

Física 12.º ano

04 Os lasers

versão: 0,1

José Pedro do Amaral

22 de abril de 2026

1. Objectivos da aula

No final da aula, os alunos deverão ser capazes de:

1. Distinguir **luz vulgar** de **luz laser**.
2. Explicar a diferença entre **emissão espontânea** e **emissão estimulada**.
3. Compreender o conceito de **inversão de população**.
4. Descrever, qualitativamente, o funcionamento de um laser simples.
5. Identificar propriedades da luz laser:
 - monocromaticidade;
 - coerência;
 - direccionabilidade;
 - elevada intensidade.
6. Reconhecer aplicações dos lasers em ciência, tecnologia e medicina.
7. Relacionar o funcionamento do laser com os modelos quânticos da matéria e com as transições electrónicas.

2. Conceitos prévios

Para compreender os lasers estes conceitos deverão ser considerados:

quantização da energia;
níveis de energia dos átomos;
transições electrónicas;
emissão e absorção de fotões;
a relação

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

3. Materiais sugeridos

Algum equipamento que poderá ser usado para coadjuvar a aula:

ponteiro laser de baixa potência, se disponível;

lanterna;

prisma ou rede de difração, se houver;

fumo artificial ou giz em pó no ar, apenas se seguro e permitido;

quadro;

eventualmente um CD ou DVD para mostrar dispersão;

imagens de leitor de código de barras, fibra óptica, cirurgia ocular, corte industrial e LIDAR.

4. Estrutura temporal da aula

Tempo	Bloco
0–15 min	Motivação e introdução
15–30 min	Revisão quântica necessária
30–55 min	Emissão espontânea e emissão estimulada
55–80 min	Como funciona um laser
80–95 min	Propriedades da luz laser
95–110 min	Aplicações e limitações
110–120 min	Consolidação, perguntas e mini-avaliação

5. Desenvolvimento da aula

Bloco 1 — Motivação e introdução (0–15 min)

Abertura possível

Começar com a pergunta:

O que é que distingue a luz de uma lanterna da luz de um ponteiro laser?

Deixar os alunos responderem livremente. É provável que surjam ideias como:

a luz laser é mais forte;

vai mais longe;

é mais fina;

tem uma só cor;

é mais concentrada.

Registrar no quadro as respostas dos alunos, mesmo que ainda incompletas.

Demonstração simples

Se houver um ponteiro laser e uma lanterna:

apontar ambos para uma parede distante;
observar que a lanterna espalha a luz por uma zona larga;
observar que o laser produz uma mancha pequena e bem definida.

Ideia-chave a introduzir

A palavra **laser** vem do inglês:

Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

ou, em português,

Amplificação da **L**uz por **E**missão e **S**timulada de **R**adiação

A aula procurará responder a três perguntas:

1. O que é a emissão estimulada?
2. Como é que um laser produz luz tão especial?
3. Para que serve isso na prática?

Bloco 2 — Revisão quântica necessária (15–30 min)

Antes de falar de laser, convém consolidar a base quântica.

Os átomos e moléculas não podem ter qualquer valor de energia. Têm **níveis de energia discretos**.

Se um electrão passa de um nível mais energético para um nível menos energético, pode emitir um fóton com energia:

$$\Delta E = hf$$

ou

$$\Delta E = \frac{hc}{\lambda}$$

Pergunta aos alunos

Se a diferença de energia entre dois níveis for maior, o fóton emitido terá maior ou menor frequência?

Resposta esperada: maior frequência.

Uma cor da luz corresponde a uma determinada gama de frequências ou comprimentos de onda. Portanto, quando um átomo emite luz ao passar entre certos níveis, a luz emitida tem energias específicas.

Ponte para o laser

O laser depende precisamente de transições entre níveis de energia, mas organizadas de um modo muito particular.

Bloco 3 — Emissão espontânea e emissão estimulada (30–55 min)

3.1 Emissão espontânea

Um átomo pode estar num estado excitado. Isso significa que tem um electrão num nível de energia superior ao estado fundamental.

Esse átomo pode, ao fim de algum tempo, regressar espontaneamente a um nível inferior, emitindo um fóton.

Isto chama-se **emissão espontânea**.

Características da emissão espontânea

O fóton emitido:

- sai num instante imprevisível;
- pode sair em direcção aleatória;
- tem fase aleatória em relação aos outros;
- contribui para luz desorganizada.

A maior parte das fontes de luz correntes funciona assim em larga medida:

- lâmpadas;
- chama;
- Sol;
- muitas descargas eléctricas.

3.2 Emissão estimulada

Na emissão estimulada, a presença de uma onda electromagnética com a frequência certa favorece a transição do átomo excitado para um nível de energia inferior. Ao ocorrer essa transição, o átomo liberta a sua energia reforçando a onda já existente.

Em termos de fótons, isto significa que, se já havia um fóton nesse modo de radiação, passaria a haver dois.

O fóton emitido e o fóton incidente têm:

- a **mesma frequência**;
- a **mesma direcção**;
- a **mesma fase**;
- a **mesma polarização**.

Frase-forte

Emissão estimulada = um fóton provoca a emissão de outro fóton gêmeo.

Consequência

Se houver muitos átomos excitados, um fóton pode desencadear uma cascata:

$$1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 8 \rightarrow \dots$$

É daqui que vem a ideia de **amplificação da luz**.

3.3 Comparação resumida

Emissão espontânea	Emissão estimulada
Ocorre sem intervenção externa	É desencadeada por um fóton incidente
Instante aleatório	Depende da chegada do fóton adequado
Direcção aleatória	Mesma direcção do fóton incidente
Fase aleatória	Mesma fase
Luz pouco organizada	Luz altamente organizada

3.4 Perguntas de verificação

1. Na emissão estimulada, o átomo absorve o fóton incidente?
Não. O fóton incidente desencadeia a emissão e, no final, ficam dois fótons.
2. Os dois fótons finais têm a mesma energia?
Sim.
3. Porque é que isto pode levar a amplificação?
Porque um fóton pode originar dois, depois quatro, depois oito, etc.

Bloco 4 — Como funciona um laser (55–80 min)

4.1 O problema fundamental

Se num material houver mais átomos no estado de menor energia do que no estado excitado, a luz que passa tanto pode estimular emissões como ser absorvida.

Para haver ganho líquido de luz, precisamos de ter **mais átomos excitados do que não excitados** num certo par de níveis.

Isto chama-se:

inversão de população

Definição

Inversão de população = situação em que há mais partículas num nível excitado do que num nível inferior relevante.

Em equilíbrio normal, isso não acontece. É preciso forçar o sistema.

4.2 Bombeamento

Para excitar os átomos do meio activo, é necessário fornecer energia. A isso chama-se **bombeamento**.

O bombeamento pode ser feito por:

- descarga eléctrica;
- outra fonte luminosa;
- reações químicas;
- corrente eléctrica;
- outro laser.

Exemplo simples

No laser de rubi clássico, uma lâmpada intensa excitava os átomos do cristal.

4.3 Elementos principais de um laser

Três partes fundamentais:

1. Meio activo

Material onde ocorrem as transições responsáveis pela emissão laser. Pode ser:

- gás;
- cristal;
- semicondutor;
- líquido especial.

2. Fonte de bombeamento

Fornece energia para excitar o meio activo.

3. Cavityde óptica

Dois espelhos em frente um ao outro:

- um quase totalmente reflector;
- outro parcialmente transmissor.

Explicação da cavityde

Os fotões que viajam ao longo do eixo da cavityde reflectem-se repetidamente entre os espelhos. Ao atravessarem o meio activo, estimulam novas emissões. Assim, a luz vai sendo amplificada.

Uma parte da luz sai pelo espelho parcialmente transmissor e constitui o feixe laser.

4.4 Sequência de funcionamento do laser

1. O bombeamento excita os átomos do meio activo.
2. Cria-se uma inversão de população.

3. Alguns fótons iniciais aparecem, muitas vezes por emissão espontânea.
4. Esses fótons, ao atravessarem o meio activo, provocam emissão estimulada.
5. A luz reflecte-se entre os espelhos e é progressivamente amplificada.
6. Uma fracção sai para o exterior sob a forma de feixe laser.

4.5 Nível metaestável

Em muitos lasers, os átomos excitados passam para um **nível metaestável**, onde permanecem durante um tempo relativamente longo. Isso facilita a acumulação de muitos átomos excitados e, portanto, a inversão de população.

Qualitativamente:

um estado excitado comum dura muito pouco;

um estado metaestável dura mais;

isso ajuda a acumular população excitada.

4.6 Como funciona um laser de ponteiro

Um laser de ponteiro comum não funciona exactamente como o laser de rubi clássico. Em vez de um cristal bombeado por uma lâmpada intensa, usa normalmente um **díodo laser**, isto é, um pequeno dispositivo semicondutor percorrido por corrente eléctrica.

Ideia essencial

Quando a corrente eléctrica atravessa o semicondutor, electrões e lacunas recombinaem-se numa região activa. Essa recombinação pode originar emissão de fótons. Em condições adequadas, a emissão estimulada passa a dominar, produzindo um feixe laser.

Elementos principais de um ponteiro laser

1. **Pilha ou bateria**

Fornece a energia eléctrica necessária.

2. **Díodo laser**

É o elemento que gera a luz laser. Trata-se de um semicondutor especialmente construído para favorecer emissão estimulada.

3. **Cavidade óptica microscópica**

No próprio díodo existem superfícies reflectoras que funcionam como espelhos, permitindo a amplificação da luz no interior.

4. **Lente**

Ajuda a colimar o feixe, tornando-o estreito e bem dirigido.

Sequência simplificada de funcionamento

1. Carrega-se no botão do ponteiro.
2. A bateria faz circular corrente no díodo semicondutor.
3. No interior do díodo, a recombinação de cargas produz fótons.

4. Esses fótons estimulam novas emissões no material.
5. A luz é amplificada na pequena cavidade do díodo.
6. O feixe sai para o exterior e é moldado pela lente.

Caso dos ponteiros verdes

Muitos ponteiros verdes não produzem directamente luz verde no díodo. Em muitos casos, o díodo gera primeiro luz infravermelha, que depois é convertida em luz verde por cristais não lineares. Assim, o dispositivo final emite verde, embora a etapa inicial não seja verde.

Bloco 5 — Propriedades da luz laser (80–95 min)

5.1 Monocromaticidade

A luz laser é aproximadamente **monocromática**, isto é, composta por uma gama muito estreita de frequências ou comprimentos de onda.

Não significa necessariamente uma única frequência matemática perfeita, mas sim uma largura espectral muito pequena.

5.2 Coerência

A luz laser é **coerente**.

Isto significa que as ondas mantêm uma relação de fase bem definida entre si, pelo menos ao longo de certo intervalo de tempo e espaço.

De forma acessível:

As cristas e os vales das ondas estão muito mais sincronizados do que numa fonte luminosa vulgar.

5.3 Direccionalidade

A luz laser espalha-se muito pouco. O feixe é muito colimado.

Por isso:

- pode percorrer grandes distâncias;
- mantém-se estreito;
- transporta energia de modo muito concentrado.

5.4 Intensidade elevada

Como a energia fica concentrada numa secção muito pequena, a intensidade pode ser muito grande.

Daí que certos lasers possam:

- cortar materiais;
- aquecer localmente;
- vaporizar pequenas regiões;

medir distâncias com grande precisão.

5.5 Atenção a um equívoco

Nem todo o laser é perigosíssimo ou poderosíssimo. Há lasers de muito baixa potência, como os usados em apontadores ou leitores ópticos.

O que distingue o laser não é apenas ser forte; é sobretudo a sua **organização óptica**.

Bloco 6 — Aplicações e limitações (95–110 min)

6.1 Medicina

cirurgia ocular;
cauterização;
remoção de tecidos;
dermatologia;
odontologia.

6.2 Telecomunicações

transmissão em fibras ópticas;
internet;
comunicações de alta velocidade.

6.3 Indústria

corte de metais;
soldadura;
perfuração;
alinhamento de peças;
gravação.

6.4 Ciência

espectroscopia;
medidas precisas de distância;
interferometria;
arrefecimento de átomos;
experiências fundamentais em física.

6.5 Vida quotidiana

leitores de códigos de barras;
impressoras laser;
leitores ópticos;
ponteiros laser;
medidores de distância.

6.6 Ambiente e cartografia

LIDAR para relevo, florestas e mapeamento tridimensional.

6.7 Segurança

Nunca se deve apontar um laser para os olhos, mesmo que pareça fraco. A focagem da luz pelo olho pode concentrar muita energia na retina e causar lesões.

Também não se deve apontar a:

aviões;
veículos;
pessoas;
superfícies altamente reflectoras em contexto impróprio.

Bloco 7 — Consolidação e mini-avaliação (110–120 min)

Síntese final

1. Os átomos têm níveis de energia discretos.
2. Transições electrónicas envolvem emissão ou absorção de fotões.
3. A emissão espontânea produz luz desorganizada.
4. A emissão estimulada produz fotões “gémeos”.
5. Com inversão de população e cavidade óptica, obtém-se amplificação.
6. O resultado é luz laser: coerente, direcciona e quase monocromática.

6. Perguntas rápidas para avaliar compreensão

1. O que significa a palavra LASER?

Resposta esperada: amplificação da luz por emissão estimulada de radiação.

2. Qual é a diferença essencial entre emissão espontânea e emissão estimulada?

Resposta esperada: na espontânea o átomo emite sozinho; na estimulada um fóton incidente provoca a emissão de outro igual.

3. **Porque é necessária a inversão de população?**

Resposta esperada: para que a emissão estimulada domine sobre a absorção e haja amplificação líquida.

4. **Qual é a função dos espelhos num laser?**

Resposta esperada: manter a luz a atravessar repetidamente o meio activo, promovendo amplificação.

5. **Indica duas propriedades da luz laser.**

Resposta esperada: coerência, monocromaticidade, direcionalidade, elevada intensidade.

7. Texto expositivo corrido para usar em sala

Um laser não é apenas uma fonte de luz muito intensa. É uma fonte de luz produzida por um mecanismo quântico muito especial. Num átomo, os electrões só podem ocupar certos níveis de energia. Quando um electrão passa de um nível mais alto para outro mais baixo, pode emitir um fóton. Se isso acontece por si só, falamos em emissão espontânea. Mas se um fóton com a energia certa passar junto de um átomo excitado, pode provocar a emissão de outro fóton exactamente igual: mesma energia, mesma direcção e mesma fase. A isto chama-se emissão estimulada.

É este fenómeno que permite amplificar a luz. Para isso, porém, é preciso que existam muitos átomos excitados, mais até do que átomos em níveis inferiores relevantes. Essa situação chama-se inversão de população e exige fornecimento externo de energia, isto é, bombeamento.

Num laser, a luz propaga-se através de um meio activo colocado entre dois espelhos. Os fótons reflectem-se repetidamente, atravessando várias vezes o meio activo e estimulando novas emissões. Assim, a luz vai-se amplificando. Um dos espelhos deixa passar uma pequena fracção dessa luz, formando o feixe laser.

A luz laser distingue-se por ser muito direcional, aproximadamente monocromática e coerente. Por isso pode ser usada em medicina, telecomunicações, indústria, leitura óptica, cartografia e investigação científica.

8. Actividade curta para os alunos

Actividade de 8–10 minutos

Pedir aos alunos que, em pares, respondam por escrito:

1. Porque é que a luz de uma lâmpada comum não tem as mesmas propriedades da luz laser?
2. Porque é que a emissão estimulada tende a produzir luz coerente?
3. Porque é que a inversão de população não é um estado natural do sistema?

Depois corrigir oralmente.

9. Possíveis dificuldades dos alunos

1. **Confundir emissão estimulada com absorção**

Deve insistir-se em que:

na absorção, o átomo ganha energia;

na emissão estimulada, o átomo perde energia e aparecem dois fótons no fim.

2. **Pensar que o laser é apenas “luz mais forte”**

Deve corrigir-se a ideia, explicando que a diferença principal está na coerência, direccionalidade e organização espectral.

3. **Não perceber a necessidade da cavidade**

Explicar que os espelhos aumentam muito a probabilidade de ocorrer emissão estimulada repetida.

10. Ligação ao programa de Física

Esta aula articula bem com:

quantização da energia;

espectros atômicos;

fóton;

transições electrónicas;

dualidade onda-partícula da radiação;

aplicações tecnológicas da física moderna.

11. Trabalho de casa possível

Opção A

Explicar, num texto curto, por que motivo a emissão estimulada permite obter luz coerente.

Opção B

Escolher uma aplicação dos lasers e explicar:

que tipo de propriedade do laser é aproveitada;

porque não seria tão fácil fazer o mesmo com luz vulgar.

Opção C

Pesquisar três tipos de laser:

laser de gás;

laser de semiconductor;

laser de estado sólido;
e indicar uma aplicação de cada um.

12. Sumário

Nesta aula, os alunos partem da física quântica dos níveis de energia para compreenderem a diferença entre emissão espontânea e emissão estimulada. A seguir percebem por que é necessária a inversão de população, qual o papel do bombeamento e dos espelhos da cavidade óptica, e como tudo isso conduz a um feixe de luz coerente, quase monocromático e muito direccional. A aula termina com aplicações concretas e uma consolidação curta.

Nos ponteiros laser usados no dia-a-dia, o processo ocorre geralmente num díodo semiconductor muito pequeno. A energia é fornecida por pilhas, que fazem circular corrente eléctrica no díodo. No interior desse dispositivo, a luz é produzida e amplificada numa cavidade microscópica, saindo depois como um feixe estreito. Assim, um ponteiro laser é essencialmente um pequeno laser semiconductor portátil.