

УДК 372.853

НАУМЧИК Павло Іванович –

кандидат педагогічних наук, доцент кафедри ІВТ, метрології та фізики

Чернігівського національного технологічного університету

ORCID ID 0000-0002-1436-9111

e-mail: naumchick.pavel@gmail.com

ОНОВЛЕННЯ МАТЕРІАЛУ ШКІЛЬНОЇ ФІЗИКИ У СФЕРІ ВИВЧЕННЯ ЛАЗЕРНОЇ ТЕХНІКИ

Постановка та обґрунтування актуальності проблеми. У статті 12 Закону України «Про освіту» введено поняття компетентність: «компетентність – динамічна комбінація знань, умінь, навичок, способів мислення, поглядів, цінностей, інших особистих якостей, що визначає здатність особи успішно соціалізуватися, провадити професійну та подальшу навчальну діяльність» [8]. Цим самим Законом для загальної середньої освіти визначено 10 ключових компетентностей для нової української школи. Однією з них є компетентності в природничих науках і технологіях, які передбачають наукове розуміння природи й сучасних технологій, а також здатність застосовувати його в практичній діяльності. Уміння застосовувати науковий метод, спостерігати, аналізувати, формулювати гіпотези, збирати дані, проводити експерименти, аналізувати результати. З огляду на це можна зауважити про необхідність ознайомлення учнів на уроках фізики із сучасною технікою, яка використовується у виробництві й побуті.

Нами вже зверталась увага на те, що шкільна програма й сучасні підручники недостатньо висвітлюють досягнення науки і техніки [7]. Так, у нових шкільних підручниках із фізики часто можна зустріти матеріал про застарілу техніку, яка вже давно не використовується. Одним із прикладів

такого навчального матеріалу є квантові генератори.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз шкільних підручників [1], [4], [6], [9] показав, що матеріал, який подається в них про квантові генератори, є безнадійно застарілим. Принцип роботи лазера описують на рубіновому лазері, який уже тривалий час практично не використовується. Проте про принцип роботи напівпровідникового лазера, випромінювання якого широко використовується на виробництві, медицині й побуті у вищезгаданих підручниках взагалі не розглядається.

Зазвичай у технічній літературі [2], [3], [5] і періодичних виданнях можна прочитати про будову і принцип дії напівпровідникових лазерів, але в навчальній програмі і шкільних підручниках, що претендують на сучасні, описання цих добре відомих пристроїв немає. Більше того, більшість відеороликів у додатку YouTube також розповідають саме про рубіновий лазер, а про напівпровідниковий лазер відеороликів мало і якість їх не найкраща.

Мета статті. Ця стаття присвячена проблемі оновлення матеріалу шкільної фізики у сфері вивчення лазерної техніки й лазерного випромінювання. З цією метою коротко розглянута історія створення лазерної техніки. На рівні, доступному для учнів старшої школи, розглянуто будову і принцип дії напівпровідникового лазерного діода. Наведено приклади запитань і розрахункових задач із лазерної техніки.

Методи дослідження. У процесі дослідження використані такі методи: аналіз науково-педагогічної літератури та інформаційних джерел із питань лазерної техніки, систематизація та узагальнення результатів із теми дослідження.

Виклад основного матеріалу дослідження. Коротка історія створення лазера.

Точкою відліку у створенні квантового генератора можна вважати розроблену у 1916 році А. Ейнштейном теорію взаємодії світла з

речовиною і створення квантових підсилювачів хвиль. За якою, крім спонтанного поглинання і випромінювання світла атомом, існує ймовірність так званого вимушеного випромінювання, яке відбувається під час взаємодії збуджених атомів речовини з квантами світла.

Експериментально дослідити вимушене випромінювання вдалося у 1928 році вченому Ланденбургу під час дослідження зворотної дисперсії світла.

Спираючись на теорію Ейнштейна у 1939 році, радянський фізик В. Фабрикант висунув ідею про можливість створення середовища, здатного підсилювати електромагнітне випромінювання, що проходить крізь це середовище. Але на той час розвиток техніки не дозволяв створити квантовий генератор.

У 1951 р. американський фізик Р. Гулд запропонував пристрій підсилення світла за допомогою вимушеного випромінювання. Англійською «Light Amplification Stimulated Emission Radiation» аббревіатурою LASER. Щоправда своє авторство у винаході йому довелося обстоювати через суд.

У 1957 р. радянські вчені А. Прохоров й Н. Басов встановили основні принципи створення генераторів і підсилювачів електромагнітних хвиль оптичного діапазону. У тому ж році американськими вченими Ч. Таунсом і А. Шавловим була опублікована праця, що описувала принцип дії лазера на парах лугів. За що у 1964 р. Ч. Таунс, О. Прохоров та М. Басов отримали нобелівську премію. 16 травня 1960 р. Т. Мейман виготовив перший у світі лазер, робочим тілом якого, є рубін. Цей лазер випромінював червоне когерентне випромінювання з довжиною 690 нм.

У подальшому почали з'являтися нові типи лазерів, робочим тілом яких були різні речовини. Наприклад, у 1960 р. А. Джаван, У. Беннет та Д. Хэррит розробили гелій-неоновий лазер, який і досі використовується.

Найбільш поширений нині напівпровідниковий інжекційний лазер

було винайдено у 1962 р. Він безпосередньо перетворював електричний струм у інфрачервоне випромінювання.

Для пояснення принципу дії інжекторного напівпровідникового лазера слід ввести такі поняття, як спонтанне і вимушене випромінювання, інжекція та інверсна заселеність.

Спонтанне й вимушене випромінювання

Розрізняють два типи випромінювання: спонтанне і вимушене.

Спонтанне випромінювання виникає внаслідок самовільного квантового переходу атома зі збудженого стану в стан із меншою енергією. Випадковість спонтанних переходів призводить до того, що різні атоми випромінюють незалежно і не синхронно. Тому спонтанне випромінювання ненаправлене, некогерентне, неполяризоване і немонохроматичне.

Вимушені квантові переходи відбуваються під впливом зовнішнього збудження, яким є електромагнітне випромінювання. Імовірність таких переходів пропорційна інтенсивності збудження.

Якщо атом перебуває у збудженому стані W_m і на нього діє електромагнітне випромінювання з частотою ν_{mn} , то це випромінювання сприяє переходу атома в нижчий стан. У результаті такого вимушеного переходу атом віддає енергію електромагнітної хвилі, кількість фотонів якої збільшується.

Для вимушеного випромінювання характерно: а) електромагнітний квант, що утворився під час вимушеного випромінювання, збігається за частотою, фазою і площиною поляризації з квантом, що викликав його утворення; б) електромагнітні кванти, що виникли під час вимушеного випромінювання, рухаються в тому ж напрямі, що і падаючі кванти.

Інверсна заселеність

Під **інверсною заселеністю** – слід розуміти такий стан фізичної квантово-механічної системи, в якому кількість частинок у збудженому

стані перевищує кількість частинок в основному стані. У такій системі можливе утворення вимушеного випромінювання. Утворення інверсії називають накачуванням. Створюють інверсію населеності різними способами.

Оптичне накачування – здійснюють впливом на активну речовину електромагнітним випромінюванням.

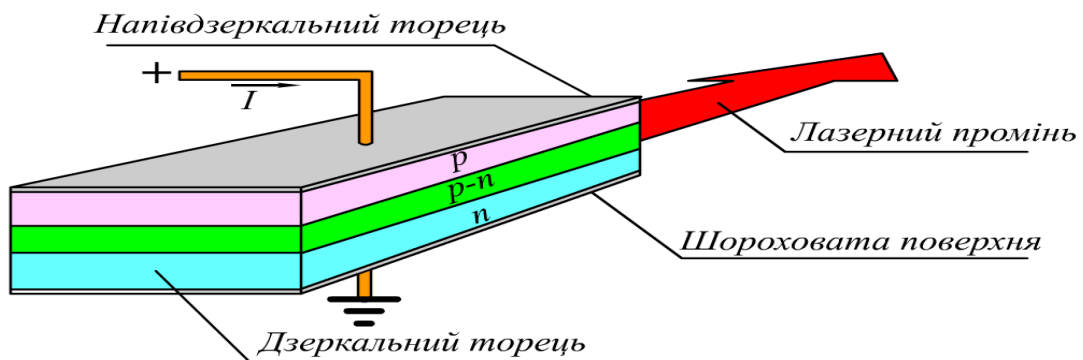
Електричне накачування (електронний удар) – здійснюють електронним ударом, пучком електронів з енергією від кількох десятків електрон-вольт до мегаелектрон-вольт.

Теплове накачування – високотемпературне нагрівання речовини з наступним швидким охолодженням.

Інжекцією неосновних носіїв заряду через р-п - перехід. Під інжекцією розуміють процес переходу дірок з р-області до п-області р-п переходу, а електронів з п-області до р-області де вони рекомбінують. За певних умов електрон і дірка, перед рекомбінацією, можуть перебувати в одній області простору достатньо довго (до мікросекунд), утворюючи інверсну заселеність.

Бомбардування високоенергетичних частинками – на активну речовину спрямовується пучок попередньо прискорених електронів, що викликає збудження й іонізацію активних центрів.

Будова інжекційного напівпровідникового лазерного діода



Лазерний напівпровідниковий діод (рис. 1) виготовляють із кристалу

нітриду галію для цього його легують із двох сторін так, щоб з одного боку вийшла n-область, а з іншого – р-область. Отримують р-n перехід, як і у звичайному діоді, тільки набагато більший за площею. Утворений напівпровідниковий діод ще й виконує функцію оптичного резонатора. Оптичний резонатор складається з двох плоскопаралельних дзеркал, одне з яких частково пропускає випромінювання. Для цього торцеві сторони пластини ретельно поліруються до коефіцієнта віддзеркалення фотонів від граней кристала $\sim 20-40\%$. У результаті фотон, потрапивши всередину пластини під прямим кутом до полірованих торців, буде багаторазово відбиватися. Такий резонатор отримав назву «резонатор Фабрі-Перро» названого на честь французьких фізиків Шарля Фабрі і Альфреда Перо, які першими запропонували використати дві частково посріблені скляні пластини для інтерферометра.

Принцип дії інжекційного напівпровідникового лазерного діода

При прямому включенні діода відбувається інжекція неосновних носіїв заряду, тобто переміщення дірок з р-області до негативного контакту й електронів з n-області до позитивного контакту. Таким чином електрони й дірки рухаються назустріч один одному. Якщо електрон і дірка «зближуються» на відстань, коли можливий тунельний ефект, то вони можуть рекомбінувати з виділенням енергії у вигляді фотона певної довжини хвилі. Завдяки прямому включенню лазерного діода з обох боків активного шару поблизу поверхні виникнуть потенційні бар'єри, де електрони й дірки, перед рекомбінацією, можуть перебувати в одній області простору достатньо довго (до мікросекунд). Що цілком достатньо для виникнення вимушеного випромінювання. Рекомбінація частини електронів із дірками викликає появу фотонів, що приводить до вимушеної рекомбінації майже всіх дірок і електронів, що перебувають в активному шарі діода. Рекомбінація супроводжується випромінюванням квантів світла з однаковою довжиною хвилі, енергія яких практично відповідає

ширині забороненої зони. За законами статистики напрямки поширення утворених в активній області діода фотонів, рівновірогідні. Частина квантів, що висвітилися під прямим кутом до плоскопаралельних дзеркал активної зони будуть випромінюється назовні. Інша ж частина – багаторазово відбиватися від відполірованих торців, викликаючи індуковані переходи. Цей процес повторюється багато разів і приводить до лавинного наростання квантів. У результаті, завдяки властивостям індукованого випромінювання, в активній зоні напівпровідника утворюється потужний пучок монохроматичного, когерентного світла, який пройшовши крізь напівпрозоре дзеркало, утворює лазерний промінь. Потужність цього випроміненого променя буде пропорційна прикладеній напрузі.

Та ж частина квантів, яка висвітилась під прямим кутом до плоскопаралельних дзеркал, поглинається в пасивних областях діода.

Рекомбінація електронів і дірок призводять до виникнення струму – струму накачування. Кожен лазер має свій поріг для струму накачування, при перебільшенні якого відбувається генерація лазерного випромінювання. Якщо ж струм накачування менше порогового, лазер працює у світлодіодному режимі.

Слід зауважити, що в загальноосвітній школі програмою з фізики не передбачено вивчення зонної теорії провідності. Тому при поясненні випромінювання лазерного енергію квантів треба пояснювати не шириною забороненої зони, а енергією р-п переходу. І хоча це не зовсім правильно, проте, на нашу думку, цілком достатнє для пояснення принципу утворення когерентного випромінювання.

Властивості лазерного випромінювання. Випромінювання, що створюється звичайними джерелами світла (тепловими, люмінесцентними і т. ін.), відрізняється від лазерного тим, що основний внесок у випромінювання дають спонтанні переходи атомів зі збудженого рівня,

тоді як у лазері переважає вимушене випромінювання. Цим пояснюються унікальні особливості лазерного випромінювання. А саме, лазерне випромінювання: когерентне, монохроматичне, високоспрямоване, поляризоване, має велику потужність і може створювати сильний тиск.

Висока спрямованість – для більшості лазерів розбіжність лазерного пучка (кут θ) становить кілька тисячних радіана.

До того ж лазерне випромінювання має властивість багатофотонності. Багатофотонність – це явище, за якого кілька електромагнітних квантів із сумарною енергією $n h \nu$ поводять себе так, як один квант із частотою $h(n\nu)$.

Джерела лазерного випромінювання мають високий ступінь когерентності і монохроматичності. Тому лазери дозволяють реалізовувати значення спектральної густини до 10^{12} Вт/Гц, що в 10^6 разів перевищує значення аналогічної величини при термоядерному вибуху. Під спектральною густиною розуміють величину, яка пропорційну середній потужності процесу p в інтервалі частот $\Delta\nu$. Одиниця вимірювання спектральної густини – Вт/Гц. Можливість отримання високих рівнів потужності лазерного випромінювання (до 10^{12} Вт) і зосередження значної енергії в імпульсі (до 10^4 Дж) дозволяє викликати багатофотонність і інші нелінійні процеси в середовищі, локальний тепловий нагрів, швидке випаровування, гідродинамічний удар тощо.

Висока монохроматичність дає змогу: 1) проводити спектральний аналіз із роздільною здатністю на багато порядків вищою, ніж роздільна здатність звичайних спектрометрів; 2) здійснювати збудження вибірковок молекул у суміші; 3) застосовувати голографічні й інтерференційні методи когерентної діагностики біооб'єктів.

Для закріплення даного матеріалу можна використати такі завдання.

Закріплення матеріалу.

Контрольні запитання.

1. Які явище розуміють під спонтанним і вимушеним випромінюванням?
2. Що розуміють під інверсною заселеністю?
3. Що називають інжекцією неосновних носіїв заряду через р-n – перехід?
4. Які властивості лазерного випромінювання?
5. У чому полягає явище багатофотонності?

Розрахункові задачі.

Задача 1. Напівпровідникові лазери виготовлені на основі алюмінат галію, мають довжину хвилі 445 нм (темно синій колір) працює при напрузі 3 В і силі струму 2 А. Знайти кількість фотонів, що випромінюється лазером за 1 с.

Задача 2. Зважаючи на умови попередньої задачі, встановіть, який тиск спричиняє лазерне випромінювання на абсолютно чорну поверхню, якщо діаметр світної плями 3 мм.

Задача 3. За даними умови задачі 1 встановіть, на якій відстані спостерігач зможе побачити промінь лазера, якщо око сприймає світло, коли на сітківку щосекунди потрапляє не менше $n = 100$ фотонів? Діаметр зіниці $d = 0,5$ см. Промінь лазера має вигляд конуса з кутом при вершині $\alpha = 10^{-4}$ радіан.

Задача 4. Довжина хвилі лазерної вказівки 650 нм. Чи зможе її випромінювання викликати зовнішній фотоефект на калію, якщо робота виходу з калію 2,8 еВ? Якщо зможе, то яку максимальну швидкість отримують при цьому фотоелектрони?

Висновки з дослідження і перспективи подальших розробок.

З огляду на статтю 12 Закону України «Про освіту» необхідно оновити шкільну програму з фізики. І, на нашу думку, однією з таких інновацій повинна бути інформація про напівпровідникові лазери, представлена в цій статті. У сучасних шкільних підручниках з фізики

навчальний матеріал про лазерну техніку є безнадійно застарілим і його потрібно оновити. Треба також зауважити про необхідність оновлення матеріалу підручників і з інших розділів, наприклад, таких як випромінювання електромагнітних хвиль, де більш детально пояснити, якими способами в сучасній техніці забезпечують високочастотні коливання зарядів. Бажано оновити і шкільний матеріал із квантової фізики, а саме більш детально розглянути внутрішній фотоефект, який набув широкого використання в сучасній техніці. І таких прикладів можна навести багато. На наше переконання, такі оновлення сприятимуть більшій зацікавленості учнів під час вивчення предмета «Фізика».

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Бар'яхтар В. Г., Божинова Ф. Я., Кірюхін М. М., Кірюхіна О. О. Фізика. 11 клас. Академічний рівень. Профільний рівень: підручник для загальноосвіт. навч. закл. Харків: Видавництво «Ранок», 2011. 320 с.
2. Грибковский В. П. Полупроводниковые лазеры: учеб. пособие по спец. «Радиофизика и электроника». Минск: Университетское, 1988. 304 с.
3. Датчики: справочное пособие / под общ. ред. В. М. Шарапова, Е. С. Полищука. Москва: Техносфера, 2012. 624 с.
4. Засекіна Т. М., Засекін Д. О. Фізика: підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закл.: (академічний рівень, профільний рівень). Харків: Сиція, 2011. 336 с.
5. Звелто О. Принципы лазеров / пер. под науч. ред. Т. А. Шмаонова. 4-е изд. Санкт-Петербург: Лань, 2008. 720 с.
6. Коршак Є. В., Ляшенко О. І., Савченко В. Ф. Фізика: 11 кл.: підруч. для загальноосвіт. навч. закл.: рівень стандарту. Київ: Генеза, 2011. 256 с.
7. Наумчик П. І. Сучасна техніка в курсі шкільної фізики. Вісник Чернігівського державного педагогічного університету ім. Т. Г. Шевченка.

Серія: Педагогічні науки. 2004. Вип. 23. С. 85–89.

8. Про освіту: Закон України від 05.09.2017 № 2145-VIII. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19> (дата звернення: 01.03.2019).

9. Сиротюк В. Д., Баштовий В. І. Фізика: підруч. для 11 кл. загальноосвіт. навч. закл.: (рівень стандарту). Харків: Сиція, 2011. 304 с.

REFERENCES

1. Baryakhtar, V. G., Bozhinova F. Y., Kiryukhin M. M. and Kiryukhina O. O. (2011), *Phyzyka 11 klas. Akademichniy riven'. Profil'niy riven': pidrychnyk dlya zagalnoosvit. navch. zakl* [Physics. Grade 11. Academic level. Profile level: textbook for general educational institutions], Publishing House "Ranok", Kharkiv, Ukraine.

2. Gribkovsky, V. P. (1988), *Poloprovodnykovie lazery: ycheb.posobie po spez. "Radiofyzika y elektronika"* [Semiconductor lasers: tutorial on specialty "Radio physics and electronics"], University, Minsk, Russian.

3. Sharapova, V. M. and Polischuk, E. S. (2012), *Datchyky: spravochnoe posobie* [Sensors: reference manual], Technosphere, Moscow, Russian.

4. Zasekina, T.,M., Zasekin, D.,O. (2011), *Phyzyka pidrychnyk dlya 11 klasy zagalnoosvit. navch. zakl. (akademychniy riven', profylniy riven')* [Physics: textbook for 11 grade: academic level, profile level], Sitsya, Kharkiv, Ukraine.

5. Zvelto, O. (2008), *Prynzyipy lazerov* [Principles of lasers] / per. pod nauch. red. Shmaonova, T.A. Lan', St. Petersburg, Russian.

6. Korshak, E. V., Lyashenko, O. I. and Savchenko, V. F. (2011), *Phyzyka pidrychnyk dlya 11 klasy zagalnoosvit. navch. Zakl (standartnyy riven')* [Physics: textbook for 11 grade for general educational institutions (standard level)], *Genesis*, Kyiv, Ukraine.

7. Naumchik, P.I. (2004), *Sychasna tehnika v kursi shkilnoi fiziki* [Modern technique in the course of school physics]. *Bulletin of the Chernihiv*

State Pedagogical University T.G. Shevchenko. Series: Pedagogical Sciences. № 23, 85–89.

8. About education: Law of Ukraine dated September 5, 2017 No. 2145-VIII, available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2145-19> (Accessed 24 March 2019).

9. Syrotyuk, V. D., Bashtovy, V. I. (2011), *Phyzyka pidrychnik dlya 11 klasy zagalnoosvit. navch. zakl.: (riven' standarty)* [Physics: textbook for 11 grade for general educational institutions (standard level)], *Sitsya*, Kharkiv, Ukraine.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

НАУМЧИК Павло Іванович – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри ІВТ, метрології та фізики Чернігівського національного технологічного університету.

Наукові інтереси: проблеми методики навчання фізики.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

НАУМЧИК Павел Иванович – кандидат педагогических наук, доцент кафедры ИВТ, метрологии и физики Черниговского национального технологического университета.

Научные интересы: проблемы методики обучения физике.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

NAUMCHIK Pavlo Ivanovich – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of ICT, Metrology and Physics of Chernihiv National Technological University.

Circle of scientific interests: problems of methodology of teaching physics.

НАУМЧИК Павло Іванович. ОНОВЛЕННЯ МАТЕРІАЛУ ШКІЛЬНОЇ ФІЗИКИ У СФЕРІ ВИВЧЕННЯ ЛАЗЕРНОЇ ТЕХНІКИ

Анотація. У роботі в межах компетентності в природничих науках і технологіях розглянуто проблему ознайомлення учнів на уроках фізики із сучасною технікою. Аналіз шкільних підручників показав, що матеріал, який подається в них про квантові генератори, є безнадійно застарілим. Принцип роботи лазера описують на рубіновому лазері, який уже тривалий час практично не використовується. Ця стаття присвячена проблемі оновлення матеріалу шкільної фізики у сфері вивчення лазерної техніки й лазерного випромінювання. З цією метою коротко розглянута історія створення лазерної техніки. На рівні, доступному для учнів старшої школи, розглянуто будову та принцип дії напівпровідникового лазерного діода. Детально розглянуто основні властивості лазерного випромінювання. На додаток наведено приклади запитань і розрахункових задач із лазерної техніки.

Ключові слова: компетентності, квантові генератори, вимушене випромінювання, інверсна заселеність, лазерний напівпровідниковий діод, інжекція, властивості лазерного випромінювання.

НАУМЧИК Павел Иванович. ОБНОВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛА ШКОЛЬНОЙ ФИЗИКИ В СФЕРЕ ИЗУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. В работе в рамках компетентности в естественных науках и технологиях рассмотрена проблема ознакомления учащихся на уроках физики с современной техникой. Анализ школьных учебников показал, что материал, поданный в них о квантовых генераторах, является безнадежно устаревшим. Принцип работы лазера описывают на рубиновом лазере, который уже длительное время практически не используется. Эта статья посвящена проблеме обновления материала школьной физики в области изучения лазерной техники и лазерного излучения. С этой целью кратко рассмотрена история создания лазерной техники. На уровне, доступном для учащихся старших классов, рассмотрены устройство и принцип действия полупроводникового лазерного диода. Подробно рассмотрены основные свойства лазерного излучения. В дополнение приведены примеры вопросов и расчетных задач по лазерной технике.

Ключевые слова: компетентности, квантовые генераторы, вынужденное излучение, инверсная заселенность, лазерный полупроводниковый диод, инжекция, свойства лазерного излучения.

NAUMCHIK Pavlo Ivanovich. UPDATING MATERIALS OF SCHOOL PHYSICS IN STUDYING LASER TECHNOLOGY

Annotation. In this work in the limits of competence in natural sciences and technologies is considered the problem of familiarizing students with physics lessons with modern techniques on the example of semiconductor lasers. An analysis of modern school textbooks and a program in physics showed that the material presented in them about quantum generators is hopelessly outdated. The principle of the work of quantum generators in textbooks is described by the example of a ruby laser, which has been practically not used for a long time. And the principles of modern semiconductor lasers, which are mostly used in the present technology, differ significantly from the principle of the operation of a ruby laser. Therefore, there is a need to review the educational material of physics textbooks on laser subjects.

This article is devoted to the problem of updating the material of school physics in the field of studying laser technology and laser radiation. For this purpose is briefly considered

the history of the creation of laser technology starting from the idea set forth by A. Einstein in 1916 about the probability of the so-called forced radiation, created in 1957 by Ch. Taunson, O. Prokhorov and M. Basov ruby laser, up to a modern semiconductor laser diode.

Are considered features of spontaneous and forced radiation, conditions of their origin and properties.

The article also introduces the basic concepts which are used in familiarizing with laser technology, in particular: inverse population; optical, electric, thermal pumping; injection of non-main charge carriers through p-n - transition.

The structure and principle of the injection semiconductor laser diode is considered at the level available for high school students. Describing the principle of laser operation is explained how is forming the pumping of a semiconductor laser diode, the formation of forced radiation and the formation of a ray in the Fabry-Perroux resonator.

The main properties of laser radiation are considered in detail: its high spectral density, high directivity, monochromasy, coherence, polarization, multiphoton. Are given examples of using these properties.

In addition, are given examples of questions and calculation tasks on laser technology. By dint of which you can check the quality of assimilation of the material by students and deepen understanding of the processes that occur during the formation of radiation by a laser diode.

Key words: *competence, quantum generators, forced radiation, inverse population, laser semiconductor diode, injection, properties of laser radiation.*