

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



دانشگاه حکیم سبزواری

دانشکده‌ی علوم پایه

پایان‌نامه جهت دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی شیمی (شیمی معدنی)

تهیه ترکیب $[VO(acac)_2]$ ، بررسی و مقایسه طیف‌های زیر قرمز تجربی و محاسبه‌ای آن و برخی از مشتق‌های آن به کمک محاسبه‌های شیمی

استادان راهنما:

دکتر فرخزاد محمدی زنوز

دکتر سیروس سالمی

پژوهشگر:

وحیده افسری

دی ۹۳



فرم ۱۱۲-ت

شماره:

تاریخ:

بسمه تعالی

صورتحلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد/دکتری

با تلاوت آیاتی چند از کلام... مجید جلسه دفاع از پایان نامه خانم وحیده افسری دانشجوی رشته شیمی معدنی به شماره دانشجویی ۹۰۱۳۹۴۱۰۲۲ با عنوان : تهیه ترکیب [VO(acac)], بررسی و مقایسه طیف های زیر قرمز تجربی و محاسبه ای آن و برخی از مشتق های آن به کمک محاسبه های شیمی کوانتومی در ساعت ۱۴ مورخه ۹۳/۱۰/۲۸ در محل دانشکده علوم پایه اتاق ۲۱۹ تشکیل گردید . پس از استماع گزارش ارائه شده توسط دانشجو و اساتید راهنما هیات داوران و حاضران سنوالاتی را مطرح و خانم وحیده افسری به دفاع از موضوع پرداخت و به سنوالات آنها پاسخ گفت . سپس پایان نامه توسط هیات داوران مورد ارزشیابی قرار گرفت و نمره ۱۸ برابر درجه بسیار خوب برای آن تعیین گردید .

به این ترتیب ضمن تصویب پایان نامه مزبور از این تاریخ خانم وحیده افسری به عنوان کارشناس ارشد در رشته شیمی معدنی شناخته می شود .

ردیف	نام و نام خانوادگی	سمت	امضا
۱	دکتر فرخزاد محمدی زنوز	استاد راهنمای اول	
۲	دکتر سیروس سالمی	استاد راهنمای دوم	
۳	دکتر محمد چهکندی	استاد داور	
۴	دکتر احمد فرزانه	نماینده تحصیلات تکمیلی	

نام و نام خانوادگی امضای مدیر گروه

رونوشت

- ۱- معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه جهت اطلاع
- ۲- معاونت پژوهشی دانشگاه جهت اطلاع
- ۳- آموزش دانشکده جهت درج در پرونده دانشجو
- ۴- دانشجو

سوگندنامه‌ی دانش‌آموختگان دانشگاه حکیم سبزواری

برنام خداوند جان و خرد
کزین برتر اندیشه برنگذرد

اینک که به خواست آفریدگار پاک، کوشش خویش و بهره‌گیری از دانش استادان و سرمایه‌های مادی و معنوی این مرز و بوم، توشه‌ای از دانش و خرد گردآورده‌ام، در پیشگاه خداوند بزرگ سوگند یاد می‌کنم که در به کارگیری دانش خویش، همواره بر راه راست و درست گام بردارم. خداوند بزرگ، شما شاهدان، دانشجویان و دیگر حاضران را به عنوان داورانی امین گواه می‌گیرم که از همه‌ی دانش و توان خود برای گسترش مرزهای دانش بهره‌گیرم و از هیچ کوششی برای تبدیل جهان به جایی بهتر برای زیستن، دریغ نورزم. پیمان می‌بندم که همواره کرامت انسانی را در نظر داشته باشم و هم‌نوعان خود را در هر زمان و مکان تا سر حد امکان یاری دهم. سوگند می‌خورم که در به کارگیری دانش خویش به کاری که با راه و رسم انسانی، آیین پرهیزگاری، شرافت و اصول اخلاقی برخاسته از ادیان بزرگ الهی، به ویژه دین مبین اسلام، مبادینت دارد دست نیازم.

هم‌چنین در سایه‌ی اصول جهان‌شمول انسانی و اسلامی، پیمان می‌بندم از هیچ کوششی برای آبادانی و سرافرازی میهن و هم‌میهنانم فروگذاری نکنم و خداوند بزرگ را به یاری طلبم تا همواره در پیشگاه او و در برابر وجدان بیدار خویش و ملت سرافراز، بر این پیمان تا ابد استوار بمانم.

نام و نام خانوادگی

وحیده افسری

تاییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

این جانب وحیده افسری به شماره دانشجویی ۹۰۱۳۹۴۱۰۲۲ رشته‌ی شیمی (شیمی معدنی) مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه حاصل کار این جانب و بدون هرگونه دخل و تصرف و موارد نسخه‌برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان، قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی ضوابط و مقررات آموزشی پژوهشی و انضباطی...) با این جانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض در خصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن مسئولیت هرگونه پاسخ‌گویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی این جانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی

وحیده افسری

تاریخ و امضا

مجوز بهره‌برداری از پایان نامه

بهره‌برداری از این پایان نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که

توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود بلامانع است:

- ✓ بهره‌برداری از این پایان نامه برای همگان بلامانع است.
- ✓ بهره‌برداری از این پایان نامه با اخذ مجوز از استاد راهنما بلامانع است.
- ✓ بهره‌برداری از این پایان نامه تا تاریخ..... ممنوع است.

استاد راهنما : دکتر فرخزاد محمدی زنوز

تاریخ :

امضاء:

یارب دل ما را تو به رحمت جان ده درد همه را به صابری درمان ده
این بنده چه داند که چه می باید جست داننده تویی هرآنچه دانی آن ده

تقدیم به:

خدایی که آفرید جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را و به کسانی که عشقشان را
در وجودم دمید.

تقدیم به پدر بزرگوار و مادر مهربانم:

ای پدر که همچون کوهی استوار حامی من در طول تمام زندگیم بودی ، اکنون حاصل دستان خسته
ات رمز موفقیتیم شد.

و تو ای مادرمهربانم،

ای شوق زیبایی نفس کشیدن ، ای روح مهربان هستی ام ، ای دریای بی کران فداکاری و ای سنگ
صبوری که القبای زندگی به من آموختی.

تقدیم به همسرگرامیم:

به پاس قدر دانی از قلبی آکنده از عشق و معرفت که محیطی سرشار از سلامت و امنیت و آرامش و
آسایش برای من فراهم آورده است.

تقدیم به خواهردلسوز و برادرعزیزم:

که همواره در تمام طول تحصیل متحمل زحماتم بودند و وجودشان همیشه مایه دلگرمی من می
باشد.

تقدیم به دلبدانم :

دو قلوهای عزیز و امید بخش های زندگیم که آسایششان همیشه مایه آرامش من است.

تقدیر و تشکر:

از اساتید با کمالات و شایسته ای چون جناب آقای دکتر فرخزاد محمدی زنوز و آقای دکتر سیروس سالمی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند.

و از استاد فرزانه و دلسوز؛ جناب آقای دکتر محمد چهکندی که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم باشد که این خردترین، بخشی از زحمات ایشان را سپاس گوید.

همچنین در اینجا جای دارد تا از زحمات بی دریغ و بی چشم داشت جناب آقای دکتر محمد و کیلی عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. در انتها بابت کمک های بی شائبه همکلاسی های گرامی خانم زهرا اکبری و همسرشان آقای محمود اکبری سپاسگذارم.

فهرست مطالب

۱	چکیده.....
۲	فصل اول مقدمه.....
۴	۱-۱ واندیم.....
۶	۱-۱-۱ مقدمه واندیم.....
۶	۱-۱-۲ بررسی ویژگی های واندیم.....
۷	۱-۱-۳ کاربرد واندیم.....
۱۰	۲-۱ بتا دی کتون ها.....
۱۰	۱-۲-۱ ویژگی های بتا دی کتون ها.....
۱۲	۳-۱ ویژگی اسیدی و بازی.....
۱۲	۴-۱ ویژگی های ساختاری $VO(acac)_2$
۱۳	۵-۱ فرایند تولید Acac.....
۱۴	فصل دوم: شیمی محاسبه ای و تجربی.....
۱۵	۱-۲ مقدمه ای بر شیمی محاسبه ای و تاریخچه ی آن.....
۱۵	۱-۱-۲ شیمی محاسبه ای شیمی قرن کنونی.....
۱۶	۲-۱-۲ فلسفه شیمی محاسبه ای.....
۱۷	۳-۱-۲ روش های محاسبه ای.....
۱۸	۱-۳-۱-۲ روش های محاسبه ای بر اساس مکانیک مولکولی (MM).....
۱۸	۲-۳-۱-۲ روش های محاسبه ای بر اساس مکانیک کوانتومی.....
۱۹	۴-۱-۲ تقریب بورن - اپنهایمر.....
۱۹	۱-۴-۱-۲ روش های نیمه تجربی.....
۲۰	۲-۴-۱-۲ روش آغازین (Ab initio).....
۲۰	۱-۲-۴-۱-۲ معرفی محاسبه های هارتری فوک و نظریه تابعی چگالی.....
۲۴	۲-۲-۴-۱-۲ روش B3LYP.....
۲۴	۵-۱-۲ مجموعه پایه.....
۲۵	۲-۲ دستگاه وری.....
۲۵	۱-۲-۲ دستگاه زیر قرمز.....

۲۶	فصل سوم بحث و نتیجه‌گیری
۲۷	۱-۳ هدف کار
۲۷	۲-۳ روش محاسبه‌ای
۲۷	۳-۳ ساختارهای باز و بسته ترکیب $[\text{VO}(\text{acac})_2]$
۳۲	۴-۳ بررسی و مقایسه ویژگی از لحاظ طیف زیرقرمز موجود در مقاله‌ها [۳۸]
۳۲	۵-۳ ویژگی های دستگاه زیرقرمز
۳۳	۶-۳ بررسی ناحیه‌های ارتعاشی طیف تجربی
۳۴	۷-۳ تجزیه و تحلیل فرکانس‌های ارتعاشی در حالت نظری
۳۴	۸-۳ تجزیه و تحلیل فرکانس‌های ارتعاشی
۴۱	۹-۳ بررسی تغییر طول پیوندها و زاویه‌های ترکیب اصلی با دیگر مشتق‌ها
۴۵	۱۰-۳ مقایسه طول‌ها و زاویه‌های پیوندی ترکیب A با محاسبه پرتو ایکس تجربی و تئوری
۴۹	۱۱-۳ بحث و نتیجه‌گیری کلی
۵۰	مراجع

فهرست نمادها

s	متقارن
a	نامتقارن
ϑ	کشش پیوند
ϑ_s	کشش متقارن پیوند
ϑ_a	کشش نامتقارن پیوند
δ	خمش در صفحه
γ	خمش خارج صفحه
Δ	تغییر شکل درون حلقه
Γ	تغییر شکل خارج حلقه
τ	پیچش
HF	انرژی مطلق بر حسب هارتری فاک
S.S	کششی قوی
S.B	خمشی قوی

نشانه‌های اختصاری ترکیب‌های متفاوت

A: [VO (acac) ₂]	Bis (Vanadylacetylacetonato)
B: [VO (tfacac) ₂]	Bis (trifluoroacetylacetonato) oxovanadium (IV)
C: Cis- [VO (tfacac) ₂]	Cis-Bis (trifluoroacetylacetonato) oxovanadium (IV)
D: Trans- [VO (tfacac) ₂]	Trans-Bis (trifluoroacetylacetonato) oxovanadium (IV)
E: [VO (Dodecafacac) ₂]	Bis (Dodeca fluoroacetylacetonato) oxovanadium (IV)
F: [VO (Phacac) ₂]	Bis (phenylacetylacetonato) oxovanadium (IV)
G: [VO (T-Butacac) ₂]	Bis (Tershio-Butylacetylacetonato) oxovanadium (IV)
H: Cis-[VO (T-Butacac) ₂]	Cis- Bis (Tershio-Butylacetylacetonato) oxovanadium (IV)
I: Trans-[VO (T-Butacac) ₂]	Trans- Bis (Tershio-Butylacetylacetonato) oxovanadium (IV)

فهرست جداول

- جدول ۱-۱: انواع ایزوتوپ‌های وانادیم ۵
- جدول ۲-۱: ویژگی‌های اتمی، فیزیکی و شیمیایی وانادیم ۸
- جدول ۳-۱: جدول ویژگی‌های $[\text{VO}(\text{acac})_2]$ ۹
- جدول ۱-۳: انواع مشتق‌های محاسبه شده ترکیب پایدار $[\text{VO}(\text{acac})_2]$ ۲۹
- جدول ۲-۳: فرکانس ارتعاش $[\text{VO}(\text{acac})_2]$ محاسبه شده به کمک تابع پایه $\text{B3LYP}/6-311++\text{G}^{**}$ ۳۵
- جدول ۳-۳: فرکانس ارتعاشی E محاسبه شده به کمک تابع پایه $\text{B3LYP}/6-311++\text{G}^{**}$ ۳۸
- جدول ۴-۳: برسنج‌های هندسی پیکربندی‌های A، B، F، G محاسبه شده در سطح B3LYP با سری پایه 6- ۳۸
- $311++\text{G}^{**}$ ۴۲
- جدول ۵-۳: انرژی‌های الکترونی برای استخلاف‌های $(\text{T-Bu, Ph, CF}_3, \text{CH}_3)$ محاسبه شده در سطح B3LYP با سری پایه $6-311++\text{G}^{**}$ ۴۳
- جدول ۶-۳: ارتعاش‌های کششی قوی و خمشی قوی ۴۵
- جدول ۷-۳: مقایسه تجربی و محاسبه‌ای طول‌ها و زاویه‌های پیوندی ترکیب $[\text{VO}(\text{acac})_2]$ ۴۶
- جدول ۸-۳: مقایسه میزان تفاوت انرژی HOMO و LUMO ترکیب‌های متفاوت ۴۷

فهرست اشکال و نمودارها

- شکل ۱-۱: مدل اتمی بور برای وانادیم ۶
- شکل ۱-۲: ساختارهای چند بعدی از وانادیم اکسید ۷
- شکل ۱-۳: شکل هرم مربعی وانادیل استیل استونات ۱۲
- شکل ۱-۴: رابطه تعادلی کتو - انول ۲۰
- شکل ۳-۱: ساختارهای باز و بسته ترکیب $[VO(acac)_2]$ ۲۸
- شکل ۳-۲: سامانه نام‌گذاری ترکیب $[VO(acac)_2]$ ۲۹
- شکل ۳-۳: پایدارترین پیکربندی ترکیب $[VO(acac)_2]$ ۳۰
- شکل ۳-۴: پایدارترین پیکربندی ترکیب $[VO(tfacac)_2]$ ۳۰
- شکل ۳-۵: پایدارترین پیکربندی ترکیب $[VO(Dodeca\ facac)_2]$ ۳۱
- شکل ۳-۶: پایدارترین پیکربندی ترکیب $[VO(Phacac)_2]$ ۳۱
- شکل ۳-۷: پایدارترین پیکربندی ترکیب $[VO(T-Butacac)_2]$ ۳۲
- شکل ۳-۸: طیف زیرقرمز تجربی ترکیب $[VO(acac)_2]$ ۳۳
- شکل ۳-۹: طیف ارتعاشی قرمز محاسبه‌ای ساختار ترکیب $[VO(acac)_2]$ ۳۴
- شکل ۳-۱۰: شماره‌گذاری حالت پایدار ساختار $[VO(acac)_2]$ ۴۱



دانشگاه شهردار

فرم چکیده‌ی پایان‌نامه‌ی دوره‌ی تحصیلات تکمیلی

دفتر مدیریت تحصیلات تکمیلی

نام خانوادگی دانشجو: افسری	نام: وحیده	شماره دانشجویی: ۹۰۱۳۹۴۱۰۲۲
استادان راهنما: دکتر فرخزاد محمدی زنوز و دکتر سیروس سالمی		
دانشکده: علوم پایه	رشته: شیمی (شیمی معدنی)	
مقطع: کارشناسی ارشد	تاریخ دفاع: ۱۳۹۳/۱۰/۲۸	تعداد صفحات: ۶۵
عنوان پایان‌نامه:		
تهیه ترکیب $[VO(acac)_2]$ ، بررسی و مقایسه طیف‌های زیر قرمز تجربی و محاسبه‌ای آن و برخی از مشتق‌های آن به کمک محاسبه‌های شیمی کوانتومی		
کلیدواژه‌ها: β دی کربونیل - طیف ارتعاشی IR B3LYP -- DFT - $VO(acac)_2$.		
<p>ابتدا ترکیب وانادیل استیل استونات $[VO(acac)_2]$ تهیه شد. سپس محاسبه‌های بهینه‌سازی ساختار و فرکانس‌های ارتعاشی آن به کمک روش نظریه تابعی چگالی در سطح $B3LYP/6-311++G^{**}$ انجام شد. مشتق‌های دیگر این ترکیب که با جایگزینی لیگاندهایی همانند $B;CF_3 F;Ph G;T-But$ به دست آمدند که به وسیله‌ی روش مذکور و در همان سطح و تابع پایه مورد محاسبه قرار گرفتند. نتیجه‌ی محاسبه‌های $[VO(acac)_2]$ با مشتق‌های دیگر این ترکیب مقایسه و از لحاظ میزان انرژی HOMO-LUMO و پارامتر η (سختی مطلق) بررسی گردید.</p>		
امضای استاد راهنما		

فصل اوّل

مقدمه

واناديم



۱-۱ وانادیم

وانادیم یک عنصر شیمیایی (با عدد اتمی ۲۳) فلزی به رنگ نقره‌ای خاکستری است که دارای ساختاری بلوری مکعبی میان پر می‌باشد و در دوره چهارم جدول تناوبی قرار دارد. وانادیم دارای دو ایزوتوپ طبیعی می‌باشد که در اسیدهای اکسنده مانند نیتریک اسید و سولفوریک اسید و همچنین در هیدروژن فلورید حل می‌شود (۱). آرایش الکترونی وانادیم در حالت پایه $3d^34s^2$ است؛ بنابراین بیشترین حالت اکسایش آن +۵ و مربوط به آرایش d^0 است. ترکیب‌هایی با این عدد اکسایش به طور طبیعی دیامغناطیس و اغلب بی‌رنگ هستند.

وانادیم دارای هشت حالت اکسایش (۳- تا +۵ بجز ۲-) است. ترکیب‌های وانادیم با اعداد اکسایش +۴، +۳، +۲ به طور معمول رنگی و پارامغناطیس می‌باشند که ممان مغناطیسی آن‌ها به ترتیب مربوط به یک، دو و سه الکترون منفرد در وانادیم است. وانادیم فلزی، در طبیعت وجود ندارد اما ترکیب‌های آن در ۶۵ کانی متفاوت یافت می‌شود. مهم‌ترین کانی‌های این فلز پاترونیت، وانادینیت و کارنوتیت هستند. تولیدکنندگان اصلی وانادیم کشورهای آفریقای جنوبی، روسیه و چین می‌باشند (۲). با توجه به این که وانادیم (+۵) اسید لوویس قوی بوده و توانایی فعال‌سازی معرف‌های اکسیدکننده را دارا می‌باشد لذا ترکیب‌های آن در بسیاری از واکنش‌های اکسایش و کاهش نقش کاتالیزوری دارند. به طور مثال برای تولید صنعتی سولفوریک اسید و به ویژه در اکسایش SO_2 به SO_3 از آن به عنوان کاتالیزور استفاده می‌شود (۳).

لانبگر^۱ و گری^۲ در سال ۱۹۹۷ نخستین اپوکسایش انتخابی اولفین‌ها به وسیله‌ی اکسیژن مولکولی، در حضور کاتالیزورهای سالن وانادیلی را گزارش کرده‌اند(۴).

از وانادیم پراکسید به عنوان کاتالیزور برای اکسایش سوبستراهای آلی و معدنی متفاوت استفاده شده است(۵). وانادیم در آب دریا، آب شیرین و خاک به دو صورت وانادات و وانادیل وجود دارد(۶). بنابراین وانادیم برای سازمان‌های زنده به ویژه در محیط‌های دریایی به طور کامل در دسترس می‌باشد. از نقش‌های وانادیم در شیمی آنزیمی و دارویی می‌توان به فعالیتش در متالوآنزیم‌هایی نظیر وانادیم‌هالوپراکسیدازها، نیتروژنازاها (۷-۸) و داروهای ضد سل و ضد باکتری و ضدانگل(۹) و هم‌چنین می‌توان به ویژگی‌های ضددیابتی آن اشاره کرد(۱۰).

وانادیم برومو پراکسیدازهای جدا شده از جلبک‌های قرمز و قهوه‌ای نمونه‌هایی از آنزیم‌هایی بر پایه وانادیم برای اکسایش یون‌های برمید بوسیله پراکسید هیدروژن می‌باشند که نقش اساسی در سنتز زیستی ترکیب‌های طبیعی برم‌دار ایفا می‌کنند(۱۱). در سازمان‌های زنده وانادیم در حالت‌های اکسایش ۳+، ۴+ و ۵+ یافت می‌شود.

انواع ایزوتوپ‌های وانادیم در جدول ۱-۱ نشان داده شده است(۱۲).

جدول ۱-۱: انواع ایزوتوپ‌های وانادیم

ایزوتوپ	نیمه عمر
48V	روز ۱۵/۹۸
49V	روز ۳۳۷ / ۰
50V	۱۷ سال E ۱/۴
51V	پایدار
52V	۳/۷۶ دقیقه

۱ - Lanbiger

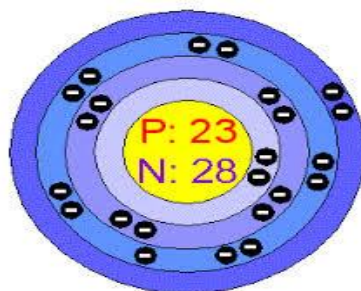
۲ - Gray

۱-۱-۱ مقدمه وانادیم

نخستین بار در سال ۱۸۰۱ یک معدن شناس مکزیکی به نام دل ریو^۱ وانادیم را در معدن‌های سرب قهوه‌ای مکزیکی کشف و آن را اریترونیوم نامید. (سرب قهوه‌ای یک کانی است که امروزه به نام وانادینیت می‌شناسند). دل ریو این ترکیب را به دانشگاه‌های اروپا فرستاد تا کشف وی را تأیید کنند. متخصصین تجزیه نتیجه گرفتند که این عنصر همان کروم ناخالص است. در سال ۱۸۳۱ شیمیدان سوئدی به نام سفستروم^۲ هنگام کار در معادن آهن و در نمونه مخصوصی از فولاد وانادیم را کشف و به دلیل زیبایی رنگ‌های ترکیب‌های وانادیم، این عنصر را به خاطر الهه زیبایی اسکاندیناوی، وانادیس^۳ نام گذاری کرد (۱۳). در سال ۱۸۳۲ ولر^۴ نشان داد که فلز سفستروم در واقع همان عنصری است که پیش تر توسط دل ریو کشف شده بود (۱۴).

۱-۱-۲ بررسی ویژگی‌های وانادیم

وانادیم، به صورت جامدی شکل‌پذیر به رنگ نقره‌ای سفید، در آب نامحلول؛ و در برابر خوردگی مقاوم است، اما در اسیدهای نیتریک، هیدروفلوریک و سولفوریک غلیظ محلول است. با بازها واکنش می‌دهد و تشکیل وانادات‌های محلول در آب را می‌دهد. دارای جرم حجمی g/m^3 ۶/۱۱، نقطه ذوب ۱۹۰۰ درجه سانتی‌گراد و نقطه جوش ۳۰۰۰ درجه سانتی‌گراد است. ویژگی‌های فلزی، نافلزی دارد. در شکل (۱-۱) مدل اتمی بور برای عنصر وانادیم آورده شده است.



-
- ۱ - Del Rio
 - ۲ - Sefstrom
 - ۳ - Vanadis
 - ۴ - Voler