



ציוני דרך בפיזיקה במאה העשרים: פרסי נובל

רחל ברדה וחנה גולדרינג, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע, רחובות

מבוא

בפרוס המילניום רצינו להביא בפני הקוראים את ההישגים החשובים בפיזיקה במאה שחלפה. על אף שחשבו בסוף המאה ה-19 שאין יותר מה לגלות בפיזיקה, היתה המאה העשרים עתירת הישגים יותר, אולי, מכל התקופה שקדמה לה מאז ימי ניוטון. פרסי נובל בפיזיקה מייצגים במידה רבה את פריצות הדרך החשובות. בסקירה זו של פרסי נובל אפשר לראות את השתנות הנושאים המרכזיים של הפיזיקה לאורך המאה שחלפה. מרכז הכובד עבר מפיזיקה אטומית ותורת הקוואנטים לפיזיקה גרעינית, קרינה קוסמית ופיזיקה של חלקיקים. בצד התפתחות זו התרחב גם מחקר החומר המעובה וניכרת השפעת הגומלין בין המחקר הטהור והיישומי. תגליות כמו הטרינסיסטור, המייזר והלייזר שינו את פני הטכנולוגיה מחד וגם קידמו את המחקר הטהור, לדוגמה, את מחקר תכונות החומר בטמפרטורות נמוכות מאד. במקביל התפתחו האסטרונומיקה והקוסמולוגיה שהתבססו במידה רבה על תורת היחסות הכללית מחד ועל פיתוח הרדיוטלסקופ וטלסקופ החלל הבל (Hubble) מאידך.

אנו מביאים כאן רשימה של הזוכים בפרס ותרגום דברי ועדות הפרס. במקרים שבהם לשון הנמקת הפרס אינה ברורה די צורכה, או קצרה מדי לטעמנו, הוספנו הערות משלנו, שכוונתן להאיר ולהבהיר את דברי הנמקה של ועדות הפרס. בסוף הרשימה מובאים המקורות עליהם הסתמכנו, וכן רשימת מאמרים הקשורים לנושא שהופיעו בחוברות "תהודה" בכרכים 15-20.

הפרסים

1901 - פרס נובל הראשון ניתן לוילהלם קונרד רנטגן (Wilhelm Conrad Röntgen, 1845 – 1923) על גילוי קרני X ב-1895. רנטגן הדגים את פעולתן על ידי צילום של יד אשתו, ובמשך זמן קצר מאוד לאחר גילוים החלו להשתמש בקרני X למטרות רפואיות.

1902 - הפרס ניתן במשותף להנדריק אנטון לורנץ (Hendrik Antoon Lorentz, 1853 – 1928) ולפיטר זימן (Pieter Zeeman, 1865 – 1943).

על מחקריהם על השפעת שדה מגנטי על קרינה אלקטרומגנטית. זימן גילה את הפיצול של קו נתון בשלהבת בהשפעת שדה מגנטי חיצוני חזק (אפקט זימן הנורמלי). לורנץ נתן הסבר לאפקט זימן. לורנץ ידוע בעבודתו התיאורטית החשובה-הוא ראה שמשוואות מקסוול אינן אינווריאנטיות ביחס למהירות תחת טרנספורמצית גלילי, והראה שהמשוואות נשארות אינווריאנטיות אם לוקחים בחשבון גם את קואורדינטת הזמן. טרנספורמציה זו ידועה בשם **טרנספורמצית לורנץ**.

1903 - הפרס ניתן במשותף ל:

אנטואן הנרי בקרל (Antoine Henri Becquerel, 1852 – 1908) על גילוי קרינה רדיואקטיבית ספונטנית. ולמרי ולפייר קירי (Marie Curie, 1867 – 1934), (Pierre Curie, 1859 – 1906) על מחקריהם של תופעת הרדיואקטיביות שנתגלתה על ידי בקרל.

מרי קירי קיבלה פרס נובל נוסף בכימיה ב-1911, על תרומתה לקידום הכימיה, על בידוד הרדיום, גילוי הפולוניום וחקר תכונותיהם.

- 1904** - הפרס הוענק לג'ון וויליאם סטרט, לורד ריילי (John William Strutt, Third Baron Rayleigh, 1842 – 1919), על גילוי הגז האציל ארגון, תוך כדי חקירת צפיפויות גזים באטמוספירה. באותה שנה ניתן הפרס בכימיה לסר וויליאם רמזי (Sir William Ramsay, 1852 – 1916) על גילוי הגזים האצילים באוויר, אותם חיפשו כיסודות חסרים בהתאם למערכת המחזורית. ב-1868 זוהה לראשונה קו צהוב יחיד בספקטרום של השמש שהעיד על קיום יסוד, שהיה אז בלתי ידוע, שנקרא הליום (יסוד השמש). רמזי גילה יסוד זה ב-1895 באטמוספירה של כדור הארץ.
- 1905** - פיליפ אדוארד אנטון לנארד (Philipp Eduard Anton Lenard, 1862 – 1947) זכה בפרס על עבודתו בקרני קתודה.
- 1906** - ג'וזף ג'ון תומסון (Joseph John Thomson, 1856 – 1940) זכה בפרס על מחקריו התיאורטיים והנסיוניים של הולכת חשמל בגזים. ב-1897 הוא אישר את האופי החלקיקי של קרני קתודה ומדד את המהירות והיחס e/m של החלקיקים, הסיט אותם בשדה מגנטי ובשדה חשמלי והוכיח כי הם טעונים במטען שלילי. מתוך חקירת החלקיקים הנפלטים באפקט פוטואלקטרי שגם להם אותו יחס של e/m כמו לחלקיקים של קרני קתודה, הגיע למסקנה שחלקיקים אלה נמצאים בכל חומר. תומסון נחשב למגלה האלקטרון.
- 1907** - אלברט אברהם מייקלסון (Albert Abraham Michelson 1852 – 1931) קיבל את הפרס עבור המכשירים האופטיים שלו בעלי הדיוק הרב ומחקרים בספקטרוסקופיה והמטרולוגיה (תורת המדידות) שביצע בעזרתם. ידוע הניסוי המפורסם שביצע ב-1887 בעזרת אינטרפרומטר במגמה למדוד את מהירות הסחיפה של האתר. אינשטיין אמר על מייקלסון: הוא האיש שלימד את העולם למדוד.
- 1908** - ג'ורג' ליפמן (George Lippman, 1845 – 1921), קיבל את הפרס על שיטתו בצילום צבע המבוססת על תופעת ההתאבכות. ב-1908 הוכתר ארנסט רתרפורד (Ernst Rutherford, 1871 – 1937) בפרס נובל בכימיה! עבור עבודתו על התפרקות יסודות והכימיה של חומרים רדיואקטיביים. ב-1909 התחיל רתרפורד בסידרת ניסויים שהובילו לפרסום, ב-1911, של מבנה האטום (מודל האטום הגרעיני) שהיה מבוסס על פיזור חלקיקי- α בעלה זהב שביצעו תלמידיו מרסדן וגייגר.
- 1909** - הפרס התחלק בין ג'וליאלמו מרקוני (Guglielmo Marconi, 1874 – 1937) וקרל פרדיננד בראון (Carl Ferdinand Braun 1850 – 1918) על תרומתם בפיתוח הטלגרפיה האלחוטית.
- 1910** - הוענק הפרס ליוהנס דיזריק ון דר ואלס (Johannes Diderik Van der Waals, 1837 – 1923) על עבודתו על משוואת המצב של גזים ונוזלים.
- 1911** - זכה בפרס וילהלם וין (Wilhelm Wien, 1864 – 1928) על תגליותיו העוסקות בחוקים של קרינת חום. חוק ההעתקה של וין מ-1893: $\lambda_{\max} T = \text{const}$ קושר בין אורך הגל בעל העוצמה המקסימלית והטמפרטורה. אורך הגל שעבורו העוצמה היא מקסימלית מוסט בכיוון אורכי גל קצרים יותר ככל שהטמפרטורה גבוהה יותר.
- 1912** - נילס גוסטב דאלן (Nils Gustaf Dalén, 1869 – 1907) מקבל פרס נובל לפיזיקה על המצאת וסתים אוטומטיים הפועלים יחד עם מצברי גז להארת מגדלורים ומצופים.

1913 - חתן הפרס הוא הייקה קמרלינג-אונס (Heike Kamerlingh – Onnes, 1853 – 1926).

הפרס ניתן לו על מחקריו של תכונות חומרים בטמפרטורות נמוכות מאוד שהובילו בין השאר להפקת הליום נוזלי.

הוא הניל הליום לראשונה ב-1908, ובמעבדתו התגלתה ב-1911 תופעת העל-מוליכות בטמפרטורה נמוכה כאשר חקר את ההתנגדות החשמלית של מתכות. כן גילה את הפאזה העל-נוזלית של הליום (הליום נוזלי II).

1914 - מקס פון לאוה (Max von Laue 1879 – 1960). קיבל את הפרס על גילוי עקיפה של קרני X בגבישים.

הוא הניח שקרני X הם קרינה אלקטרומגנטית. אי לכך מעבר קרני X בגביש צריך לתת דגם עקיפה בדומה לזה שנוצר כשאור פוגע בסריג, כי הגביש משמש כסריג תלת מימדי שהמרחקים בו נקבעים על ידי המרחקים בין האטומים. הניסוי בוצע ב-1912 במעבדתו של רנטגן.

1915 - הפרס ניתן במשותף לאב ובנו סר ויליאם הנרי ברג (Sir William Henry Bragg 1862 – 1942) וסר ויליאם לורנץ ברג

(Sir William Lawrence Bragg, 1890 – 1971) עבור תרומתם בחקר המבנה הגבישי בעזרת קרני X.

ב-1915 השתמשו בגביש כסריג לשם בניית ספקטרוגרף לקרני X וחקרו את הספקטרה שלהם. מאידך השתמשו באורך גל ידוע כדי למדוד את המרחקים בין מישורי הגביש.

הג'י. מוסלי (Henry Gwyn Jeffreys Moseley, 1887-1915) נהרג במלחמת העולם הראשונה בהיותו בן 27. הוא גילה על ידי שימוש בקרני X את המספר האטומי, המספר השלם המראה את המטען החשמלי של הגרעין, ביחידות מטען פרוטוני, ועל ידי כך האיר את המושג של יסוד כימי. אם מתארים את המספר האטומי של יסוד כפונקציה של השורש הריבועי של תדירות קרני ה-X האופייניים ליסוד - מתקבל קו ישר. בעזרת הישר ניתן היה למנות את מספרן של העפרות הנדירות ולחפש יסודות חסרים. העבודה של מוסלי התבססה על מודל האטום של רתרפורד ובור.

1917 - הפרס ניתן לצ'רלס גלבר ברקלה (Charles Glover Barkla, 1877 – 1944) על גילוי קרינת ה-X המשנית האופיינית ליסודות.

1918 - פרס זה הוענק ב-1919 למקס פלנק (Max Planck, 1858 – 1948) על תרומתו להתפתחות הפיזיקה על ידי התגלית של קוואנט האנרגיה.

ב-1900 ניסח פלנק את משוואת הקרינה של גוף שחור, בה הכניס את מושג הקוואנט: הקשר בין אנרגיית קרינה ϵ ותדירותה ν באמצעות הקבוע h : $\epsilon = h\nu$.

1919 - הפרס ניתן ליוהנס שטרק (Johannes Stark, 1874 – 1957) על גילוי אפקט דופלר בקרני תעלה ופיצול הקווים הספקטראליים בשדה חשמלי חיצוני.

1920 - שרל אדוארד גיום (Charles Eduard Guillaume, 1861 – 1920) קיבל את הפרס על תרומתו למדידות מדויקות מאוד של אנומליות בנתכים של פלדה וניקל וחשיבותם בפיזיקה למדידות בדיוק גבוה במיוחד.

המחקרים שלו בעלי חשיבות שימושית ממדרגה ראשונה לקבלת חומרים בעלי מקדמי התפשטות בחום נמוכים, והשומרים על אלסטיות קבועה. חשיבותם בעיקר לבניית שעונים או מכשירי מדידה גיאודטיים, המטר הסטנדרטי ועוד.

1921 - הפרס הוענק לאלברט אינשטיין (Albert Einstein, 1879 – 1955), גדול הפיזיקאים של המאה, על הישגיו בפיזיקה תיאורטית ובמיוחד על גילוי החוק של האפקט הפוטואלקטרי.

ב-1905 פירסם אינשטיין מאמרים בשלושה נושאים:

1. הסבר האפקט הפוטואלקטרי בהסתמך על קוואנט האנרגיה של פלנק $\epsilon = h\nu$.

2. ניסוח המשוואה של התנועה הבראונית וההוכחה שבעזרתה ניתן לקבוע את הגודל של מולקולות.

3. תורת היחסות הפרטית.

ב-1916 פירסם אינשטיין את תורת היחסות הכללית אשר חוק הגרביטציה של ניוטון הוא מקרה פרטי ממנה. בליקוי החמה ב-1919 התאמתה אחת המסקנות הנובעות מתורת היחסות הכללית, והיא, שקרן אור העוברת בקירבת גרם שמימי בעל מסה גדולה (במקרה הנדון - השמש) תוסט ממסלולה. ב-1979 זוהתה העדשה הגרביטציונית הראשונה המהווה אישוש נוסף לתורת היחסות הכללית.

אינשטיין תרם גם לבעייות פחות אזוטוריות כגון: קיבול חום סגולי של מוצקים, תורת הגזים, חוקי קרינה כמו פליטה מאולצת, זמן חיים של מצבים מעוררים, ותגובות פוטוכימיות.

1922 - הפרס הוענק לנילס בור (Niels Hendrik David Bohr, 1885 – 1962) על תרומתו בחקר מבנה האטומים והקרינה הנפלטת מהם.

שני עקרונות ידועים בשמו: עקרון ההתאמה ועקרון ההשלמה. עקרון ההתאמה (correspondence principle) אומר שתורת הקוואנטים עוברת בגבול של ממדים גדולים לתורה הקלאסית כך שזו נשארת נכונה עבור עצמים בעלי ממדים מוגדרים היטב; גם תורת היחסות הפרטית עוברת בגבול של מהירויות קטנות יחסית למהירות האור למכניקה הקלאסית של ניוטון, ואפשר להמשיך ולהשתמש בה עבור גופים הנעים במהירויות אלה.

עקרון ההשלמה (complementarity principle) אומר שהמודל הגלי **משלים** את המודל החלקיקי; המציאות אינה נתפסת על ידי מודל יחיד.

זומרפלד (Arnold Johannes Wilhelm Sommerfeld, 1868–1951) החיל במחקריו את תורת היחסות על האטום של בור.

1923 - הפרס הוענק לרוברט אנדרוס מיליקן (Robert Andrews Millikan, 1868 – 1953) על עבודתו על המטען החשמלי האלמנטרי ועל האפקט הפוטואלקטרי.

מיליקן הוא זה אשר מדד לראשונה, בניסוי טיפת השמן הידוע, את המטען היסודי. הוא גם ביצע את הניסוי של האפקט הפוטואלקטרי, באמצעותו מדד בדיוק רב את הקבוע של פלנק h .

1924 - הפרס הוענק לקרל מאנה זיגבאן (Karl Manne Georg Siegbahn, 1886 – 1978) על תגליותיו ומחקרו בספקטרוסקופיה של קרני-X.

זיגבאן בנה ספקטרומטר בו מדד את אורכי הגל של קרני-X בדיוק של חלק אחד ב-100000. הוא גם הצליח להראות את השבירה של קרני-X במנסרה, אפקט אשר חיפשו אותו מזמנו של רנטגן. דבר זה אישר את ההשערה שקרני-X הן קרינה אלקטרומגנטית בעלת אורך גל קצר.

1925 - הפרס ניתן על תגלית החוקים השולטים בהתנגשות אי-אלסטית של אלקטרון באטום. הפרס התחלק בין ג'ימס פרנק (James Franck, 1882 – 1964) וגוסטב לודביג הרץ (Gustav Ludwig Hertz, 1887 – 1975).

ניסוי פרנק-הרץ הוא הניסוי הישיר הראשון המראה בעליל את הקוואנטיזציה שבמעברי אנרגיה באטום והקשר עם תדירות הקרינה הנפלטת.

1926 - ז'אן בטיסט פרן (Jean Baptiste Perrin, 1870 – 1942) זכה בפרס על עבודתו על אי הרציפות במבנה החומר ועל גילוייו של שיווי המשקל של שקיעת חלקיקים בתרחיף.

פרן ידוע בעיקר בשל חקירת התנועה הבראונית - הוא מנה חלקיקים זעירים של שרף בתרחיף במים בתלות בגובהם וקושר את ממצאיו עם התורה הקינטית, ומזהה הסיק את מספר אבוגדרו וכן הראה שניתן לאמוד את גודלם של אטומים ומולקולות ובכך הפכו אלה לדבר ממשי.

1927 - ארתור הולי קומפטון (Arthur Holly Compton, 1892 – 1962) **קיבל את הפרס על גילוי האפקט הנקרא על שמו אפקט קומפטון. הפרס הוענק גם לצ'ארלס וילסון (Charles Thomson Rees Wilson, 1869–1959) על גילוי שיטה המאפשרת לעקוב אחרי המסלולים של חלקיקים הטעונים חשמלית על ידי עיבוי אדים (תא הערפל של וילסון).**

1928 - סר אוון וילאנס ריצ'רדסון (Sir Owen Willans Richardson, 1879 – 1959). **קיבל את הפרס ב-1929 על עבודתו על תופעות תרמויוניות ובעיקר על גילוי החוק הנקרא על שמו.**
חוק ריצ'רדסון מבטא את תלות זרם הרוויה בשפופרת ריק בטמפרטורה של חוט הלהט הפולט אלקטרונים.

1929 - לואי ויקטור פייר רימונד הנסיך דה ברוי, (Louis – Victor Pierre Raymond, Prince de Broglie, 1892 – 1989) **זכה בפרס על גילוי האופי הגלי של האלקטרונים.**

1930 - סר צ'אנדראסקרה וונקטה ראמן (Sir Chandrasekhara Venkata Raman, 1888 – 1970) **זכה בפרס על עבודתו על פיזור האור וגילוי אפקט ראמן.**

כשאור מונוכרומטי נשלח דרך חומר שקוף, חלקו מתפזר. הספקטרום של האור המפוזר מכיל, בנוסף לאורך הגל המקורי, קווים חלשים יותר הנבדלים ממנו בשעורים קבועים. קווים אלה - קווי ראמן, הם תוצאה של הפסד או רווח באנרגיה של הפוטונים תודות לאינטראקציה שלהם עם הוויברציה של מולקולות החומר.

1932 - וורנר קרל הייזנברג (Werner Karl Heisenberg, 1901 – 1976) **זכה בפרס על הנחת היסודות של מכניקת הקוואנטים שיישומה הוביל בין השאר לגילוי הצורות האלוטרופיות של מימן.**

1933 - פול אדריאן מוריס זיראק (Paul Adrien Maurice Dirac, 1902 – 1984) **היה שותף לפרס עם ארווין שרדינגר (Erwin Schrödinger 1887 – 1961) על גילוי צורות חדשות ופוריות של התורה האטומית.**

1935 - סר ג'ימס צ'דוויק (Sir James Chadwick, 1891 – 1974) **קיבל את הפרס על גילוי הניוטון.**

1936 - הפרס התחלק שווה בשווה בין ויקטור פרנץ הס (Victor Franz Hess, 1883 – 1964) **וקרל דיויד אנדרסון (Carl David Anderson 1905 – 1991).**
הס קיבל את הפרס על גילוי הקרינה הקוסמית ואנדרסון על גילוי הפוזיטרון.

1937 - הפרס חולק במשותף לקלינטון יוסף דיוויסון (Clinton Joseph Davisson, 1881 – 1958) ולסר ג'ורג' פייג'ט תומסון (Sir George Paget Thomson, 1892 – 1975) **על הגילוי הניסיוני של עקיפת אלקטרונים בגבישים.**

1938 - אנריקו פרמי (Enrico Fermi, 1901 – 1954) **זכה בפרס על גילוי יסודות רדיואקטיביים חדשים שנוצרו על ידי הקרנת נייטרונים ועל גילוי תגובות גרעיניות הנגרמות על ידי נייטרונים איטיים.**
קבוצת המחקר של פרמי באוניברסיטת שיקגו השיגה את תגובת השרשרת המבוקרת הראשונה על ידי שימוש בגרפיט, ששימש כמאט הנייטרונים שנוצרו בביקוע, בכור שבנתה.

1939 - ארנסט אורלנדו לורנס (Ernest Orlando Lawrence, 1901 – 1958) **קיבל את הפרס על ההמצאה והפיתוח של הציקלוטרון ועל התוצאות שקיבל בעזרתו, במיוחד בהקשר ליסודות רדיואקטיביים מלאכותיים.**

- 1943** - אוטו שטרן (Otto Stern, 1888 – 1969) קיבל את הפרס על תרומותיו לפיתוח שיטת הקרן המולקולרית ועל גילוי המומנט המגנטי של הפרוטון.
- 1944** - איזידור איזק ראבי (Isidor Isaac Rabi, 1898 – 1988) קיבל את הפרס על שיטת התהודה לרישום התכונות המגנטיות של גרעיני האטומים.
ניסויים בתהודה מגנטית גרעינית הובילו למחקרים חשובים נוספים ולישומים ברפואה ובתעשייה.
ב-1944 זכה אוטו האן (Otto Hahn, 1879 – 1968) בפרס נובל בכימיה על גילוי הביקוע של גרעינים כבדים.
- 1945** - וולפגנג פאולי (Wolfgang Pauli, 1900 – 1958) זכה בפרס על גילוי חוק האיסור (exclusion principle), הנקרא גם עקרון פאולי.
- 1946** - פרסי ויליאם ברידג'מן (Percy Williams Bridgman, 1882 – 1961) זכה בפרס על המצאת מיתקן לשם קבלת לחצים גבוהים מאוד והגילויים שעשה באמצעותו בתחום הלחצים הגבוהים.
- 1947** - סר אדוארד ויקטור אפלטון (Sir Edward Victor Appleton, 1892 – 1965) קיבל את הפרס על עבודתו על התכונות הפיזיקליות של האטמוספירה העליונה ובמיוחד על השכבה הנקראת על שמו-שכבת אפלטון.
- 1948** - ברון פטריק מינרד סטיוארט בלקט (Baron Patrick Maynard Stuart Blackett, 1897 – 1974) קיבל את הפרס על שיפור השיטה של תא הערפל של וילסון והתגליות שהתאפשרו תודות לכך, בתחום הפיזיקה הגרעינית והקרנה הקוסמית.
- 1949** - הידקי יוקאוה (Hideki Yukawa, 1907 – 1981) קיבל את הפרס על הניבוי של קיום מזונים שהתבסס על עבודה תיאורטית הקשורה לכוחות גרעיניים.
- 1950** - ססיל פרנק פאוול (Cecil Frank Powell, 1903 – 1969) קיבל את הפרס על פיתוח שיטת הצילום לשם חקירת תהליכים גרעיניים ותגליותיו שבוצעו בעזרת שיטה זאת.
הוא השתמש בלוחות צילום, בהם נרשמו התהליכים הגרעיניים.
- 1951** - הפרס ניתן במשותף לסר ג'ון דגלס קוקרופט (Sir John Douglas Cockroft, 1897 – 1967) ולארנסט תומס סינטון וולטון (Ernest Thomas Sinton Walton, 1903 – 1995) על עבודתם החלוצית על טרנסמוטציה של גרעיני אטומים בעזרת חלקיקים שהואצו באופן מלאכותי.
- 1952** - פליקס בלוך (Felix Bloch, 1905 – 1983) ואדוארד מילס פרסל (Edward Mills Purcell 1912 – 1997) חלקו את הפרס על פיתוח שיטות חדשות למדידה מדוייקת של מגנטיות גרעינית ועל התגליות שעשו בעזרת שיטות אלה.
- 1953** - פריץ זרניקה (Frits Frederik Zernike, 1888 – 1966) קיבל את הפרס על הדגמת שיטת קונטרסט הפאזה, במיוחד על המצאת מיקרוסקופ "קונטרסט הפאזה".
זרניקה הוכיח שאפשר להפוך תופעות הנובעות משינויים בפאזה של האור בדמות המתקבלת במיקרוסקופ, שהעין אינה רגישה להם, לשינויים אקווילנטיים באמפליטודה, שנראים לעין.

1954 - מקס בורן (Max Born, 1882 – 1970) **קיבל את הפרס על עבודתו שהניחה את היסוד למכניקת הקוונטים ובמיוחד על הפירוש הסטטיסטי של פונקציית הגל.**

יחד איתו קיבל את הפרס וולטר ווילהלם גיאורג בותה (Walther Wilhelm Georg Bothe, 1891 – 1957) **על שיטת ההתלכדות (coincidence) ועל התגליות שעשה בעזרתה.**

בותה השתמש בשיטת ההתלכדות והראה שבכל מקרה של התנגשות קומפטון בין פוטון ואלקטרון מתקיימים חוקי השימור של האנרגיה והתנע. שיטה זאת שימשה רבות בחקר הקרינה הקוסמית לרישום ארועים המתרחשים בו-זמנית.

1955 - ויליס יוג'ין למב (Willis Eugene Lamb Jr., 1953 –) – **קיבל את הפרס על התגליות המתייחסות למבנה הדק של ספקטרום המימן.**

פוליקרפ קוש (Polykarp Kusch, 1911) **זכה גם הוא בפרס באותה שנה עבור מדידתו המדויקת מאוד של המומנט המגנטי של האלקטרון.**

1956 - ג'ון ברדין (John Bardeen, 1908 – 1991) וולטר האוזר בראטן (Walter Houser Brattain, 1902 – 1987) וויליאם שוקלי (William Shockley, 1910 – 1989) **הם שלושת חתני הפרס עבור מחקריהם במוליכים למחצה והתגלית של אפקט הטרנסיסטור.**

1957 - צ'ן נין יאנג (Chen Ning Yang, 1922 –) וטסונג דאו לי (Tsung Dao Lee, 1926 –) **זכו שניהם על מחקרם המעמיק של חוקי הזוגיות (parity) שהוליד לתגליות חשובות בתחום החלקיקים האלמנטריים.**

1958 - פאבל אלכסייביץ' צ'רנקוב (Pavel Alekseyevich Cherenkov, 1904 –) איליה מיכאילוביץ' פרנק (Ilya Mikhailovich Frank, 1908 – 1990) איגור יבגנייביץ' תם (Igor Evgenievich Tamm, 1895 – 1971) **קיבלו שלושתם את הפרס על הגילוי וההסבר של אפקט צ'רנקוב.**

כאשר חלקיק טעון נע בתווך במהירות העולה על מהירות האור באותו תווך, נפלטת קרינה בעלת תכונות מיוחדות. תופעה זו, הידועה בשם **אפקט צ'רנקוב**, שימשה לבניית גלאי חלקיקים בעלי מהירות מסויימת ומעלה.

1959 - אוון צ'מברליין (Owen Chamberlain 1920 –) ואמיליו ג'ינו סגרה (Emilio Gino Segrè, 1905 – 1989) **קיבלו יחד את הפרס על גילוי האנטיפרוטון.**

1960 - דונלד ארתור גלייזר (Donald Arthur Glaser, 1926 –) **קיבל את הפרס על המצאת תא הבועות.** בתא הבועות החומר (נוזל המחומם חימום יתר) בעל צפיפות גבוהה יותר מאשר בתא הערפל, והוא בעל נפח גדול יותר מלוחות הצילום של Powell, ובכך יתרונו על פני תא הערפל ועל לוח הצילום.

1961 - רוברט הופשטטר (Robert Hofstadter, 1915 – 1990) **קיבל את הפרס על מחקרו החלוצי בפיזור אלקטרונים על ידי גרעיני אטומים ועל התגליות שעשה בדרך זו הנוגעות למבנה הגרעין.** יחד איתו קיבל את הפרס רודולף לודביג מוסבאואר (Rudolf Ludwig Mössbauer, 1929 –) **על מחקרו של הבליעה בתהודה של קרני- γ חלוצי האפקט הנקרא על שמו.**

1962 - לב דוידוביץ' לנדאו (Lev Davidovich Landau, 1908 – 1968) **קיבל את הפרס על עבודתו החלוצית בפיתוח תיאוריות של המצב המעובה, במיוחד של הליום נוזלי.**

1963 - יוג'ין פול ויגנר (Eugene Paul Wigner, 1902 – 1995) קיבל את מחצית הפרס על תרומותיו לתיאוריה של החלקיקים האלמנטריים של גרעינים אטומיים, במיוחד על הגילוי והיישום של העקרונות היסודיים של הסימטריה. מריה גופרט-מאיר (Maria Goeppert – Mayer, 1906 – 1972) וי. הנס ד. ינסן (J. Hans D. Jensen, 1907 – 1973) חלקו את המחצית השניה של הפרס באותה שנה על תגליותיהם המתמייחסות למודל הקליפה של הגרעין.

1964 - צ'ארלס ה. טאונס (Charles Hard Townes, 1915 –) קיבל את הפרס על עבודותיו הבסיסיות בתחום האלקטרוניקה הקוואנטית, שהובילה לבניית אוסילטורים ומגברים המושתתים על עקרון המייזר-לייזר. שני שותפים שחלקו את מחציתו השניה של הפרס עם טאונס הם: ניקולאי גנדייביץ' בסוב (Nikolai Gennadievich Basov, 1922 –) ואלכסנדר מיכאילוביץ' פרוכורוב (Alexander Michailovich Prokhorov, 1916 –) על עבודתם באלקטרוניקה קוואנטית שהובילה לבנייה של מייזרים ולייזרים.

1965 - ריצ'רד פיליפס פיינמן (Richard Phillips Feynmann, 1918 – 1988) ווליאן סימור שוינגר (Julian Seymour Schwinger, 1918 – 1994) וסיין-איטירו טומונאגה (Sin – itiro Tomonaga 1906 – 1979) חילקו שלושתם את הפרס על עבודתם היסודית בתחום אלקטרודינמיקת הקוואנטים (QED), שטומנת בקירבה מסקנות מעמיקות הנוגעות לפיזיקה של החלקיקים האלמנטריים.

1966 - אלפרד קסטלר (Alfred Kastler, 1902 – 1984) קיבל את הפרס על גילוי ופיתוח של שיטות אופטיות לחקר תהודות הרציאניות באטומים. אם מקרינים אטום בעזרת אור נראה מקוטב באורך גל מתאים, מקבלים רמות מעוררות, אבל לא כל התת-רמות המעוררות מאוכלסות במידה שווה. הקרנת רמות אלה בגלי רדיו (גלים "הרציאניים") גורמת למעברים בין תת-רמות מאוכלסות לבלתי מאוכלסות.

1967 - הנס אלברכט בתה (Hans Albrecht Bethe, 1906 –) קיבל את הפרס על תרומותיו לתיאוריה של תגובות גרעיניות ובעיקר עבור גילויי הנוגעים ליצירת אנרגיה בכוכבים.

1968 - לואי וולטר אלואארז (Louis Walter Alvarez, 1911 – 1988) זכה בפרס על תרומותיו המכריעות לפיזיקת החלקיקים האלמנטריים, במיוחד בגילוי מספר רב של מצבים רזוננטיים, שנתאפשר הודות לפיתוח הטכניקה של תא בועות מימן וניתוח נתונים.

1969 - מארי גל-מן (Murray Gell – Mann, 1929 –) זכה בפרס על תרומותיו וגילויי הנוגעים למיון החלקיקים האלמנטריים והאינטראקציות שלהם.

1970 - האנס אולוף גוסטא אלפון (Hannes Olof Gösta Alfvén, 1908 – 1995) זכה בפרס על עבודתו הבסיסית ועל גילויי במגנטו-הידרודינמיקה ויישומם הפורה בתחומים שונים של פיזיקת הפלאזמה. שותף לפרס הוא לואי יוג'ין פליקס נֶאָל (Louis Eugène Felix Néel, 1904 –) על מחקריו הבסיסיים וגילויי בתחום האנטי־פרומגנטיות ופְּרִימֶגְנֶטִיּוֹת, להם יישומים חשובים בפיזיקת המצב המוצק.

1971 - דניס גאבור (Dennis Gabor, 1900 – 1979) קיבל את הפרס על ההמצאה והפיתוח של ההולוגרפיה.

- 1972** - ליאון נ. קופר (Leon N. Cooper, 1930 –) , ג'ון ברדין (John Bardeen, 1908 – 1991), וג'ון רוברט שריפר (John Robert Schrieffer, 1931 –) זכו שלושתם בפרס עבור התיאוריה של על-מוליכות (superconductivity), הנקראת בדרך כלל על שםם תיאוריית BCS.
- 1973** - ליאון אסאקי (Leon Esaki, 1925 –) ואיוור גיאווור (Ivar Giaever, 1929 –) חלקו ביניהם את מחצית הפרס על גילוי תופעת המינהור (tunnelling) בעל-מוליכים, המחצית השניה ניתנה לבריאן דויד ג'וזפזון (Brian David Josephson, 1940 –), על הניבויים התיאורטיים של תכונות זרמים בעל-מוליכים, דרך מחסום מנהרה, במיוחד אותן תופעות הידועות בדרך כלל כאפקטי ג'ופזון.
- 1974** - האסטרונומים אנתוני יואיש (Anthony Hewish, 1924 –) וסר מרטין רייל (Sir Martin Ryle, 1918 – 1984) זכו בפרס על מחקריהם החלוציים ברדיו-אסטרונומיה: יואיש על חלקו המכריע בגילוי פולסארים, ורייל על תצפיות והמצאותיו בטכניקה של הרכבת האפרטורה של הרדיו-טלסקופ מאלמנטי אנטנה קטנים.
- 1975** - אווה נילס בור (Åge Niels Bohr, 1922 –) זכה בפרס על גילוי הקשר בין תנועה קולקטיבית ותנועת חלקיקים בגרעין האטום ועל פיתוח התיאוריה של מבנה הגרעין המושתתת על קשר זה. הוא חילק את הפרס עם בן רוי מוטלסון (Ben Roy Mottelson, 1926 –) וליאו ג'יימס ריינווטר (Leo James Rainwater, 1917 – 1986) על עבודתם על המבנה הפנימי של גרעין האטום.
- 1976** - ברטון ריכטר (Burton Richter, 1931 –) וסמואל צ'או צ'ונג קינג (Samuel Chao Chung King, 1936 –) חילקו את הפרס על הגילוי, הבלתי תלוי, של טיפוס חדש של חלקיק אלמנטרי הידוע כ- ψ או J.
- 1977** - ג'ון הסברוק וואן פלק (John Hasbrouck van Vleck, 1899 – 1980) סר נוויל פראנסיס מוט (Sir Neville Francis Mott, 1905 –) ופיליפ וורן אנדרסון (Philip Warren Anderson, 1923 –) זכו שלושתם בפרס על מחקריהם הבסיסיים של המבנה האלקטרוני של מערכות מגנטיות ומערכות בלתי מסודרות.
- 1978** - פטר ליאונידוביץ' קאפיצה (Peter Leonidovich Kapitza, 1894 – 1984) קיבל את מחצית הפרס על המצאותיו הבסיסיות ותגליותיו בתחום הפיזיקה של טמפרטורות נמוכות. המחצית השניה של הפרס התחלקה בין ארנו א. פנזיאס (Arno A. Penzias, 1933 –) ורוברט וודרו וילסון (Robert Woodrow Wilson, 1936 –) על גילוי קרינת הרקע הקוסמית בתחום גלי המיקרו.
- 1979** - סטיבן ווינברג (Steven Weinberg, 1933 –), עבדוס סלאם (Abdus Salam, 1926 –) ושלדון לי גלאשו (Sheldon Lee Glashow, 1932 –), חלקו ביניהם את הפרס על התרומות לתיאוריה המאחדת את האינטראקציה החלשה והאלקטרו-מגנטית בין חלקיקים אלמנטריים כולל, בין היתר, את ניבוי הזרם הנייטרלי החלש.
- 1980** - הפרס חולק שווה בשווה בין ג'יימס ו. קרונין (James W. Cronin, 1931 –) וואל ל. פיטש (Val L. Fitch, 1923 –) על גילוי הפרות של עקרונות הסימטריה היסודיים בהתפרקות מזוני-K נייטרואלים.
- 1981** - המחצית האחת של הפרס ניתנה לניקולס בלומברגן (Nicolaas Bloembergen, 1920 –) וארתור ל. שולו (Arthur L. Schawlow, 1921 – 1999) על תרומתם לפיתוח ספקטרוסקופיית הלייזר, והמחצית השניה ניתנה לקאי מ. זיגבאן (Kai M. Siegbahn, 1918 –) על תרומתו לפיתוח ספקטרוסקופיית אלקטרוני בכושר הפרדה גבוה.

1982 - קנת ג'. וילסון (Kenneth G. Wilson, 1936 –) זכה בפרס עבור התיאוריה של תופעות קריטיות בהקשר למעברי פאזה.

1983 - הפרס חולק שווה בשווה בין סובראמניאן צ'אנדראסיקאר (Subramanyan Chandrasekhar, 1910 – 1995) על מחקריו התיאורטיים של התהליכים הפיזיקליים החשובים למבנה ולאבולוציה של הכוכבים ובין וויליאם אלפרד פאולר (William Alfred Fowler, 1911 – 1995) על מחקריו התיאורטיים והנסיוניים של תגובות גרעיניות החשובות בייצירת היסודות הכימיים ביקום.

1984 - בפרס זכו במשותף קרלו רובייה (Carlo Rubbia, 1934 –) וסימון ואן דר מר (Simon van der Meer, 1925 –) על תרומותיהם המכריעות לפרוייקט הגדול שהביא לגילוי החלקיקים W ו-Z, נושאי האינטראקציה החלשה.

1985 - הפרס הוענק לקלאוס פון קליצינג (Klaus von Klitzing, 1943 –) על גילוי אפקט Hall הקוואנטי. פון קליצינג חקר את אפקט הול בטמפרטורות נמוכות מאוד, בסביבת האפס המוחלט ועבור שדות מגנטיים חזקים מאוד: $2T - 6T$. המתחים שקיבל לא השתנו ברציפות, אלא בקפיצות, כאשר ערך כל מתח ניתן לביטוי על ידי מכפלת מספר שלם בביטוי התלוי רק במטען האלקטרון ובקבוע h של פלנק.

1986 - מחצית הפרס ניתנה לארנסט רוסקא (Ernst Ruska, 1906 – 1988) על עבודתו המעמיקה באופטיקת אלקטרונים, ועל תכנון המיקרוסקופ האלקטרוני הראשון. המחצית השנייה הוענקה לגרד ביניג (Gerd Binnig, 1947 –) ולהיינריך רוהר (Heinrich Rohrer, 1933 –) על תכנון מיקרוסקופ המינהור הסורק (Scanning Tunneling Microscope).

1987 - הפרס ניתן במשותף לי. גיאורג בדנורץ (J. Georg Bednorz, 1950 –) ולק. אלכסנדר מולר (K. Alexander Müller, 1927 –) על פריצת הדרך החשובה בגילוי על-מוליכות בחומרים קרמיים. הטמפרטורה המוחלטת בה הופיעה העל-מוליכות בחומרים אלה הייתה גבוהה בכ- 50% מהטמפרטורות בהן הפכו הנתכים הרגילים לעל-מוליכים (High T_c Superconductivity).

1988 - הפרס ניתן במשותף לליאון לדרמן (Leon Lederman, 1922 –), למלווין שווארץ (Melvin Schwartz, 1932 –) ולג'ק סטיינברגר (Jack Steinberger, 1921 –) על השיטה של קרן נויטרונים ועל ההוכחה הניסיונית של המבנה הזוגי של הלפטונים על ידי גילוי המיו-נויטרינו (ν_μ).

שלושת זוכי הפרס גילו שקיימים שני סוגים של נייטרינו: האחד שהיה ידוע עוד משנות ה-30 המוקדמות, כאשר Pauli ניבא את קיומו, והוא בן זוגו של האלקטרון. נויטרינו זה יכול, בתגובה גרעינית, להפוך לאלקטרון. הנויטרינו שגילו שווארץ, סטיינברגר ולדרמן הוא בן זוגו של המיואון. שני החלקיקים, האלקטרון והמיואון, שייכים למשפחת הלפטונים, כלומר החלקיקים הקלים. שני הזוגות הן שתי משפחות נפרדות של לפטונים, שמעולם אינן מתערבות זו בזו.

1989 - מחצית הפרס בשנה זו הוענקה לנורמן פ. ראמזי (Norman F. Ramsey, 1915 –) על המצאת השיטה של שני שדות מתנדדים ושימושה במיזר המימן ובשעונים אטומיים אחרים.

מחצית הפרס השנייה הוענקה במשותף להנס ג. דמלט (Hans G. Dehmelt, 1922 –) ולוולפגנג פאול (Wolfgang Paul, 1913 – 1993) על הפיתוח של טכניקת מלכודת היונים (ion trap technique). בשיטת Rabi (פרס נובל 1944) קרן אטומים עוברת בשדה אלקטרומגנטי מתנדד. אם תדירות התנודות מתאימה, יכולים להתרחש מעברים בין רמות האטומים של הקרן. ראמזי שיכלל את השיטה על ידי שימוש בשני שדות מתנדדים שונים. דבר זה

הגדיל את דיוק השיטה, ואיפשר את הפיתוח של ספקטרוסקופיה בעלת דיוק רב. אחד היישומים החשובים של שיטת ראמזי הוא שעון הצזיום, שעליו מבוססת הגדרת הזמן מאז 1967.

מלכודת היונים שפותחה על ידי דמלט ופאול מאפשרת את לכידתו של חלקיק בודד. דמלט ושותפיו הצליחו להחזיק במלכודת אלקטרון יחיד במשך חודשים, דבר שאיפשר למדוד את המומנט המגנטי שלו בדיוק של 12 ספרות.

1990 - בשנה זו הפרס הוענק לג'רום י. פרידמן (Jerome I. Friedman, 1930–), להנרי קנדל (Henry W. Kendall, 1926–) ולריצ'ארד אי. טיילור (Richard E. Taylor, 1929 –) על מחקריהם החלוציים בתחום הפיזור האי-אלסטי העמוק של אלקטרונים ונויטרונים קשורים, אשר היו בעלי חשיבות מכרעת בפיתוח מודל הקווארקים בפיזיקה של חלקיקים.

1991 - פייר-ג'יל דה ג'ן (Pierre – Gilles de Gennes, 1932 –) זכה בפרס על התגלית כי שיטות שפותחו ללימוד תופעות של סדר במערכות פשוטות ניתנות להכללה לצורות יותר מורכבות של חומר, במיוחד גבישים נוזליים ופולימרים.

1992 - ג'ורג' שארפק (Georges Charpak, 1924 –) זכה בפרס על ההמצאה והפיתוח של גלאי חלקיקים במיוחד על תא יוניזציה פרופורציוני מרובה תיילים. תא זה משמש כיום כמעט בכל ניסוי בחלקיקים אלמנטריים.

1993 - ראסל א. האלס (Russel A. Hulse, 1950 –) ויוסף ה. טיילור (Joseph H. Taylor Jr., 1941–) זכו בפרס במשותף על גילוי טיפוס חדש של פולסאר, גילוי שפתח אפשרויות חדשות לחקר הגראביטציה.

1994 - הפרס ניתן על תרומות חלוציות לפיתוח של טכניקות לפיזור נויטרונים לשם מחקר חומר מעובה. בפרס זכו ברטראם נ. ברוקהאוס (Bertram N. Brockhouse, 1918 –) על פיתוח ספקטרוסקופיית נויטרונים, וקליפורד ג'. שול (Clifford G. Shull, 1915 –) על פיתוח טכניקת עקיפה של נויטרונים. עד תום מלחמת העולם השנייה התמקד המחקר והשימוש בנויטרונים למטרה אחת בלבד: לייצור פצצת האטום הראשונה. עם תום המלחמה שימשו הנויטרונים שהופקו במאיצים לחקר מבנה המיקרו של חומר.

1995 - הפרס ניתן על תרומות ניסיונית חלוצית בתחום פיזיקת הלפטונים. מחציתו האחת ניתנה למרטין ל. פרל (Martin L. Perl, 1927 –) על גילוי הלפטון τ , ומחציתו השנייה ניתנה לפרדריק ריינס (Frederick Reines, 1918 –) על הגילוי הניסיוני של הנייטרינו.

1996 - הפרס ניתן במשותף לדיוויד מ. לי (David M. Lee, 1931 –), לדגלס ז. אושרוף (Douglas D. Osheroff, 1945 –) ולרוברט סי. ריצ'ארדסון (Robert C. Richardson, 1937 –) על גילוי העל-נזילות (superfluidity) של הליום-3.

1997 - בפרס זכו במשותף שלושת המדענים סטיבן צ'ו (Steven Chu, 1948 –), קלוד כהן-תנודג'י (Claude Cohen-Tannoudji, 1933 –) וויליאם ד. פיליפס (William D. Phillips, 1948 –) על פיתוח שיטות לקירור ולכידה של אטומים באמצעות קרני לייזר.

1998 - הפרס ניתן במשותף לרוברט ב. לאפלין (Robert B. Laughlin, 1950 –), להורסט ל. סטורמר (Horst L. Stormer, 1949–) ולדניאל סי. טסוי (Daniel C. Tsui, 1939 –) על הגילוי של צורה חדשה של זורם קוואנטי שבו נתגלו רמות מעוררות המתנהגות כבעלות מטען שהוא שבר של המטען היסודי. אלקטרונים הנמצאים באינטראקציה בתוך שדות מגנטיים חזקים יכולים ליצור סוגים חדשים של "חלקיקים", שמטעניהם הם מכפלות של המטען היסודי בשבר.

1999 - הפרס הוענק במשותף לגררדוס ט'הופט (Gerardus t Hooft, 1946 –) ולמרטינוס י.ג. וולטמן (Martinus J. G. Veltman, 1931 –) על הבהרת המבנה הקוואנטי של אינטראקציות חשמליות חלשות בפיזיקה.

מקורות

1. Nobel Prize in Physics Winners 1999 -1901,
<http://nobelprizes.com/nobel/physics/physics.html>
 2. Nobel Prize in Chemistry Winners 1999-1901,
<http://nobelprizes.com/nobel/chemistry/chemistry.html>
 3. Weber, R. L., Pioneers of Science, The Institute of Physics, Bristol and London, 1980.
 4. Nobel Lectures, Including Presentation Speeches and Laureates' Biographies, 1971-1980, S. Lundquist, editor, World Scientific Co. Pte. Ltd., Singapore, 1992.
 5. Nobel Lectures, Including Presentation Speeches and Laureates' Biographies, 1981-1990, G. Ekspong, editor, World Scientific Co. Pte. Ltd., Singapore, 1993.
 6. Nobel Lectures, Including Presentation Speeches and Laureates' Biographies, 1991-1995, G. Ekspong, editor, World Scientific Co. Pte. Ltd., Singapore, 1997.
 7. Trigg, G. L., Landmark Experiments in Twentieth Century Physics, Crane, Rossak & Co, Inc., New York, 1975.
 8. Segré, E., From X-Rays to Quarks, W. H. Freeman & Co., San Francisco, 1980
- קיים תרגום לעברית: מקרני רנטגן ועד קווארקים, הוצאת כתר, 1986.
9. נאמן, י., וקירש י., צידי החלקיקים, מסדה, 1983.

ספרות לקריאה נוספת:

1. הררי, ח., הנייטרינו החמקמק, תהודה (1)20, עמ' 5-12, מרץ 1999.
2. אהרני, ע., התנהגות חומרים מגנטיים, תהודה (2)20, עמ' 7-14, אוקטובר 1999.
3. בלק, מ., פיזיקה של טמפרטורות נמוכות, תהודה (2)19, עמ' 5-10, יולי 1998.
4. גלברזון, ו.י., הליום 4 והליום 3 - שני על-נוזלים, תהודה (1)19, עמ' 5-14, ינואר 1998.
5. אליצור, ש., מאה שנה לגילוי האלקטרון, תהודה (2)18, עמ' 5-12, מרץ 1997.
6. גלר, צ., אפקט Hall והשימוש בו למדידת שדות מגנטיים, תהודה (2)18, עמ' 13-23, מרץ 1997.
7. מרגונינסקי, י. מיקרוסקופ מינהור ומיקרוסקופ כוח אטומי, תהודה (1)18, עמ' 5-11, אוקטובר 1996.
8. קרופורד, ג.פ. ואונדריס-קרופורד, ר.י., תצוגות גבישים נוזליים - מולקולות בפעולה, תהודה (2)17, עמ' 5-10, אוקטובר 1995.
9. אליצור, ש., המודל התקני - מסגרת מאוחדת לכוחות הטבע, תהודה (2)16, יולי 1994.
10. הרפי, ע., עדשות גרביטציוניות, תהודה (1)16, עמ' 53-56, 1994.
11. הייבלום, מ., פיסיקה מזוסקופית, תהודה (3)15, עמ' 69-74, אוקטובר 1993.
12. אריאלי, ר., לייזרים ושימושיהם, תהודה (2)15, עמ' 58-61, יוני 1993.