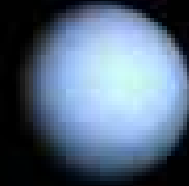


מבוא למערכת השמש



מבוא למערכת השמש

הפרק מיועד לתלמידים בכל הרמות ולמורים
הפרק כולל מספר ביטויים מתמטיים. המתקשים יכולים לדלג על הביטויים

לקריאה משלימה ולתרגולים

פרק זה מבוסס על פרקים ה' ו' בספר
מדריך להכרת השמים, ד"ר יגאל פת-אל, הוצאת קוסמוס טלסקופים

<http://cosmos.co.il/wfile/catalog/books.htm>

פרקי תרגול לפרק זה מצויים באתר זה בפרקי מבוא ובתרגולים למורים:

http://education.org.il/education/lab_edu.htm

מערכת השמש היא המערכת בה אנו מצויים

במרכז המערכת מצוי הכוכב היחיד במערכת – זו השמש שלנו
השמש היא הגוף היחיד במערכת השמש המפיק אנרגיה גרעינית
בליבתו ולפיכך היא מקור האנרגיה של המערכת
למעלה מ-99% ממסת כל מערכת השמש מצויה בשמש

במערכת השמש הגופים הבאים:

השמש – מרכז המערכת

כוכבי לכת קלאסיים

כוכבי לכת ננסיים

ירחים טבעיים

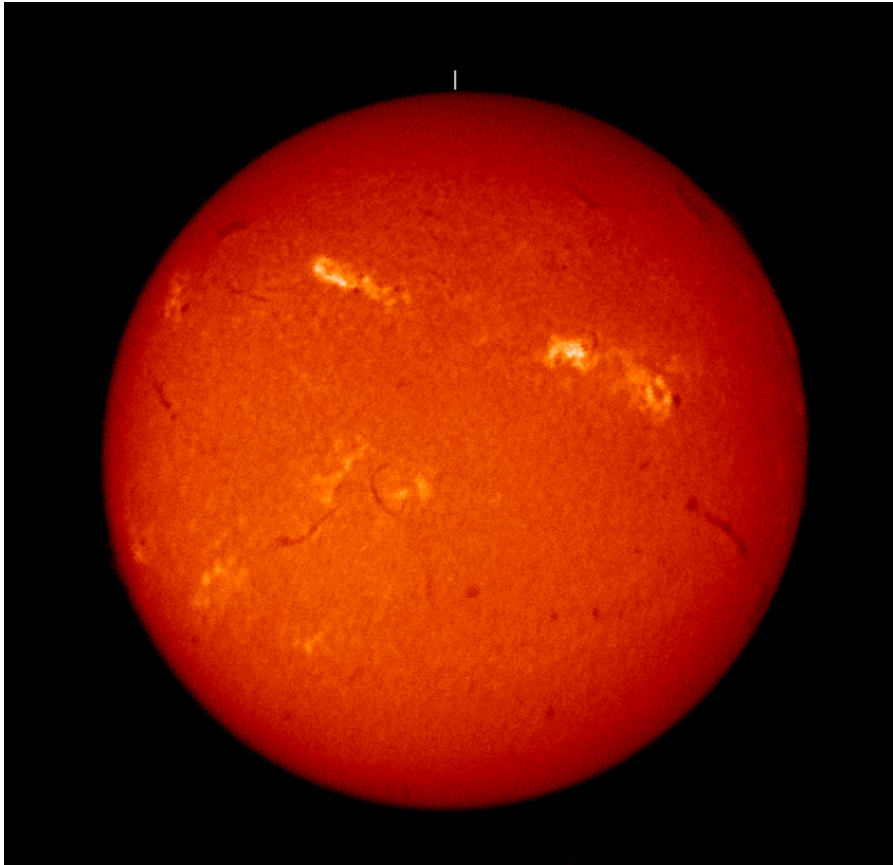
אסטרואידים

שביטים

אבק

פלסמה

השמש



השמש היא הכוכב היחיד במערכת השמש.

יש כמה הבדלים בין שמש (כוכב) לכוכבי לכת:

מסה – השמש מסיבית יותר מכל כוכב לכת. 99% ממסת מערכת השמש מצויה בשמש

ייצור אנרגיה – השמש מייצרת אנרגיה עצמית בליבתה, מעבר לשחרור של אנרגיית כבידה. בשלב זה של חייה השמש פולטת קרינה לחלל

משמאל – השמש באורך גל של מימן (NASA)

כוכבי הלכת

כוכבי הלכת מונים 8 במספר ושמותיהם (לפי מרחקם מהשמש):

כוכב חמה (מרקורי)

נוגה (ונוס)

ארץ

מאדים (מרס)

צדק (יופיטר)

שבתאי (סטורן)

אורון (אורנוס)

רהב (נפטון)

פלוטו – הוגדר ככוכב לכת עד שנת 2006 ומאז מסווג ככוכב לכת ננסי

כוכבי הלכת הננסיים

אלה נחלקים בעיקר לשני סוגים:

קרס (אסטרואיד לשעבר), המצוי בחגורת האסטרואידים

פלוטוניים – כאשר העיקרי בהם הוא כוכב הלכת לשעבר פלוטו, המצויים מעבר למסלולו של נפטון.

ירחים

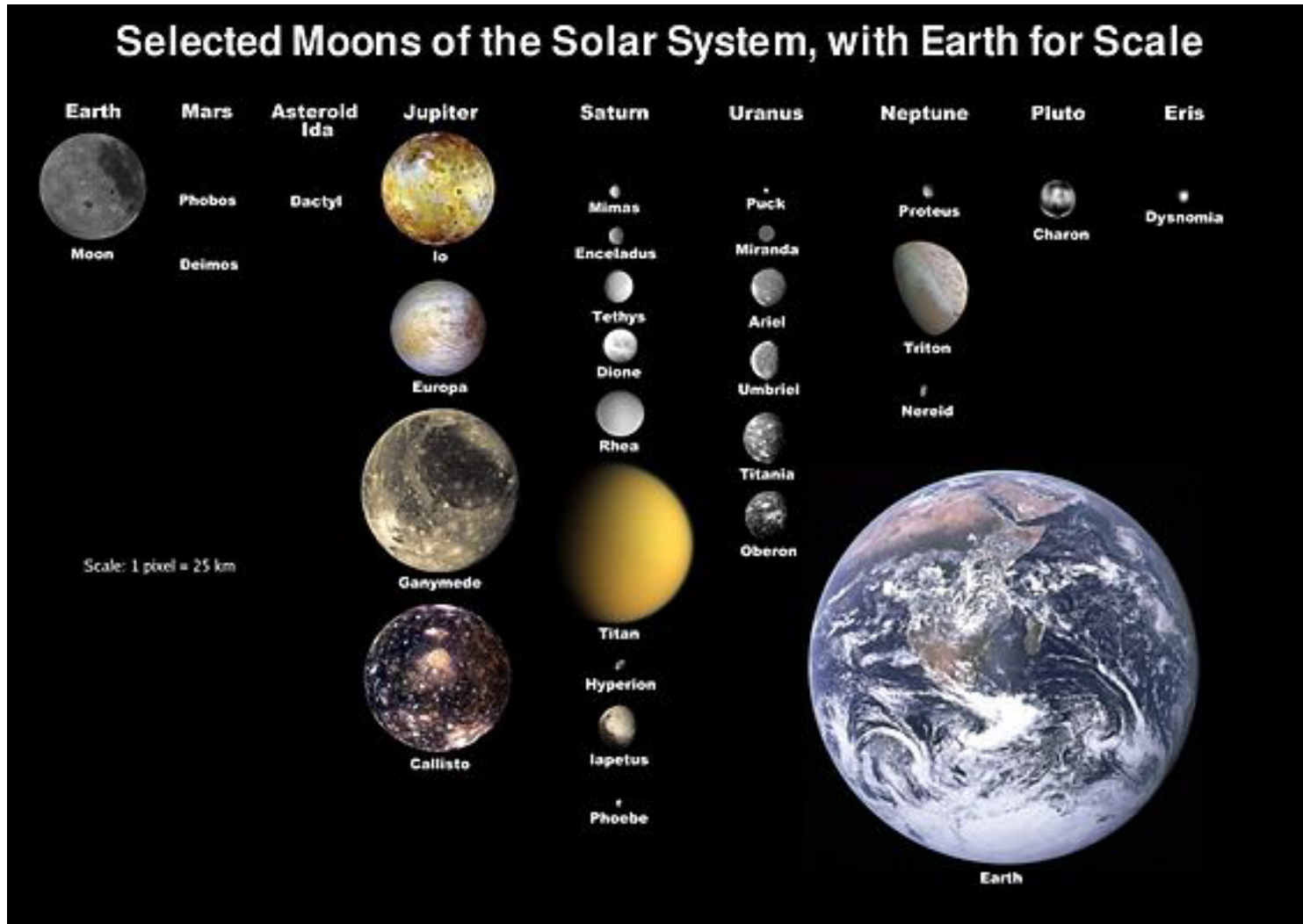
ירחים טבעיים

למרבית כוכבי הלכת העיקריים (למעט כוכב חמה ונוגה), וכנראה לחלק מכוכבי הלכת הננסיים, יש לווינים המקיפים אותם.

לווינים מלאכותיים

רכבי חלל מעשה ידי אדם הנעים במערכת השמש או מקיפים גופים בה, להבדיל מירחים טבעיים של כוכבי הלכת.

ירחים גדולים במערכת השמש



http://wpcontent.answers.com/wikipedia/commons/thumb/4/4f/Moons_of_solar_system_v7.jpg/567px-Moons_of_solar_system_v7.jpg

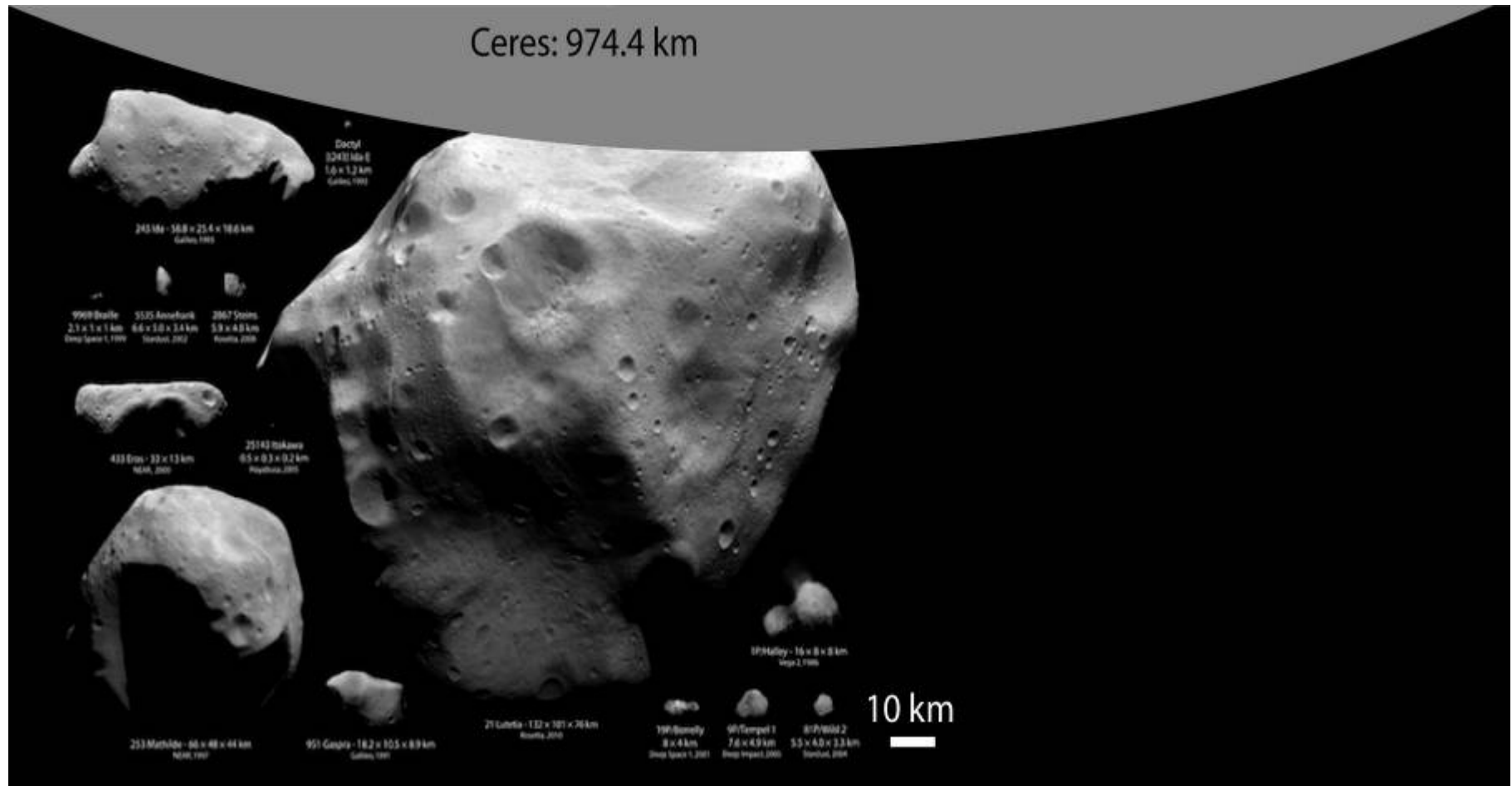
גופים קטנים במערכת השמש

אסטרואידיים

גופים קטנים, שגודלם אינו עולה על כמה מאות ק"מ, המצויים בעיקר בחגורת האסטרואידיים שבין מאדים לצדק. יש אסטרואידיים שנעים במסלולים פנימיים יותר ויש כאלה מעבר למסלולו של נפטון

שביטים – גופים העשויים בעיקר קרח ואבק. לשביטים שני מקורות: חגורת קויפר, המשתרעת מעבר למסלולו של נפטון עננת אורט – האופפת את מערכת השמש כהילה כדורית

אסטרואידיים – השוואת גודל



<http://www.geol.umd.edu/~jmerck/geol212/images/24size.jpg>

ד"ר יגאל פת-אל

www.education.org.il

מבוא למערכת השמש

אבק ופלסמה

אבק

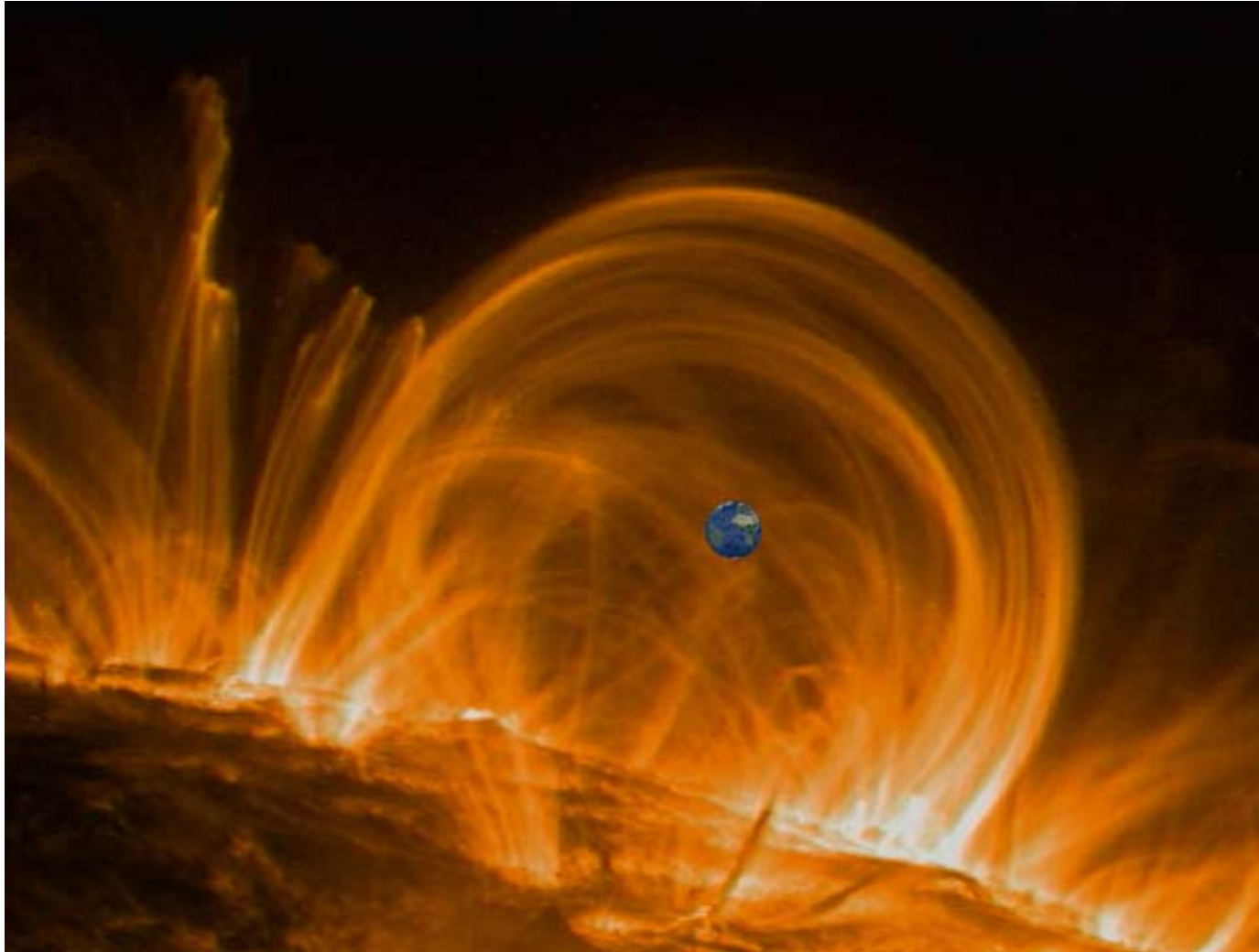
בעיקר מקורו בעננה שיצרה את מערכת השמש אך גם שברים שנוצרו כתוצאה מהתנגשויות בין גופים במערכת השמש או כתוצאה מאינטרקציה בין רוח השמש לגופים במערכת השמש (שביטים, אסטרואידים)

פלסמה

חלקיקים מיוננים שמקורם בשמש, שנפלטו לחלל. חלקיקים אלה, בעיקר מימן והליום, יוצרים את השכבה החיצונית של אטמוספירת השמש - ההליוספירה

הבדל הגדלים בין השמש לכדור הארץ

הדמייה של יחסי הגדלים בין כדור הארץ לבין חלק קטן מהשמש והתפרצות
(צילום: NASA/ESA/SOHO)



אסטרואידיים וירחים

האסטרואידיים אידה וירחו דקטיל. צולמו על ידי המקפת קאסיני בדרכה לשבתאי (NASA/JPL)



יחידה אסטרונומית

המרחקים במערכת השמש נמדדים ביחידות אסטרונומיות, כאשר יחידה אסטרונומית אחת היא בקירוב המרחק הממוצע של כדור הארץ מהשמש ושווה ל-150 מיליון ק"מ בקירוב. נפטון מרוחק מהשמש כ-30 יחידות אסטרונומיות. מרחקם של הגופים הרחוקים ביותר בעננת אורט מהשמש מוערך בכ-70 אלף יחידות אסטרונומיות.

יחידות זמן במערכת השמש

כיוון שהמרחק הממוצע של כל גוף במערכת השמש מהשמש מנורמל לפי מרחקו של כדור הארץ מהשמש, יתר היחידות מנורמלות אף הן בהתאם ליחידות הזמן של כדור הארץ. משכי זמן ההקפה של כוכבי הלכת את השמש נמדדים בשנות כדור הארץ ומשכי ההקפה סביב צירם נמדדים ביממות כדור הארץ.

כוכבי הלכת

כוכבי הלכת נחלקים לשני סוגים לפי מאפייניהם הפיזיקליים:

כוכבי הלכת הננסים

על אלה נמנים כוכבי הלכת הקרובים לשמש – כוכב חמה, נוגה, ארץ ומאדים. הרכבם בעיקר סלעי. הם גם הקטנים שבין כוכבי הלכת. בגלל גודלם הדומה לזה של כדור הארץ הם קרויים גם – כוכבי הלכת הארציים.

כוכבי הלכת הענקיים – כוכבי הלכת החיצוניים

צדק, שבתאי, אורנוס ונפטון. מפאת גודלם הגדול ביחס לכוכב הלכת הסלעיים, הם גם מכונים – הענקים הגזיים.

אפשר לחלק גם את הענקים הגזיים לשת קבוצות לפי הרכבם:

צדק ושבתאי, שעיקר הרכבם מימן והליום
אורנוס ונפטון – המכילים גם חלק משמעותי של קרח מים וסלע.

כוכבי הלכת הסלעיים

את כוכבי הלכת הסלעיים אפשר לחלק גם לפי מאפיין נוסף, ביחס למרחקם מהשמש – כוכב חמה ונוגה, הקרובים יותר לשמש קרויים – כוכבי הלכת הפנימיים. יתר כוכבי הלכת ממאדים מאילך קרויים כוכבי הלכת החיצוניים.

הרכב כוכבי הלכת

כוכבי הלכת הסלעיים והגזיים

כל כוכבי הלכת בנויים מחומרים נדיפים - גזים וקרח מים - וכן ממוצקים - סלעים ומתכות.

בכוכבי הלכת היחס בין החומר הנדיף (שנקרא לו בשם הכולל - קרח) והחומר המוצק (שנקרא לו - סלע) משתנה.

כוכבי הלכת הארציים, הסלעיים, הם אלה שהיחס קרח לסלע הוא קטן מאוד
כוכבי הלכת הגזיים הם אלה שהיחס קרח לסלע הוא גדול.

מאפיינים דינמיים של מערכת השמש

מרכז הכובד של מערכת השמש הוא בנקודה המצויה סמוך לשמש. מיקום מרכז הכובד נקבע על ידי המצב ההדדי של כוכבי הלכת והשמש, כאשר צדק ושבטאי הם כוכבי הלכת בעלי ההשפעה הגדולה ביותר. מיקומה של נקודת מרכז הכובד של מערכת השמש יכול להיות בתוך השמש אך גם מחוץ לשמש, עד כדי רדיוס שמש.

מסלולי כוכבי הלכת

כל כוכבי הלכת סביב השמש במסלולים המצויים סמוך למישור הסיבוב של כדור הארץ סביב השמש, הקרוי – מישור המילקה – ומשמש במישור ייחוס לתנועת הגופים במערכת השמש. זווית הנטייה המירבית של מסלולי כוכבי הלכת ביחס למישור המילקה מגיעה לכ-7 מעלות לכל היותר במסלולו של כוכב חמה. כוכבי הלכת נעים סביב השמש במסלולים נגד כיוון השעון עבור צופה היפותטי המצוי מעל מערכת השמש, כאשר ההגדרה "מעל" היא במאונך למישור המילקה, לכיוון צפון, כאשר הצפון מוגדר ככיוון הקוטב הצפוני השמימי של כדור הארץ. מסלולי כוכבי הלכת סביב השמש הם אליפטיים, אך האקסצנטריות שלהם נמוכה יחסית ומסלוליהם כמעט מעגליים. לכוכבי הלכת כוכב חמה ומאדים המסלולים האליפטיים ביותר. מסלולי כוכבי הלכת אינם מצטלבים זה בזה למעט מסלוליהם של נפטון ושל פלוטו.

סיבוב עצמי

כוכבי הלכת סביב סביב צירם, כאשר זווית הסיבוב סביב צירם יוצרת זווית ביחס למישור הסיבוב שלהם סביב השמש. זווית זו קרויה – זווית נטיית ציר הסיבוב – שערכיה עשויות להגיע עד כמעט 90 מעלות. מרבית כוכבי הלכת סביב נגד כיוון השעון ביחס לצופה היפותטי המצוי בקוטב הצפוני של מערכת השמש, למעט נוגה ואורנוס. גם פלוטו מקיף את צירו עם כיוון השעון.

אסטרואידים

שם כולל לגופים המצויים בעיקרם במרחב שבין מאדים לצדק, מרחב הקרוי – חגורת האסטרואידים. חלק מהאסטרואידים נזרקו פנימה עקב התנגשויות או השפעות כבידה של גופים אחרים, והם מקיפים את השמש במסלולים פנימיים יותר, חלקם במסלולים שמצטלבים עם מסלולו של כדור הארץ.

ייתכן והאסטרואידים הם שאריות של חומר במרחב שבין מאדים לצדק שלא הגיע לכלל התגבשות לכוכב לכת גדול יותר בגלל השפעות הכבידה של כוכב הלכת צדק.

מבנה האסטרואידיים

האסטרואידיים נמנים על כמה משפחות בהתאם להרכבם:

- קבוצת C – זו הקבוצה הנפוצה ביותר. אסטרואידיים אלה מכילים פחמן ולעתים גם תרכובות אורגניות. שכיחות של מימן, חמצן, חנקן ופחמן) (CHON – מקנה להם גם את הכינוי – קונדריטים.
- קבוצת M – אסטרואידיים בעלי שכיחות גדולה מאוד של מתכות.
- קבוצת S – אסטרואידיים בעלי שכיחות גדולה מאוד של סלע (אבניים)

גודל האסטרואידיים

מרבית האסטרואידיים קטנים מאוד. המסה המוערכת של כל האסטרואידיים היא 0.0005 ממסת כדור הארץ. האסטרואידי הגדול ביותר, קרס, הוא בעל קוטר של כ-933 ק"מ ומסתו כשליש ממסת כל האסטרואידיים. בגלל מסתו הגדולה יחסית הוא היחיד מבין האסטרואידיים בעל צורה כדורית ולכן הוא משתייך לקבוצה של כוכבי לכת ננסיים.

האסטרואידי השני בגודלו, פלס והשלישי בגודלו – ווסטה, הם בגודל העולה מעט על 500 ק"מ. גודלם של מרבית האסטרואידיים הם בסדר גודל של פחות מק"מ אחד.

מסלולי האסטרואידים

מרבית האסטרואידים נעים במסלולים המצויים בין צדק למאדים, סביב 3 יחידות אסטרונומיות. אולם, בניגוד לכוכבי הלכת נטיית המסלולים שלהם ביחס למישור המילקה עשויה להגיע לעשרות מעלות.

אסטרואידים – סיבוב עצמי

אסטרואידים סבים גם סביב צירם. למספר אסטרואידים נמדד גם סיבוב סביב שני צירים ויותר. משך ההקפה המהיר ביותר עבור האסטרואידים הגדולים בו הם יישמרו בשווי משקל עם כבידתם הוא 2.2 שעות

אסטרואידים קרובי ארץ

אסטרואידים שנזרקו אל פנים מערכת השמש ומסלוליהם מביאים אותם לקרבה למסלול כדור הארץ. אלה קרויים – אסטרואידים קרובי ארץ (Near-NEO's Earth Objects). לגופים אלה פוטנציאל התנגשות עם כדור הארץ, כאשר בעבר הרחוק והקרוב התנגשו כמה מהם בכדור הארץ ואחד מהם, שהתנגש בכדור הארץ לפני כ-65 מיליון שנה, הביא להשמדת הדינוזאורים.

אסטרואידיים אחרים

במערכת השמש יש גופים אחרים בעלי מאפיינים פיזיקליים הדומים לזה של האסטרואידיים. על אלה נמנים:

האסטרואידיים הטרויאניים ממשפחת צדק ונפטון, המקיפים את השמש בנקודות לגרנז' של שני כוכבי הלכת האלה

קנטאורים – אסטרואידיים שמסלוליהם מצויים במרחקים הדומים לאלה של הענקיים הגזיים. מסיבה זו, מסלוליהם אינם יציבים עקב ההשפעות הכבידתיות של כוכבי הלכת הענקיים. הגדולים שבהם הם Chariklo 10299 שגודלו 260 ק"מ וכירון 2060.

גופים מעבר למסלול נפטון

אלה כונו בשם הכולל – Trans Neptunian Objects–TNO ועליהם נמנים הגופים בחגורת קויפר (Kuiper belt objects–KBO) וכן עשויים להמצא אסטרואידים מעבר לחגורת קויפר במה שקרוי – הדיסקה הפזורה וגם בתוככי עננת אורט לשם נזרקו עקב אינטרקציה כבידתית עם הענקיים הגזיים.

שביטים

שם כולל לגופים שהרכבם העיקרי הוא קרח מים ובו כלואים גזים ואבק.
גודלם האופייני של שביטים הוא כמה ק"מ עד כמה עשרות ק"מ.

מקור השביטים

לשביטים שני מקורות עיקריים:

חגורת קויפר – מעבר למסלולו של נפטון. לשביטים אלה מסלולים בזווית נטייה של עד כמה עשרות מעלות ביחס למישור המילקה והם הגדולים יותר מבין האסטרואידים.

עננת אורט – משתרעת עד לשולי מערכת השמש, כמה עשרות אלפי יחידות אסטרונומיות. מסלוליהם של שביטים בעננת אורט עשויים להיות בכל זווית ביחס למישור המילקה.

בגלל אינטרקציה בינם לבין עצמם, או עם גופים אחרים כמו כוכבי הלכת הגדולים או גופים מחוץ למערכת השמש (במקרה של עננת אורט), שביטים עשויים להזרק פנימה או החוצה ממערכת השמש.

אטמוספירות פלנטריות

לכל כוכבי הלכת יש אטמוספירה. יש כוכבי לכת עם אטמוספירה סמיכה יותר או פחות

השפעת הטמפרטורה על מבנה האטמוספירה

מטבע הדברים, אטמוספירות פלנטריות מורכבות מגזים. היכולת של כוכב לכת להחזיק באטומים או מולקולות באטמוספירה שלו וכן מבנה האטמוספירה, שכיחות היסודות בה וצפיפותה תלויים בכמה גורמים: המרחק מהשמש והטמפרטורה האפקטיבית על פני כוכב הלכת הכבידה של כוכב הלכת המבנה ההתחלתי של כוכב הלכת והמקור לחומרים הנדיפים

המרחק של השמש והשפעתו על אטמוספירה

למרחק של כוכב הלכת מהשמש יש השפעה על ההרכב האטמוספירי ושכיחותו, מהסיבות הבאות:

- ככל שהמרחק מהשמש קטן יותר, הטמפרטורה גבוהה יותר והמהירות של החלקיקים גבוהה יותר.

- ככל שהמרחק מהשמש קטן יותר, השטף של רוח השמש גדול יותר והאינטרקציה עם החלקיקים ברוח השמש וקרינת השמש גבוהה יותר.

- השפעת השדה המגנטי של השמש גדולה יותר.

- אינטרקציה של חלקיקים עם פני הכוכב משחררת אטומים ומולקולות מפני השטח אל האטמוספירה

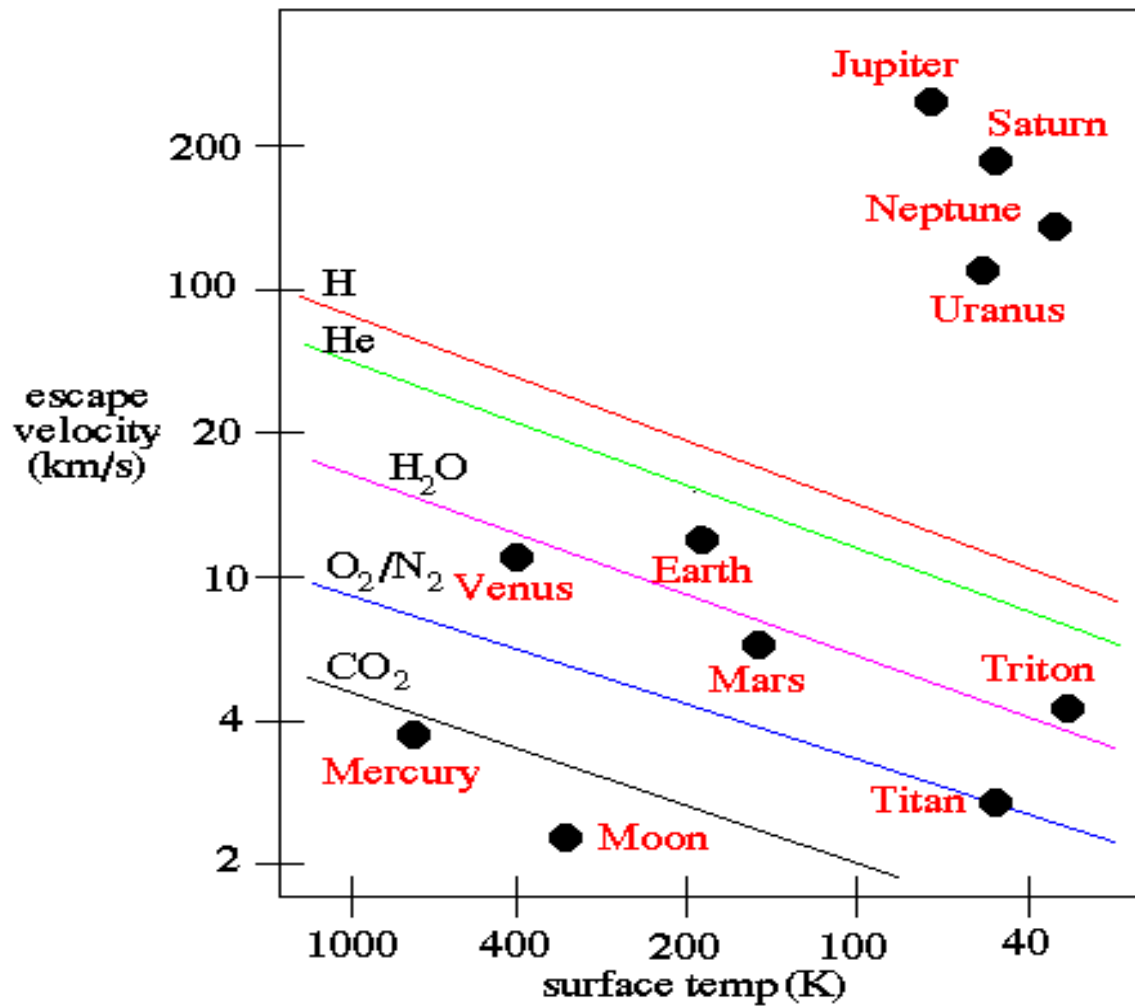
- נידוף מים נוזליים (להידרוספירה תפקיד בעיצוב האטמוספירה והאקלים). שינוי בהידרוספירה משפיע על אטמוספירת כוכב הלכת.

האנרגיה הקינטית של הגזים

ככל שהאנרגיה של חלקיקים באטמוספירה גבוהה יותר, אזי המהירות שלהם (והאנרגיה הקינטית שלהם) גדולה יותר. לכן, הסיכוי של חלקיק להימלט משדה הכבידה של כוכב הלכת גבוה יותר ככל שהאנרגיה הקינטית שלו גדולה יותר. המשוואה המתארת את מהירות הבריחה של מולקולות או אטומי גז משדה כבידה של פלנטות קרויה – משוואת הבריחה של ג'ינס (Jeans Escape).

את הפיתוח המתמטי של המשוואה ראו בנספח בסוף הפרק.

השפעת מהירות בריחה על הרכב אטמוספירות



http://abyss.uoregon.edu/~js/images/atmos_ret.gif

אינטרקציה עם רוח השמש

- התנגשויות עם חלקיקים מהשמש יכולה להוסיף תנע לחלקיקים המצויים באטמוספירה ולפיכך להגדיל את הסיכוי שלהם להמלט
- פוטיוניזציה על ידי קרינת UV מהשמש מיינת את האטומים ובכך מאפשר להם להימלט מהאטמוספירה לאורך קווי הכוח של השדה המגנטי של השמש (תלוי מרחק מהשמש ובשדה הכבידה של כוכב הלכת)
- פירוק של מולקולות – אינטרקציה עם רוח השמש עשויה לגרום לפירוק של מולקולות לאטומים בעלי משקל מולרי קטן יותר ולכן להגדיל את ההסתברות שלהם להימלט.

אטמוספירות ראשונות ומשניות

האטמוספירות הראשונות של כוכבי הלכת נוצרו בעיקר מחומרים נדיפים שהשתחררו תוך כדי יצירת כוכב הלכת והתמצקותו וחומרים נדיפים שהובאו אליו על ידי התנגשויות בשלבים הראשונים של חייו.

אולם, המבנה האטמוספירי של כוכבי הלכת הסלעיים הנוכחי שונה מהמבנה הראשוני של האטמוספירות שלהם. ההבדל של המבנה האטמוספירי של כוכבי הלכת הסלעיים בהווה עם המבנה הראשוני נעוץ בכמה גורמים

תהליכים בכוכב הלכת

תהליכים של התפתחות כוכב הלכת משפיעים עם ההרכב האטמוספירי:

פליטת גזים ואדי מים בפעילות וולקנית

תהליכים נוספים (כגון פוטוסינטזה, גורמת ליצירת מולקולות חמצן באטמוספירה)

הידרוספירה המשמשת כבית קיבול לגזים מסוימים (כגון CO_2) וכן כמנוע אקלים

תהליכים חיצוניים

- התנגשויות עם גופים אחרים במערכת השמש. למשל – הפצה על ידי שביטים תורמת להתפתחות של ההידרוספירה או יצירת מצבורי קרח (ירח, כוכב חמה)
- התנגשויות עם גופים גדולים מעיפה חלק גדול של האטמוספירה הראשונית או את כולה.
- שינוי גדול ודרסטי בקרינת השמש. למשל, שלב של אי יציבות בשלבים הראשונים של חייה גרם להתפרצויות של השמש שהעיפו חלק מהאטמוספירות של כוכבי הלכת הקרובים אליה.

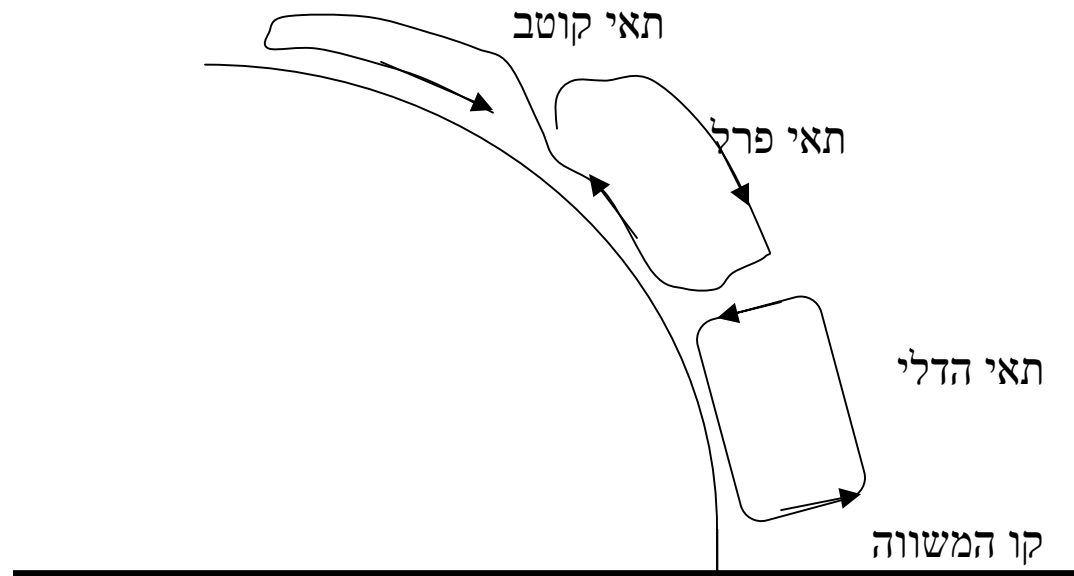
דינמיקה של אטמוספירות

תאי הדלי – Hadley cells - חמים של אוויר בקו המשווה – אוויר חם עולה אל הטרופוספירה ויורד חזרה צפונה ודרומה מהמשווה.

תאי קוטב – Polar cells - אוויר מתקרר ונדחס באזורי הקטבים. גורם לזרימה של אוויר חם אל הקטבים.

תאי פרל – Ferrel cells - באזורים שבין המשווה לקטבים – כתוצאה מאינטרקציה שבין תאי הדלי לתאי קוטב

קוריוליוס – תנועה של רוחות כתוצאה מסיבוב הפלנטה סביב צירה.



ירחים במערכת השמש

למרביית כוכבי הלכת, למעט כוכב חמה ונוגה, יש ירחים משלהם. יש כמה מודלים המסבירים המצאות של ירחים סביב כוכבי הלכת

מודל הספיחה

תוך כדי יצירת כוכבי הלכת נוצרו סביבם דיסקות ספיחה, ממש כמו שנוצרה דיסקת הספיחה סביב השמש. מהתנגשויות בדיסקת הספיחה נוצרו גושים קטנים שגדלו לידי ירחים.

מודל הלכידה

כוכבי הלכת לכדו גופים קטנים שעברו בסמוך להם. האינטרקציה של כוכבי הלכת עם גופים אלה יכולה לגרום ל-3 תוצאות:

- העפת הגופים הקטנים פנימה או החוצה ביחס לשמש
- נפילת הגופים על כוכבי הלכת
- לכידת הגופים והבאתם למסלול יציב סביב כוכב הלכת
- לעתים – משיקולים של גודל הגוף, צפיפותו, התנע וכדומה, לכידתו הביאה להתפוררותו וליצירת מערכת טבעות

מודל ההתנגשות

התנגשות של כוכב לכת עם גוף גדול גרם להעפת חומר וליצירת דיסקה סביב כוכב הלכת שבה נוצר ירח. מקובל לראות את הירח של כדור הארץ תוצר של התנגשות כזו של כדור הארץ בגוף בגודלו של מאדים.

יחסי גדלים ירחים וכוכבי לכת

רובם המכריע של הירחים במערכת השמש קטנים מאוד ביחס לכוכבי הלכת אותם הם מקיפים. יוצא מן הכלל הוא כדור הארץ ופלוטו, שהיחס בינם לירחיהם קטן מסדר גודל. הירחים של כוכבי הלכת הגזיים ושל מאדים קטנים מאוד (היחס בין הנפחים גדול מסדר גודל אחד) עד זניחים ביחס לכוכבי הלכת אותם הם מקיפים.

מסלולי הקפה של הירחים את כוכב הלכת

בדרך כלל, ירחים מקיפים את כוכבי הלכת במישור הדומה למישור הקפת כוכב הלכת את השמש, אולם יש יוצאים מהכלל ובינם מערכות ירחים של צדק וכן שבתאי.

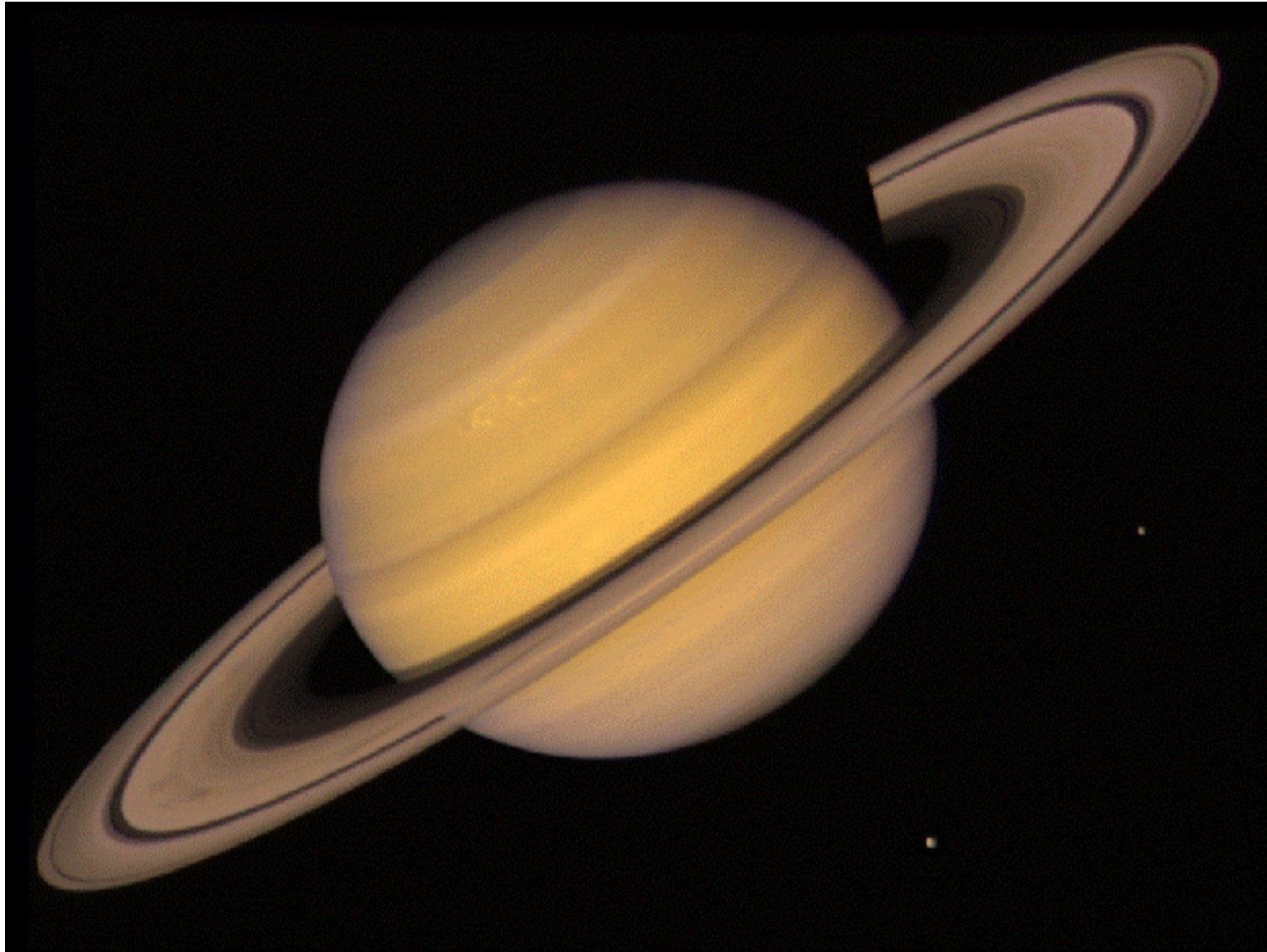
טבעות סביב כוכבי לכת

לכל כוכבי הלכת הגזיים יש טבעות, המפותחות ביותר הן אלה של שבתאי. גם לצדק, אורנוס ונפטון מערכות טבעות.

הסיבה להיווצרות טבעת היא כנראה התקרבות של ירח לכוכב הלכת עד כדי שכוחות הגיאות של כוכב הלכת קרעו את הירח לרסיסים.

יש הסבורים שטבעות נוצרו כאשר חומר בדיסקת הספיחה סביב כוכב לכת לא התמצק לכדי יצירת ירח. כנראה שטענה זו אינה הסיבה להיווצרות טבעות כיוון שהערכת גיל הטבעות נמוכה בהרבה מגיל כוכבי הלכת.

טבעות - שבתאי



צילום – NASA, HST
מבוא למערכת השמש

ד"ר יגאל פת-אל

www.education.org.il

כוח גיאות

כוח גיאות מוגדר כהפרש הכוחות הכבידה של גוף על פניו של גוף אחר הרחוקים והקרובים לגוף שמפעיל את כוחות הגיאות. הפרש הכוחות המופעל על כל האלמנטים של המסה בגוף עליו מופעל כוח הגיאות יוצר כוח שמתנגד לכוח הכבידה המאגד את הגוף כיחידה אחת.

כוחות הגיאות הפועלים על גוף גורמים לתופעות שונות על פניו, לחימומו ובמקרים קיצוניים גם לפירוקו. כוחות גיאות שמפעיל גוף על גוף אחר עשויים לגרום לנעילה כבידתית – האטה או עצירה של מהירות הסיבוב סביב צירו

כוחות הגיאות שמפעיל הירח על כדור הארץ גורם לעליית ההידרוספירה (גובה פני מקווי המים) אל הירח ולתזוזת לוחות.

על הפיתוח המתמטי ראו בנספח בסוף הפרק

גבול רוש

גבול רוש מגדיר את יציבותו של גוף מוצק בעל צפיפות ρ_s המצוי במרחק R מכוכב הלכת שצפיפותו ρ_s ורדיוסו r_p . גבול רוש קובע את המרחק D מכוכב הלכת שבו השפעת הכבידה של כוכב הלכת על פני הגוף הקרובים אליו תהיה גדולה מכוח הכבידה המחזיק את הגוף כיחידה אחת

את הפיתוח המתמטי של גבול רוש אפשר לראות בסוף הפרק

במקרה של הענקים הגזיים

במקרה של כוכבי הלכת הענקיים, בהם $\rho \sim 1 \text{ g cm}^{-3}$ גבול רוש עבור גופים העשויים בעיקר קרח, שצפיפותם דומה לצפיפות כוכבי הלכת הגזיים, תהיה בסדר גודל של $2.5r_p$. ערכים אלה מתאימים למרחקים של הטבעות מהענקים הגזיים.

יחסי רזוננס (תהודה)

יחסי רזוננס מתקיימים כאשר מסלולים של שני גופים הנעים סביב גוף שלישי מקיימים את היחס:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{i}{j}$$

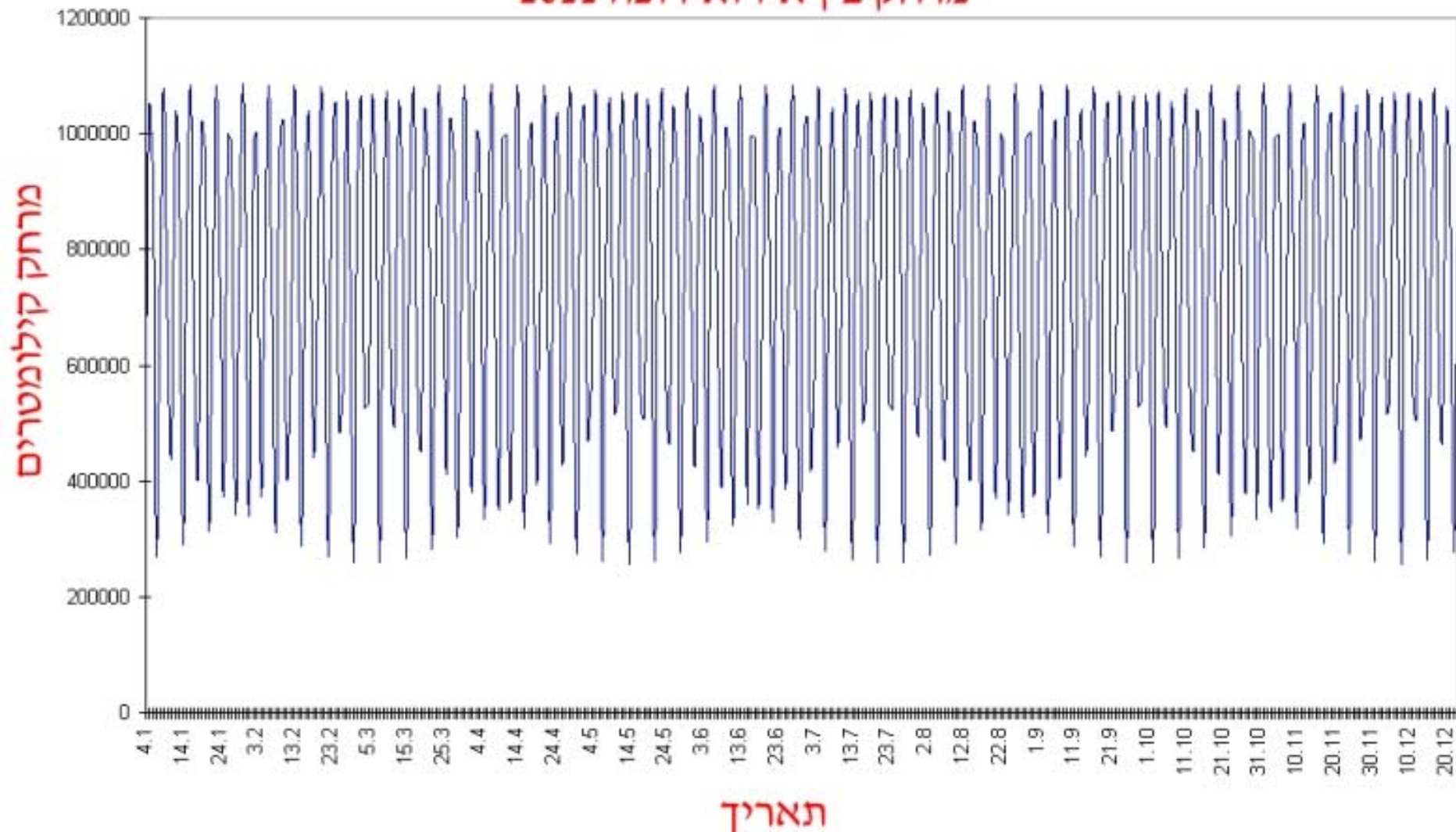
P_1 ו- P_2 הם זמני המחזור של שני הגופים סביב הגוף השלישי i, j הם מספרים שלמים.

התוצאה – שני הגופים חוזרים למצב הדדי ביחס למרכז המערכת באופן מחזורי, דבר המעצים את השפעת כוחות הכבידה בינם. דוגמאות לתוצאות של מסלולי רזוננס במערכת השמש:

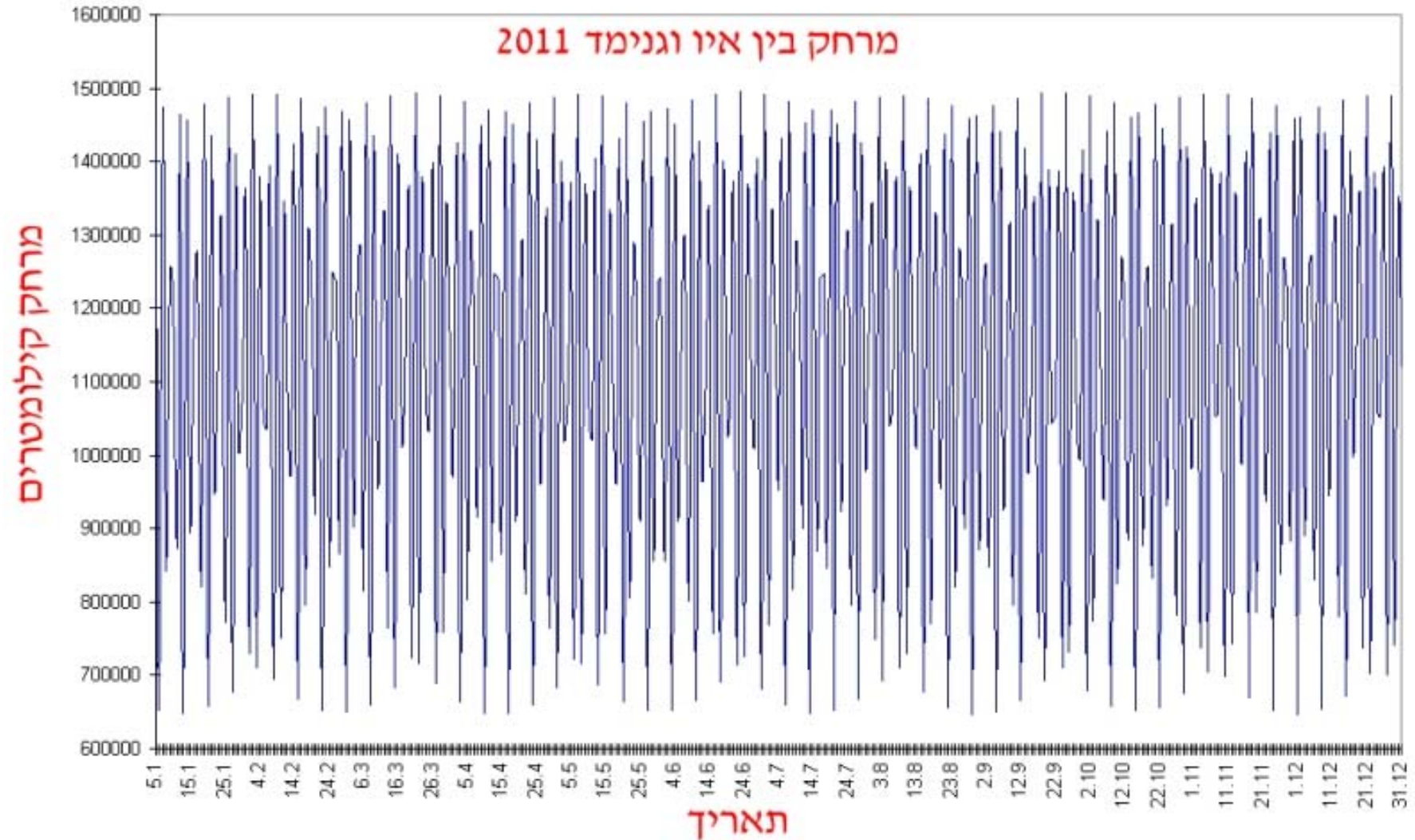
יצירת מרווחים בחגורת האסטרואידים במסלולי רזוננס עם צדק
יצירת מרווחים במערכות הטבעות של שבתאי במסלולי רזוננס עם ירחים
חימום הפנים של אירופה המצוי במסלולי רזוננס עם הירחים הגליליאניים החיצוניים

יחסי רזוננס בין ירחי צדק – איו ואירופה 2011

מרחק בין איו ואירופה 2011



יחסי רזוננס ירחי צדק – איו וגנימד, 2011



אלבדו

גופים במערכת השמש אינם פולטים אור משל עצמם אלא מחזירים את קרינת השמש. אחת הדרכים לקבל מושג על מאפיינים של פני השטח של הגופים במערכת השמש היא השוואת כמות הקרינה הנפלטת ביחס לכמות הקרינה המתקבלת על פניהם. היחס בין כמות הקרינה המוחזרת ביחס לקרינה המתקבלת קרוי – אלבדו.

יש שני סוגי אלבדו:

• אלבדו כללי (Bond Albedo)

• אלבדו גיאומטרי