Міністерство освіти і науки України

Ужгородський національний університет

Кафедра німецької філології

Реферат

прочитаної німецькою мовою

літератури з фаху (фізика напівпровідників і діелектриків)

на тему:

„КОМБІНАЦІЙНЕ І МАНДЕЛЬШТАМ-БРІЛЛЮЕНІВСЬКЕ РОЗСІЮВАННЯ СВІТЛА”

аспіранта

кафедри фізики напівпровідників,

фізичного факультету

БІЛАНИЧА РОСТИСЛАВА МИХАЙЛОВИЧА

Ужгород – 2009

## Зміст

[Вступ 3](#_Toc226841453)

[1. Комбінаційне розсіювання світла 4](#_Toc226841454)

[2. Квантово-механічний розгляд КРС 6](#_Toc226841455)

[3. Мандельштам-бріллюенівське розсіювання світла 9](#_Toc226841456)

[Resümee 13](#_Toc226841457)

[Cписок використаних німецькомовних джерел 15](#_Toc226841458)

[Cловник термінів 16](#_Toc226841459)

## Вступ

Метою даного реферату є огляд і аналіз основних німецькомовних джерел на тему комбінаційного і мандельштам-бріллюенівського розсіювання світла.

Розсіюванням світла називається явище, яке полягає в тому, що взаємодія середовища зі світловим пучком приводить до появи електромагнітного випромінювання того ж чи іншого спектрального складу в напрямках, що відрізняються від первинного. Воно обумовлене неоднорідністю середовища і взаємодією світла з частинками речовини, при якій міняються просторовий розподіл інтенсивності, частотний спектр і поляризація світла.

Розсіювання так як і дифракція світла залежить від розмірів неоднорідностей і довжини хвилі. Але дифракція зумовлена інтерференцією вторинних хвиль, які утворюються на неоднорідностях, а розсіювання – додаванням хвиль, які виникають при збудженні вимушених коливань електронів у неоднорідностях під дією світла.

Розрізняють два основних види таких неоднорідностей. Перший – дрібні частинки у прозорій речовині. Такі середовища є мутними. Це дим, тверді частинки в газі, туман (крапельки води в газі), емульсії. Явище розсіювання в мутних середовищах називається явищем Тіндаля. Другий – оптичні неоднорідності, які виникають у чистій речовині через статистичне відхилення молекул від рівномірного розподілу (флуктуації густини). Таке розсіювання називають молекулярним.

По розсіюванню світла вивчають будову молекул твердих і газоподібних тіл, рідин, досліджують пружні і фотопрожні константи середовища, перевіряють якість оптичних волокон і багато іншого [4].

## 1. Комбінаційне розсіювання світла

У 1918 р. Л.І. Мандельштам передбачив розщеплення лінії релеївського розсіювання внаслідок розсіювання світла на теплових акустичних хвилях. Починаючи з 1926 р., Мандельштам і Ландсберг розгорнули в Московському державному університеті експериментальне вивчення молекулярного розсіювання світла в кристалах, переслідуючи мету знайти тонку структуру в спектрі розсіювання, викликану модуляцією розсіяного світла пружними тепловими хвилями, частоти яких лежать в акустичному діапазоні (продовження досліджень феномена, нині іменованого розсіюванням Мандельштама-Бріллюена). У результаті цих досліджень 21 лютого 1928 р. Ландсберг і Мандельштам знайшли ефект комбінаційного розсіювання світла (вони зареєстрували нові лінії спектра, що виникли в результаті модуляції розсіяного світла коливаннями атомів в оптичному діапазоні частот). Про своє відкриття вони повідомили на колоквіумі від 27 квітня 1928 р. і опублікували відповідні наукові результати в радянському і двох німецьких журналах.

У тому ж 1928 р. індійські вчені Ч.В. Раман і К.С. Крішнан (в Університеті Калькутти, Індія) шукали комптонову компоненту розсіяного сонячного світла в рідинах і парах, припускаючи, що існує оптичний аналог ефекту Компотна. Зненацька для себе вони знайшли явище комбінаційного розсіювання світла. За словами Рамана: „Лінії спектра нового випромінювання вперше спостерігались 28 лютого 1928 року”. Таким чином, комбінаційне розсіювання світла індійські фізики вперше спостерігали на тиждень пізніше, ніж Ландсберг і Мандельштам у МДУ.

Проте, Нобелівська премія по фізиці 1930 року була присвоєна лише Раману „за його роботи з розсіювання світла і за відкриття ефекту, названого по його імені”. З тих пір комбінаційне розсіювання світла в іноземній літературі зветься „ефект Рамана”.

Французькі фізики Рокар, Кабанн і Дор ще в 1925 році у своїх дослідженнях шукали комбінаційне розсіювання світла в газах, але не знайшли його. Їм тоді не удалося зареєструвати світло малої інтенсивності.

Хоча сам Раман не відразу зрозумів, що саме він відкрив, проте він встиг опублікувати свої результати до публікації робіт Мандельштама і Ландсберга. Тому в англомовній літературі розглянутий феномен зветься „ефект Рамана” (Raman effect) чи „раманівське розсіювання” (Raman scatterіng).

У російськомовній науковій літературі, слідом за класиками молекулярного розсіювання світла Ландсбергом, Мандельштамом, Фабелінським і багатьма іншими радянськими вченими, дане явище традиційно називається „комбінаційним розсіюванням світла”. І незважаючи на те, що термін „комбінаційне розсіювання” вживається тільки російськомовними вченими й у російськомовних підручниках, таке положення навряд чи зміниться, оскільки опір несправедливому рішенню нобелівського комітету від 1930 року дотепер дуже великий.

Класичний розгляд комбінаційного розсіювання світла (КРС)

Якщо на середовище падає електромагнітна хвиля c частотою ν0 і електричним вектором, то під дією цієї хвилі в системі індукується дипольний момент  (1.1), де  – тензор поляризуємості системи. Важливим є той факт, що поляризуємість молекули (кристала) періодично міняється в часі з частотами власних коливань молекули (кристала), оскільки поляризуємість у визначений момент часу залежить від відповідного цьому моменту розташування атомів один відносно одного [3]. Таким чином, поляризуємість є функцією координат атомів молекули (кристала), що періодично міняються з частотами власних коливань системи  [1, 3]:

 (1.2)

де  – зміщення атомів від положення рівноваги.

Якщо підставити розклад (1.2) поляризуємості  по власних коливаннях системи у вираз (1.1), те легко переконатися в специфічних частотних характеристиках індукованого дипольного моменту системи. Цей індукований дипольний момент варто розглядати як джерело вторинного електромагнітного випромінювання, що формує спектр розсіювання. Перший член (1.2) дає зміну  в часі з частотою  (релеївське розсіювання), другий – з частотами  і , третій – з частотами типу ,  і т.д. Другому і третьому членам розкладу (1.2) відповідають спектри комбінаційного розсіювання першого і другого порядків. Інтенсивність спектрів другого порядку дуже мала.

## 2. Квантово-механічний розгляд КРС

Ми розглядаємо випадок нерезонансного розсіювання, коли частота збуджуючого світла  попадає в область прозорості середовища. З цієї причини рівень , що відповідає проміжному стану системи, є віртуальним – його введення

відображає факт взаємодії світла із середовищем, інакше не було би розсіювання.

Відзначимо, що енергетичне положення рівня  визначається енергією квантів світлового пучка, що збуджує розсіювання. Рівні  і  є початковим і кінцевим коливальними станами нижнього електронного стану середовища – це рівні енергії квантового осцилятора, що для  - ного рівня визначається виразом [3]:

. (1.3)

В залежності від того, який з рівнів –  чи  вищий, компонента розсіювання є стоксовою чи антистоксовою. Віртуальний рівень  не є стаціонарним станом системи, і відповідна йому хвильова функція  залежить від часу. Функція  може бути побудована як лінійна комбінація хвильових функцій реальних стаціонарних станів системи з коефіцієнтами, що залежать від часу. Внесок конкретного реального рівня в цю лінійну комбінацію залежить від енергетичної відстані між віртуальним рівнем і цим реальним рівнем (якщо рівень  збігається з реальним енергетичним рівнем системи, то відбувається поглинання світла). Рівні  і  завжди є реальними станами нижнього електронного стану, і тому їм відповідають стаціонарні хвильові функції  і .

Не будемо приводити досить громіздкі квантово-механічні вирази, що описують ефективність КРС. Покажемо тільки, що вони конструюються як добутки двох матричних елементів, що описують оптичні переходи з початкового стану  у проміжний віртуальний  і з віртуального стану  у кінцевий стан .

Інтенсивність розсіювання росте пропорційно 4-ій степені частоти світла. Це дає співвідношення інтенсивностей між антистоксовою AS - і стоксовою S - компонентами, пропорційне величині  (зазвичай ) [1, 10]. Далі ми розглянемо температурну залежність співвідношення інтенсивностей компонент  і . Молекула дає внесок у AS - компоненту розсіювання в тому випадку, коли вона знаходиться в збудженому стані [5]. Число молекул, що знаходяться в стані з енергією ,

, (1.4)

де  – загальне число молекул у системі,  – постійна Больцмана, Т –температура. Якщо основному стану відповідає енергія , а збудженому , то

. (1.5)

У відповідності до співвідношення (3) для початкового і кінцевого коливальних станів з  одержимо

. (1.6)

Температурна асимптотика інтенсивності компонентів КРС є наступною. При високій температурі показник експоненти близький до нуля, і інтенсивності AS - і S-компонент стають близькими. При низькій температурі відношення інтенсивностей компонент прямує до нуля: абсолютна інтенсивність AS-компоненти, для якої початковим є збуджений стан молекули, при зниженні температури прямує до нуля, а інтенсивність S-компоненти – до деякого кінцевого значення [6].

З вищевикладеного ясно, що за допомогою спектрів КРС можна вимірювати частоти власних коливань молекул і кристалів. Це відкриває широкі можливості для ідентифікації речовин і дослідження перетворень, що відбуваються в них, під впливом зовнішніх факторів. Приведемо кілька прикладів. Та сама речовина може мати кілька модифікацій, скажемо, вуглець буває у формі графіту, алмаза, аморфної фази. Хімічний чи спектральний аналізи не дають можливості відрізнити ці фази, але спектри КРС для них будуть розрізнятися, оскільки для комбінаційного розсіювання важливий не тільки хімічний склад речовини, але і його структура. C допомогою КРС можна вивчати процеси плавлення кристалів і кристалізації рідин, досліджувати хімічні реакції в розчинах, фіксувати появу на поверхні твердих тіл тонких плівок і характеризувати їхню структуру, і т.д. [6,8]. Зміна температури, тиску й інших зовнішніх факторів приводять до зміни симетрії решітки деяких кристалів (структурні фазові перетворення). Перебудова кристалічних решіток приводить до зміни її коливального спектра, і КРС є хорошим інструментом для аналізу цих перетворень.

## 3. Мандельштам-бріллюенівське розсіювання світла

Мандельштам-Бріллюенівське розсіювання (МБР) світла – це оптичне розсіювання, яке виникає за рахунок взаємодії оптичних і акустичних хвиль. Вперше цей різновид розсіювання теоретично передбачили Л. Бріллюен і Л.І. Мандельштам. В 1930 році це передбачення було доказано експериментально. При теоретичному дослідженні спектрального розподілу розсіяного світла на статистичних флуктуаціях густини в газах, рідинах і газах виникали дві нових частоти, які розташовані симетрично відносно частоти падаючої хвилі, тобто у розсіяному світлі будуть існувати два сателіти – стоксівський з частотою  та антистоксівський з частотою . Такий процес називається Мандельштам-Бріллюенівським розсіюванням.

Мандельштам і Бріллюен показали, що світло, розсіяне на теплових акустичних хвилях, повинно бути зсунутим по частоті відносно падаючого світла на величину , рівну частоті зв звукової хвилі, що відповідає за розсіювання. В дійсності ця величина повинна задовольняти умову Брегга [3]

,(2.1)

де  – довжина хвилі світла в середовищі,  – довжина хвилі звука,  – кут розсіювання. Оскільки світло відбивається від „гратки” оптичних неоднорідностей з періодом , що рухається із швидкістю звуку , воно має допплерівське зміщення

. (2.2)

Тут  – частота світла,  – швидкість звуку, с – швидкість світла у вакуумі, n – показник заломлення середовища; знаки відповідають двом напрямкам руху звукової хвилі, що задовольняють умову (2.1). З (2.1) і (2.2) слідує, що .

Експериментально МБР вперше спостерігалося Гроссом в кварці і в рідинах 1930 р. Дослідження МБР до появи лазерних джерел світла представляло собою надзвичайно важку задачу. Зсув частоти світла при МБР малий (), що змушувало застосовувати газорозрядні лампи низького тиску з вузькими спектральними лініями, котрі відділялися від решти спектру з допомогою монохроматора. При цьому інтенсивність світла, що збуджувало МБР, була дуже малою. З іншого боку, коефіцієнти розсіювання для МБР порядку 10–5 см–1 в рідинах і 10–8 в твердих тілах. Таким чином, інтенсивність МБР, котра реєструвалася, зазвичай, фотографічно, було мізерною, і це потребувало застосування довгих експозицій і відповідної стабілізації температури і тиску.

Зміна енергії оптичних квантів (одержуваних за допомогою лазерів досить високої інтенсивності), зв’язана з розсіюванням на фононах, є малою. Однак, цю зміну вдається виміряти, наприклад, за допомогою інтерференційних методів. Тому внесок однофононних процесів у розсіювання світла можна визначити. При довжині хвилі лазерного випромінювання ~ 1 мкм енергія фотона  ~ 1еВ, , – стала Планка,  – циклічна частота. Відповідно,  ≈ 0.5∙105 см-1,  – швидкість світла, а це менше розмірів першої зони Бріллюена (~108 см-1). Тому інформацію вдається одержати лише про фонони поблизу точки з . Процес називають мандельштам-бріллюенівським розсіюванням, коли випускається чи поглинається акустичний фонон, і рамановським розсіюванням, коли цей фонон відноситься до оптичної вітки [9].

Необхідно мати на увазі, що хвильові вектори фотонів всередині кристалу відрізняються від своїх значень у вакуумі множником , де  – показник заломлення кристалу. Тобто закони збереження виглядають таким чином [2]:

, (2.3)

 (2.4)

де  – довільний вектор оберненої гратки,  – хвильові вектори падаючого і розсіяного фононів.

Знак "+" відноситься до поглинання фонона (антистоксова компонента), знак "-" зв’язаний з випромінюванням фонона (стоксова компонента). Оскільки  і  малі по величині в порівнянні з зоною Бріллюена, для хвильових векторів фононів , що лежать у першій зоні Бріллюена, закон збереження квазіімпульсу може бути виконаний за умови . Оскільки енергія фононів не перевищує  ≈ 10-2 еВ, то енергія фотона міняється мало і тому трикутник "" є практично рівнобедреним. Звідси випливає, що абсолютна величина  хвильового вектора фонона зв’язана з кутовою частотою світла і кутом розсіювання  співвідношенням [2, 7]

. (2.5)

У випадку мандельштам-бріллюенівського розсіювання в процесі бере участь акустичний фонон із хвильовим вектором поблизу початкової точки в -просторі, а залежність . Тоді співвідношення (2.5) можна переписати у виді залежності швидкості звуку від кута розсіювання і зсуву частот:

, (2.6)

або . (2.7)

Приклади спектрів мандельштам-бріллюенівського і раманівського розсіювання приведені на рис.2.1

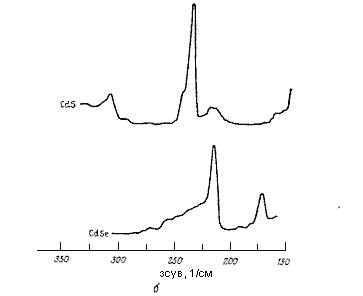
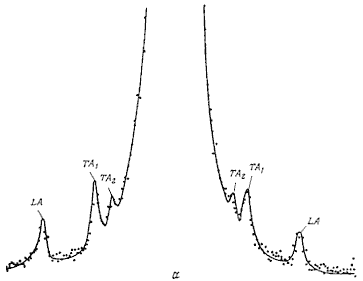


Рис.2.1 Спектри мандельштам-бріллюенівського (а) і раманівського розсіювання (б)

Поява лазерів привела до швидкого росту числа робіт по МБР, оскільки лазер є ідеальним джерелом світла для даних досліджень. Дякуючи великій інтенсивності випромінюваного лазера, час реєстрації скоротився із декількох годин до декількох хвилин, а внаслідок надзвичайно вузької ширини лінії його випромінювання точність вимірювання зсуву частот при МБР різко зросла. Стало можливим також вимірювати ширину компонентів Мандельштама-Бріллюена і відповідно затухання гіперзвуку в різних речовинах.

Підвищення точності вимірювання і зменшення часу реєстрації привело до того, що МБР стало зручним методом вимірювання пружних і фотопружних констант середовища. Цей метод також застосовується для дослідження фазових переходів, акустоелектричного ефекту, фононного “вузького горла” при парамагнітній релаксації. При застосуванні багатопрохідного інтерферометра Фабрі-Перо можна отримувати спектри МБР в оптично недосконалих середовищах з інтенсивністю паразитного світла, що перевищує інтенсивність МБР в 105 - 109 раз, і навіть в непрозорих матеріалах.

## Resümee

Die Brillouin-Streuung ist eine Art der optischen Streuung, die auf einer Wechselwirkung optischer Wellen mit akustischen Gitterschwingungen (akustische Phononen) oder magnetischen Spinwellen (Magnon) beruht. Leon Brillouin hat diese Art von Streuung zum ersten Mal theoretisch vorhergesagt. 1930 wurde diese Vorhersage experimentell bestätigt.

Wenn ein Photon mit einem Festkörper oder einer Flüssigkeit wechselwirkt, kann es zum Energieübertrag an akustische oder optische Phononen kommen. Die inelastische Streuung von Photonen an akustischen Phononen bezeichnet man als Brillouin-Streuung. Die inelastische Streuung an optischen Phononen wird Raman-Streuung genannt.

Maximale Streuung in Rückwärtsrichtung tritt dann auf, wenn sich die reflektierten Lichtanteile phasenweise überlagern, was nur bei exakter Anpassung von Licht - und Schallwelle erfolgt. Die Brillouin-Streuung hat daher einen extrem frequenzselektiven Effekt von 20 bis 100 MHz (Frequenz des Schalls). Das reflektierte Licht hat aufgrund der Dopplerverschiebung eine Verringerung der Frequenz von circa 1-15 GHz (etwa 1-10 ppm Veränderung).

Der Effekt spielt eine Rolle in optischen Verstärkern, die in der Lage sind, optische Signale zu verstärken, ohne das optische Signal vorher in ein elektrisches zu wandeln. Die Stimulierte Brillouin-Streuung (SBS) kann zur optischen Phasenkonjugation verwendet werden.

Als Raman-Streuung (auch Raman-Effekt oder Smekal-Raman-Effekt) wird die inelastische Streuung von Licht an Atomen oder Molekülen bezeichnet. Sie ist nach Chandrasekhara Raman benannt, der den Effekt 1928 erstmals nachweisen konnte. Das emittierte Streulicht ist bei der Raman-Streuung spezifisch und besitzt eine höhere oder niedrigere Frequenz als die des einfallenden Lichtstrahls.

Findet eine Wechselwirkung zwischen einem Molekül oder einem Kristall und einem Photon statt, kommt es mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit zu einer bleibenden Energieübertragung zwischen dem anregenden Photon und der angeregten Materie. Dabei ändert sich die Rotations - und Schwingungsenergie des beteiligten Moleküls bzw. die Schwingungsenergie in einem Kristallgitter. Befindet sich das Molekül nach dem Streuvorgang auf einem höheren Energieniveau als zuvor, so ist die Energie und die Frequenz des emittierten Photons geringer als die des anregenden Photons. Dieser Vorgang wird als Stokes-Raman-Streuung bezeichnet. Befindet sich das streuende Molekül nach dem Anregungsvorgang auf einem niedrigeren Energieniveau als zuvor, so besitzt das gestreute Photon eine höhere Energie und eine höhere Frequenz als die des anregenden Photons. Dies wird als Anti-Stokes-Raman-Streuung bezeichnet. Die Energiedifferenz zwischen eingestrahltem und gestreutem Photon wird als Raman-Frequenzverschiebung bezeichnet und ist charakteristisch für das streuende Molekül. Über das Plancksche Wirkungsquantum ist die Energie eines Photons linear mit seiner Frequenz verknüpft. Liegt das streuende Molekül in gasförmiger oder flüssiger Phase vor, so werden Molekülschwingungen und Moleküldrehungen betrachtet. Handelt es sich bei der Probensubstanz um einen kristallinen Festkörper, sind Gitterschwingungen (Phononen), Elektron-Loch-Anregungen oder Spinflip-Prozesse für den Raman-Effekt verantwortlich.

## Cписок використаних німецькомовних джерел

1. Brandmüller J. Rayleigh-Streuung und Rotations-Raman-Effekt von Flüssigkeiten // Zeitschrift für Physik. – Berlin, 1955. – Bd.140. – S.75 - 91.
2. Esen C., Kilicaslan I. Akustooptisch modulierte Brillouin-Streuung in klaren und trüben Medien // Optische Messtechnik. – Berlin: Photonik, 2005. – S.48 – 51.
3. Hasenkopf A. Raman - und Brillouin - Streuung. – Ausbildungsseminar: Dynamik in kondensierter Materie. – Universität Regensburg, 2006. – 31 S.
4. Ibach H., Lüth H. Festkörperphysik. – Berlin: Springer-Verlag, 1981. – 135 S.
5. Kölbach J. Ortsaufgelöste Ramanstreuung. – Universität Düsseldorf, 2002. – 77 S.
6. Kuzmany H. Festkörper Spektroskopie. Eine Einführung. – Berlin: Springer-Verlag, 2007. – 331 S.
7. Mie G. Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen // Annalen der Physik. – Berlin, 1908. – Bd.25: Nr.3. – S.377-445.
8. Schuler J. Ultrakurzzeit-Spektroskopie in der Photoemission aus III-V-Halbleitern. – Universität Meinz, 2004. – 91 S.
9. www. de. wikipedia. org/wiki/Brillouin-Streuung.
10. www. de. wikipedia. org/wiki/Raman-Streuung.

## Cловник термінів

das Licht – світло;

die Streuung – розсіювання;

bündeln – фокусувати, направляти (промінь, хвилю);

das Bündel – пучок (ліній, променів);

die Ausstrahlung – випромінювання;

die Richtung – напрям;

die Absorption – поглинання;

das Quant – квант;

die Energie – енергія;

die Welle – хвиля;

die Frequenz – частота;

die Intensität – інтенсивність;

die Dichte – густина;

die Bewegung – рух;

die Bahnkurve – траєкторія;

das Gesetz – закон;

der Körper – тіло;

die Kraft – сила;

der Weg – шлях, дорога;

die Masse – маса;

gleichförmig – рівномірний;

geradlinig – прямолінійний;

das Pendel – маятник;

die Schwingung – коливання;

die Umdrehung – поворот, оберт;

die Reibung – тертя;

die Geschwindigkeit – швидкість;

die Eigenschaft – властивість;

das Trägheitsgesetz – закон інертності;

die Kreisel – гіроскоп;

die Erfahrung – дослід;

die Elastizität – пружність, еластичність;

das Teilchen – частинка;

das Maß (die Maßeinheit) – вимір, міра (одиниця вимірювання);

das Bezugssystem – система відліку;

der Raum – простір;

die Gravitation – гравітація;

die Beschleunigung – прискорення;

die Beugung – дифракція, відхилення;

der Zustand – стан;

der Stoff – речовина;

die Erscheinung – явище;

die Anziehungskraft – сила тяжіння;

der Hebel – важіль;

das Gewicht – вага;

der Widerstand – опір;

das Volumen – об’єм;

der Wirkungsgrad – коефіцієнт корисної дії;

der Festkörperlaser – твердотільний лазер;

die Entfernung – відстань, віддаль;

die Masseverteilung – розподіл маси;

die Laufzeit – час руху;

verstärken – підсилювати;

das Lichtquant (Photon) – фотон;

die Stufe – ступінь, період, рівень;

photoempfindlich – фоточутливий;

das Gleichgewicht – рівновага;

die Geschwindigkeitsänderung – зміна швидкості;

krummlinig – криволінійний;

die Zunahme – приріст;

die Fortbewegung – поступальний рух;

die Drehung – протяжність;

die Spannung – напруга;

das Verhältnis – співвідношення;

der Strom – струм;

der Auftrieb – підіймальна сила;

der Klang – тон, тембр, звук;

die Erschütterung – вібрація;

der Schall – звук;

die Longitudinalwelle – поздовжня хвиля;

die Verdünnung – розріджування;

die Wellenlänge – довжина хвилі;

die Umsetzung – перетворення;

die Helligkeit – яскравість;

die Beleuchtungsstärke – сила освітлення;

die Sammellinse – збірна лінза;

die Brennweite – фокусна відстань;

die Konvexlinse – опукла лінза;

der Brennpunkt – фокус;

der Zerfall – розпад;

die Wärme – тепло;

der Kurzschluss – коротке замикання;

die Kernfusion – термоядерна реакція;

die Anziehungskräfte – сили притягання;

die Abstoßungskräfte – сили відштовхування;

die Teilchenbeschleunigung – прискорення заряджених частинок;

die Luftströmung – потік повітря;

die Kettenreaktion – ланцюгова реакція;

der Beschuss – бомбардування, опромінювання;

die Elektronenschale – електронна оболонка;

der Kern – ядро;

der Ladungsträger – носій заряду;

die Fotozelle – фотоелемент;

der Halbleiter – напівпровідник;

der Eigenhalbleiter – власний напівпровідник;

die Leitfähigkeit – провідність;

das Glimmer – кварц;

der Nichtleiter – ізолятор, непровідник (діелектрик);

der Leiter – провідник;

geladen – заряджений;

die Einheit – одиниця;

das Geräusch – шум;

die Mitschwingen, die Resonanz – резонанс;

ausbreiten – поширюватися;

die Reflexion – відбивання;

die Brechung – заломлення;

die Aberration – аберація;

die Polarisation – поляризація;

die Querschnittsfläche – площа поперечного перерізу;

der Polarisator – поляризатор;

der Bremsweg – гальмівний шлях;

die Dämmzahl – коефіцієнт звукоізоляції;

der Dauermagnet – постійний магніт;

der Piezoeffekt – п’єзоефект;

das Poise – пуаз;

die Polarität – полярність;

das Schauglas – окуляр;

die Dispersion –дисперсія;

die Interferenz – інтерференція;

der Pendelausschlag – амплітуда коливання маятника;

der Phasenabgleich – фазокомпенсація, урівноваження по фазі;

die Phasendifferenz – різниця фаз;

der Quarzstrahler – кварцовий випромінювач;

das Q-Band – діапазон міліметрових хвиль;

der Querkondensator – паралельний конденсатор;

die Querwelle – поперечна хвиля;

die Fotolitografie – фотолітографія;

der Fotistor – напівпровідниковий фотодіод;

die Last – навантаження;

das Gepo – потенціометр-датчик;

der Grundton – основна гармоніка;

das Laufzeitgerät – клістрон;

das Saugmanometer – вакуумметр;

der Schreiber – самописець;

die Schraublehre – мікрометр;

die Periodenzahl – число періодів;

das Nukleon – нуклон;

der Modler – модулятор;

der Hall-Effekt – ефект Холла;

gesättigt – насичений;

die Binode – біном, діод-тріод;

das Anschlußschaltbild – монтажна схема з’єднань;

die Kohäsion – когезія, зчеплення;

die Koerzitivkraft – коерцитивна сила;

die Schirmgitterröhre – тетрод;

die Achse – вісь, вал;

der Siliziumgleichrichter – кремнієвий випрямляч;

der Strömungswiderstand – гідравлічний опір;

der Tunneleffekt – тунельний ефект;

der Übertrager – трансформатор;

die Radiostrahlungsquelle – джерело радіовипромінювання;

das Radiogoniometer – радіопеленгатор;

das Fotometer – фотометр;

die Fotoionisation – фотоіонізація;

die Streuungslinse – розсіювальна лінза;

der Verdichter – конденсатор, компресор;

die Desorption – десорбція;

der Schubmodul – модуль пружності;

der Kristall – кристал;

die Extension – розширення;

das Betatron – бетатрон;

die Beta-Strahlung – бета-випромінювання;

die Fotoelektronenvervielfacher – фотоелектронний помножувач;

der Heizwert – теплота згорання;

der Heitzwertmesser – калориметр;

der Zeichengeber – датчик сигналів;

der Signalsteller – реле керування сигналом;

die Molekularwärme – молекулярна теплоємність;

die Molsuszeptibilität – молекулярна магнітна сприйнятливість;

das Meßfeld – електромагнітне поле вимірювального пристрою;

der Meßfehler – похибка вимірювання;

die Kernspaltungskettenreaktion – ланцюгова реакція поділу ядер;

die Kernladungszahl – заряд ядра, атомний номер;

das Gamma-Spektrum – гамма-спектр;

das Dämpfungsdekrement – декремент затухання;

die Kondensation – конденсація;

die Kompressibilität – стисливість;

die Radioverbindung – радіозв’язок;

der Transistor – транзистор, напівпровідниковий тріод;

die Wellenfront – фронт хвилі;

der Wellenbereich – діапазон хвиль;

der Rheostat – реостат;

die Ersatzschaltung – еквівалентна схема;

der Temperaturmesser – термометр;

die Temperaturleitung – теплопровідність;

das Telemeter – дальномір;

die Permeabilität – проникність;

der Kernspin – ядерний спін;

der Satellit – супутник (штучний);

der Satz – положення, закон теорема, формула.

die Stoßwelle – ударна або імпульсна хвиля;

das Strahlenquant – квант випромінювання;

der Verlauf – процес;

die Verlustwärme – джоулево тепло, тепло втрат;

der Dunkelstrom – темновий струм;

der Blitz – блискавка, спалах;

das Blindwatt – вольтметр реактивний, вар;

die Blende – діафрагма, бленда, екрануючий пристрій;

das Atomgitter – атомна гратка (решітка);

die Atomhülle – електронна оболонка атома.