר כך שלבסוף אפקטיבית נקבל לחץ שווה ערך ללחץ החיצוני. לפעולה הזאת קוראים לחץ כימי ופיזיקאים משתמשים בה רבות כדי ללמוד על תכונות של חומרים שונים בטבע. ובכן, אם הדבר נכון ויש מוליכות על בלחצים גבוהים, שום דבר לא יעצור את הפיזיקאים מלייצר מוליך על בטמפרטורת החדר וגם בלחץ נמוך יותר מזה שנמצא בתא הלחץ במעבדה. גם לא מניפולציות על נתונים...

נחזור כעת לגיבור סיפורינו, ראנגה דיאס, מדען שנולד בסרי לנקה וכיום מתגורר בארה"ב. הוא עשה את עבודת המחקר שלו בדוקטורט באוניברסיטת וושינגטון בתחום של מוליכות על בלחצים גבוהים. הוא קיבל משרת מרצה בכיר (Assistant Professor) באוניברסיטת רוצ'סטר בארה"ב והחל לפעול להגשמת רעיונות המחקר שלו, מוליכות על בטמפרטורות החדר בחומרים הידרטיים. כמו שכבר סיפרתי לכם, בשנת 2020 הוציא את המאמר ב Nature על החומר CSH ובו הצליח להיות החוקר הראשון שלא רק מראה התנגדות אפס בטמפרטורה של מזגן ביתי אלא גם מצליח לראשונה למדוד את האפקט שכולם לפניו לא הצליחו, אפקט מיינר בחומרים הידרטיים. דחייה של השדה המגנטי והוכחה כי הידרטיים הם אכן מוליכי על בכל המובנים. אאוריקה!

כעת נעבור לגיבור השני של סיפורינו, המשיח על החמור הלבן, דון קישוטה של ספרד, האביר הלוחם ללא חת פרופ' יורג הירש מאוניברסיטת סן דייגו. הירש, מטעמיו שלו וכמובן בהקשר ישיר להסברים התיאורטיים שלו, לא מאמין למוליכות על בטמפרטורות גבוהות בחומרים הללו. לכן הירש לקח החלטה לבדוק לעומק כל מאמר שטוען למוליכות על בחומרים שלא ממש תואמים את מה שהוא חושב. הירש פנה לבדוק את המאמר של דיאס והתחיל לחשוך בגרפים המצוירים שם. "המעברים חדים מידי", אמר לעצמו... זה לא מתאים לחומרים האלה ולפרסומים קודמים. משהו בגרפים נראה לו חשוד והוא ביקש מהכותבים ומדיאס עצמו שישלחו לו את הנתונים של הגרפים במאמר.

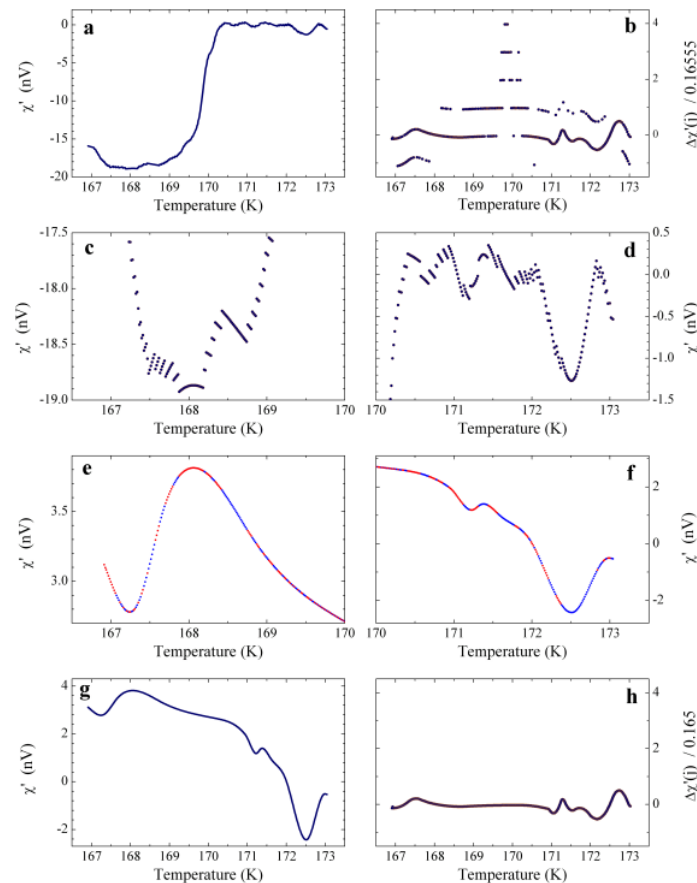
אל תטעו, מדובר בבקשה לגיטימית וכל חוקר נוהג לשתף את הנתונים עם עמיתיו. אפילו העיתון בעצמו מפרסם הודעה כי הנתונים של המחקר עומדים לרשות הכלל בבקשה אישית לכותב המחקר. המטרה היא כפולה: הראשונה היא לבדוק חזרתיות, כלומר שמישהו אחר יוכל לעשות את אותו הניסוי כי זאת פיזיקה והיא חוזרת על עצמה. השנייה היא לייצר שקיפות במדע כי בעבר המדע ידע מקרים שבהם נתונים זויפו או הומצאו יש מאין (ראו ערך סקנדל יאן הנדריק שון). דיאס, התייחס לבקשות של הירש, שהיה ידוע כבר כמדען שבודק את הנושא הזה לעומק, כהתנהגות טרולית משהו ולא ענה לבקשתו. הדבר כמובן העלה חשד ובעבודה משותפת של הירש ושל פרופ' פרנק מרסיליו מארה"ב, השניים כתבו מאמר שטוען כי הנתונים המוצגים במאמר נראים חשודים ושטחו את הסברם הפיזיקלי על בסיס עבודות קודמות [ראו גרסה מאוחרת של המאמר בהפניה 6]. דיאס ענה לבסוף לבקשות ובסוף שנת 2020 פרסם את הנתונים המלאים בקובץ שצורף למאמר המקורי ב Nature. הנתונים כללו את מה שפורסם ואת נתוני הגלם, כלומר מה שנמדד בפועל במעבדה. רק נוסף, לכאורה...

באותה הנקודה, הירש צירף לצוות את פרופ' דירק ואן דר מארל מאוניברסיטת ג'נבה וביקש ממנו לעזור לו לעבור על הנתונים שפורסמו. "משהו שם נראה לי חשוד" אמר לו הירש. השניים עברו על הנתונים של המדידות המגנטיות, ציירו את

הגרפים מחדש והפלא ופלא מצאו קפיצות בדידות בנתונים. לא רק שמצאו קפיצות אלא שמדובר בקפיצות בכפולות שלמות. שאלו את עצמם החוקרים, מדוע יש כאן קפיצות דיגיטליות במדידה של פונקציה שאמורה להיות רציפה? האם מדובר בקפיצה שמכשיר המדידה אולי מייצר?

אחרי ניתוח קל וביטול הקפיצות בצורה מתוחכמת, הפלא ופלא, גרף שנראה כמו גרף מדרגה (או יותר נכון, צוק של מצפה רמון) ומעבר מערך אחד גבוה לערך אחר נמוך, נראה כעת יותר כמו גבעות רכות בחולות ראשון לציון. לא מעבר, לא נפילה ולא נעליים, גרף רציף שנראה כאילו יצא ממכשיר לייצור גרפים משעממים.

החליטו השניים להעלות מאמר ובו שטחו את האנליזה שעשו לנתונים, הראו את הקפיצות הדיגיטליות במידע, פירטו את הנתונים שקיבלו מהחוקרים ושאלו "הכצעקתה?" או ליתר דיוק סיכמו באומנם "איננו יודעים מהיכן הגיעו הנתונים הללו". [7]



גרף מתוך הפניה [7] שמראה את הקפיצות הבדידות בנתונים (c,d) וכיצד הנתונים נראים לאחר שמסירים את הקפיצות הללו. (e-h)

גילוי נאות: בשיחות שלי עם דירק באותה התקופה, ניסיתי להיות פרקליטו של השטן ולנסות ולהסביר את הממצאים בבעיות מכשור. אחרי שהוכיח לי את טענתו, אמרתי כי אולי יש משהו שמתחבא בנתוני הרקע שלא פורסמו ואולי שם יש קפיצות ש"זלגו" לתוך הנתונים של המאמר כפי שפורסם. פשוט לא האמנתי שמישהו יטרח כל כך לזייף...

דיאס הזועם, החליט לענות ולשים סוף לסיפור. רשמנו הוא וחבריו מאמר מפורט ובו שטחו את טענותיהם, הסבירו את ממצאיהם ואפילו רמזו שדירק ויורג הם מטומטמים "שלא הבינו מה עשינו באמת באנליזה של הנתונים במאמר" [8]. בין השאר בתוך התגובה כללו החוקרים את הנתונים כפי שפורסמו אבל חלק חשוב יותר בסיפור הוא הנתונים של מדידת הרקע שהיו חסרים.

מהי מדידת הרקע? ובכן, כדי לדעת שבאמת מה שאנחנו מודדים הוא נכון אנחנו צריכים להבין שהחומר הנמדד הוא כמו חלוק נחל קטן בתוך בריכה ענקית שעשויה מבטון ומתכת ומלאה במים. אם נרצה להבין את התכונות של חלוק הנחל, קודם נצטרך למדוד את הסביבה שלו כמדידת כיוול ואז אחר כך להבין מה חלוק הנחל עושה למדידה כולה כשמכניסים אותו לבריכה. במילים אחרות – תמדדו את הבריכה עם המים בלי חלוק הנחל ואז תמדדו את אותו הדבר עם חלוק הנחל. ההבדל בין המדידות, אם אכן עשיתם אותם כמו שצריך, הוא התרומה של חלוק הנחל. נכון, זה נשמע קשה, אבל אפשרי ואם דיאס הצליח לעשות זאת פעם ראשונה אז באמת מגיעה לו תהילת עולם.

והנה מה שאמר דיאס בתגובה על השאלה לגבי מדידת הרקע: "הרי לא מדדנו בכלל מדידת רקע כמו שניסיתם לטעון במאמר הטענות שלכם, מה שלמעשה עשינו הוא לקחת את המדידה המקורית, להזיז בה נקודות ולקרוא לגרף החדש שיצרנו, מדידת רקע".

רגע, אבל מה????? כן, ככה דירק, אני ועוד כמה קולגות נשמענו כאשר קראנו את התגובה הזאת של דיאס...

אני רוצה להחזיר אתכם רגע צעד אחד אחורה ולהזכיר שדיאס הצהיר במאמר המקורי כי "מדידת הכיול (או הרקע) נעשתה על אותו החומר אבל רק בלחץ נמוך יותר. לחץ כזה שהחומר הוא עדיין לא מוליך על". מדובר בטענה לגיטימית לגמרי במאמר ואם אכן נעשתה כך, אז ההבדל בין המדידה בלחץ גבוה למדידה בלחץ נמוך הוא האפקט שיוצר החומר CSH. אבל כעת במאמר התגובה הוא אומר משהו אחר... הוא אומר בצורה מאד ברורה, תוך כדי תיאור ריגורוזי של השיטה, שהוא ייצר את מדידת הרקע כשלקח את המדידה המקורית שבה רואים מדרגה, ביטל את המדרגה, קרא לגרף החדש "מדידת רקע של המשתמש" (User Background Data) ואותה הוא החסיר מהמדידה המקורית כדי "להדגיש" את האפקט.

ובכן כאן למעשה דיאס ירה לעצמו ברגל וכאן התחילה למעשה החקירה של Nature כנגד המאמר להתחזק ולהגיע למסקנותיה. דיאס למעשה סתר את מה שהסביר במאמר וחשף שהשתמש בשיטה שהיא לא רק לא נכונה מדעית או נפוצה בתחום של המדידות הללו אלא גם שיטה שהוא לא הסביר הלכה למעשה במאמר המקורי. את זה לא עושים במחקר מדעי.

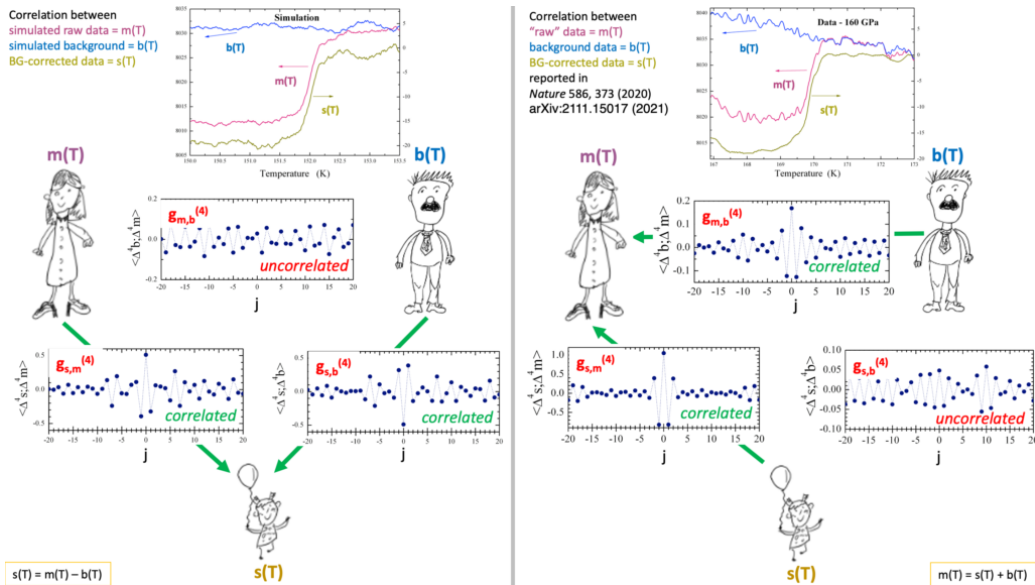
Nature לבסוף לקחו החלטה מאד קיצונית ומשכו את המאמר ללא הסכמת החוקרים. כדי להבין למה השתמשתי במילה קיצונית, צריך להבין כי כשעולה חשד למאמר, אז Nature מציעים לחוקרים למשוך את המאמר בהתאם לחקירה שבוצעה. חוקרים הגונים מבינים את הרמז ומסכימים לבקשה שכן מדובר במוניטין שלהם ואם מתגלה שיש בעיה בפרסום, אז עדיף באמת למשוך את המאמר. לא כך היה הדבר עם דיאס, הוא התעקש שהכל נכון ואמיתי.

המאמר נמשך אבל הסיפור ממשיך. בין לבין, arXiv שנכנס לתוך הביצה הזאת משך בכל פעם גרסה אחרת מהשרת. פעם אחת טענו שדירק והירש רשמו את תגובתם בצורה לא מכובדת. פעם שניה אמרו שהיה זה דיאס שעשה זאת. בכל פעם עלה פרסום של טיוטה וזמן מה אחר כך היה קשה למצוא אותה. הם אפילו הגדילו לעשות ואסרו על הירש לרשום מאמר כלשהוא ב arXiv בגלל הסיפור הזה. לבסוף הכל בא על מקומו בשלום, כל הגרסאות חזרו להיות זמינות [9] ו Nature הודיעו כי משכו את המאמר בצורה רשמית.

זמן מה לאחר מכן, דירק והירש מפרסמים מאמר רשמי [10] של כ 23 עמודים ובו שוטחים את כל ההסברים על הזיוף שהם מצאו בכל הנתונים שקשורים במדידות המגנטיות כולל הסבר מאד מעניין, הסבר על מדד ההתאמה במשפחה [11]. נשמע מוזר אבל תתאזרו בסבלנות ואסביר... כל מהנדס (כמוני) לומד שבין שני אותות אקראיים אין התאמה או קורלציה. רעש הוא אות אקראי. אם נבדוק התאמה בין מדידה לא תלויה אחת רועשת למדידה לא תלויה אחרת רועשת, אז לא תהיה התאמה ביניהם. לעומת זאת אם בתוך המדידה יש אות שקיים בשתי המדידות אז בדיקה של קורלציה בין המדידות תדגיש לנו שיש התאמה. זה נקרא קורלציה מוצלבת במילים המקצועיות וזה כלי מתמטי שעושים בו שימוש למציאת אותות במדידות רועשות.

אז מה הקשר למשפחה? נניח לרגע שיש לנו אבא שקוראים לו "רקע" ואמא שקוראים לה "גלם". אם "מחסירים" מאמא "גלם" את אבא "רקע" נקבל את הילד "אות". במושגים של המאמר שפורסם אז האמא היא המדידה שבוצעה בפועל, כלומר מדידת הגלם או Raw data האבא הוא הרקע Background data אני שב ומזכיר שמדידת הרקע זאת המדידה של כל הבריכה בלי חלוק הנחל או במקרה של דיאס אותו רקע שהוא יצר מתוך המדידה המקורית), ממנו אנחנו מנסים להיפטר, יסלחו לי האבות האחרים בקהל. לבסוף הילד הוא האות או המידע שפורסם לבסוף כגרף במאמר, זהו ה Published data. הילד אמור להיות האמא פחות האבא כאשר לא צריכה להיות התאמה מוצלבת בין האמא לאבא אבל כן צריכה להיות התאמה בין הילד לאמא ובין הילד לאבא. במושגים מתמטיים נרשום ילד = אמא - אבא. ובכן זאת משפחה נורמלית במושגים של אותות, רעש וקורלציות.

אז מה קרה כאשר מפעילים את כלי הקורלציה המוצלבת על הנתונים של דיאס? ובכן יש קורלציה בין האמא לאבא, זה צריך להיות ברור במקרה של דיאס כי יצרנו את האבא מתוך האמא כפי שנטען במאמר התגובה של דיאס. יש גם קורלציה בין הילד לאמא, זה גם צריך להיות ברור כי מה שפורסם הגיע כנראה גם כן מהאמא. אבל השם ישמור, אין קורלציה בין הילד לאבא... אם בוחנים את הטענה הזאת לעומק אז מבינים שהאמא היא בעצם תוצר של הילד והאבא. במושגים מתמטיים נרשום אמא = אבא + ילד... לא רק שזה לא נורמלי מדובר פה בסיפור של גילוי עריות בתיבול של סיפור ישו ומריה (או משה האבא במקרה הזה) הקדוש(ה) בכל הטרמינולוגיה של עיבוד אותות ורעש!



אילוסטרציה של התאמות בין נתונים מתוך הפניה [11]. משמאל ניסוי "אמיתי" וחוסר קורלציה בין הרקע למדידת הגלם. מימין, המצב בנתונים כפי שנמצאו במאמר של דיאס.

במאמר מוסגר, את ההצעה לשימוש בכלי הזה זוקף דירק למשתמש אנונימי מאתר Reddit שפנה אליו והציע לו לבדוק את ההתאמה המוצלבת בין הנתונים. אני מניח שאותו המשתמש גם הוא מהנדס שכן בדיעבד הסברתי לדירק שמדובר בכלי ידוע בניתוח אותות בעולם הנדסת התקשורת וגם אני למדתי אותו בעבר בקורסי הנדסת החשמל. כאשר הצעתי לדירק שאולי כדאי להכניס קורסי חובה לפיזיקאים בתחום של אותות אקראיים ורעש ועיבוד אותות הוא אמר לי בתגובה "השתגעת? אתה רוצה ללמד פיזיקאים כמו דיאס איך לזייף יותר טוב??"

אם חשבתם שכאן נגמר הסיפור, אז טעיתם. הרי ידוע שבמקרים של חוקרים רמאים, האותות לכך מופיעים כבר קודם לכן. הם רק משתכללים עם השנים כל עוד הם נמצאים מתחת לרדאר.

נתחיל בסימן הראשון שדווקא לא הצביע על החשוד המיידני בסיפור שלנו. מסתבר שבמאמר שנמשך היה חוקר שעשה את המדידות המגנטיות והוא חתום על מאמר אחר בעיתון שנקרא Physical Review Letters (PRL) ובו הוא הראה כי חומר שנקרא אירופיום גם הופך להיות מוליך על בלחצים גבוהים [12]. הירש, ידידינו מזה כבר, כבר בדק את המאמר ושלח ל PRL את טענותיו על בעיות בגרפים מתוך המאמר הזה. חשוב להדגיש: דיאס בכלל לא רשום כחוקר שותף למאמר הנ"ל ולא קשור אליו באופן ישיר. המכנה המשותף הוא החוקר שנקרא מתיו דבסאיי שאחראי על המדידות המגנטיות בשני המאמרים הבעייתיים.

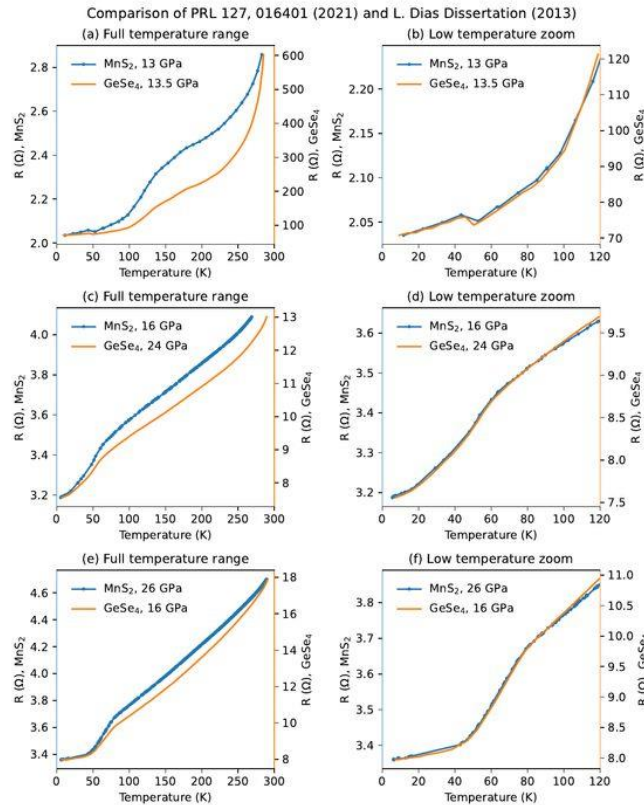
PRL עשו את המחקר שלהם ואחד הכותבים, ג'יימס המלין, שהיה חתום גם הוא על ה PRL, החל לבדוק את כל הנתונים של העבודה של דבסאיי ומצא כי הנתונים עברו מניפולציה. בנוסף, מאחר והאמלין עובד בלחצים גבוהים, הסטודנט שלו גילה שיש באמת תופעת לוואי בטמפרטורה בה דבסאיי דיווח שיש אפקט באירופיום. כאשר חזרו על המדידה באמצעים אחרים שנטרלו את תופעת הלוואי, לא נמצאה שום עדות למוליכות על באירופיום והמאמר נמשך.

אז אם אותו מתיו אחראי על שתי המדידות המגנטיות הבעייתיות בשני מאמרים שונים על חומרים שונים, אז הוא כנראה הזייפן הראשי... ובכן, היה סביר להניח שכן אבל הסיפור ממשיך ומתפתל.

החשדות של האמלין לאחר הבדיקה הנ"ל ולאחר שראה את העבודה שעשו דירק והירש ושיחות עם הירש על הנושא, גרמו לו להבין שכנראה גם הנתונים האחרים במאמר ה Nature של דיאס הם בעייתיים. הוא החליט לחקור את הנתונים של מדידות ההתנגדות החשמלית במאמר של דיאס 2020 שגם היו נראים לו כמזויפים. מאחר שלא סופקו לו הנתונים הוא הצליח להפיק את הנתונים הגולמיים מתוך הגרפים [13] ומצא שגם בהם יש קפיצות דיגיטליות בלתי מוסברות [14].

כלומר המסקנה היא כזאת, כל המאמר כולל המדידות המגנטיות שעשה כנראה מתיו וגם המדידות החשמליות שאותם לא עשה מתיו, הן כולן סיפור של משחקים בנתוני המדידה. ככל הנראה כל הנתונים עברו מניפולציה כדי לייצר את הגרפים במאמר ולהוכיח את הטענה של מוליכות על. אז כנראה שמישהו אחר מושך כאן בחוטים, סליחה... בנתונים.

האמלין לא עצר כאן, החשדות הללו התגברו כאשר ראה עבודה נוספת של דיאס על חומר שנקרא MnS_2 [15]. מההיכרות שלו עם הנושא של מדידות חומרים בלחצים גבוהים הוא השווה את הנתונים של המאמר החדש של דיאס ב PRL עם התזה של דיאס ומצא שוב התאמה בין הנתונים. אבל רגע... מה הבעיה? ובכן התזה של דיאס משנת 2013 בכלל לא עסקה בחומר MnS_2 אלא בחומר $GeSe_4$. אבל אם מציירים את הנתונים האחד על השני מקבלים גרף זהה לחלוטין בטמפרטורות נמוכות! סיימון קימבר שהיה חתום על ה PRL הנ"ל קיבל מייל מהאמלין ולאחר שהבין כי יש פה בעיית זיוף החליט בעצמו לכתוב ל PRL ולבקש כי יחקרו את המאמר שהוא חתום עליו.



השוואה שבוצעה בין הנתונים מהמאמר PRL בשנת 2021 לעבודת התזה של דיאס משנת 2013 על חומרים שונים לחלוטין [18].

האם כאן מסכת השקרים נעצרה??? ברור שלא! כאשר האמלין בחן את התזה של דיאס הוא גילה בה משפטים מאד מוכרים לו. למעשה הוא גילה פסקאות שלמות שמוכרות לו. החליט האמלין לבדוק את הנושא לעומק והכניס את התזה שלו עצמו ואת התזה של דיאס לכלי לגילוי העתקות (iThenticate). מסתבר שפסקאות שלמות נמצאו בשתי התזות. דיאס פשוט העתיק פסקאות שלמות כולל טעויות שעשה בהפניות לחלק מהציטוטים בפסקאות שהעתיק. יתרה מזאת גם במאמר התגובה המשותף של דיאס וסאלמאט (החוקר הראשי השני במאמר ה CSH) נמצאו פסקאות שלמות שהועתקו מהתזה של האמלין [*]. למעשה אתם מוזמנים לנסות את זה בעצמכם... [16].

3.6 Coil System and AC Magnetic Susceptibility

The basic principle of the ac magnetic susceptibility measurement is shown in at the left of Figure 3.25. The sample is surrounded by a pickup coil and a separate coil subjects the sample to an alternating magnetic field. The alternating flux through the pickup coil produces an ac voltage which is the measured signal. Above T_c , the applied field penetrates the sample. When the sample is cooled below T_c , the field is expelled from the sample due to the superconducting shielding effect, forcing some of the flux lines out of the pickup coil. This leads to a reduction in the induced voltage in the pickup coil. Thus, a sudden drop in the pickup coil voltage is expected when the sample becomes superconducting.

Measuring the ac magnetic susceptibility of samples contained in a diamond anvil cell presents several difficulties. Because the coils are usually placed outside of the gasket, the sample takes up a very small portion of the coil, in contrast to the schematic

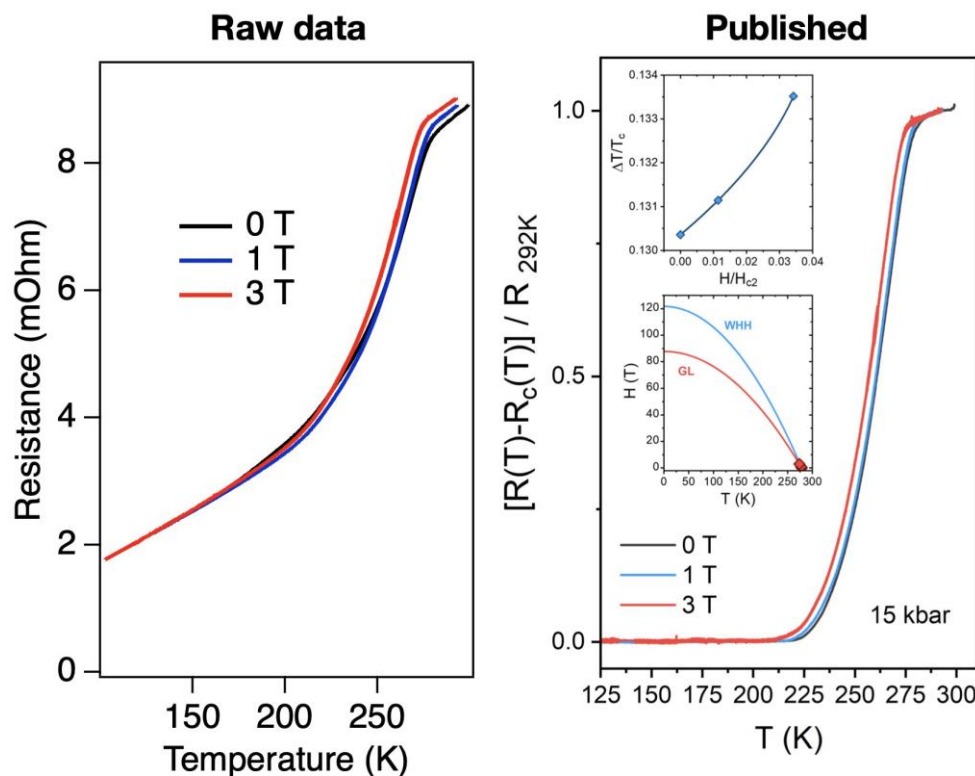
picture shown in at the left of Figure 3.25. Therefore, the drop in the signal at the superconducting transition is a minuscule fraction of the total induced voltage. To eliminate this large background voltage, we connect the pick-up coil in series with an identically wound "dummy coil", which is connected with opposite polarity, to cancel out the large background signal. In practice, there is a residual temperature-dependent background due to slight differences in the magnetic environments of the pick-up coil and dummy coil. In order to minimize this temperature-dependent background, one must choose a gasket material that is non-magnetic down to the lowest measurement temperatures. In addition, the gasket should have low enough conduc-

In our susceptibility measurements, the sample is surrounded by a pickup coil, and a separate coil subjects the sample to an alternating magnetic field. The alternating flux through the pickup coil produces an AC voltage, which is the measured signal. Above the superconducting transition temperatures (T_c), the applied field penetrates the sample. When the sample is cooled below T_c , the field is expelled from the sample due to the superconducting shielding effect, forcing some of the flux lines out of the pickup coil. This leads to a reduction in the induced voltage in the pickup coil. Thus, a sudden drop in the pickup coil voltage is expected when the sample becomes superconducting. Measuring the signal in a diamond anvil cell is challenging, and because the coils are usually placed outside of the gasket, the sample takes up a very small portion of the coil. Therefore, the drop in the signal at the superconducting transition is a small fraction of the total induced voltage. To eliminate this large background voltage, we connect the pick-up coil in series with an identically wound "dummy coil", which is connected with opposite polarity, to cancel out much of the large background signal. The crucial point is to balance the secondary coils at room temperature so that the response from the secondary coils is as small as possible. The balancing of the coil system does not guarantee negligible temperature-dependent background, but it minimizes

the response to the lowest value possible. So, in practice, we still see a microvolt level background (temperature dependent) due to slight differences in the magnetic environments of the pick-up coil and dummy coil. [20]

השוואה בין חלקים מהתזה של האמלין (משמאל) עם המאמר שפירסמו דיאס וסאלמאט (מימין) [8]. מתוך הכתבה של דן גריסטו [*].

כאן נגמרה מסכת השקרים והזיופים שנמצאו עד כה. כעת אפשר לעבור למאמר החדש שפורסם על NLH והוצג בוועידת מרץ האחרונה. הפעם דיאס פרסם את הנתונים יחד עם המאמר ואם קוראים אותו אז מגלים שקיפות כלשהיא על אופן ניתוח הנתונים. גם במצגת שנתן דיאס בוועידת מרץ הסביר את הרקע והחיסור שלו מהמדידות. למרות זאת, מסתבר שאם לוקחים את הנתונים ומציירים אותם מגלים שהרקע הוא לא כזה קטן. דיאס עשה פעולות של חיסור רקע גם ממדידות שבהן לא חייבים לעשות זאת. מדידה שכזאת היא מדידת ההתנגדות – אם חומר הופך להיות מוליך על הוא למעשה מקצר את המגעים וההתנגדות שתימדד תהיה אפס. יש גם טכניקה שבה השתמש דיאס כדי להימנע ממדידה של המגעים עצמם כפי שחוקרים רבים בתחום עושים. למרות זאת, הנתונים הגולמיים מראים מדידות שבהן ההתנגדות היא אינה אפס ולמעשה דיאס מחסיר מהן מדידת רקע שלא ברור מה היא הסיבה לכך ואז "מייצר" את הגרפים היפים שרואים במאמר שבהם ההתנגדות מתאפסת. חוקרים רבים תמימי דעה שהשיטה שבה נקט דיאס היא פשוט לא לגיטימית במיוחד במדידת התנגדות כפי שנעשתה במאמר. לאור ההיסטוריה של החוקר הנ"ל והצורה שבה הוא עושה מניפולציה לנתונים שלו, אין ספק שיש לקחת בערבון מוגבל את הממצאים.



משמאל – המדידה המקורית על פי הנתונים שפורסמו יחד עם המאמר. מימין – אותה המדידה אחרי שהוחסר ממנה "רקע" כדי לייצר מעבר פאזה למוליך על. האם יש צורך לעשות זאת כדגם מוליך על בתצורה בה הוא נמדד במאמר של דיאס? לא! (מתוך ציון של אנה אקראפ, קולגה של הכותב).

אז לאן פנינו? המאמר של דיאס מתאר חומר שניתן להשיג אותו בקלות במעבדה בשונה מהחומרים הקודמים להם היו כמה מומחים בעולם שהיו מסוגלים לעשות זאת. החוק החשוב ביותר בפזיקה היא החזרתיות במדידות ולכן כעת יפעלו קבוצות רבות לנסות ולשחזר את החומר ולראות האם הם רואים אפקטים של מוליכות על. הקבוצה של דיאס הצליחה לשחזר את החומר CSH במעבדה אבל אין שם עדויות ברורות למוליכות על [17] או לפחות לא רואים חזרה על אותם הניסויים בדיוק כפי שהופיעו במאמר ה Nature שנמשך. נדגיש כי דיאס עד היום מראה אפקטים לאחר שהנתונים הנמדדים עברו מניפולציה שלא תמיד מוסברת. טענות על חומרים מוליכי על נשמעות חדשות לבקרים ולא כל חומר שמראה שינוי או קפיצה כלשהיא בנתונים הוא חומר מוליך על. למעשה אם כולנו ננקוט בשיטות שבהן נוקט דיאס, נוכל למצוא עוד הרבה חומרים מוליכי על בטבע שלמעשה נובעים אך ורק מאנליזה מאד אגרסיבית של הנתונים.

לנו נשאר לשאול מספר שאלות:

1. כיצד עיתון Nature החליט לתת למאמר האחרון של דיאס לצאת לעולם מבלי לצלוב את החוקרים ולבקש מהם את הנתונים? למעשה אותם גרפים שמראים כי הנתונים שוב פעם עברו מניפולציה כבדה, אם היו זמינים לסוקרים של העבודה ואם אלו היו סוקרים רציניים בתחום, אזי כנראה המאמר הזה לא היה עובר את הסינון של השיפוט. משום מה Nature לא רק שפרסמו מאמר נוסף עם מניפולציה כבדה של הנתונים אלא הרשו לדיאס לצטט את המאמר של עצמו שנמשך כבר מ Nature! הסיפור הזה פוגע קשות באמינותו של העיתון שהיה פעם מאד מכובד.

2. האם דיאס שקיבל קרנות מחקר וגייס כספים (ראו ערך למטה) על בסיס נתונים ראשוניים שלאחר מכן פורסמו ונמשכו ייאלץ להחזיר את הכסף? מה דינה של החברה שהוא וסאלאמט פתחו בנושא מוליכי על בטמפרטורות החדר? במאמר מוסגר נאמר שדיאס הצהיר בכנס אחר כי שניים מהמשקיעים בחברה הם המנכ"לים של חברת Spotify וחברת OpenAI. מסתבר כי מדובר בשקר ואחרי שעזימתו את דיאס אתו, הוא הסביר שבסה"כ תיאור משקיעים פוטנציאליים. למרבה הפלא, הקלטת ההרצאה ביו טיוב נמחקה לאחר מכן כדי למנוע מאיתנו לבדוק את ההצהרה.

ובכן זוהי תקופה מאד מעניינת ולמעשה מחזירה אותנו אחורה בזמן לשנות ה-2000 בהן הפיזיקה למדה על בשרה את מחירו של הזיוף המדעי. סקנדל שון על שמו של המדען הגרמני יאן הנדריק שון, הפך לאות קין בעולם הפיזיקה של המצב המוצק. שון למעשה זייף סטים שלמים של נתונים שפורסמו בעיתונים כמו Nature ו-Science. הוא זכה בפרסים רבים על כך ושמו אף השתרבב בין המועמדים לפרס נובל. מהר מאד קבוצות אחרות שניסו לשחזר את עבודתו הראו כי הדבר אינו אפשרי ובכך חשפו את הבלוף. למעשה הבקשה לחשוף את נתוני המחקר כיום ולפרסם אותם עם המאמר נולדו מאותו הסקנדל. קרנות מחקר רבות ביניהן קרן המחקר הלאומית השוויצרית מכריחות כעת את החוקרים לפרסם את הנתונים בקובץ נפרד על כל מאמר שיפורסם בתמיכת כספי הקרן. קרנות אירופאיות כמו ERC גם הן שוקלות לנקוט בצעדים דומים וכיום מכריחות את החוקרים לפרסם את ממצאיהם בעיתונים "פתוחים" ללא תשלום. מעניין לדעת אם קרן המדע הלאומית הישראלית תנקוט באותם צעדים בעקבות הקדמה המדעית העולמית בנושא וסיפורים כגון סקנדל שון. כל שנותר לנו כעת הוא להמתין לעבודת השחזור והחזרתיות מקבוצות אחרות כדי להבין האם חווינו כעת על בשרינו את סקנדל דיאס או שבאמת מדובר בממציא של מוליכי העל בטמפרטורות החדר. בשימוש בניב מוכר נאמר כי או שדיאס יאכל את הכובע או שאנחנו נוריד את הכובע בפניו.

- [1] <https://www.youtube.com/watch?v=XhhvOMuLF94&t=5s>
- [2] E. Snider et al. Nature 586, 373, (2020) <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2801-z>
- [3] N. Dasenbrock-Gammon et al., Nature 615, 244 (2023) <http://dx.doi.org/10.1038/s41586-023-05742-0>
- [4] A. P. Drozdov et al., Nature 525, 73 (2015) <http://dx.doi.org/10.1038/nature14964>
- [5] N. W. Ashcroft, Phys. Rev. Lett. 21, 1748 (1968) <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.21.1748>
- [6] J. E. Hirsch et al., Phys. Rev. B 103, 134505 (2021) <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.103.134505>
- [7] D. van der Marel et al. (Jan. 2022) <https://arxiv.org/abs/2201.07686v2>
- [8] R. Dias et al., 2021 <https://arxiv.org/abs/2111.15017>
- [9] D. van der Marel et al. (Aug. 2022) <https://arxiv.org/abs/2201.07686>
- [10] D. van der Marel et al., International Journal of Modern Physics B 37, 2375001 (2023) <https://doi.org/10.1142/S0217979223750012>
- [11] D. van der Marel, personal website, <https://dirkvandermarel.ch/science/ambient-superconductivity/>; Van der Marel's talk at the online workshop 'Does Condensed Matter Physics need to worry about a reproducibility crisis?' (March 2023) <https://t.co/AXKcqrCOBZ>
- [12] M. Debessai et al., Phys. Rev. Lett. 102, 197002, (2009) <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.102.197002>
- [13] J. Hamlin, <http://arxiv.org/abs/2210.10766v1>

[14] J. Hamlin's talk at the online workshop 'Does Condensed Matter Physics need to worry about a reproducibility crisis?' (March 2023) <https://t.co/Lvo9xxaXcA>

[15] D. Durkee et al., Phys. Rev. Lett. 127, 016401 (2021) <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.127.016401>

[16] Daniel Arovas, Facebook account [https://www.facebook.com/daniel.arovas/posts/pfbid0yM7t5eGdRWbp4BmBnPnsBMB06uSvLg4ytkkqBCct2ckiRUamX5UyCcv8y6iX9aegl?_cft__\[0\]=AZUXc0AunOFqi80LmuIUXiw_R3nrQg9YLPkdM8F2kUVpok9PohEFnWs688vB3IT6KJ4KIoNoOSstUK9Z3VcWQ9Qq_s8QBF3Z-aEC5V1hJ2pV_GCQaGrbr2rA8Tx7dyrAaI7rZqeP-x_AREKde969zvpTAylyrMoa7fJDc0OIRGUa6g&_tn_=%2CO%2CP-R](https://www.facebook.com/daniel.arovas/posts/pfbid0yM7t5eGdRWbp4BmBnPnsBMB06uSvLg4ytkkqBCct2ckiRUamX5UyCcv8y6iX9aegl?_cft__[0]=AZUXc0AunOFqi80LmuIUXiw_R3nrQg9YLPkdM8F2kUVpok9PohEFnWs688vB3IT6KJ4KIoNoOSstUK9Z3VcWQ9Qq_s8QBF3Z-aEC5V1hJ2pV_GCQaGrbr2rA8Tx7dyrAaI7rZqeP-x_AREKde969zvpTAylyrMoa7fJDc0OIRGUa6g&_tn_=%2CO%2CP-R)

[17] H. Pasan et al., <http://arxiv.org/abs/2302.08622>

[18] <https://pubpeer.com/publications/F342DD2D2E72E5E2FD507089562B94>

[*] הרשום לעיל נכתב מהיכרות קרובה עם הסיפור כעוזר מחקר בקבוצתו של דירק ואן דר מארל ושיחות אישיות עם דירק לאורך הסיפור כולו ובהמשך לכתבה שפורסמה לאחרונה על ידי הכתב של APS, דן גריסטו <https://physics.aps.org/articles/v16/40>