اندازه گیری دمای مایعات گاز طبیعی NGL با به کار گیری نانوذرات تبدیل افزایشی فرکانس Ba2LuF7:Yb³⁺, Nd³⁺, Er³⁺@Ba2LaF7

پریسا شیرزادی٬، اسماعیل حیدری٬*، رزاق حافظی^۲

¹ آزمایشگاه سنسورهای نانوفوتونیکی و اپتوفلوئیدیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران ² پالایشگاه گاز سرخون و قشم، واحد پژوهش، بندرعباس، ایران

چکىدە

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۹/۱۲ تاریخ چاپ: ۱۴۰۳/۹/۲۰

شاپای چاپی: 2588-493x

شاپای الکترونیکی: 4921-2588

* نویسنده مسئول

E.heydari@khu.ac.ir



اهمیت اندازه گیری دقیق، آنی و غیرتماسی دما در مکانهای غیرقابل دسترس یا خطرناک باعث گسترش قابل توجه تحقیقات برای توسعه حسگرهای نانوفوتونیکی دما شده است. در این مقاله با بررسی شدت تابش وابسته به دما نانوذرات تبدیل افزایشی فرکانس لانتاتیدی هسته-پوسته NGL@Ba2LaF7" Nd³⁺, Rr³⁺@Ba2LaF7" ، دمای مایعات گاز طبیعی NGL به صورت آنی و غیرتماسی اندازه گیری میشود. این نانو تابشگرهای ۳۰ نانومتری با جذب تابش چندین فوتون ۹۸۰ نانومتری، فوتونی در ناحیه سبز تابش میکنند. بنابراین پس از مشخصه چندین فوتون ۱۹۸۰ نانومتری، فوتونی در ناحیه سبز تابش میکنند. بنابراین پس از مشخصه یونهای لانتانید، با ماتریس Ra2LuF7" و یونهای آلاییده شده ⁺¹Nd³⁺ به عنوان هسته و Ra2LaF7" با ماتریس Ra2LuF7" و یونهای آلاییده شده ⁺¹Nd³⁺ به عنوان هسته و Ra2LaF7" با ماتریس Ra2LuF7" و یونهای آلاییده شده ⁺¹Nd³⁺ به عنوان اندازه گیری دمای مایعات گاز طبیعی در بازهی ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی گراد با حساسیت دمایی اندازه گیری دمای مایعات گاز طبیعی در بازهی ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی گراد با حساسیت دمایی

واژگان كليدى: نانوذرات تبديل فزايشى، لانتاتيدها، حسگرهاى نانوفوتونيكى، دماسنجى

مقدمه

دما یکی از پارامترهای مهم در ابعاد مختلف زندگی، از کاربرد های پزشکی تا خانگی و صنعتی است.[۱–۵] توسعه سریع نانوفناوری منجر به ساخت نانومواد جدید برای سنجش دما شده است. سنجش دما بر اساس مواد فوتولومینسانس، تحول بزرگی برای اندازهگیری دما از راه دور و غیرتماسی ایجاد کرده است، که در آن از پارامترهایی مانند شدت و طول عمر تابش آنها استفاده می شود.[۶–۱۱] نانوذرات

تبدیل افزایشی فرکانس، نانوموادی با توانایی تابش نور با طول موج کوتاه تر از تابش برانگیزش یا به عبارت دیگر نانوموادی با خاصیت ضداستوکس هستند. این پدیدهی مبتنی بر فرآیند ضد استوکس که به آن فرآیند تبدیل افزایشی فرکانس میگویند، یک فرآیند غیر خطی می باشد که با ۵ مکانیزم مختلف صورت میگیرد. این فرآیندها جذب حالت برانگیخته، انتقال انرژی تبدیل افزایشی، انتقال انرژی مشارکتی، بهمن مايعات گاز طبيعي اجزايي از گاز طبيعي هستند که به صورت مايع از حالت گاز جدا مي شوند. مايعات گاز طبيعي محصولات جداگانه و ارزشمندی به حساب میآیند و حذف این مایعات از گاز طبیعی سودآور است. این مایعات ابتدا از گاز طبیعی استخراج و سپس به اجزای مختلف جدا می شوند. مایعات گاز طبيعى مواد هيدروكربنى هستند. هيدروكربن مولكولى است که منحصراً از کربن و هیدروژن تشکیل شده است. مایعات گاز طبيعي به عنوان مواد هيدروكربني به همان خانواده مولکولهایی تعلق دارند که گاز طبیعی و نفت خام در آن قرار می گیرند. اتان، پروپان، بوتان، ایزوبوتان و پنتان همگی مایعات گاز طبیعی هستند. مایعات گاز طبیعی کاربردهای بسیار متفاوتی دارد، ازجمله این کاربردها استفاده آنها به عنوان خوراک پتروشیمیها که به محصولات مختلف مبتنی بر مواد شیمیایی تبدیل می شوند، برای گرمایش خانه، تولید پلاستیک و سوخت است. مایعات گاز طبیعی با پیشرفت در روشهای حفاری به طور گستردهتری در دسترس قرار گرفتهاند، که باعث افزایش درآمد شرکت های نفت و گاز می شود. اما مدیریت، نگهداری و حمل و نقل مایعات گاز طبیعی بسیار پرهزینه است و نیاز به خودروهای باربری، انبار و تجهیزات خاص دارد. مایعات گاز طبیعی برای حفظ حالت مایع خود در زمان حمل و نقل به فشار بالا یا دمای پایین نیاز دارند. این گاز از چاه استخراج شده، سپس به یک مرکز پتروشیمی فرستاده می شود تا در آنجا طی فرآیندهایی با افزایش دما آن به دماهای مختلف، اتان و پروپان و دیگر فرآوردههای گازی از آن جدا شوند. [۳۰-۳۲]

دما نقش مهمی در صنایع نفت و گاز ایفا می کند، بنابراین، در این پژوهش از نانوذرات تبدیل افزایشی فر کانس آلاییده شده با لانتانیدها Ba2LaF7، Yb³⁺, Nd³⁺, Er³⁺@Ba2LaF7</sup> به عنوان حسگر نانوفوتونیکی دما در یک محیط حاوی مایعات گاز طبیعی، برای نظارت بر دما استفاده می شود. در این مقاله از نسبت شدت لومینسانس که یک روش طیف سنجی است، برای ارزیابی دما استفاده می شود. با استفاده از شدت تابش فوتون و مهاجرت انرژی تبدیل افزایشی هستند. در میان این ۵ فرآیند، انتقال انرژی تبدیل افزایشی متداول تر است. [۱۲–۱۳] نانوذرات تبدیل افزایشی فرکانس دو یا چند فوتون را با انرژی کم جذب مي كنند و از طريق يك فرآيند غيرخطي آنها را به فوتوني با انرژی بالاتر و طول موج کمتر تبدیل می کنند. فرآیند انتقال انرژی بین دو یون اتفاق می افتد که شامل جذب متوالی دو یا چند فوتون کم انرژی و تابش یک فوتون پر انرژی در طول موج کوتاهتر است. يون اول كه به عنوان حساس كننده شناخته مي شود، با جذب فوتون از حالت پایه به اولین تراز برانگیخته خود برانگیخته می شود. اولین حالت برانگیخته یون دوم، که به عنوان فعال کننده شناخته می شود، با اولین حالت برانگیخته یون اول در رزونانس است. بنابراین، یون اول انرژی خود را به یون دوم منتقل می کند و به حالت اولیه خود باز می گردد. پس از آن فعال کننده با جذب فوتون دوم به حالت برانگیخته دوم خود برانگیخته می شود. در نتیجه فوتونی را از حالت برانگیخته دوم تابش می کند [۱۴-۱۶] در حالی که فعال کننده به حالت پایه خود باز می گردد. از جمله مزایای این نانو تابشگرها می توان به باندهای تابش باریک و متعدد اشاره کرد. با توجه به اینکه که طول موج برانگیزش و نور تابشی با هم متفاوت است، تابش نمونه را می توان به راحتی از تابش برانگیخته کننده آن جدا کرد، این امر از هرگونه تداخل در سیستم تشخیص جلوگیری می کند و نسبت سیگنال به نویز عالی را ارائه می دهد.[۱۷ -۲۲] این ویژگیهای نوری نانوذرات تبدیل افزایشی باعث می شود از آن ها برای کاربردهای گستردهای از جمله سنجش دما، سنجش اکسیژن، تصویربرداری، تشخیص و درمان استفاده شود. علی رغم همه ی پتانسیل های فوق العادهای که نانوذرات تبدیل افزایشی فرکانس آلاییده شده با لانتانیدها دارند محققان همواره به دنبال رفع محدودیتهای این نانوذرات هستند.[٢٣-٢٨] از جمله این محدودیتها افزایش لومینسانس تبدیل افزایشی میباشد. استراتژیهای افزایش بازده لومینسانس تبدیل افزایشی توسط لیو و همکارانش [۲۹] بررسی شده است، به این صورت که با سنتز نانوذرات تبدیل افزایشی فرکانس هسته-پوسته باعث افزایش بازده لومینسانس نانوذرات تبدیلافزایشی فرکانس آلاییده شده با لانتانیدها میشوند.

وابسته به دما یون لانتانید ^{+E}r³ در هر درجه از دما، نسبت به شدت اولیه، اندازه گیری دما صورت می گیرد. این نسبت سنجی با حذف نوسانات کنترل نشده نور برانگیزش، نقطه اطمینان بیشتری را ارائه می دهد. نوارهای باریک تابش یونهای لانتانید، با محدود کردن طیفهای تابشی، به ما تخمین دقیق تری از مقادیر دمای اندازه گیری شده می دهد.

۱- روش تحقیق

نانوذرات هسته-پوسته تبدیل افزایشی Ba2LuF7:Yb³⁺, Nd³⁺, Er³⁺@Ba2LaF7 توسط روش حرارتی تهیه شدند. مایعات گاز طبیعی NGL از شرکت ملی گاز سرخون و قشم تهیه شدند.محفظه کالیبراسیون، همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود برای كاليبراسيون يك محفظه پلكسي طراحي شده است كه درون آن يك حسكر نانوفوتونيكي، سنسور دما DS18B20، المان كرم -TES1 4902 کننده و ورودی و خروجی جریان سیال تعبیه شده است. برای تثبیت نانوذرات تبدیل افزایشی (حسگر نانوفوتونیکی شکل ۱) از آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان (APTS) استفاده شد. آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان را با نسبت وزنی ۱ به ۵۰ با استون ترکیب کرده و روی لام ریخته میشود. سپس لام داخل محفظهای از جنس پلکسی چسبانده می شود. بعد از ۳۰ دقیقه آمینو پرو پیل تری اتو کسی سیلان را شسته و بلافاصله نانوذرات روی آن ریخته میشود. طيفسنج نورى Thorlabs مدل CCD100، براى طيفسنجى فوتولومینسانس، در چیدمان اپتیکی شکل ۱ استفاده شده است، که محدوده طول موجى ٣٠٠-٧٠٠ نانومتر را نشان مىدهد. طيف سنجی جذبی، برای محاسبه جذب نانوذرات از طیف سنجی مرئی-فرابنفش (UV-VIS) مدل هلند (Avantes-Avaspec-2048) استفاده شده است.

چیدمان اندازه گیری دما، شماتیکی از چیدمان اپتیکی را در شکل ۱ مشاهده میشود. تابش لیزر بعد از برخورد با عدسی همگرا باریکه با فاصله کانونی ۱۰ سانتیمتر بازتاب پیدا می کرد، تابش لیزر بعد از عبور از عدسی همگرا به حسگر نانوفوتونیکی دما (نانوذرات تبدیل افزایشی فرکانس) می تابد (سنسور در داخل گیج پلکسی

حاوی مایعات گاز طبیعی قرار دارد) ، سپس تابش فلورسانس ایجاد شده توسط یک عدسی همگرا نیمدایرهای جمع شده و پس از عبور از فیلتر ۹۸۰ نانومتر روی فیبر نوری متمرکز شد و طی آن اندازه گیریها صورت گرفت. اندازه گیری توزیع ابعاد نانوذرات با استفاده از نرم افزار imagej صورت گرفته است.



شکل ۱: چیدمان اپتیکی شدت تابش برای نظارت بر تغییرات دما

۲- یافته ها

در این پژوهش از نانوذرات هسته-پوسته تبدیل افزایشی فرکانس Ba2LuF7:Yb³⁺, Nd³⁺, Er³⁺@Ba2LaF7 استفاده شد، شکل ۲(الف) تصویر TEM ، با ماتریس میزبان کریستالی Md³⁺ ،Yb³⁺ ، با ماتریس میزبان کریستالی Ba2LuF7 که حاوی ترکیبی از حساس کننده *Tb³⁺ ، *Yb و فعال کننده *Er³⁺ یونهای لانتانید به عنوان هسته و پوسته فعال کننده *Er³⁺ یونهای لانتانید به عنوان هسته و پوسته Ba2LaF7 است، را نشان میدهد. شکل ۲(ب) نمودار توزیع اندازه ذرات بر اساس ۱۲۰ نانوذره را نشان میدهد، همچنین imiti میدهد که نانوذرات , +Kd³⁺, Nd³⁺ , Nd³⁺ sacluF7:Yb³⁺, Nd³⁺, اندازههای متوسط بین S²-۱۰ نانومتر سنتز شدهاند.



26





۹۸۰ این نانوذرات پس از برانگیزش با استفاده از فوتونهای لیزر ۹۸۰ نانومتر (۴۰۰ میلی وات) برانگیخته میشود، یونهای ⁺³W پس از جذب فوتون به حالت برانگیخته ^{2F5/2} میرود. سپس انرژی خود را به یونهای ⁺³Er منتقل میکنند و یون ⁺³Er از حالت برانگیخته 4F3/2 به حالت پایه 2H15/2 میرود و به صورت تابش سبز دیده شد. تابش نمونه پس عبور از لنز و فیلتر ۹۸۰ نانومتر توسط طیف سنج جمعآوری میشود، شکل ۳ (الف) پیک های تابش در ۴۰۷٫۴ نانومتر، ۵۲۲٫۸ نانومتر، ۵۴۱٫۲ نانومتر وجود دارد که به صورت کلی یک رنگ سبز دیده می شود. شکل ۳ (ب) پایداری شدت PL را در طول ۶۰ دقیقه برانگیزش مداوم با لیزر ۹۸۰ نانومتر، با استفاده از طیفسنج نوری اندازه گیری میکند. انحراف شدت (۵)

$$\sigma = \frac{Standard Deviation}{\text{mean}} \times 100 \tag{1}$$

نحراف شدت (σ) برای طول موج ۵۲۲٫۸ نانومتر و ۵۴۱٫۲ نانومتر به ترتیب (۵٫۹۳٪) و (۰٫۸۳۰٪) است که یک نتیجه مثبت برای چنین بازه زمانی طولانی و توان برانگیزش است که توسط لومینوفورهای آلی قابل تحمل نیست. پاسخ دمایی نانوذرات تبدیل افزایشی فرکانس به عنوان سنسور حساس به دما، با گرم کردن آنها در یک محیط



بررسی قرار گرفت.



شکل۳: الف) نمودار PL نانوذرات ب) نمودار پایداری تابشی طول موج ۵۲۲٫۸ و ۵۴۱٫۲ نانومتر

به این منظور، یک سنسور حساس به دما دیسکی شکل متشکل از نانوذرات تبدیل افزایشی فرکانس بر روی یک بستر شیشه ای تهیه شد. سنسور حساس به دما در یک گیج پلکسی پر از مایعات گاز طبیعی در حال گردش با سرعت ۶۴ میلی پر از مایعات گاز طبیعی در حال گردش با سرعت ۶۴ میلی گرم کننده قرار داشت و از میکروکنترلر آردینو DUE برای مدیریت دما استفاده شد.

پاسخ دمایی نانوذرات تبدیل افزایشی فرکانس آلاییده شده با لانتانیدها، به عنوان حسگرهای نانوفوتونیکی دما، با افزایش دما در محیط مایعات گاز طبیعی، در چیدمان اپتیکی شکل

۱ مورد بررسی قرار گرفت. تنظیم نوری برای سنجش دما از راه دور به صورت محلی در زمان واقعی داخل گیج پلکسی با استفاده از نانوذرات تبدیل افزایشی فرکانس در شکل ۱ نشان داده شده است. یک پمپ پریستالتیک با نرخ جریان ۶۴ میلی لیتر در دقیقه برای ایجاد یک جریان گاز سریع در گیج پلکسی استفاده شد. لیزر ۹۸۰ نانومتری برای برانگیزش نانوذرات تبدیل افزایشی فرکانس (سنسور حساس به دما) استفاده شد. در این آزمایش، دمای سنسور حساس به دما تبدیل افزایشی فرکانس با استفاده از یک المان گرم کننده از ۱۵ درجه سانتی گراد به ۳۰ درجه سانتی گراد افزایش می یابد. تابش نانوذرات توسط طیف سنج با زمان ادغام ۱۵ ثانیه جمع آوری شد.

همان طور که در شکل ۴ (الف) مشاهده می شود، با نظارت بر تغییرات طیفی با افزایش دما از ۱۵ درجه سانتی گراد تا ۳۰ درجه سانتی گراد شدت تابش کاهش پیدا می کند. این موضوع باعث می شود که این نانوذرات کاندیدای مناسبی برای سنجش دما با کمک روش نسبت سنجی باشند. شکل ۴ (ب) اندازه گیری نسبتی PL را برای پیکهای ۲۹٫۱۲ نانومتر و ۲۲٫۸۸ نانومتر برحسب دما نشان می دهد. نشانگرهای مربعی نشان دهنده نسبت تغیرات شدت تابش (I) دو پیک است، زمانی که دما از ۱۵ درجه سانتی گراد تا ۳۰ درجه سانتی گراد تغییر می کند. و خط آبی نشان دهنده یک تناسب خطی با شیب ۹۶۲۰۴ - است که روندخطی خوبی را در محدوده دمایی ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی گراد نشان می دهد. اگر تابع کار این سنسور را داشته باشیم با به دست آوردن طیف و نسبت آن ها، رابطهی (۲)، [۳۵–۳۳] می توان دما را به دست آورد.

(2)

 $R = ln(I_{522.8}/I_{541.2})$



شکل۴ الف) تغییرات شدت نسبت به دما. ب) نسبت سنجی شدت پیکهای(Ln(I 522.8 /I 541.2 به تغییرات دما

طبق نتایج با توجه به شیب به دست آمده در این پژوهش و استقاده از رابطهی (۳)، [۳۴–۳۵] ΔE اختلاف انرژی، K ثابت بولتزمن و T دما بر حسب کلوین:

$$S = \frac{dR}{dT} = R(\frac{\Delta E}{KT^2})$$
(3)

حساسیت دمایی در ۳۰۳ کلوین ^۱-۰,۰۰۱۶K است. بنابراین می توان گفت، نانوذرات تبدیل افزایشی فرکانس آلاییده شده با لانتانید، که از فعال کننده +Er³ به عنوان یون حساس به دما استفاده کرده است دارای حساسیت خوبی در محدوده دمایی وسیع است.

۳- نتیجه گیری و بحث

اندازه گیری غیرتماسی، محلی، آنی و دقیق دما در صنایع پتروشیمی از اهمیت بالایی برخوردار است. در همین راستا نشان داده شد که نانوذرات تبدیل افزایشی فرکانس آلاییده شده با یونهای فعال کننده ⁺³ و ⁺³ او یون حساس کننده مده با یونهای فعال کننده نانوفوتونیکی حساس به دما در محیط (+40 بهعنوان حسگر نانوفوتونیکی حساس به دما در محیط حاوی مایعات گاز طبیعی دارای پایداری عالی در بازه زمانی (مانی مایعات ملاوه بر این، استفاده از تابش فروسرخ نزدیک برای برانگیزش حسگر، اثرات نویز پس زمینه را بهبود می بخشد dot optical temperature probes, Appl. Phys. Lett. 83, 3555–3557, 2003.

- [6] J. Lee, N.A. Kotov, Thermometer design at the nanoscale, Nano Today 2, 48–51, 2007.
- [7] L. Aigouy, G. Tessier, M. Mortier, B. Charlot, Scanning thermal imaging of microelectronic circuits with a fluorescent nanoprobe, Appl. Phys. Lett. 87, 184105-1–184105-3, 2005.
- [8] M.A.R.C. Alencar, G.S. Maciel, C.B. De Arau´ Jo, A. Patra, Er3+-doped BaTiO3 nanocrystals for thermometry: influence of nanoenvironment on the sensitivity of a fluorescencebased temperature sensor, Appl. Phys. Lett. 84, 4753–4755, 2004.
- [9] S.V. Yap, R.M. Ranson, W.M. Cranton, D. Koutsogeorgis, Decay time characteristics of La2O2S: Eu and La2O2S: Tb for use within an optical sensor for human skin temperature measurement, Appl. Opt. 47, 4895– 4899, 2008.
- [10] L.H. Fischer, G.S. Harms, O.S. Wolfbeis, Upconverting nanoparticles for nanoscale thermometry, Angew. Chem. Int. Ed. 50, 4546–4551, 2011.
- [11] C. AltaVilla, Upconverting Nanomaterials, Perspectives, Synthesis and Application, CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton: New York, 2017.

و بنابراین، امکان دقت بیشتر در اندازه گیریهای نوری دما را فراهم می کند. حسگر نانوفوتونیکی دما را در یک گیج پلکسی حاوی مایعات گاز طبیعی با استفاده از آمینوپروپیل تری اتوکسی سیلان برای نظارت برتغییرات شدت در دماهای ۱۵تا ۳۰ درجه سانتی گراد تثبیت شد که با پاسخ خطی در محدوده دمایی وسیع عملکرد خوب خود را نشان دادند.

تشکر و قدردانی از پالایشگاه گاز سرخون و قشم و واحد پژوهشی این شرکت بابت حمایت مالی این طرح تشکر می شود. منابع

- P.S. Dorozhkin, S.V. Tovstonog, D. Golberg, J. Zhan, Y. Ishikawa, M. Shiozawa, H. Nakanishi, K. Nakata, Y. Bando, A liquid Gafilled carbon nanotube: a miniaturized temperature sensor and electrical switch, Small 1, 1088–1093, 2005.
- [2] S. Wang, S. Westcott, W. Chen, Nanoparticle luminescence thermometry, J. Phys. Chem. B 106, 11203–11209, 2002.
- [3] S.A. Wade, S.F. Collins, G.W. Baxter, Fluorescence intensity ratio technique for optical fiber point temperature sensing, J. Appl. Phys. 94, 4743–4756, 2003.
- [4] Y. Gao, Y. Bando, Carbon nanothermometer containing gallium, Nature 415, 599–600, 2002.
- [5] G.W. Walker, V.C. Sundar, C.M. Rudzinski, M.G. WunBawendi, D.G. Nocera, Quantum-

nanoparticles for microfluidic application." *Applied Sciences* 10.23: 8353, 2020.

- [20] Lei, Pengpeng, Jing Feng, and Hongjie Zhang. "Emerging biomaterials: taking full advantage of the intrinsic properties of rare earth elements." Nano Today 35: 100952, 2020.
- [21] Haase, Markus, and Helmut Schäfer.
 "Upconverting nanoparticles." *Angewandte Chemie International Edition* 50.26: 5808-5829, 2011.
- [22] Auzel, François. "Upconversion and anti-stokes processes with f and d ions in solids." *Chemical reviews* 104.1: 139-174, 2004.
- [23] Wang, Yong, et al. "Construction of multifunctional lanthanide-based nanoparticles Ba2LuF7: Yb/Er/Ho for in vivo dual-modal tumor imaging." Optical Materials 128: 112369, 2022.
- [24] Zhang, Fan. Photon upconversion nanomaterials. Berlin: Springer, Vol. 416, 2015.
- [25] S. Sivakaminathan, B. Hankamer, J. Wolf, J. Yarnold, High-throughput optimisation of light-driven microalgae biotechnologies, Sci. Rep. 8 ,11687, 2018.

- [12] DU, Kaimin, et al. Nanocomposites based on lanthanide-doped upconversion nanoparticles: diverse designs and applications. *Light: Science & Applications*, 11.1: 222, 2022.
- [13] F. Auzel, Compteur quantiquepar transfert d'energie ' entre deux ions de terres rares dans un tungstate mixte et dans un verre, Comptesrendusdel'AcademiedesSciences, ' Ser.B 262, 1016–1019, 1966.
- [14] V.V. Ovsyankin, P.P. Feofilov, Mechanism of summation of electronic excitations in activated crystals, JETP Lett. 3, 322–323, 1966.
- [15] Habibi, et al, 3D printed optofluidic biosensor: NaYF4: Yb3+, Er3+ upconversion nano-emitters for temperature sensing.
 "Sensors and Actuators A: Physical, 326, 112734." 2021.
- [16] F. Auzel, Upconversion and anti-stokes processes with f and d ions in solids, Chem. Rev. 104, 139–173, 2004.
- [17] Liu, Xiaogang, Chun-Hua Yan, and John A.
 Capobianco. "Photon upconversion nanomaterials." *Chemical Society Reviews* 44.6, 1299-1301, 2004.
- [18] Dramićanin, Miroslav. " Luminescence thermometry: methods, materials, and applications" Woodhead Publishing, 2018.
- [19] Mazetyte-Stasinskiene, Raminta, and Johann Michael Köhler. "Sensor micro and

recovery processes under variations of feed compositions." Chemical Engineering Research and Design 91.7: 1272-1283, 2013.

- [31] <u>https://www.investopedia.com/terms/n/</u> <u>natural-gas-liquids.asp</u>
- [32] Wilhelm, Stefan. "Perspectives for upconverting nanoparticles." ACS nano 11.11: 10644-10653, 2017.
- [33] Aggarwal, V., and S. Singh. "Improve NGL recovery." Hydrocarbon Processing 80.5: 41-41, 2001.
- [34] Li, Hao, et al. "Multi-Mode Lanthanide-Doped Ratiometric Luminescent Nanothermometer for Near-Infrared Imaging within Biological Windows." *Nanomaterials* 13.1: 219, 2023.
- [35] CARLOS, Luís Dias; PALACIO, Fernando (ed.). Thermometry at the nanoscale: Techniques and selected applications. Royal Society of Chemistry, 2015.

- [26] X. Wang, K. Bao, W. Cao, Y. Zhao, C. Wei Hu, Screening of microalgae for integral biogas slurry nutrient removal and biogas upgrading by different microalgae cultivation technology, Sci. Rep. 7, 5426, 2017.
- [27] F. Vanden Bussche, A.M. Kaczmarek, J. Schmidt, C.V. Stevens, P. Van Der Voort, Lanthanide grafted phenanthroline-polymer for physiological temperature range sensing, J. Mater. Chem. 35, 10972–10980, 2029.
- [28] S. Wang, J. Jiang, Y. Lu, J. Liu, X. Han, D. Zhao, G. Li, Ratiometric fluorescence temperature sensing based on single- and dual-lanthanide metal-organic frameworks, J. Lumin. 226, 117418–1147425, 2020.
- [29] T. Chuasaard, A. Ngamjarurojana, S. Surinwong, T. Konno, S. Bureekaew, A. Rujiwatra, Lanthanide coordination polymers of mixed phthalate/adipate for ratiometric temperature sensing in the upper-intermediate temperature range, Inorg. Chem. 5, 2620–2630, 2018.
- [30] Getu, Mesfin, et al. "Techno-economic analysis of potential natural gas liquid (NGL)



Measuring the temperature of natural gas liquids (NGL) using Ba₂LuF₇:Yb³⁺, Nd³⁺, Er³⁺@Ba₂LaF₇ upconversion nanoparticles

- ¹ Parisa Shirzadi, ¹* Esmaeil Heydari, ² Razagh Hafizi
- ¹ Nanophotonic Sensors and Optofluidics Lab, Faculty of Physics, Kharazmi University, Tehran, Iran
- ² Serkhon and Qeshm Gas Refinery, Research Unit, Bandar Abbas, Iran

Article details	Abstract
Received: 2024/08/06 Accepted: 2024/12/02 Published: 2024/12/10	The importance of accurate, real-time, and non-contact temperature measurement in inaccessible or hazardous locations has led to a significant expansion of research into the development of nanophotonic temperature sensors. In this paper, the temperature of natural gas liquids (NGL) is measured instantaneously and non-contactly by investigating
ISSN: 2588-493x eSSN: 2588-4821	the temperature-dependent emission intensity of Ba_2LuF_7 :Yb ³⁺ , Nd ³⁺ , Er ³⁺ @Ba_2LaF ₇ core-shell lanthanide upconversion nanoparticles. These 30 nm nano-emitters, emit photon in a green spectrum by absorbing multiple 980 nm photons. Therefore, after characterizing the
*Correspondence email: <u>E.heydari@khu.ac.ir</u>	nanoparticles, by examining the thermal performance of the cubic phase Ba_2LuF_7 nanomaterials doped with $Er^{3+}/Yb^{3+}/Nd^{3+}$ lanthanide ions, the work function of this sensor was obtained, which is used to measure the temperature of natural gas liquids in the range of 15 to 30 °C with a temperature sensitivity of 0.0016K ⁻¹ .
	<i>Keywords:</i> Upconversion nanoparticles, Lanthanides, Nanophotonic sensors, Thermometry