

Lazerin Doğuşu ve Uygulamaları

Fatma KAYA^{1,*}



Araştırma Makalesi

Takvim-i Vekayi
ISSN: 2148-0087

Basım (Published): 30.06.2024
Kabul (Acceptance): 18.10.2023
Gönderi (Submitting): 13.01.2023

Cilt (Vol): 12
No (Issue): 1
Sayfa (Pages): 14-25

Adres:

¹Recep Tayyip Erdoğan
Üniversitesi, 53100, Rize, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-0678-7564

*Sorumlu Yazar (Corresponding);
E-mail: fatma_kaya22@erdogan.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Lazerler, Lazer tarihi, Lazer uygulamaları.



TELHİS (ÖZ)

“Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” kısaltılması olan Lazer kavramı ışığın uyarılmış bir radyasyon ile yükseltilmesi anlamına gelmekte olup optik bir düzeneden oluşmaktadır. Bu optik düzenede lazer aktif maddesi, pompalama kaynağı ve optik rezonatör lazer bileşenlerinden oluşmaktadır. Optik düzenede bulunan lazer aktif maddesi (orta kazanç) lazer oluşumun bir şartı olan nüfus terslenmesinin gerçekleşmesi için bir ortam oluşturmaktadır. Ayrıca lazerin emisyon özelliklerini de belirlemektedir. Bu maddeler katı, sıvı, gaz ve plazma olarak 4 çeşit olabilmektedirler. Lazerlerin diğer bir bileşeni olan pompalama kaynağı enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır ve burada kaynak olarak optik pompalama, yarıiletken diyotlar ve elektrik akımı vb. şeyler kullanılmaktadır. Son bileşen olarak rezonatör de ise ışınların çoğaltılması için geri bildirim sistemi oluşturmaktadır. Rezonatör aynalardan ve özel kaplanmış yüzeylerden oluşmaktadır. Bu sistemden oluşturulan lazer ışının diğer ışıklardan farklı olarak tutarlı, yönlü ve tek renkli özelliklerinden ötürü benzersiz kılmaktadır. Lazerlerin etkileyici ve kullanışlı özelliklerinden dolayı geçmişten günümüze kadar pek çok bilim insanı ve mühendislerin çalışmaları ile gelişerek hayatımızda büyük rol oynamıştır. Lazerlerin gelişimi sonucunda ortaya çıkan çeşitli türlerde lazerler mühendislik alanında, havacılık alanında, trafik kontrol sistemlerinde, holografide, tıpta, telekomünikasyonda, endüstriyel de ve bilimsel araştırma gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışma ile de lazer teknolojisinin tarih boyunca gelişimi ve uygulamaları incelenecektir.

Birth of Laser and Its Applications

Research Article

ABSTRACT

The concept of Laser, which is an abbreviation of "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation", means the amplification of light by a stimulated radiation and consists of an optical mechanism. This optical assembly consists of laser active material, pumping source and optical resonator laser components. The laser active material (mid-gain) in the optical assembly creates an environment for population reversal to occur, which is a condition of laser formation. It also determines the emission characteristics of the laser. These substances can be of 4 types as solid, liquid, gas and plasma. Pumping source, another component of lasers, is used as energy source, and optical pumping, semiconductor diodes and electric current etc. are used as sources. things are used. As the last component, the resonator forms a feedback system for the reproduction of the rays. The resonator consists of mirrors and specially coated surfaces. Different from other lights, the laser beam created from this system makes it unique due to its consistent, directional and monochromatic properties. Due to the impressive and useful features of lasers, they have played a great role in our lives by developing with the work of many scientists and engineers from past to present. Various types of lasers that emerged as a result of the development of lasers are used in many fields such as engineering, aviation, traffic control systems, holography, medicine, telecommunications, industrial and scientific research. With this study, the development and applications of laser technology throughout history will be examined.

KEYWORDS

Lasers, Laser history, Laser applications.

1. GİRİŞ

Lazer ışınları tek renkli, eş fazlı ve aynı frekanstadırlar (Renk, 2017). Lazer ışını monokromatik olduğundan yani dar bir spektral alana sahip olmasından ötürü filtrelenmiş ışığa nazaran yüksek verimliliğini belirlemektedir. Lazerler aktif malzemesine göre, pompalama tekniğine göre, dalga boyuna göre ve zamana göre davranışları için farklı lazer çeşitleri bulunmaktadır (Renk, 2017). Genel olarak lazerler ortamın yarıiletken, katı, sıvı ve gaz olmasına göre sınıflandırılmaktadırlar. Yarı iletken lazerleri, katı hal lazerleri, sıvı boya lazerleri ve gaz lazerleri olmak üzere 4 çeşittirler (Renk, 2017). Yarı iletken (Diyot) lazerler barkod tarayıcılarda kullanılmaktadır ve bu tip lazerler oldukça küçük boyutlu ve ucuzdurlar (Agrawal, 1995). Katı hal lazerleri olarak bilenen lazerler kristal gibi katı bir ortamdan oluşmaktadır. Genel olarak bu tür lazerler askeri uygulamalarda kullanılmaktadırlar (Koechner, 1976). Sıvı boya lazerleri ise sıvı solüsyonda rodamin benzeri sıvı boyalar kullanılmaktadır. Bu tür lazerlerde elektronlar ayrıca bir lazer tarafından uyarılmaktadır ancak isteğe bağlı ark ya da flaş lambası da kullanılmaktadır. Bu lazerlerin en önemli özelliği geniş bir frekans bandında sahip olmalarıdır. Lidar da kullanılmaktadırlar (Duarte, 2003). Gaz lazerleri ise karbondioksit, helyum-neon ya da nitrojen gibi gaz temelli aktif ortamlardan kurulan lazerlerdir. Bu tür lazerler genelde kaynak işlemlerinde kullanılmakta olup oldukça güçlü ve verimlidirler (Bloom, 1968), (Ramasamy ve Albright, 2000).

Lazer ışını küçük bir bölgede oldukça büyük enerji biriktirebilmektedir. Lazerde ışığın alanı büyümediği için güç yoğunluğu izlediği yol boyunca aynı kalmaktadır. Tabii ki ışığın yapısı gereği lazer ışığı da açılacaktır ancak bu ışığın yapısı gereği olan bir durumdur ve oldukça düşüktür. Bu durumdan ötürü günlük hayatımızdaki uygulamalarda lazerler oldukça kullanılmaktadır.

Lazer teknolojisinin uygulama alanlarında; lazer ışının etki edeceği ortamda lazerin dalga boyu, darbe süresi, ışımaya enerjisi, güç yoğunluğu, açılması gibi etkili olan özellikler bulunmaktadır. Örneğin lazerlerin tıp alanındaki uygulamalarına bakıldığında ışının uygulanabileceği sert dokular (Lobene, 1966), yumuşak dokular (Myers, Myers ve Stone, 1989) ve akışkanlar (Tuchin, 2009) olmak üzere 3 doku mevcuttur. Lazer ışını bir dokuya uygulandığında incelenmesi gereken faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler

birincil etkenler ve ikincil etkenler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Birincil etkenler spektral yansıma ve kırılma, elektromanyetik saçılma, spektral soğurma ve geçirme gibi lazer etkilerini doğrudan doğruya gözlemleyebildiğimiz faktörlerdir. İkincil etkenler ise uygulama zamanı yani lazer hangi güçte dokuya ne kadar süre uygulanacak, ısıl etkileşim, ısı kaldırma ve plazma oluşumu gibi faktörlerdir (Steiner, 2010). Tıp uygulamalarında kullanılan lazer çeşidinin öncelikle tedavi amaçlı mı yoksa teşhis amaçlı mı kullanılacağına dikkat edilmelidir. Çünkü teşhis için kullanılan lazerin herhangi bir bölgeye zarar vermemesi gerekmektedir ancak tedavi için kullanılan lazerler zarar vermek amacıyla (tümör yakılması gibi) kullanılmaktadır (Staeher, Schmiedt ve Hofsetter, 1978).

2. LAZER TARİHİ

Lazerin doğuşu 1917 yılında Albert Einstein tarafından uyarılmış emisyon (Einstein, 1917) ifadesinin ortaya atılması ile başlamaktadır. Ardından 1954 yılında Charles H. Townes ve öğrencisi James Gordon adlı bilim adamları tarafından mikrodalga bölgesinde çalışan Mazer (mazer düşük radyo frekanslarında çalışan cihazlar mikrodalgalardan daha yüksek frekanslarda çalışan cihazlarda lazerlerdir) bulunmuştur (Gordon, Zeigler ve Townes, 1954). ABD de bulunan Hughes Araştırma Laboratuvarında yakut kristali ile yapılan başarılı çalışmalarının sonucunda 1960 yılında Theodore Maiman adlı bilim adamı ilk kez lazeri çalıştırmıştır (Maiman, 1960). Bell laboratuvarında kızılötesi bölgesinde çalışıp He-Ne olarak isimlendirilen ilk gaz lazerleri 1961 yılında Ali Javan, Donald Herriott ve William R. Bennett bilim adamları tarafından keşfedilmiştir (Javan, Bennett ve Herriott, 1961). Aynı yıllarda ve aynı laboratuvarında Tingye Li ve Gardner Fox bilim adamları tarafından optik rezonatör teorisi ortaya atılmıştır (Fox ve Li, 1961). General Electric Laboratuvarında yakın kızıl ötesi bölgesinde çalışıp Gallium Arsenitten yapılmış ilk yarı iletken lazerler 1962 yılında Robert N. Hall tarafından icat edilmiştir (Hall, Fenner, Kingsley, Soltys ve Carlson, 1962). 1962 yıllarında çıkış ışının darbeli olması yani lazer enerjisinin çok kısa darbelerde iletilmesini bulan F.J. McClung ve R.W. Hellwarth bilim adamları bu buluşu Q-anahtarlama olarak isimlendirmektedir (Hellwarth ve McClung, 1962). Aynı yıllarda lazer ışının

sürekli dalga rejiminde çalışması bulunulmuştur. Sürekli dalga rejimi lazerin çıkış gücü zamana göre değişmemesi sabit kalması anlamına gelmektedir. Bu rejimde katı hal lazerleri Kurt Nassau, Leo F. Johnson, Boyd ve R.R. Soden bilim adamları tarafından keşfedilmiştir (Johnson, Boyd, Nassau and Soden, 1962). Daha sonra farklı bir lazer çeşidi olan Nd:YAG lazerleri Bell laboratuvarında 1964 yılında Joseph E. Geusic, LeGrand Van Uitert ve H.M. Marcos bilim adamları tarafından keşfedilmiştir (Geusic, Marcos ve Van Uitert, 1964). Aynı yılda ve aynı laboratuvarında gaz lazer çeşidi olan CO₂ (Karbondioksit) lazerleri C.K.N. Patel tarafından geliştirilmiştir (Patel, 1964). Bir başka gaz lazer çeşidi olan Argon iyon lazerleri aynı yılında William B. Bridges bilim adamı tarafından geliştirilmiştir (Bridges, 1964). California Üniversitesinde ilk kimyasal lazer 1965 yılında G. Pimental ve J.V.V. Kasper, bilim adamları tarafından keşfedilmiştir (Kasper ve Pimentel, 1965). Aynı yıllarda N. Bloembergen tarafından dalganın doğrusal olmayan bir ortamda da yayıldığı gösterilmektedir (Bloembergen, 1965). IBM Laboratuvarında ilk boya lazerleri 1966 yılında P. Sorakin ve J. Lankard, bilim adamları tarafından keşfedilmiştir (Sorakin ve Lankard, 1966). Moskova'da bulunan Lebedev Laboratuvarında Xenon tabanlı ilk excimer lazerleri 1970 yılında Nikolai Basov Grubu tarafından bulunmuştur (Basov, Danilychev, Popov ve Khodkevich, 1970). Stanford Üniversitesinde ilk serbest elektron lazeri 1977 yılında John M. J. Madey's Grubu tarafından bulunmuştur (Deacon, vd., 1977). X-ışın lazerleri 1984 yılında (26 Ekim 1984'te alındı) Dennis Matthew's Grubu tarafından Lawrence Livermore Laboratuvarında ilk kez gösterilmiştir (Matthews, vd., 1985). Southampton Üniversitesinde optik fiber lazeri 1985 yılında David Payne tarafından bulunmuştur (Mears, Reekie, Poole ve Payne, 1985). 2001 yılında Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarlarında katı hal ısı kapasiteli lazerler gösterilmiştir (Dane, Flath, Rotter, Fochs ve Brase, 2001). En son olarak Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü, Colorado Boulder ile beraber çalışan JILA ABD araştırmacıları ve Physijalisch Techinsche Bundesantalt çalışmaları neticesinde rekor olarak 10 mHz hat genişliğine sahip olan erbiyum katkılı fiber lazerleri 2017 yılında bulunmuştur (Matei, vd., 2017).

3. LAZER UYGULAMALARI

Tarihte bilinen ilk kez güneş banyosunun sağlığa iyi geldiğini Mısırlılar ortaya atmıştır. Daha sonra güneş banyosunun Yunanlılar ve Romalılar tarafından fototerapiye iyi geldiğini söylemişlerdir (Bertolotti, 2005). Çinliler tarafından deri kanseri gibi hastalıkları yavaşlattığını bulmuşlardır (Jelinkova, 2013). Işığın sağlık üzerindeki etki çalışmaları Orta çağlarda kesintiye uğramış olsa da 19 yy. sonlarında tekrardan çalışmaların olduğu ve doğal tedavi olarak etkili olduğu bulunmuştur (Friedhelm ve Wade, 1994). 1950 yıllarında göze ışık göndererek göz retinasına yapışmış olan kirlerin çıkartılmaya çalışılması üzerine çalışmalar yapılmış ve ilerleyen yıllarda bu konuda da başarılı olmuşlardır (Meyer-Schwickerath, 1989). İlk başlarda her yöne ışık verebilen ark lambası kullanılarak retina bakımı yapılırsa da lazerin geometrik düzene sahip olduğundan odaklanması daha kolay olmasından ötürü 1960'da yakut lazerinin keşfedilmesi ile birlikte çalışmalar bu alana doğru kaymıştır (Maiman, 1960). Tavşanlar üzerinde yapılan çalışmaların (Birngruber, Puliafito, Gawande, Lin ve Schoenlein, 1987) ardından ilk kez Ch. J. Campbell ve Ch. Zweng doktorları insan üzerinde ameliyat yaptılar (Koester ve Campbell, 2003). Lazerin göz üzerindeki tedavisinin yanında yakut lazerlerinin deri hastalığı tedavilerinde de etkili olacağı 1961 yıllarında araştırılmaktaydı. Araştırmaların neticesinde 1963 yıllarında Leon Goldman ve arkadaşları lazerin cilt üzerindeki etkileri ile ilgili yaptıkları çalışmaları yayınladılar (Goldman, Blaney, Kindel ve Franke, 1963). Geçen yıllarda ve halen bu yöntem doğum izleri ve dövme izlerini sildirmede kullanılmaktadırlar (Waynant, 2002), (Fitzpatrick ve Lupton, 2000). Yakut lazerlerin yanında Karbondioksit ve Nd:YAG lazerleri de tıp alanında özellikle de bu lazer türlerinin dokuyu kesebilmelerinden ötürü ameliyatlarda oldukça kullanılmaktadırlar (White, Goodis ve Rose, 1991). Ayrıca lazerler diş hekimliğinde de oldukça kullanılmaktadır. Özellikle Nd:YAG lazerler kanal tedavisi (Moshonov, Qrstavik, Yamauchi, Pettiette, ve Trope, 1995) ve diş eti tedavilerinde (Lan ve Liu, 1996), Erbiyum lazerler dişlerdeki çürükleri temizlemede (Aoki, vd., 1995), Karbondioksit lazerler cerrahi işlemlerde kullanılmaktadır (Pick ve Pecaro, 1987). Bunların yanında lazerler kanser tanılarında (Alfano, Wang ve Gayen, 2005), (Gupta, Majumder ve Uppal, 1997), ürolojide Holmium: YAG lazerleri (Johnson, Cromeens ve Price, 1992), (Traxer

ve Keller, 2019), plazma oluşturmada (Matsui, Ono, Kamei ve Mori, 2019), akciğer (Provotorov, Chesnokov ve Kuznetsov, 1991) ve karaciğer (Kandathil, vd., 2013), (Sizova, vd., 2020) hastalıklarında, akne tedavilerinde (Jordan, Cummins ve Bursl, 2000), (Wiznia, Stevenson ve Nagler, 2017) başarılı şekilde kullanılmaktadırlar.

Tıp alanının yanında lazerler askeri alanında (Ahmed, Mohsin ve Zubair Ali, 2020) da kullanılmaktadır. Lazer ile mesafe ölçümünün yapılması 1963-1964 yıllarına dayanmaktadır. Askeri alanında lazer kullanımı ilk olarak 1970'li yıllarda savaş meydanı hedeflerindeki mesafeleri ölçmek için olmuştur (Huffaker, Jelalian ve Thompson, 1970). Günümüzde de halen savunma için füze saldırılarında lazer kullanılmakta ve geliştirilmektedir. Özellikle katı hal lazerlerinden olan Nd:YAG lazerleri ve Fiber lazerleri kullanılmaktadır (Kaushal ve Kaddoum, 2017).

Lazerlerin diğer bir kullanım alanı olarak endüstri de de kullanılmaktadır (Nowak, Antonczak, Koziol ve Amramski, 2013). İlk olarak 1982 yıllarında ultraviyole excimer lazerler ile polimerler üzerinde çalışmalar yapılınca mikroişlemede kullanılabileceğini tevhik etmiştir (Kawamura, Toyoda ve Namba, 1982), (Srinivasan ve Mayne-Banton, 1982). Günümüzde de ultraviyole lazerler, Nd:YAG lazerleri baskılı devre kartları ve mikroişlemci yapmak için kullanılmaktadırlar (Baird, Hainsey, Peng ve Pirogovsky, 2007), (Lu, Markvicka, Jin ve Majidi, 2017).

4. SONUÇ

Yapılan bu incelemelerin sonucunda lazerlerin elektrik ampulü, akkor lambası ve güneş gibi ışık kaynaklarında olmayan niteliklere sahiptir. Bu nitelikler lazerleri diğer ışık kaynaklarından daha özel ve önemli hale getirerek uygulamalarda daha kullanışlı olmasını sağlamaktadır. Uzun yıllar boyunca farklı özelliklere sahip olan pek çok sayıda lazer türleri geliştirilmiştir ve halen geliştirilmeye devam edilmektedir. Gün geçtikçe lazerlerin elmas kesiminden, internet sinyallerin taşınmasına, barkod tarayıcılarından, kanser tedavilerine, mesafe ölçümünden, ameliyatlara kadar hayatımızdaki kullanımlarıyla önemli bir yere sahip olmuştur. Çok sayıda lazer çeşidi bulunduğundan hangi lazer çeşidinin hangi alana uygulandığında daha verimli sonuçlar elde edileceği

belirli niteliklere bağıdır. Bu doğrultuda lazer ışının dalga boyunun ne olduğu önemlidir. Çünkü her malzemenin dalga boyunun farklı soğurma oranları mevcuttur. Lazerin çalışma modu (sürekli dalga rejimi, darbeli rejim) da lazer seçiminde bir etkidir. Ek olarak lazer ışının çıkış gücü nerelerde kullanılması gerektiğini belirlemekte başka bir etkidir. Örneğin mikroişleme de lazerin ortalama gücünün maksimum 50 W olması yeterli olurken metal parçaların lazerle kesimi için yaklaşık 9000 W güce ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gibi özelliklere dikkate alınarak her alanda ihtiyaca göre farklı özellikteki lazer çeşidi kullanılmaktadır.

Belirli dalga boyu lazerlerinde gözler lazerden korunmazsa, lazer ışının hizalaması doğru yapılmazsa ya da hizalama esnasında gözün lazere maruz kalması durumunda, yüksek gerilim sistemlerindeki kullanımının doğru olmaması, ekipmanın bozulması, servise gönderilen lazer cihazının doğru şekilde tamir edilememesi durumunda lazer tehlikeleri oluşmaktadır. Bu durumda lazer cihazlarının uygulamalarda kullanılırken kontrolleri ve bakımlarının yaptırılması, cihazın doğru şekilde kullanılması için eğitim verilmesi, sağlık ve güvenlikte oluşabilecek tehlikeler hakkında eğitimlerin verilmesi gerekmektedir. Özellikle tıpta kullanılan lazerler cihazlarının cerrahlar, doktorlar, teknisyenler ve işinin ehli insanlar bu aletleri kullanmalıdırlar.

KAYNAKÇA

- Agrawal, G. P. (1995). *Semiconductor lasers: past, present, and future*, New York, AIP Press/American Institute of Physics.
- Alfano, S., Wang, W. B., and Gayen, S. K. (2005). Lasers in cancer detection and diagnosis research: Enabling characteristics with illustrative examples. *Technology in Cancer Research & Treatment*, 4(5), 663-673. doi:10.1177/153303460500400611
- Aoki, A., Otsuki, M., Ando, Y., Yamada, T., Watanabe, H., and Ishikawa, I. (1995). The application of Er:YAG laser to treat root caries lesion. *Proc. SPIE 1984, Advanced Laser Dentistry*
- Baird, B. W., Hainsey, R. F., Peng, X., and Pirogovsky, P. Y. (2007). Advances in laser processing of microelectronics. *Solid State Laser XVI: Technology and Devices*.
- Basov, N. G., Danilychev, V. A., Popov, Yu. M., and Khodkevich, D. D. (1970). Laser operating in the vacuum region of the spectrum by excitation of liquid xenon with an electronic beam, *JETP Lett*, 12, 329-331.
- Bertolotti, M. (2005). *The history of the laser*. IOP publishing, Bristol, UK.
- Birngruber, R., Puliafito, C. A., Gawande, A. Lin, W., and Schoenlein, R. W. (1987). Femtosecond laser-tissue interactions: retinal injury studies, *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 23(10), 1836-1844.
- Bloembergen, N., (1965). *Nonlinear Optics*. Benjamin, New York.
- Bloom, A. L. (1968). *Gas lasers*, Wiley, New York.
- Bridges, W. B. (1964). Laser oscillation in singly ionized argon in the visible spectrum. *Appl. Phys. Lett.*, 4, 128-130.
- Deacon, D., Elias, L., Madey, J. M. J., Ramian, G. J., Schwettmann, H. A., and Smith, T. I. (1977). First operation of a free-electron laser, *Phys. Rev. Lett.* 38(16), 892-894.
- Duarte, F.J. (2003). Organic dye lasers: Brief history and recent developments. *Optics and Photonics News*, 14(10), 20-25. doi:10.1364/OPN.14.10.000020
- Einstein, A. (1917). Zur Quantentheorie der Strahlung. *Phys. Z.*, 18, 121-128.
- Fitzpatrick, R. E., and Lupton, J. R. Successful treatment of treatment-resistant laser-induced pigment darkening of a cosmetic tattoo. *Laser Surg. Med.* 27, 358-361.
- Dane, C. B., Flath, L., Rotter, M., Fochs, S., and Brase, J. (2001). The design and operation of a 10kW solid-state heat-capacity laser. *IEEE CLEO 2001, Technical Digest, Summaries of papers presented at the conference on lasers and Electro-optics, Postconference Technical Digest – Baltimore, MD, USA*.
- Fox, A. G., and Li, T. (1961). Resonant modes in a maser interferometer, *Bell Syst. Tech. J.*, 40, 453-458.
- Friedhelm, K., and Wade, B. (1994). *Nature Doctors: Pioneers in naturopathic medicine*, NCNM Press, Portland, Oregon.
- Geusic, J. E., Marcos, H. M., and Van Uitert, L. G. (1964). Laser oscillations in Nd-doped yttrium aluminum, yttrium gallium and gadolinium garnets. *Applied Physics Letters*, 4(10), 182-184.
- Goldman, L., Blaney, D. J., Kindel, D. J., and Franke, E. K. (1963). Effect of the laser beam on the skin. *J. Invest. Dermatol.*, 40, 121-122.

- Gordon, J. P., Zeiger, H. J., and Townes, C. H. (1954). Molecular microwave oscillator and new hyperfine structure in the microwave spectrum of NH₃, *Phys. Rev.* 95, 282284.
- Gupta, P. K., Majumdar, S. K., and Uppal, A. (1997). Breast cancer diagnosis using N₂ laser excited autofluorescence spectroscopy. *Lasers in Surgery and Medicine*, 21(5), 417422.
- Hall, R. N., Fenner, G. E., Kingsley, J. D., Soltys, T. J. and Carlson, R. O. (1962). Coherent light emission from GaAs junctions. *Phys. Rev. Lett.*, 9, 366-368.
- Hellwarth, R. W. and McClung, F. J. (1962). Giant pulsation from ruby, *J. Appl. Phys.*, 33, 838-841.
- Huffaker, R. M., Jelalian, A. V., and Thompson, J. A. L. (1970). Laser-doppler system for detection of aircraft trailing vortices. *Proc. IEEE*, 58, 322-326.
- Javan, A., Bennett, W. R. and Herriott, D. R. (1961). Population inversion and continuous optical maser oscillation in a gas discharge containing a He-Ne mixture, *Phys. Rev. Lett.* 6, p.106.
- Jelinkova, H. (2013). Introduction: the history of lasers in medicine. *Lasers for Medical Applications*, 1-13. doi:10.1533/9780857097545.1
- Johnson, L. F., Boyd, G. D., Nassau, K., and Soden, R. R. (1962). Continuous operation of a solid-state optical maser, *Phys. Rev.* 126, 1406-1409.
- Johnson, D. E., Cromeens, D. M., and Price P. E. (1992). Use of holmium:YAG laser in urology. *Lasers Surg. Med.* 12(4), 353-363.
- Jordan, R., Cummins, C., and Burls, A. (2000), Laser resurfacing of the skin for the improvement of facial acne scarring: a systematic review of the evidence, *Br. J. Dermatol.*, 142(3), 413-423.
- Kandathil, A. J., Graw, F., Quinn, J., Hwang, H. S., Torbenson, M., Perelson, A. S., Ray, S. C., Thomas, D. L., Ribeiro, R. M., and Balagopal, A. (2013). Use of laser capture microdissection to map hepatitis C virüs-positive hepatocytes in human liver. *Gastroenterology*, 145(6), 1404-1413. doi: 10.1053/j.gastro.2013.08.034.
- Kasper, J. V. V., and Pimentel, G. C. (1965). HCl chemical laser, *Phys. Rev. Lett.*, 14, 352.
- Kaushal, H., and Kaddoum, G. (2017). Applications of Lasers for Tactical Military Operations. *IEEE Access*, 5(), 20736-20753. doi:10.1109/ACCESS.2017.2755678
- Kawamura, Y., Toyoda, K., and Namba, S. (1982). Effective deep ultraviolet photoetching of polymethyl methacrylate by an excimer laser. *Appl. Phys. Lett.* 40, 374.
- Koechner, W. (1976). Solid-state laser engineering, Springer Series in Opt. Sciences, Vol. 1, Springer Verlag, Berlin.
- Koester, C., and Campbell, C. (2003). The first clinical application of the laser, *Laser in Ophthalmology: Basic, Diagnostic, and Surgical Aspects: A Review*, in F. Frankhauser and S. Kwasniewska (eds), Kugler Publications, The Hague, 115-117.
- Lan, W. H., and Liu, H. C. (1996). Treatment of dentin hypersensitivity by Nd:YAG laser. *Journal of Clinical Laser Medicine & Surgery*, 14(2), 89-92.
- Lobene, R. R., and Fine, S. (1966). Interaction of CO₂ laser radiation with oral hard tissues. *J. Prosthet. Dent.*, 16, 589.

- Lu, T., Markvicka, E. J., Jin, Y., and Majidi, C. (2017). Soft-matter printed circuit board with UV laser micropatterning. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 9(26), 2205522062.
- Maiman, T. H. (1960). Optical and microwave-optical experiments in ruby, *Phys. Rev. Lett.* 4, 564-566.
- Matsui, M., Ono, T., Kamei, T., and Mori, K. (2019). Generating conditions of argon laser-sustained plasma by disk, fiber and diode lasers. *Vacuum*, 167, 490-494. Doi:10.1016/j.vacuum.2018.05.012
- Matthews, D. L., Hagelstein, P. L., Rosen, M. D., Eckart, M. J., Ceglio, N. M., Hazi, A. U., Medeck, H., MacGowan, B. J., Trebes, J. E., Whitten, B. L., Campbell, E. M., Hatcher, C. W., Hawryluk, A. M., Kauffman, R. L., Pleasance, L. D., Rambach, G., Scofield, J. H., Stone, G., and Weaver, T. A. (1985). Demonstration of a soft x-ray amplifier. *Physical Review Letters*, 54(2), 110-113.
- Mears, R. J., Reekie, L., Poole, S. B., and Payne, D. N. (1985). Neodymium-doped single-mode fibre lasers. *Electron. Lett.* 21(17), 738-740.
- Meyer-Schwickerath, G. R. (1989). The history of photocoagulation, *J. Ophthalmol.*, 17, 427-434.
- Moshonov, J., Qrstavik, D., Yamauchi, S., Pettiette, M., and Trope, M. (1995). Nd:YAG laser irradiation in root canal disinfection. *Endod. Dent. Traumatol.* 11(5), 220-224.
- Myers, T. D., Myers, W. D., and Stone, R. M. (1989). First soft tissue study utilising a pulsed Nd:YAG dental laser. *Northwest Dent.*, 68, 14-17.
- Nowak, M. R., Antonczak, A. J., Koziol, P. E., and Abramski, K. M. (2013). Laser prototyping of printed circuit boards. *Opto-Electronics Review*, 21, 320-325. doi:10.2474/s11772-013-0096-4
- Patel, C. K. N. (1964). Continuous-wave laser action on vibrational-rotational transitions of CO₂, *Phys Rev.*, 136, A1187.
- Pick, R. M., and Pecaro, B. C. (1987). Use of the CO₂ laser in soft tissue dental surgery. *Lasers in Surgery and Medicine*, 7(2), 207-213.
- Provotorov, V. M., Chesnokov, P. E., and Kuznetsov, S. I. (1991). The clinical efficacy of treating patients with nonspecific lung diseases using low-energy laser irradiation and intrapulmonary drug administration. *Terapevticheskii Arkhiv*, 63(12), 18-23.
- Ramasamy, S., Abright, C. E., (2000). CO₂ and Nd:YAG laser beam welding of 6111-T4 aluminum alloy for automotive applications. *Journal of Laser Applications*, 12(3), 101115.
- Renk, K. F. (2017). *Basics of laser physics For students of science and engineering.* Springer Cham.
- Sizova, A., Trandofilov, M., Prazdnikov, E., Prohorov, A., Svetashov, V., and Romanenko, O. (2020). The use of laser ablation in the complex treatment of metastatic liver damage. *HPB*, 22(2), 225. doi:10.1016/j.hpb.2020.04.071
- Staehler, G., Schmiedt, E., and Hofstetter, A. (1978). Destruction of bladder neoplasms by means of transurethral neodymium-YAG-laser coagulation. *Helv Chir Acta*, 45(3), 307-311.
- Sorakin, P. P., and Lankard, J. R. (1966). Stimulated emission observed from an organic dye, chloro-aluminum phthalocyanine, *IBM J. Res. Dev.*, 10, 162-163.

- Srinivasan, R., and Mayne-Banton, V. (1982). Self-developing photoetching of poly(ethylene terephthalate) films by far ultraviolet excimer laser radiation. *Appl. Phys. Lett.* 41, 576.
- Steiner, R. (2010). Laser-tissue interactions. *Laser and IPL Technology in Dermatology and Aesthetic Medicine*, 23-36. doi:10.1007/978-3-642-03438-1_2
- Traxer, O., and Keller, E. X. (2019). Thulium fiber laser: the new player for kidney stone treatment? A comparison with Holmium:YAG laser. *World Journal of Urology*, 38, 1883-1894. doi:10.1007/s00345-019-02654-5
- Tuchin, V. V., Ed. (2009). *Handbook of optical sensing of glucose in biological fluids and tissues*, CRC Press, Taylor & Francis Group, London.
- Waynant, R. W., (Ed.) (2002). *Lasers in Medicine* (Foreword by the late Dr Leon Goldman), CRC Press LLC, Boca Raton, Florida.
- White, J. M., Goodis, H. E., and Rose, C. L. (1991). Use of the pulsed Nd:YAG laser for intraoral soft tissue surgery. *Lasers Surg. Med.* 11, 455-461.
- Wiznia, L. E., Stevenson, M. L., and Nagler, A. R. (2017). Laser treatments of active acne. *Laser in Medical Science*, 32, 1647-1658. doi:10.1007/s10103-017-2294-7
- Wright, V. C. (1982). Laser surgery: using the carbon dioxide laser, *Can. Med. Assoc. J.*, 126, 1035-1103.