

מודל פיסיקלי עיוני של התא החי או הצומח

ההנחה הבסיסית שלי היא כי כל הפעולות של כל גוף, דומם צומח או חי, נובעות מתכונותיו למשוך ולדחות גופים וחומרים חיצוניים. כתוצאה מפעולות המשיכה קימות שתי פעולות עיקריות נוספות: **עיכול ופליטה**. לגבי הדומם פעולות המשיכה והדחיה נובעות מכוחות פיסיקליים שונים, כגון כוחות חשמליים, כוחות מגנטיים, כוחות הידרודינמיים וכו'. בעוד אשר פעולות העיכול והפליטה בדומם קשורות לתהליכים כימיים. לגבי הצומח והחי מתבטאות פעולות המשיכה, הדחיה, העיכול והפליטה בתהליכים הפיסיקליים, הכימיים והביולוגיים המוכרים לכל.

מנקודת השקפה זו אני מניח כי גם כאשר יורדים לרמה התאית התכונה העיקרית של התא היא כושר לכידתו מזונות שונים. במודל העיוני הנוכחי אנסה להראות כי ניתן להסביר גם את כושר ההתחלקות של התא באמצעות מכניזם המבוסס על לכידת חמרים מבחוץ ותהליכים פיסיקליים-כימיים פשוטים. יש צודות לכידה שונות אולם בכולן התוצאה היא שחמרים המצויים בסביבה שמחוץ לתא נספחים אל תוך התא. לכן הייתי מרחיב ואומר כי נקודת המוצא של כל צומח וחי בטבע היא כושר הספיחה של חומרים שבסביבתו. אין זה משנה לגבי אם החומרים הם נוזליים וחודרים לתא ע"י דיפוזיה דרך דופן התא, או שהחומרים הם בצורת גוף מרובש הנלכד ע"י התא והופך לחמרים נוזליים בתוכו עקב פעולת העיכול הכימית-ביולוגית. למען הפשטות נתיחס כאן בתחילה לחומרים בלבד. אם כי בהמשך נראה כי התא סופח ומושפע גם מקרינות שונות ומשדות פיסיקליים שונים אשר יפורטו בהמשך.

בהתאם לנקודת המוצא הנ"ל ניתן לנסות לבנות **מודל פיסיקלי לתהליך היצירה**, ההתחלקות והפעילות של התא הבסיסי ביותר של החי או הצומח בשורת הצעדים הבאים.

הצעד הראשון: יצירת המעטפת החיצונית

נניח שיוצאים ממצב של נוזל הומורני המורכב מתערובת של מים וסוגים שונים של מולקולות. מבלי להתייחס למולקולות מוגדרות, נסמן את סוגי המולקולות באותיות A, B, C, D וכו'. במצב ההומורני המולקולות נעות בתוך המים באופן שרירותי לחלוטין. הן נתקלות זו בזו ונהדפות בהתאם לחוקי הפיסיקה של שימור תנע קוי ותנע זוויתי עם תוספת של המגבלות הנובעות מכוחות פיסיקליים שונים, כגון הידרודינמיים, בצורה של התנגדות המים לתנועתן ולסיבובן. התנגדות כזו קימת גם לגבי מולקולות גדולות הנעות באוויר באופן שרירותי, אלא שבאוויר השפעת ההתנגדות קטנה במידה משמעותית מאשר ההתנגדות במים. הבדל נוסף בין האוויר והמים, כתווך, נובע מחוק ארכימדס ביחס לגבי מולקולות שמשקלו הסגולי גדול בהרבה מזה של האוויר אך קרוב למשקל הסגולי של המים. מולקולות אלו ירחפו במים ולא ישקעו מטה, בעיקר אם במים יש זרמים או רלים. אם הזרמים מתחלפים בתדירות גבוהה הם מוסיפים לתנועה השרירותית של המולקולות. כלומר אנו עדיין בנוזל הומורני.

עתה נניח כי מאיזו שהיא סיבה חיצונית נפרמת השרירותיות. למשל אם אבן מוכנסת לתוך הנוזל או שמציבים מגבלות בקצות הנוזל. אם מדובר בים אז באזור החוף וליתר הדגשה באזורים הסלעיים בקרבת החוף. בשני המקרים אנו יוצרים תנאי גבול, וליתר דיוק תנאי שפה, בין הנוזל והאבן או הסלעים. באזורי שפה

אלה הנוזל כבר לא יתנהג לגמרי בהומוגניות ותוך כדי התנועות הזרמיות בנוזל יהיה סיכוי גדול יותר לסוג אחד של מולקולות להיות זמן ארוך עם סוג אחר של מולקולות ויתכן שיווצרו התחברויות של כמה סוגי מולקולות למולקולות גדולות יותר. אם מניחים שהמולקולות מתחברות ביניהן בנקודות חיבור מוגדרות, אזי הצורה המשטחית נראית כמועדפת. לכן הצורות הצפויות לדעתי הן בעיקר של מעטפות מרושתות כדוריות, מאחר וזו הסימטריה שאינה מעדיפה כיוון מרחבי מסוים אם אין סיבה להעדפה כזו. זוהי גם הצורה שבה היחס בין חוזק למשקל, בנפח מוגדר, הוא הטוב ביותר. לכן יש סיכויים גדולים יותר של צורה זו להחזיק מעמד זמן ארוך מכל צורה אחרת. אם באזור המעטפת יש אי הומוגניות מרחבית כלשהי יתכן והמעטפות המרושתות לא תהינה כדוריות. כלומר, אנו יכולים להבין מסיבות פיסיקליות בסיסיות כיצד עשויות להיווצר המעטפות המרושתות, כדוריות או אחרות. נראה בהמשך כי מעטפות אלו תהינה הצעד הראשון לקראת יצירתם של התאים הראשוניים. הן תהינה למיטב הבנתי מה שנהוג לכנות "מעטפת התא". לכל תא המעטפת המיוחדת לו על סמך התנאים הפיסיקליים הסביבתיים. מעטפות אלו, כאמור, נוצרו כנראה כתוצאה מהתנועה השרירותית של המולקולות במים.

הצעד השני: יצירת הגרעין

אחת השאלות שיש לענות עליהן היא מדוע נוצר גרעין דווקא בתוך "מעטפת התא". על שאלה זו אנסה לענות עתה. לשם הנוחות נניח שהמעטפות הרשתיות נוצרו מחיבור של סוגי מולקולות A, B ו-C. למען הפשטות שבהסבר נניח כאן כי יש ברשת חודרים בגודל אחיד. נניח עוד כי מולקולות מסוג D, E, F, G הן קטנות במקצת מקומר החודרים שברשת, כך שתוך כדי תנועתן השרירותית הן יכולות לחזור בקלות לתוך המעטפת ואף לצאת בקלות. נניח עוד שמולקולות D ו-E עשויות להתחבר ביניהן רק באמצעות מולקולה FG, שהיא חיבור של מולקולות F ו-G והמשמשת כקמליזטור. עתה נעקוב בדמיוננו אחר מעטפת מרושתת מסוימת. מולקולות מסוגים D, E, F, ו-G חודרים לתוכה ויוצאים ללא הפסק. הסיכוי ששתי מולקולות מסוגים שונים יפגשו בתוך הכדור הוא קטן, אך לאחר זמן ארוך מספיק יתרחש הדבר ונקבל את המולקולה FG. נניח כי מולקולה זו גדולה מגודל חוד ברשת, כך שהיא לכודה בתוך המעטפת הרשתית. כאן חשיבותה העיקרית של המעטפת הרשתית. כעבור זמן מה תתחברנה שתי מולקולות D ו-E למולקולה אחת שנסמנה DE, באמצעות מולקולת הקמליזטור FG. נניח שגם גודלה של מולקולה DE זו גדול מקומר החודרים ברשת, כך ששגם מולקולה זו אינה יכולה לצאת החוצה. לפני ההתחברות היה לכל מולקולה נפרדת D ו-E תחום מרחבי סביבן בקומר של המרחק למהלך חופשי עד להתנגשות עם מולקולה אחרת. לאחר ההתחברות, המולקולה DE אימית יותר ותופסת תחום מרחבי שנפחו קטן מסכום הנפחים של המרחבים שהיו סביב שתי המולקולות D, E הנפרדות. לכן בתוך המעטפת יש "חלל" קטן בים המולקולות מסוגים D ו-E בתוך המימי. בשל התנועה השרירותית של המולקולות יש סיכוי גדול יותר שמולקולות מסוג D ו-E יגיעו לאזור בו יש בהן חוסר. כלומר תגבר הנטייה של מולקולות אלו להכנס לתוך המעטפת. שם יש להן סיכוי להתחבר בנוכחות מולקולת הקמליזטור FG וה"חלל" ילך ויגדל בנפחו. הדבר יאיץ את זרימת המולקולות מסוג D ו-E לתוך המעטפת הרשתית. באזור מולקולת הקמליזטור FG תיווצר סביבה עם מולקולות מחוברות DE. בינתיים נוצר "חלל" גם בים המולקולות F, G. בשל התחברות מולקולת הקמליזטור FG, כך שגם מולקולות F, G תתחלנה לנהור לכיוון ה"חלל" בים שלהן, אם כי בקצב שונה מאשר תנועת מולקולות D, E. לכן יש סיכוי להיווצרות עוד מולקולות קמליזטור FG. הדבר יאיץ עוד יותר את קצב יצירת מולקולות DE והתהליך כולו יקבל תאוצה. באופן זה הולך ונוצר גרעין העשוי, מולקולות גדולות יחסית, בתוך מעטפת התא. משיקולי סימטריה, אם אין סיבה אחרת תהיה לגרעין צורה כדורית. כמו כן, מאחר והוא מורכב ממולקולות גדולות יהיו בו תעלות אשר דרכן יוכלו להכנס ולצאת מולקולות קטנות. אולי אפילו מולקולות מסוגים D, E, F, G ואחרות. בהיפגשן עשויות להיווצר עוד מולקולות FG ו-DE והגרעין

נשאלת השאלה מדוע שתהליך זה לא יעצר מיד לאחר התחלתו. התשובה לכך ניתנת להסבר ניווני פיסיקלי באמצעות הנחת קיום מצענים חשמליים מתאימים למולקולות השונות. חשוב ששתי מולקולות קמליזמור FG תדחינה זו את זו. אחרת הן תשארנה סמוכות זו לזו והסביבה הנפחית, של השפעתן כקמליזמוריות, תהיה קטנה. האפשרות הראשונה שעולה במוחי לקיום דחיה ביניהן היא שלשתיהן אותו מטען חשמלי עודף. למרות כוח הדחיה החשמלי ביניהן צריכות שתי המולקולות להתגרר על התנגדות הסביבה לתנועתן, כגון התנגדות הידרודינמית או קיום מכשול פיסי כלשהו. כך שהן לא תתרחקנה יותר מדי זו מזו, ומשיקולי סימטריה הן תשארנה באזור מרכז מעטפת התא, אם היא כדורית. אחרת, האזור להתהוות הרעין עשוי להיות שלא במרכז המעטפת.

מה לגבי המולקולות DE. אם הן בעלות מטען חשמלי מנוגד לזה של מולקולות FG אזי עשויה להתרחש התלכדות חשמלית בין DE ו-FG והתהליך הקמליזמורי יעצר. אם לעומת זאת למולקולות DE יהיה אותו מטען חשמלי כמו למולקולות FG אזי התהליך יכול להמשיך. אם כאן עשויות המולקולות DE להיות קרובות זה לזה בכוח הלחץ ההידרודינמי של התמיסה שבתוך המעטפת, למרות היותן בעלות מטענים חשמליים זהים. תמיסה זו סמיכה יותר מאשר מחוץ למעטפת התא כי מולקולות שהתחברו לא תמיד יכולות לצאת דרך חורי הרשת במעטפת התא, כפי שנראה בצעד העליון. תמיסה זו היא כנראה מה שנהוג לקרוא "הציטופלסמה" של התא. מכאן שלציטופלסמה של התא עשויה להיות חשיבות מכרעת באשר לקצב התפתחות הרעין.

הצגה השלישית: חילוף חומרים

נניח עתה את ההנחות הבאות: מולקולות המים והמולקולות מסוגים I ו-J קטנות מהחודרים ברשת המעטפת, מולקולות K ו-L גדולות אך במקצת מהחודרים ברשת, ומולקולות M ו-N גדולות במידה ניכרת מהחודרים. עוד נניח כי מולקולות I ו-J מתחברות ביניהן ויוצרות מולקולה IJ הגדולה מהחודרים. עתה נעקוב בדמיוננו אחר התהליך העשוי להתרחש. מולקולות I ו-J נעות שרירותית לתוך הכדור מכל הכיוונים ומתלכדות בתוכו. מאחר והמולקולות החדשות IJ אינן יכולות לצאת מהכדור נוצר לחץ פנימי והמעטפת נמתחת במקצת. החודרים ברשת גדלים במקצת ומתאפשרת חדירה של המולקולות מסוג K ו-L לתוך הכדור. נניח שאלה מתאחדים ונוצרות מולקולות KL הגדולות מהחודרים המוגדלים. נוצר לחץ פנימי נוסף המרחיב עוד יותר את החודרים, עד כדי כך שמתאפשרת יציאת מולקולות IJ החוצה. נוצר תהליך של חילוף חומרים בין הכדור וסביבתו. בינתיים מולקולות מסוגים M ו-N, הגדולות דק במקצת מהחודרים המוגדלים ברשת, נתקלות ברשת, נתקעות בחודרים וסותמות אותם באופן מלא או חלקי. כך שרק מולקולות קטנות במיוחד יכולות לחדור פנימה או לצאת החוצה. יתכן שבשלב מסוים אפילו מולקולות מים אינן מסוגלות לצאת ולהכנס. תלוי בגודל החודרים. גודל זה תלוי גם בממפרטורה הסביבתית. ככל שהממפרטורה נמוכה יותר צפוי להעריכתי כי הרשת תהיה יותר מכווצת והחודרים קטנים יותר. אם הממפרטורה גבוהה מאד יתכן שהרשת תתנפח וגודל החודרים יאפשר למולקולות רבות הלכודות בפנים לצאת החוצה. עד כאן רואים כיצד עשויה המעטפת הרשתית לספח אליה מולקולות בודדות הנעות שרירותית בנוזל המימי. בתוך המעטפת מתרחשות דיאקציות שונות הגורמות לחלק מהמולקולות שחדרו אליה להשאר בתוכה, בעוד חלק אחר נפלט חזרה כפי שנכנס או כמולקולות אחרות. הפסקת חילוף החומרים בשל סגירת החודרים, אם בכלל ממפרטורה נמוכה או מסיבות אחרות, פירושה עצירת התהליכים בפנים התלויים בחילוף החומרים. מכאן אנו יכולים להבין כיצד עשוי תא להישמר שנים רבות בתנאי יובש ולהתחיל שוב בפעילות כאשר הוא מקבל מים. מצד שני אם החודרים גדלו יותר על המידה מסיבה כל שהיא תתכן בדיחה של חומרים

מבפנים עדי כדאי הפסקת תהליך החילוף והרס מולקולות שונות כולל אולי מולקולות
בארעין.

הצגת הרביעי: עיכול

נניח שהמעטפת הרשתית נתקלת בגוש מולקולות גדול כך שהגוש כולו אינו יכול
לחדור בעד החורים במעטפת אך המולקולות הבודדות בגוש קטנות במידה מספקת
למעבר דרך החורים. הלחצים הפנימיים בתוך המעטפת, עליהם דיברנו בצעד הקודם,
ממשיכים לגרום להתרחבותה. אולם בצד בו מצוי הגוש הגדול אין המעטפת יכולה
להמשיך ולהתרחב. לכן אט אט תעמוף המעטפת את הגוש מכל צדדיו. בחלק המעטפת
הסמוך לגוש תהיה מתיחה מסוימת, והחורים באזור זה יתרחבו במקצת, אולי אף
במידה כזו שהם יהיו גדולים ממולקולות מסוימות בגוש. מולקולות אלו יכולות
עתה לחדור אל תוך המעטפת. יתכן גם שמולקולות מסוימות מתוך המעטפת יצאו דרך
החורים המוגדלים באיזור הגוש והן תעזרנה בפירוק מולקולות מהגוש. כלומר יש
כאן הסבר לפעולת עיכול. החלק מהגוש שלא ניתן לעיכול ישאר שלם כאשר המעטפת
סוגרת עליו מכל הכיוונים. כלומר כלפי חוץ יראה כאילו הגוש מצוי בתוך
המעטפת. יתכן גם שעקב לחצים פנימיים ותנועות המעטפת בשל זרמים במים
ישתחרר החלק הלא מעוכל מהמעטפת החובקת ויפלט לנוזל המימי. בסך הכל אנו
עדים לאפשרות של סיפוח מולקולות ע"י המעטפת למרות שהן קשורות ביניהן בגוש
גדול. בדרך זו ניתן להבין את "שליחת" הדגליים אצל האמבה למשל כדי לספח
גושי חומרים. כלומר כל התהליך של העיכול והלכידה הוא כנראה אוטומטי ומתבצע
בשל חוקים פיסיקליים וכימיים פשוטים. כמו כן גם תהליך הפליטה המוסבר לעיל
הוא אוטומטי.

כמו כן אנו יכולים להבין עתה את תהליכי המיון והברירה של חומרים הנעכלים
ע"י התא. גושים המכילים מולקולות גדולות מידי ביחס לחורי המעטפת המתרחבת,
או שהמולקולות קטנות דיין אך מוחזקות חזק מידי ע"י כל הגוש, גושים אלו לא
יעוכלו ע"י התא. אולי הם ישארו שלמים בתוך המעטפת או שיפלטו תוך כדי
התנועות והזרמים בתא ובסביבתו.

נקודה נוספת המתבהרת כאן היא השפעת המפרטורה. בפיסיקה מוכרת התופעה של
שינוי במימדים של חומר עקב שינויי המפרטורה. הריוני לשער כי מעטפת התא
מושפעת אף היא משינויי המפרטורה. סביר להניח גם כי מעטפות רבות נמתחות
עם עליית המפרטורה. לכן אני מניח כי עם עליית המפרטורה גדלים החורים
במעטפת ומתאפשר מעבר של מולקולות בעלות גודל המתאים. כלומר תהליך העיכול
עשוי להיות מושפע מהמפרטורה.

יתכן שיש גורמים פיסיקליים נוספים המשפיעים על גודל החורים במעטפת התא. לא
הייתי מוציא מכלל אפשרות השפעה של שדות חשמליים ושדות מגנטיים. שדות
חשמליים עשויים להתקבל מנוכחות עודפת של יונים בתא עצמו, במעטפת התא או
בסביבתה. שדות מגנטיים עשויים להתקבל מנוכחות של מינרלים, בעלי מומנט
מגנטי מוגדר באותם מקומות. אם למשל במעטפת התא נוצר ברגע מסוים עודף של
יונים שליליים ובתמיסה שסביב התא יש באותה עת עודף של יונים חיוביים אזי
הייתי מצפה כי המעטפת תתנפח במקצת בשל המשיכה החשמלית בין המטענים
החיוביים והשליליים. תופעה דומה יכולה אולי להיות גם בשל קיום שדות
מגנטיים.

צעד המישי: התחלקות התא

כאמור, במשך כל הזמן נכנסות ויוצאות מהמעטפת המולקולות F ו-G בהן נתקלנו בצעד השני. אם הן מתחברות מחוץ לפרעין למולקולת קטליזטור FG נוספת אזי יתכן שמולקולות D ו-E יתלכדו באמצעותה ליצירת גרעין נוסף כמו בצעד שני. אם מולקולות הקטליזטור FG מתלכדות דווקא בתוך הגרעין הראשון אזי יתכן שבגלל קידבתם הרבה יגיע דגם שבו כמות המולקולות FG ו-DE עולה על מספר קריטי מסוים. מעבר למספר זה כוחות הדחיה ההדדיים עשויים להתגבר על הלחץ ההידרודינמי החיצוני אשר החזיק אותם עד כה קרובים זה לזה. הכדור המורכב ממולקולות קטליזטור רבות יתחיל להתחלק לשני חלקים כמעט שווים אשר ילכו ויתרחקו זה מזה. בהגיעם למרחק מסוים יחלש כוח הדחיה, התלוי בהיפוך ריבוע המרחק, וההתרחקות אמורה להיעצר. אולם המשך היווצרות מולקולות FG ו-DE על פני שני החלקים יגדיל שוב את כוח הדחיה והחלקים יתרחקו עוד. כדי להבין תאורטית את תהליך התחלת ההתחלקות של הגרעין עלינו להתחשב בשלושה גורמים: כמות המטען בגרעין, חוק קולומב בין שני חלקי הגרעין והלחץ ההידרודינמי על מעטפת הגרעין מבחוץ. נבחן כל אחד מהגורמים הללו.

א) כמות המטען הנפחית הנצברת בתוך הגרעין עולה ככל שנוצרות עוד ועוד מולקולות FG ו-DE. תחילה נניח שהגרעין כמעט כדורי בעל רדיוס R והוא מלא במולקולות FG ו-DE המעוננות חשמלית במטען זהה. נסמן ב-q את הצפיפות הנפחית של המטען החשמלי בתוך הכדור. נניח שהצפיפות אחידה למרות הדחיה החשמלית בשל לחצים סביבתיים על כל מולקולה. נסמן ב-Q₁ את כמות המטען במחצית הכדור האחת וב-Q₂ את כמות המטען במחצית השנייה של הכדור. לפי הנחותינו האחרונות קיים בקירוב:

$$1) \quad Q_2 = Q_1 = aqR^3$$

באשר a הוא מקדם התלוי בהרכב ובצפיפות של המולקולות FG ו-DE.

ב) נניח, לשם פשטות, ש"מרכז הכובד" של כל חצי כדור מצוי במחצית הרדיוס. כך שניתן להתייחס אל כל המטען של מחצית הכדור כאילו הוא מרוכז ב"מרכז הכובד" הזה. לפי חוק קולומב הדחיה החשמלית, F_c, בין שני חצאי הכדור היא:

$$2) \quad F_c = \frac{K Q_1 Q_2}{R^2}$$

באשר K הוא קבוע קולומב.

הצבת (1) במשוואה זו תתן:

$$3) \quad F_c = K a^2 q^2 R^4$$

כלומר כוח הדחיה בין שני חצאי הכדור פרופורציונלי ל-R⁴. ככל שהכדור הולך וגדל עולה כוח הדחיה, בחזקה רביעית, עד שהוא מתגבר על הכוח ההידרודינמי בו נדון עתה.

אם נניח שהכוחות הפועלים מחוץ לכדור, כגון לחץ ההידרודינמי, תלויים בשטח מעטפת הכדור אזי כוחות אלו פרופורציונליים ל-R². אם נסמן כוחות אלו ש"י F_H נוכל לרשום באופן כללי:

באשר b הוא מקדם פרופורציה התלוי באופי התמיסה של מים וחומרים אחרים בסביבת הכדור.

עתה נעיין במאזן הכוחות על שני חלקי הכדור. הכוח החשמלי F_c נומה להרחיק את שני החלקים. הכוח עקב הלחץ ההידרודינמי F_h נומה לקרב ביניהם. כל עוד F_h גדול או שווה ל- F_c שני החלקים ישארו סמוכים זה לזה. אולם ככל שמספר המולקולות FG ו- DE בכדור הולך וגדל מגיע הרגע שבו $F_c > F_h$. מאותו הרגע מתחילה ההתרחקות בין שני החלקים והיא הולכת ומתגברת ככל שחלקי הכדור צוברים יותר ויותר מולקולות FG ו- DE . כלומר, אנו עדים כאן לתהליך של התחלקות הגרעין משיקולים פיסיקליים פשוטים בלבד.
כך כנראה מתחילים החיים!!! כלומר התנאי להתחלקות הוא:

5) $F_c > F_h$

ממשוואות (3) (4) נקבל לכן:

6) ~~$Ka^2 q^2 R^4 > bR^2$~~

$Ka^2 q^2 R^4 > bR^2$

ומכאן

7) ~~$R > \frac{bR^2}{Ka^2 q^2}$~~

$R > \frac{\sqrt{b}}{\sqrt{K} a q}$

כלומר הרדיוס שבו מתחילה ההתחלקות תלוי אך ורק בפרמטרים b, a, q .

תוך כדי תהליך ההתחלקות ימשיכו להתחבר מולקולות D, E, F, G , בסמיכות לכל אחד משני החלקים, למולקולות FG ו- DE . וכל חלק ילך ויגדל תוך כדי כך שהוא הולך ומקבל צורה סימטרית ע"י קצב התחברות גדול באזור שבין החלקים. כלומר אנו מבחינים במכניזם המאפשר התחלקות הגרעין כולו לשני חלקים זהים ההולכים ומתרחקים זה מזה ככל שנוצרות עוד מולקולות DE סביב הקטליזטורים FG . התרחקות זו יוצרת לחץ פנימי על המעטפת החיצונית בצדדים הקרובים לגרעינים. לכן בצדדים אלה המעטפת החיצונית נמתחת במקצת ומתאפשרת כניסה פנימה של מולקולות מסוגים I ו- J המתחברות ביניהן וחוזר הצעד השלישי הנ"ל סביב כל אחד מהגרעינים החדשים. דהינו נוצרות מולקולות IJ ואחר כך KL ויש לנו חילוף חומרים סביב כל גרעין בנפרד תוך כדי התרחקות הגרעינים. זה מזה וסגירה הדרגתית של חלקי המעטפת החיצונית על כל אחד מהגרעינים, עד להפרדה מלאה ויצירת שתי מעטפות זהות נפרדות. סתימת החורים ע"י מולקולות M ו- N תשלים את היווצרות שני התאים החדשים תוך כדי ההתחלקות. אנו עדים אם כן לתהליך אשר בו לא רק שמרכז גרעין התא מכפיל את עצמו אלא שהכפלה זו גורדת הכפלת שרשרת של כל המרכיבים האחרים של התא הבודד. כל שינוי קטן במימדי הגרעין בכיוון מסוים גורד אותו שינוי, אם כי מוגדל, בכל מרכיבי התא באותו כיוון. הדבר דומה למכשיר שרמז המגדיל תמונות אשר בו כל תנועה קטנה בקצה האחד מתורגמת לתנועה דומה ומוגדלת בקצה האחר. תכונת הגדלה זו של התא הבודד היא המפתח להבנת ההשפעות של התופעות הזעירות בגרעין על התנועות הגדולות של התא הנראות לעין, עם או בלי מיקרוסקופ.

אינו רואה מניעה לכך שכל מה שתארתי עד כאן אינו מתרחש ברגע זה ממש במקומות מתאימים בים. דהיינו: יתכן מאד שחיים הולכים ונוצרים ללא הרף באופן ספונטאני מחומרים ותנאים מתאימים. כלומר אין צורך לחפש איזו התפרקות חשמלית, ברק או תופעת טבע פתאומית אחרת, בעבר הרחוק, אשר רק בעמיה החלו החיים. מסקנה נוספת היא שאולי ניתן ליצור חיים במעבדה אם יקוימו בה כל התנאים הפיסיקליים אשר ציינתי לעיל.

מתאור תהליך התחלקות התא אנו יכולים להסיק גם כי אם התמיסה בסביבת הגרעין פחות צמיחה, כלומר אם התנגדותה לתנועת גוף בתוכה קטנה יותר, אזי ההתחלקות של הגרעין עשויה להתרחש מוקדם יותר. האם זהו המפתח להבנת היווצרות של תא סרטני ברקמה? אינו ביולוג ולא אוכל להשיב על כך מעבר להעלאת האפשרות המחקרית המיוחדת המתאפשרת אולי אם מתיחסים למודל הפיסיקלי של התא לפי ההסברים שאני נותן כאן, או לפי הסברים אחרים אשר יתבררו בעתיד.

צעד שישי: כיווני התחלקות התאים

עתה, לאחר שיש בידינו מכניזם תאורטי לתהליך אוטומטי להתחלקות תא הבה נבחון מהם הגורמים העשויים להשפיע על התחלקות התא בכיוון מסוים דווקא. אם הגרעין הוא בעל סימטריה כדורית מושלמת אזי לא צריכה להיות העדפה של כיוון מסוים. כזכור, הגרעין נוצר ע"י היווצרות של מולקולות FG. סימטריה כדורית של הגרעין פירושה שהמולקולות מסוגים F ו-G מגיעות אל הגרעין מכל הכיוונים באותו הקצב. דבר זה יכול להיות אם הגרעין מתחיל להתרשש בסביבה הומוגנית לחלוטין ללא זרמים כלשהם. אך מצב כזה אינו קיים בטבע. די אם נזכיר זרמים בים כתוצאה מהבדלי טמפרטורות עקב שינויים של יום ולילה. כלומר אנו רשאים לצפות כי תוך כדי ההתרששות ההתחלתית של הגרעין מתפתח איזור אשר בו ההתרששות מהירה יותר מזו שבאיזורים האחרים. יתכן שנוצרת צורה דמויית ביצת תרנגולת מוקמנת מאד. דהיינו, מעין אליפסואיד בעל ציר רוחב קצר וציר אורך ארוך יותר, כאשר אחד הצדדים בציר האורך, נניח בכיוון $+X$ במערכת קואורדינטות קרטזית שמרכזה במרכז האליפסואיד, מעובה יותר מאשר בצד הנגדי. התעבות זו נובעת מכך כי אל אותו כיוון מגיעות מולקולות מסוג F ו-G בקצב גדול יותר מאשר לכיוון הנגדי. התחלקות הגרעין תהיה לכיוון ציר האורך. לאחר ההתחלקות הראשונה יש שני תאים לאורך ציר X. מהכיוון של $+X$ ממשיכות להגיע מולקולות מסוג F ו-G בקצב מוגבר יחסית. לכן התא המצוי בכיוון $+X$ יתחלק שוב בכיוון $+X$. התהליך ימשך הלאה. למסתכל מהצד יהיה נדמה כי התאים שואפים להגיע אל איזור המזון, כמו שורש של צמח אל המים. אולם לאמיתו של דבר קיום המזון באיזור מסוים מדרבן את ההתחלקות של התאים לכיוון אותו איזור. בכך ניתן להסביר את היווצרות השלוחות, או הזדוועות, מהמעטפת הרשתית, דהיינו מהתא. בכך ניתן להסביר גם את היווצרותן של צורות שונות של המעטפות על פי הכיוונים מהם באים המזונות.

צעד שביעי: התמחויות התאים

עד עתה עסקנו בתא בודד הניזון מקבוצת מולקולות מסוימות המצויות בסביבה ההיפוטמית ממנה יצאנו. נניח עתה כי אנו מחליפים סוג מולקולות מסוים מאותה סביבה בסוג אחר אשר לא היה בה קודם. אם נשוב לצעד הראשון ונמשיך ממנו ליתר הצעדים ניתן לשער כי נקבל התנהגות שונה המותאמת לתפריט החדש. למשל אם

המולקולות החדשות קמונות יותר מהמולקולות שהוחלפו אזי החדשות תחדורנה ביתר קלות דרך החורים במעטפת המרושתת והריאקציות הכימיות בתוך התא עשויות להיות שונות ולגרום להשפעות פיסיקליות שונות מאשר גרמו המולקולות המוחלפות. לכן נקבל עתה תא הפועל אחרת מאשר במקרה עם המולקולות הקודמות. נוכל לאמר כי התא החדש מתמחה בתגובה לסביבה החדשה שיצרנו. כלומר אנו יכולים להבין עתה כיצד נוצרים תאים בעלי תפקודים שונים כתוצאה מהתפתחותם בסביבות שונות.

אנו יכולים לדמיין לעצמנו תא מסוים הניזון מתפריט מסוים של מולקולות המסופקות גם ע"י תוצרי הפליטה של תא אחר או אפילו קבוצת תאים. כלומר יש כאן הבסיס להיווצרות גופים רב תאיים אשר מתקיימים בסימביוזה. אפשר גם לתאר כך שרשרת של תאים כאשר התא הקיצוני קולט תפריט מסוים מהסביבה, מעכל אותו תוך כדי פליטת תוצרים המנוצלים ע"י התא השני שלידו, בנוסף למולקולות המצויות כל העת בסביבה הנוזלית, ותוצרי הפליטה של התא השני מנוצלים ע"י תא שלישי וכן הלאה. מכאן ניתן להבין כי המזון שאנו אוכלים עשוי לעבור תהליכי עיכול רבים ומסובכים עד אשר יגיע לכל תא ותא התפריט המתאים לו. אם משתנה התפריט של התא הראשון או משתנים תנאי הסביבה כגון טמפרטורה, לחץ וכו', אזי עשויות להיות לכך השלכות על תוצרי הפליטה של אותו תא ובהמשך יושפעו כנראה יותר תאי השרשרת. עקב כך יושפעו אולי ההתמחויות המיוחדות של תאים שונים. אני רואה בכך קצה חוט להבנת התהליך האבולוציוני בהתפתחות בעלי חיים תוך כדי התאמתם לסביבות חדשות.

בתור דוגמה לתהליך התמחות כזה נעקוב אחר ההתמכרות של אדם לשתיית אלכוהול. באופן נורמלי פועלים תאים מסוימים כל העת על בסיס של כניסת מים לגוף ועיכולם. תאים אלה מיומנים לעיכול של מים. כאשר מתחילים להכניס לגוף אלכוהול בתוספת למים מתחיל תהליך איטי של התאמת תאים לקליטת אלכוהול, עיכולו והעברת תוצרים לתאים אחרים. נתיחס לתאים אלה כאל "תאי אלכוהול". כדי שתהליך הסיפוח יהיה יעיל חייבים חלקים שונים בתוך "תאי אלכוהול" להשתנות במקצת כדי לעמוד במשימה. ניתן לדאוג זאת כפעולה ותגובה של התא. כאשר הרבה תאים כבר מיומנים לספוח אלכוהול הם כבר עובדים דק, או בעיקר, על אלכוהול. התאים שאחריהם בשרשרת התאימו עצמם לקליטת המוצרים המיוחדים שיוצרים "תאי האלכוהול" וכן הלאה. כלומר תאים רבים לאורך השרשרת שינו את התמחויותיהם והם קולטים ופולטים חומרים שונים במקצת מאשר לפני התחלת כניסת האלכוהול לגוף. סביר כי בקצה השרשרת יש תאים הפועלים בדרך הרגילה. אחרת האלכוהול היה משפיע על הגוף הרבה מעבר להשפעותיו הידועות. לכן כדי שהגוף ימשיך לתפקד צריכה כל השרשרת להמשיך לתפקד. אך זו תפקד היטב דק אם בתחילת השרשרת יש כניסה מבחוץ של אלכוהול. כלומר האדם מכור לאלכוהול.

דוגמא זו מסבירה למעשה בקוים כלליים התמכרות של הגוף לא רק לאלכוהול כי אם לכל דבר אחר. אם זה משקה, סם, מזון מופרז, עישון, או אפילו הרגלי התנהגות קיצוניים. ידועות דוגמאות של בעלי חיים אשר התמכרו למזון מסוים אשר קודם לכן היווה רעל עבורם. למשל מקקים אשר אמו אמו במשך דורות החלו להתרגל לנוזל די.די.טי עד שחלקם אף הגיעו להתמכרות מלאה כך שאינם יכולים לחיות ללא די.די.טי.

צעד שמיני: קוד התפתחות בגרעין (DNA?)

מהנאמר בצעדים הקודמים עולה כי הן קצב יצירת מולקולות FG והן קצב יצירת מולקולות DE תלויים בגורמים רבים. בין הגורמים הללו ניתן למנות את צפיפויות המולקולות D, E, F, G באזורים השונים, הן בתוך הציטופלסמה והן מחוץ לתא, את הבדלי הטמפרטורות באזורים השונים, את השדות החשמליים והמגנטיים באזורים השונים, את צמיגויות הציטופלסמה בכל אזור שסביב הגרעין, ועוד. כל אחד מהגורמים האלה תלוי לא מעט בתנאי הסביבה של כל תא ובתנאי

הסביבה של כל קבוצת התאים. על פי תנאים אלה נקבעים כנראה הקצבים להתחברויות מולקולות DE-FG. גם ההתמחויות המיוחדות של כל תא בשרשרת תאים תלויה בתוצרי הפליטה של התאים בסביבתו ובגורמים הפיסיקליים שמונחי לעיל. כלומר, מתקבלת האפשרות כי הסדר שבו התחברו מולקולות DE, FG משמר בעצם קיומו את הקצב שבו הגיעו המולקולות לאזור הגרעיין. כלומר הסדר המסוים מהווה מעין זכרון לכל מה שהתרחש בסביבת הגרעיין תוך כדי היווצרותו. התחלקות הגרעיין עקב הדחיה החשמלית, שנידונה בצעד החמישי, גורמת להיווצרות "חלקים" בימות של המולקולות המסוימות וכך נוצרת ניקה פנימה לתוך התא של חומרים הנדרשים להשלמת הגרעינים המתפצלים. כלומר בתהליך ההתפצלות נוצרות "דרישות" כלפי חוץ של חומרים בקצבים מסוימים. אלו אותם קצבים, אולי שהיו בעת היווצרות הגרעיין המקורי. אפשר להסתכל על זה כעל סרט ההולך אחורה. אני סבור שאולי בכך טמון סודה של מולקולת ה-DNA להיות מעין קוד התפתחותי הפועל בעת תהליך ההתחלקות. זה אמנם נשמע פשוט מדי אך בפיסיקה אנו מעדיפים את ההסברים הפשוטים, משום שלעיתים קרובות התאוריות הפשוטות הן אלה המסתברות כקרובות ביותר למציאות.

צעד תשיעי: גוף רב תאים.

במינוח "גוף רב תאים" אני מתייחס לצמח או בעל חיים. גוף רב תאים פועל כך שתאים מסוימים בו באים במגע עם הסביבה, קולטים סוגים שונים של חמרים ואנרגיות, מעכלים אותם לצרכיהם, פולטים את העודפים הנקלטים ע"י תאים אחרים, המיומנים לקלוט חומרי פליטה אלה, וכך הלאה. בכל התהליכים של קליטה עיכול ופליטה יש חשיבות לגורמים סביבתיים שונים, כפי שהסברתי לעיל.

לפי השקפתי, בטבע אין "אפס", כפי שהסברתי באחד המאמרים שלי שלא פורסמו עדיין בקשר לתאוריה פיסיקלית מסוימת. הרעיון הוא כי בכל מקום יש הרבה או מעט מכל דבר. זה למשל מסביר את העובדה כי במציאות אין גדלים "אינסופיים". "אפס" ו"אינסוף" הם מושגים מתמטיים בלבד, המשמשים הרבה בפיסיקה כדי להגדיר מצבים קיצוניים ביותר. מנקודת השקפה זו אני מניח לכן כי בכל סביבה של תא יש, מעט או הרבה, מכל אחד מסוגי החומרים, הקרינות והשדות הפיסיקליים המצויים בטבע. התא מריב לכל סוג בהתאם לכמות ובהתאם לאיכות הסוג. חומרי הקליטה והפליטה של כל תא עשויים לכן להיות שיכים לכל אחד מסוג החמרים, הקרינות והשדות הפיסיקליים המצויים בטבע. להלן אביא מספר דוגמאות: החומרים הכימיים והביולוגיים, כמויות החום והקוד (המפרמטרות) של התמיסות שבסביבת התא, הקרינות בכל אורכי הגלים האלקטרון-מגנטיים, כולל אור נראה, אולטרה סגול, אינפרא אדום, גלי רדיו, גלי מלויזיה, קרני X, קרני גאמא ועוד. השדות הפיסיקליים: שדה הכבידה, שדות חשמליים ושדות מגנטיים.

התא מתאים עצמו לקליטה של הגורמים שבסביבתו, אחרת הוא נהרס. כל גורם יקלט וישפיע במידה זו או אחרת. אם יש שינויים בכמויות (ובעוצמות) של גורמים שונים בקרבת התא אזי התגובות של התא עשויות להשתנות בהתאם למה שתארתי בצעדים לעיל. עקב כך ישתנו גם כיווני ההתחלקות של התאים וגם תוצרי הפליטה שלהם. ניקח למשל תא מסוים המתחלק לשניים בהשפעת כמויות של גורמים מסוימים. נניח שהגורמים האלה קיימים במהלך 10 ההתחלקויות הבאות, כך שמתקבלת שרשרת לאורך ישר בת 1024 תאים (2 בחזקת 10). נניח ששני התאים הקיצוניים בשרשרת זו נתקלים כל אחד בתפריט שונה של גורמים. נקבל אולי שינוי בכיווני ההתחלקות בהתאם לנאמר לעיל. ואם התהליך ימשך עם שינויים תכופים בגורמים, (והרי לא יתכן שלאורך מרחק רב לא יהיה כל שינוי) נקבל לבסוף מהתא הראשון מערכת מסועפת המזכירה אולי עץ. זאת במידה ויהיה כיוון התחלקות כללי אחיד, למשל ימינה. אחרת נקבל רקמת נפח המורכבת משרשרות מתפצלות, אשר רק אם נפרוש אותן לכל אורך נקבל את צורת העץ. באופן כזה אנו יכולים להבין את היווצרות הרקמות השונות בגוף על אבדיו, עצביו וכו', אשר בכלם מופיעה אותה דוגמא חוזרת של הסתעפויות בדוגמת עץ. זה קורה בענפי עץ צומח, בעלים,

צעד עשירי: מחלות הסרטן

המודל הפיסיקלי של התא מאפשר אולי להבין טוב יותר את הסיבות, הגורמים ודרך ההיווצרות של מחלות הסרטן. כל מה שנאמר כאן בא בטרם מחקר מעמיק בנושא. מטרת האמירה כאן היא להאיר כבר עתה האפשרויות להסביר טוב יותר את מחלות הסרטן ואולי יזדו דברי כאן מציאת פתרון לסוגי סרטן מסוימים.

יתכן שגם מחלות הסרטן נגרמות בתהליך של התמחויות תאים, בשרשרות מצטלבות, לחומרים וגורמים זרים, במשך דורות של היווצרות תאים חדשים והרס הקודמים. אפשרות זו מטרידה אותי כבר זמן רב. זו אחת הסיבות העיקריות לחשיבות שראיתי בפיתוח המודל הפיסיקלי של התא. האם יתכן שכיוון חשיבה פיסיקלי זה יוכל לתרום להבנתן ופתרוןן של מחלות רבות. אם אכן יש ממש בדעיון זה אזי ניתן אולי לצפות קדימה ולהקדים בשנים רבות, ואולי אף בדור שלם או יותר, את המידע על פוטנציאל הסיכון לחלות בסרטן מסוים. כל מה שצריך לעשות הוא ללמוד אלו שינויים סביבתיים דרסטיים חלו לגבי אדם מסוים, בדור הנוכחי ובדורות הקודמים, ולעקוב אחרי ההשפעות של שינויים אלו על תאים שונים לאורך השרשרות. נקודת ההצטלבות של שתיים או יותר שרשרות עשויה להיות התא המסוים אשר בו תיווצר ירידה בצמיחה התמיסה שבסביבת הגרעין, וכפי שהסברתי לעיל אותו תא יתחלק בטרם זמן וכך גם כל התאים שיתחלקו ממנו בהמשך. אם מוצאים שינויים כאלה ניתן אולי למפל בתאי השרשרות לפני שהם מצליחים להביא להשפעה ממשית על התא שבהצטלבות השרשרות. יתכן למשל שבדור הנוכחי לא יחלה האדם בסרטן, משום שעדיין לא הגיעה ההשפעה הגדולה אל תאים מסוימים, אך אם לא ניתן טיפול מונע בדור הזה יחלה צאצא מהדור הבא או מהדורות הבאים. כלומר, יתכן והמודל הפיסיקלי של התא אכן מסביר מה גורם ומדוע מתפתחת מחלת הסרטן. הייתי מכנה מחלה זו בשם "מחלה מולטי-הסתגלותית". דהיינו, מחלה הנגרמת כתוצאה מנסיונות הסתגלות הגוף למספר שינויים דרסטיים, בו זמנית וארוכי טווח. שינויים אלה עשויים להיות בכמויות הגורמים הסביבתיים, כגון חום וקור, במאכלים חדשים ובקרינות ועדות פיסיקליים, בעוצמות ואיכויות שונות ממה שהגוף היה רגיל לו במשך דורות רבים.

ראיה חדשה זו פותחת לדעתי פתח להבנת הקשרים בין השינויים הדרסטיים לבין סוגי מחלת הסרטן:

סרטן עור: הייתי מצפה, למשל, כי חשיפת העור לקרניים באורכי גל, עוצמות וכמויות מצטברות, אשר העור אינו רגיל להם, בתוספת לשינויי טמפרטורה דרסטיים, יביאו לשינויים בשרשרות המסתיימות בתאי העור הנחשפים לשינויים הדרסטיים ונגמרות בתאים המיצרים את אותם תאי עור. אם השרשרות קצרות יכולות ההשפעות לקחת כמה שנים בודדות של אדם במהלכן יעברו כמה דורות של תאי עור. ואכן ידוע כי חשיפת יתר לקרינת שמש או אחרת עלולה לגרום לסרטן עור.

סרטן ריאות: אולי עקב שינויי דרסטיים ולאורך זמן בסוגי החומרים הנשאפים לריאות, כגון עשן, בתוספת לשינויים בהרגלי הנשימה, כגון במעבר חד לפעילות גופנית הממריצה את קצב הנשיפות.

סרטן במערכת העיכול: אולי עקב שינויים דרסטיים לאורך זמן רב בכמה סוגים של מזון.

סרמן במח: אולי עקב שינויים דדסטניים ולאורך זמן רב בהרצלי החשיבה בנוסף לשינויים בעומסים הפנימיים על המח.

סרמן בשרידי הרצל: אולי עקב שינויים דדסטניים ולאורך זמן בהרצלי החשיבה ובמפרטורות אליהן מודגלת הרצל.

סרמן בשרידי היד: אולי עקב שינויים דדסטניים ולאורך זמן בדרכי הפעלת היד, בנוסף על שינויי ממפרטורות.

סרמן דם: אולי עקב שינויים דדסטניים ולאורך זמן בתנאי לחץ או חומציות או אחרים, הקשורים ביצירה ותפקוד האופיינים והחומרים בדם, בנוסף על שינויים פיסיקליים כגון לחץ, ממפרטורה וכו'.

סרמן בדרכי הלימפה: אולי עקב שינויים דדסטניים ולאורך זמן בתפקודי הלימפה, בגלל ריבוי מחלות ופציעות אשר למיטב הבנתי (איני רופא) מקבילים הגנה ע"י מערכת הלימפה;

סרמן השד: אולי עקב שינויי דדסטניים ולאורך זמן בתפקודי השד, למשל כתוצאה מירידה בפעילות המינית אצל האשה, בנוסף לשינויי אקלים קיצוניים.

סרמן הרחם: אולי עקב שינויים דדסטניים ולאורך זמן בפעילות הרחם והשפעות קיצוניות של הורמונים שונים.

סרמן בדרכי השתן: אולי עקב סוגי משקה חדשים בנוסף לשינויים דדסטניים ולאורך זמן בפעילות הרפואית.

כאמור, בכל הסוגים יכולים להערכתך להעשות השינויים הדדסטניים בדור אחד והגעת השינויים למפגש השרשרות יכולה אולי להיות בדורות הבאים. לכן לא די שניתח לשינויים אשר חלו בדור הנוכחי אלא יש צורך אולי לחקור שינויים דדסטניים ולאורך זמן בדורות קודמים. יתכן שלכל סוג סרמן יש לבדוק מספר דורות שונה. לדוגמא מעבר חד וקבוע של הטבא למאכלים שונים באופן קיצוני, למשל עקב מעבר לארץ אחרת או מעבר מאוכל בשרי לצמחוניות או להיפך, עלול אולי להצביע על סיכוי מסוים להתפתחות סרמן המעי אצל הנכד. בדיקות מתאימות ופעולות מניעה מתאימות, כגון דיאטה והתערבות רפואית, ששויים לעצור את התקדמות התהליך. אינני מוציא מכלל אפשרות כי בדיקה מעמיקה של תאים מורדדים לאורך השרשרות יכולה לאפשר גם ריפוי חלקי או מלא באם יושלכו נכון **בכל תאי השרשרות**. כלומר לא די שניתחו את התאים הסרמניים והגרורות, יש למצוא את שרשרות המקור ולטפל בכל תאיהן. זוהי כמובן לא המלצה רפואית על סמך מחקר, אלא דאיה פיסיקלית של מודל תאי המאפשרת אולי גם נקודות התיחסות שונות מהמקובל על מחלות שונות.

כאמור בצעדים הראשונים, לתוך המעמפת המרושתת נכנסות מולקולות מסוגים שונים, המסוגלות לעבור דרך החורים ברשת, ומתחברות ביניהן על פי הקשרים הכימיים המתאפשרים בין סוגי המולקולות השונות והתנאים הסביבתיים כגון טמפרטורה, לחץ וכו'. המאפשרים או מונעים התחברויות מסוימות. כך נוצרות קבוצות מולקולות בגדלים שונים אשר אינן יכולות לצאת דרך חורי הרשת. לקבוצות אלו עשויות להיות תכונות פיזיקליות וכימיות שונות מאשר לתמיסה הקימת ~~א~~ בתוך המעמפת הרשתית. גם לתמיסה עצמה יש תכונות מיוחדות. בין התכונות אשר אצפה עקרונית ליחודיות יהיו: גודל, צורה, צמיגות, צבע, מטען חשמלי, ועוד. כלומר אנו מקבלים בתוך המעמפת התאית את מה שנקרא בביוכימיה בשם "פלסמה", "פלסטידות" וכו'. סביר לצפות כי הפלסמה עצמה תהיה צמיגה יותר מאשר התמיסה שמחוץ לתא. כמו כן סביר שהפלסטידות עצמן יהיו ברמות צמיגות שונות זו מזו ואף שונות מרמת הצמיגות של הפלסמה.

הצעד השנים-עשר: הדינמיקה בתוך התא

נדמיין לעצמנו מעמפת תאית המצויה בתוך תמיסה בעלת צמיגות מסוימת (למשל תמיסת מי ים מסוימת) כאשר בתוך המעמפת יש תמיסה ברמת צמיגות בינונית (כמו של פלסמה של תא מוגדר כלשהו), דהיינו מה שכינינו כאן "פלסמה", ובתוך הפלסמה גושים בצורות שונות בעלות רמות צמיגות שונות, מה שכינינו "פלסטידות". חלקן גבוהות מהצמיגות של הפלסמה וחלקן נמוכות מצמיגות הפלסמה. עתה נדמיין כי התא הזה מצוי במנוחה ומרחף בתוך התמיסה החיצונית המצויה במנוחה מוחלטת, כלומר ללא זרמים כלשהם. נניח שהם הפלסמה והגושים בתוך התא מצויים במנוחה ביחס לתמיסה החיצונית. כדי שמנוחה כזו תתאפשר חייבת הצפיפות הסגולית של התא כולו להיות זהה לצפיפות הסגולית של התמיסה החיצונית. אחרת, לפי חוק ארכימדס בהקשר לצפיפה של גופים, ישקע התא משהו בכוח הדרביטציה, אם צפיפותו הסגולית גדולה יותר, או יצוף אל פני התמיסה החיצונית אם צפיפותו הסגולית קטנה יותר. בשני המקרים נקבל אי סימטריה בלחצים על המעמפת ~~א~~ ולכן ירדו השלכות אשר ידונו בהמשך. כאן אנו מתיחסים לתא צף בתוך התמיסה כאשר הלחצים ההידרודינמיים מכל הכיוונים שווים. משמעות הנחה זו היא שהצורה של התא כולו תהיה כדורית בשל שוויון לחצים מכל הכיוונים, אלא אם יש סיבות פנימיות, כגון גושים גדולים ומוארכים בתוך התא, המונעים סימטריה כזו. בנוסף לצורה הכדורית הבסיסית של התא הצף בתמיסה חיבים להיות בתוך הפלסמה שלו כיסים בעלי צפיפות סגולית נמוכה מזו של התמיסה החיצונית. אחרת הצפיפות הסגולית של התא בכללו לא תהיה שווה לצפיפות הסגולית של התמיסה החיצונית. נפח הכיסים הללו יהיה תלוי בצפיפות הסגולית של הפלסמה והגושים האחרים בתוך התא, כולל הדרעין עצמו. מטעמי סימטריה אם אין סיבות מפריעות נוכל להניח שהם הכיסים וגם הגושים מצויים בתוך הפלסמה הכדורית בתפזורת בעלת סימטריה כדורית.

עתה כאשר אנו מבינים עקרונית, מהבחינה הפיזיקלית, את המבנה וצורתו של תאים במנוחה נעבור לתנועה. נניח שבעוד התא שלנו מצוי במנוחה, בתוך התמיסה הנחה, נדרמה הפרעה בתמיסה החיצונית, בשל גורם פיזיקלי כל שהוא, כך שנוצר גל יחיד בתמיסה. נניח בדמיוננו כי הגל מתקרב אל התא הנח שלנו מצד ימין. בהגיע הגל אל התא הנח ינוצר הפרש לחצים דרגעי בין צד ימין של המעמפת לצידה השמאלי. התא יקבל דחיפה דרגעית קטנה שמאלה. לפי החוקים הפיזיקליים בנוזלים, הקשורים בין היתר לחוק ההתמדה של ניוטון, עשויה לחול תזוזה יחסית בתוך התא, ביחס למרכז התא, של הגושים השונים בהתאם לצפיפותיהם הסגוליות ביחס לצפיפות הסגולית של הפלסמה. הגושים בעלי הצפיפות הסגולית הגדולה מזו של הפלסמה ירתעו לכיוון שממנו באה הדחיפה, כלומר ימינה. כלומר הם יואצו ימינה ביחס למרכז התא. הגושים בעלי הצפיפות הסגולית הקטנה מזו של צפיפות הפלסמה, וזה

כולל גם את הכיסים, יואצו לכיוון הנגדי, דהינו שמאלה. כדי להמחיש זאת נדמיין ילד הנוסע בתוך מכונית סגורה ומחזיק בלון בידו הקשור לחוט. בשניה שבה מאיצים את המכונית, נאמר מ-50 קמ"ש ל-70 קמ"ש ירלוש הילד דחיפה אחורה בעוד הבלון יקבל דחיפה קדימה ביחס למכונית. (כי הצפיפות היחסית של האוויר במכונית גדולה יותר מהצפיפות היחסית של הבלון ולכן לפי חוק ההתמדה האוויר הוא זה שידתע יותר אחורה ולכן הבלון ינוע קדימה).

לכל הבודד שלנו לוקח זמן לעבור את המרחק שתופס התא. זמן זה תלוי כמוון במהירות התקדמות ההפרעה בתמיסה המסוימת. בהגיע הגל לצד השני של התא, לצד השמאלי, יהיה עתה לחץ גדול יותר על הצד השמאלי של המעטפת מאשר על הצד הימני. עתה יקבל התא דחיפה ימינה וכל הגושים והכיסים בתוך הפלסמה יקבלו תאוצות בכיוונים הנגדיים לאלו שהיו קודם. דהינו עתה הגושים בעלי הצפיפות הסגולית הגדולה יותר יקבלו תאוצה שמאלה ואילו הגושים והכיסים בעלי הצפיפות הנמוכה יותר יקבלו תאוצות ימינה. בהתאם לתאוצות ימינה ושמאלה על כל גוש וכיס תקבל תנודה אשר **זמן המחזור שלה תלוי אך ורק במהירות התקדמות ההפרעה בתמיסה החיצונית**. ללא תלות במהות הגושים והכיסים ובחפשי הצפיפויות שלהם ביחס לצפיפות הפלסמה. הפרשי צפיפויות אלו יקבעו את אמפליטודת התנודה של כל גוש וכיס. מכאן אנו מגיעים לשתי מסקנות בסיסיות בטבע. יהיה הבדל בסיסי, מבחינת זמני המחזור, בין תאים שיתפתחו בתוך תמיסת מי-מים שיתפתחו בתוך תמיסת מים מתוקים. כמו כן יהיו הבדלים מסוימים בין תאים שיתפתחו בתוך תמיסת ימיות בעלי צפיפויות סגוליות שונות. אם זה כתוצאה מעומקים שונים ואם כתוצאה מאזורים גאוגרפיים בעלי טמפרטורות וזרמים שונים וכו'. גם במים מתוקים בעלי צפיפויות שונות יהיו הבדלים בזמני המחזור. זמני מחזור אלו הם יחידות הזמן הבסיסיות ביותר של התא הביולוגי. מהירות התקדמות ההפרעה בתמיסה החיצונית היא מה שנקרא "מהירות הקול" של אותה תמיסה. למשל מהירות הקול של תמיסת מי-מים, בעלת טמפרטורה של 25 מעלות צלסיוס, היא 1531 מטר בשניה. עבור תא ביולוגי כדורי בקוטר של מיקרון אחד (10^{-6} מטר) יהיה זמן המחזור הבסיסי מסדר גודל של $6.532E-10$ שניות. כלומר בשניה אחת יתכנו למעלה מ-65 מיליארד מחזורים. אם התא קטן יותר אז יתכנו יותר מחזורים. אנו נזכרים אם כן באופן היווצרות הזמנים הביולוגיים בטבע. ראוי לשים לב כי תדירות זו היא בתחום התדירויות של גלי רדיו קצרים. מאחר והפלסמה צמיחה יותר מאשר הכייסה שמחוץ לתא תנוע ההפרעה בתוך הפלסמה עצמה במהירות גדולה יותר. לשם הדורגמא נניח שמהירות התקדמות ההפרעה גדלה פי שתיים. אם ההפרעה תחלוף על פני גוש קטן, נניח בקוטר מאית מקוטר התא כולו, ובעל צפיפות סגולית גדולה יחסית לזו של הפלסמה, המחזור שיתקבל יהיה מהיר יותר, בשני סדרי גודל לפחות מזה של התא השלם. כלומר נכנסים לתחום תדירויות של גלי אינפרא אדום. נניח כי הגוש מורכב מחלק מרכזי שמתוכו יוצאות בלימות קטנות בגודל של עשירית מגודל החלק המרכזי. בתוך הגוש הצפוף מהירות הקול גדולה יותר מאשר בפלסמה. כאשר הגוש רומט בקצב מסוים רומטות הבלימות הקטנות בקצב הגדול פי 10 לפחות. לכן התדירויות של הבלימות הן מסדר גודל של $1E+14$ מחזורים בשניה. כלומר אנו מצויים בתחום התדרים של גלי האור הנראים. אם זוכרים כי המולקולות מורכבות מאטומים ויונים בעלי מטענים חשמליים, ונזכרים כי גלים אלקטרומגנטיים, הכוללים גם את גלי האור הנראה, מתקבלים ע"י תנודות מחזוריות של מטענים חשמליים, אזי ניתן אולי להסביר ברמימות אלו את הצבעוניות של גושים מסוימים בתוך הפלסמה. במרכז יושב הגרעין הזעיר ובעל דמת צפיפות הסגולית הגבוהה ביותר, אולי אף קדובה לאלו של מוצקים מסוימים. לכן התדירויות תהינה, כנראה, גבוהות בסדר גודל אחד או יותר מאלו של הגושים האחרים בפלסמה, ונכנסים אולי לתחום תדירויות של האולטרא-סגול. דהינו למעלה מ- $7.5E+14$ מחזורים בשניה. זה עשוי גם להסביר את הצבע השחור כהה לעיתים של הגרעין.

יש לקחת בחשבון שהתנודות הולכות וחוזרות בתוך הפלסמה, הגושים והגרעין כמו בקפיצים ארוכים. אם אין גורם שירטן את התנודות הן תמשכנה לנצח. בקפיץ התנודות מרוסנות ע"י החיכוך. בשרשרת מולקולרית בתוך הפלסמה הריסון יכול להעשות ע"י מולקולות הפלסמה עצמה או ע"י גורמים חיצוניים. כגון פוטונים בעלי תדירויות מתאימות.

מאחר והצפיפות הסגולית הכוללת של התא הנדון שווה לצפיפות הסגולית של התמיסה החיצונית, תגיע ההפרעה הפנימית לקצה האחד של התא ביחד עם התקדמות ההפרעה החיצונית, כך שלא תהיה התאבכות הודסת של הפרעות.

מהסבר פשוט זה של הקשר בין הצמיגויות לצבעים ניתן גם להסיק אלו אורכי גל ישפיעו, לטובה או לרעה, על אלו חלקים בתא. למשל ידועה ההשפעה של האור האולטרא סגול על הרעיוני תאים מסוימים. כמו כן ידועה ההשפעה של גלי רדיו קצרים על מבנים ביולוגיים. האור הנראה, בצבעים השונים, ישפיעו על גושים שונים בתוך הפלסמה. הכלורופיל הירוק למשל הוא דוגמא ידועה בתהליך הפוטוסינתזה.

כתוצאה מהשפעת גורמים חיצוניים, כגון התחממות או היווצרות לחצים שונים בשל שינויי עומק, עשויים להיות שינויים בתכונות הפיסיקליות של התמיסה החיצונית (מי הים במקרה זה) ו/או של הפלסמה בתוך התא. אם, למשל, חלים שינויים בצפיפות הסגולית של התמיסה החיצונית, מבלי שיהיה שינוי כלשהו בצפיפויות ובחלוקה בפנים התא, אזי אצפה כי יחול שינוי בזמן המחזור של התא כולו. אם לעומת זאת יחול שינוי בצפיפות הפלסמה בלבד אזי אצפה לשינויי זמני מחזור של כל הגושים והכיסים המצויים בה. כתוצאה מכך יתכנו אולי שינויים גם בצבעים של גושים שונים.

אנו דואים, אם כן, כי מבחינה פיסיקלית מהורה יכולים הצבעים שבתא לרמז על צמיגויות של חלקים בתא. צמיגויות אלו משפיעות על התכונות הפיסיקליות הן של התא עצמו והן של תאים אחרים המצויים במגע איתו. כידוע התאים מחוברים ביניהם ע"י חומי פלסמה, פלסמודסמים, כך שהשינויים הפיסיקליים בתא אחד יכולים לגרום שינויים פיסיקליים, דומים או אחרים, בתאים הקשורים.

כלומר, בעיקרון לא מן הנמנע כי קיים קשר ישיר בין הצבעים של גוף ביולוגי לבין התכונות הפיסיקליות שבו.

הצעד השלושה עשר: הדינמיקה של התא ביחס לסביבתו.

בסעיף הקודם, צעד 12, דנו על התנועות בתוך התא כתוצאה מלחצים חיצוניים. כאן אנו רוצים להתייחס אל תנועות התא ביחס לסביבתו. נשוב ונתבונן בדמיוננו על תא נח בסביבה ימית נחה. כאמור, משעמי סימטריה אנו מתייחסים אל התא ככדורי כל עוד אין סיבה שתמנע זאת. התא קולט מסביבתו חומרים ופולט חומרים אחרים כפי שהוסבר בסעיפים קודמים. אך הוא לא זז ביחס לסביבתו. עתה נניח שבגלל גורם כלשהוא נוצר זרם מים חלש מכיוון ימין אל כיוון התא. מאחר והתא הוא בעל שטח פנים מסוים, ביחס לזרם הבא לעברו, ידחוף הזרם את התא שמאלה (ותוך כדי כך יתרחשו כל התנועות הפנימיות בתא עליהן דנו בסעיף הקודם). בהדחף התא שמאלה תשתנה צורתו במידה התלויה במידת הצמיגות של המעטפת החיצונית, של הפלסמה ושל הגושים והכיסים בתוכה. ככל שהצמיגות הכוללת תהיה נמוכה יותר כן תשתנה הצורה במידה רבה יותר. אולם יש גבול תחתון למידת הצמיגות הכוללת. היא לא יכולה להיות נמוכה מזו של מי הים. מכל מקום אנו מניחים כי הצמיגות הכוללת של התא גבוהה במידה ניכרת מזו של מי הים. לכן תתקבל צורה הידרודינמית התלויה הן בצמיגות התא והן בעוצמת הזרם. מכל מקום אני מצפה כי בהיות הזרם חלש תתקבל צורת ביצה אשר צידה הרחב מופנה בכיוון הזרם. זאם הצורה ההידרודינמית הבסיסית ביותר. היא נובעת מכך שהמים הפוגעים בכדור הנח מימין מוסטים לצדדים תוך כדי יצירת מערבולות הלוחצות את החלק האחורי שבקצה השמאלי. על פי חוקי הנוזלים אין זה משנה כלל אם הגוף שבתוכו נח, ביחס אלינו, והנוזל זורם כלפיו מימין או שהזרם נח, ביחס אלינו, והגוף

נע שמאלה. כידוע החוקים ההידרודינמיים והחוקים האוירודינמיים הם זהים כאשר בכל תווך נלקחת בחשבון צמיגותו. נחזור לתא שלנו. הוא נע שמאלה בגלל הזרם מימין אם כי מהירותו קטנה ממהירות המים, שכן מולקולות המים קטנות מאד ביחס לגודל התא. מולקולת מים שבזרם הפוגעת בתא ומוחזרת ממנו מעניקה לתא תנוע כפול מזה שהיה לה בפגיעתה. אך מאחר והתא בעל מסה גדולה בהרבה מזו של מולקולת המים תהיה תוספת המהירות לתא, עקב פגיעת המולקולה, קטנה בהרבה ממהירות המולקולה מרם הפגיעה, שהיא בממוצע מהירות הזרם. לכן התא עצמו ינוע שמאלה במהירות קטנה ובסך הכל תתקבל תנועה יחסית גדולה, של התא ביחס למים, בכיוון ימין.

עתה נדמיין כי עוצמת הזרם הבא מימין הולכת גדלה. הצורה תלך ותתחדד מאחור יותר ויותר. תוך כדי הגברת עוצמת הזרם ילכו ויתחזקו גם המערבולות בצידו הגוף. ייווצר מה שידוע בתורת הנוזלים בשם "רחוב מערבולות" (VORTEX STREET) אשר בו, בשוּבֵל של הגוף הנע בנוזל, יש שני קווי מערבולות מקבילים כאשר המערבולות בקו האחד אינן מצויות בין קווי הרחוב של המערבולות של הקו השני. לכן הגוף האחורי של התא ירגיש כל פעם פגיעת מערבולת מצד אחר. כתוצאה מכך החלק האחורי ינוע לצדדים הלך ורחוק. כל זאת רק מתוך ההידרודינמיקה של גוף צמיג ללא קשר למה שקורה בתוך התא. בגבול הזרם עוד יותר ייווצר חוט מאחורי החוד. החוט ילך ויתארך ככל שעוצמת הזרם תגבר וכל עוד מתח הפנים של משטפת התא המוארך מאפשרת זאת מבלי להיקרע. אם הזרם גבוה יותר החוט יקרע וחלק מהתא יפרד ממנו. נתמקד בשלב שנדיין החוט עומד בעומס. בעקבות רחוב המערבולות הנ"ל יתפתל החוט ללא הרף כל עוד תמשך הזרימה החזקה מימין. התנועות הרגילות של סרטים המתנופצים ברוח הן דוגמא מוחשית לתנועה כזו. (הרעיון הזה כולו נולד במוחי כאשר עקבתי בחוף הים אחר התנהגותו של עפיפון עם שוּבֵל ארוך המוחזק ע"י חבל מתוח כנגד הרוח החזקה).

עתה נניח כי בנוסף לזרם החזק מימין התווסף זרם חלש ורצוף בכיוון אנכי. כמו למשל איש השוחה שמאלה במקביל לחוף (המים זורמים ימינה ביחס אליו) ובאים גלים לכיוון החוף (זרמים אנכיים רצופים). הצורה שהיתה קודם חלקה מוארכת ומחודדת לכיוון השמאלי תשתנה עתה במקצת ויתוספו בליטות קטנות בכיוון האנכי. גם בליטות אלו יתנוודדו עקב מערבולות אנכיות. כלומר נקבל תא פחוס יותר עם זרועות מתנוודדות. באופן דומה יתקבלו צורות הידרודינמיות שונות בהתאם לעוצמות הזרמים, כיווניהם וקצב השתנותם.

הבה נחזור למה שקורה בתוך התא. תוך כדי התנועות הללו בשל הזרמים החיצוניים. נתחיל עם המקרה של חוט יחיד בקצה האחורי של התא המחודד. הפלסמה הצמיגה, המצויה בתוך התא ובתוך החוט, מקבלת את התנוודות המחזוריות שנכפו עליה ע"י "רחוב המערבולות". הצמיגות הגדולה של הפלסמה מאפשרת לנו להתבונן עליה כשל קפיץ גמיש ביותר. התנוודות המחזוריות של הקפיץ הפלסמתי הזה ימשיכו בה זמן מה גם לאחר שהופסקה ההשפעה החיצונית. כל אחד שכיווץ קפיץ ועזבו מביד את התנוודות בקפיץ לאחר העזיבה. ככל שהקפיץ יותר גמיש התנוודות ממושכות יותר. נחזור עתה לתא שלנו הנע שמאלה בהשפעת הזרם החזק מימין, הגורם לתנוודות המפותלות של החוט והפלסמה שבתוכו. נניח שברגע מסוים נפסק לחלוטין הזרם. כלומר התא לא נדחף יותר שמאלה ע"י זרם מימין. מה יקרה? הפלסמה בתוך התא ממשיכה לרמוט באותה עוצמה ומחזוריות שהיתה זמן קצר לפני שהזרם פסק. תנוודות אלו של הפלסמה מניעות באותו קצב וצורה את החלק האחורי והחוט כולו. תנוודות אלו של החלק האחורי והחוט התאי יגרמו לתנועת התא כולו קדימה לכיוון ימין. עתה תנועת התא ימינה ביחס לזרם נובעת מהתנועות הפנימיות של הפלסמה בתא. מהירות ההתקדמות תהיה זהה למהירות שהיתה לתא ביחס לזרם לפני שהוא פסק. זאת מהשיקול שהסברתי לעיל שלא משנה מי נע ביחס אלינו. חשובה התנועה היחסית בין התא והנוזל. אולם עתה, כאשר התא נע ימינה בשל התנוודות הפנימיות של הפלסמה שלו שוב יש מצב של תנועת התא ביחס למים הזורמים שמאלה מבהינת התא. כלומר שוב נוצרות אותן תופעות של מערבולות צידייות המשפיעות על התנוודות הפנימיות של הפלסמה, באותה עוצמה וקצב כמו שהיה מרם הפסקת הזרם מימין. לכן התנועה ימינה של התא תמשך ללא הפסק עד אשר יגיע התא למחסום פיסי או שיתקל

הנה כי כן הצלחנו, בדמיוננו, ליצור תנועה עצמית של גוף ביולוגי על סמך חוקים פיסיקליים בלבד.

השאלה עתה היא כיצד יעצור התא את תנועתו ימינה מבלי שיתקל במחסום אשר עלול לפגוע בו. מאחר ואיני מיחס כאן לתא כושר חשיבה עצמאי, אשר יזהיר אותו בפני התקלות ויכוון אותו לביצוע פעולת מניעה כלשהיא, עלי לחפש מכניזם פיסיקלי אפשרות אחת היא להניח כי בהתקרב התא למחסום מוחזרים ממנו גלים הפוכים ובקצב שווה לאלו שהגיעו למחסום בכלל תנועות התא. עקב כך נוצרת התאבכות הדרגת של התנועות הגליות של השומן, שבחלק האחורי של התא, עם התנועות הגליות של המים. לכן מתבטלת באופן אוטומטי התנועה המחזורית של השומן והתא מאט את תנועתו קדימה עקב החיכוך עם המים. יתכן שהמחסום לא יחזיר את הגלים בדיוק כלפי התא אלא יסיט אותם במקצת לפי חוקי ההחזרה של גלים הפוגעים במשטח נמוי. במקרה כזה יקבל התא דחיפה הציזה בהתקרבו למחסום. ככל שיתקרב יותר הדחיפה תהיה חזקה יותר. במקרה כזה תנועת השומן לא תעצר אך כיוון תנועתו של התא ישתנה. אולי אפילו יתהפך לאחור. לגבי צופה מהצד יראה הדבר כאילו התא חש במחסום ושינה כיוונו במתכוון. כלומר אנו נתקלים כאן לדאשונה במיכניזם פיסיקלי המסביר את הקשר שבין "חישה" לתנועה.

זוהי דוגמא למכניזם פיסיקלי חיצוני העשוי לעצור את התא או לשנות כיוון תנועתו. אך האם ניתן לחשוב על מכניזם פנימי לעצירת התא. מאחר וכל הנושא דומה למערכת קפיצים חיפשי מכניזם אשר יפסיק תנועות מסוימות בקפיצים עם אפשרות לחידוש התנועות מאוחר יותר. הרעיון הנראה לי כעשוי לעבוד הוא כדלהלן. השומן עצמו הוא רק חלק קטן ממערכת פלסמתית ארוכה מאד. מערכת זו מורכבת מהרבה שרשראות המחוברות ביניהן. נניח כי יש נקודת חיבור בין השרשראות המרכיבות את השומן לבין יתר השרשראות של גוף התא. התנועות העצמאיות המחזוריות של השומן מוכתבות בעיקרן ע"י התנועות בשרשראות הארוכות של הגוף. תנועות השומן הן במישור מסוים. תנועות השרשראות הפנימיות נוצרות ע"י התנועות החיצוניות של הנוזל ולכן גם הן תהינה בכיוונים המאפשרים את התנועות של השומן במישור המסוים. כל עוד קיים תאום זה ימשיך השומן להתנוודד והתא יתקדם. אך מה יקרה אם בשל גודם פנימי או חיצוני כלשהו תתפתל השרשרת באיזור החיבור של השומן. עתה יתכן שמישור התנועות שמוכתבות ע"י השרשראות הפנימיות אינו תואם את מישור התנועה של השומן. לכן תנועת השומן תעצר והתא יפסיק להתקדם. אם לאחר מכן, בשל סיבה פנימית או חיצונית כלשהי, יתבטל הפיתול של השרשרת בחיבור של השומן תאפשר שוב העברת תנועות השרשראות הפנימיות לתנועת השומן במישור הדרוש והתא יחל לנוע שוב. כלומר המריק להצטקת התנועות של חלק שרשרת קפיצית פלסמתית מסוים הוא ע"י סיבוב של חלק השרשרת בנקודת החיבור למישור שונה מהרגיל. האנרגיה הקפיצית, האצורה בשרשראות הארוכות של החלקים האחרים, תאפשר חידוש התנועות ע"י ~~ביסבוב~~ למצב הרגיל.

2/2'0

אנו נזכרים אם כן כי במגע הבעיה האמיתית היא לא כיצד ליצור תנועה אלא כיצד לעצור אותה. אם חושבים על מה שקורה בחלקיקים אלמנטריים, שם התנועה היא הבסיס לכל, הרי שלא קשה להבין כי גם בגופים ביולוגיים התנועות, הישרות, הסיבוביות, הלולייניות והאחרות הן בסיסיות יותר מאשר המצבים הנחים, גם באופן יחסי בין שני גופים. כלומר במגע אין שני גופים בעלי מנוחה מוחלטת זה ביחס לזה, אלא אולי ברמות שונות של תנועות יחסיות המורגשות יותר או פחות.

לסדרה '3'. כלומר אנו מקבלים כאן מודל פיזיקלי פשוט למערכת בעלת זכרון. אם מבינים כי היחסים הדינמיים בין האטומים השונים מושפעים מכוחות חשמליים וזכחות בין-אטומיים הנותנים "קבועי קפיץ" מסוימים, לא קשה להבין כיצד ה-DNA משמש כמערכת זוכרת. לכל תא יש הארועים הפיזיקליים הקודרים אותו במהלך חייו. מבנהו המיוחד של ה-DNA מאפשר לתא לזכור את הארועים הללו ולהגיב עליהם. כלומר יש לנו כאן מערכת זכרון תאי.

זמן המחזור של תנועה בכל אחד משלבי הסולם תלוי כנראה במהירות התקדמות ההפרעה (כמו מהירות הקול) בחומר ממנו בנוי השלב, ובאורך השלב. לשם הערכה מספרית של סדרי הגודל של זמני המחזור האפשריים, נניח למשל כי קצב התקדמות ההפרעה הוא 1000 מטר בשניה, ונניח כי אורך השלב הוא 10 אנגסטרום. מחלוקת האורך במהירות נקבל זמן מחזור מסדר גודל של 1 חלקי 100 מיליארד שניה. אם במעגל תנועה מסוים כלולים מאה שלבים כאלה נקבל עבור זמן המחזור למעגל כולו סדר גודל של מיליארדית שניה.

בנוסף לתכונת ה-DNA לזכור ארועים פיזיקליים, כגון לחצים פיסיים על דופן התא אשר הועברו דרך הציטופלסמה הצמיחה אל הגרעין, משמש כידוע ה-DNA כגוף המשכפל את עצמו בתהליך היווצרות תא נוסף. אם כך סביר להניח כי חוץ כדי פעולת השכפול עוברות גם התנועות ומעגלי התנועות אל הגרעין החדש. כלומר יחד עם המידע הגנטי, על הרכב החומרים וסדרם, מעביר ה-DNA גם את כל הזכרון של הארועים שפקדו אותו מרם ההתחלקות. כלומר התא החדש יורש גם את זכרון התא הקודם. הוא עצמו יעבור ארועים מסוימים, שאינם בהכרח זהים עם אלה של התא המקורי, ויוסיף ארועים אלו לזכרונו הוא. כאשר התא החדש יתחלק הוא יוריש את כל הזכרון שלו, הגנטי והארועי, לדור הבא וכן הלאה. יתכן שמכניזם זה מסביר את היווצרות ההתמחויות של תאים שונים במקומות שונים. הוא עשוי להסביר גם כיצד עוברות בידועה אינפורמציות שנלמדו ע"י בעלי חיים שונים. כאשר נדע לפק את הסופרפוזיציה של תנועות תא מסוים למרכיביה, נוכל לשחזר אחורה את כל הארועים שעברו על התא עצמו ועל כל הדורות שקדמו לו. אם נעשה השוואה בין השיחזורים של קבוצת תאים קרובה נוכל, אולי, להבין מה גרם לשינויים מסוימים. דבר שיאפשר אולי בעתיד למצוא פתרונות למחלות שונות.

ניתן לעשות הקבלה מסוימת בין התנועות המכניות בקפיצים לתנועות החשמליות במעגלי LC. אם במעגל סגור יש קפיצים מכווצים וקפיצים רפויים, אשר מתכווצים בהירפות הקפיצים המכווצים, אזי מקבלים תנועות מחזוריות שבהם משמשים הקפיצים המכווצים כקבלים שונים (C), בעוד שהקפיצים הרפויים משמשים כמשרנים (L). אולם בניגוד למה שבמעגלים חשמליים, בקפיצים הניידונים הופכים הקבלים למשרנים ולהיפך. כל עוד הדבר לא פוגע במהלך התנועות אין בכך כל חסרון. אולם אחד היתרונות הגדולים של התקן כזה הוא שלא צריך להשתמש בשני מכשירים שונים לתפקידי הקבל והמשרן.

לפי היעיון החדש המובע כאן, מעגלי התנועות בסולמות ה-DNA מהווים את הדרך לשמירת מידע. נשאלת השאלה כיצד מתבצעת שליפת המידע. מאחר והדוגמא העומדת לנגד עיני היא של סולמות קפיצים מתנוודדים אני מחפש דרך להגיע אל שרשרת תנועות המהווה חבילת מידע. נראה לי במחשבה ראשונה כי אם סולמות הקפיצים יהיו מצומדים ביניהם ע"י קפיצי קישור, באזורים מסוימים לאורך הסולם, ניתן יהיה אולי להעביר שרשרת תנועות מסולם אחד למשנהו מבלי שהתנועות בסולם האחד, ממנו מועברות התנועות, יעלמו. מה שנחוץ הוא כי קפיצי הקישור יעבירו תגובה תנועתית חלשה החלויה בתנועת המידע אותה רוצים להעביר.

באופן דומה ניתן ליצור קישורים (אסוציאציות) בין קטעי מידע שונים המצויים

בטולמות קפיציות שונות. לשם כך נחוץ להפעיל קפיצי קישור מתאימים.

מה מספר הטולמות הדרוש? להערכתך דרוש טולם לכל סוג מידע הנקלט מבחוץ או נוצר בקוף. למשל עבור מידע דאייתי נחוץ טולם. עבור מידע שמיעתי נחוץ טולם. באדם יש 46 טולמות (כרומוזומים). האם זה מרמז כי יש 46 או לפחות החצי מזה, דהינו 23 סוגי מידע? יש לבדוק שאלה זו.

הצגת השערה-עשה: תפקיד ה-RNA

אם מתיחסים אל ה-DNA כאל טולם קפיצים השומר קדבו את התנודות השונות העוברות על התא במהלך חייו, אזי יש צורך לקשר בין טולם זה לשרשראות המולקולריות המרכיבות את הפלסמה הצמיחה. נראה לי כי כאן יש תפקיד מיוחד ל-RNA. זאת בנוסף לתפקידו בהעברת קודי התורשה. מה שבדוד לי מהסתכלות במבט הוא של ^{תק}קים רבים יש יותר מתפקיד אחד. במידה ולחלק מסוים יש מספר תפקידים אזי כל תפקיד מצוי בתחום שונה מהאחרים. למשל ה-DNA משמש הן לשמירת מידע תורשתי והן, לפי הנראה לי, לשמירת מידע תנודתי. ה-RNA משמש הן בתהליך העברת המידע התורשתי והן, לפי הנראה לי, בתהליך העברת המידע התנודתי.

23/4

